

Handbuch

Flüssigkeitsgefüllte

Transformatoren ≤ 3150 kVA

Freiatmende und hermetisch
geschlossene Ausführung



Vor Beginn
aller Arbeiten
Anleitung
lesen!

**Rauscher
Stoecklin**

A company of R&S



**We guarantee
energy**



Inhaltsverzeichnis

1 Allgemeines	6
1.1 Informationen zu diesem Handbuch	6
1.2 Symbolerklärung	6
1.3 Haftungsbeschränkung	7
1.4 Urheberrecht	7
1.5 Gewährleistungsbestimmungen	7
1.6 Kundendienst	7
2 Sicherheit	8
2.1 Bestimmungsgemäße Verwendung	8
2.2 Grundsätzliche Gefahren	8
2.3 Verantwortung des Betreibers	8
2.4 Qualifikationen	9
2.5 Persönliche Schutzausrüstung	9
2.6 Beschilderung am Transformator	10
2.7 Ersatzteile	11
3 Technische Daten	12
3.1 Strahlungsarme Verteiltransformatoren	13
3.2 Verteiltransformatoren mit Bioölen	16
3.3 Regelbare Verteiltransformatoren	18
3.4 Amorphe Verteiltransformatoren AMDT	20
3.5 Ölwannen für Transformatoren	23
4 Aufbau und Funktion	29
4.1 Grundlegender Aufbau	29
4.2 Hermetische vs. freiatmende Transformatoren	30
4.3 Giessharz- vs. Öltransformatoren	31
4.4 Erdbebensicherheit	32
4.5 Funktion	36
4.6 Optionen und Zubehör	38

5 Transport, Inbetriebnahme, Lagerung	40
5.1 Transport und Lagerung	40
5.2 Inbetriebnahme	41
5.3 Funktionsprüfung Buchholzschutz	43
6 Installation	44
6.1 Aufstellungsort	44
6.2 Aufstellung	45
6.3 Elektrischer Anschluss	47
6.4 Parallelbetrieb	47
6.5 Absicherung	49
7 Betrieb	52
7.1 Spannungsregulierung	52
7.2 Überlastbarkeit	52
7.3 Transformatorbelastung mit Oberwellen	54
7.4 Störungen	54
8 Instandhaltung	57
8.1 Wartungsplan	57
8.2 Ölprobenentnahme	58
9 Entsorgung	59

1 Allgemeines

1.1 Informationen zu diesem Handbuch

Diese Anleitung ermöglicht den sicheren und effizienten Umgang mit dem Transformator.

Das Personal muss diese Anleitung vor Beginn aller Arbeiten sorgfältig durchgelesen und verstanden haben. Grundvoraussetzung für sicheres Arbeiten ist die Einhaltung aller angegebenen Sicherheitshinweise und Handlungsanweisungen in dieser Anleitung.


Dieses Handbuch ist für die auf dem Deckblatt angegebenen Typen gültig.

Abbildungen in dieser Anleitung dienen dem grundsätzlichen Verständnis und können von der tatsächlichen Ausführung abweichen.

Wenn weitere Informationen erforderlich sind oder besondere Probleme auftreten, die in diesem Dokument nicht behandelt werden, ist der Hersteller zu kontaktieren.

1.2 Symbolerklärung

Sicherheitshinweise

	GEFAHR!	Diese Kombination aus Symbol und Signalwort weist auf eine unmittelbar gefährliche Situation hin, die zum Tod oder zu schweren Verletzungen führt, wenn sie nicht gemieden wird.
	WARNUNG!	Diese Kombination aus Symbol und Signalwort weist auf eine möglicherweise gefährliche Situation hin, die zum Tod oder zu schweren Verletzungen führen kann, wenn sie nicht gemieden wird.
	VORSICHT!	Diese Kombination aus Symbol und Signalwort weist auf eine möglicherweise gefährliche Situation hin, die zu geringfügigen oder leichten Verletzungen führen kann, wenn sie nicht gemieden wird.
	HINWEIS!	Diese Kombination aus Symbol und Signalwort weist auf eine möglicherweise gefährliche Situation hin, die zu Sach- und Umweltschäden führen kann, wenn sie nicht gemieden wird.

Tipps und Empfehlungen



TIPPS!

Diese Kombination aus Symbol und Signalwort hebt nützliche Tipps und Empfehlungen sowie Informationen für einen effizienten und störungsfreien Betrieb hervor.

Besondere Sicherheitshinweise



GEFAHR

Diese Kombination aus Symbol und Signalwort weist auf eine unmittelbar gefährliche Situation durch elektrischen Strom hin. Wird ein so gekennzeichnete Hinweis nicht beachtet, sind schwere oder tödliche Verletzungen die Folge.

1.3 Haftungsbeschränkung

Alle Angaben und Hinweise in diesem Handbuch wurden unter Berücksichtigung der geltenden Normen und Vorschriften, des Stands der Technik sowie unserer langjährigen Erkenntnisse und Erfahrungen zusammengestellt.

In folgenden Fällen übernimmt der Hersteller für Schäden keine Haftung:

- Nichtbeachtung dieses Handbuches
- von der bestimmungsgemässen abweichende Verwendung
- Einsatz von nicht ausgebildetem Personal
- eigenmächtige Umbauten
- technische Veränderungen
- Verwendung nicht zugelassener Ersatzteile

Der tatsächliche Lieferumfang kann bei Sonderausführungen, der Inanspruchnahme zusätzlicher Bestelloptionen oder aufgrund neuester technischer Änderungen von den hier beschriebenen Erläuterungen und Darstellungen abweichen.

Es gelten die im Liefervertrag vereinbarten Verpflichtungen, die allgemeinen Geschäftsbedingungen sowie die Lieferbedingungen des Herstellers und die zum Zeitpunkt des Vertragsabschlusses gültigen gesetzlichen Regelungen.

1.4 Urheberrecht

Die Inhalte dieses Handbuches sind urheberrechtlich geschützt. Ihre Verwendung ist im Rahmen der Nutzung des Geräts zulässig. Eine darüber hinausgehende Verwendung ist ohne schriftliche Genehmigung des Herstellers nicht gestattet.

1.5 Gewährleistungsbestimmungen

Die Gewährleistungsbestimmungen sind in den allgemeinen Verkaufsbedingungen des Herstellers enthalten.

1.6 Kundendienst

Für technische Auskünfte steht Ihnen unser Kundenservice zur Verfügung.

Zudem sind wir stets an Informationen und Erfahrungen interessiert, die sich aus der Anwendung ergeben und für die Verbesserung unserer Produkte wertvoll sein können.

Rauscher & Stoecklin AG

Reuslistrasse 32, 4450 Sissach

Telefon: +41 61 976 34 00

info@raustoc.ch, the-rsgroup.com



2 Sicherheit

2.1 Bestimmungsgemässe Verwendung

Der Transformator wird zur Umwandlung elektrischer Spannung, üblicherweise von Netzebene 5 (Mittelspannung) auf Netzebene 7 (Niederspannung), verwendet. Der Transformator wird in Transformatorstationen oder auf Maststationen stationär eingesetzt. Das Datenblatt und das Leistungsschild orientieren über die korrekte Verwendung des Transformators in Bezug auf Leistung, Spannungen, Ströme, Schaltgruppe, Aufstellung (Freiluft oder Innenraum), Aufstellungshöhe etc. Zur bestimmungsgemässen Verwendung gehört auch die Einhaltung aller Angaben in diesem Handbuch. Jede über die bestimmungsgemässe Verwendung hinausgehende oder andersartige Benutzung gilt als Fehlgebrauch.



WARNUNG! **GEFAHR BEI FEHLGEBRAUCH!**

Fehlgebrauch des Transformators kann zu gefährlichen Situationen führen. Als nicht bestimmungsgemässe Verwendung gilt insbesondere:

- Betrieb mit einer höheren Dauerleistung
- Betrieb mit einer höheren Spannung
- Betrieb mit einer anderen Frequenz
- Parallelschalten von Transformatoren mit unterschiedlichen Schaltgruppen
- Manipulation der Einstellungen an den Überwachungseinrichtungen oder deren Ausserbetriebsetzung
- Entfernen von Schildern und Warnhinweisen
- mechanische Belastungen an den Anschlüssen
- Entfernen von Siegeln oder Lösen von Schrauben mit Sicherungslack
- Wiederinbetriebnahme von beschädigten Transformatoren

2.2 Grundsätzliche Gefahren

Im folgenden Abschnitt sind Restrisiken benannt, die vom Gerät auch bei bestimmungsgemässer Verwendung ausgehen können. Um die Risiken von Personen- und Sachschäden zu reduzieren und gefährliche Situationen zu vermeiden, sind die hier aufgeführten Sicherheitshinweise und die Sicherheitshinweise in den weiteren Abschnitten dieser Anleitung zu beachten.



