



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

Kolloquium

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

Herausforderung: Auf dem Bild ist die hohe Packungsdichte der Anlage zu sehen bei der Hochstromschienen und Wandler auf engstem Raum verbaut sind.

Folge: Diese Nähe führt physikalisch dazu dass magnetische Fremdfelder einkoppeln und die Messergebnisse signifikant verfälschen.

Ziel: Mein Ziel ist es eine technisch robuste Lösung zu finden die diesen Einfluss minimiert und dabei wirtschaftlich bleibt.

Problemstellung – Messabweichung

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

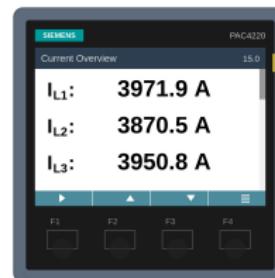
Grenzwert: Klasse 1

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 $\approx -0,704\%$
L2 $\approx -3,238\%$
L3 $\approx -1,230\%$

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

Zeitplanung

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.

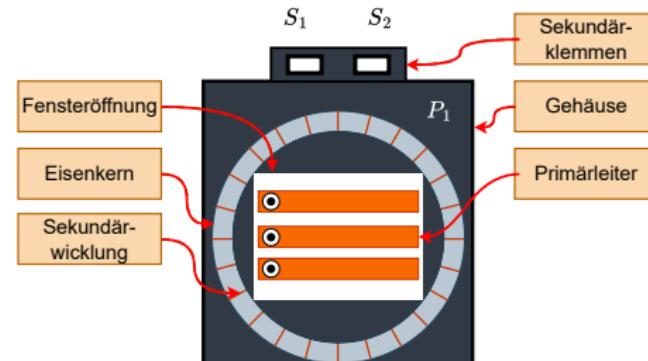
Vorgehen: Dazu analysiere ich die Fehler im System systematisch vergleiche verschiedene Wandlertechnologien und prüfe geometrische Anpassungen.

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

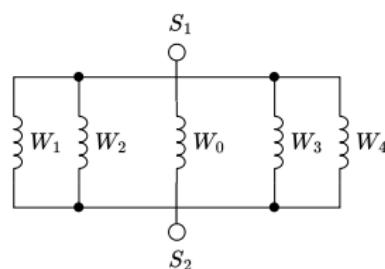
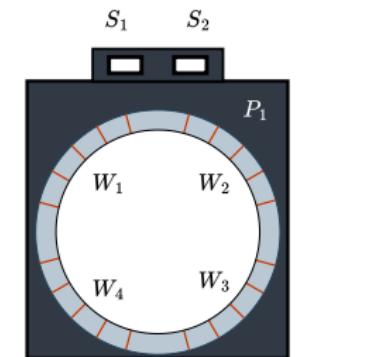
Funktionsprinzip

- ▶ 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)

