

Folie 1 Titel Sprechertext

Moin zusammen 

Schön, dass Sie heute da sind  

Ich bin Oliver Schmidt 

 Heute stelle ich meine Bachelorarbeit mit dem Titel **Fremdfeldbeeinflussung auf Messstromwandlern in Niederspannungsschaltanlagen vor**  

Entstanden ist die Arbeit bei der Firma **Rolf Janssen** in Aurich  

Das Kerngeschäft von **Rolf Janssen** ist die Fertigung von **Niederspannungsschaltanlagen** mit hoher **Kundenflexibilität** 

Bei vielen Kunden geht der Trend klar in Richtung kompakterer Anlagen 

Technikräume werden kleiner und gleichzeitig steigen die zu übertragenden Ströme  

 **Ziel meiner Arbeit war es, Maßnahmen zu bewerten, die die Strommessung unter Fremdfeldeinfluss robuster machen** 

 Dazu habe ich verschiedene Ansätze verglichen, zum Beispiel **Wandlertechnologien, Schirmungsmaßnahmen** und die **Leitergeometrie**  

Folie 2 Agenda Sprechertext

 Ich gliedere den Vortrag in fünf Teile   

Erstens starte ich mit der **Einleitung** und der **Problemstellung** 

Dazu werfen wir kurz einen Blick in den Anschlussraum einer kompakten **Niederspannungsschaltanlage**  

Zweitens folgen die **Grundlagen zum Messstromwandler** und die **Lösungsansätze** 

Ich zeige das Funktionsprinzip, stelle die wichtigsten Varianten gegenüber, und erkläre den zentralen Fehlermechanismus, also **Fremdfeldeinkopplung**  

Drittens skizziere ich den **Untersuchungsrahmen** 

Ich zeige, welche Einflussgrößen ich variiere, welche Varianten ich vergleiche und nach welchen Kriterien ich bewerte, zum Beispiel **Normkonformität, Kosten und Verfügbarkeit**  

Viertens komme ich zum **Versuchsaufbau und zur Durchführung** 

Ich stelle den **Hochstrom Prüfstand** vor, die **Messkette** mit Referenz und Prüfling, die **Leiteranordnung**, die **Positionierung der Wandler** und den **Messablauf**  

Fünftens zeige ich **exemplarische Messergebnisse** und den **Vergleich der Varianten** 

 Daraus leite ich eine Empfehlung ab, getrennt für **Neuanlagen und Bestandsanlagen**, und schließe mit einem kurzen **Ausblick**   

Folie 3 Motivation und Problemstellung Sprechertext

Auf dem Bild sehen Sie eine typische Situation in einer kompakten Niederspannungsschaltanlage 

Oben sind die **Messstromwandler** angeordnet 

Darunter verlaufen die **Sammelschienen** sehr dicht nebeneinander  

In dieser Anordnung treffen drei Entwicklungen zusammen, die heute häufig gleichzeitig auftreten  

• Erstens 

Die Anlagen werden kompakter, weil der Platz in Technikräumen knapper wird 

• Zweitens 

Die **Primärströme** steigen, aber die Leiterabstände bleiben oft nahezu unverändert  

• Drittens 

Durch die geringen Abstände nimmt die **magnetische Kopplung** zwischen den Phasen zu  

 **Das ist nicht nur ein theoretischer Effekt** 

Sobald Messwerte für **Energiemonitoring** oder **Betriebsführung** genutzt werden, sind Abweichungen kritisch 

Und sobald Messwerte in Richtung **Abrechnung** gehen, wird aus einem Messfehler ein wirtschaftliches Risiko  

 **Die zentrale Frage ist deshalb** 

Wie groß ist der Einfluss in typischen Anordnungen 

Und welche Maßnahmen reduzieren ihn zuverlässig  

Folie 4 Messabweichung und wirtschaftliche Relevanz Sprechertext

 **Ich möchte die Größenordnung früh klar machen**  

Hier auf der Folie sehen Sie zwei Messungen im direkten Vergleich 

Links ist die **Referenzmessung** 

Ich habe Hochpräzisionswandler eingesetzt 

Sie waren mit großem Abstand zueinander positioniert

sodass sie praktisch ohne Fremdfeldbeeinflussung arbeiten  

Rechts sehen Sie den **Prüfling** 

Das ist ein **Standardwandler** in paralleler Anordnung

 **also unter realistischen Bedingungen mit Fremdfeldeinfluss**  

Bei einem Nennstrom von **4000 A** liegt die Referenzmessung nahezu exakt am Sollwert 