GEFAHR! **LEBENSGEFAHR DURCH** **ELEKTRISCHEN STROM!**

Bei beschädigten Isolationen und Bauteilen besteht Lebensgefahr durch Funkenüberschlag und elektrischen Schlag.

- Arbeiten an der elektrischen Anlage nur von Elektrofachkräften ausführen lassen
- Vor Beginn der Arbeiten an aktiven Teilen elektrischer Anlagen und Betriebsmittel den spannungsfreien Zustand herstellen und für die Dauer der Arbeiten sicherstellen.
Dabei die 5 Sicherheitsregeln beachten:
 - freischalten und allseitig trennen
 - gegen Wiedereinschalten sichern
 - auf Spannungslosigkeit prüfen
 - erden und kurzschliessen
 - gegen benachbarte, unter Spannung stehende Teile schützen

2.3 Verantwortung des Betreibers

Betreiber: Betreiber ist diejenige Person, die das Gerät zu gewerblichen oder wirtschaftlichen Zwecken selbst betreibt oder einem Dritten zur Nutzung/Anwendung überlässt und während des Betriebs die rechtliche Produktverantwortung für den Schutz des Benutzers, des Personals oder Dritter trägt.

Betreiberpflichten: Transformatoren stehen üblicherweise in Transformatorstationen und Maststationen. Diese Stationen gelten als Starkstromanlagen und unterliegen in der Schweiz der Verordnung über elektrische Starkstromanlagen 734.2 (Starkstromverordnung).

Zutritt zu diesen Örtlichkeiten hat lediglich ausgebildetes Fachpersonal der betreffenden Betreiberfirmen.

Es gelten ebenfalls deren Sicherheitskonzepte und Sicherheitsanweisungen.

Es gilt insbesondere Folgendes:

- Der Betreiber muss dafür sorgen, dass alle Personen, die mit dem Gerät umgehen, dieses Handbuch gelesen und verstanden haben. Darüber hinaus muss er das Personal in regelmässigen Abständen schulen und über die Gefahren informieren.
- Der Betreiber muss dem Personal die erforderliche Schutzausrüstung bereitstellen und das Tragen der erforderlichen Schutzausrüstung verbindlich anweisen.
- Der Betreiber muss dafür sorgen, dass die in diesem Handbuch beschriebenen Wartungsintervalle eingehalten werden.

2.4 Qualifikationen

Die verschiedenen in diesem Handbuch beschriebenen Aufgaben stellen unterschiedliche Anforderungen an die Qualifikation der Personen, die mit diesen Aufgaben betraut sind.



WARNUNG! GEFAHR BEI UNZUREICHENDER QUALIFIKATION VON PERSONEN!

Unzureichend qualifizierte Personen können die Risiken beim Umgang mit dem Gerät nicht einschätzen und setzen sich und andere der Gefahr schwerer oder tödlicher Verletzungen aus.

- Alle Arbeiten nur von dafür qualifizierten Personen durchführen lassen.
- Unzureichend qualifizierte Personen aus dem Arbeitsbereich fernhalten.

Für alle Arbeiten ist nur Fachpersonal (sachverständige Person oder instruierte Person) gemäss Verordnung über elektrische Starkstromanlagen 734.2 (Starkstromverordnung) zugelassen, von dem zu erwarten ist, dass es diese Arbeiten zuverlässig ausführt. Die Anforderungen an diese Personen werden in der Starkstromverordnung beschrieben.

Sachverständige Person

Person mit elektrotechnischer Grundausbildung (Lehre, gleichwertige betriebsinterne Ausbildung oder Studium im Bereich der Elektrotechnik) und mit Erfahrung im Umgang mit elektrotechnischen Einrichtungen.

Instruierte Person

Person ohne elektrotechnische Grundausbildung, die begrenzte, genau umschriebene Tätigkeiten in Starkstromanlagen ausführen kann und die örtlichen Verhältnisse und die zu treffenden Schutzmassnahmen kennt.

Schulung

Für Arbeiten an unter Spannung stehenden Starkstromanlagen dürfen nur Personen eingesetzt werden, die dazu geeignet und für das Arbeiten unter Spannung besonders ausgebildet sind.

Sie müssen eine regelmässige gezielte Schulung mit genügend praktischen Einsätzen nachweisen.

2.5 Persönliche Schutzausrüstung

Persönliche Schutzausrüstung dient dazu, Personen vor Beeinträchtigungen von Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit zu schützen.

Wer eine Arbeit an einer Starkstromanlage ausführt, muss gemäss Starkstromverordnung entsprechend ausgerüstet sein. Zur Ausrüstung gehören insbesondere (Auszug aus der Starkstromverordnung):

- Persönliche Schutzmittel, die einen ausreichenden Schutz bieten gegen die Berührung von unter Spannung stehenden Teilen, gegen Lichtbogen und mechanische Gefahren
- Mittel zur Prüfung des spannungslosen Zustandes
- Material für wirksame Abgrenzungen, Abschränkungen, Verschaltungen und Markierungen
- Erdungsvorrichtungen, die dem zu erwartenden Kurzschlussstrom bis zu dessen Abschaltung sicher standhalten
- Geeignete Kommunikationsmittel

Bei der Bemessung der Erdungsvorrichtungen für Hochspannungsfreileitungen dürfen allfällige Erdtrenner an beiden Ausschaltstellen für die zu beherrschenden Kurzschlussströme berücksichtigt werden.

Ausrüstung und Hilfsmittel müssen periodisch auf Funktionsfähigkeit und guten Zustand überprüft werden.

Zusätzliche Anforderungen an die Ausrüstung bei Arbeiten an unter Spannung stehenden Starkstromanlagen:

- Die Arbeitskleidung muss Schutz gegen Lichtbogenwirkungen und gefährliche kapazitive Aufladung des Arbeitenden bieten.
- Werkzeuge und Hilfsmittel müssen entsprechend den grössten vorkommenden Spannungen isoliert und nach den anerkannten Regeln der Technik konstruiert sein.

2.6 Beschilderung am Transformator

Leistungsschild

Auf der Längs- oder der Schmalseite des Transformators befindet sich ein Leistungsschild mit folgenden Angaben:

- Bemessungsleistung
- Bemessungsfrequenz
- Seriennummer
- Typenbezeichnung
- Normen
- Baujahr
- Bemessungsspannungen
- Bemessungsströme
- gemessene Kurzschlussspannung
- Schaltgruppe
- Bemessungsisolationsspannungen
- Dauerkurzschlussstrom
- Wicklungsmaterial
- gemessene Leerlauf- und Lastverluste
- Ölsorte
- Gewichte

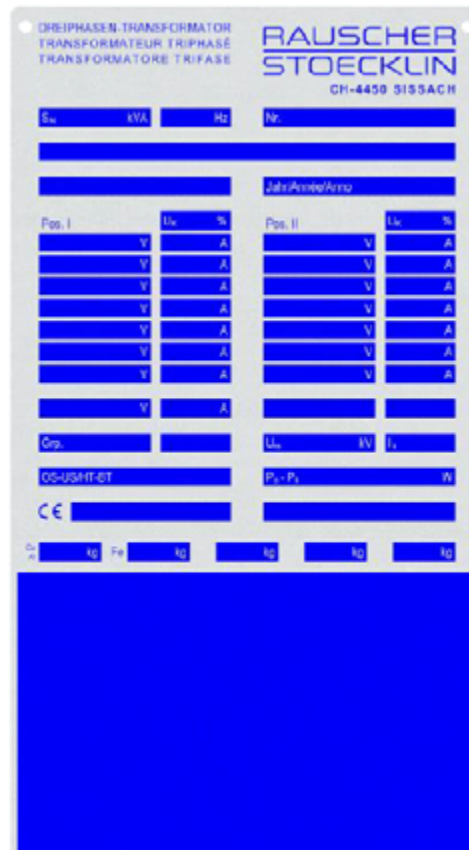


Abb. 1: Leistungsschild

Weitere Schilder

Der Schalter ist nicht für Lastschaltungen geeignet

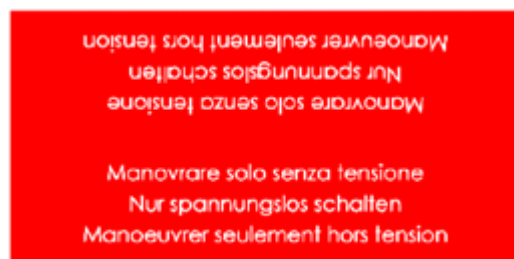


Abb. 2: Schild Schalter

Nur bei strahlungsarmen Transformatoren

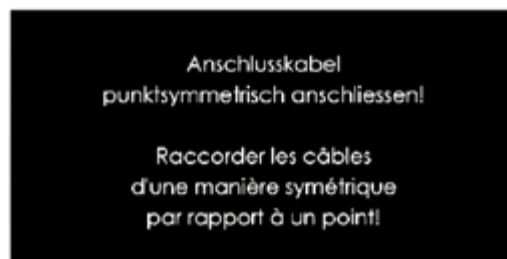


Abb. 4: Schild Anschlusskabel

Nur bei hermetisch geschlossenen Transformatoren



Abb. 3: Schilder Hermetiktransformator

Wird nur bei speziellen Isolierflüssigkeiten (z. B. MIDEL 7131 oder bei Bioölen) neben der Einfüllöffnung angebracht



Abb. 5: Schild Spezialflüssigkeit (Beispiel)

2.7 Ersatzteile



WARNUNG! **VERLETZUNGSGEFAHR DURCH** **DIE VERWENDUNG FALSCHER** **ERSATZTEILE!**

Durch die Verwendung falscher oder fehlerhafter Ersatzteile können Gefahren für das Personal entstehen sowie Beschädigungen, Fehlfunktionen oder Totalausfall verursacht werden.

