



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

00:30

Begrüßung: Herzlich willkommen zur Präsentation meines Kolloquiums.
Mein Name ist Oliver-Luca Schmidt.

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
- ▶ Grundlagen der Arbeit
- ▶ Messergebnisse 3000 A
- ▶ Messergebnisse 4000 A
- ▶ Definition der Vergleichsmetriken
- ▶ Gesamtvergleich und Effizienz

Wichtig / Note 1

- Übersicht des Vortrags
- Roter Faden

Zeitplanung

04:30
bis
05:00

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

Herausforderung Kompaktbauweise

- ▶ Minimale Abstände zwischen Hochstromschienen und Wandlern
- ▶ **Folge** Signifikante Messabweichungen durch magnetische Fremdfelder
- ▶ **Ziel** Findung einer technisch robusten und kosteneffizienten Lösung



Frontansicht der Anlage

Kolloquium

Wichtig / Note 1

- Bild: Enge zeigen
- Folge: Abweichung
- Ziel: Günstige Lösung

Zeitplanung
01:30
bis
02:15

Problemstellung – Messabweichung

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

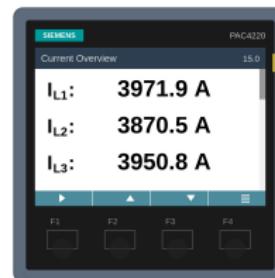
Grenzwert: Klasse 1

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

Wichtig / Note 1

- L₂: -3,2 % Fehler
- System verzerrt

Zeitplanung

02:15

bis

03:15

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)

$$P_{\text{Verlust}} = U_{\text{L-N}} \cdot \Delta I_{\text{L2}} \cdot \cos \varphi \cdot t$$

$\Delta I_{\text{L2}} = 130 \text{ A}$ bei 230 V (L-N)

- × Leistungsfaktor ($\cos \varphi = 0,9$)
- × Dauerlast (8760 h/a)
- × Strompreis (0,20 €/kWh)

$\approx 47 \text{ 000 } \text{€} / \text{Jahr}$

Wichtig / Note 1

- 130 A Untererfassung
- 47k€ Differenz

03:15

bis

04:00

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 Standardwandlern und kompensierten Spezialwandlern
- ▶ Prüfung konstruktiver Maßnahmen (Leitergeometrie / FFP)
- ▶ Ableitung von Handlungsempfehlungen für die Neukonstruktion

Kolloquium

Wichtig / Note 1

- Leitfrage
- Vergleich & Empfehlung

Zeitplanung

04:00

bis

04:30

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

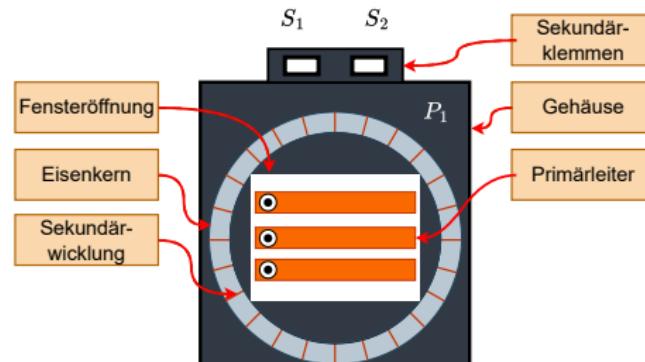
Vorgehen: Dazu analysiere ich die Fehler im System systematisch vergleiche verschiedene Wandlertechnologien und prüfe geometrische Anpassungen.

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

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

Kolloquium

Wichtig / Note 1

- Transformator-Prinzip
- Schutzfunktion

Zeitplanung

05:00

bis

05:45

Aufbau: Bei diesen Aufsteckstromwandlern fungiert die durchgeführte Kupferschiene direkt als Primärwicklung.

Funktion: Der Eisenkern bündelt den magnetischen Fluss um den Leiter und induziert einen proportionalen Sekundärstrom für die Messgeräte.

Sicherheit: Eine wesentliche Aufgabe ist dabei die galvanische Trennung um die empfindliche Messtechnik vom Hochstromnetz zu isolieren.

