

## 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  
01:00

**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

Wichtig / Note 1

- Übersicht des Vortrags
- Roter Faden
- Von der Theorie zur Praxis

Zeitplanung

01:00

bis  
01:30

**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

Wichtig / Note 1

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

Zeitplanung

01:30

bis

03:00

**Zum Bild (Herausforderung Kompaktbauweise):** Wie Sie an der Frontansicht der Anlage sehen, ist die Packungsdichte extrem hoch. Wir haben hier kaum Spielraum.

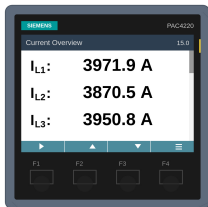
**Minimale Abstände:** Das führt physikalisch dazu, dass die Hochstromschienen und die Messwandler auf engstem Raum nebeneinander liegen.

**Folge (Messabweichungen):** Die direkte Konsequenz daraus ist, dass die starken Magnetfelder der Nachbarleiter in die Wandler einkoppeln und die Messung verfälschen.

**Ziel (Lösung):** Mein Ziel ist es daher, eine Lösung zu finden, die technisch robust misst, aber wirtschaftlich bleibt – also ohne die Kosten der Anlage unnötig in die Höhe zu treiben.

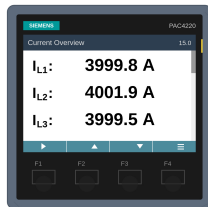
## Problemstellung – Messabweichung

### Vergleich bei 4000 A Primärstrom – Symmetrische Last



#### Prüfling (Beeinflusst) Kl. 1,0

L1:  $\approx -0,704 \%$   
L2:  $\approx -3,238 \%$   
L3:  $\approx -1,230 \%$



#### Referenz (Sollwert) Kl. 0,2S

L1:  $-0,005 \%$   
L2:  $0,047 \%$   
L3:  $-0,012 \%$

Wichtig / Note 1

- Vergleich Soll/Ist
- L2: -3,2
- System verzerrt

Zeitplanung

03:00

bis  
04:00

**Vergleich bei 4000 A:** Schauen wir uns die konkreten Zahlen an. Rechts sehen Sie die Referenzmessung: Das System ist perfekt symmetrisch belastet.

**Prüfling (Links):** Links sehen wir den beeinflussten Wandler im Schaltschrank.

**Abweichung L2:** Sofort fällt die Phase L2 auf. Hier fehlen uns über 3,2 Prozent des Stroms – das ist der Haupteffekt des Fremdfeldes.

**Abweichung L1/L3:** Aber auch die Außenleiter sind nicht immun. L1 und L3 zeigen ebenfalls Abweichungen zwischen 0,7 und 1,2 Prozent. Das gesamte System ist also verzerrt.

## Problemstellung – Wirtschaftliche Relevanz

## Analyse der Abweichung

- ▶ Fehlbetrag Phase L2:  $\Delta I \approx 130 \text{ A}$
- ▶ Relative Abweichung:  $\approx -3,25 \%$
- ▶ Kritisch für Netzschutz und Verrechnung

## Beispielrechnung (pro Abgangsfeld)

$$\begin{array}{l} \Delta I_{L2} = 130 \text{ A bei } 230 \text{ V} \\ \times \text{ Leistungsfaktor } (\cos \varphi = 0,9) \\ \times \text{ Dauerlast (8760 h/a)} \\ \times \text{ Strompreis (0,20 €/kWh)} \\ \hline \approx \mathbf{47\,000 \text{ € / Jahr}} \end{array}$$

Wichtig / Note 1

- 130 A fehlen
- Rechnung: Dauerlast
- Ergebnis: 47k€ Verlust

Zeitplanung

04:00

bis  
05:00

**Fehlbetrag Phase L2:** Diese 3,2 Prozent klingen abstrakt, bedeuten aber konkret, dass uns rund 130 Ampere Messwert fehlen.