- Nur Originalersatzteile des Herstellers oder vom Hersteller zugelassene Ersatzteile verwenden.
- Bei Unklarheiten stets Hersteller kontaktieren.



TIPPS!

Verlust der Gewährleistung

Bei Verwendung nicht zugelassener Ersatzteile erlischt die Gewährleistung.

Ersatzteile über Vertragshändler oder direkt beim Hersteller beziehen. Kontaktdaten siehe Seite 7.

Um eine schnelle und effiziente Antwort von unserem Kundendienst zu gewährleisten, sollten uns die folgenden Angaben mitgeteilt werden:

- Serien-Nr. und Typ (siehe Leistungsschild)
- detaillierte Beschreibung der zu ersetzenden Teile, wenn möglich mit Bildern

3 Technische Daten

Merkmale

- Betriebsspannung bis 36 kV
- Kompakte und leichte Bauweise
- Maximale Verlustwerte nach Verordnung (EU) Nr. 548 / 2014 (Ökodesign)
- Regulierung der Primärspannung $\pm 2 \times 2.5\%$ oder nach Kundenangabe
- Umschaltung der Primärspannung auf 2 Spannungsebenen auf Wunsch
- Maximale Umgebungstemperatur 40 °C, Jahresmittel 20 °C
- Maximale Erwärmung: Kupfer 65 K, Isolierflüssigkeit oben 60 K, natürliche Luftkühlung ONAN
- Isolierflüssigkeit Mineralöl, andere Isolierflüssigkeiten auf Wunsch
- Maximale Aufstellungshöhe 1000 m über Meer (ausser es werden höhere Werte in der technischen Spezifikation festgelegt)
- Durchführungen überspannungsseitig: Steckdurchführungen nach EN 50180 für Aussenkonus-Geräteanschlusssteil oder mit Porzellandurchführungen nach EN 50180 für Innenraum- oder Freiluftaufstellung
- Durchführungen unterspannungsseitig: Porzellandurchführungen nach EN 50386 ohne oder mit Flachanschlussstück
- Strahlungsarme Ausführung mit 8 punktsymmetrisch angeordneten US-Durchführungen auf Wunsch
- Integrierte Ölauffangwanne (montiert zwischen Kessel und Fahrgestell) auf Wunsch
- Verstärkte Isolation und geerdeter Schirm zwischen OS-/US-Wicklungen für nicht sinusförmige Last auf Wunsch
- Hermetisch geschlossene Ausführung ohne Luftpolster auf Wunsch
- Hermetikvollschutz, Druckentlastungsventil, Füllstandsanzeige auf Wunsch

Normen

Der flüssigkeitsgefüllte Transformator erfüllt die Anforderungen der aktuell gültigen Version von folgenden Normen und Verordnungen:

- EN 60076
- EN 50588-1
- EU 548 / 2014

Jeder Transformator ist nach internem R&S-Prüfablauf getestet. Dieser Ablauf basiert ebenfalls auf der aktuell gültigen Version von EN 60076.

Bauarten

Freiatmender Transformator

Der Deckel verfügt über 2 Entlüfteröffnungen, über die der Luftaustausch mit dem Luftpolster unter dem Deckel im Transformatoreninnern stattfindet. Dieses Luftpolster steht über die ganze Oberfläche in Kontakt mit der Kühlflüssigkeit. Da in unseren klimatisch relativ trockenen Regionen die Feuchtigkeitsaufnahme des Öls allgemein gering ist, bedeutet das Vorhandensein des Luftpolsters keinen Nachteil für den Betrieb des Transformators.

Der freiatmende Transformator kann mit einem Expansionsgefäss und zusätzlichen Überwachungseinrichtungen wie Luftentfeuchter, Buchholzschutz etc. ausgerüstet werden.

Hermetisch geschlossener Transformator

Dank dem kompletten Luftabschluss findet kein direkter Kontakt der Kühlflüssigkeit mit der Luft statt und dadurch wird der Wartungsaufwand bezogen auf die Ölqualität geringer. Die Ölausdehnung wird durch die Kühlwellen aufgenommen und führt zu einer zusätzlichen mechanischen Belastung des Kessels. Um den auftretenden Druck bei Belastung zu begrenzen, benötigen hermetisch geschlossene Transformatoren grössere Wellentiefen. Daraus resultieren ein grösseres Ölvolumen und grössere Abmessungen.

Strahlungsarmer Transformator

Magnetfeldquellen beim Transformator sind die Spulen, Ableitungen und die angeschlossenen Kabel. Mit hochwirksamen Streuflussführungsmassnahmen im Innern des Transformators und der punktsymmetrischen Anordnung der 8 Unterspannungsdurchführungen werden die Felder auf ein Minimum reduziert. Auf eine zusätzliche Abschirmhaube kann verzichtet werden.

Transformator mit amorphem Kern

Gegenüber den konventionellen geschichteten Transformatorkernen besteht der Kern aus gewickelten, sehr dünnen Folien aus amorphem Kernblech. Durch die wesentlich tiefere Verlustziffer können die Leerlaufverluste bei dieser Bauart um bis zu 60 bis 70 % gesenkt werden. Die dadurch sehr energieeffizienten Transformatoren sind jedoch schwerer und auch teurer in der Anschaffung als konventionelle Transformatoren.

3.1 Strahlungsarme Verteiltransformatoren



Am 01.02.2000 ist die Verordnung über den Schutz von nichtionisierender Strahlung (NISV) in Kraft getreten. Sie enthält 2 verschiedene Grenzwerte:

- Immissionsgrenzwert (IGW) = Gefahrenabwehr
- Anlagengrenzwert (AGW) = Vorsorge

Bei elektrischen Anlagen wie Transformatoren und Trafostationen können wir die Betrachtung auf die niederfrequenten magnetischen Felder (50 Hz) beschränken. Die Einhaltung des AGW gilt für alle Komponenten in einer Anlage im Nennbetrieb.

Massnahmen zur Feldvermeidung sind Standortwahl, optimierte räumliche Anordnung der Betriebsmittel, punktsymmetrische Kabelverlegung und emissionsarme Komponenten.

Magnetfelder lassen sich aber auch mit aufwendigen Massnahmen wie Flächenabschirmungen an Decken und Wänden abschirmen. Erster Ansatzpunkt der Feldvermeidung ist bei der Quelle, dem Transformator.

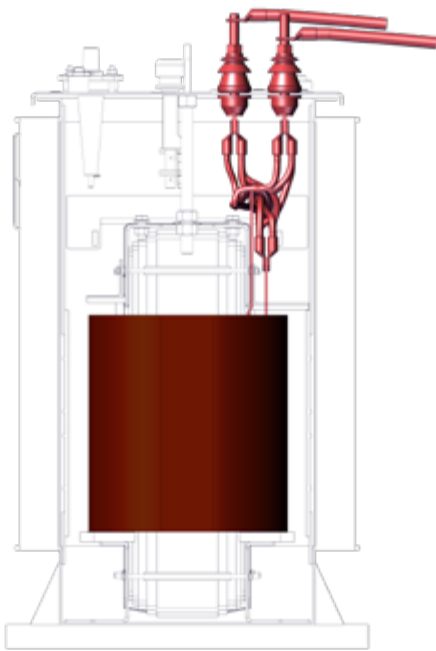
Magnetfeldquellen im und am Transformator sind die Spulen, Ableitungen, Durchführungen und die angeschlossenen Kabel.

