



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
- ▶ Fazit und Ausblick

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 $\pm 1\%$

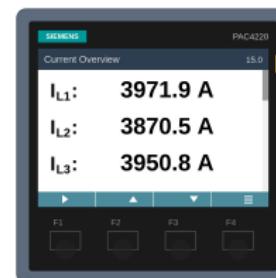
Grenzwert: Klasse 1

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 $\approx -0,704\%$
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)

$\approx 47 \text{ 000 € / Jahr}$

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.

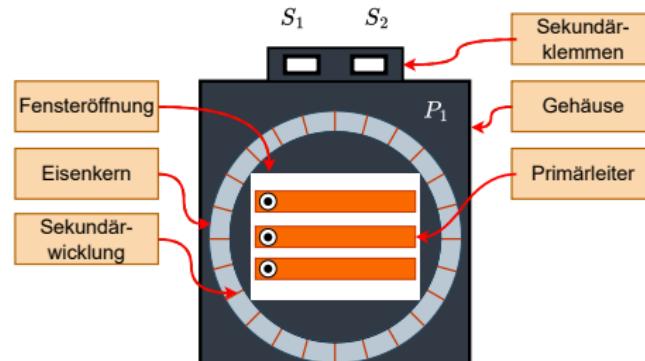
Vorgehen: Dazu analysiere ich die Fehler im System systematisch vergleiche verschiedene Wandlertechnologien und prüfe geometrische Anpassungen.

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

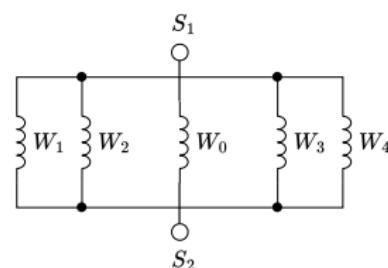
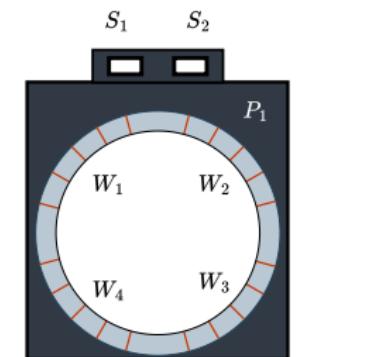
Funktionsprinzip

- ▶ 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

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)

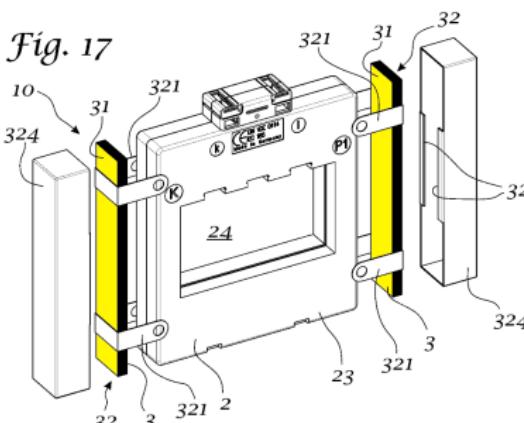
Konstruktive Optimierung

- ▶ 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

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

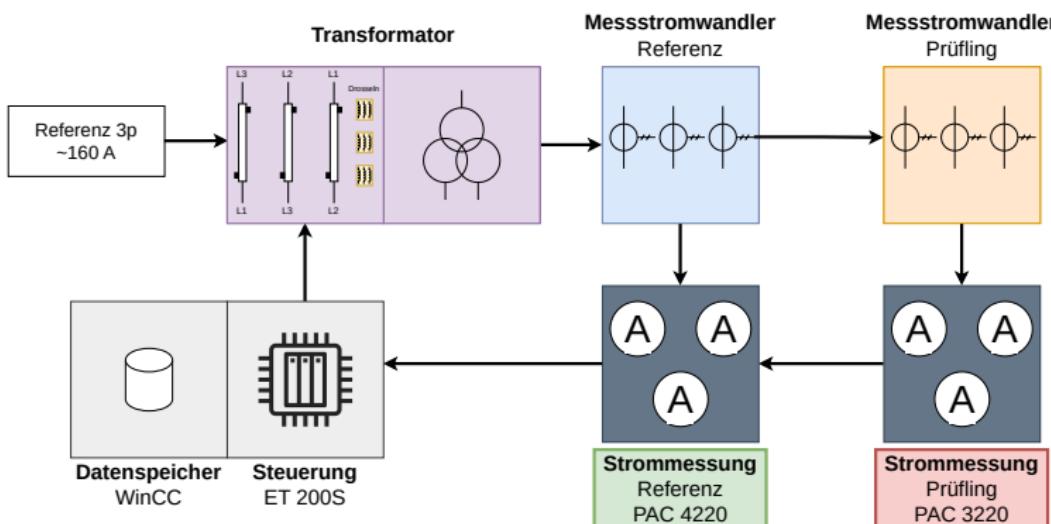
Ursache: Durch die räumliche Nähe koppeln die starken Magnetfelder der benachbarten Leiter ungewollt in den Wandler ein.