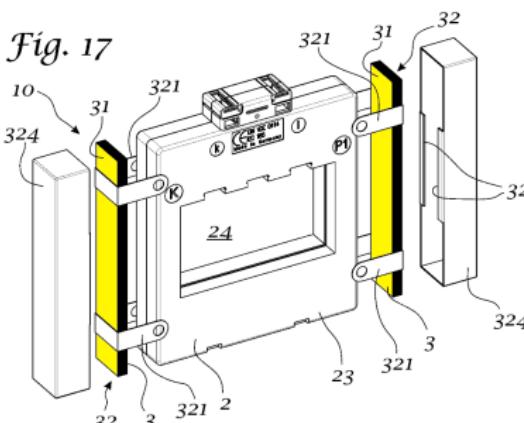
Konstruktive Optimierung

- ▶ 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



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

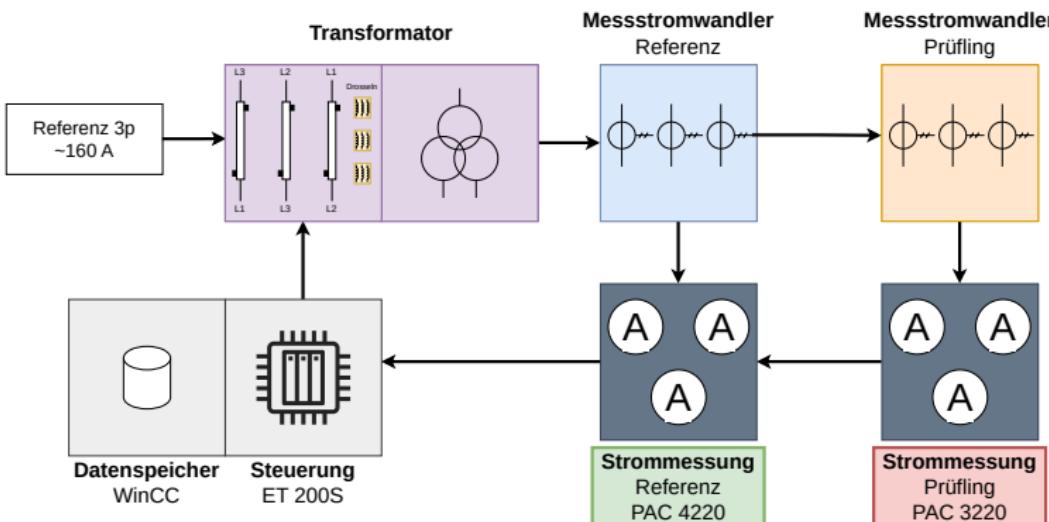
Ursache: Durch die räumliche Nähe koppeln die starken Magnetfelder der benachbarten Leiter ungewollt in den Wandler ein.

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

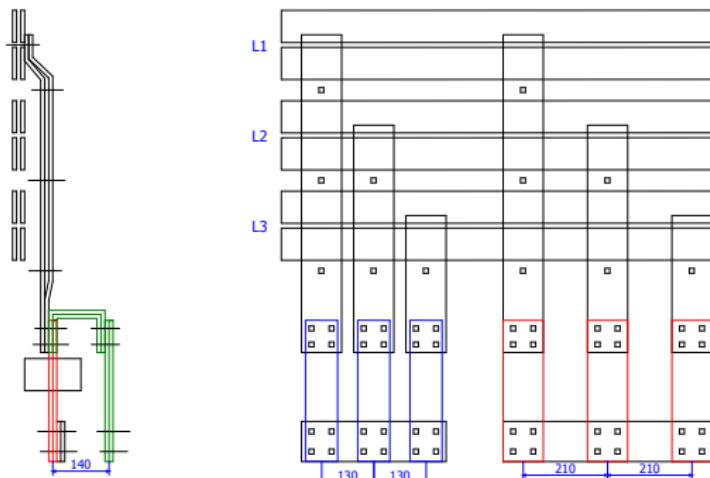
Aufbau: Hier sehen Sie das schematische Diagramm unseres automatisierten Hochstrom-Prüfstands für die Versuchsreihen.

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

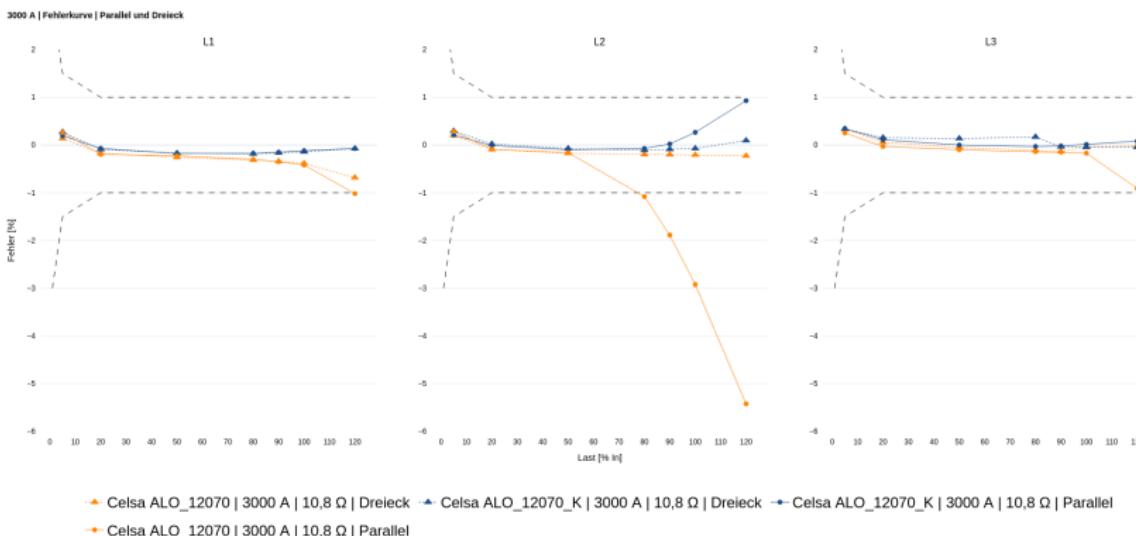
09:30

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.