Als Grundregel gilt:

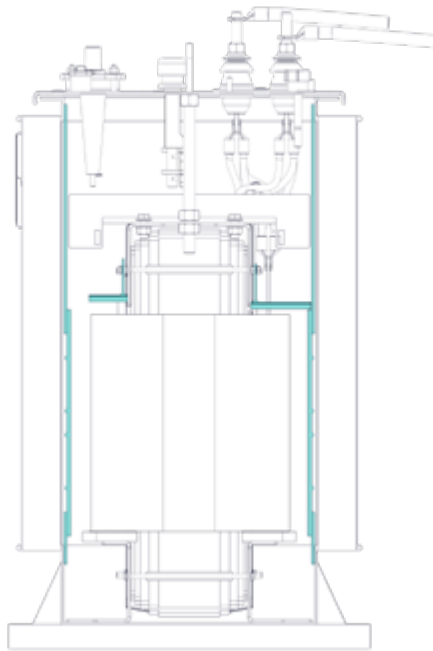
1. den Streufluss dort zu bekämpfen, wo er entsteht, und
2. den Streufluss nicht zu verdrängen, sondern zu führen.

Bei den Spulen besteht keine Möglichkeit, das Feld zu kompensieren, hier sind Abschirmungen notwendig:

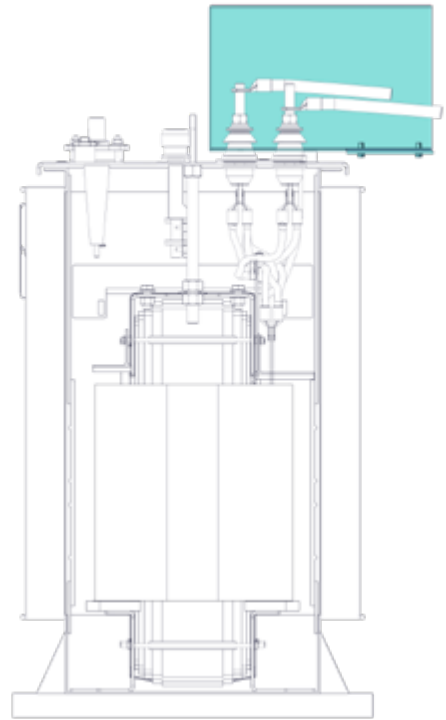
1. Abschirmungen am Aktivteil mit hochpermeabler Streuflussführung oberhalb der Spulen und im Kessel,
2. eventuell zusätzliche Abschirmhaube über den Durchführungen, wobei je nach Ausführung der Massnahmen am Aktivteil die Abschirmhaube keine weitere Verbesserung oder sogar eine Verschlechterung bringt.



Magnetfeldquellen Spulen, Ableitungen



Massnahmen im Trafo, Streuflussführungen



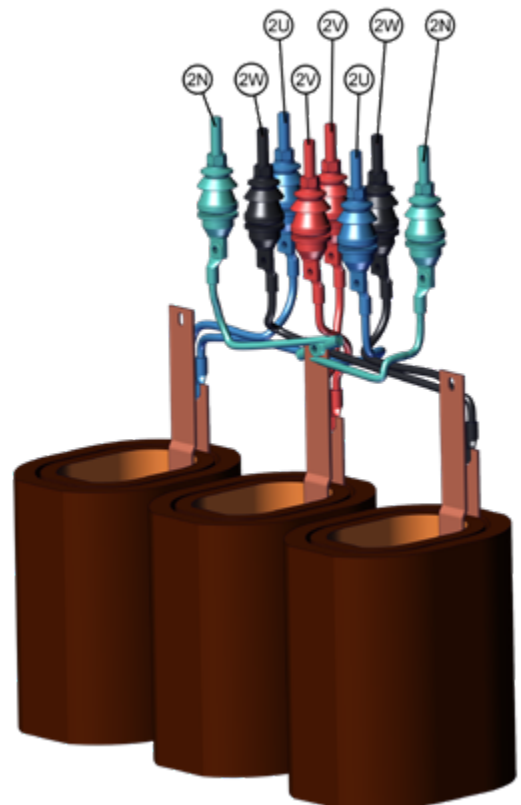
Massnahmen ausserhalb Abschirmhaube

Felder bei Ableitungen und Durchführungen lassen sich durch eine Aufteilung der Phasen und eine optimierte Anordnung kompensieren:

- eine Halbierung des Stromes und ein kleineres Feld
- zu- und abfliessende Ströme bewirken praktisch eine Aufhebung des Magnetfeldes
- die punktsymmetrische Anordnung der Durchführung bewirkt eine weitere Verringerung des Magnetfeldes



Punktsymmetrische Anordnung der Durchführungen

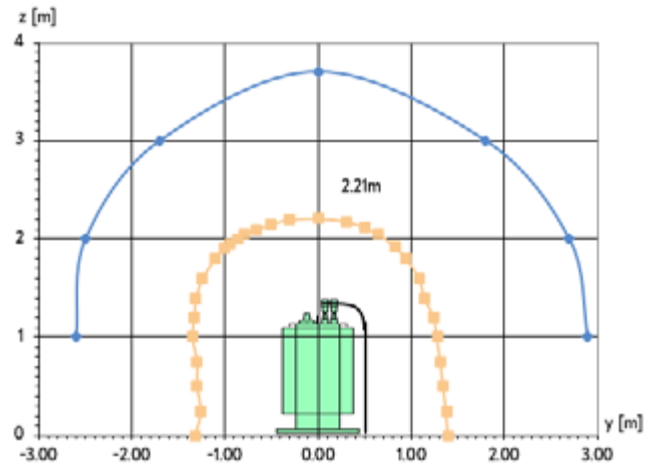
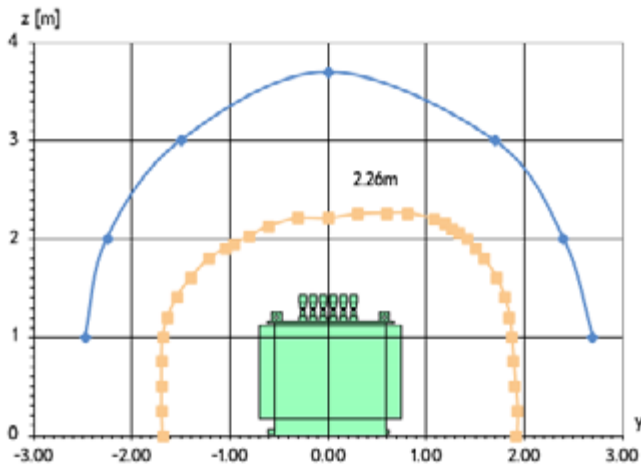


Aufteilung der Phasen und Halbierung der Ströme

Bei heutigen strahlungsarmen Transformatoren liegt der 1- μ T-Wert beim 630 kVA bzw. beim 1000 kVA Transformator auf einer Höhe von ca. 2.3 m bzw. 2.5 m ab Boden gemessen. Bei Standardtransformatoren liegt dieser

Wert bei 4.0 m bzw. 4.3 m. Damit ist eine Reduktion auf fast die Hälfte gelungen und ein Optimum erreicht.

Beispiel 630 kVA



1- μ T-Linie in der x- bis z-Ebene ($y=0$ m) bei 100 % Belastung

SN (kVA)	160	250	400	630	1000	1250	1600
Messwert in m (Höhe)	1.84	2.00	2.09	2.26	2.46	2.57	3.10
Messwert in m (Seite)	1.30	1.50	1.60	1.80	2.10	2.20	2.30

1- μ T-Linie in der y- bis z-Ebene ($x=0$ m) bei 100 % Belastung

SN (kVA)	160	250	400	630	1000	1250	1600
Messwert in m (Höhe)	1.84	2.00	2.04	2.21	2.44	2.57	3.10
Messwert in m (Seite)	1.00	1.20	1.30	1.30	1.50	1.60	2.00

Die Entwicklung des strahlungsarmen Transformators ist weitgehend abgeschlossen und es können keine grossen Feldreduktionen mehr erzielt werden. Detailverbesserungen sind im kleinen Rahmen noch möglich. Wirtschaftliche und technische Gründe verhindern aber teure Massnahmen.

Es ist immer die Kombination aller Komponenten in einer Anlage (TS), die das resultierende Magnetfeld bestimmt. Deshalb ist eine gesamtheitliche Planung und Ausführung erforderlich.

