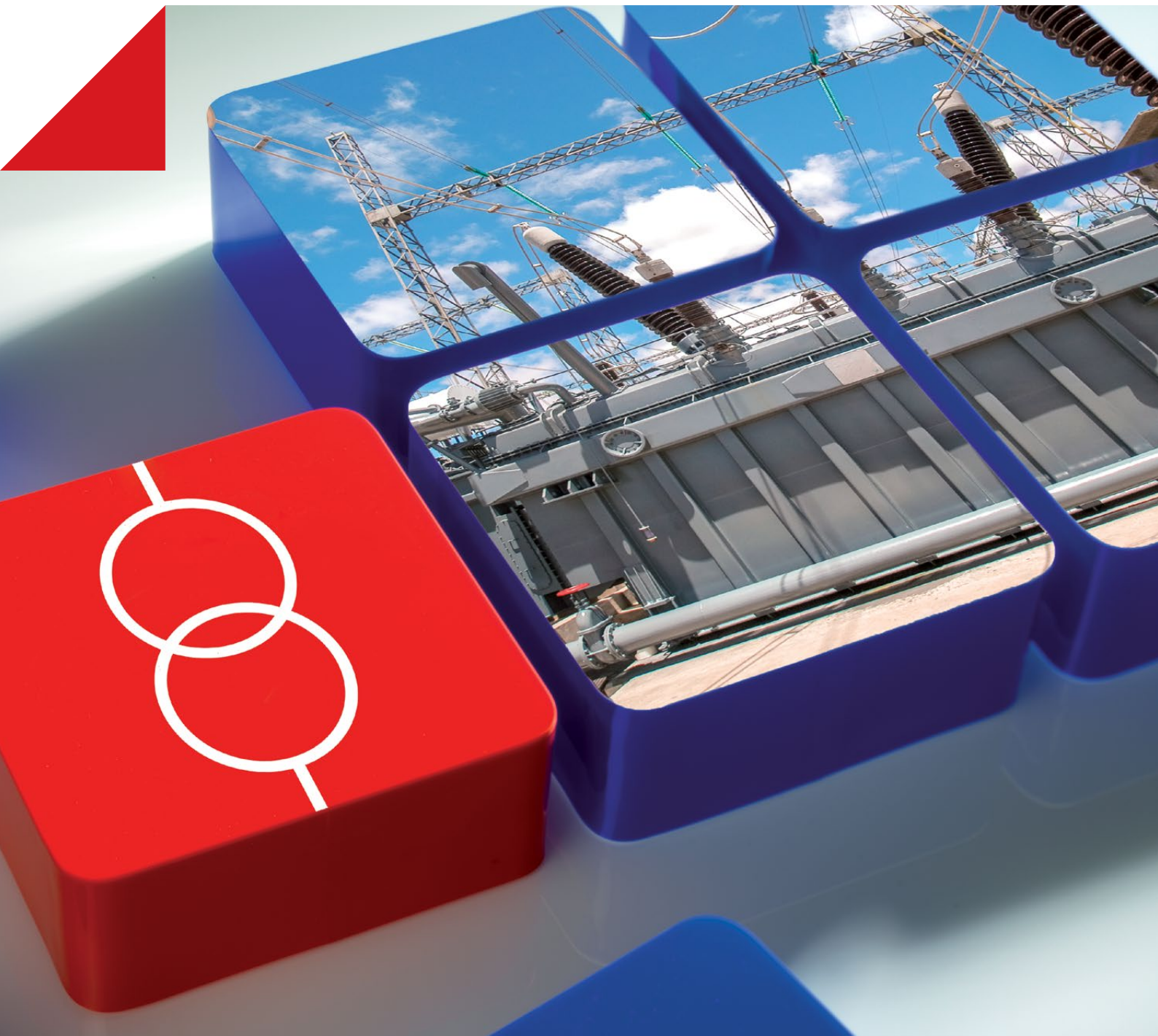




# Diagnoseprüfungen und Monitoring von Leistungstransformatoren



# Analysieren Sie den Zustand Ihres Transformators, um das Beste aus

Der einwandfreie Zustand von Leistungstransformatoren muss über die gesamten Lebensdauer gewährleistet werden. Unterschiedliche Einflüsse können die voraussichtliche Nutzungsdauer während des Lebenszyklus eines Transformators beeinflussen.

Diagnoseprüfungen und Monitoring unterstützen Sie bei der Bestimmung des Zustands Ihres Betriebsmittels und bei der Wahl der richtigen Maßnahmen, damit ein zuverlässiger Betrieb sichergestellt und die voraussichtlichen Nutzungsdauer des Transformators verlängert werden können.

## Negative Einflüsse auf die Lebensdauer eines Transformators

- > **Thermische Einflüsse**  
Überlast, Überhitzung, Umgebungsbedingungen
- > **Alterung**  
Feuchtigkeit, Säuren, Sauerstoff, Kontaminierung, Leckagen
- > **Mechanische Einflüsse**  
Transportschäden, Belastungen durch Kurzschlüsse, Erdbeben / Seismische Aktivitäten wie Erdbeben
- > **Elektrische Einflüsse**  
Schaltspannungsstöße, Blitz, Überspannungen, Kurzschlussströme
- > **Probleme beim Schutz**  
Unterfunktion, Ausfall



Herstellung

Inbetriebnahme

Ihrem Betriebsmittel herauszuholen

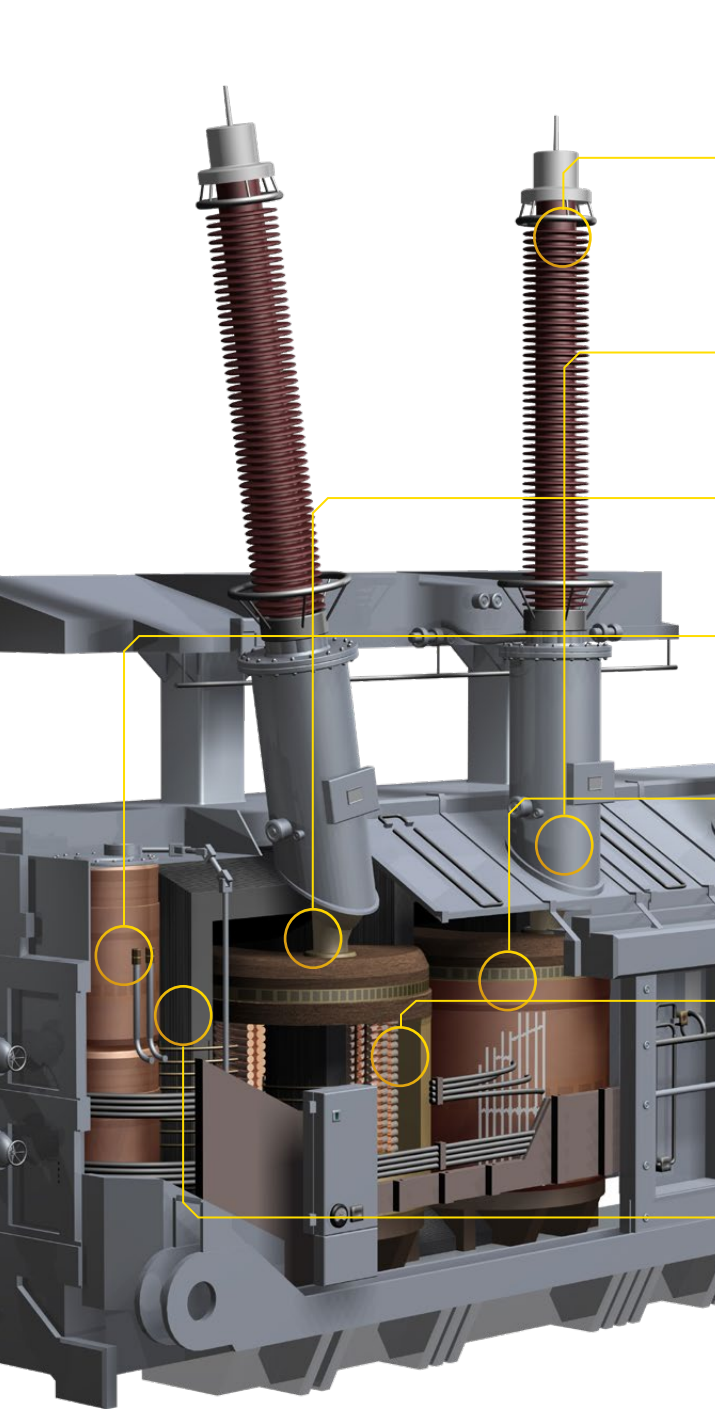
### Prüfungen und Korrekturmaßnahmen zur Verlängerung der Lebensdauer eines Transformators

- > **Wartung von Hilfskomponenten**  
Stufenschalter, Kühlung, Atmungsventile
- > **Instandsetzung der Isolierung**  
Trocknung, Ölaufbereitung, Ölwechsel
- > **Austausch von Teilen**  
Durchführungen, Starkstrom-Ableiter, Dichtungen, Pumpen und Lüfter



Betrieb

# Transformator-komponenten und ihre erkennbaren Fehler



Komponente	Fehlererkennung
Durchführungen	Durchschläge zwischen kapazitiven Schichten, Risse in harzprägnierter Isolierung
	Verschleiß und Feuchteintritt
	Offene oder beschädigte Messanschlüsse
Stromwandler	Teilentladungen in der Isolierung
	Übersetzungs- oder Phasenfehler in Verbindung mit der Bürde, übermäßiger Restmagnetismus, keine Konformität mit geltenden IEEE- oder IEC-Normen
	Bürdenabhängige Übersetzung und Phasenverschiebung
Leitungen	Wicklungsschlüsse
	Kontaktprobleme
Stufenschalter	Mechanische Verformung
	Kontaktprobleme in Wählschalter und Lastumschalter
	Offene Verbindungen, Wicklungsschlüsse oder hochohmige Verbindungen in der Ausgleichswicklung
Isolierung	Kontaktprobleme im DETC
	Feuchte in der Feststoffisolierung
	Alterung, Feuchte und Verunreinigung von Isolationsflüssigkeit
Wicklungen	Teilentladungen
	Kurzschlüsse zwischen Wicklungen oder Windungen
	Kurzschlüsse im Drillleiter
	Offene Verbindungen in Parallelschaltung
	Erdschluss
	Mechanische Verformung
Kern	Kontaktprobleme, offene Verbindungen
	Mechanische Verformung
	Offene Kernerdung
	Kurzgeschlossene Kernbleche
	Remanenz

**Mögliche Messverfahren**

	■		■								■			■		■
	■			■							■					■
		■		■												■
			■													■
												■				
												■				
					■							■				
					■			■				■				
					■			■				■				
					■			■				■				
	■			■							■					
	■			■							■					
			■											■	■	■
					■	■		■				■				
					■			■				■				
		■		■								■				
		■		■								■				
		■		■								■				
		■		■								■				
												■				
										■		■				
Kapazitäts- und Verlustfaktormessung:																
bei 50 Hz oder 60 Hz																
als Spannungsanstiegs (Tip-Up)-Prüfung																
bei variabler Frequenz																
Wicklungswiderstandsmessung																
und Stufenschalterprüfung																
Übersetzungsverhältnismessung																
Magnetisierungsstrommessung																
Kurzschlussstrommessung																
Messung des Frequenzgangs																
von Streuverlusten																
Entmagnetisierung des Kern																
Sweep Frequency Response																
Analysis (SFRA)																
Stromwandleranalyse																
Teilentladungsanalyse																
Teilentladungslokalisierung																
Online-Teilentladungs- und																
temporäres TE-Monitoring																

# Die ideale Lösung für Ihre individuellen Bedürfnisse, Anforderungen und

	TESTRANO 600	CPC 100	CPC 80 + CP TD12/15	TANDO 700
<b>Kapazitäts- und Verlustfaktormessung:</b>				
bei 50 Hz oder 60 Hz	■ <sup>1</sup>	■ <sup>1</sup>	■	■ <sup>4</sup>
als Spannungsanstiegs (Tip-Up-)Prüfung	■ <sup>1</sup>	■ <sup>1</sup>	■	■ <sup>4</sup>
bei variabler Frequenz	■ <sup>1</sup>	■ <sup>1</sup>	■	■ <sup>4</sup>
<b>Wicklungswiderstandsmessung und Stufenschalterprüfung</b>	■	■ <sup>2</sup>		
<b>Übersetzungsverhältnismessung</b>	■	■ <sup>3</sup>		
<b>Magnetisierungsstrommessung</b>	■	■ <sup>1</sup>		
<b>Kurzschlussimpedanzmessung</b>	■	■		
<b>Messung des Frequenzgangs von Streuverlusten</b>	■	■		
<b>Entmagnetisierung des Kerns</b>	■	■ <sup>2</sup>		
<b>Dielektrische (Frequenz-) Antwortmessung</b>				
<b>Sweep Frequency Response Analysis</b>				
<b>Stromwandleranalyse</b>			■	
<b>Teilentladungsanalyse</b>				
<b>Teilentladungslokalisierung</b>				
<b>Online-Teilentladungsmessung und temporäres TE-Monitoring</b>				

<sup>1</sup> Zusätzliches Zubehör CP TD12/15 erforderlich

<sup>2</sup> Zusätzliches Zubehör CP SB1 erforderlich

<sup>3</sup> Optionales Zubehör CP SB1 für schnelleres Prüfen erhältlich

<sup>4</sup> Zusätzliches Stromversorgungsgerät und Standardkondensator erforderlich

Dreiphasiges Prüfsystem für die schnellste und umfassendste Diagnoseprüfung und Zustandsbewertung von Leistungstransformatoren.



Multifunktionales Prüfsystem für eine umfassende Zustandsdiagnose und -bewertung verschiedener HS-Betriebsmittel.



Prüfgerät für Verlustfaktor- und Kapazitätsmessung für zahlreiche HS-Betriebsmittel (mit Prüfquelle und Referenzkondensator).



Hochpräzises Prüfsystem für Verlustfaktor- und Kapazitätsmessungen an HS-Betriebsmitteln (ohne Prüfquelle und Referenzkondensator).



# Anwendungen

DIRANA

FRANEO 800

CT ANALYZER

MPD 800

PDL 650

MONTESTO 200

■

■

■

■

■

■

■

Leichtes Prüfgerät für eine schnelle und zuverlässige Bestimmung des Feuchtegehalts in öl-papier-isolierten Leistungstransformatoren.

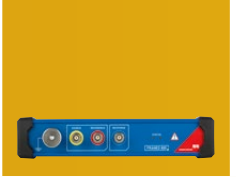
Intelligentes Prüfgerät für die Sweep Frequency Response Analysis (SFRA) im Kern und Wicklungen von Leistungstransformatoren.

Hochpräzises und leichtes Prüfgerät für die Kalibrierung und Prüfung von Stromwandlern.

Universelles System zur Messung und Analyse von Teilentladungen (TE)

Prüfgerät für eine einfache Teilentladungslokalisierung in Leistungstransformatoren.

Tragbares Online-Teilentladungsmess- und temporäres Monitoring-System.



# Kapazitäts- und Verlustfaktormessung

## Was kann geprüft werden?

- ✓ Durchführungen
- Stromwandler
- Leitungen
- Stufenschalter
- ✓ Isolierung
- Wicklungen
- Kern

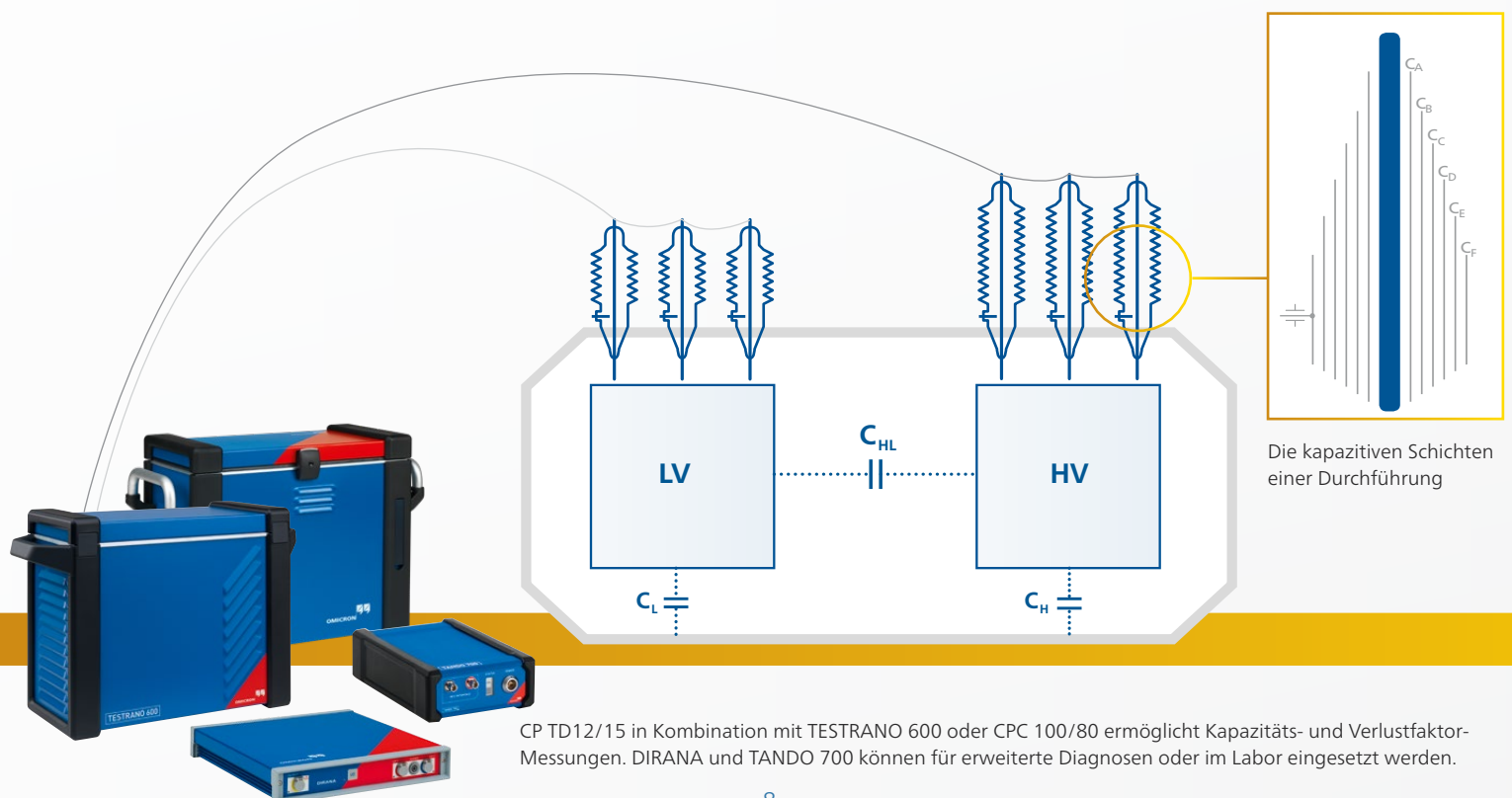
## Gründe für eine Messung

Kapazitäts- und Verlustfaktormessungen werden durchgeführt, um den Zustand der Isolierung von Leistungstransformatoren und Durchführungen zu untersuchen. Beide Isolationssysteme sind für einen zuverlässigen Betrieb des Transformators entscheidend.