Lösungsansatz: Kompensierte Wandler

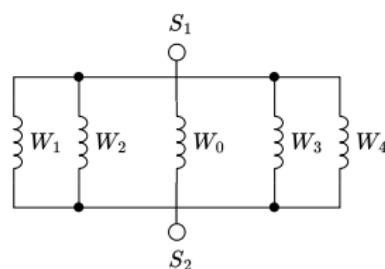
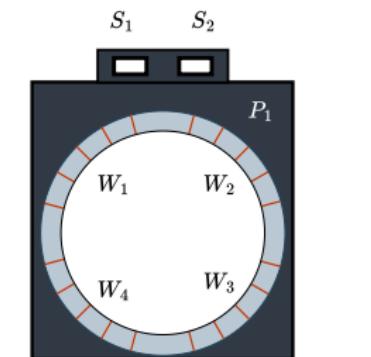
Funktionsprinzip

- ▶ Zusätzliche Wicklungen auf dem Eisenkern
- ▶ Erzeugung eines magnetischen Gegenfeldes
- ▶ Aktive Korrektur des Fehlers

Vor- und Nachteile

- ▶ Deutliche Reduktion der Sättigung
- ▶ **Nachteil** Teuer & mehr

Kolloquium



Wichtig / Note 1

- Gegenfeld erzeugen
- Aber: Teuer & Groß

Zeitplanung
05:45
bis
06:30

Lösungsansatz: Fremdfeld-Protektion (FFP)

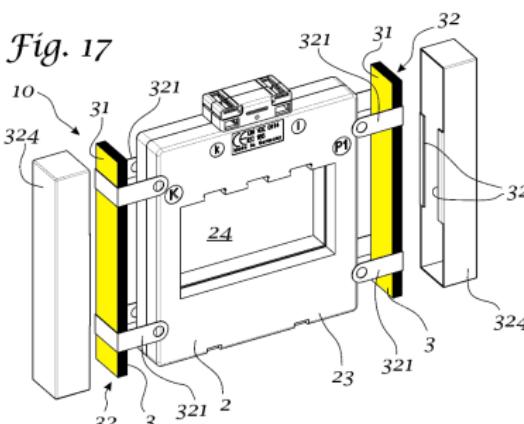
Konstruktive Optimierung

- ▶ 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

06:30
bis
07:15

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.



Physikalisches Problem: Fremdfeldeinfluss

Ursache: Räumliche Nähe

- ▶ Starke Magnetfelder der Nachbarleiter koppeln ein

Wirkung: Partielle Sättigung

- ▶ Nutzfluss + Störfluss = Sättigung im Eisen
- ▶ Permeabilität μ_r sinkt

Resultat Der Sekundärstrom sinkt, die Messung zeigt zu wenig an.

Wichtig / Note 1

- Sättigung des Kerns
- Messwert sinkt

Zeitplanung

07:15
bis
08:00

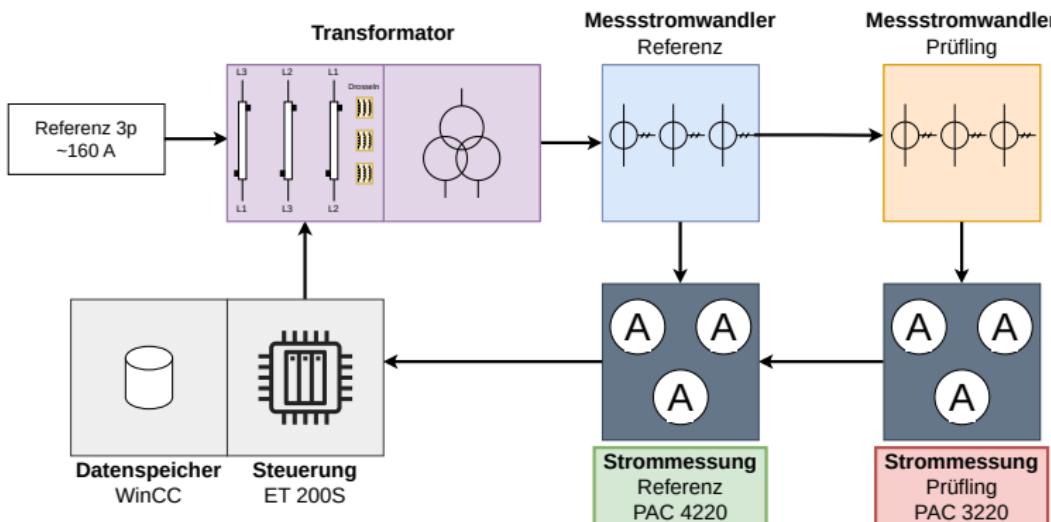
Ursache: Durch die räumliche Nähe koppeln die starken Magnetfelder der benachbarten Leiter ungewollt in den Wandler ein.