**Kritisch für Verrechnung:** Das ist besonders kritisch, wenn diese Messung für die Abrechnung genutzt wird.

**Beispielrechnung:** Rechnen wir das einmal konservativ hoch: Bei einer Dauerlast über das ganze Jahr und einem Strompreis von 20 Cent...

**Ergebnis (47.000 €):** ...kommen wir auf einen Fehlbetrag von 47.000 Euro. Und das gilt für ein einziges Abgangsfeld. Das wirtschaftliche Risiko ist also enorm.

## Zielsetzung der Arbeit

### Evaluation einer Lösung

- ▶ Findung einer technisch zuverlässigen und wirtschaftlichen Konfiguration
- ▶ Sicherstellung der Messgenauigkeit unter Fremdfeldeinfluss

### Untersuchungsschwerpunkte

- ▶ Systematische Analyse der Fehler im Drehstromsystem (L1, L2, L3)
- ▶ Vergleich von Standardwandlern und kompensierten Spezialwandlern
- ▶ Prüfung konstruktiver Maßnahmen durch Anpassung der Leitergeometrie
- ▶ Ableitung von Handlungsempfehlungen für die Neukonstruktion

Wichtig / Note 1

- Lösung finden
- Analyse Fehlerbild
- Vergleich der Wandler
- Empfehlung geben

Zeitplanung

04:30

bis

05:30

**Evaluation einer Lösung:** Der Kern meiner Arbeit ist es nun, eine Konfiguration zu finden, die technisch zuverlässig misst, aber wirtschaftlich bleibt.

**Systematische Analyse:** Dazu analysiere ich zunächst systematisch, wie sich der Fehler im Drehstromsystem verhält.

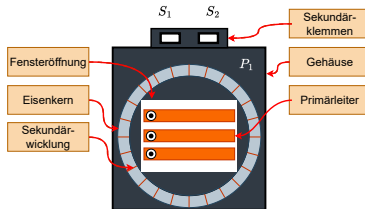
**Vergleich von Wandlern:** Ich untersuche: Brauchen wir zwingend teure, kompensierte Spezialwandler? Oder performen Standardwandler unter besseren Bedingungen ähnlich gut?

**Prüfung konstruktiver Maßnahmen:** Parallel dazu prüfe ich, ob wir das Problem konstruktiv lösen können, indem wir einfach die Leitergeometrie anpassen.

## Funktionsprinzip und Aufbau

### Aufgaben des Messstromwandlers

- ▶ Transformation hoher Primärströme auf normierte Signale (1 A / 5 A)
- ▶ Galvanische Trennung zum Schutz der Messgeräte
- ▶ Bündelung des magnetischen Flusses durch Eisenkern



Prinzipieller Aufbau eines  
Aufsteckstromwandlers

Wichtig / Note 1

Zeitplanung

05:30

bis  
06:15

**Zum Aufbau:** Wir sehen hier rechts den schematischen Aufbau eines Standard-Wandlers. Die Kupferschiene ( $P_1/P_2$ ) dient als Primärwicklung mit einer einzigen Windung.

**Zur Funktion:** Der Eisenkern (grau) bündelt den magnetischen Fluss um den Leiter und induziert in der Sekundärwicklung ( $S_1/S_2$ ) einen proportionalen, aber viel kleineren Strom.

**Das Ziel:** Das ermöglicht uns, Ströme von mehreren tausend Ampere sicher vom Hochpotenzial zu trennen und für die Messgeräte auf 1 oder 5 Ampere zu normieren.