3.2 Verteiltransformatoren mit Bioölen

Umweltverträgliche Isolierflüssigkeiten auf Basis pflanzlicher, biologisch abbaubarer Öle



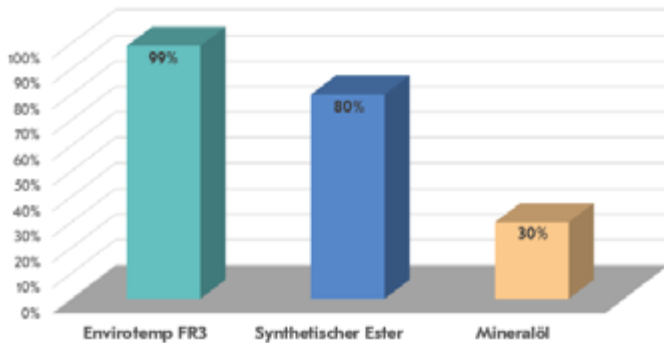
Seit Ende des 19. Jahrhunderts werden in Transformatoren Isolierflüssigkeiten auf Mineralölbasis eingesetzt und sind auch heute noch unangefochten 1. Wahl. Doch unvermeidbare Nachteile wie Entflammbarkeit, Umweltverträglichkeit und technische Limiten drängen nach Alternativen.

Seit Beginn der 1980er-Jahre sind Ester auf dem Markt. Sie kombinieren schwere Entflammbarkeit und ausgezeichnete biologische Abbaubarkeit mit weiteren technischen Vorteilen.

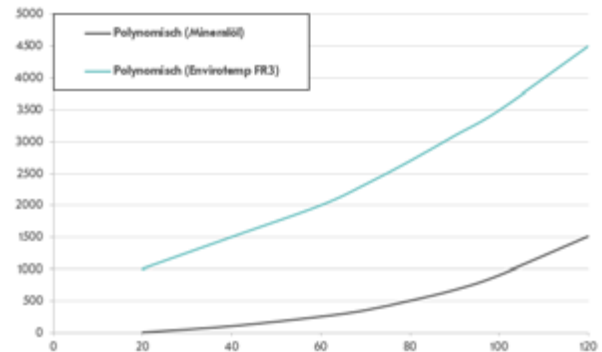
Anfänglich wurden vorwiegend synthetische Ester eingesetzt, die relativ hohen Kosten beschränken den Einsatz jedoch noch immer auf Spezialgebiete.

Seit Ende der 1990er-Jahre sind Transformatoren gefüllt mit natürlichen Estern auf Basis nachwachsender Rohstoffe am Markt präsent und zunehmend auf dem Vormarsch. Dies auch dank vergleichsweise geringen Mehrkosten.

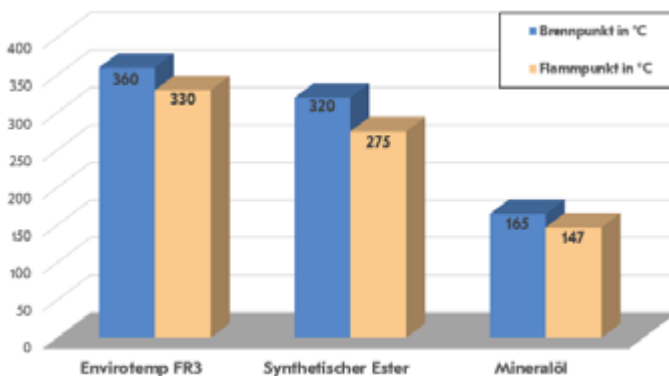
Hervorragende biologische Abbaubarkeit



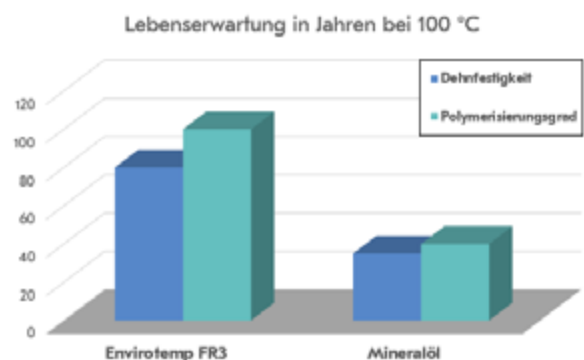
Hohe Wasseraufnahmefähigkeit



Schwer entflammbar



Alterung der festen Isolation



Vorteile von natürlichen Estern am Beispiel von ENVIROTEMP FR3 aus Sojaöl

Fazit

Nachwachsende Rohstoffe und die hervorragende biologische Abbaubarkeit machen natürliche Ester zu umweltverträglichen Isolierflüssigkeiten und gelten als nicht giftig.

Der hohe Flamm- und Brennpunkt bietet gutes Brandverhalten und thermisch hohe Belastbarkeit auch für den Einsatz bei Hochtemperaturtransformatoren (Klasse F).

Die hohe Wasseraufnahmefähigkeit trocknet die Papierisolation/Cellulose. Durch natürliche Ester imprägniertes Papier zeigt eine geringere Alterungsrate, daraus resultiert entweder eine verlängerte Lebensdauer bei gleicher Belastung oder eine höhere Belastbarkeit. Damit werden die leicht höheren Kosten wettgemacht.

Natürliche Ester können nur in hermetisch geschlossenen Transformatoren eingesetzt werden.

3.3 Regelbare Verteiltransformatoren

Regelbare flüssigkeitsgefüllte Verteiltransformatoren mit überspannungsseitigem Laststufenschalter nach SN EN 60076, SN EN 50588-1 und EU 548 / 2014; 1 bis 36 kV



Merkmale

- Geregelter dreiphasiger überspannungsseitiger Laststufenschalter MR Ecotap VPD® mit Motorantrieb und Steuereinheit
- Regelung der Primärspannung in 9 Stufen, maximale Stufenspannung 825 V
- Nennleistungen von 400 bis 1000 kVA, 50 Hz
- Betriebsspannung bis 36 kV
- Hermetik- oder freiatmende Ausführung
- Innenraum- und Freiluftausführung
- Maximale Umgebungstemperatur 40 °C, Jahresmittel 20 °C
- Maximale Erwärmung: Kupfer 65 K, Öl oben 60 K, natürliche Luftkühlung ONAN
- Maximale Aufstellungshöhe 1000 m über Meer (grössere Aufstellungshöhe auf Wunsch)
- Durchführungen überspannungsseitig: Steckdurchführungen nach EN 50180 für Aussenkonus-Geräteanschlusssteil oder mit Porzellandurchführungen nach EN 50180 für Innenraum- und Freiluftaufstellung
- Durchführungen unterspannungsseitig: Porzellandurchführungen nach EN 50386 ohne oder mit Flachanschlussstück
- Stückprüfungen nach SN EN 60076
- Synthetische und natürliche Esterflüssigkeiten auf Wunsch
- Strahlungsarme Ausführung mit 8 punktsymmetrisch angeordneten US-Durchführungen auf Wunsch
- Integrierte Ölauffangwanne auf Wunsch lieferbar (montiert zwischen Kessel und Fahrgestell)
- Verstärkte Isolation und geerdeter Schirm zwischen OS-/US-Wicklungen für nicht sinusförmige Last auf Wunsch
- Hermetik-Ausführung: Hermetikvollschutz, Druckentlastungsventil und Füllstandsanzeige auf Wunsch

Verteiltransformatoren mit Laststufenschalter Ecotap VPD®

Verteiltransformatoren mit einem geregelten Laststufenschalter passen das Übersetzungsverhältnis unter Last selbstständig an. Dies erlaubt die Erreichung der geforderten Netzstabilität auch in Netzen mit vielen dezentralen Energieerzeugungsanlagen (Fotovoltaikanlagen, Windkraftanlagen etc.), ohne kostenintensive Massnahmen für den Netzausbau treffen zu müssen.

- Dynamische Regelung der Primärspannung in 9 Stufen mit einem Vakuum-Laststufenschalter MR Ecotap VPD® inkl. Motorantrieb und Steuereinheit
- Kompakte und robuste Steuereinheit mit flexibler Parametrierung und umfangreichen Statusanzeigen, über ein Kabel mit Motorantrieb verbunden (Kabellänge auf Anfrage)
- Jahrzehntelanger stabiler und zuverlässiger Betrieb ohne Wartung der Primärtechnik (500'000 wartungsfreie Schaltungen)
- Stufenspannung bis max. 825 V, maximale Betriebsmittelspannung 36 kV und schaltbare Ströme bis 30 A/100 A
- Das Widerstandsschnellschalter-Prinzip mit Regelung auf der Oberspannungsseite vermeidet nennenswerte Beiträge zu den Transformatorverlusten
- Kompakte Abmessungen, deshalb leichter Austausch von bestehenden Transformatoren möglich
- Oberspannungsseitig umschaltbare Transformatoren können nicht mit einem Laststufenschalter ausgerüstet werden

Standardausführung

- Laststufenschalter MR Ecotap VPD® inkl. Motorantrieb und Steuereinheit
- Hermetik-Ausführung
- Innenraum- oder Freiluftausführung mit Steckdurchführungen nach EN 50180
- mit Fahrrollen nach EN 50216-4 aus Gusseisen
- mit Thermometer (mit Schleppzeiger, ohne Kontakte)
- ohne US-Anschlussfahnen

3.4 Amorphe Verteiltransformatoren AMDT

Mit deutlich reduzierten Leerlaufverlusten die Umwelt schützen

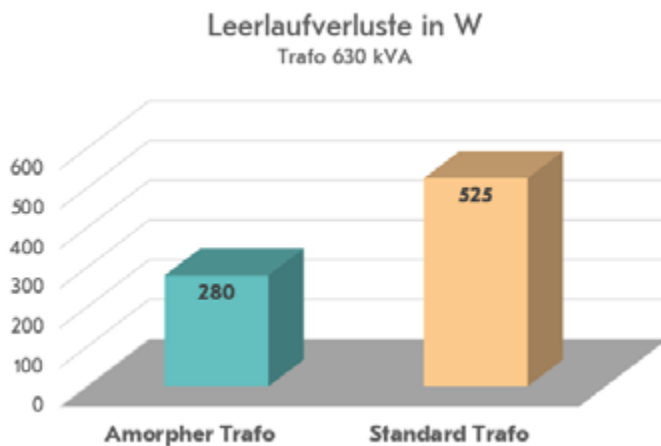


Transformatoren zählen in der Stromversorgungskette vom Erzeuger zum Verbraucher zu den Komponenten mit einem sehr hohen Wirkungsgrad.

