



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

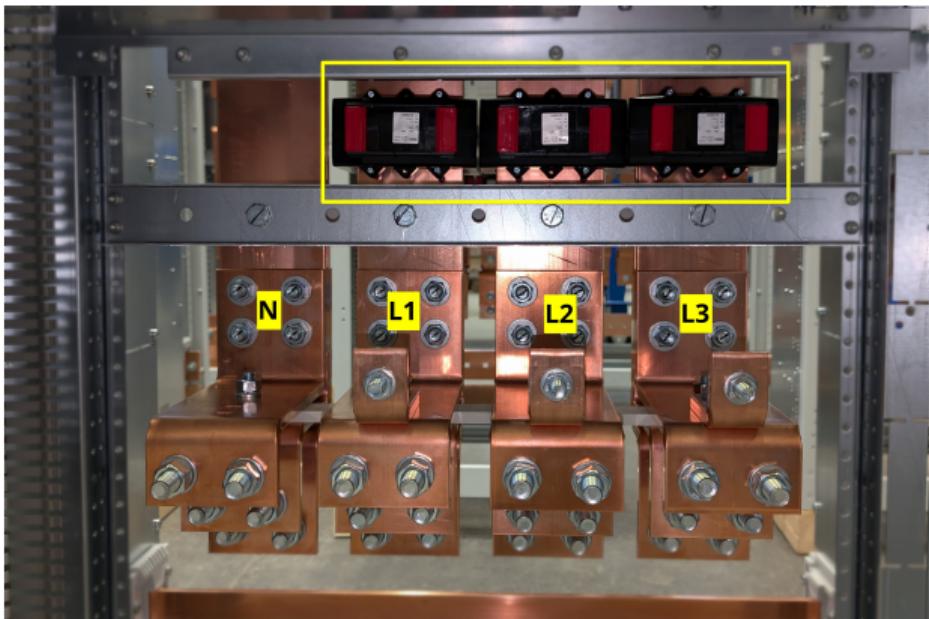
bis

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**.

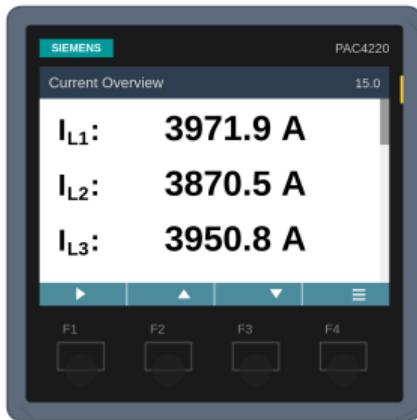
Messabweichung & wirtschaftliche Relevanz



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

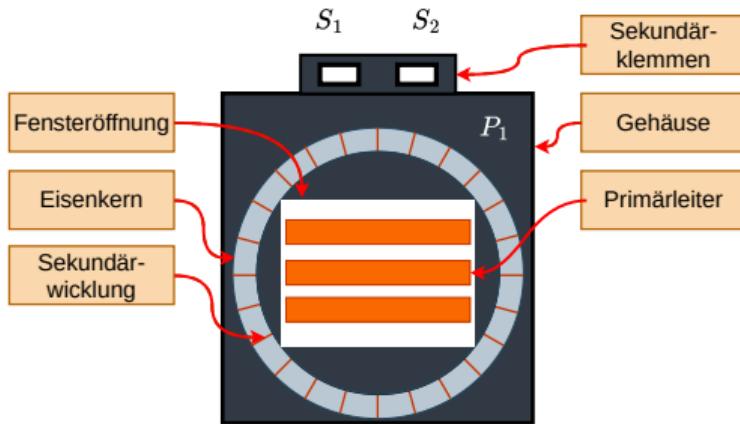
-
- **Analyse:** Fehlermechanismen im **Drehstromsystem** (insb. L2) systematisch verstehen.
 - **Vergleich:** **Standard, kompensierte** und **Spezial**-Wandler sowie Geometrievarianten.
 - **Bewertung:** Normkonformität, Robustheit gegen Fremdfeld und wirtschaftliche Randbedingungen.
 - **Output:**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

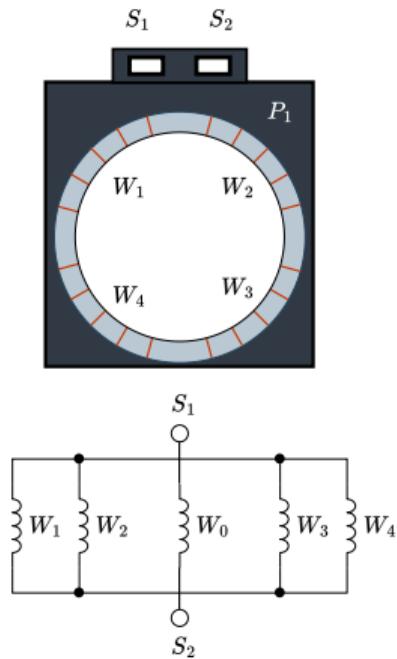
05:45

- **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.