Anzeichen für eine beeinträchtigte Isolierung sind eine hohe Ölleitfähigkeit, Alterung und ein Anstieg des Wassergehalts. Diese Anzeichen führen außerdem zu erhöhten Verlusten, die durch die Messung des Verlustfaktors quantifiziert werden können.

Änderungen in der Kapazität können auf Durchschläge zwischen kapazitiven Schichten in Durchführungen hinweisen. Durch das Messen von Kapazität und Verlusten können Defekte in der Isolierung erfasst werden, lange bevor es zu einem Ausfall kommt.

Eine der Hauptursachen für Ausfälle von Transformatoren ist der Austausch von Durchführungen aufgrund einer Verschlechterung oder Fehler in der Isolierung.





## Funktionsweise

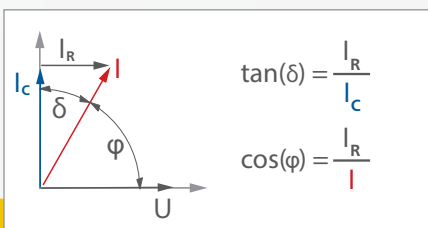
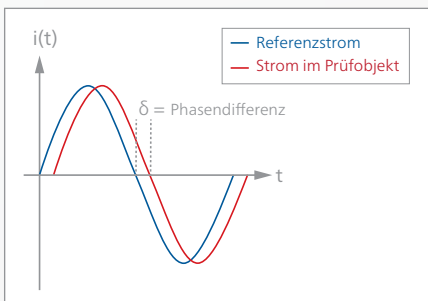
An Leistungstransformatoren werden Verlustfaktormessungen an der Hauptisolierung zwischen den Wicklungen ( $C_{HL}$ ) und an der Isolierung von den Wicklungen zum Tank ( $C_{HT}$ ,  $C_L$ ) durchgeführt. Die Wicklungen werden kurzgeschlossen und die Prüfspannung wird auf eine Wicklung angelegt, während der Strom durch die Isolierung an der anderen Wicklung oder im Tank gemessen wird.

An den Durchführungen wird die Spannung am Hauptleiter angelegt, während der Strom an den Messanschlüssen gemessen wird.

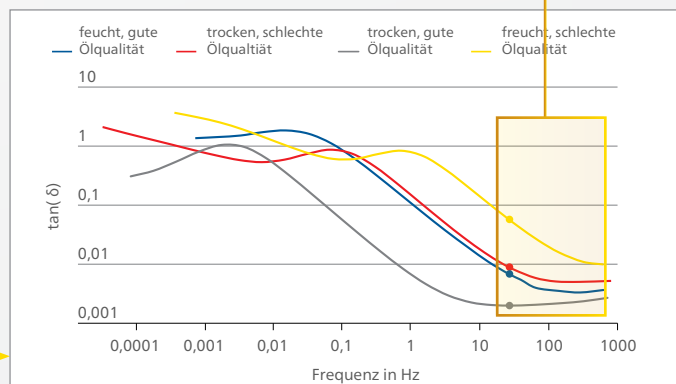
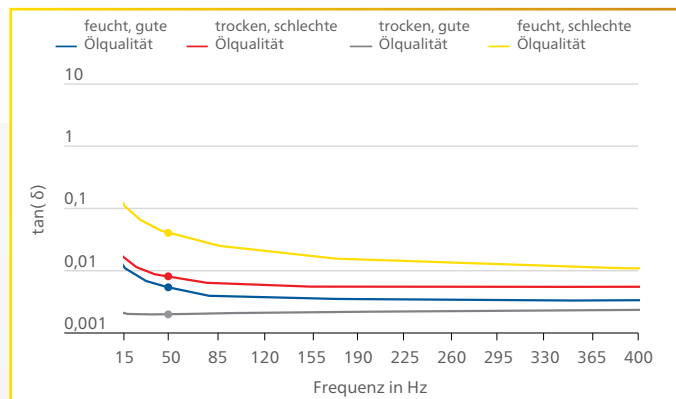
Der Verlustfaktor, auch  $\tan(\delta)$  genannt, wird mit dem Tangens des Winkels  $\delta$  zwischen dem gemessenen Strom und dem Idealstrom berechnet, der vorliegen würde, wenn es keine Verluste gäbe. Der Leistungsfaktor ist der Cosinus des Winkels  $\varphi$  zwischen der Ausgangsspannung und dem gemessenen Strom und wird daher auch mit  $\cos(\varphi)$  bezeichnet.

Die Verwendung anderer Frequenzen als der Netzfrequenz erhöhen die Sensitivität der Messung, da bestimmte Defekte deutlicher sichtbar bei Frequenzen oberhalb oder unterhalb der Netzfrequenz werden. Moderne Prüfgeräte sind in der Lage, automatische mit variabler Frequenz- oder Spannung zu prüfen.

Die dielektrischen Verluste führen zu einer Phasenverschiebung.



Der  $\tan(\delta)$  von vier unterschiedlichen Transformatoren in einem Bereich um Netzfrequenz (50 Hz).



Je nach Prüfgerät können unterschiedliche Frequenzbereiche gemessen werden, z. B. von 15 Hz bis 400 Hz mit TESTRANO 600 und von 10  $\mu$ Hz bis 5 kHz mit DIRANA.

# Kapazitäts- und Verlustfaktormessung

## Wissenswertes ...

Nach Abschluss der Messungen ist es von Vorteil, die Werte mit früheren Ergebnissen und den Referenzwerten der für das geprüfte Betriebsmittel relevanten Normen zu vergleichen.

Ein Anstieg der Kapazität von mehr als 10 % verglichen zu früheren Ergebnissen wird für Durchführungen normalerweise als gefährlich eingestuft. Ein solcher Anstieg zeigt an, dass ein Teil der Isolierung bereits beschädigt ist und die dielektrische Belastung auf der übrigen Isolierung zu hoch ist.

Eine zusätzliche Spannungsanstiegsprüfung, auch bekannt als Tip-up-Test, kann fehlerhafte Kontakte der Durchführungsschichten oder der Messanschlüsse erfassen. Sie können durch einen abfallenden  $\tan(\delta)$  erkannt werden.

Standardmäßige Messungen des  $\tan(\delta)$  bei 50 Hz oder 60 Hz können lediglich die Auswirkungen von Feuchte und Alterung in einer fortgeschrittenen Phase erkennen. Mit Messungen in einem erweiterten Frequenzbereich können diese Auswirkungen bereits frühzeitig erkannt werden, wodurch eine längere Reaktionszeit zur Planung von Korrekturmaßnahmen möglich ist.

Wird ein hoher  $\tan(\delta)$  erkannt, kann eine dielektrische Antwortmessung als ergänzendes Diagnoseverfahren eingesetzt werden. Diese dielektrische Messung in einem breiten Frequenzbereich kann eingesetzt werden, um zu bestimmen, ob der hohe  $\tan(\delta)$  durch Feuchte oder eine hohe Ölleitfähigkeit verursacht wird.

Isolierflüssigkeit	Spannungsebene	Nennwert/neuer $\tan(\delta)$ -Grenzwert	Gebrauchstauglichkeitsgrenze
Mineralöl	< 230 kV	0,5 %	1,0 %
Mineralöl	≥ 230 kV	0,5 %	1,0 %
Erdöl	Alle	1,0 %	1,0 %

Typische Werte für den Verlustfaktor von Transformatoren in Abhängigkeit der eingesetzten Isolierflüssigkeit bei 20 °C gemäß internationalen Normen (IEEE C.57-152)

Isolationstyp	Neue Durchführungen	IEEE C57.19.01	IEC 60137
Epoxyharz	0,3 % ... 0,4 %	< 0,85 %	< 0,70 %
Weichpapier	0,2 % ... 0,4 %	< 0,50 %	< 0,70 %
Hartpapier	0,5 % ... 0,6 %	< 2,00 %	< 1,50 %

Typische Werte für den Verlustfaktor von Durchführungen bei Netzfrequenz und 20 °C gemäß internationalen Normen

## Unsere Lösungen ...

Wir haben ein umfangreiches Angebot an Prüflösungen für das Messen von Kapazität und Verlustfaktor ( $\tan \delta$ ). Unter anderem bieten wir mobile Lösungen für komfortable Vor-Ort-Prüfungen, hoch präzise Lösungen für den Einsatz im Labor und dedizierte Prüfgeräte für die erweiterte Zustandsdiagnose von Leistungstransformatoren, wie z. B. der Bestimmung des Feuchtegehalts.

	Messbereich	Typischer Anwendungsbereich
<b>TESTRANO 600 + CP TD12/15</b>	0 ... 12 kV / 15 kV 15 Hz ... 400 Hz	Zustandsdiagnose von Leistungstransformatoren vor Ort und während der Herstellung
<b>CPC 100 + CP TD12/15</b>	0 ... 12 kV / 15kV 15 Hz ... 400 Hz	Allgemeine Zustandsdiagnose verschiedener Betriebsmittel vor Ort und während der Herstellung
<b>CPC 80 + CP TD12/15</b>	0 ... 12 kV / 15 kV 15 Hz ... 400 Hz	Verlustfaktorsprüfung verschiedener Betriebsmittel vor Ort und während der Herstellung
<b>TANDO 700</b>	Spannung abhängig von externer Quelle 5 Hz ... 400 Hz	HS-Laborprüfungen, z. B. für routinemäßige Prüfungen und Typenprüfungen oder Materialprüfungen unterschiedlicher Betriebsmittel
<b>DIRANA</b>	max. 200 V <sub>Spitze</sub> 50 µHz ... 5 kHz	Erweiterte Zustandsdiagnose und Bestimmung des Feuchtegehalts in Öl-Papier-Isolierungen

# Wicklungswiderstandsmessung und Stufenschalterprüfung

## Was kann geprüft werden?

- Durchführungen
- Stromwandler
- Leitungen
- ✓ Stufenschalter
- Isolierung
- ✓ Wicklungen
- Kern

## Gründe für eine Messung

Wicklungswiderstandsmessungen werden durchgeführt, um mögliche Schäden an Wicklungen oder Kontaktprobleme festzustellen, z. B. von den Durchführungen zu den Wicklungen oder von den Wicklungen zum Stufenschalter.

Sie werden auch für die Stufenschalter-Prüfung eingesetzt. Damit sind Rückschlüsse möglich, wann Kontakte gereinigt oder ersetzt bzw. der Stufenschalter selbst ersetzt oder instand gesetzt werden sollte. Fehler können dabei ohne Öffnen des Stufenschaltergehäuses erkannt werden.

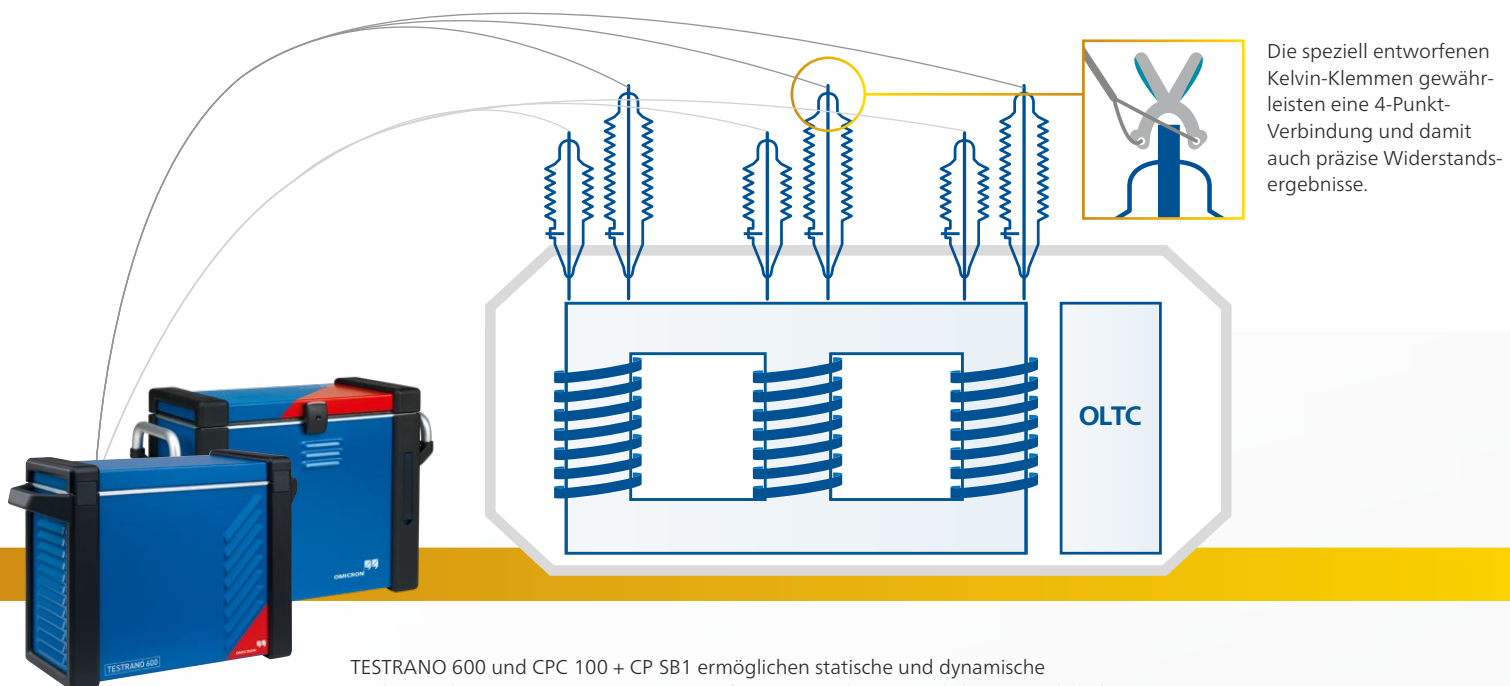
## Funktionsweise

Die Messung des Wicklungswiderstands erfolgt nach dem Prinzip des Ohmschen Gesetzes. Zunächst muss dafür die Wicklung solange geladen werden bis der Kern gesättigt ist und sich ein stabiler Gleichstrom einstellt.

Der Widerstand kann dann durch Messung von Gleichstrom und Gleichspannung bestimmt werden. Für Stufenwicklungen sollte die Messung bei jeder Stufe erfolgen, so dass der Stufenschalter und die Wicklung zusammen geprüft werden. Es gibt zwei gängige Vorgehensweisen für diese Prüfung: Statische und dynamische Wicklungswiderstandsmessungen.

**Statische Wicklungswiderstandsmessungen** sind der gängigste und einfachste Weg, um die Wicklung und den Stufenschalter auf Probleme zu prüfen. Diese Messungen untersuchen den Widerstand jeder einzelnen Stufe und vergleichen den Widerstand mit den Referenzwerten des Herstellers.

**Dynamische Widerstandsmessungen** werden als ergänzende Messungen durchgeführt, um den transienten Schaltvorgang eines resistiven Lastumschalters zu analysieren. Beim Schalten des Stufenschalters während einer Wicklungswiderstandsmessung fällt der Gleichstrom vorübergehend ab: Dieses Verhalten wird aufgezeichnet und analysiert.



## Wissenswertes ...

Für den Wicklungswiderstand sollten die Ergebnisse nicht mehr als 1 % von der Referenzmessung abweichen. Die Differenz der Werte zwischen einzelnen Phasen liegt im Schnitt unter 2 bis 3 %.

Bei einem Vergleich der Wicklungswiderstandsmessungen müssen die Ergebnisse temperaturkorrigiert werden. Die übliche Referenztemperatur ist 75 °C.

Mit einer Messung des Übersetzungsverhältnisses können offene Verbindungen verifiziert werden, während eine Frequency Response Analysis Kontaktprobleme bestätigen kann.

In beiden Fällen kann eine zusätzliche Gas-in-Öl-Analyse auf eine erhöhte Wärmeentwicklung im Transformator hinweisen. Allerdings sind Gas-Signaturen nicht eindeutig und erlauben somit keine sichere Feststellung der Fehlerursache.

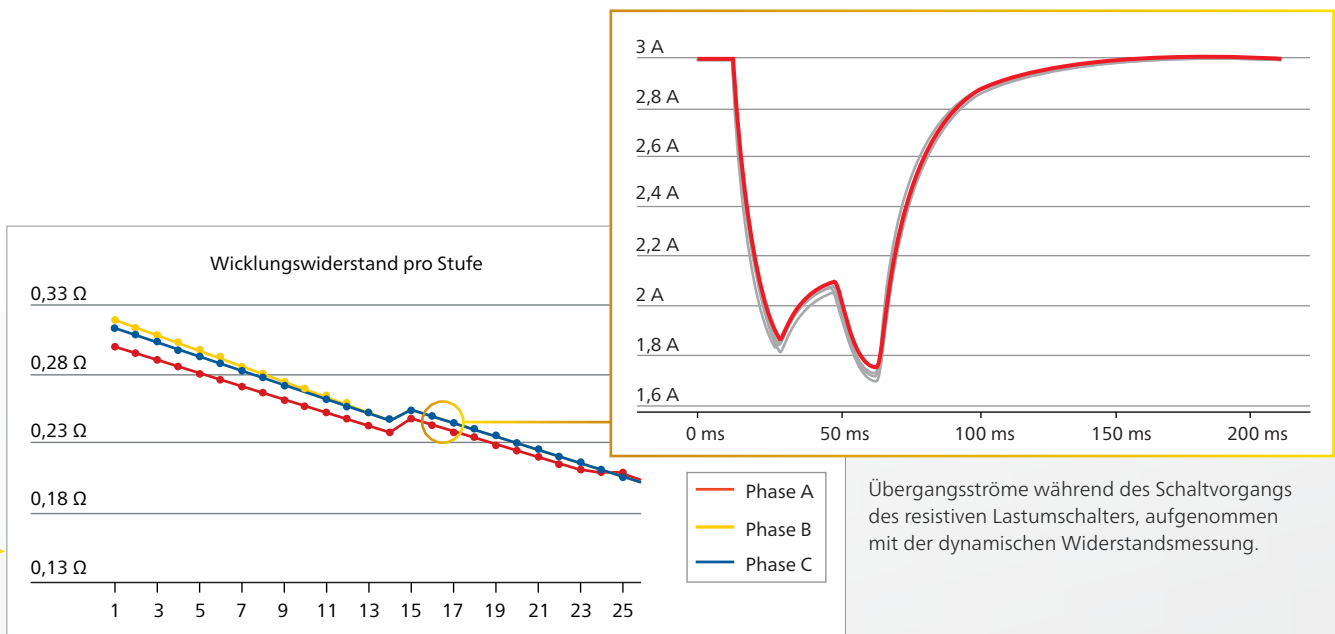
Während Wicklungswiderstandsmessungen kann der Kern des Transformators magnetisiert werden. Aus diesem Grund empfehlen wir, den Kern nach Durchführung der Messung zu entmagnetisieren.

