

## 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 Oliver-Luca Schmidt
- Thema Stromwandler und Fremdfelder

## Zeitplanung

00:00

bis

01:00

**Begrüßung** Herzlich willkommen zur Präsentation meines Kolloquiums  
Mein Name ist Oliver Schmidt

**Thema** Das Kerntehma meiner Bachelorarbeit war die Analyse der Messabweichung von Messstromwandlern durch magnetische Fremdfelder Ich habe untersucht wie stark benachbarte Leiter die Messung in kompakten Schaltanlagen verfälschen

**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  
**Einleitung** Ich beginne mit der Motivation und der Problemstellung  
Daraus leite ich die Zielsetzung meiner Arbeit ab  
**Hauptteil** Anschließend gehe ich auf die theoretischen Grundlagen und den Versuchsaufbau ein Im Kernteil präsentiere ich die Messergebnisse und deren Analyse  
**Abschluss** Zum Schluss fasse ich die Erkenntnisse zusammen und gebe einen Ausblick

## Motivation

### Kontext der Energiewende

- ▶ Dezentralisierung erhöht Anforderungen an die Energieverteilung
- ▶ Niederspannungsschaltanlagen als zentrale Netzknoten
- ▶ Steigende Relevanz präziser Abrechnung und Netzstabilität

### Konstruktiver Zielkonflikt

- ▶ Wirtschaftliche Forderung nach kompakten Anlagen
- ▶ Hohe Packungsdichte der verbauten Komponenten
- ▶ Führung hoher Ströme auf engem Raum
- ▶ Räumliche Nähe von Sammelschienen und Messstromwandlern

**Wichtig / Note 1**

- Wandel der Anforderungen
- Platzmangel vs. Leistung
- Konflikt: Kompaktheit und Physik

Zeitplanung

**01:30**

bis

**03:00**

### Stichpunkte zur Motivation:

- Die Energiewende bringt neue Herausforderungen für die Verteilung
- Präzise Messwerte sind Geld wert (Abrechnung)
- Gleichzeitig müssen Anlagen immer kompakter und günstiger werden
- Das führt dazu, dass wir viel Strom auf wenig Raum haben
- Genau hier entsteht der Konflikt zwischen Baugröße und Messgenauigkeit

## Problemstellung

**L2: 130 A Messabweichung bei 4000 A**  
( $\approx -3,28\%$  – kritisch für Schutz und Abrechnung)

- ▶ **Beobachtung:** Die Messung der Phase L2 wird durch Fremdfelder benachbarter Leiter deutlich verfälscht
- ▶ **Ursache:** Kompakte Bauweise → Messstromwandler und Sammelschienen liegen **sehr nahe beieinander**
- ▶ **Beispiel (L2, 230 V):** ca. **47 000 €/a** mögliche Abrechnungsabweichung (bei 8760 h/a, 0,20 €/kWh)

## Wichtig / Note 1

- Fokus auf **L2**: In kompakter Schienenanordnung koppeln Fremdfelder stark ein → Messabweichung.
- Die Abweichung wirkt direkt auf **Energieverrechnung** und kann zudem Schutzorgane beeinflussen.

## Zeitplanung

**01:00**

bis

**02:00**

- **Überschlag (nur Phase L2):**  $\Delta I = 130 \text{ A}$ , 230 V,  $\cos \varphi \approx 0,9$
- **Leistungsdifferenz:** ca. 27 kW
- **Energie/Jahr:** bei 8760 h/a ca. 235 MWh/a
- **Kosten/Jahr:** bei 0,20 €/kWh ca. 47 000 €/a
- **Auswirkung:** Fehlerhafte Messwerte gefährden **Verrechnung**
- 47 000 €/a ist pro Feld.

## 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

- Standard vs. Spezial
- Geometrieoptimierung
- Wirtschaftlichkeit prüfen

Zeitplanung

06:00

bis

07:00

### Ziele:

- Es geht nicht nur um "Messung korrigieren", sondern um die beste Lösung
- Brauchen wir teure Spezialwandler? Oder reicht eine bessere Schienenführung?
- Ich vergleiche verschiedene Wandlertypen bei Strömen bis 5000 A
- Am Ende soll eine klare Empfehlung für die neue Anlagengeneration stehen

## Niederspannungsschaltanlagen

### Funktion und Aufbau

- ▶ Verteilung elektrischer Energie auf diverse Abgänge
- ▶ Kombination von Schutzfunktionen und Messaufgaben
- ▶ Modulare Anordnung von Einspeisung und Abgangsfeldern