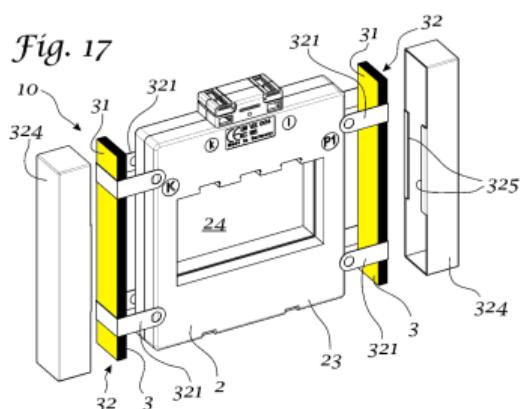
Technologievergleich



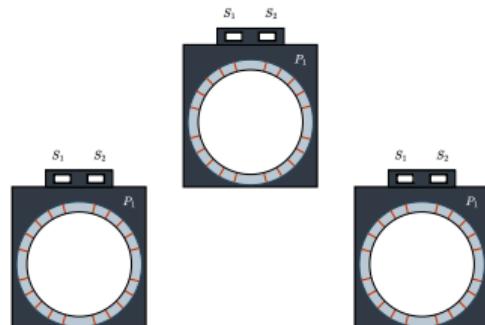
Kompensiert



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

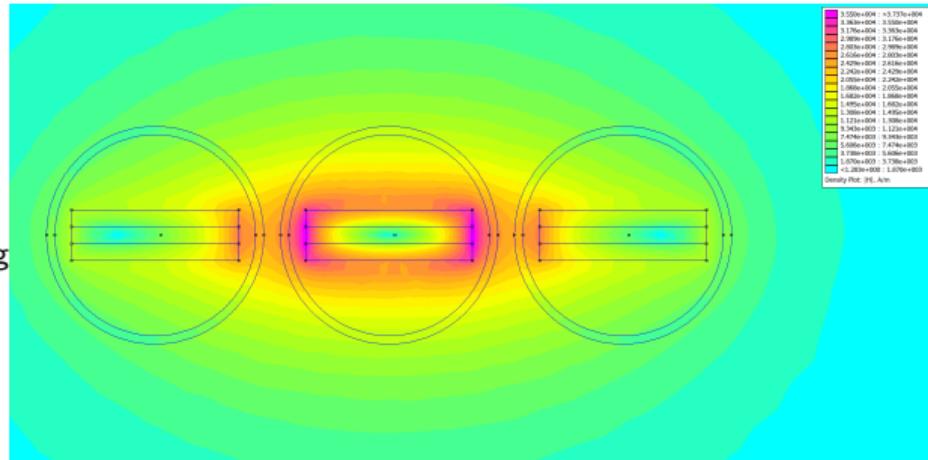
Ursache: Räumliche Nähe

- ▶ Starke Magnetfelder der Nachbarleiter koppeln ein

Wirkung: Partielle Sättigung

- ▶ Nutzfluss + Störfluss \Rightarrow lokale Sättigung
- ▶ μ_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