## Warum TESTRANO 600?

- > Dreiphasenmessung von OS- und US-Wicklungen ohne Umverkabeln bis 33 A DC
- > Einphasenmessung niederohmiger Wicklungen mit bis zu 100 A DC
- > Automatische Stufenschalter-Steuerung und Messung des OLTC-Motorstroms sowie der betreffenden Spannung
- > Entmagnetisierung des Kerns und Messung des Windungszahlenverhältnisses ohne Neuverkabeln/Umverkabeln
- > Auto-KSI-Funktion zum Kurzschließen der Phasen über die TESTRANO Anschlussleitungen

## Warum CPC 100 + CP SB1?

- > Messung aller drei Phasen ohne Umverkabeln mit CP SB1 bis 6 A DC
- > Einphasenmessung niederohmiger Wicklungen mit bis 100 A DC
- > Automatische Stufenschalter-Steuerung mit CP SB1



Wicklungswiderstand je Stufe, aufgenommen mit der statischen Widerstandsmessung.

# Übersetzungsverhältnismessungen

## Was kann geprüft werden?

- Durchführungen
- Stromwandler
- Leitungen
- Stufenschalter
- Isolierung
- ✓ Wicklungen
- Kern

## Gründe für eine Messung

Messungen des Übersetzungsverhältnisses werden durchgeführt, um die grundlegende Funktionsweise eines Leistungstransformators zu prüfen. Durch die Messung des Übersetzungsverhältnisses und des Phasenwinkels zwischen zwei Wicklungen können offene Verbindungen und Wicklungsschlüsse erkannt werden.

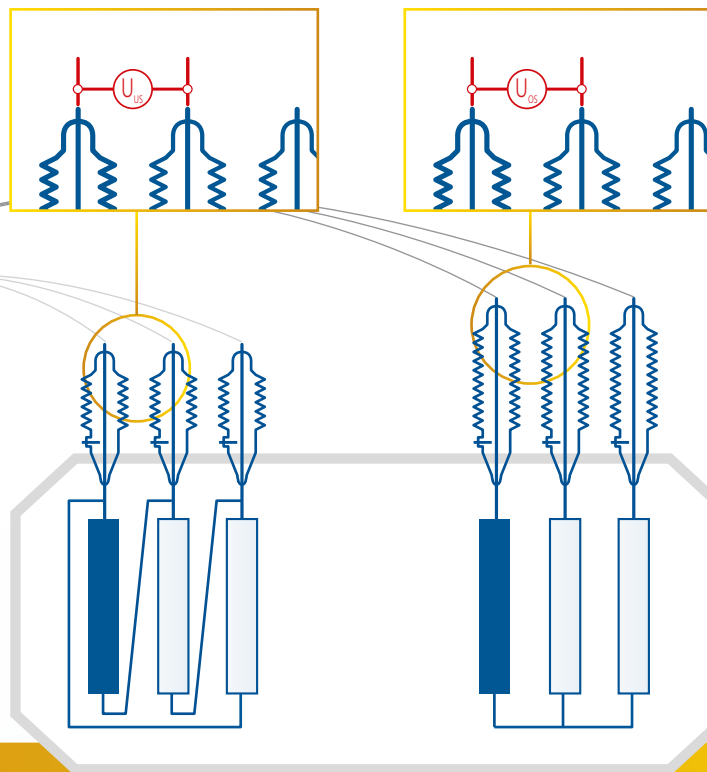
Das Übersetzungsverhältnis wird während Werksabnahmeprüfungen bestimmt und muss routinemäßig geprüft werden, nachdem der Transformator in Betrieb genommen wurde. Die Messung kann auch nach einer Schutzauslösung oder anderen Diagnoseprüfungen, wie der Gas-in-Öl-Analyse und Verlustfaktormessungen, sinnvoll sein.

## Funktionsweise

Bei Verwendung einer **einphasigen Prüfquelle** wird die Prüfspannung separat auf jeder Phase einer Wicklung angelegt und sowohl an der Oberspannungs- als auch der entsprechenden Unterspannungswicklung desselben Schenkels gemessen.

Bei Verwendung einer **dreiphasigen Prüfquelle** kann dieselbe Messung an allen drei Phasen gleichzeitig durchgeführt werden.

Das berechnete Übersetzungsverhältnis kann anschließend mit den werksseitig angegebenen Ergebnissen auf dem Typenschild verglichen werden.



Die Spannung an der Oberspannungs- und Unterspannungswicklung wird gemessen und das Verhältnis wird in Abhängigkeit der Vektorgruppe berechnet.



TESTRANO 600 und CPC 100 + CP SB1 ermöglichen Messungen des Übersetzungsverhältnisses von Leistungstransformatoren ohne zusätzliches Umverkabeln.

## Wissenswertes ...

Die Ergebnisse werden mit den werksseitig angegebenen Werten und Messungen an unterschiedlichen Phasen verglichen. Gemäß IEC 60076-1 und IEEE C57.152 sollten die Messwerte nicht mehr als 0,5 % vom Nennverhältnis abweichen.

Das Übersetzungsverhältnis wird üblicherweise von der Oberspannungs- zur Unterspannungswicklung gemessen. So können gefährliche Spannungen an den Messeingängen vermeiden werden.

Ein magnetisierter Kern oder eine fehlende Bezugs Erde kann die Messung beeinflussen und zu verfälschten Ergebnissen führen. Aus diesem Grund ist es sehr wichtig, dass eine Entmagnetisierung des Transformator-Kerns und entsprechende Erdungen an jeder Wicklung gegeben sind.

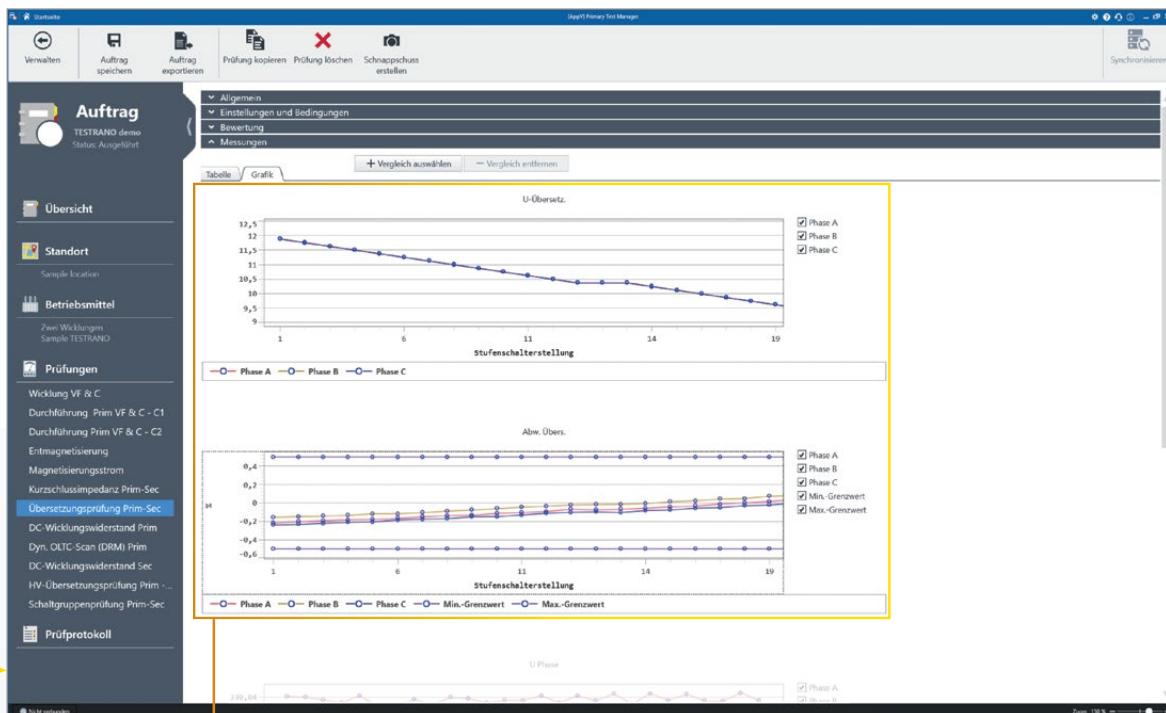
Für die Bestätigung oder Nichtbestätigung eines vermuteten Problems empfiehlt sich eine zusätzliche Messung des Magnetisierungsstroms, so können bspw. Kurzschlüsse erkannt werden. Wicklungswiderstands-Messungen wären im Vergleich dazu sensitiv genug um offene Verbindungen aufzuzeigen.

## Warum TESTRANO 600?

- > Genaue Dreiphasenmessungen zur Bestimmung des Verhältnisses und der Phasenverschiebung aller Wicklungskonfigurationen
- > Messungen bis 400 V AC (L-L) ohne Umverkabeln
- > Dieselbe Verkabelung wie für die Prüfung des Wicklungswiderstands, keine Änderung der Leitungen erforderlich
- > Automatische Stufenschalter-Steuerung in der Einheit integriert, kein Zubehör erforderlich

## Warum CPC 100 + CP SB1?

- > Messung aller drei Phasen ohne Umverkabeln bis 300 V AC (L-L) mit CP SB1
- > Einphasenmessungen bis 2 kV AC
- > Automatische Stufenschalter-Steuerung mit CP SB1



Das Übersetzungsverhältnis wird an jeder Stufe aller drei Phasen gemessen. Gemäß internationalen Normen sollten die Ergebnisse nicht mehr als 0,5 % von den Nennwerten des Typenschildes abweichen.

# Magnetisierungsstrommessungen

## Was kann geprüft werden?

- Durchführungen
- Stromwandler
- Leitungen
- Stufenschalter
- Isolierung
- ✓ Wicklungen
- ✓ Kern

## Gründe für eine Messung

Magnetisierungsströme werden gemessen, um die Isolierung der Wicklungen von Windung zu Windung, den magnetischen Kreis eines Transformators und den Stufenschalter zu bewerten.

Der größte Vorteil dieser Messung ist, dass Kurzschlüsse von Windung zu Windung in Wicklungen erkannt werden können. Physische Verschiebungen der Kernbleche oder massive Schäden im Kern können den magnetischen Widerstand beeinflussen und damit zu einer Änderung des Magnetisierungsstroms führen.

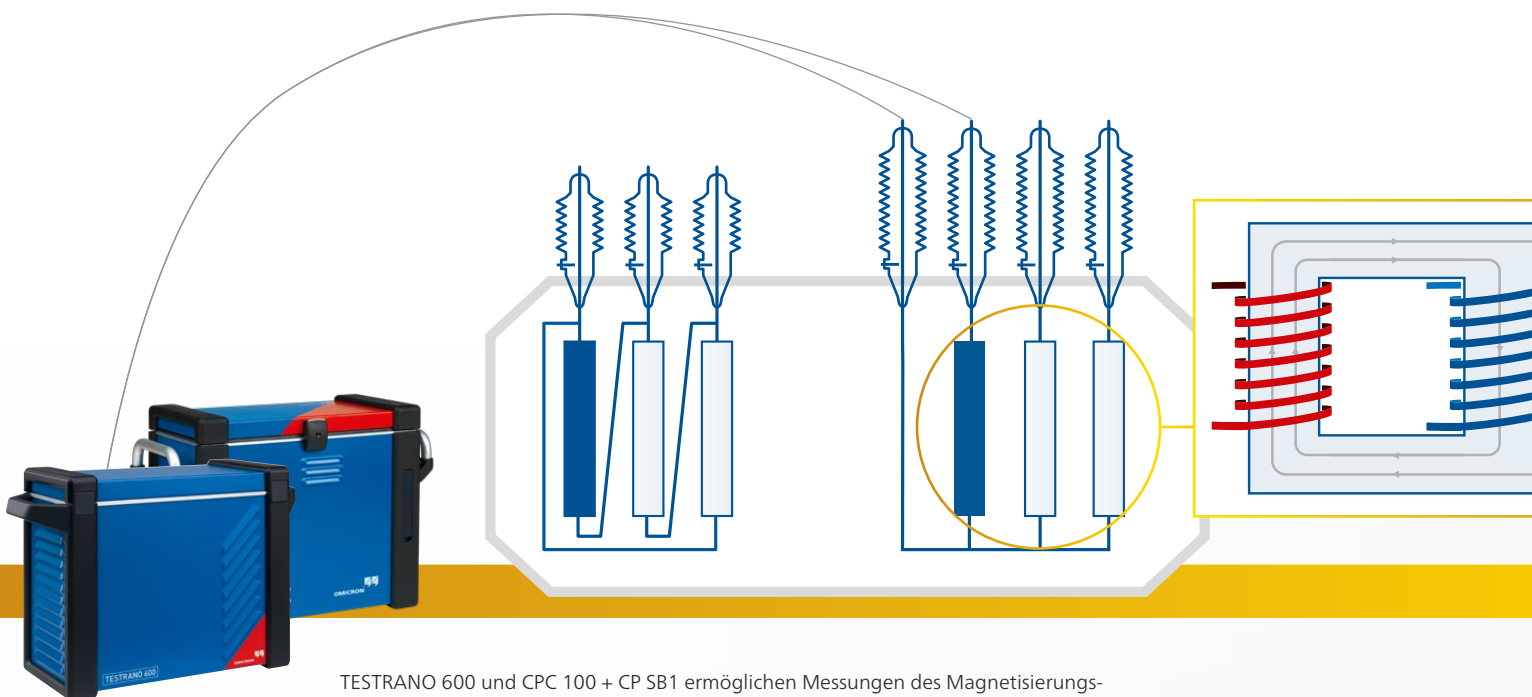
Abweichungen weisen auch auf abgenutzte Kontakte oder mangelhafte Verbindungen zum Stufenschalter hin.

## Funktionsweise

Der Magnetisierungsstrom wird im Leerlauf gemessen. Aus diesem Grund wird auf einer Seite des Transformators – normalerweise auf der Hochspannungsseite – Wechselspannung angelegt und die andere Seite wird offen gelassen. Die Stärke des Stroms, der von der Primärwicklung aufgenommen wird, ist proportional zur Energie, die zur Induktion einer Spannung in der Sekundärwicklung im Leerlauf erforderlich ist.

Es wird empfohlen, die größtmögliche Prüfspannung innerhalb der Grenzen des Prüfsystems und der Wicklung zu wählen, um so Kurzschlüsse von Windung zu Windung erkennen zu können. Die Standardprüfspannung beträgt 10 kV.

Die Prüfanschlüsse ändern sich je nach Wicklungskonfiguration. Generell sollte der Neutralleiter, sofern vorhanden, an dem Rückleiter des Prüfsystems angeschlossen werden. Die Durchführung des Neutralleiters im Leerlauf betriebenen Wicklung sollten geerdet sein, vorausgesetzt sie ist auch im Betrieb geerdet.



TESTRANO 600 und CPC 100 + CP SB1 ermöglichen Messungen des Magnetisierungsstroms von Leistungstransformatoren ohne zusätzliches Umverkabeln.



## Wissenswertes ...

Die Magnetisierungsstromprüfung sollte zwischen Phasen und Stufen verglichen werden. Je nach Aufbau des Transformators und Anzahl der Schenkel sollten die Ergebnisse ein eindeutiges Phasenmuster mit zwei oder drei ähnlichen Phasen zeigen (HTH, THT, TTT). Die ähnlichen Phasen sollten nicht mehr als 5 % bis 10 % voneinander abweichen.

Es werden weitere Untersuchungen empfohlen, falls alle drei Phasen unterschiedliche Magnetisierungsströme aufweisen. Ein unterschiedliches Phasenmuster könnte durch einen magnetisierten Kern oder ein Problem in der Wicklung verursacht worden sein.

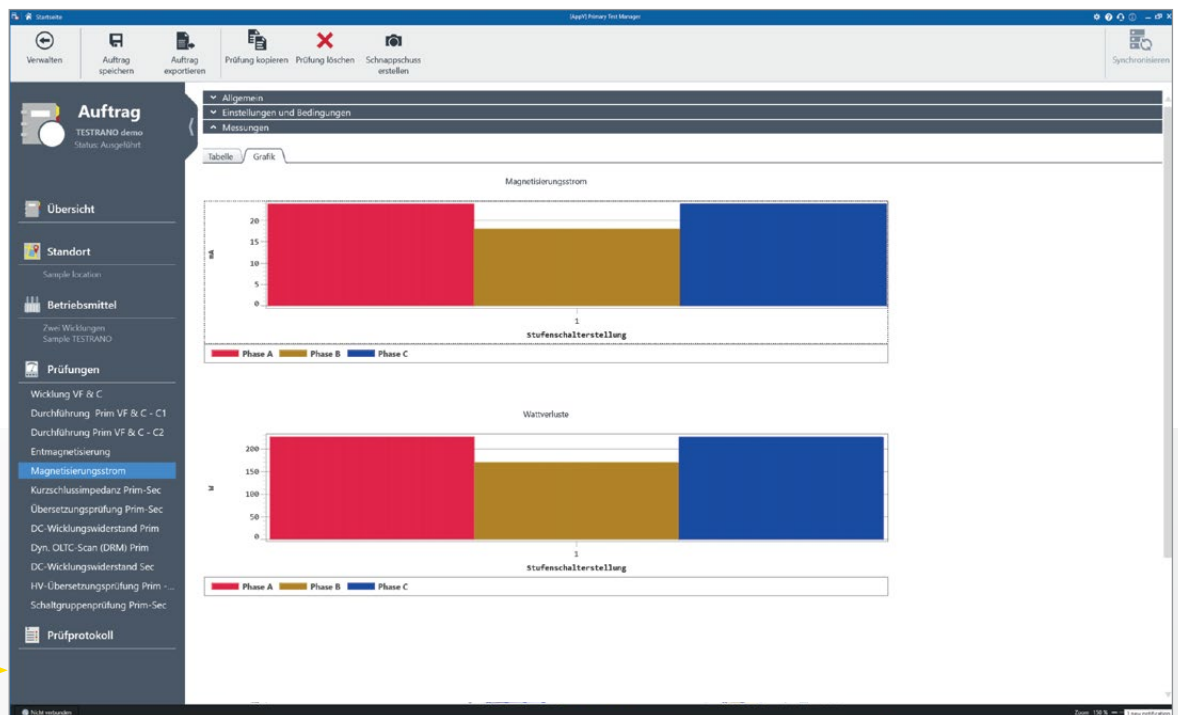
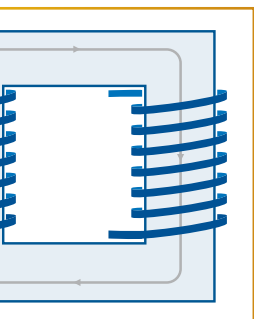
Wie zuvor erwähnt kann Restmagnetismus im Kern die Ergebnisse beeinflussen. In solch einem Fall sollte der Transformator entmagnetisiert und die Messung wiederholt werden.