Sättigung: Die Summe aus Nutzfluss und Störfluss treibt den Eisenkern in die partielle Sättigung wodurch die Permeabilität sinkt.

Resultat: Das Eisen leitet den magnetischen Fluss schlechter weshalb der Sekundärstrom einbricht und wir zu wenig messen.

Versuchsaufbau: Hochstrom-Prüfstand

Schematischer Aufbau der automatisierten Messstrecke



Wichtig / Note 1

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

Zeitplanung

08:00

bis

08:45

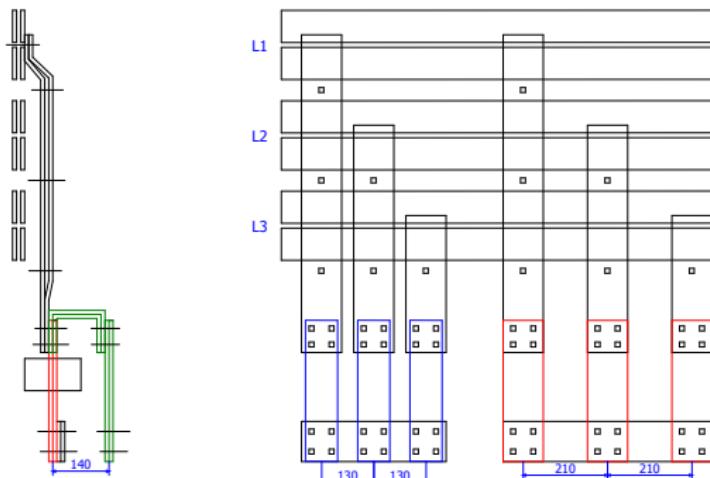
Aufbau: Hier sehen Sie das schematische Diagramm unseres automatisierten Hochstrom-Prüfstands für die Versuchsreihen.

Signalfluss: Wir speisen niederspannungsseitig ein und transformieren den Strom über Hochstromtrafos auf bis zu 4000 Ampere hoch.

Vergleich: Das Kernstück ist die synchrone Messung zwischen dem Referenzgerät PAC 4220 und dem jeweiligen Prüfling PAC 3220.

Daten: Alle Messwerte werden zentral über Profinet erfasst und automatisch in WinCC archiviert um Ablesefehler sicher auszuschließen.

Konstruktive Maßnahme: Dreiecksanordnung

Realisierung der geometrischen Optimierung (Δ -Anordnung)

Wichtig / Note 1

- L2 versetzt (Dreieck)
- Symmetrische Abstände
- Feldkompensation

Zeitplanung

08:45

bis

09:30

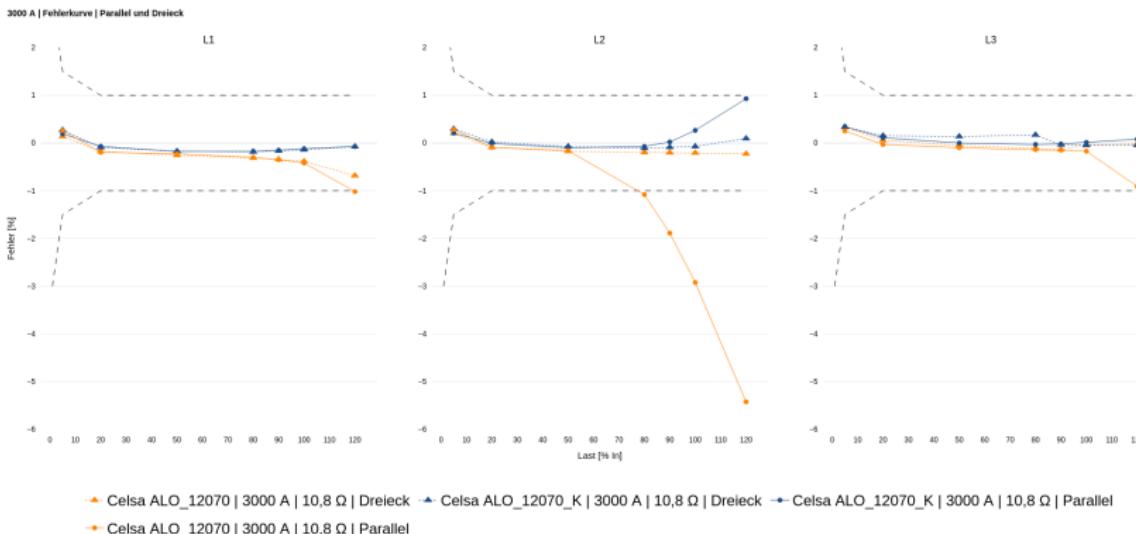
Realisierung: Dieses Foto zeigt die praktische Umsetzung der geometrisch optimierten Leiterführung direkt im Schaltschrank.