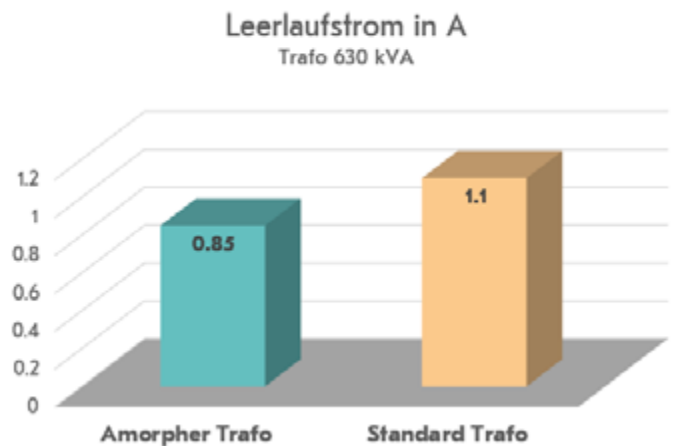
Bei der Ummagnetisierung der Transformatorkerne entstehen Verluste, die sogenannten Leerlaufverluste. Durch den Einsatz von amorphem Kernmaterial können diese Verluste gegenüber geschichteten Transformatorkernen von hoher Qualität um bis zu 60 % reduziert werden!

Amorphe Kerne bestehen aus extrem dünnen Schichten mit einer Dicke von jeweils 0.025 mm. Hergestellt wird amorphes Material durch einen raschen Erstarrungsprozess, indem die Eisen-Legierungsschmelze innert einer Tausendstel Sekunde in einen festen Zustand geführt wird. Dadurch haben die Atome keine Zeit, sich in eine kristalline Struktur zu bringen, sie erstarren daher ungeordnet und durch zufällige Anordnung ist die Reibung bei der Ummagnetisierung deutlich verringert.

Deutlich tiefere Leerlaufverluste



Tieferer Leerlaufstrom



Energieeffizienz

Ein Amorpher Verteiltransformator AMDT 630 kVA spart alleine an Leerlaufverlusten 2.2 MWh pro Jahr, verglichen mit einem normalen Transformator aktueller Technik.

Auch wenn die Einsparung eines einzelnen Transformators als gering erscheint, ist das Potenzial in der Summe enorm.

In der Schweiz sind rund 50'000 Transformatoren mit einer durchschnittlichen Leistung von ca. 630 kVA im Netz installiert. Wenn alle durch Amorphe Verteiltransformatoren AMDT ersetzt würden, könnten jährlich 110 GWh eingespart werden und in der Ökobilanz das Äquivalent von 14'000 t CO₂ vermieden werden.

Fazit

Amorphe Verteiltransformatoren AMDT sind zwar etwas grösser und die Anschaffungskosten etwas höher. Die Mehrkosten können jedoch im Hinblick auf Energieverknappung und steigende Kosten durch die Verlusteinsparung über die gesamte Lebensdauer mehr als kompensiert werden.



3.5 Ölwannen für Transformatoren

In Aluminiumausführung, geschlossen oder mit abnehmbarer Seitenwand
Ausführungen STANDARD und EASY



Merkmale

- Zur Nachrüstung und Erstausrüstung von Transformatoren
- Zum Schutz gegen die Verunreinigung von Gewässern
- Aus Aluminium, leicht und korrosionsbeständig
- 1 Längsseite oder 1 Schmalseite schraubbar, dadurch einfaches Einfahren des Transformators möglich
- Dichtungen aus Gummikork, unverlierbar an der Wanne befestigt
- Ausführung STANDARD
 - Inklusive 2 loser mitgelieferter Fahrschienen aus Aluminium für beliebige Spurweite (maximale Radlast 1000 kg)
 - Optionale Spurweitenfixierung der Fahrschienen mittels 2 Gewindestangen
 - Optionale Einfahrhilfe lieferbar, der Transformator muss 60 mm angehoben werden
- Ausführung EASY
 - Für stufenlose Einfahrt der Transformatoren in die Ölwanne (Schmalseite oder Längsseite)
 - Ohne Fahrschienen
- Gewinde an der Oberseite für Erdanschluss
- Oberflächen Aluminium unbehandelt, Lackierung optional
- Dichtigkeit geprüft ab Werk
- Ölwanne entspricht der Empfehlung des VSE zum Schutz der Gewässer

Ausführung STANDARD

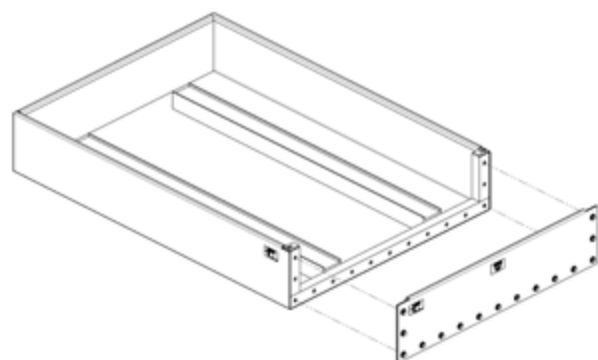
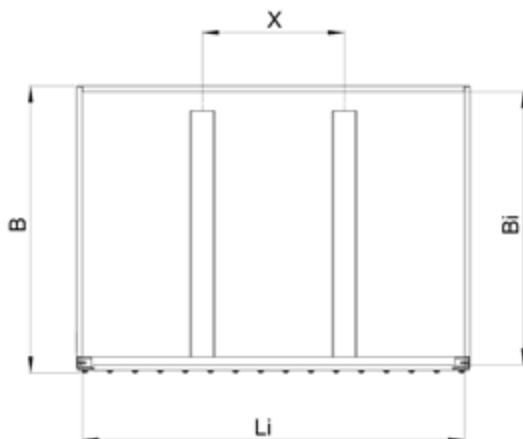
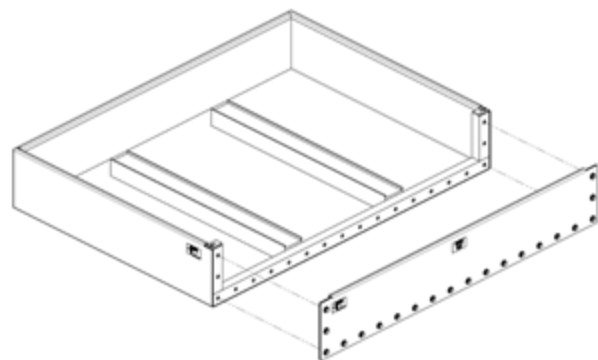
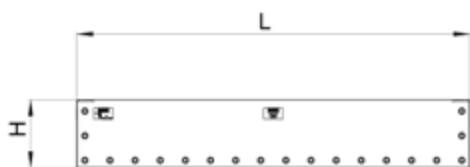
Technische Daten | Abmessungen und Gewichte

Maximales Öl-Volumen	Liter	330	500	600	700	800	950
Art.-Nr. Längsseite schraubbar		22285	22287	22289	22291	22293	22295
Art.-Nr. Schmalseite schraubbar		22286	22288	22290	22292	22294	22296
Art.-Nr. geschl. ohne Fahrschienen		22297	22298	22299	22300	22301	22302
Länge Li (innen)	mm	1400	1600	1700	1800	1950	2150
Breite Bi (innen)	mm	1000	1050	1100	1250	1300	1450
Länge L (ausser)	mm	1450	1650	1750	1850	2000	2200
Breite B (ausser)	mm	1050	1100	1150	1300	1350	1500
Höhe H	mm	250	300	320	320	320	320
Gewicht ca. (mit Fahrschienen)	kg	40	50	55	60	70	80