Fehlerkurven bei 3000 A



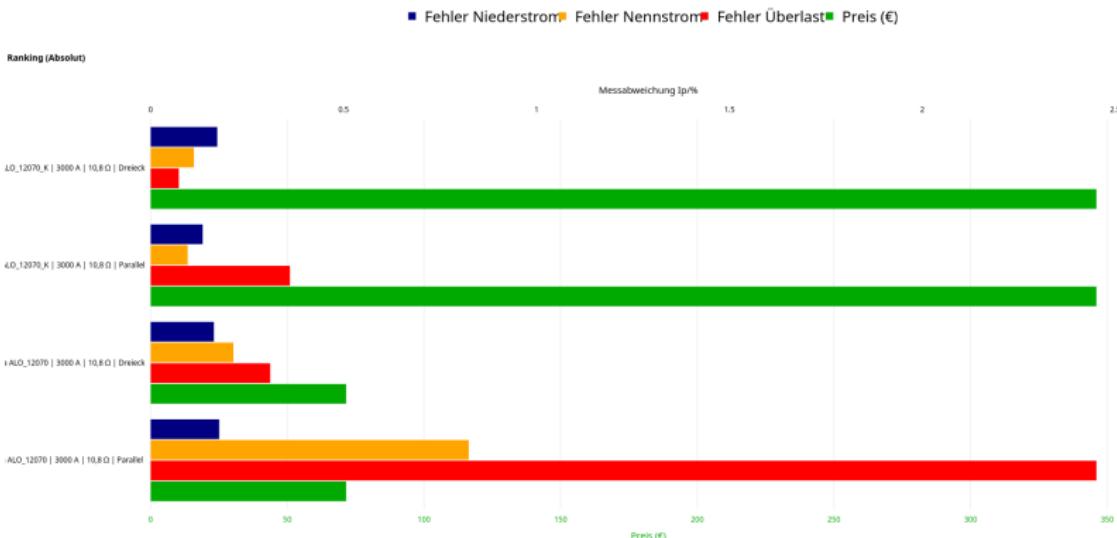
Wichtig / Note 1

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

Zeitplanung
10:00
bis
11:00

Kolloquium

Ökonomisches Ranking bei 3000 A



Wichtig / Note 1

- Preis vs. Fehler
- Parallel (Bunt): Hohe Fehler
- Dreieck (Orange/Gelb): Gutes P/L-Verhältnis