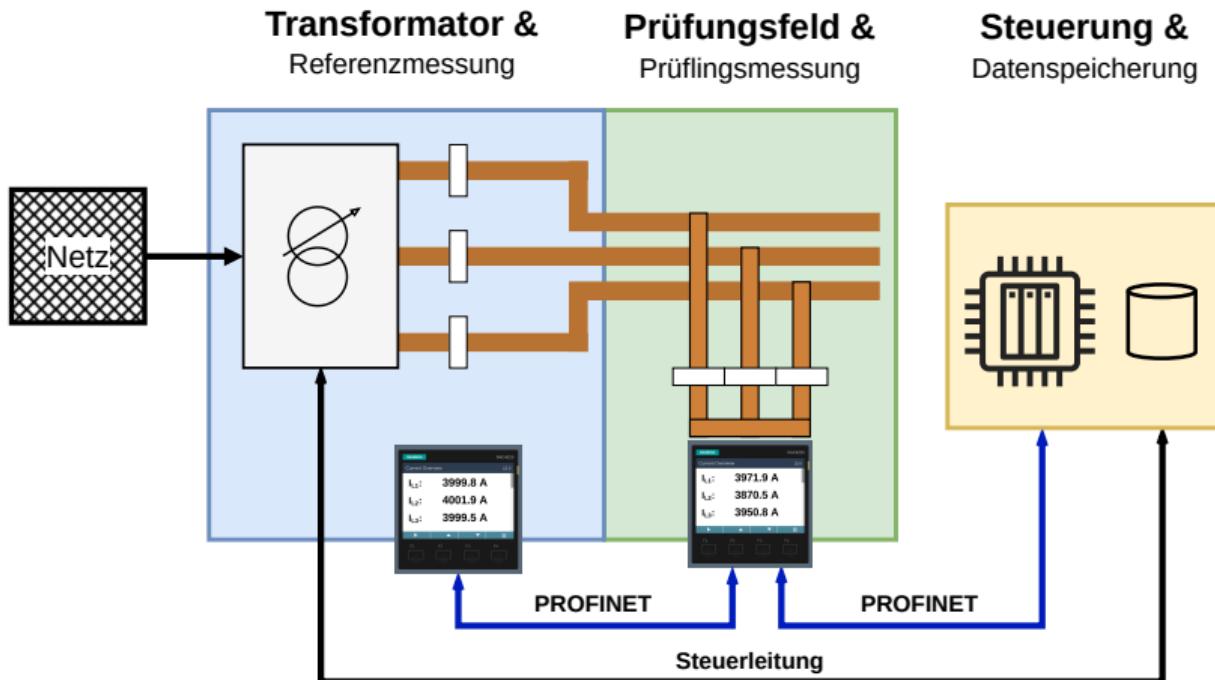
07:15

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

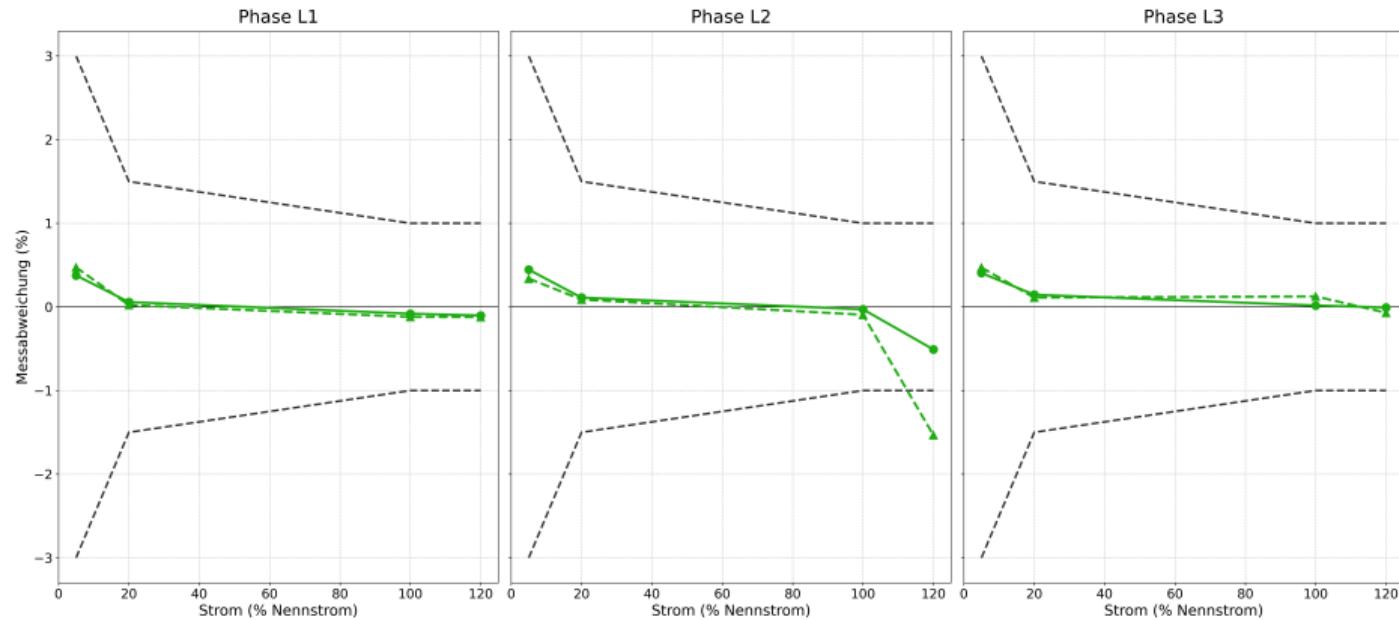
08:50

-
- **Ziel:** Reproduzierbare, **synchrone** Vergleichsmessung (gleicher Strom, gleiche Bedingungen).
 - **Messkette:** Referenz (PAC 4220) vs. Prüfling (PAC 3220 + Wandler) \Rightarrow direkte Abweichung ε 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