Die Fahrschienen werden lose mitgeliefert; das Mass X ist frei wählbar
Sondergrössen sind auf Anfrage lieferbar

Dimensionierung der Ölwanne: Die Innenmasse Li und Bi müssen mindestens 300 mm grösser gewählt werden als die Länge und die Breite des Trafokessels (siehe Empfehlung des VSE über den Schutz der Gewässer bei Erstellung und Betrieb von elektrischen Anlagen mit wassergefährdenden Flüssigkeiten, Nr.2.19d-CH2021)

Massbild



Ausführung EASY

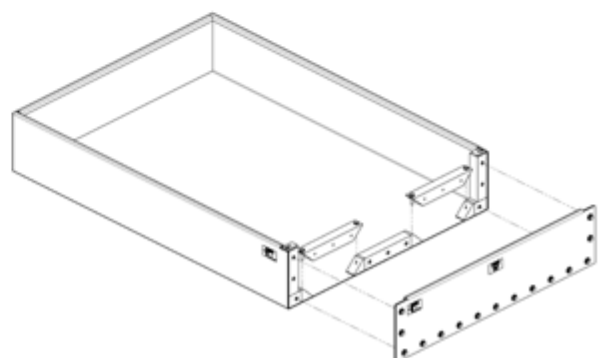
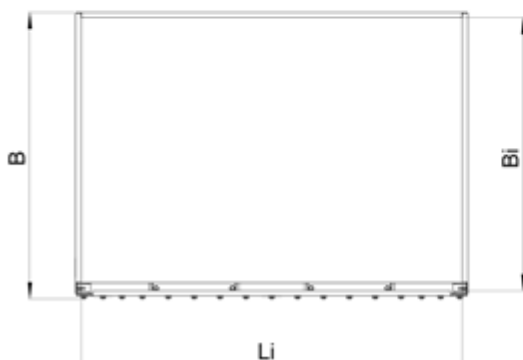
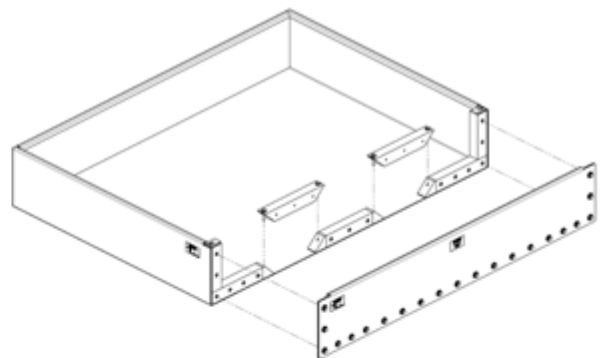
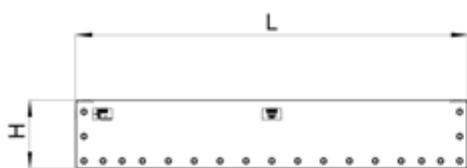
Technische Daten | Abmessungen und Gewichte

Maximales Öl-Volumen	Liter	330	500	600	700	800	950
Art.-Nr. Längsseite schraubbar		22551	22553	22555	22557	22559	22561
Art.-Nr. Schmalseite schraubbar		22552	22554	22556	22558	22560	22562
Für Spurweiten	mm	520/670	520/670	520/670	670/820	670/820	670/820
Länge Li (innen)	mm	1400	1600	1700	1800	1950	2150
Breite Bi (innen)	mm	1000	1050	1100	1250	1300	1450
Länge L (ausser)	mm	1450	1650	1750	1850	2000	2200
Breite B (ausser)	mm	1050	1100	1150	1300	1350	1500
Höhe H	mm	250	300	320	320	320	320
Gewicht ca.	kg	35	45	50	55	60	70

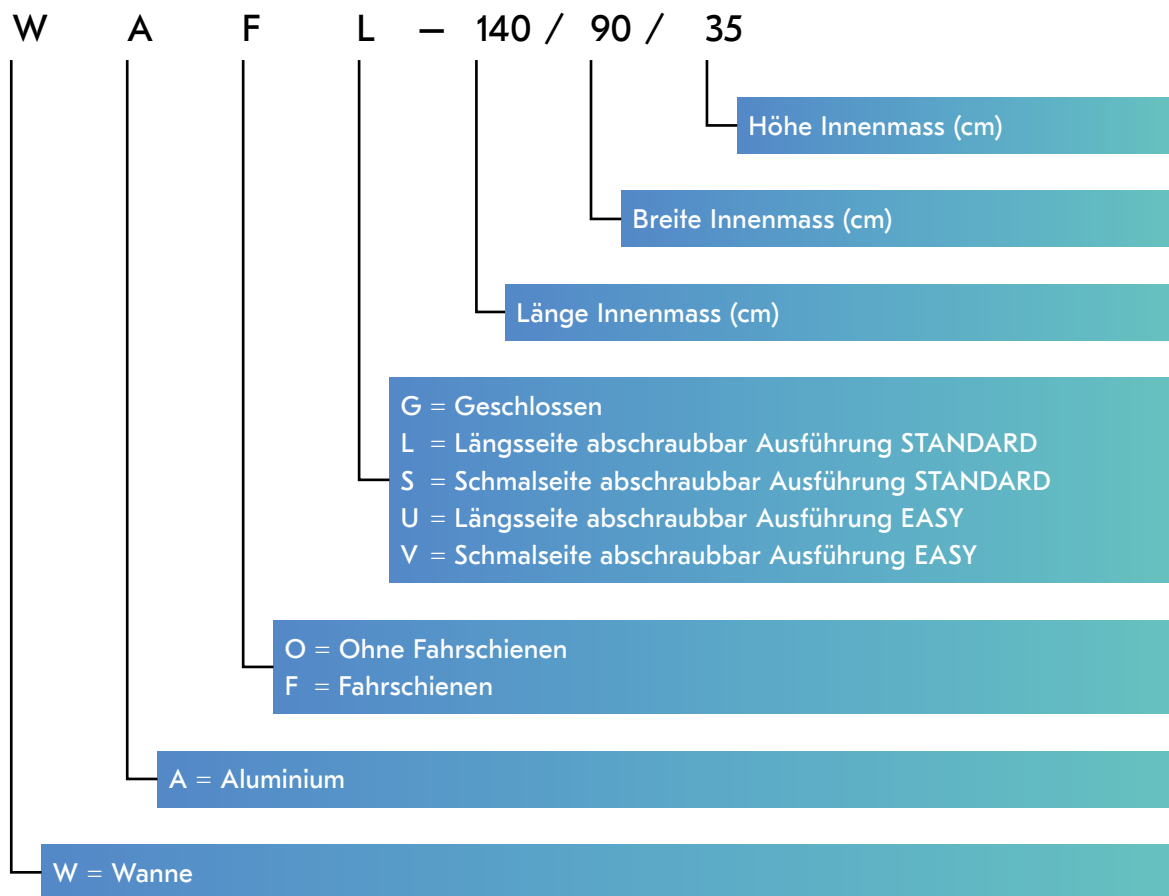
Sondergrössen sind auf Anfrage lieferbar

Dimensionierung der Ölwanne: Die Innenmasse Li und Bi müssen mindestens 300 mm grösser gewählt werden als die Länge und die Breite des Trafokessels (siehe Empfehlung des VSE über den Schutz der Gewässer bei Erstellung und Betrieb von elektrischen Anlagen mit wassergefährdenden Flüssigkeiten, Nr.2.19d-CH2021)

Massbild



Codedefinition

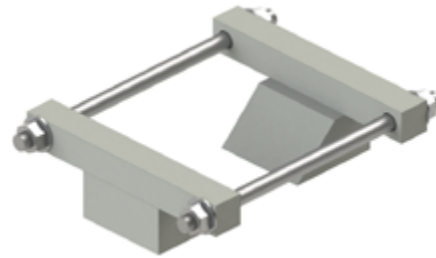


Optionen und Zubehör

Radblockierung (fixierbar)

fixierbar mit M12-Schrauben

für Rollen aus Gusseisen oder Nylon, $\varnothing 125 \times 40$ mm

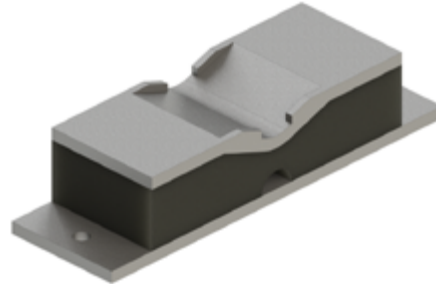


Geräusch- und Schwingungsdämpfer Vibrastop

für Transformatoren von 500 bis 2500 kg

für Transformatoren von 2500 bis 12'000 kg*

* In Verbindung mit Fahrschienen der Ölwanne mit zusätzlicher Aluplatte



Spurweitenfixierung

mit 2 Gewindestangen M8 (wählbare Länge)