Zusätzlich zum Phasenmuster sollten die Ergebnisse auch ein eindeutiges Muster über alle Stufen hinweg zeigen, das je nach Stufenschalter-Typ variieren kann. Auch wenn das spezifische Stufenschalter-Muster nicht bekannt ist, sollte es für alle Phasen gleich sein.

Kurzgeschlossene Windungen können ebenfalls durch Messung des Übersetzungsverhältnisses bestätigt werden. Die Sweep Frequency Response Analysis ist dagegen hilfreich, um Probleme im Kern zu bestätigen oder zusätzlich zu diagnostizieren.

## Warum TESTRANO 600 oder CPC 100?

- > Magnetisierungsstromprüfungen mit der üblichen Prüfspannung von 10 kV mit CP TD12/15
- > Bestimmung von Magnetisierungsströmen bei gleichzeitiger Messung des Übersetzungsverhältnisses
- > Bestimmung von Magnetisierungsströmen aller drei Phasen ohne Umstecken



Ein typisches HTH (Hoch-Tief-Hoch)-Phasenmuster eines Transformators mit drei Schenkeln mit zwei ähnlichen hohen Werten an den äußeren Phasen und einem niedrigeren Wert an der mittleren Phase.

# Kurzschlussimpedanzmessung

## Was kann geprüft werden?

- Durchführungen
- Stromwandler
- Leitungen
- Stufenschalter
- Isolierung
- ✓ Wicklungen
- Kern

## Gründe für eine Messung

Die Messung der Kurzschlussimpedanz ist ein sensitives Verfahren, um mögliche Verformungen oder Verschiebungen von und in Wicklungen zu diagnostizieren.

Hohe Kurzschlussströme oder der Transport eines Leistungstransformators können Verschiebungen oder Verformungen der Wicklungen verursachen. In solchen Fällen werden Kurzschlussimpedanzmessungen empfohlen.

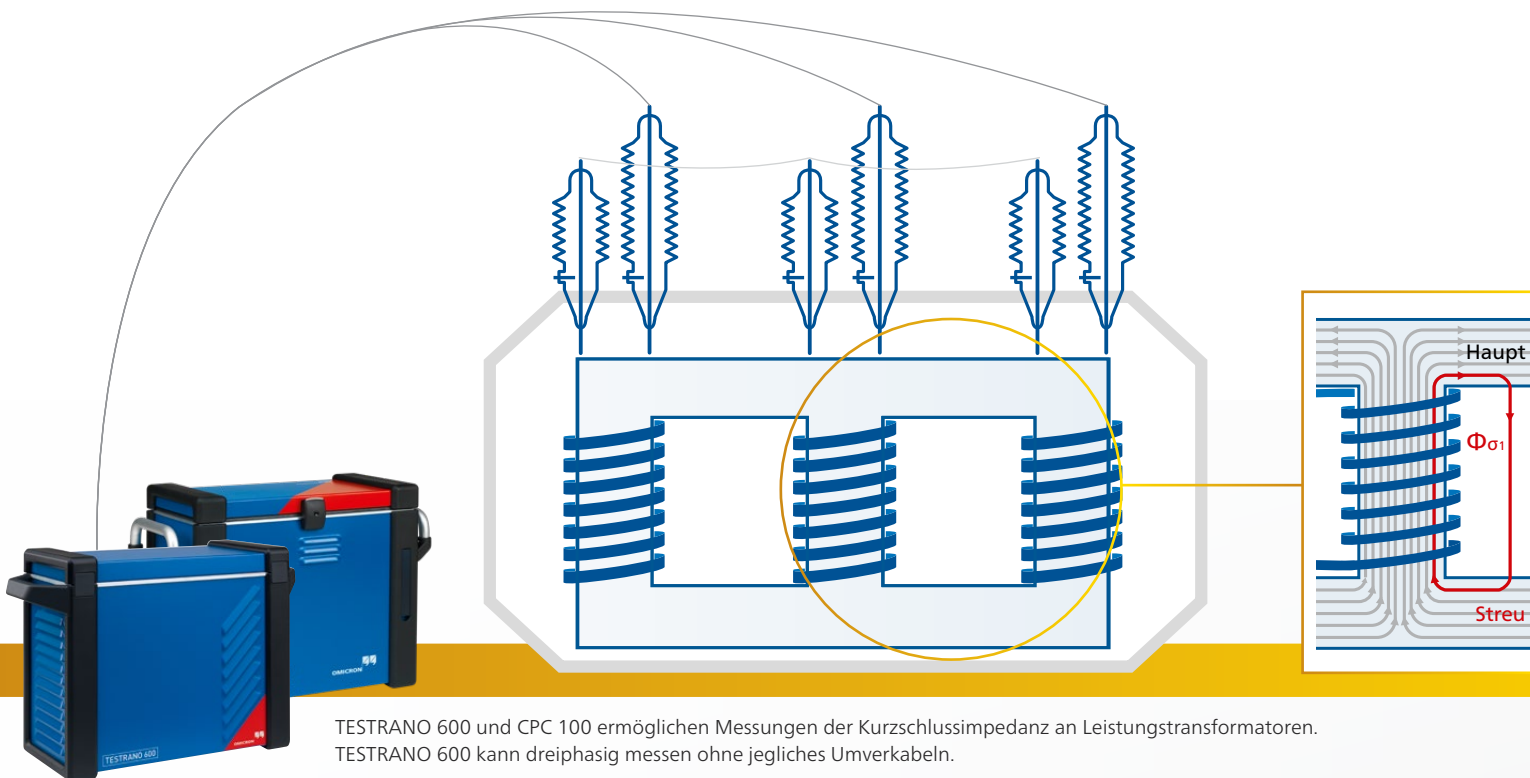
Die Prüfung wird normalerweise als dreiphasige Messung durchgeführt.

Die gemessenen Ergebnisse werden im Anschluss mit den Typenschild-Werten verglichen, die vom Hersteller während Werksabnahmeprüfungen ermittelt wurden. Da dieser Wert einen Durchschnittswert aller drei Phasen darstellt, wird auch eine einphasige Messung empfohlen.

## Funktionsweise

Eine Wechselstromquelle wird an jede Phase einer Wicklung auf der Hochspannungsseite angeschlossen. Für die dreiphasige Messung werden alle drei Phasen auf der Unterspannungsseite kurzgeschlossen, ohne den Neutralleiter (sofern vorhanden) anzuschließen. Für die einphasige Messung wird nur die entsprechende Wicklung auf der Unterspannungsseite kurzgeschlossen.

Strom und Spannung aller Wicklungen auf Oberspannungsseite werden in Amplitude und Phase gemessen. Die Kurzschlussimpedanz wird unter Berücksichtigung der spezifischen Nennwerte des Transformators berechnet.



## Wissenswertes ...

Die Kurzschlussimpedanz aus der Dreiphasenmessung sollte nicht mehr als 3 % vom Wert auf dem Typenschild abweichen.

Allerdings bestätigen höhere Abweichungen nicht automatisch eine Verformung der Wicklung. Um eine Verformung der Wicklung zu bestätigen, muss mindestens eines der Ergebnisse der Streureaktanzprüfung auffällig sein.

Bei der einphasigen Messung sollten die Ergebnisse pro Phase mit dem Durchschnittswert über alle drei Phasen verglichen werden. In den meisten Fällen betragen Abweichungen vom Durchschnittswert weniger als 1 % und sollten 2-3 % nicht überschreiten. Die Ergebnisse der einphasigen Prüfung können nicht mit dem Wert auf dem Typenschild verglichen werden.

Die Streureaktanz spiegelt den reaktiven Teil der Kurzschlussimpedanz wider. Allerdings werden beide Begriffe synonym verwendet, um dasselbe Prüfverfahren zu bezeichnen.

Zusätzlich kann eine Sweep Frequency Response Analysis (SFRA) durchgeführt werden, um die Verschiebung und Verformung der Wicklung näher zu untersuchen.

Die Streureaktanz steht für den Streufluss, d. h. den Fluss, der nicht vollständig im Kern gehalten wird. Eine Verschiebung oder Verformung der Wicklungen ändert den magnetischen Widerstand des Streuwegs und somit die Reaktanz.

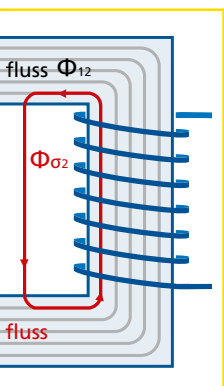


Tabelle		Grafik			
<b>Ergebnisse für Kurzschlussimpedanz (Zk)</b>					
	Phase	I AC	V1 AC	V1 AC Phase	W
Start	A	941,02 mA	164,73 V	87,09 °	7,8
Start	B	959,90 mA	168,62 V	87,08 °	8,2
Start	C	970,41 mA	168,56 V	86,97 °	8,6
<b>Bewertung uk</b>					
Phase	uk mess (%)	uk ref (%)			
	8,67 %	8,45 %			

Transformer Type	ODL 16 000 / 110	Serial No.	561525
Year: Manufacturing	1966	Operation	DB
50 Hz	Cooling S	Vector Group	Yd11
Power P:	PRIM 12 000	TERT	SEC 12 000 kVA
Rated Voltage	1 12 62 00	13 11 00 00	25 9 38 00
	54.9	53.0	73.9
	V	A	V
	A	V	A
			10 600 V
			A
Impedances:	PRIM-TERT	TERT-SEC	PRIM-SEC
			9.45
			8.45 %
			8.15
Weight:	Total 424	Oil 17.6	Active Part 18
			Shipping 41 t

Die Kurzschlussimpedanz wird auf Basis der gemessenen dreiphasigen Ergebnissen und der Leistungsbemessungsdaten des Transformators berechnet. Anschließend wird sie mit den Typenschild-Werten des Transformators verglichen.

## Warum TESTRANO 600?

- > Genaue Dreiphasenmessung zur Bestimmung der Kurzschlussimpedanz ohne Umstecken
- > Ähnliches Prüfverfahren wie während den Werkabnahmeprüfungen
- > Gleiche Verkabelung wie bei FRSL-Messungen

## Warum CPC 100?

- > Einphasenmessungen zur Bestimmung eines Dreiphasenäquivalents und der Kurzschlussimpedanz pro Phase
- > Gleiche Verkabelung wie bei FRSL-Messungen

# Messung des Frequenzgangs von Streuverlusten

## Was kann geprüft werden?

- Durchführungen
- Stromwandler
- Leitungen
- Stufenschalter
- Isolierung
- ✓ Wicklungen
- Kern

## Gründe für eine Messung

Die Messung des Frequenzgangs von Streuverlusten (engl. "Frequency Response of Stray Losses", abgekürzt FRSL) ist eine Messung der ohmschen Komponente der Kurzschlussimpedanz bei unterschiedlichen Frequenzen. Sie ist das einzige elektrische Verfahren, mit dem Kurzschlüsse in einem Drilleiter und lokale Überhitzung aufgrund von Wirbelstromverlusten erkannt werden können.

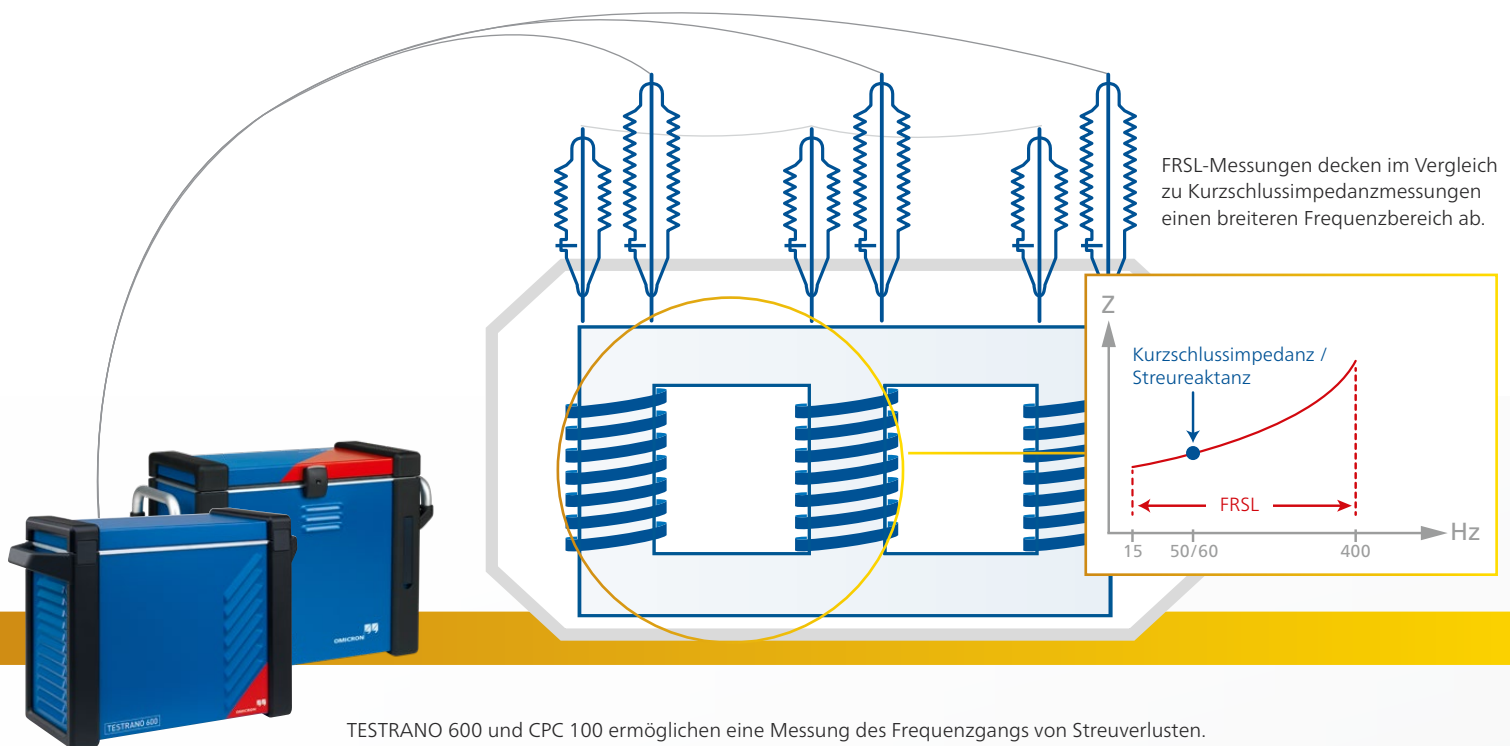
Ähnlich wie bei der Kurzschlussimpedanzmessung wird empfohlen, FRSL-Messungen als Inbetriebnahme- oder Abnahmeprüfung durchzuführen um entsprechende Referenzwerte festzulegen. Gleichmaßen sind FRSL-Prüfungen keine routinemäßigen Diagnoseprüfungen, sondern werden für die erweiterte Diagnose empfohlen. Die Prüfung kann als dreiphasige oder einphasige Messung durchgeführt werden.

## Funktionsweise

Der Aufbau und Ablauf einer FRSL-Prüfung ist derselbe wie für Kurzschlussimpedanz-Prüfungen. Sie können zudem parallel, also mit dem selben Prüfaufbau, durchgeführt werden. Eine Wechselstromquelle wird an jede Phase einer Wicklung auf der Hochspannungsseite angeschlossen. Für die dreiphasigen Messung werden alle drei Phasen auf der Unterspannungsseite kurzgeschlossen, ohne den Neutralleiter – sofern vorhanden – anzuschließen. Für die einphasige Messung nur die entsprechende Wicklung auf der Unterspannungsseite kurzgeschlossen.

Auf der Grundlage des gemessenen Stroms, der Spannung und der Phasenverschiebung wird die ohmsche Komponente der Kurzschlussimpedanz bei unterschiedlichen Frequenzen zwischen 15 und 400 Hz berechnet.

Eine grafische Darstellung der Ergebnisse über den Frequenzbereich zeigt einen Anstieg der ohmschen Komponente, da die Wirbelstromverluste im Transformator proportional zur Frequenz sind.



TESTRANO 600 und CPC 100 ermöglichen eine Messung des Frequenzgangs von Streuverlusten. TESTRANO 600 kann dreiphasig messen ohne jegliches Umverkabeln.

## Wissenswertes ...

Die Analyse der FRSL-Ergebnisse ist größtenteils visuell und umfasst einen Vergleich der einzelnen Phasen. Zusätzlich können mehrere Messungen hinsichtlich ihres zeitlichen Verlaufs verglichen werden. Da sich die Wirbelstromverluste proportional zur Frequenz verhalten, kann ein Anstieg der Impedanz über den Frequenzbereich beobachtet werden.

Dieser Anstieg sollte entlang aller drei Phasen einheitlich sein und eine gleichmäßige Exponentialkurve darstellen. Abweichungen bis zu 3 % können besonders in höheren Frequenzbereichen auf einen Kurzschluss zwischen Einzeldrähten des Drillleiters hinweisen.

FRSL-Ergebnisse sollten mit einer Gas-in-Öl-Analyse überprüft werden. Viele der Probleme, die mit FRSL diagnostiziert werden können, erzeugen brennbare Gase. So können bspw. kurzgeschlossene Einzeldrähte zu einer Überhitzung führen, die mithilfe einer Gas-in-Öl-Analyse erkannt werden kann.