### Einbausituation und Herausforderung

- ▶ Führung hoher Betriebsströme über Sammelschienen
- ▶ Ströme im Bereich von 900 bis 6000 A
- ▶ Entstehung magnetischer Störfelder durch kompakte Bauform
- ▶ Beeinflussung benachbarter Messstromwandler

**Wichtig / Note 1**

- Hohe Packungsdichte
- Starke Magnetfelder
- Kritische Messumgebung

Zeitplanung

02:00

bis

02:30

### Wichtig für diese Folie

- Die Anlage dient der Energieverteilung bis 1000 V
- Das Hauptsammelschienensystem verbindet die Felder
- Kompakte Bauweise führt zu geringen Abständen der Phasen
- Hohe Ströme erzeugen starke magnetische Felder
- Diese Felder koppeln in benachbarte Wandler ein

## Grundlagen Messstromwandler

- ▶ Transformation hoher Primärströme auf normierte Signale von 1,00 A oder 5,00 A
- ▶ Funktion als Bindeglied zwischen Hochstrombereich und Messtechnik
- ▶ Sicherstellung der galvanischen Trennung der Kreise
- ▶ Schutz der nachgelagerten Geräte vor hohem Potenzial

Wichtig / Note 1

- Transformatorisches Prinzip
- Sicherheit durch Trennung
- Normierung der Signale

Zeitplanung

02:30

bis

03:30

- Der Wandler transformiert hohe Wechselströme aus dem Primärnetz in kleine und messbare Ströme
- Er dient als Bindeglied zwischen der Primärenergie und den Schutzeinrichtungen
- Das physikalische Prinzip garantiert eine galvanische Trennung zwischen Primärkreis und Sekundärkreis
- Dies ermöglicht den gefahrlosen Anschluss von Standardmessgeräten
- Die Messtechnik wird so nicht dem hohen Potenzial des Primärleiters ausgesetzt

## Konstruktiver Aufbau

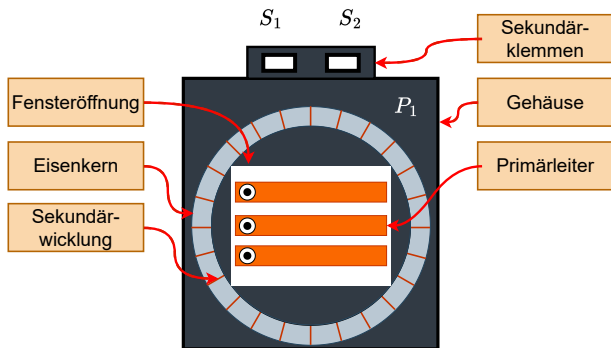


Abbildung: Schematischer Aufbau eines Aufsteckstromwandlers

Wichtig / Note 1

- Primärleiter als Einwindung
- Ringkern bündelt Fluss
- Sekundärwicklung

Zeitplanung

03:30

bis

04:30

- Die Kupferschiene dient als Primärleiter und entspricht einer Windungszahl von Eins
- Der Eisenkern bündelt den magnetischen Fluss und besteht oft aus Siliziumeisen
- Die Sekundärwicklung ist direkt auf den Ringkern aufgebracht
- Das Gehäuse gewährleistet die elektrische Isolation und den mechanischen Schutz
- Die Fensteröffnung definiert den maximalen Querschnitt der Stromschiene



## Physikalische Grundlagen Magnetfelder

### Entstehung und Ausbreitung

- ▶ Ausbildung konzentrischer Feldlinien um stromdurchflossene Leiter
- ▶ Abhängigkeit der Feldstärke vom Abstand zum Leiter
- ▶ Verlauf des magnetischen Flusses entlang des geringsten Widerstands

### Funktion des Eisenkerns

- ▶ Bündelung der magnetischen Feldlinien im Kernmaterial
- ▶ Nutzung der hohen Permeabilität ferromagnetischer Stoffe
- ▶ Minimierung des magnetischen Widerstands im Kreis

Wichtig / Note 1

- Konzentrische Kreise
- Weg des geringsten Widerstands
- Eisen leitet besser als Luft

Zeitplanung

04:30

bis

05:30

- Jeder stromdurchflossene Leiter baut ein konzentrisches Magnetfeld auf
- Die Feldstärke nimmt mit dem Abstand zum Leiter ab
- Magnetischer Fluss verhält sich analog zum elektrischen Strom
- Der Eisenkern hat eine hohe magnetische Leitfähigkeit
- Der Fluss konzentriert sich im Kern statt in der Umgebungsluft

## Einfluss magnetischer Fremdfelder

### Ursache der Störung

- ▶ Räumliche Nähe benachbarter stromführender Leiter
- ▶ Überlagerung der Magnetfelder im Raum
- ▶ Einkopplung externer Streuflüsse in den Wandlerkern