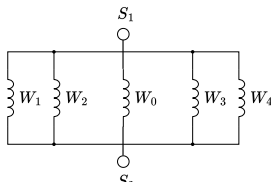
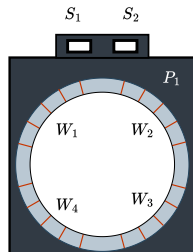
## Lösungsansatz: Kompensierte Wandler

### Funktionsprinzip

- ▶ Einsatz zusätzlicher Wicklungen auf dem Eisenkern
- ▶ Erzeugung eines magnetischen Gegenfeldes
- ▶ Aktive oder passive Korrektur des Übersetzungsfehlers

### Vor- und Nachteile

- ▶ Deutliche Reduktion der Sättigungseffekte
- ▶ Höherer konstruktiver Aufwand



Wichtig / Note 1

Zeitplanung

06:15

bis  
07:00

- Gegenfeld erzeugen
- Fehler minimieren
- Aber: Teuer & Groß

**Das Prinzip der Kompensation:** Eine technische Weiterentwicklung ist der kompensierte Wandler. Wie in der Grafik zu sehen, nutzen wir hier zusätzliche Wicklungen ( $W_3/W_4$ ), um ein magnetisches Gegenfeld zu erzeugen.

**Die Wirkung:** Dadurch wird der Arbeitspunkt des Kerns stabilisiert und Sättigungseffekte werden aktiv ausgeglichen. Der Wandler misst linearer.

**Der Nachteil:** Allerdings ist dieser Aufbau deutlich komplexer. Das treibt die Kosten und – was fast noch kritischer ist – den Platzbedarf im Schaltschrank in die Höhe.



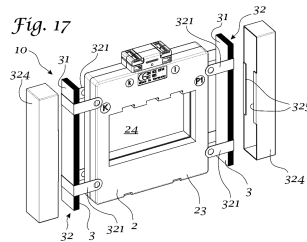
## Lösungsansatz: Fremdfeld-Protektion (FFP)

### Konstruktive Optimierung

- ▶ Gezielte Schirmung des Messkerns
- ▶ Umleitung der magnetischen Störfeldlinien
- ▶ Prinzip des magnetischen Nebenschlusses

### Zielsetzung

- ▶ Einhaltung der Genauigkeitsklasse 1 trotz enger Phasenabstände



Quelle: Patent DE102021106843A1

(Redur)

**Wichtig / Note 1**

- Schirmung als Umleitung"
- Schutz des Kerns
- Klasse 1 sichern

Zeitplanung

**07:00**

bis

**07:45**

**Die FFP-Technologie:** Eine Alternative ist die sogenannte Fremdfeld-Protektion (FFP). Das Bild rechts zeigt eine Patentschrift der Firma Redur dazu.

**Das Prinzip (Schirmung):** Hier wird der eigentliche Messkern durch spezielle Leitbleche (im Bild die äußeren Schalen) abgeschirmt. Diese wirken wie ein magnetischer Nebenschluss und leiten die Feldlinien der Nachbarleiter am Kern vorbei.

**Das Ziel:** Der innere Kern bleibt "bauber", gerät nicht in die Sättigung und soll so die Genauigkeitsklasse 1 auch bei engsten Abständen garantieren.

## Physikalisches Problem: Fremdfeldeinfluss

### Ursache: Räumliche Nähe

- ▶ Benachbarte Leiter erzeugen starke eigene Magnetfelder
- ▶ Diese Felder koppeln als **Störfluss** in den Wandlerkern ein

### Wirkung: Partielle Sättigung

- ▶ Der Störfluss addiert sich vektoriell zum Nutzfluss
- ▶ **Folge:** Der Kern gerät lokal in die magnetische Sättigung
- ▶ Die Permeabilität  $\mu_r$  sinkt  $\rightarrow$  Das Übertragungsverhältnis stimmt nicht mehr

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

Wichtig / Note 1

- Einkopplung von außen
- Kern ist „voll“ (Sättigung)
- Messwert sinkt ab

Zeitplanung

07:45

bis

08:30

**Der physikalische Hintergrund:** Warum brauchen wir diese Technologien? Wenn wir Standard-Wandler in der engen Anlage verbauen, durchdringen die Magnetfelder der Nachbarleiter den Kern.