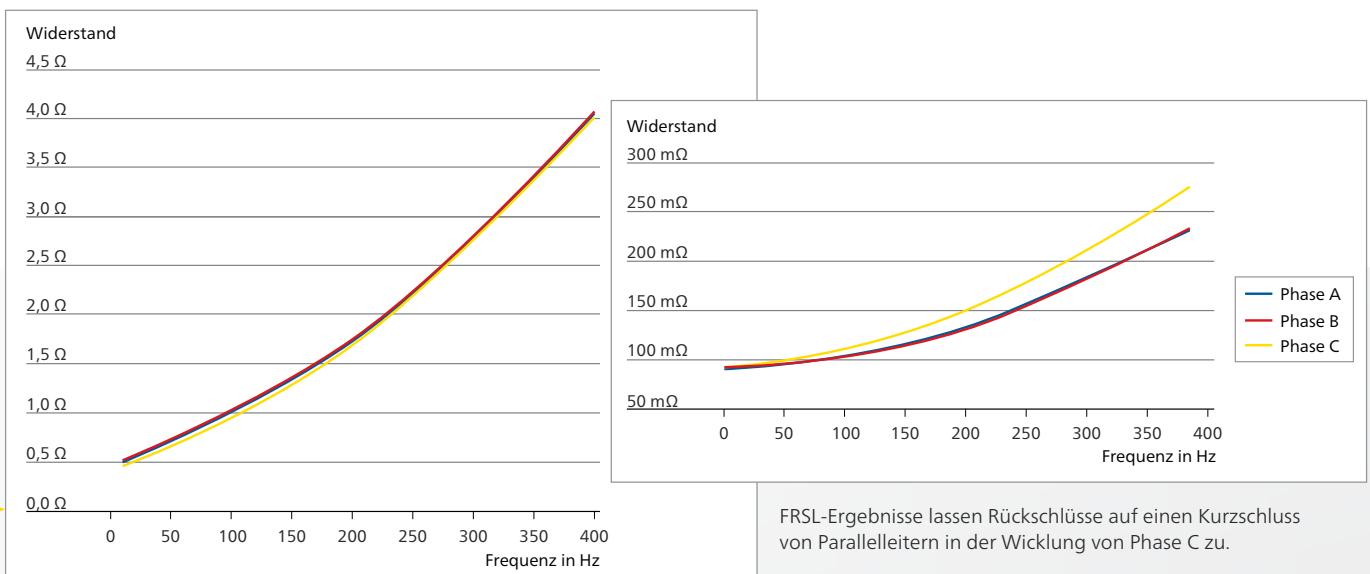
Die gängigsten Probleme, die zu irreführenden FRSL-Ergebnissen führen könnten, sind fehlerhafte Verbindungen und zu kleine Querschnitte der eingesetzten Kurzschlussbrücke. In einem solchen Fall kann eine vertikale Verschiebung zwischen den Phasen beobachtet werden.

## Warum TESTRANO 600?

- > Genaue Dreiphasenmessung zur Messung von FRSL ohne Umstecken
- > Gleiche Verkabelung wie bei der Prüfung der Kurzschlussimpedanz/Streureaktanz

## Warum CPC 100?

- > Einphasenmessungen zur Messung eines Dreiphasenäquivalents und von FRSL pro Phase
- > Gleiche Verkabelung wie bei der Prüfung der Kurzschlussimpedanz/Streureaktanz



Angemessene FRSL-Ergebnisse

# Entmagnetisierung des Kerns

## Was kann geprüft werden?

- Durchführungen
- Stromwandler
- Leitungen
- Stufenschalter
- Isolierung
- Wicklungen
- ✓ Kern

## Gründe für eine Messung

Wird ein Leistungstransformator vom Netz getrennt, kann aufgrund der Phasenverschiebung in seinem Kern Restmagnetismus entstehen. Restmagnetismus entsteht auch, nachdem Gleichstrom auf den Kern des Transformators induziert wurde, z. B. während routinemäßiger Wicklungswiderstandsprüfungen im Feld oder im Werk.

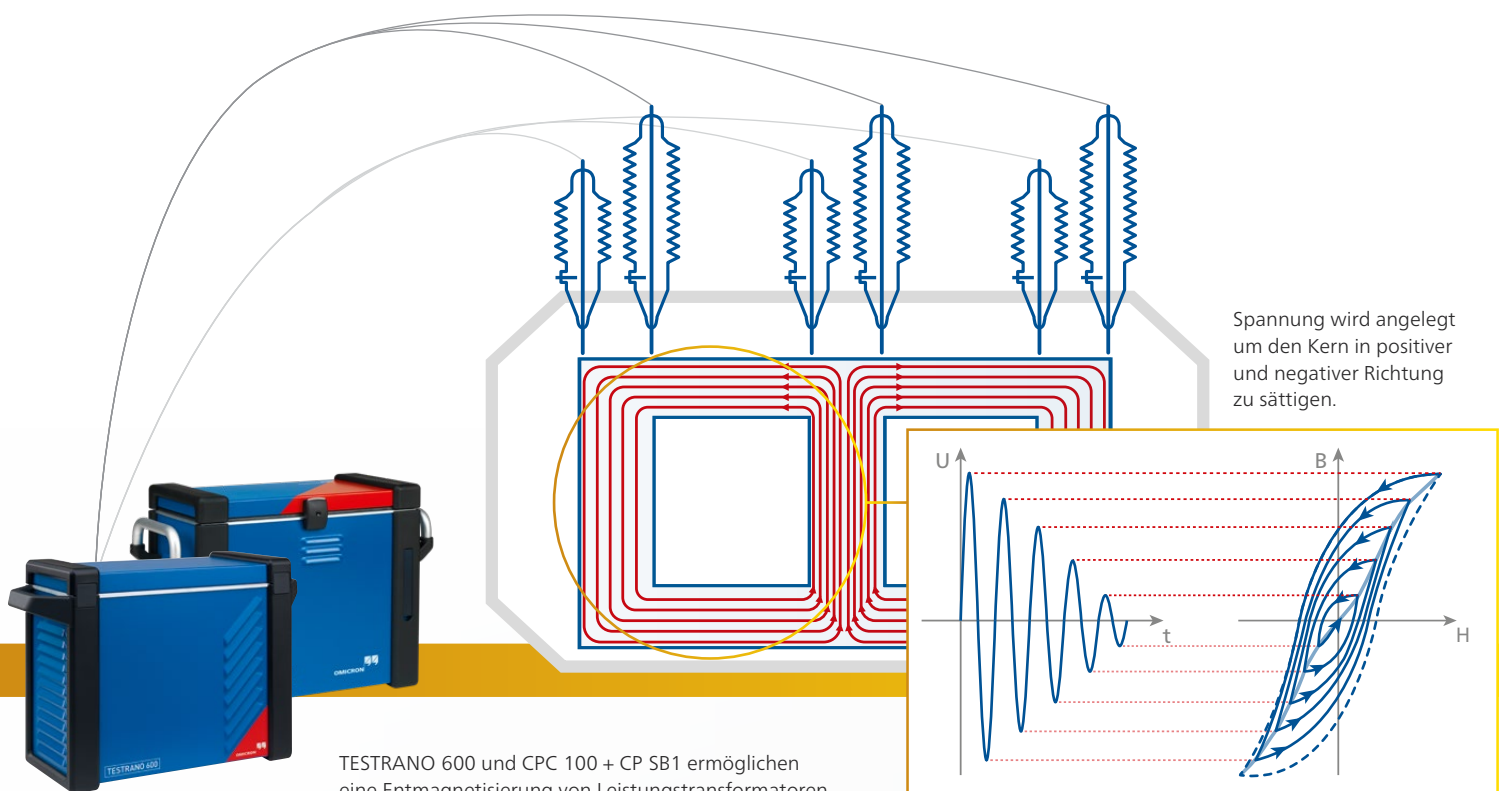
Restmagnetismus im Kern kann zu hohen Einschaltströmen bis zum maximalen Kurzschlussstrom führen. Dadurch wird der Transformator unnötig belastet, wenn er wieder in Betrieb genommen wird. Zusätzlich können viele Diagnoseprüfungen durch Restmagnetismus beeinflusst werden, was eine zuverlässige Beurteilung erschwert.

Aus diesem Grund wird eine Entmagnetisierung des Kerns vor und nach der Prüfung empfohlen, insbesondere wenn Gleichstrom während der Diagnoseprüfung angelegt worden ist.

## Funktionsweise

Zuerst wird der Kern in beide Richtungen gesättigt. Anschließend werden die spezifischen Hystereseparameter bestimmt und der Anfangsfluss wird berechnet. Auf Grundlage dieser Parameter wird ein iterativer Algorithmus verwendet, um den induzierten Fluss unter Anpassung der Spannung und Frequenz zu reduzieren. In mehreren Iterationen wird der Kern auf unter 1 % des Maximalwerts entmagnetisiert.

Die beschriebene Vorgehensweise zur Entmagnetisierung von Leistungstransformator-Kernen, basierend auf der Messung des magnetischen Flusses, funktioniert zuverlässig sowohl für kleine als auch für große Leistungstransformatoren.



## Wissenswertes ...

Die Entmagnetisierung eines Leistungstransformator-Kerns minimiert die Risiken für Prüfer und Betriebsmittel, wenn der Transformator wieder in Betrieb genommen wird.

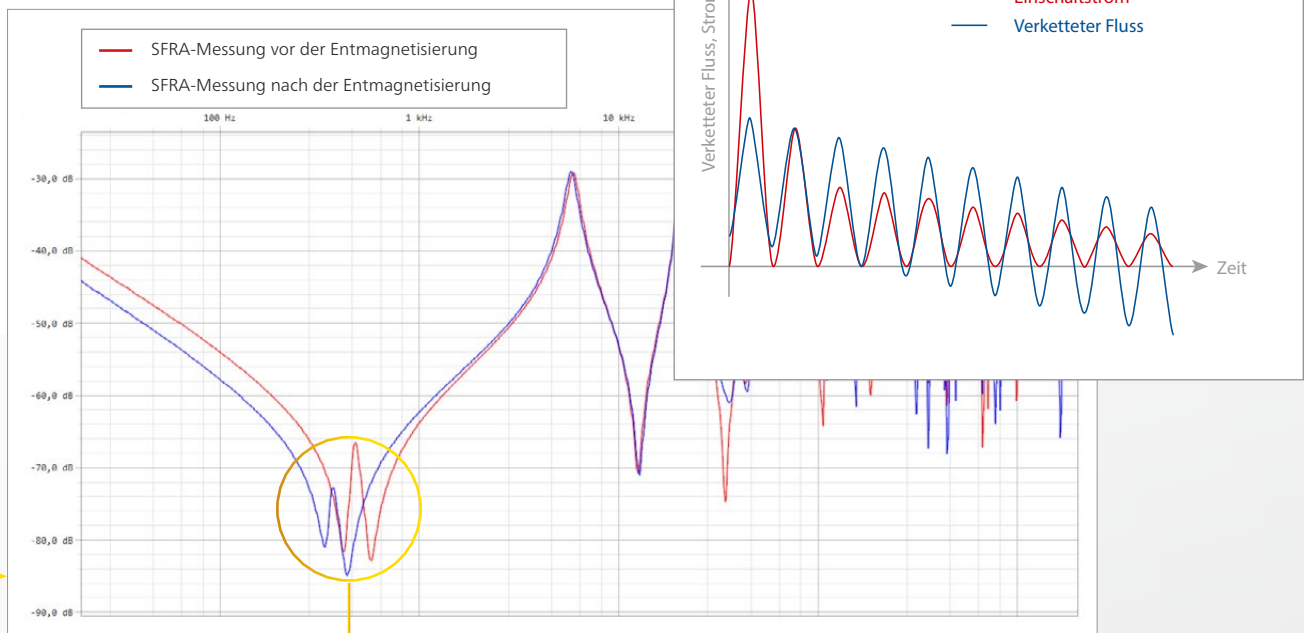
Bevor eine Messung des Magnetisierungsstroms, eine "Sweep Frequency Response Analysis" oder ein "Magnetic Balance Test" durchgeführt werden ist die Entmagnetisierung eines Transformators empfohlen. Diese Messungen würden durch einen magnetisierten Kern beeinflusst werden, was wiederum zu Fehlinterpretationen der Ergebnisse führen könnte.

Ein wichtiger Aspekt einer erfolgreichen Entmagnetisierung ist die konstante Überwachung des magnetischen Flusses ( $\phi$ ) im Kern während der Entmagnetisierung.

## Warum TESTRANO 600 oder CPC 100 + CP SB1?

- > Schnelle und zuverlässige Entmagnetisierung des Leistungstransformator-Kerns
- > Messung des anfänglichen Restmagnetismus für eine weitere Diagnose, z. B. von unerwarteten Prüfergebnissen für den Magnetisierungsstrom
- > Entmagnetisierung unter 1 % des Kern-Maximalwerts

Ein hoher Einschaltstrom tritt aufgrund von Restmagnetismus auf und kann den Transformator gefährden, wenn er wieder in Betrieb genommen wird.



SFRA-Messung an Phase A: Die Verschiebung in den Resonanzpunkten zeigt, wie die Messung durch den magnetisierten Kern beeinflusst wird.

# Sweep Frequency Response Analysis

## Was kann geprüft werden?

- Durchführungen
- Stromwandler
- ✓ Leitungen
- Stufenschalter
- Isolierung
- ✓ Wicklungen
- ✓ Kern

## Gründe für eine Messung

Die Sweep Frequency Response Analysis (SFRA) wird eingesetzt, um mechanische oder elektrische Probleme in den Wicklungen, Kontakten oder im Kern von Leistungstransformatoren zu identifizieren. Schwere Kurzschlüsse oder Stöße während des Transports eines Transformators können eine Verschiebung oder Verformung der Wicklung verursachen.

Seit Einführung der IEC 60076-18-Norm hat sich dieses Verfahren als eine der gängigsten elektrischen Prüfmethode etabliert und genießt eine entsprechend hohe Akzeptanz auf dem Markt.

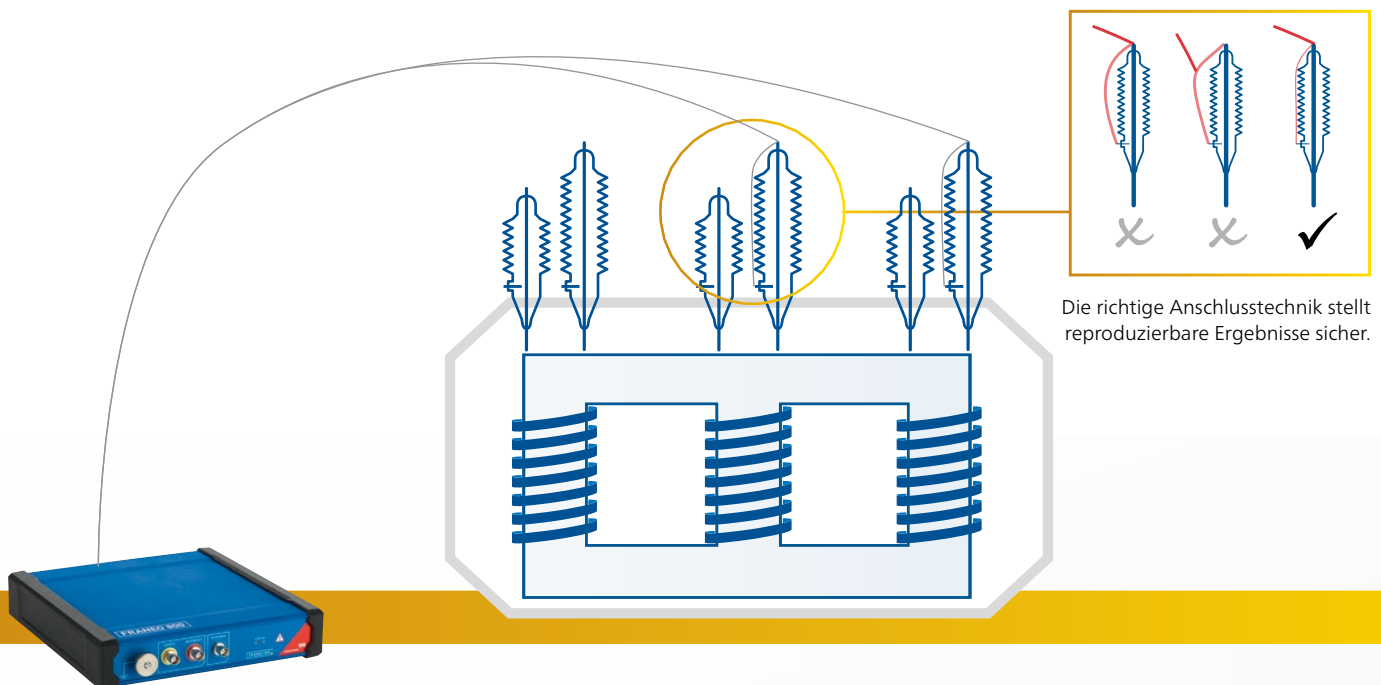
Es wird empfohlen, SFRA-Prüfungen am Ende der Abnahmeprüfungen beim Hersteller durchzuführen, um den ursprünglichen Fingerabdruck eines Transformators festzulegen, sowie nach dem Transport und während der Inbetriebnahme.

## Funktionsweise

Leistungstransformatoren stellen ein komplexes elektrisches Netzwerk aus Kapazitäten, Induktivitäten und Widerständen dar. Jedes elektrische Netzwerk verfügt über einen individuellen Frequenzgang.

Eine sinusförmige Erregerspannung mit kontinuierlich steigender Frequenz wird an einem Ende der Transformatorwicklung eingespeist und das am anderen Ende ausgehende Antwortsignal wird gemessen. Der Vergleich des Eingangs- und Ausgangssignals erzeugt einen unverwechselbaren Frequenzgang, der dann mit dem Referenzfingerabdruck verglichen werden kann.

Änderungen, Verschiebungen oder Verformungen der inneren Komponenten führen zu Änderungen in dieser Übertragungsfunktion und können durch einen Vergleich der grafischen Darstellungen identifiziert werden.



Die richtige Anschlusstechnik stellt reproduzierbare Ergebnisse sicher.

FRNEO 800 ermöglicht eine zuverlässige Kern- und Wicklungsdiagnose für Leistungstransformatoren mittels „Sweep Frequency Response Analysis“ (SFRA).



## Wissenswertes ...

SFRA basiert auf dem Vergleich einer aktuellen Prüfung mit einer Referenzprüfung. Steht ein solcher Fingerabdruck nicht zur Verfügung können auch die Ergebnisse einer anderen Phase oder eines ähnlichen Transformators für den Vergleich herangezogen werden.