- 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

Zeitplanung

09:35

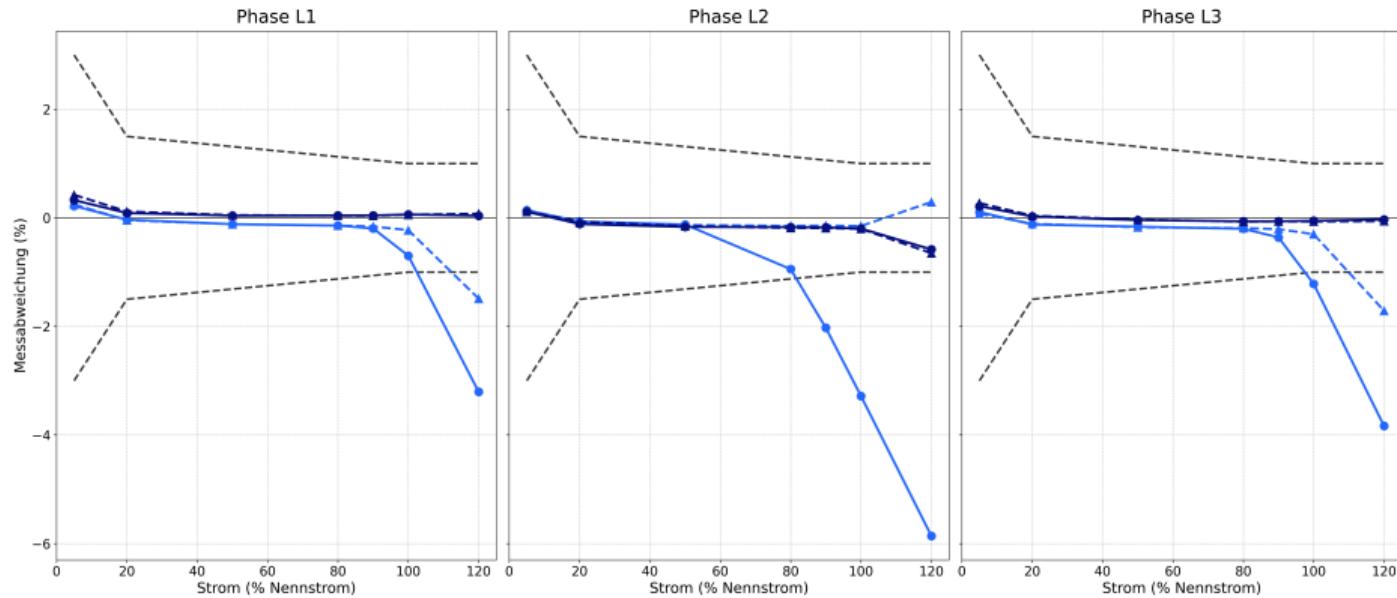
bis
11:00

- 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)



■ Celsa ALO 12070 | Standard (Parallel) ■ Celsa ALO 12070 | Standard (Dreieck) ■ Celsa ALO 12070 K | Kompensiert (Parallel) ■ Celsa ALO 12070 K | Kompensiert (Dreieck)

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

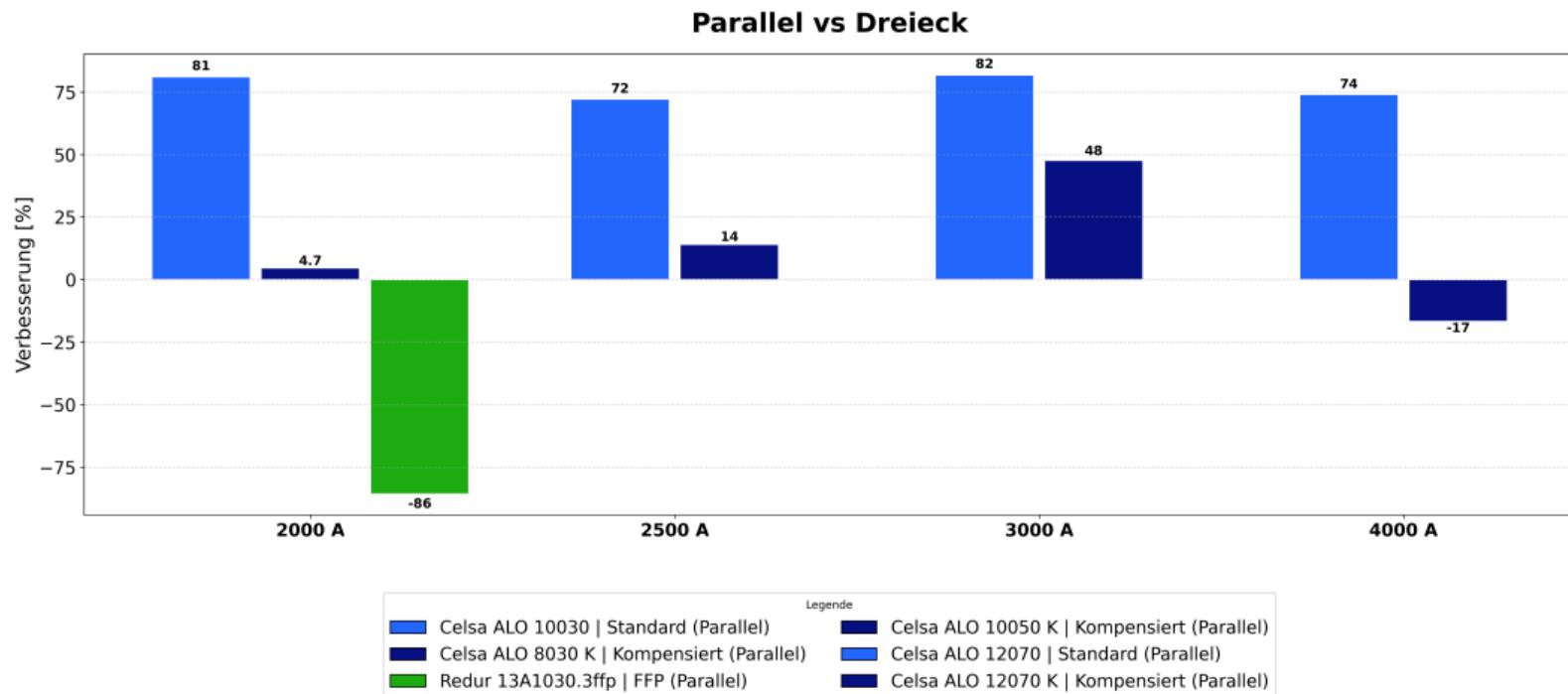
11:00

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.