Im Worst Case in der mittleren Phase **L2** beträgt die Abweichung nur etwa **2 A**  

Beim Prüfling ist das Bild deutlich anders 

Gerade in **L2**, also zwischen **L1** und **L3**, wird das Magnetfeld überlagert

 **und der Wandler misst spürbar zu wenig**  

Hier liegt der Messwert um rund **130 A** unter dem Realwert

 **das entspricht etwa minus 3,24 Prozent**  

Wenn man diese Abweichung auf **Dauerlast** hochrechnet, wird die Relevanz schnell klar 

 **Über ein Jahr entspricht das allein in L2 einer Größenordnung von etwa 50 Tausend Euro**  

die in der Messung nicht erfasst werden  

Witz optional: Man könnte das ironisch als „Sparfunktion“ verkaufen weil der Zähler scheinbar weniger anzeigt 

 **In der Realität ist es ein Messfehler und damit ein wirtschaftliches Risiko**  

Und je mehr Schaltschränke oder Abgänge man betrachtet, desto stärker skaliert der Gesamtschaden  

Folie 5 Zielsetzung der Arbeit Sprechertext

Aus der Motivation ergeben sich für meine Arbeit drei klare Ziele  

- Erstens 

Ich quantifizierte die **Messabweichung im Drehstromsystem** 

Dazu betrachte ich L1, L2 und L3 unter identischen Randbedingungen und vergleiche die Abweichungen direkt 

 So wird sichtbar, welche Phase im Praxisaufbau am kritischsten ist und welche Einflussgrößen den Fehler bestimmen

 

- Zweitens 

Ich vergleiche technische **Gegenmaßnahmen** zur Reduzierung der **Fremdfeldbeeinflussung** 

Im Fokus stehen **Standardwandler**, **kompensierte Wandler** und **Wandler mit Fremdfeldschutz** 

Zusätzlich untersuche ich die **Leiteranordnung** 

- Drittens 

Aus den Ergebnissen leite ich eine **Handlungsempfehlung** ab 

 Diese Empfehlung soll für Neuanlagen konstruktiv sinnvoll und umsetzbar sein   

Bewertet habe ich die Varianten anhand von fünf Kriterien 

Normkonformität, **Fremdfeldrobustheit**, Kosten und **Verfügbarkeit**  

Folie 6 Funktionsprinzip und Aufbau Sprechertext

Als Grundlage brauche ich kurz das Funktionsprinzip

Ein **Messstromwandler** ist im Kern ein Stromtransformator

Er transformiert hohe Primärströme auf einen standardisierten Sekundärstrom, typischerweise 1 Ampere oder 5 Amperen

Zusätzlich trennt er galvanisch, der Leistungsteil ist also elektrisch von der Messkette getrennt

Und er bündelt den magnetischen Fluss im **Eisenkern**, damit der Sekundärstrom proportional zum Primärstrom bleibt

Der kritische Punkt ist die magnetische Aussteuerung des Kerns

Der Kern sieht nicht nur den **Nutzfluss** vom eigenen Primärleiter

Wenn benachbarte Leiter nahe genug sind, koppelt **Störfluss** ein

Nutzfluss und Störfluss überlagern sich lokal im Kern

dadurch kann ein Teil des Kerns früher in Sättigung geraten

Sobald **Sättigung** einsetzt, steigt der **Magnetisierungsanteil**

Dann leidet die Proportionalität

Und der Sekundärstrom wird kleiner als ideal

Praktisch bedeutet das, die Anzeige zeigt zu wenig an

Folie 7 Technologievergleich Sprechertext

Ich habe drei Hebel verglichen, die auf unterschiedlichen Ebenen ansetzen

• Erster Hebel

Der **komensierte Wandler**

Hier ist das Design so ausgelegt, dass äußere Magnetfelder besser unterdrückt werden

Das ist technisch sehr stark und über den Lastbereich meist sehr stabil

Der typische Nachteil ist der deutlich höhere Preis

Und oft gibt es weniger Flexibilität bei Varianten und Beschaffung

• Zweiter Hebel

Die **Fremdfeldprotektion**, kurz FFP

Dabei wird ein zusätzlicher magnetischer Weg bereitgestellt, der Störfluss abschwächt oder umlenkt