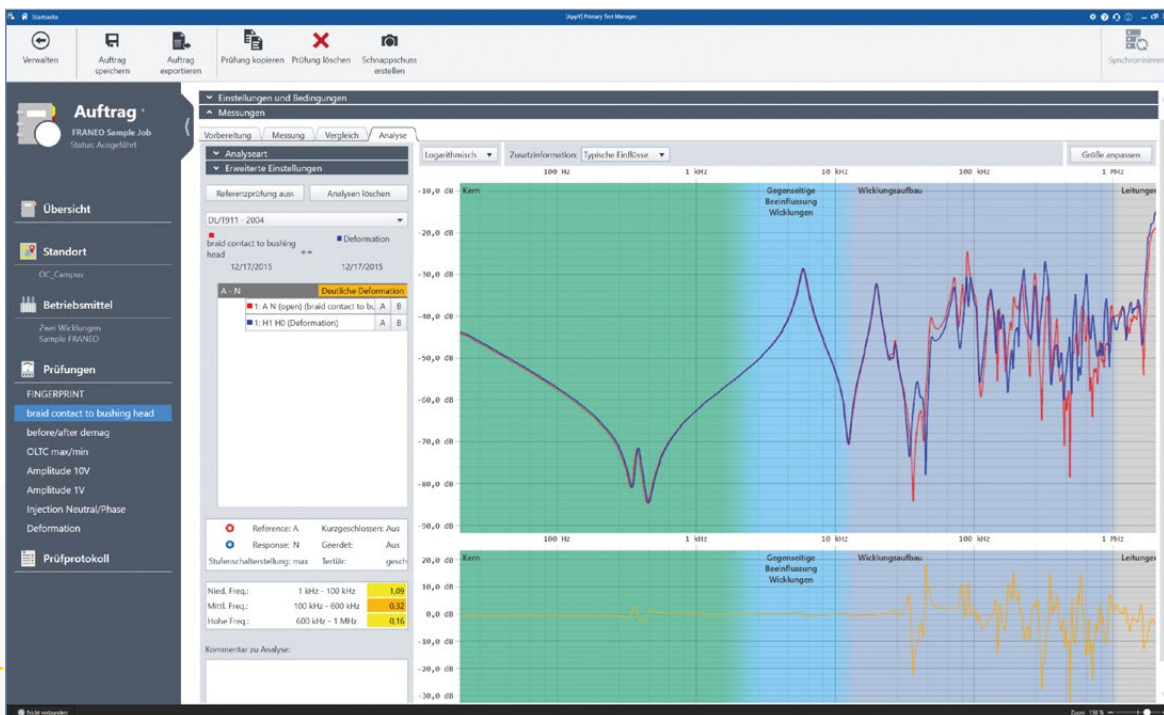
Die erfassten Fehler können durch andere Messungen bestätigt werden, z. B. Messung des Wicklungswiderstands, des Frequenzgangs von Streuverlusten (FRSL), der Kurzschluss-impedanz, des Magnetisierungsstroms oder des Übersetzungsverhältnisses.

SFRA ist ein nicht-invasives Verfahren. Die Unversehrtheit eines Leistungstransformators kann daher zuverlässig ohne Einsatz hoher Spannungen bewertet werden.

Kein anderes Verfahren ist beim Erkennen mechanischer Verformungen im Aktivteil von Leistungstransformatoren so sensitiv wie SFRA.

## Warum FRANEO 800?

- > Größter dynamischer Messbereich im Markt (> 150 dB)
- > Reproduzierbare Ergebnisse mittels innovativer Anschlusstechnik, basierend auf IEC 60076-18, Methode 1
- > Bedienung mit Primary Test Manager™, d.h. Schritt-für-Schritt-Anleitung für Prüfaufbau, Ausführung und Auswertung für einfache Analysen ohne Expertenwissen
- > Kurze Messzeiten durch intelligente Sweep-Algorithmen
- > Kompaktes und leichtes System für optimale Bedienerfreundlichkeit



Die Bedienung mit der Primary Test Manager™-Software bietet eine automatische Auswertung und Vergleich von Ergebnissen. Typische Einflüsse von Abweichungen können angezeigt werden.

# Dielektrische Antwortmessung

## Was kann geprüft werden?

- ✓ Durchführungen
- Stromwandler
- Leitungen
- Stufenschalter
- ✓ Isolierung
- Wicklungen
- Kern

## Gründe für eine Messung

Die dielektrische Antwortmessung wird für die Bewertung des Feuchtegehalts einer Zellulose-Isolierung und damit ihres Zustands eingesetzt.

Die Feuchte in öl-papier-isolierten Leistungstransformatoren entsteht durch die Alterung des Papiers oder dringt in den Transformator aufgrund brüchiger Dichtungen oder durch Atmen ein. Feuchte führt zu einer reduzierten Durchschlagfestigkeit und einer schnelleren Alterung der Isolierung.

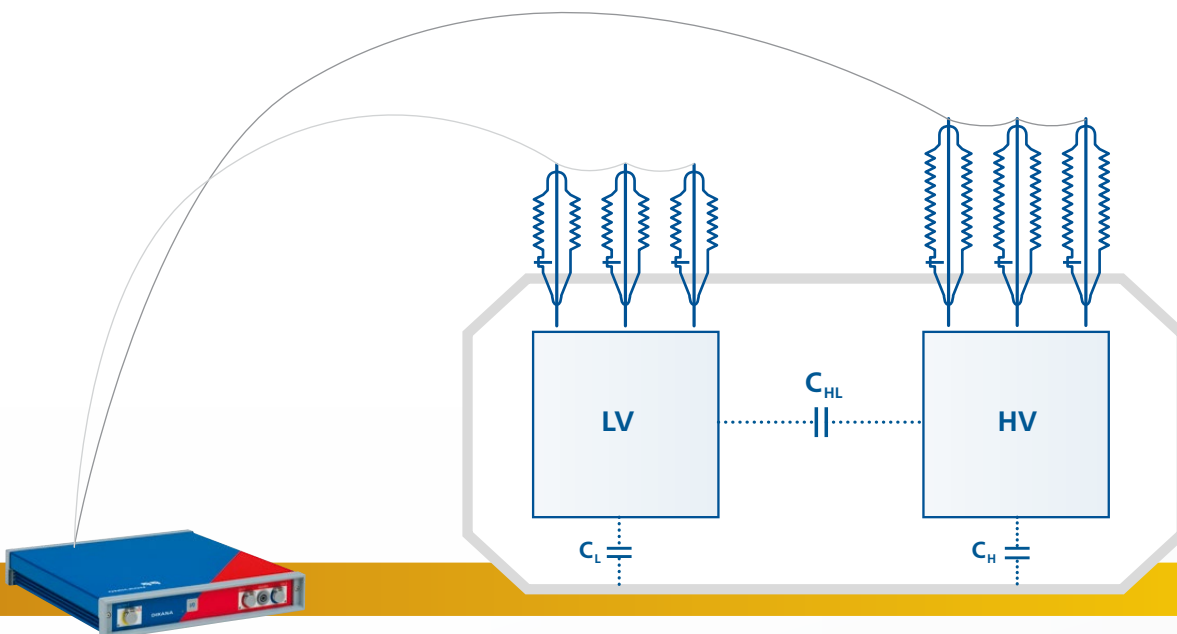
Den Feuchtegehalt zu kennen, ist Voraussetzung für die Zustandsbeurteilung von Leistungstransformatoren und ihrer Durchführungen. Diese Messung wird auch bei neuen Transformatoren eingesetzt, um einen Nachweis für den niedrigen Feuchtegehalt nach der Trocknung zu erbringen.

## Funktionsweise

Der größte Teil der Zellulose-Isolierung im Aktivteil eines Leistungstransformators liegt zwischen der primären und sekundären Wicklung. Zur Messung dieser Isolierung wird der Ausgang des Prüfgeräts an die Oberspannungswicklung und der Eingang an die Unterspannungswicklung angeschlossen. Unerwünschte kapazitive oder resistive Ströme werden durch die Guard-Verbindung am Tank umgangen.

Der Verlustfaktor dieser Isolierung wird über einen breiten Frequenzbereich gemessen. Der resultierende Kurvenverlauf liefert Informationen über den Isolationszustand.

Die sehr niedrigen Frequenzen bieten Informationen über den Feuchtegehalt der festen Isolierung. Die Position der Steigung im mittleren Frequenzbereich zeigt die Leitfähigkeit der flüssigen Isolierung. Diese Kurve wird automatisch mit Modellkurven verglichen und der Feuchtegehalt der Zellulose-Isolierung berechnet.



DIRANA bestimmt den Feuchtegehalt von öl-papier-isolierten Leistungstransformatoren und bewertet den Zustand von Durchführungen mittels der dielektrischen Antwortmessung.

## Wissenswertes ...

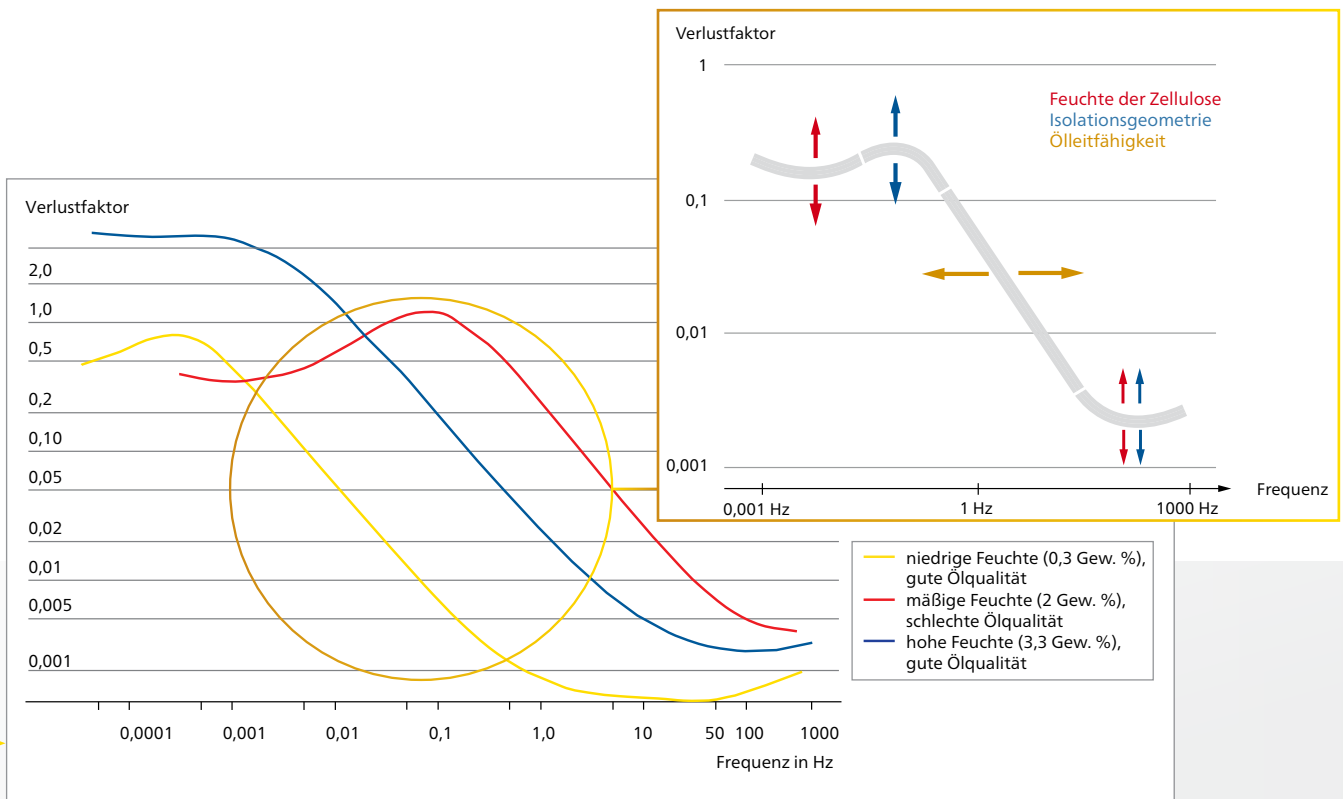
Dieses Verfahren ist wissenschaftlich von der CIGRÉ anerkannt. Es gibt keine anderen, nicht-invasive Verfahren mit vergleichbarer Genauigkeit für die Feuchte-Beurteilung in Transformatoren.

Der Feuchtegehalt wird unmittelbar in der Zellulose bestimmt und nicht von der Feuchte im Öl abgeleitet. Aus diesem Grund kann das Verfahren bei allen Temperaturen angewendet werden. Es muss also nicht gewartet werden, bis sich ein Feuchte-Gleichgewicht zwischen Papier und Öl einstellt.

Die Beurteilung erfolgt gemäß IEC 60422, die Kategorien basierend auf der Wassersättigung enthält.

## Warum DIRANA?

- > Zuverlässige Bestimmung des Feuchtegehalts von Leistungstransformatoren und Öl-Papier-Durchführungen (OIP)
- > Extrem kurze Messzeiten durch eine Kombination von Prüfverfahren (FDS und PDC+)
- > Breiter Frequenzbereich (10 µHz ... 5 kHz)



Der Kurvenverlauf der dielektrischen Antwort erlaubt Rückschlüsse auf unterschiedliche Faktoren, die das Messergebnis beeinflussen.

# Stromwandleranalyse

## Was kann geprüft werden?

- Durchführungen
- ✓ Stromwandler
- Leitungen
- Stufenschalter
- Isolierung
- Wicklungen
- Kern

## Gründe für eine Messung

Durchführungsstromwandler werden von Herstellern von Leistungstransformatoren während der Abnahmeprüfungen geprüft und von Anlagenbetreiber:innen während der Inbetriebnahme. Mit Hilfe der Prüfungen wird die korrekte Installation der Wandler überprüft und somit sichergestellt, dass die richtigen Signale an die Schutzinstrumente gesendet werden.

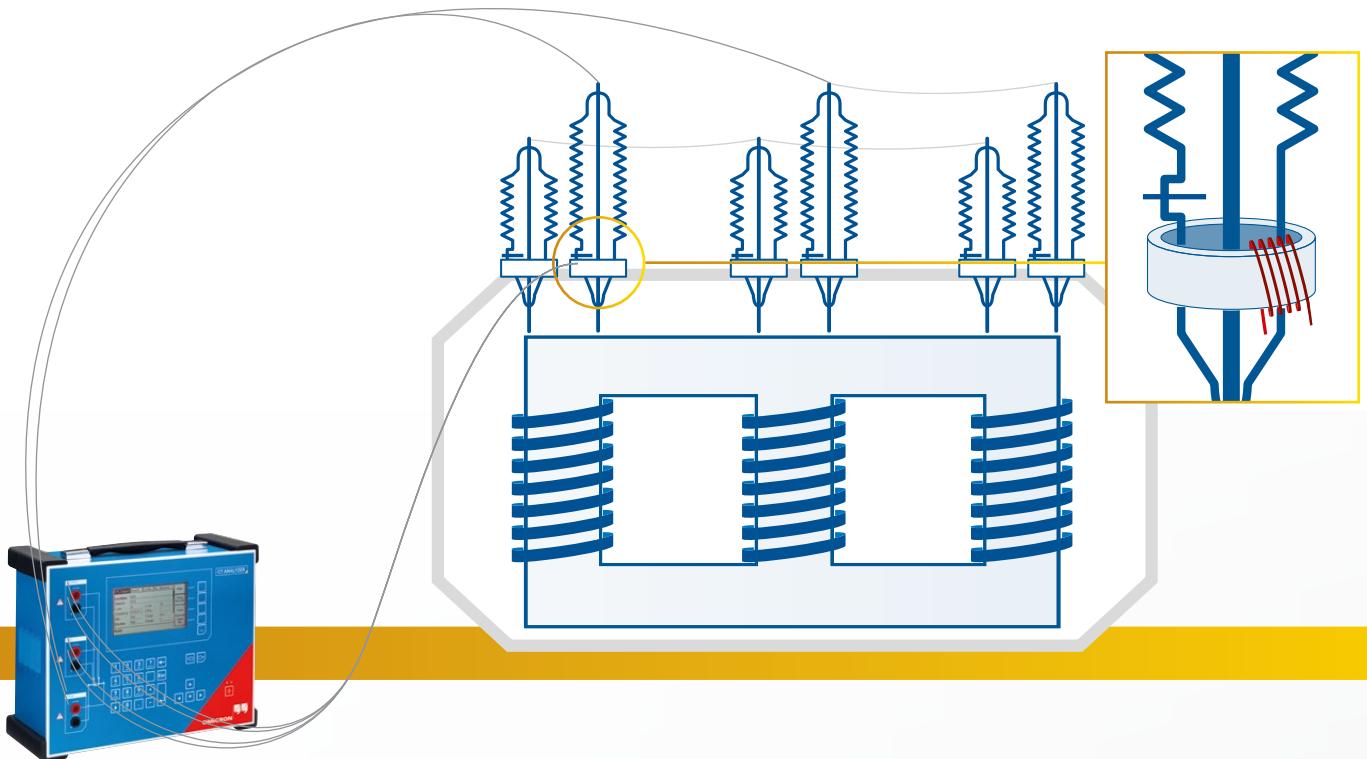
Fehlerhafte Signale können zu einer Fehlfunktion des Schutzes führen, was die angeschlossenen Betriebsmittel beschädigen kann. Geprüfte Parameter sind unter anderem die Wandlergenauigkeit, einschließlich des Übertragungsfehlers und des Fehlwinkels, die Genauigkeit bei unterschiedlichen Bürden, Wicklungswiderstände, das Magnetisierungsverhalten, der Grenzgenauigkeitsfaktor (ALF) oder Überstromfaktor (FS).

Alle Prüfungen werden in Übereinstimmung mit den folgenden Normen durchgeführt: IEC 60044-6, IEC 60044-1, IEC 61869-2, IEEE C57.13

## Funktionsweise

Jede Phase wird separat geprüft; die anderen Phasen müssen kurzgeschlossen werden. Über die sekundäre Seite wird Spannung angelegt. Dies erzeugt die magnetische Kraft und die magnetische Flussdichte im Wandlerkern. Der Übertragungsfehler wird mit der Bürde und den Daten des CT-Modells (äquivalentes Schaltbild) berechnet, dessen Parameter festgelegt werden.

