





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  



Geschrieben habe ich die Arbeit bei der Firma **Rolf Janssen** in Aurich  

In kompakten **Niederspannungsschaltanlagen** liegen **Sammelschienen** und **Messstromwandler** sehr dicht beieinander 





Dadurch überlagern sich die **Magnetfelder** der Außenleiter 




 Das führt in der Praxis zu systematischen Messabweichungen, besonders bei der mittleren Phase L2   


Das ist relevant, weil **Strommesswerte** heute nicht nur für punktuelle Überwachung genutzt werden 

Sie werden auch für **Energiemonitoring** und teilweise für **Abrechnung** verwendet  

Gleichzeitig gibt es einen klaren Trend  

- Mehr **Leistungsdichte** auf weniger **Bauraum** 
- Höhere Ströme bei kleineren **Leiterabständen** 
- Und damit stärkere **Fremdfeldkopplung**  


 Ziel meiner Arbeit war es, Maßnahmen zu bewerten, die die Messung 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** 

Ich zeige die Motivation und die Problemstellung 


Warum **Fremdfelder** in **Niederspannungsschaltanlagen** heute praktisch relevant sind  



- **Zweitens** 

Ich formuliere die Zielsetzung der Arbeit 

Welche Fragen ich beantworte und was am Ende bewertet wird  

- **Drittens** 

Ich gebe kurz die Grundlagen zum **Messstromwandler** 

So weit, dass der Fehlermechanismus durch **Fremdfeldkopplung** klar wird  





- **Viertens** 

Ich zeige den Versuchsaufbau am **Hochstrom-Prüfstand** und die **Messmethodik** 

Wie die Leiter angeordnet sind, wie gemessen wird und wie ausgewertet wird  

- **Fünftens** 

Ich zeige exemplarische Ergebnisse 

 Daraus leite ich eine Empfehlung ab, einmal für neue Konstruktionen und einmal für Bestandsanlagen   

Folie 3 Motivation und Problemstellung Sprechertext

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

Oben sind die **Messstromwandler** angeordnet 🗣️

Darunter laufen die **Sammelschienen** sehr dicht nebeneinander 🗣️ 🗣️

In dieser Anordnung stecken drei Entwicklungen, die heute häufig zusammenkommen 🗣️ 🗣️

- **Erstens** 🗣️

Die Anlagen werden kompakter, weil Platz in Technikräumen knapp ist 🗣️

Dadurch steigt die **Leistungsdichte** 🗣️ 🗣️

- **Zweitens** 🗣️

Die **Primärströme** werden größer, aber die Abstände bleiben oft klein 🗣️

Das hängt direkt mit **Bauraum** und **Kosten** zusammen 🗣️ 🗣️

- **Drittens** 🗣️

Wenn Leiter so dicht beieinander liegen, steigt automatisch die **magnetische Kopplung** zwischen den Phasen 🗣️

Damit steigt auch die Wahrscheinlichkeit, dass **Fremdfelder** den **Messstromwandler** beeinflussen 🗣️ 🗣️

🗣️ **Das ist nicht nur ein theoretisches Problem** 🗣️ 🗣️

Sobald Messwerte für **Energiemonitoring** oder **Betriebsführung** genutzt werden, ist eine Abweichung bereits kritisch 🗣️

Und wenn Messwerte in Richtung **Abrechnung** gehen, wird aus dem Messfehler ein echtes 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** 🗣️ 🗣️ 🗣️

In meinen Messreihen zeigt sich ein Muster besonders häufig 🗣️

Die mittlere Phase **L2** fällt am stärksten auf 🗣️

Sie liegt zwischen **L1** und **L3** und wird von beiden Nachbarphasen magnetisch überlagert 🗣️

🗣️ **Damit befindet sie sich im ungünstigsten Feldbereich** 🗣️ 🗣️ 🗣️

Hier sehen Sie ein Beispiel bei hoher Last 🗣️

Die **Referenzmessung** liegt praktisch bei null Abweichung 🗣️

Der **Prüfling** zeigt in **L2** dagegen deutlich zu wenig 🗣️

🗣️ **In diesem Fall liegt die Abweichung bei ungefähr minus drei Prozent** 🗣️ 🗣️ 🗣️



Wenn man so einen Fehler über längere Zeit betrachtet, zum Beispiel bei **Dauerlast**, kann das wirtschaftlich relevant werden 🗣️

Vor allem dann, wenn Messwerte für **Kostenverteilung** oder **Abrechnung** genutzt werden 🗣️ 🗣️

🗣️ **Die Beispielrechnung auf der Folie zeigt eine Größenordnung von ungefähr fünfzigtausend Euro pro Jahr** 🗣️ 🗣️

Das ist eine Beispielzahl, aber sie zeigt, warum sich eine konstruktiv saubere Lösung lohnen kann 🗣️ 🗣️





Folie 5 Zielsetzung der Arbeit Sprechertext

Auf Basis der Motivation ergeben sich drei konkrete Ziele  


- **Erstens** 

Ich analysiere die Fehler im **Drehstromsystem** systematisch 



Ich betrachte alle drei Phasen unter gleichen Bedingungen und vergleiche die Abweichungen direkt 

 **So wird sichtbar, welche Phase besonders kritisch ist und welche Einflussgrößen dominieren** 
 


- **Zweitens** 


Ich vergleiche verschiedene technische Lösungsansätze 





Im Fokus stehen **Standardwandler**, **kompensierte Wandler** und eine Lösung mit **Fremdfeldprotektion** 

Zusätzlich betrachte ich die **Leitergeometrie**, weil sie die Feldverteilung direkt beeinflusst  

- **Drittens** 

Ich leite daraus eine Handlungsempfehlung ab 

Die Empfehlung soll für eine Neukonstruktion praktikabel sein 

 **Und sie soll gleichzeitig zeigen, was im Bestand realistisch nachrüstbar ist**   


Bewertet habe ich die Lösungen anhand von fünf Kriterien 


Normkonformität, **Fremdfeldrobustheit**, **Bauraum**, **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 Ampere 

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 **kompensierte 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 Standardwandlern 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 🗣️ 🗣️