**Der Mechanismus:** Der Eisenkern addiert den "Nutzfluss" und den SStörfluss". Ist die Summe zu groß, gerät das Eisen in die Sättigung.

**Die Folge:** In der Sättigung verliert der Kern seine Leitfähigkeit für das Magnetfeld ( $\mu_r$  sinkt). Er kann den Strom nicht mehr vollständig übertragen. Das Resultat ist genau der Einbruch, den wir bei Phase L2 gemessen haben.

## Normative Anforderungen (Klassen)

### Definition der Genauigkeit nach DIN EN 61869-2

- ▶ Einteilung der Wandler in Genauigkeitsklassen
- ▶ Klasse definiert die maximal zulässige Messabweichung

Klasse	Fehler bei Nennstrom
0,2 S	$\pm 0,2 \%$
0,5	$\pm 0,5 \%$
1	$\pm 1,0 \%$
3	$\pm 3,0 \%$

**Wichtig / Note 1**

- Normierung nach IEC
- Ziel: Klasse 1
- Fehlergrenzen definiert

Zeitplanung

08:30

bis  
09:15

**Bewertungsgrundlage:** Um in den folgenden Ergebnissen zu entscheiden, ob eine Lösung tauglich ist, brauchen wir einen Maßstab. Die Norm definiert hierfür feste Genauigkeitsklassen.

**Die Tabelle:** Wie wir sehen, darf ein Wandler der Klasse 1 bei Nennstrom maximal 1 Prozent abweichen.

**Mein Ziel:** Das ist der Benchmark für meine Arbeit: Schaffen es die Wandler unter Fremdfeldeinfluss, diese **Klasse 1** zu halten? Alles, was schlechter ist, ist für eine Verrechnungsmessung inakzeptabel.

## Fazit

- ▶ Fremdfelder verursachen relevante Messabweichungen
- ▶ Einhaltung von Mindestabständen notwendig
- ▶ Kompaktanlagen erfordern besondere Schirmung
- ▶ Bestätigung der theoretischen Vorüberlegungen
- ▶ Sensibilisierung für Einbaugeometrie wichtig

Wichtig / Note 1

- Normierung nach IEC
- Ziel: Klasse 1
- Fehlergrenzen definiert

Zeitplanung

08:30

bis

09:15



## Ausblick

- ▶ Untersuchung weiterer Kernmaterialien
- ▶ Simulation komplexer Schienensysteme
- ▶ Entwicklung aktiver Kompensationsmethoden
- ▶ Erweiterung auf höhere Frequenzen
- ▶ Langzeitmessungen im Realbetrieb

Wichtig / Note 1

- Normierung nach IEC
- Ziel: Klasse 1
- Fehlergrenzen definiert

Zeitplanung

08:30

bis  
09:15



Vielen Dank

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Offene Fragen

**Wichtig / Note 1**

- Normierung nach IEC
- Ziel: Klasse 1
- Fehlergrenzen definiert

Zeitplanung

**08:30**

bis

**09:15**



## Backup Folien

# Backup

Wichtig / Note 1

- Normierung nach IEC
- Ziel: Klasse 1
- Fehlergrenzen definiert

Zeitplanung

08:30

bis

09:15

## Detaillierte Spezifikationen

- ▶ Wandlerdaten Typ XYZ
- ▶ Genauigkeitsklasse 0.5
- ▶ Bürde 15 VA
- ▶ Nennstrom 1000 A

Wichtig / Note 1

- Normierung nach IEC
- Ziel: Klasse 1
- Fehlergrenzen definiert

Zeitplanung

08:30

bis

09:15



## Formelwerk

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H \quad (1)$$

- ▶ Berechnung der Flussdichte
- ▶ Biot Savart Gesetz für Leiterfelder

Wichtig / Note 1

- Normierung nach IEC
- Ziel: Klasse 1
- Fehlergrenzen definiert

Zeitplanung

08:30

bis  
09:15