Parallel vs. Dreieck: Verbesserung



Wichtig / Note 1

Zeitplanung

- Standard-Wandler profitieren deutlich von **Parallel-Anordnung** (z. B. ALO 10030/12070: typ. $\approx +70$ bis $+80\%$ bei 2–4 kA)
- **Kompensierte** Varianten: geringere, teils negative Effekte
→ primärer Hebel bleibt die Kompensation
- Auffälligkeit: Redur 13A1030.3ffp mit FFP bei 2000 A zeigt eine negative Verbesserung → hohe Sensitivität auf Feldführung/Anordnung.

-
- **Definition:** „Verbesserung“ = relative Annäherung an $\varepsilon = 0\%$ beim Wechsel von Dreieck zu Parallel.
 - **Kernaussage:** Für **Standard**-Wandler ist die **Anordnung** ein sehr wirksamer Hebel (große Zugewinne in mehreren Stromstufen).
 - **Kompensierte** Wandler sind bereits gegen Fremdfeld/Sättigung gehärtet \Rightarrow weniger Zusatznutzen durch reine Geometrieänderung.
 - **Randfall (FFP):** Das Ergebnis deutet auf **wechselseitige Effekte** zwischen FFP-Positionierung und Leitergeometrie hin.

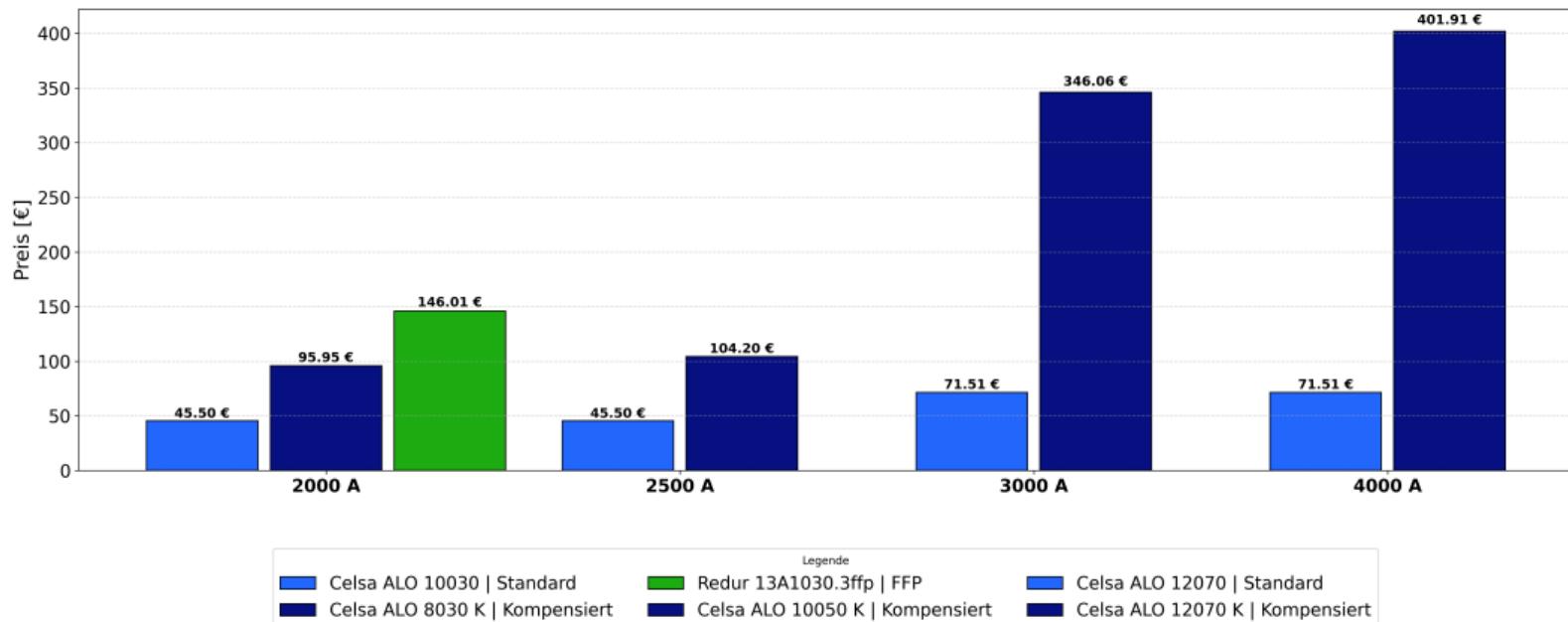
12:15

bis
12:55

Übersicht der Kosten der Wandler



Übersicht der Kosten der Wandler



Wichtig / Note 1

- Standard-Wandler liegen im Bereich von ca. 44 € bis 72 € (je nach Typ/Stromstufe)
- FFP-Lösung (Redur 13A1030.3ffp) im mittleren Kostenniveau (\approx 146 €)
- Kompensation ist der Kostentreiber: ALO 12070K bei 3–4 kA (\approx 346 € bis 402 €)

Zeitplanung

12:55

bis

13:25

- **Take-away:** Die **Anordnung** ist eine **kostenneutrale** Optimierung (keine Mehrkosten), sofern derselbe Wandler genutzt wird.
- **Trade-off:** Kompensierte Wandler liefern die stabilsten Ergebnisse bei hohen Strömen, sind aber deutlich teurer.
- **Praktischer Schluss:** Für Anwendungen bis 2–3 kA kann **Parallel** bei Standard-Wandlern ein sehr gutes Preis/Leistungs-Verhältnis liefern.

