



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 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

Kolloquium

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)

Kolloquium

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

Kolloquium

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

Kolloquium

- ▶ 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

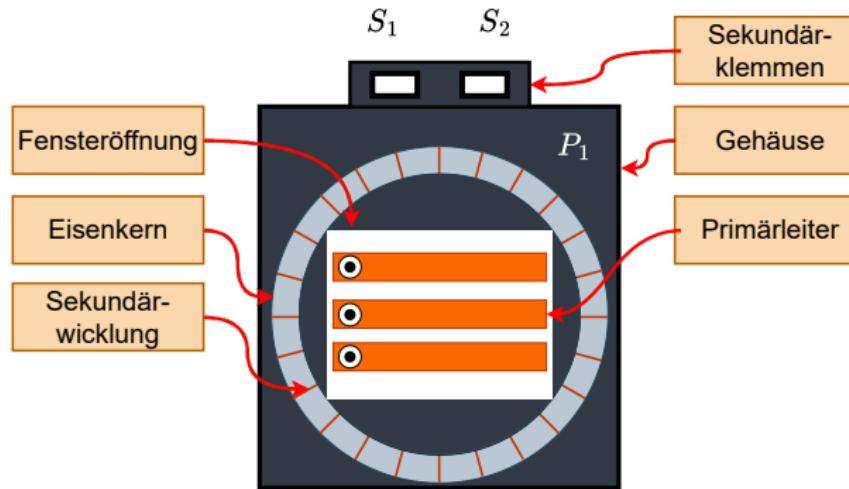


Abbildung: Schematischer Aufbau eines Aufsteckstromwandlers

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

Kolloquium

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

Kolloquium

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 Fremdflussdichte
- ▶ 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

Kolloquium

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

Kolloquium

Wichtig / Note 1

- Strom treibt Fehler
- Abstand schützt
- Geometrie ist relevant

Zeitplanung

07:30

bis

08:30



Kolloquium

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

Kolloquium

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

Kolloquium

Wichtig / Note 1

- Strom treibt Fehler
- Abstand schützt
- Geometrie ist relevant

Zeitplanung

07:30

bis

08:30



Formelwerk

Kolloquium

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

- ▶ 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