Das ist besonders interessant für Bestandsanlagen, weil man nicht zwingend die komplette Leiterführung neu bauen muss

Der Nachteil liegt häufig im zusätzlichen Bauraum und in der Montageabhängigkeit

Wenn die Ausrichtung nicht reproduzierbar ist, kann die Wirkung streuen

• Dritter Hebel

Die **Geometrie**

Hier bleibt der Wandler ein **Standardwandler**, aber die Leiter werden nicht parallel geführt, sondern in einer Dreiecksanordnung

Dadurch verändert sich die Feldüberlagerung im Bereich der mittleren Phase L2

Und die kritische Einkopplung kann deutlich sinken

Das ist attraktiv, weil die Lösung systemisch wirkt und oft wirtschaftlich ist

Folie 8 Physikalisches Problem Fremdfeldeinfluss Sprechertext

Diese Folie zeigt den Mechanismus in einem Bild  

Die Ursache ist räumliche Nähe 

Die Magnetfelder der Nachbarleiter koppeln in den Bereich des **Messstromwandlers** ein 

 Im Drehstromsystem ist die mittlere Phase L2 häufig der Worst Case  

Weil sie zwischen den beiden anderen Phasen liegt und damit von beiden Seiten überlagert wird  

Die Wirkung ist eine partielle Sättigung im **Eisenkern** 

Der Kern sieht nicht nur den Nutzfluss des eigenen Primärleiters 

Zusätzlich kommt **Störfluss** dazu 

Nutzfluss und Störfluss addieren sich lokal 

Dadurch steigt die Aussteuerung in einem Kernbereich überproportional  

Wenn das passiert, sinkt die effektive **Permeabilität** 

Der **Magnetisierungsanteil** steigt 

Und die Messkette verliert Proportionalität  

 Das Ergebnis ist eindeutig, der Sekundärstrom wird kleiner als ideal  

Damit zeigt die Messung zu wenig an 

Genau deshalb tritt der Fehler in der Praxis häufig als Untererfassung in L2 auf  

Folie 9 Versuchsaufbau Hochstrom Prüfstand Sprechertext

Ich komme zur Methodik  

Die Messungen habe ich an einem **Hochstrom-Prüfstand** durchgeführt 

Wichtig ist dabei das Prinzip der direkten Vergleichsmessung  

Der gleiche Primärstrom läuft durch eine definierte Leiteranordnung 

Diesen Strom erfasse ich parallel auf zwei Wegen  

- Einmal über die **Referenzmessung** 

- Und gleichzeitig über die **Prüflingsmessung**, also **Messstromwandler** plus Messgerät  

 Damit kann ich die Abweichung direkt bestimmen  

Ich brauche keine indirekten Annahmen und keine Umrechnung über externe Modelle 

Der Vergleich passiert im gleichen Strompfad und zum gleichen Zeitpunkt  

Die Messreihen laufen über definierte Stromstufen, typischerweise im Bereich von 2000 bis 4000 Ampere 

Die Lastpunkte werden reproduzierbar angefahren, damit Kennlinien wirklich vergleichbar sind  

So kann ich erkennen, ab wann Nichtlinearitäten auftreten 

 Und ich kann auswerten, ob sich diese Effekte phasenabhängig zeigen, also ob L2 systematisch stärker abweicht als L1 und L3  

Folie 10 Exemplarisches Messergebnis FFP Sprechertext

Hier zeige ich ein Beispiel für die **Fremdfeldprotektion**  

 **Man sieht, dass sich die Abweichungen im relevanten Bereich deutlich reduzieren lassen**  

Gleichzeitig bleibt **L2** der empfindlichste Kanal 

Das passt zur physikalischen Erklärung, weil **L2** im Feldzentrum liegt und von beiden Nachbarphasen überlagert wird  

Für Bestandsanlagen ist dieser Ansatz interessant 

 **Man kann eine deutliche Verbesserung erreichen, ohne die komplette Leiterführung neu aufzubauen**  

In der Praxis ist entscheidend, dass die Protektion korrekt positioniert ist 

Und dass die Montage reproduzierbar ist 

Sonst kann die Wirkung von Anlage zu Anlage schwanken  

Folie 11 Standard im Dreieck gegen kompensiert Sprechertext

 **Jetzt kommt der Kernvergleich, weil er direkt zur Empfehlung führt**   

- **Kompensierte Variante** 

Die kompensierte Variante bleibt über einen großen Bereich sehr nahe an der idealen Übersetzung 