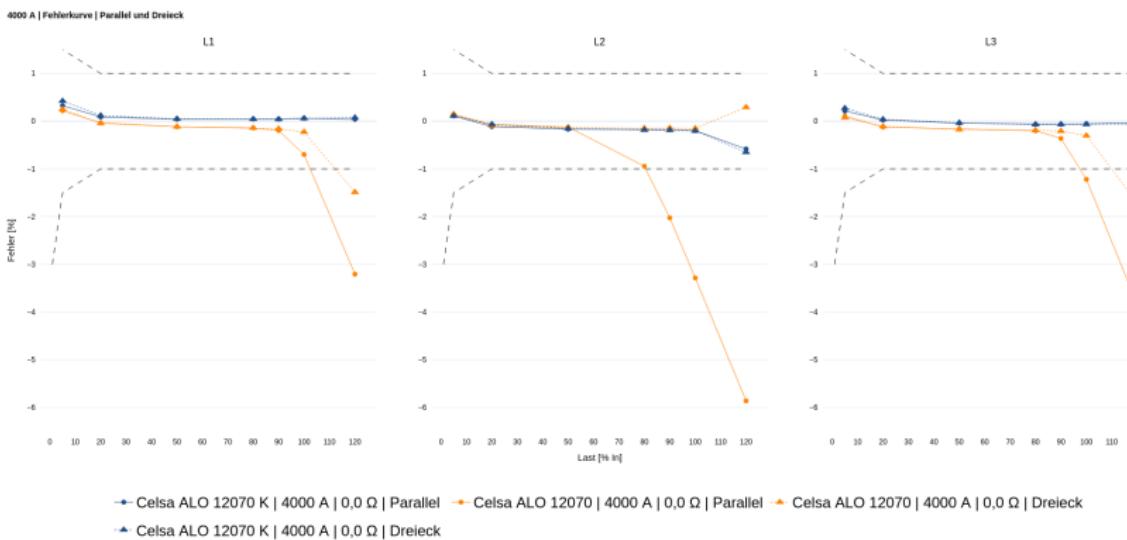
Zeitplanung

11:00
bis
11:45

Ranking 3000 A: Hier sind die Kosten (grüner Balken) gegen die Fehlerarten (bunt) aufgetragen.
Ergebnis: Während die Parallel-Varianten (ganz unten) zwar günstig sind, weisen sie sehr hohe Fehlerbalken auf (rot/orange). Die Dreiecksvarianten (oben) bieten hier den besten Kompromiss: Die Fehler sind minimal, ohne dass die Kosten so explodieren wie bei vollkompensierten Wandlern.

Kolloquium

Fehlerkurven bei 4000 A (Kritischer Bereich)



Wichtig / Note 1

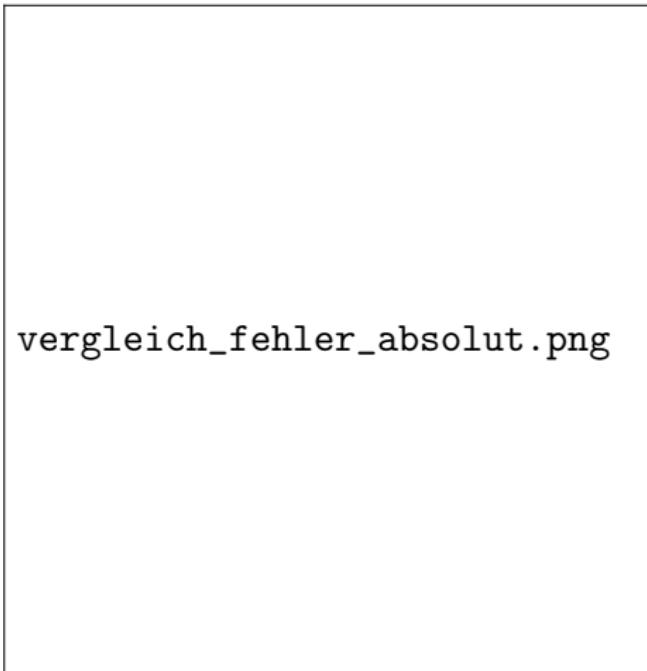
- 4000 A = Extremfall
- Parallel: Totalausfall (Absturz der Kurve)
- Dreieck: Hält noch stand

Zeitplanung

11:45
bis
12:45

Eskalation auf 4000 A: Bei 4000 Ampere sehen wir drastische Effekte.
Analyse: Achten Sie auf die orange Linie in der Mitte (Phase L2, Parallel). Der Fehler stürzt komplett ab auf unter -6%. Das ist messtechnisch ein Totalausfall. Selbst die Dreiecksanordnung (gestrichelt, grau/blau) kommt hier an ihre Grenzen, bleibt aber noch deutlich stabiler als die Standardanordnung.

Vergleich Gesamtfehler (Summe L1+L2+L3)