Es wird keine Hochstromquellen benötigt und die Prüfung muss nur einmal durchgeführt werden, auch wenn der Wandler zu einem späteren Zeitpunkt für unterschiedliche Bürden und Primärströme bewertet werden muss. Alle relevanten Parameter werden unter Berücksichtigung der Bürde und des Magnetisierungsverhaltens genau bestimmt.



CT Analyzer führt Diagnoseprüfungen an Durchführungsstromwandlern durch.

## Wissenswertes ...

Die Durchführungsintervalle und Grenzwerte für Diagnoseprüfungen an Durchführungsstromwandlern werden in den entsprechenden Normen und in den Inbetriebnahmerichtlinien von Betreibern festgelegt.

Der Wandlerfehler wird für unterschiedliche Schaltungen der Wicklungen eines Transformators bestimmt. Mit einer Polaritätsprüfung wird die korrekte Polarität des Stromwandlers und der Anschlussstechnik geprüft. Die Magnetisierungskurve wird gemessen und die Knipunkte werden berechnet. Der Restmagnetismus wird berechnet und die Wandler werden entmagnetisiert, um eine Fehlfunktion des Schutzrelais zu vermeiden.

Je höher die Impedanz der Bürde, desto geringer ist die Marge bis zur Sättigung. Die Sättigung des Kerns ist erreicht, wenn die Magnetisierung nicht weiter ansteigt, während die externe magnetische Feldstärke weiter erhöht wird. Das Ergebnis ist eine massive Abnahme der Leistungsfähigkeit des Wandlers.

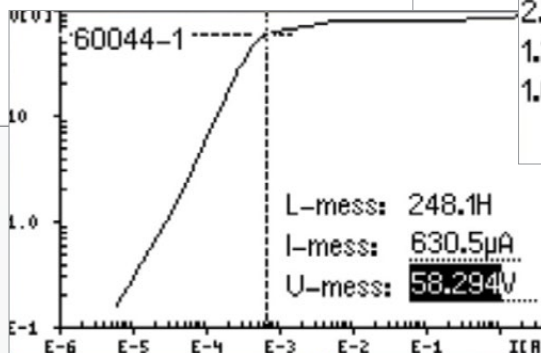
Da die Impedanz der Transformatorwicklung eine Primärstromspeisung für die Messung des Übersetzungsverhältnisses erschwert, wird bei Durchführungsstromwandlern die Sekundärspannungsmethode verwendet. Für dieses Verfahren wird eine Prüfspannung an der Sekundärseite des Stromwandlers angelegt und an den Durchführungsklemmen der Transformatorwicklungen gemessen. Diese Prüfung kann ebenso mit CPC 100 durchgeführt werden, um das Übersetzungsverhältnis, die Polarität und die Schutzklasse des Durchführungsstromwandlers zu prüfen.

## Warum CT Analyzer?

- > Automatische Entmagnetisierung von Stromwandlern schützt vor Fehlfunktion des Schutzsystems
- > Automatische Erstellung eines Prüfberichts in Übereinstimmung mit den Normen
- > Die Sekundärspannungsmethode stellt das einzige Verfahren dar, mit dem bereits an Leistungstransformatoren angeschlossene Durchführungsstromwandler geprüft werden können
- > Sehr hohe Genauigkeit (typisch 0,02 %) bis zur Wandlergenauigkeitsklasse 0,1
- > Kompaktes und leichtes Design (< 8 kg)

CT-Objekt...	Widerstand	Magnetis...	Ratio
Sek. Wicklung:			
I-DC:	0.962A	U-DC:	8.516V
R-Mess:	8.852Ω	R-Ref:	10.56Ω
T-Mess:	25.0°C	T-Ref:	75.0°C

CT-Objekt	Widerstand	Magnetisie...	Ratio
Bemessungs Bürde	Strommessabweichung in % bei % Bemessungsstrom		
VA/Cosφ	100%	120%	
2.50/1.000	-0.009	-0.008	
1.25/1.000	-0.008	-0.007	
1.00/1.000	-0.007	-0.007	



Widersta...	Magnetis...	Ratio	Bewertung
Norms:	60044-1	Klasse:	0.1
Parameter		Auto	Manuell
-----			
Klasse		OK	?
ε		OK	?
Δφ		OK	?
FS		OK	?

Unterschiedliche Prüfkarten unterstützen Sie bei der Prüfung und Beurteilung der betreffenden CT-Parameter, z. B. Übersetzungsverhältnis, Widerstand und Schutzklasse.

# Teilentladungsanalyse

## Was kann geprüft werden?

- ✓ Durchführungen
- Stromwandler
- Leitungen
- Stufenschalter
- ✓ Isolierung
- ✓ Wicklungen
- Kern

## Gründe für eine Messung

Teilentladungen (TE) können das Isolationsmaterial in Durchführungen und Wicklungen von Leistungstransformatoren schädigen. Dies wiederum kann zu Fehlern und kostspieligen Ausfällen führen.

TE wird in Durchführungen und Wicklungen von Leistungstransformatoren beobachtet, wenn das Isolationsmaterial zwischen unterschiedlichen Spannungspotentialen altert, verschmutzt oder fehlerhaft ist.

Die TE-Messung ist ein nicht-invasives und zuverlässiges Verfahren, womit der Isolationszustand eines Leistungstransformators diagnostiziert werden kann. Sie wird während der Werkabnahme, bei der Inbetriebnahme vor Ort und während routinemäßigen Wartungsprüfungen durchgeführt, um kritische Fehler zu erfassen und Risiken zu bewerten.

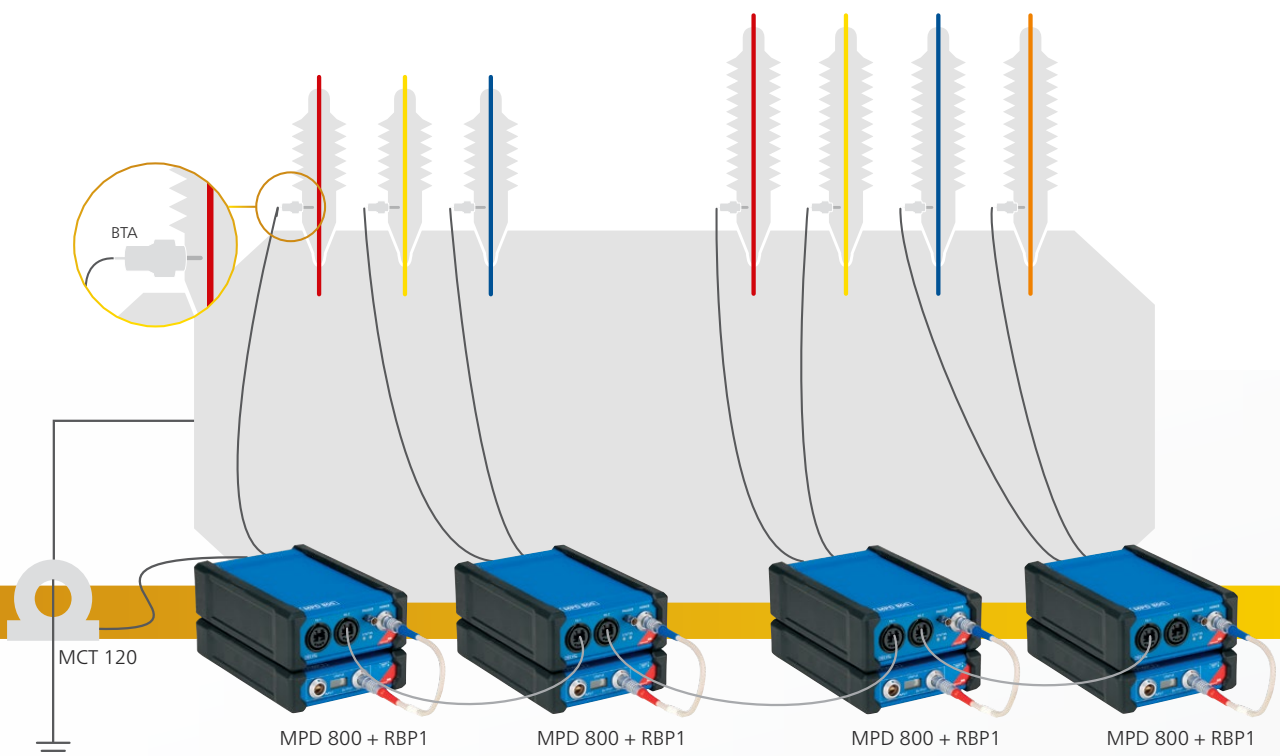
## Funktionsweise

Bei der Messung und Analyse von TE-Aktivität in Leistungstransformatoren werden die spezifischen Prüfungen und Prüfaufbauten durch den Transformatortyp und die Norm, nach der die Messungen durchgeführt werden, bestimmt.

Abhängig vom Typ der eingesetzten Durchführungen wird das TE-Analysesystem entweder an die kapazitive Messanschlüsse der Durchführungen oder an einen externen Koppelkondensator angeschlossen. Auf diese Weise sind elektrische TE-Messungen an Transformatoren möglich.

Teilentladungen werden entweder in  $\mu\text{V}$  (gemäß IEEE-Normen) oder in  $\text{pC}$  (gemäß Norm IEC 60270) gemessen.

Moderne Störunterdrückungsverfahren in störbehafteten Umgebungen beschränken die Erfassung irrelevanter Daten auf ein Minimum.



## Wissenswertes ...

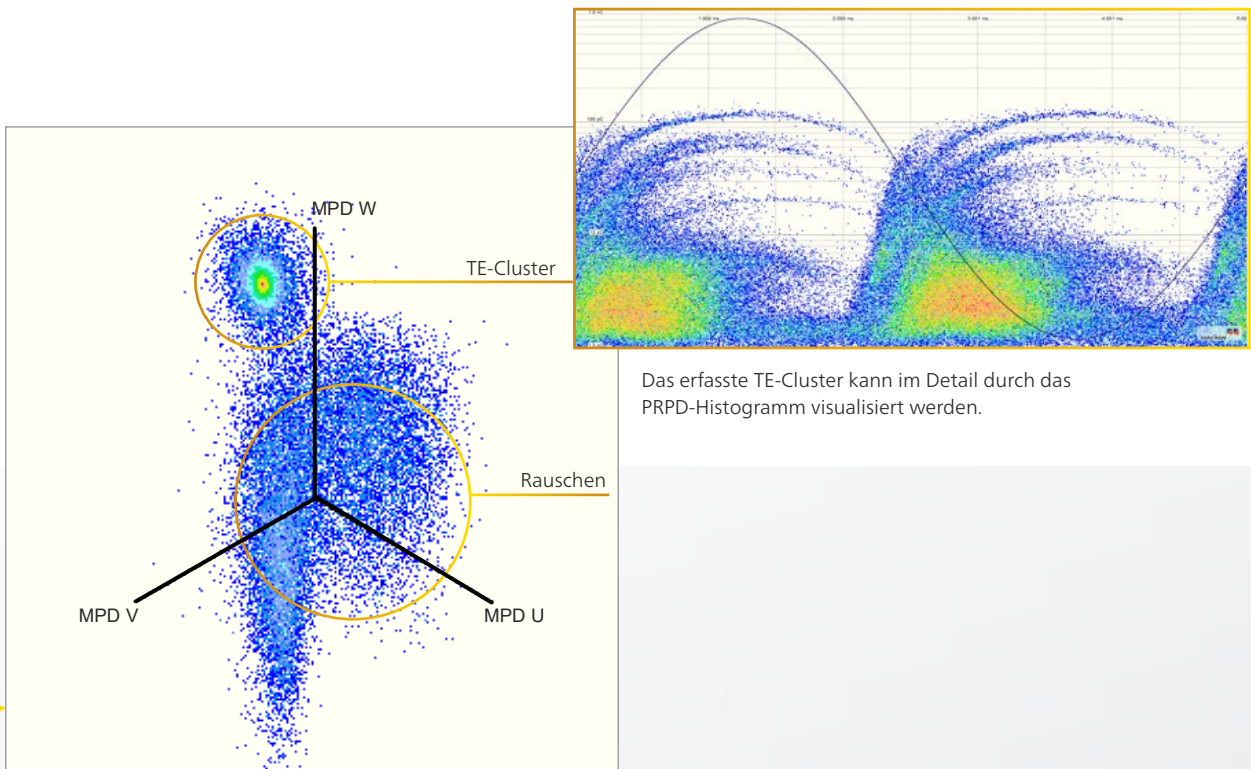
TE kann auch direkt im Tank von flüssig-isolierten Transformatoren mithilfe von Ultrahochfrequenz-(UHF)-Sensoren gemessen werden. TE-Messungen im UHF-Bereich können als effektives Gating-Verfahren zur Überprüfung von Ergebnissen eingesetzt werden: TE-Impulse aus einer elektrischen Messung an den Durchführungen werden nur angenommen, wenn auch ein UHF-Impuls aus dem Transformatortank vorliegt.

Sobald eine TE-Aktivität erfasst wurde, können akustische TE-Messungen durchgeführt werden, um die Fehlerorte eines Transformators genau zu lokalisieren.

Für ein kontinuierliches Risikomanagement kann ein Online-Monitoringsystem für die dielektrischen Eigenschaften installiert werden, mit dem der Isolationszustand der Durchführungen und Wicklungen kontinuierlich überwacht wird.

## Warum MPD 800?

- > IEC-konforme TE-Messungen an Leistungstransformatoren
- > Galvanische Trennung über Glasfaserkabel garantiert sicheren Betrieb
- > Synchrone mehrkanalige TE-Messung und Gating-Funktionen
- > Aufzeichnung und Wiedergabe von TE-Datensätzen für die spätere Analyse
- > Gleichzeitige TE-Messungen ( $Q_{IEC}$ ) und RIV (Radio Interference Voltage)-Messungen für effiziente werkseitige Akzeptanzprüfungen
- > Leistungsstarke Verfahren zur Störungsunterdrückung und zur Separierung von Quellen für eine zuverlässige TE-Analyse
- > Anpassbare Software ermöglicht Anwendern, nur die TE-Analysetools auszuwählen, die sie benötigen



Das erfasste TE-Cluster kann im Detail durch das PRPD-Histogramm visualisiert werden.

Ein 3PAR (engl. 3-Phase Amplitude Relation Diagram) trennt die TE-Quellen von Störeinflüssen

# Teilentladungslokalisierung

## Was kann geprüft werden?

- Durchführungen
- Stromwandler
- Leitungen
- Stufenschalter
- ✓ Isolierung
- ✓ Wicklungen
- Kern

## Gründe für eine Messung

Teilentladungen (TE) können irreversible Schäden an der Isolierung von Leistungstransformatoren verursachen und zwar lange, bevor die Isolierung tatsächlich ausfällt. Das reine Erkennen und Analysieren von TE genügt nicht: Es ist entscheidend zu wissen, wo die Isolationsfehler im Transformator sind.

Durch akustische TE-Messungen können Schwachstellen oder Fehler in der Isolierung genau lokalisiert werden. Nach der genauen Fehlerlokalisierung können entsprechende Korrekturmaßnahmen effizient geplant und ausgeführt werden, um so Ausfälle zu vermeiden.

Akustische TE-Messungen werden durchgeführt, nachdem Teilentladungen bei Werkabnahmeprüfungen entdeckt worden sind. Sie sind außerdem fester Bestandteil der Diagnoseprüfungen vor Ort über die gesamte Lebensdauer von Leistungstransformatoren.

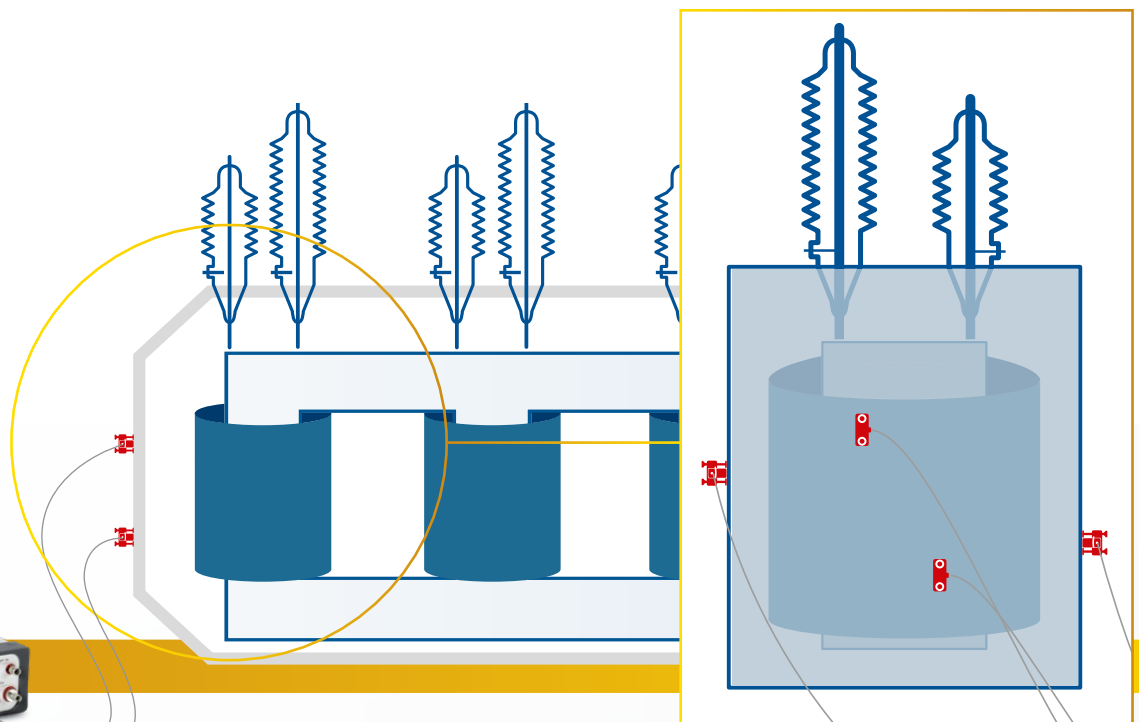
## Funktionsweise

Mehrere akustische Sensoren werden magnetisch an der Oberfläche eines Leistungstransformatortanks angebracht. Jeder Sensor misst die akustische Signalausbreitung von der TE-Quelle zur Tankwand. Aus der zeitlichen Differenz, der Sensorposition und der Ausbreitungsgeschwindigkeit wird anschließend der Fehlerort berechnet.

Die durch diese Sensoren gesammelten Daten werden gleichzeitig verglichen, um den Fehlerort genau identifizieren zu können.

Die Norm IEEE C57.127-2007 beschreibt den typischen Vorgehensweise einer akustischen Messung.