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

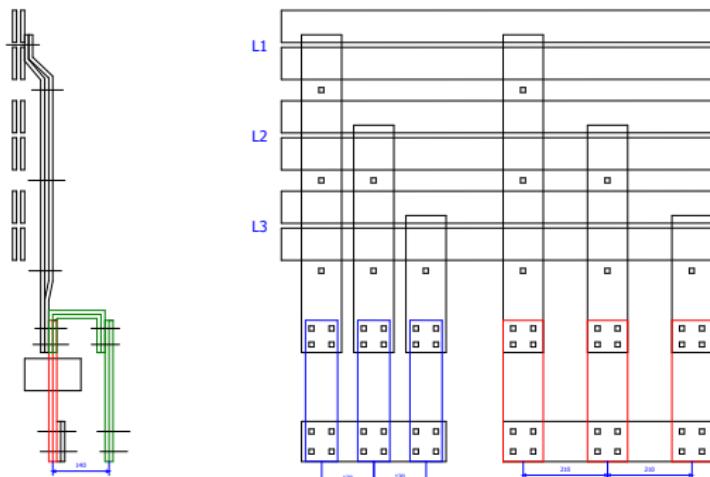
Aufbau: Hier sehen Sie das schematische Diagramm unseres automatisierten Hochstrom-Prüfstands für die Versuchsreihen.

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

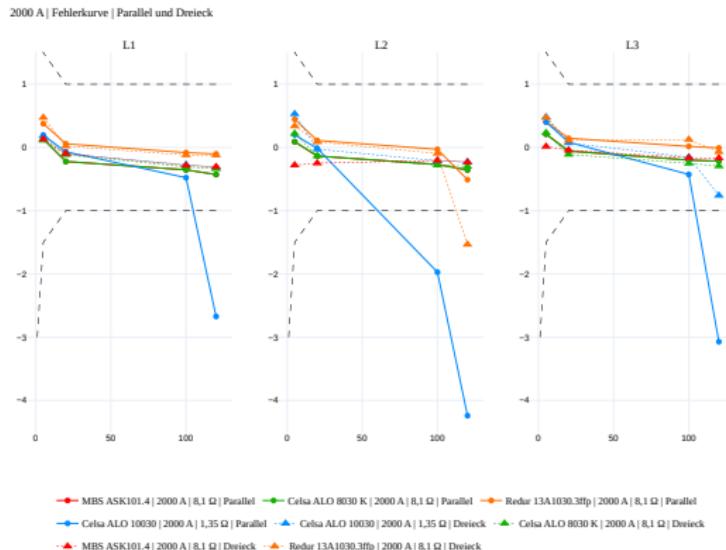
09:30

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.

Marktüberblick bei 2000 A



Kolloquium

Beobachtungen

- ▶ **Parallel (bunt):**
Starke Spreizung der Fehlerkurven.
- ▶ **Dreieck (grau):**
Fehlerband deutlich schmäler.
- ▶ **FFP (Redur):**
Zeigt bereits hier die stabilsten Werte.

Wichtig / Note 1

- Bunte Linien = Parallel (Schlecht)
- Graue Linien = Dreieck (Besser)
- FFP stabil

Zeitplanung

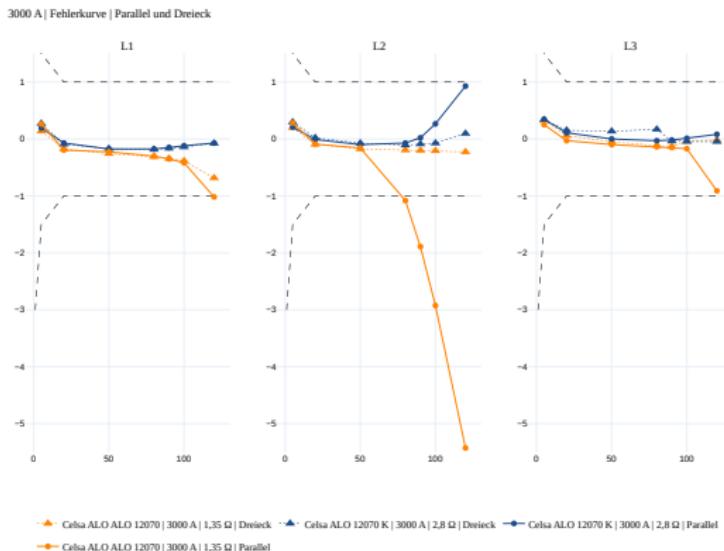
10:00
bis
11:00

Szenario 2000 A: Hier sehen wir den Überblick über verschiedene Hersteller bei 2000 Ampere.