Konstruktion: Anstatt alle Schienen flach nebeneinander zu führen 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.

Kolloquium

Fehlerkurven bei 3000 A



Wichtig / Note 1

- Bunt (Parallel): Starke Spreizung
- Grau (Dreieck): Viel engeres Fehlerband
- Sättigung beginnt

Zeitplanung

10:00
bis
11:00

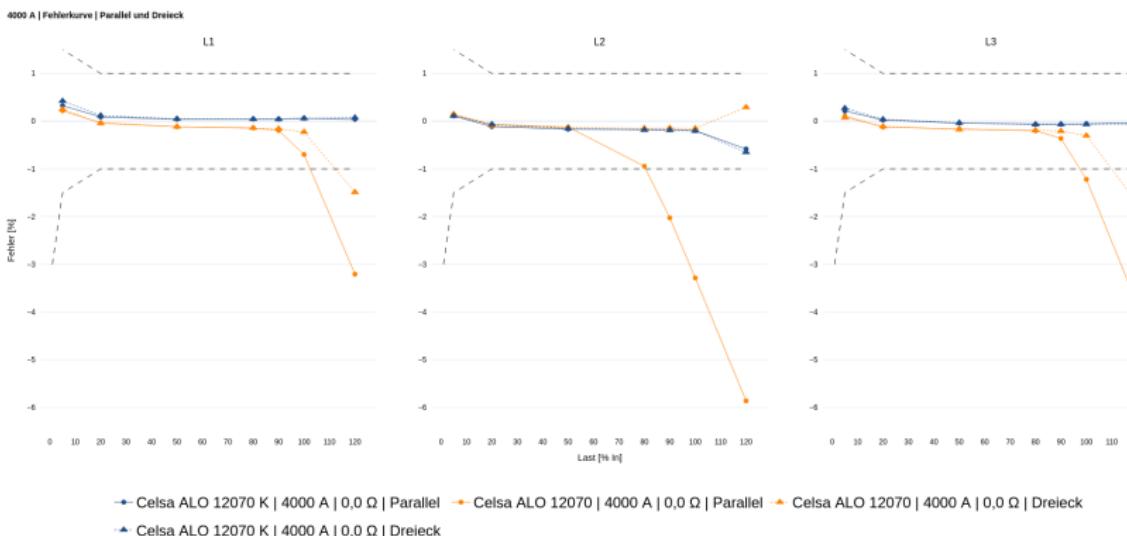
Szenario 3000 A - Fehlerverlauf: Hier sehen wir die Fehlerkurven bei 3000 Ampere.

Beobachtung: Die bunten Linien (Parallelanordnung) zeigen eine deutliche Spreizung zwischen den Phasen. Man sieht, wie der Fehler bei steigender Last (x-Achse) stark abfällt – ein Zeichen für beginnende Sättigung.

Vergleich: Die grauen Linien (Dreiecksanordnung) liegen deutlich enger beisammen und verlaufen stabiler. Die geometrische Optimierung wirkt hier bereits sehr gut.

Kolloquium

Fehlerkurven bei 4000 A (Kritischer Bereich)



Wichtig / Note 1

- 4000 A = Extremfall
- Parallel: Totalausfall (Absturz der Kurve)
- Dreieck: Hält noch stand

Zeitplanung

11:45
bis
12:45

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.

3. Wirtschaftlichkeit (%/€)

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

Technischer Gewinn normiert auf
Investitionskosten.