Sie ist robust, auch wenn die Last steigt oder die Umgebung magnetisch ungünstig ist 

 **Diese Lösung ist besonders geeignet, wenn maximale Genauigkeit gefordert ist oder wenn ein breiter Betriebsbereich abgesichert werden muss**  

- **Dreiecksanordnung mit Standardwandlern** 

Die Dreiecksanordnung mit Standardwandlern zeigt aber ebenfalls einen starken Effekt 

Der entscheidende Vorteil ist, dass die Messgüte über Geometrie stabilisiert wird, ohne den Wandler selbst zum Spezialteil zu machen 

 **Das ist für eine Neukonstruktion attraktiv, weil es Kosten und Risiko senkt und gleichzeitig die Messung verbessert**  

Folie 12 Bewertung der Lösungsansätze Sprechertext

Ich fasse die Bewertung als Entscheidung nach Einsatzfall zusammen   

- Wenn höchste Genauigkeit im Vordergrund steht, sind **kompensierte Wandler** die technisch beste Wahl 
Sie liefern die stabilsten Kennlinien 
Der Nachteil ist der Preis, der in der Praxis oft deutlich höher liegt als bei Standardwandlern  
- Wenn eine Nachrüstung im Bestand gefragt ist, ist **FFP** häufig die pragmatischste Lösung 
Sie kann starke Verbesserungen bringen, ohne dass die gesamte Leiterführung neu konstruiert werden muss 
Wichtig ist dabei eine robuste Montage, damit die Wirkung konstant bleibt   
- Wenn es um neue Felder geht, ist die **Dreiecksanordnung mit Standardwandlern** der Preis-Leistungs-Sieger 
Die Messgüte wird über eine systemische Maßnahme erreicht 
Dadurch bleiben Standardkomponenten nutzbar und die Konstruktion kann trotzdem normnah messen, besonders im Nennlastbereich  

Der gemeinsame Nenner ist 

Alle drei Ansätze reduzieren die L2 Verzerrung  

Die Unterschiede liegen vor allem in **Kosten, Bauraum und Integrationsaufwand**  

Folie 13 Customer Win Standardwandler plus Dreieck Sprechertext

Diese Folie übersetzt die technische Empfehlung in Nutzenargumente  

Wenn Standardwandler beibehalten werden können und die Leiterführung in **Dreieck** ausgeführt wird, gibt es zwei Effekte  

- Erstens 

Erstens sinken die Stückkosten  

Man benötigt keine Spezialwandler 

In der Folie ist dafür eine Größenordnung von rund **1000 Euro pro dreiphasigem Feld** angegeben  

- Zweitens 

Zweitens verbessert sich die Messgüte im Nennbereich deutlich, obwohl Fremdfelder vorhanden sind  

Das ist relevant, weil viele Anlagen den Großteil ihrer Betriebszeit genau in diesem Bereich verbringen, grob zwischen **80 und 100 Prozent Last**  

Damit wird die Lösung interessant für Serienkonstruktionen 

Sie senkt Kosten und verbessert die Messqualität gleichzeitig   

Folie 14 Abschluss Sprechertext

Ich fasse die Kernaussagen in vier Sätzen zusammen   

• Erstens 

Magnetische **Fremdfelder** in kompakten **Niederspannungsschaltanlagen** können zu systematischen Messfehlern führen, besonders in L2  

• Zweitens 

Der Effekt lässt sich durch **kompensierte Wandler** technisch sehr gut beherrschen, allerdings zu höheren Kosten  

• Drittens 

FFP ist eine starke Option für Bestandsanlagen, wenn Bauraum vorhanden ist und die Montage reproduzierbar umgesetzt werden kann  

• Viertens 

 **Die Dreiecksanordnung mit Standardwählern ist die bevorzugte Empfehlung für neue Konstruktionen, weil sie einen sehr guten Kompromiss aus Messgüte und Wirtschaftlichkeit bietet**  

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit 

Ich stehe jetzt gern für Fragen zur Verfügung  