Erkenntnis: Die bunten Linien zeigen die klassische Parallelanordnung. Man sieht hier schon eine deutliche Spreizung der Messfehler zwischen den Phasen.

Geometrie-Effekt: Sobald wir auf die Dreiecksanordnung wechseln (die grauen Linien), rücken die Fehlerkurven deutlich enger zusammen. Die rein geometrische Maßnahme zeigt also bereits Wirkung.

Validierung bei 3000 A



Entwicklung des Fehlers

- ▶ Sättigungseffekte nehmen zu.
- ▶ **Parallel:** Fehler wachsen überproportional an.
- ▶ **Dreieck:** Bleibt stabil, aber erste Anzeichen von Sättigung.

Wichtig / Note 1

- Trend setzt sich fort
- Sättigung beginnt früher
- Parallelanordnung kritisch

Zeitplanung

11:00

bis

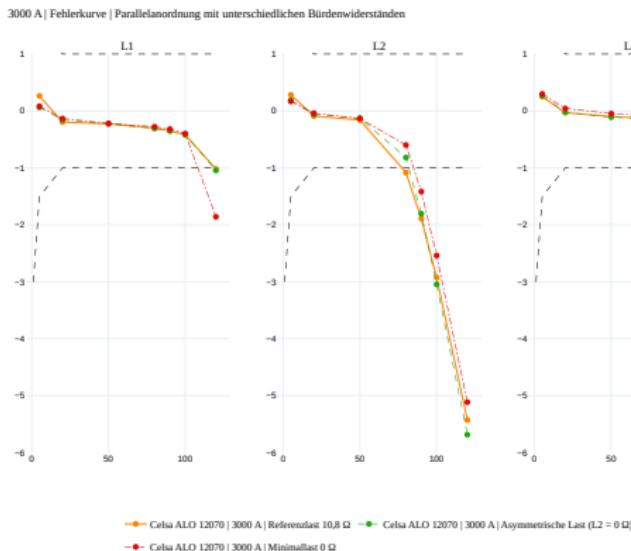
11:45

3000 Ampere: Bei Erhöhung des Stroms auf 3000 Ampere bestätigt sich der Trend.

Beobachtung: Die Fehler in der Parallelanordnung wachsen überproportional an, da der Eisenkern durch die stärkeren Fremdfelder früher in die Sättigung getrieben wird.

Zwischenfazit: Die Dreiecksanordnung hält das System noch stabil, aber wir nähern uns den Grenzen der Standardtechnik.

Spezialuntersuchung: Einfluss der Bürde (3000 A)



Kolloquium

Varianten der Sekundärlast

- ▶ **0 Ω :** Minimale Belastung (Idealfall).
- ▶ **Ref:** Nennbürde (Realfall).
- ▶ **Erkenntnis:** Hohe Bürde verschlechtert das Ergebnis signifikant (frühere Sättigung).