Kolloquium

Wichtig / Note 1

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

Zeitplanung

11:45

bis

12:45

Gesamtbetrachtung der absoluten Fehler

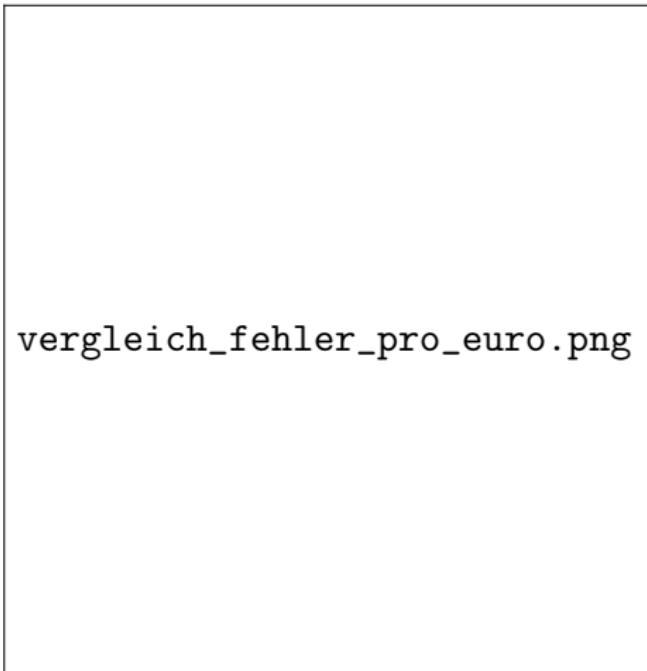
Die Grafik zeigt die aufsummierten Absolutbeträge der Fehler über alle Phasen

Auffälligkeiten Besonders bei 2500 A sticht der rote Balken der Standard-Parallel-Konfiguration hervor Dies deutet auf eine ungünstige Lastverteilung oder Sättigung hin

Vergleich Die blauen und grünen Balken (Kompenziert und FFP) bleiben über den gesamten Bereich niedrig Die geometrische Anordnung allein (rosa) bringt bereits eine Verbesserung



Ökonomische Bewertung (Fehler pro Euro)



Kolloquium

Wichtig / Note 1

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

Normierung auf die Kosten

Hier wird der Fehler ins Verhältnis zum Preis gesetzt Ein niedriger Balken bedeutet viel Präzision für das investierte Geld

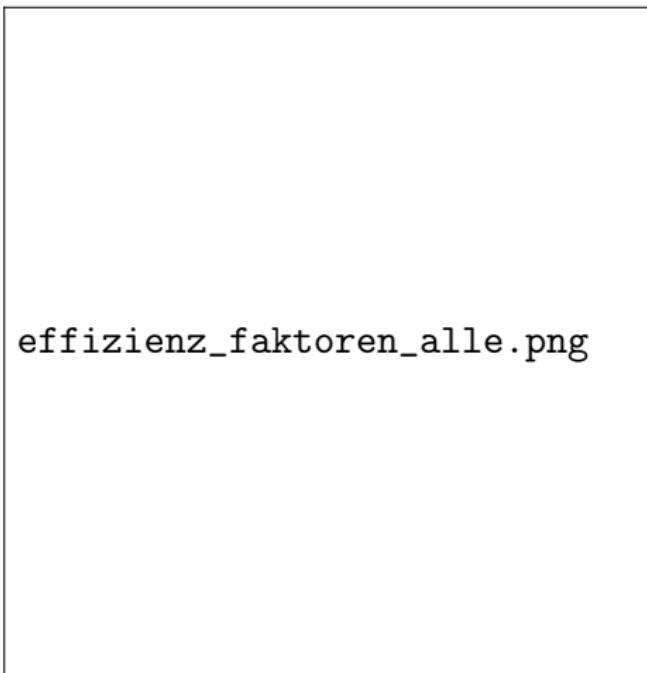
Ergebnis Trotz höherer Anschaffungskosten schneiden die kompensierten Varianten oft besser ab Der hohe Fehler der Standard-Variante bei 2500 A verschlechtert das Preis-Leistungs-Verhältnis deutlich

11:45

bis

12:45

Effizienz-Steigerung gegenüber Standard Parallel



Kolloquium

Wichtig / Note 1

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

Zeitplanung

11:45

bis

12:45

Verbesserungsfaktor

Dieses Diagramm zeigt, um welchen Faktor die anderen Methoden besser sind als der Standard

Highlights Bei 2500 A und 4000 A erreichen die technischen Kompen-sationen (blaue Balken) sehr hohe Werte Faktoren von über 60 zeigen das Potential der Technik in kritischen Bereichen In unkritischen Bereichen (z B 5000 A) ist der Gewinn geringer



Zusammenfassung

Kolloquium

Wichtig / Note 1

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

Zeitplanung

11:45

bis

12:45



Ausblick

Kolloquium

Wichtig / Note 1

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

Zeitplanung

11:45

bis

12:45



Vielen Dank

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Offene Fragen

Wichtig / Note 1

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

Zeitplanung

11:45

bis

12:45