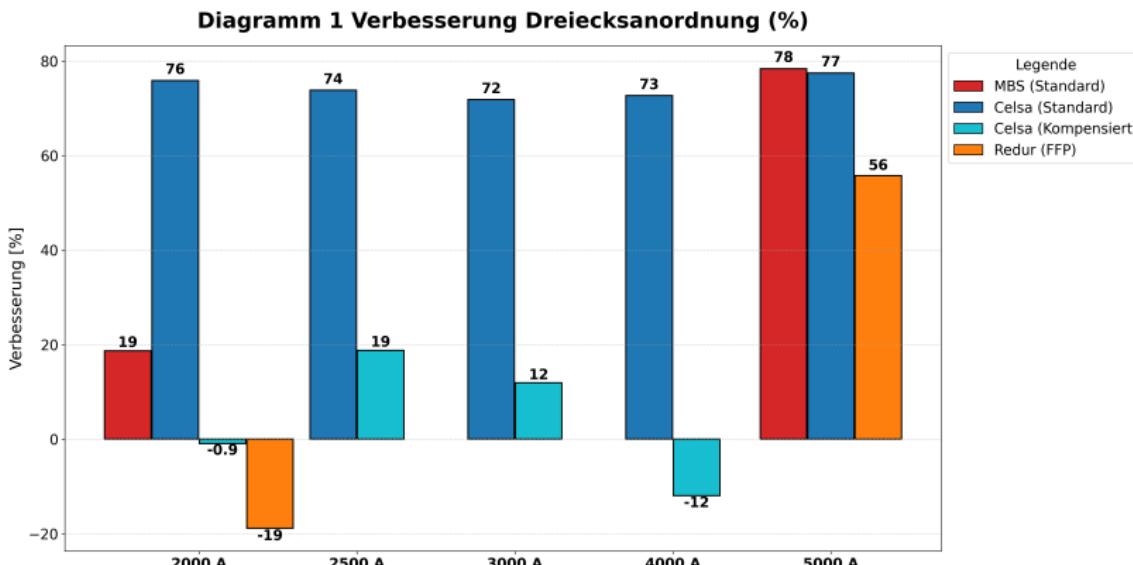
Wichtig / Note 1

- 4000 A = Extremfall
- Parallel: Totalausfall (Absturz der Kurve)
- Dreieck: Hält noch stand

[Hier den Notiz-Text von oben zusammengefasst einfügen]

Kolloquium

Verbesserung durch Dreiecksanordnung (in %)



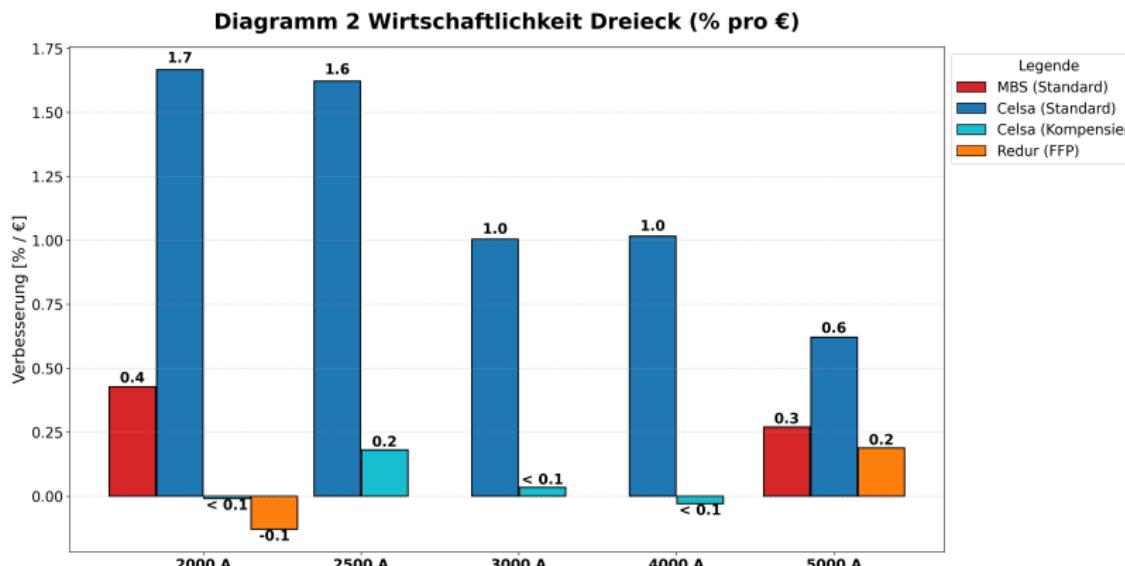
Wichtig / Note 1

- Zeigt: Wie viel % besser ist Dreieck als Parallel?
- 3000 A: Enorme Verbesserung (>90%)
- Standard-Wandler (Rot) profitieren am meisten

Zeitplanung

12:45
bis
13:30

Wirtschaftlichkeit der Geometrie (% pro €)



Wichtig / Note 1

- Verbesserung normiert auf den Preis
- Hohe Balken = Viel Leistung für wenig Geld
- Standard (Rot) schlägt High-Tech