PDL 650-Prüfaufbau an einem Leistungstransformator mit vier akustischen Sensoren.



Mehrere akustische Sensoren am Transformator-tank helfen bei der Fehlerlokalisierung.



## Wissenswertes ...

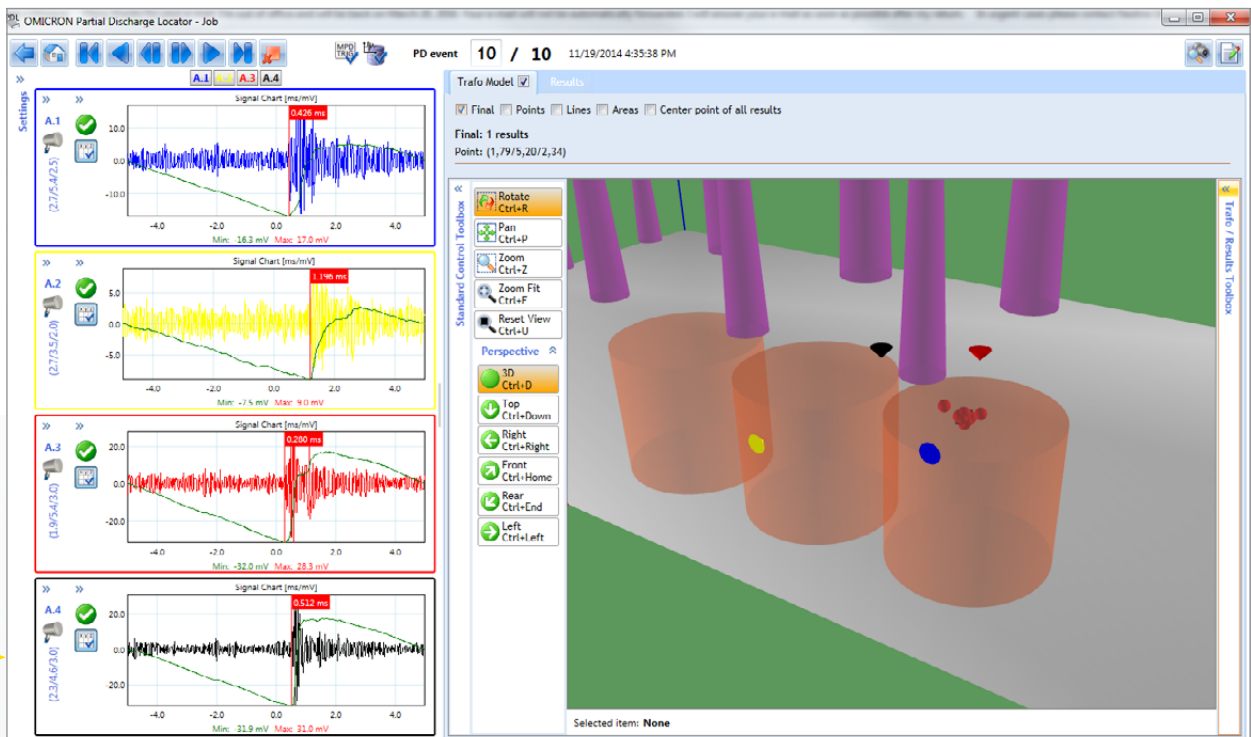
Die Gas-in-Öl-Analyse (engl. Dissolved Gas Analysis, DGA) kann auf TE-Aktivität hinweisen, sie aber nicht in Leistungstransformatoren lokalisieren. Aus diesem Grund werden akustische TE-Messungen durchgeführt, wenn DGA-Ergebnisse entsprechend TE vermuten lassen.

Die Kombination elektrischer und ultrahochfrequenter TE-Messungen kann als Trigger für eine akustische TE-Messung eingesetzt werden. Dieses Verfahren gewährleistet eine optimale TE-Lokalisierung in störbehafteter Umgebung.

Akustische TE-Messungen können im laufenden Betrieb durchgeführt werden. Das hat den Vorteil, dass die Anlage nicht abgeschaltet werden muss, um den Transformator zu warten.

## Warum PDL 650?

- > Modulares, leichtes Design für einen einfachen Transport und Prüfaufbau vor Ort
- > Höchster Schutz durch galvanische Trennung des Benutzers
- > 3D-Visualisierung ermöglicht eindeutige Fehlerlokalisierung im Transformator
- > In Kombination mit MPD 600 und UHF-Sensoren als elektrischer Trigger möglich; ideal für TE-Lokalisierung in störbehafteter Umgebung



Das 3D-Modell des Transformators spiegelt die exakte Lage von Teilentladungen wider.

# Online-Teilentladungsmessung und temporäres Monitoring

## Was kann geprüft werden?

- ✓ Durchführungen
- Stromwandler
- Leitungen
- Stufenschalter
- ✓ Isolierung
- ✓ Wicklungen
- Kern

## Gründe für eine Messung

Teilentladungen (TE) können das Isolationsmaterial in Durchführungen und Wicklungen von Leistungstransformatoren schädigen. Dies wiederum kann zu einem Durchbruch der Isolierung und kostspieligen Stillsetzungen führen. TE werden in Durchführungen und Wicklungen von Leistungstransformatoren beobachtet, wenn das Isolationsmaterial zwischen unterschiedlichen Spannungspotentialen altert, verschmutzt oder fehlerhaft ist.

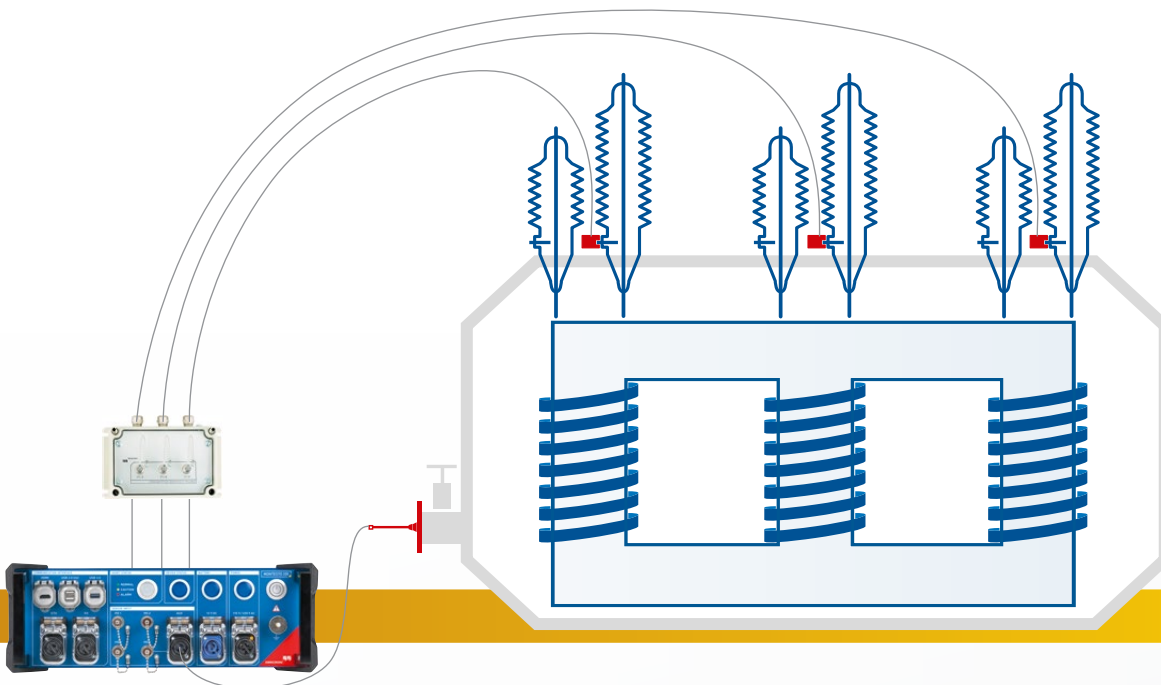
Eine Online-TE-Messung bewertet die TE-Aktivität und bietet einen Schnappschuss des Isolierungszustands, wenn der Leistungstransformator aktiv ist. Das temporäre Online-TE-Monitoring gibt Aufschluss über Veränderungen in der TE-Aktivität über festgelegte Zeiträume während der Nutzungsdauer eines Leistungstransformators.

Die während der Online-TE-Messung und des Online-TE-Monitorings gesammelten Daten helfen Techniker:innen, zu bestimmen, wann das Betriebsmittel durch einen Ausfall gefährdet ist. Diese wichtigen zustandsabhängigen Informationen unterstützen Sie bei der Optimierung Ihrer Instandhaltungsmaßnahmen, dem Asset-Management und der Planung von Investitionen.

## Funktionsweise

Das Online-System für TE-Messungen und temporäres TE-Monitoring kann einfach über einen Anschlusskasten an dauerhaft installierte TE-Sensoren an den Durchführungsmessanschlüssen angeschlossen werden. Die Bediener:in kann die TE-Messung bei Bedarf durchführen, auch unter normalen Betriebsbedingungen, ohne den Leistungstransformator abzuschalten.

TE-Aktivität wird synchron an allen drei Phasen an den Durchführungs-Messanschlüssen und im Transformatortank im UHF-Bereich gemessen. Fortgeschrittene Diagnosewerkzeuge, wie z. B. 3PAR (Drei-Phasen-Amplituden-Relations-Diagramm), werden eingesetzt, um Störsignale und mehrfache TE-Quellen für eine zuverlässige Auswertung zu trennen.



Das MONTESTO 200 Online-TE-Mess- und Monitoringsystem kann einfach über einen Anschlusskasten an dauerhaft installierte TE-Sensoren angeschlossen werden. Auf diese Weise ist eine sichere und praktische Plug-and-Play-Einrichtung möglich, wenn der Leistungstransformator online ist.

## Wissenswertes ...

Eine kontinuierliche TE-Aktivität an den Durchführungen und Wicklungen lässt sich am besten bestätigen durch ein TE-Monitoring an den Durchführungs-Messanschlüssen und im UHF-Bereich.

Regelmäßige Ölproben-Entnahmen und Gas-in-Öl-Analysen (engl. Dissolved Gas Analysis, DGA) können zusätzlich herangezogen werden, um dielektrische Trendverläufe zu bestätigen. So lassen sich bspw. Nebenprodukte einer zersetzenden Isolation im Transformatoröl erfassen.

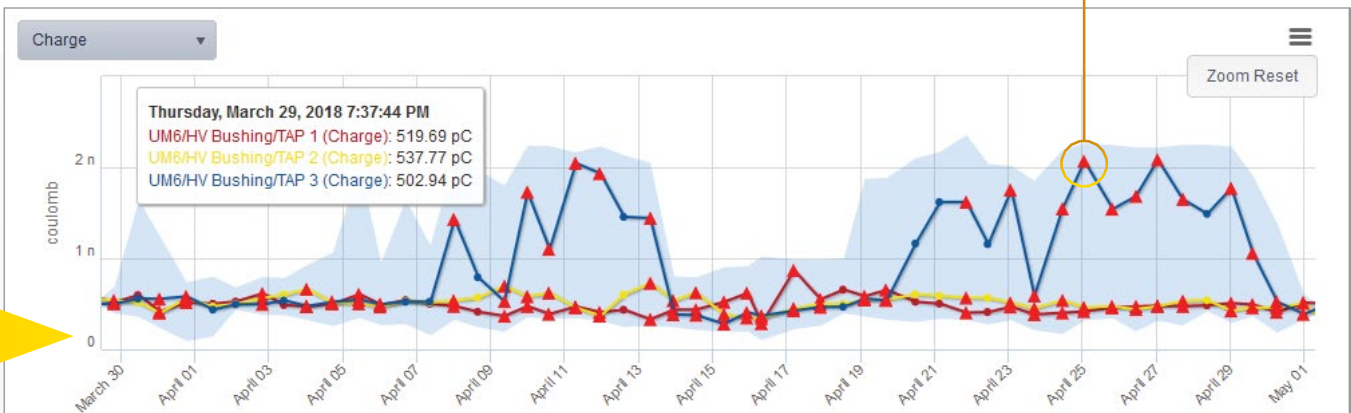
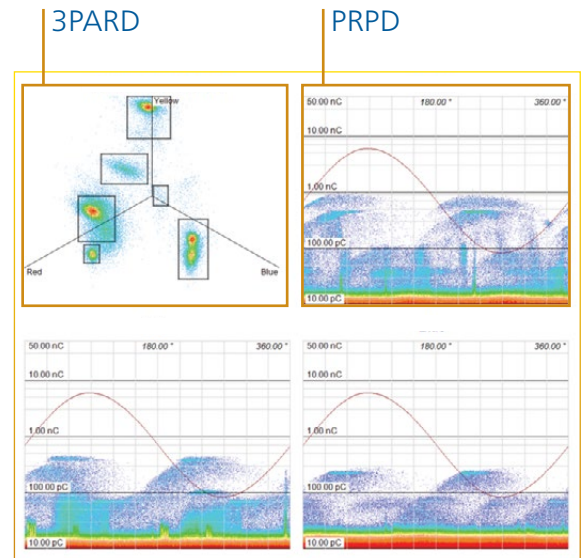
Akustische TE-Messungen können zur präzisen und zuverlässigen Lokalisierung von Isolationsdefekten in Transformator-Wicklungen herangezogen werden, nachdem TE entdeckt wurde.

## Warum MONTESTO 200?

- > 2-in-1-Lösung für die Online-TE-Messung und temporäres Monitoring
- > Einfach zu transportieren
- > Für den Innen- und Außenbereich konzipiert
- > Integrierter Computer für die kontinuierliche Datenerfassung und -archivierung
- > Webbasierte Schnittstelle für einen Fernzugriff auf die Daten
- > Automatisierte Software-Funktionen für eine einfache TE-Datenanalyse und Berichterstellung

Event Log - TRAFU UM6		
<input type="button" value="Confirm All"/>		
Start Date ▼	End Date	Level ▼
8/22/2018 3:14 PM	8/22/2018 3:15 PM	Critical
8/22/2018 3:14 PM	8/22/2018 3:15 PM	Warning
8/22/2018 3:14 PM	8/22/2018 3:15 PM	Warning

Das Ereignisprotokoll zeigt, welche TE-Ereignisse eine Warnung (gelb) oder einen Alarm (rot) ausgelöst haben.



TE-Trenddiagramme für die einzelnen Phasen oder Kanäle. Anzeige von TE-Werten und Vergrößern für weitere Details durch Scrollen über Datenpunkte.

We create customer value through ...

## Quality

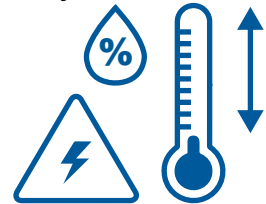
We always want you to be able to rely on our testing solutions. This is why our products have been developed with experience, passion and care and are continually setting ground-breaking standards in our industry sector.



You can rely on the highest safety and security standards

Superior reliability with up to

72



hours burn-in tests before delivery

100%



routine testing for all test set components

ISO 9001  
TÜV & EMAS  
ISO 14001  
OHSAS 18001

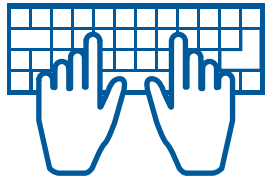


Compliance with international standards

## Innovation

Thinking and acting innovatively is something that's deeply rooted in our genes. Our comprehensive product care concept also guarantees that your investment will pay off in the long run – e.g. with free software updates.

More than

**200** 


developers keep our solutions up-to-date

 I need...



... a product portfolio tailored to my needs

Save up to

**70%** 

testing time through templates, and automation

More than

**15%** 

of our annual sales is reinvested in research and development

We create customer value through ...

## Support

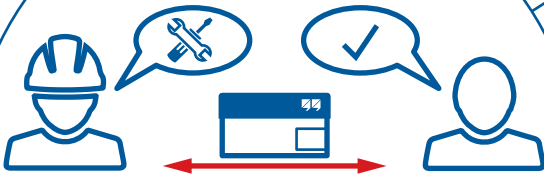
When rapid assistance is required, we're always right at your side. Our highly-qualified technicians are always reachable. Furthermore, we help you minimize downtimes by lending you testing equipment from one of our service centers.



Professional technical support  
at any time



Loaner devices help to  
reduce downtime



Cost-effective and straight-  
forward repair and calibration



offices worldwide for local  
contact and support

## Knowledge

We maintain a continuous dialogue with users and experts. Customers can benefit from our expertise with free access to application notes and professional articles. Additionally, the OMICRON Academy offers a wide spectrum of training courses and webinars.



Frequently OMICRON hosted user meetings, seminars and conferences

More than

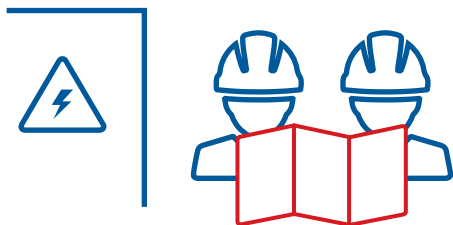
300



Academy and numerous hands-on trainings per year



to thousands of technical papers and application notes



Extensive expertise in consulting, testing and diagnostics

OMICRON arbeitet mit Leidenschaft an wegweisenden Ideen, um Energiesysteme sicherer und zuverlässiger zu machen. Mit unseren neuartigen Lösungen stellen wir uns den aktuellen und zukünftigen Herausforderungen unserer Branche. Wir zeigen vollen Einsatz bei der Unterstützung unserer Kund:innen: Wir gehen auf ihre Bedürfnisse ein, bieten ihnen hervorragenden Vor-Ort-Support und teilen unsere Expertise und unsere Erfahrungen mit ihnen.

In der OMICRON-Gruppe entwickeln wir innovative Technologien für alle Bereiche elektrischer Energiesysteme. Im Fokus stehen elektrische Prüfungen an Mittel- und Hochspannungsbetriebsmitteln, Schutzprüfungen, Prüfungen digitaler Schaltanlagen und Cyber Security. Kund:innen in aller Welt vertrauen auf unsere einfach zu bedienenden Lösungen und schätzen deren Genauigkeit, Schnelligkeit und Qualität.

Wir sind seit 1984 in der elektrischen Energietechnik tätig und verfügen über fundierte, langjährige Erfahrung in der Branche. Rund 900 Mitarbeiter:innen an 25 Standorten unterstützen unsere Kund:innen in mehr als 160 Ländern und unser technischer Support kümmert sich 24 Stunden am Tag, 7 Tage die Woche um sie.

Mehr Informationen, eine Übersicht der verfügbaren Literatur und detaillierte Kontaktinformationen unserer weltweiten Niederlassungen finden Sie auf unserer Website.