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:

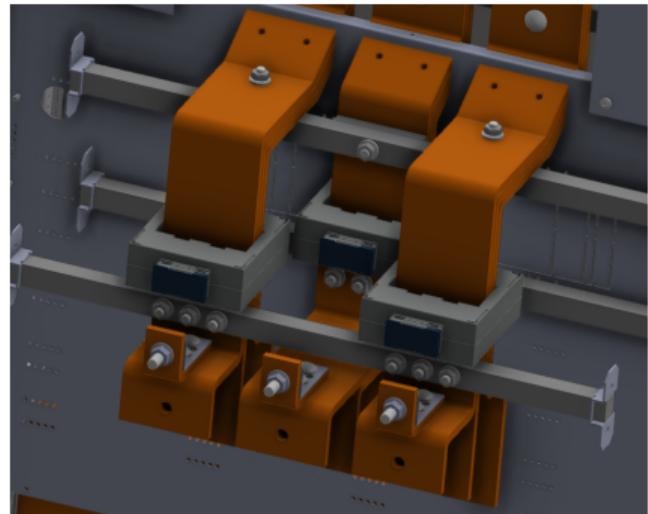
Kompensiert = beste Genauigkeit, teuer (Faktor 2–6). **FFP** = gut für Nachrüstung/Bestand (Ausrichtung/Bauraum beachten). **Dreieck** = Systemlösung für Neuentwicklung: Normrobust im Nennbereich bei geringen Mehrkosten.

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.**

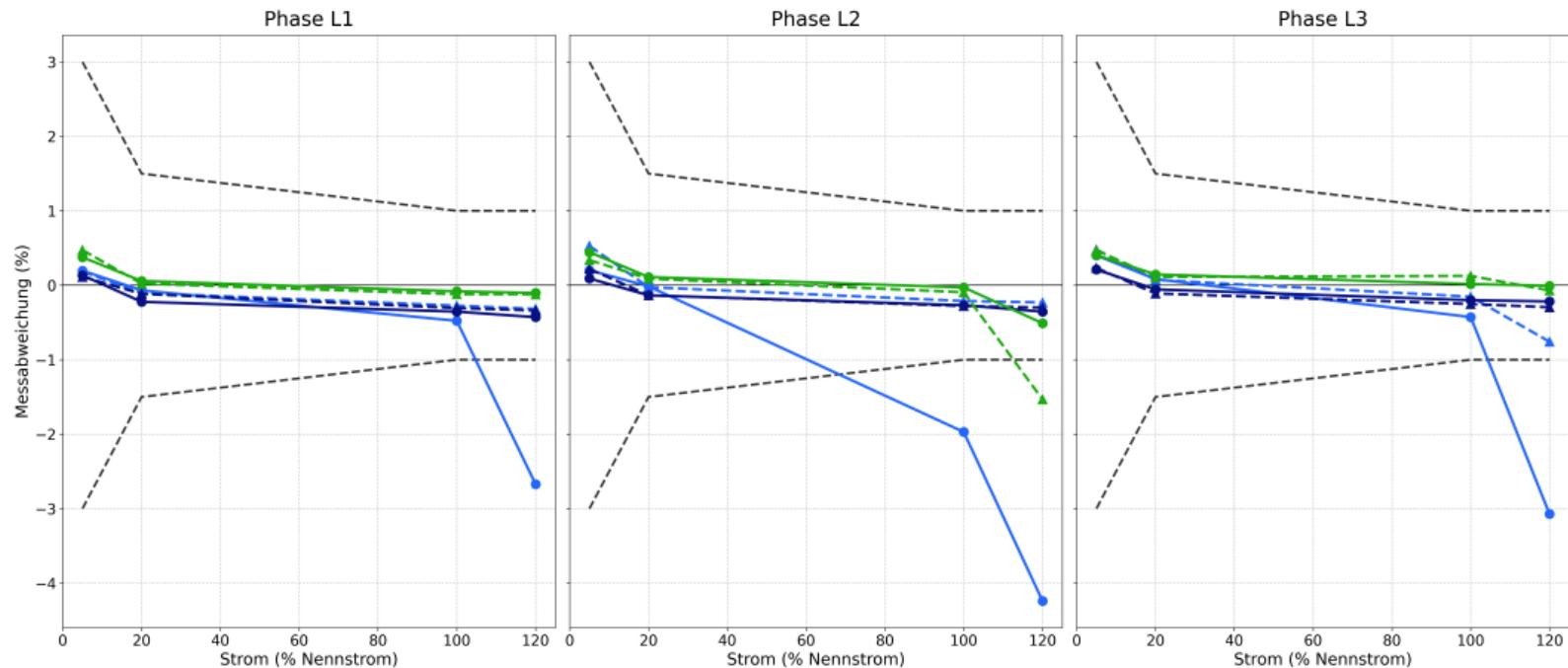
Ich stehe nun gerne für Ihre Fragen zur Verfügung.