### Auswirkung auf die Messung

- ▶ Addition von Nutzfluss und Störfluss im Material
- ▶ Verursachung lokaler Sättigungseffekte im Eisenweg
- ▶ Asymmetrische Verzerrung des Sekundärsignals

Wichtig / Note 1

- Superposition der Felder
- Einkopplung trotz Schirmung
- Lokale Sättigung

Zeitplanung

05:30

bis

06:30

- In der Schaltanlage liegen die Phasen sehr eng beieinander
- Die Felder der Nachbarleiter durchdringen den Kern des Messwandlers
- Diese Vektoraddition führt zu einer Erhöhung der Flussdichte
- Der Kern gerät partiell in die Sättigung
- Das Ergebnis ist eine messbare Abweichung des Sekundärstroms

## Bedeutung des Ferromagnetismus

### Funktion des Eisenkerns

- ▶ Nutzung materialspezifischer Eigenschaften zur Flussbündelung
- ▶ Hohe relative Permeabilität verringert magnetischen Widerstand
- ▶ Effiziente Übertragung der Primärgröße auf die Sekundärseite

### Problem der Nichtlinearität

- ▶ Begrenzte Aufnahmekapazität der magnetischen Domänen
- ▶ Ausrichtung der Weißschen Bezirke in Feldrichtung
- ▶ Eintritt der Sättigung bei hohen Feldstärken
- ▶ Verlust der Linearität zwischen Primärstrom und Messsignal

Wichtig / Note 1

- Flussbündelung notwendig
- Domänen richten sich aus
- Sättigung begrenzt Messbereich

Zeitplanung

06:30

bis

07:30

- Der Kern besteht aus ferromagnetischem Material wie Siliziumeisen zur Flussführung
- Im unmagnetisierten Zustand sind die magnetischen Domänen statistisch verteilt
- Ein äußeres Feld erzwingt die Ausrichtung dieser Weißschen Bezirke
- Sind alle Bezirke ausgerichtet, tritt die magnetische Sättigung ein
- In der Sättigung sinkt die Permeabilität und der Übertragungsfehler steigt an

## Quantifizierung des Fremdfeldeinflusses

### Berechnungsansatz nach MBS AG

- ▶ Analytische Bestimmung der induzierten Fremdfussdichte
- ▶ Berücksichtigung der geometrischen Anordnung
- ▶ Abhängigkeit von Stromstärke und Leiterabstand

$$B_{\text{Fremd}} \approx 1,00 \cdot 10^{-6} \cdot I_p \cdot \frac{R + 0,50 \cdot W}{A} \cdot \log_{10} \left( \frac{D + R}{D - R} \right)$$

### Einflussgrößen

- ▶ Linearer Anstieg der Störgröße durch Primärstrom  $I_p$
- ▶ Exponentieller Einfluss durch Phasenabstand  $D$
- ▶ Kompensation der Flussaufnahme durch Kernquerschnitt  $A$

Wichtig / Note 1

- Strom treibt Fehler
- Abstand schützt
- Geometrie ist relevant

Zeitplanung

07:30

bis

08:30

- Die Formel dient zur Abschätzung der zusätzlichen Flussdichte durch Fremdfelder
- Der Term zeigt eine direkte Proportionalität zum störenden Primärstrom
- Der Abstand  $D$  befindet sich im logarithmischen Term und hat großen Einfluss
- Ein größerer Eisenquerschnitt  $A$  verringert die resultierende Flussdichte
- Dies belegt theoretisch die Notwendigkeit größerer Abstände in der Anlage

## Fazit

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

Wichtig / Note 1

- Strom treibt Fehler
- Abstand schützt
- Geometrie ist relevant

Zeitplanung

07:30

bis

08:30

## Ausblick

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

Wichtig / Note 1

- Strom treibt Fehler
- Abstand schützt
- Geometrie ist relevant

Zeitplanung

07:30

bis

08:30



Vielen Dank

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Offene Fragen

Wichtig / Note 1

- Strom treibt Fehler
- Abstand schützt
- Geometrie ist relevant

Zeitplanung

07:30

bis

08:30



## Backup Folien

# Backup

Wichtig / Note 1

- Strom treibt Fehler
- Abstand schützt
- Geometrie ist relevant

Zeitplanung

07:30

bis

08:30



## Detaillierte Spezifikationen

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

Wichtig / Note 1

- Strom treibt Fehler
- Abstand schützt
- Geometrie ist relevant

Zeitplanung

07:30

bis

08:30

## Formelwerk

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

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

Wichtig / Note 1

- Strom treibt Fehler
- Abstand schützt
- Geometrie ist relevant

Zeitplanung

07:30

bis

08:30