Wichtig / Note 1

- Test: Kabellänge/Querschnitt
- Hohe Bürde = Schlecht
- Niedrige Bürde hilft

Zeitplanung

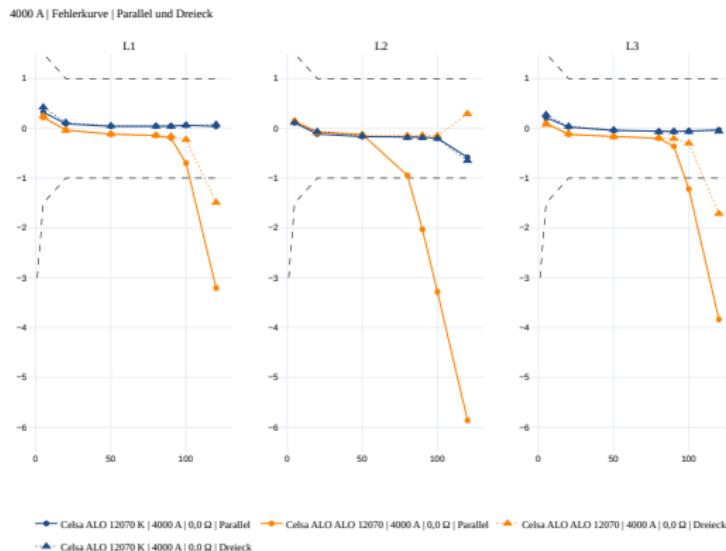
11:45
bis
12:30

Untersuchung: Hier habe ich geprüft, ob man durch Optimierung der Sekundärseite (z.B. kürzere Kabel oder größerer Querschnitt) den Fehler reduzieren kann.

Ergebnis: Die Kurven zeigen deutlich: Eine niedrige Bürde (nahe 0 Ohm) verzögert die Sättigung und verbessert das Messergebnis. Eine hohe Bürde verschlechtert es massiv.

Praxis: Das bedeutet für die Praxis: Leitungswege kurz halten und Querschnitte großzügig dimensionieren ist eine wirksame, flankierende Maßnahme.

Hochstrom-Szenario bei 4000 A



Kolloquium

Kritischer Bereich

- ▶ Standardwandler in Parallelanordnung versagen (Klasse 3).
- ▶ **Dreieck:** Bringt Verbesserung, reicht aber nicht für Kl. 0,5.
- ▶ **FFP:** Hält als einzige Lösung die Klasse 1 sicher ein.

Wichtig / Note 1

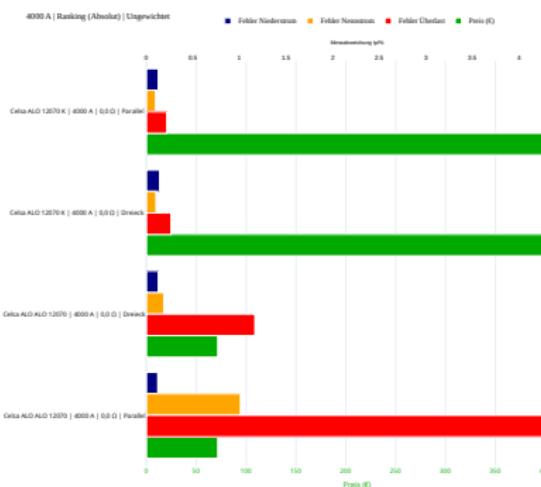
- 4000 A = Extrem
- Parallel = Totalausfall
- Nur FFP sicher

Zeitplanung

12:30
bis
13:30

Kolloquium

Kosten-Nutzen-Analyse (Ranking)



Datengrundlage: Mittelwert der Messabweichung ε über drei Lastbereiche:
Niederstrom ($< 20\% I_n$), Nennstrom ($20 \dots 120\% I_n$) und Überlast ($> 120\% I_n$).

Wichtig / Note 1

- Ziel: Unten Links (Günstig & Gut)
- X-Achse = Mittlerer Fehler
- Sieger: Celsa Dreieck

Zeitplanung

13:30
bis
14:30

Entscheidungsgrundlage: Zum Abschluss habe ich die technischen Fehlerwerte in einen wirtschaftlichen Kontext gesetzt.

Methodik: Auf der X-Achse sehen Sie den **mittleren Fehler** über den gesamten Arbeitsbereich. Auf der Y-Achse den Preis.

Ziel: Wir suchen eine Lösung im Bereich "Links Unten" – also minimaler Fehler bei minimalen Kosten.

Ergebnis: Es zeigt sich klar: Die Celsa-Lösung in **Dreiecksanordnung (Grau)** bietet hier das Optimum. Sie hält die Klasse 1 ein und kostet nur einen Bruchteil der vollkompensierten Systeme.



Zusammenfassung

Kolloquium

Wichtig / Note 1

- Ziel: Unten Links (Günstig & Gut)
- X-Achse = Mittlerer Fehler
- Sieger: Celsa Dreieck

Zeitplanung

13:30

bis

14:30



Ausblick

Kolloquium

Wichtig / Note 1

- Ziel: Unten Links (Günstig & Gut)
- X-Achse = Mittlerer Fehler
- Sieger: Celsa Dreieck

Zeitplanung

13:30

bis

14:30



Kolloquium

Vielen Dank

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Offene Fragen

Wichtig / Note 1

- Ziel: Unten Links (Günstig & Gut)
- X-Achse = Mittlerer Fehler
- Sieger: Celsa Dreieck

Zeitplanung

13:30

bis

14:30