Anhang

Anhang: Zusammenfassung 2000 A



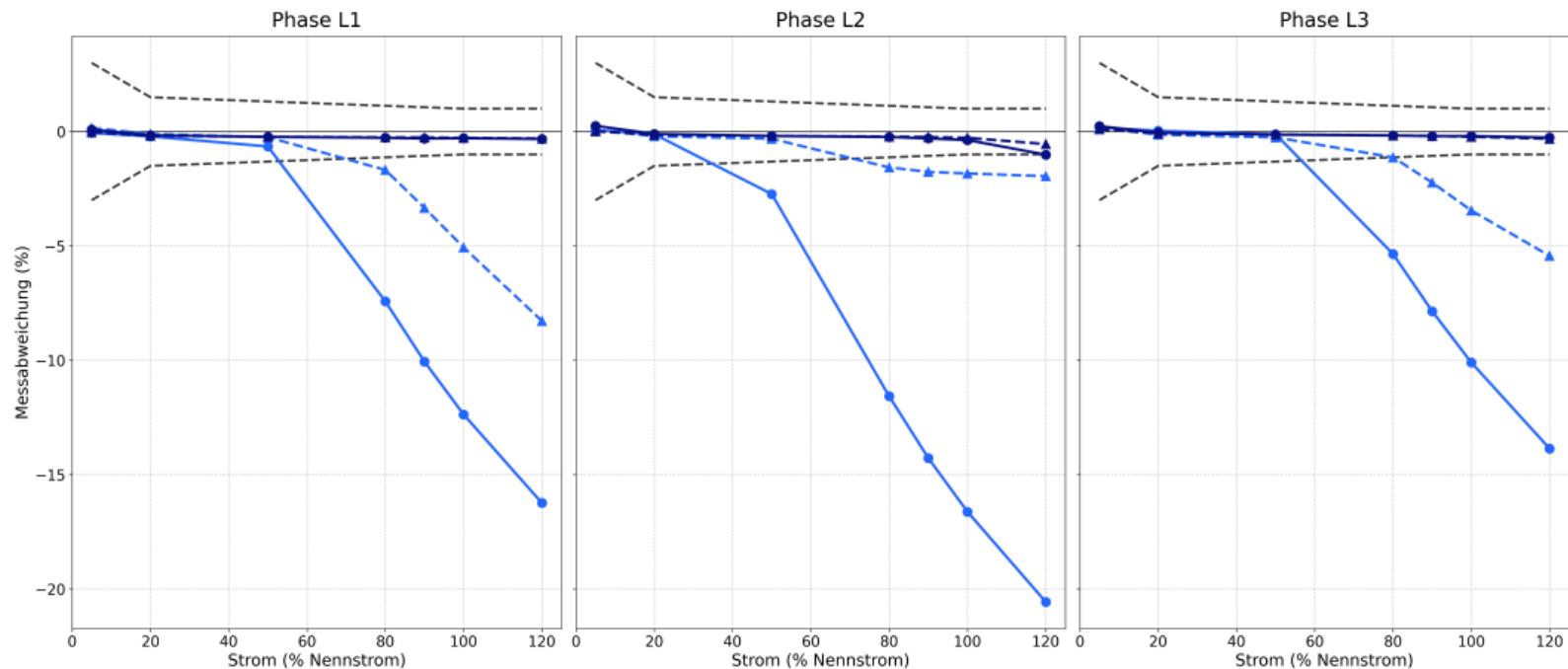
Genaugkeitsmessung bei 2000 A (Klasse 1.0)



Anhang: Zusammenfassung 2500 A



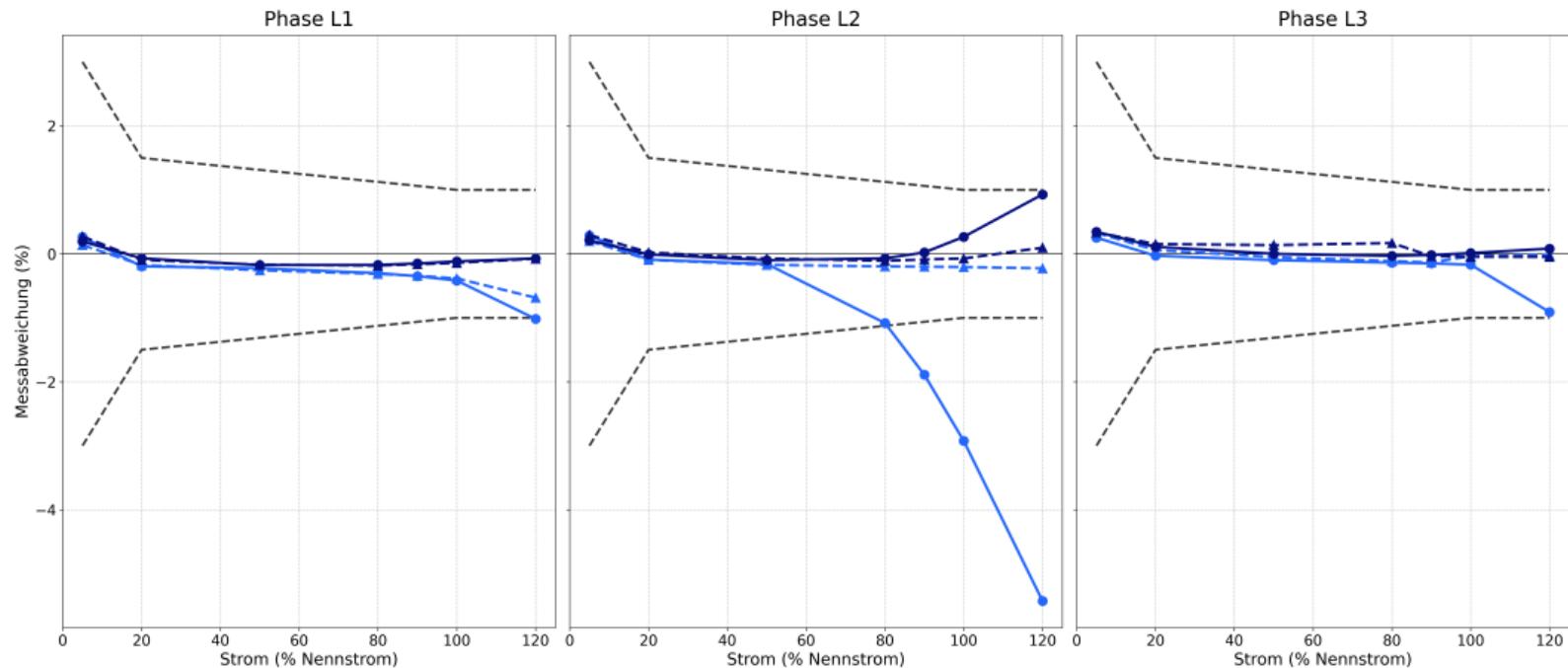
Genauigkeitsmessung bei 2500 A (Klasse 1.0)