Zeitplanung

13:30

bis

14:15

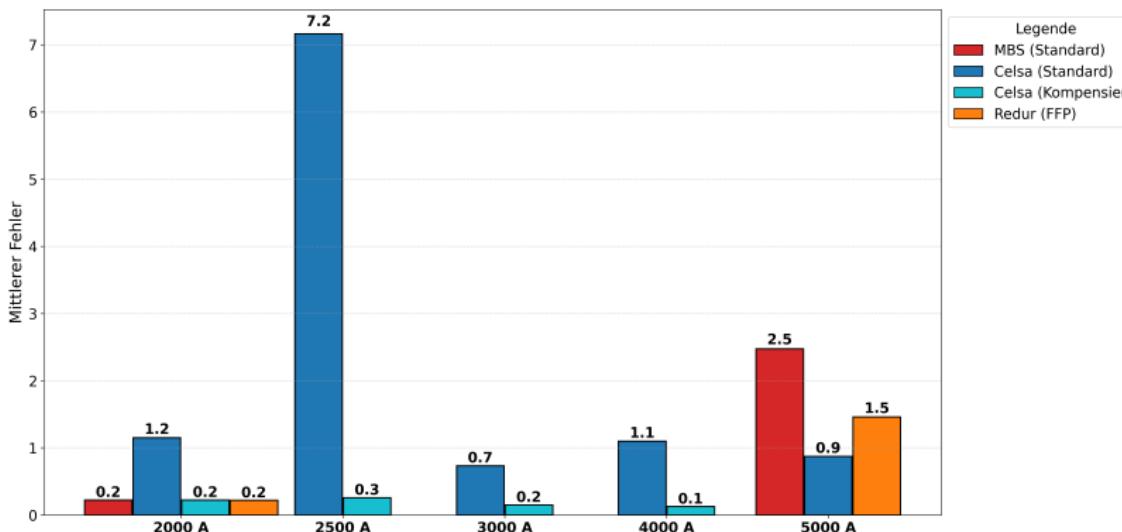
Ökonomischer Blick (Diagramm 2):

Wenn wir die Verbesserung in Relation zum Kaufpreis setzen, ändert sich das Bild.

Ergebnis: Da die Standard-Wandler (MBS, Rot) sehr günstig sind, ist ihr "Verbesserungs-Gewinn pro investiertem Euro extrem hoch. Die teuren FFP-Wandler (Orange) sind zwar technisch top, aber der relative Gewinn durch die Geometrie fällt kaufmännisch weniger ins Gewicht, da sie ohnehin schon teurer sind.

Technologie-Vergleich: Absoluter Fehler (Parallel)

Diagramm 4 Mittlerer Gesamtfehler (Parallel)



Wichtig / Note 1

- Vergleich der Technologien (Worst-Case Parallel)
- Rot (Standard): Fehler explodiert bei 2500/3000 A
- Orange (FFP): Konstant niedrig

14:15
bis
15:00

Technologischer Vergleich (Diagramm 4):

Abschließend der Blick auf die reinen Technologien in der kritischen Parallelanordnung.

Analyse: Man sieht deutlich, wie der Standard-Wandler (Rot) bei 2500 A und 3000 A massive Fehlerwerte aufweist. Im Gegensatz dazu bleibt der FFP-Wandler (Orange, ganz rechts in den Gruppen) fast über das gesamte Spektrum kaum sichtbar, also nahe Null.

Schlussfolgerung: Wer keine Geometrie-Optimierung vornehmen kann (Platzmangel), muss zu FFP oder kompensierten Wendlern greifen.



Zusammenfassung

Kolloquium

Wichtig / Note 1

- Vergleich der Technologien (Worst-Case Parallel)
- Rot (Standard): Fehler explodiert bei 2500/3000 A
- Orange (FFP): Konstant niedrig

Zeitplanung

14:15

bis

15:00



Ausblick

Kolloquium

Wichtig / Note 1

- Vergleich der Technologien (Worst-Case Parallel)
- Rot (Standard): Fehler explodiert bei 2500/3000 A
- Orange (FFP): Konstant niedrig

Zeitplanung

14:15

bis

15:00



Kolloquium

Vielen Dank

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Offene Fragen

Wichtig / Note 1

- Vergleich der Technologien (Worst-Case Parallel)
- Rot (Standard): Fehler explodiert bei 2500/3000 A
- Orange (FFP): Konstant niedrig

Zeitplanung

14:15

bis

15:00