Anhang: Zusammenfassung 3000 A



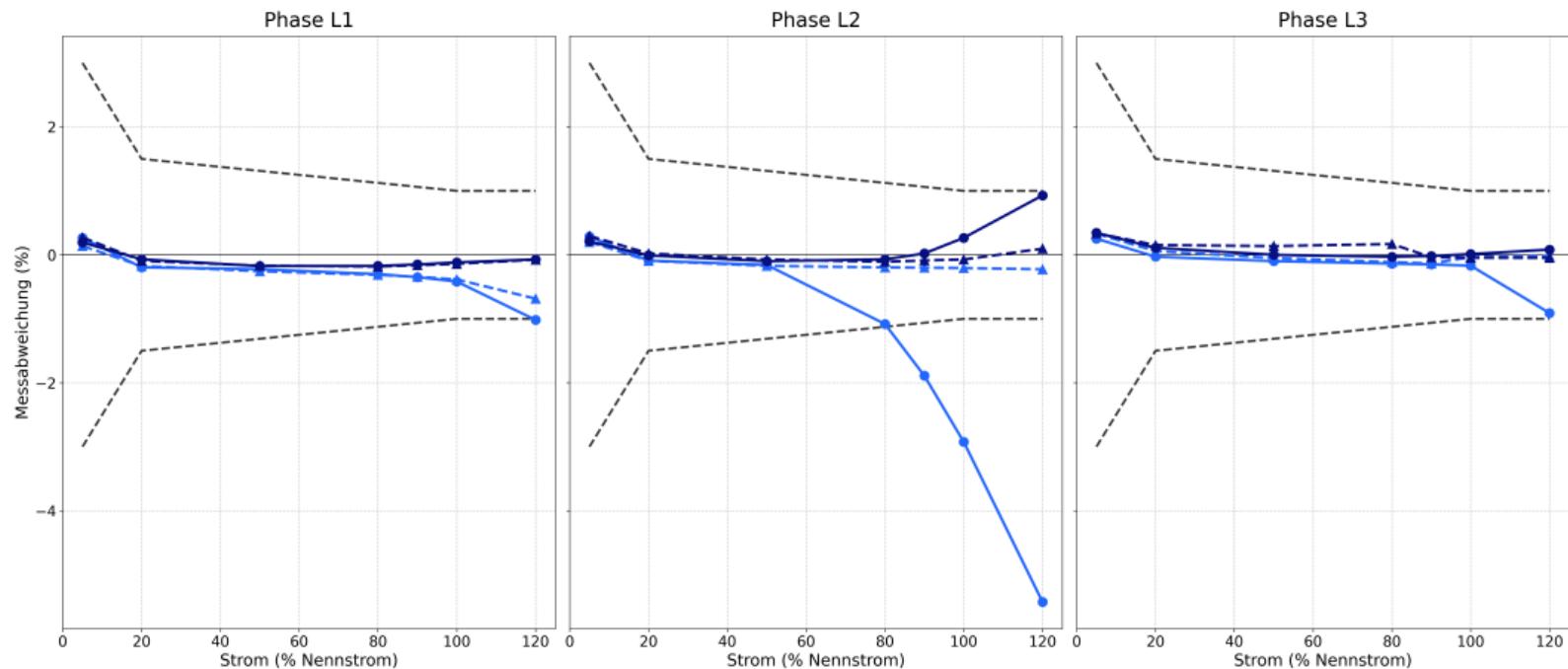
Genaugkeitsmessung bei 3000 A (Klasse 1.0)



Anhang: Zusammenfassung 3000 A Bürde



Genaugkeitsmessung bei 3000 A (Klasse 1.0)



Anhang: Zusammenfassung 4000 A



Genaugkeitsmessung bei 4000 A (Klasse 1.0)