NICHT für Ausführung EASY geeignet



Einfahrhilfe

2 Fahrschienen mit einer Länge von 1600 mm,
inkl. Anweisung

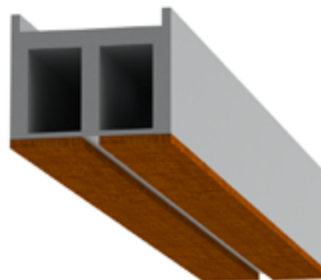
NICHT für Ausführung EASY geeignet



Fahrschienenenddämpfung

Gummikork aufgeklebt unter Fahrschienen,
Set für 2 Fahrschienen

NICHT für Ausführung EASY geeignet





4 Aufbau und Funktion

4.1 Grundlegender Aufbau

- | | |
|---|---|
| 1. Transformatorkessel mit Kühlwellen | 6. Spannungsumsteller |
| 2. Deckel | 7. Aufhängeöse |
| 3. Entlüfter/Einfüllstutzen/Niveauekontrolle | 8. Thermometerstutzen, Thermometer |
| 4. Oberspannungsdurchführung nach EN 50180, mit Anschlussbezeichnung | 9. Zurröse |
| 5. Niederspannungsdurchführung nach EN 50386, standardmässig ohne Flachanschlussstück, mit Anschlussbezeichnung | 10. Leistungsschild |
| | 11. Umsteckbare Fahrrollen für Längs- und Querbahrt |
| | 12. Erdanschluss M12 |
| | 13. Ölablassvorrichtung nach EN 50216-4 |

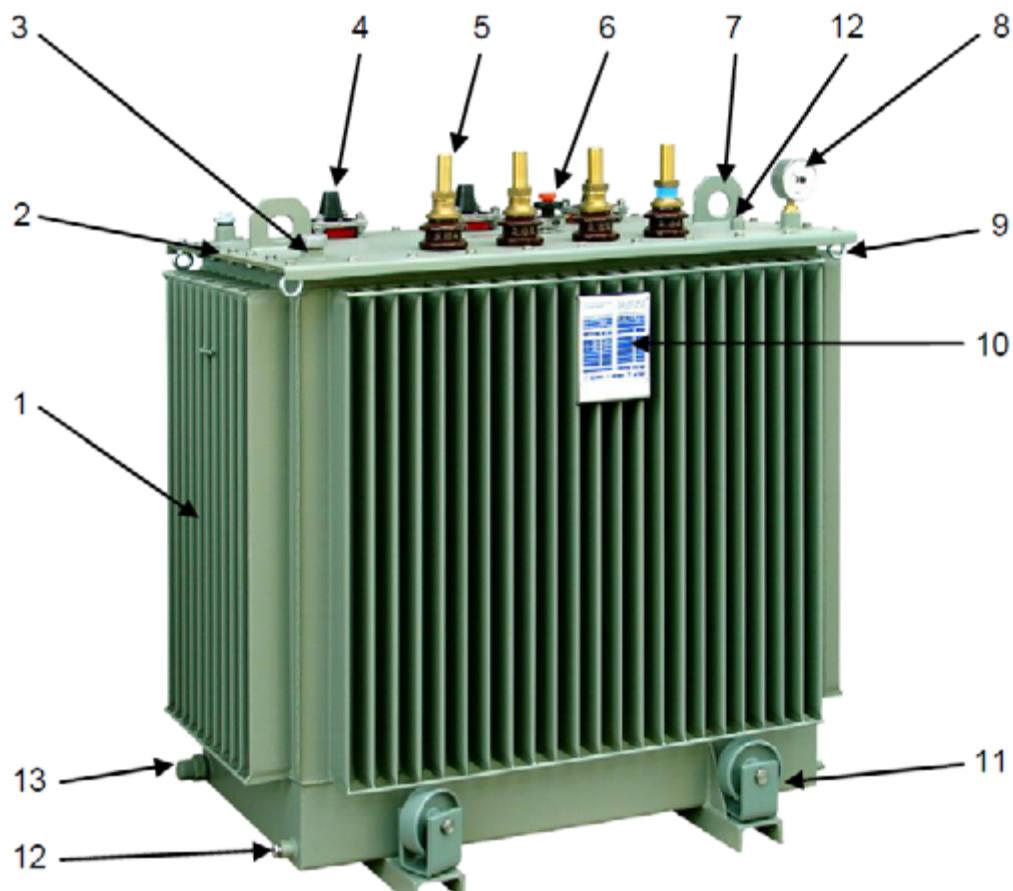


Abb. 6: Grundlegender Aufbau (freiatmender Verteiltransformator)

4.2 Hermetisch geschlossene Transformatoren im Vergleich mit freiatmenden Transformatoren (ohne Expansionsgefäß)

In der Schweiz werden seit den 1950er-Jahren Transformatoren in offener Ausführung hergestellt und sind seit 1965 für Verteiltransformatoren als Standard festgelegt (SEV 4009).

Der Deckel verfügt über 2 Entlüfteröffnungen nach DIN 42 553, über die der Luftaustausch mit dem Luftpolster unter dem Deckel im Transformatoreninnern stattfindet. Dieses Luftpolster steht über die ganze Oberfläche des Kühlmittels in Kontakt.

Die freiatmende Ausführung hat sich bewährt und ist kostengünstig.

Heute werden auch zunehmend Transformatoren mit hermetisch verschlossenen Kesseln verlangt. Damit ist ein maximaler Schutz der Ölfüllung vor Luftsauerstoff und Feuchtigkeit gegeben.

Trotzdem muss beachtet werden, dass sich aus der chemischen Reaktion von Zellulose und Öl eine geringe Menge Wasser bildet, die beim hermetisch geschlossenen Transformator nicht entweichen kann. Um diese Reaktion und damit auch den Wartungsaufwand möglichst gering zu halten, müssen hochadditive Öle eingesetzt werden.

Freiatmende Transformatoren

VORTEILE

- kostengünstig
- geringere Abmessungen
- geringeres Ölvolumen
- im Betrieb drucklos
- keine zusätzliche mechanische Belastung der Wellen

NACHTEILE

- direkter Kontakt des Öls mit der Luft
- höherer Wartungsaufwand zur Überprüfung der Ölqualität

Hermetisch geschlossene Transformatoren

VORTEILE

- kein direkter Kontakt des Öls mit der Luft
- geringer Wartungsaufwand bezüglich Ölqualität

NACHTEILE

- teurer im Einkauf
- grössere Abmessungen
- grösseres Ölvolumen
- zusätzliche mechanische Belastung der Wellen durch unterschiedliche Betriebsdrücke

Fazit

Unter normalen Betriebsbedingungen ist der freiatmende Transformator empfehlenswert. Bei stark verschmutzter Umgebungsluft oder hoher Luftfeuchtigkeit sollte ein hermetisch geschlossener Transformator eingesetzt werden (z. B. Industrie, Baustellen, Tunnel).

4.3 Giessharztransformatoren im Vergleich mit flüssigkeitsgefüllten Transformatoren (Öltransformatoren)

In der Schweiz werden im Verteilnetz vorzugsweise Öltransformatoren in offener Ausführung eingesetzt. Die freiatmende Ausführung hat sich bewährt und ist kostengünstig.

Dennoch haben auch Giessharztransformatoren ihre Daseinsberechtigung und kommen punktuell zum Einsatz.

Giessharztransformatoren

VORTEILE

- feuerbeständig und selbstlöschend
- ungiftiger Rauch im Brandfall
- hohe Beständigkeit bei Überlast und Überspannungen
- hohe Kurzschlussfestigkeit
- hohe Isolierung, keine Teilentladungen
- unempfindlich und beständig in salziger, feuchter und tropischer Umgebung
- keine Ölwanne nötig

GEEIGNET FÜR

- Aufstellung in Gewässerschutzzonen und Offshore-Plattformen
- Aufstellung an Orten mit Brandrisiko (Bürogebäude, Banken, Einkaufszentren, Schulen etc.)
- Transportwesen (Züge, Strassenbahnen, Bahnhöfe)
- Fotovoltaik- und Windkraftanlagen

Flüssigkeitsgefüllte Transformatoren

VORTEILE

- tiefere Leerlauf- und Wicklungsverluste
- geringere Abmessungen und Gewichte
- einfacher Personenschutz realisierbar
- kostengünstig
- einfach recycelbar

GEEIGNET FÜR

- Aufstellung im Verteilnetz oder in Industrie ohne Auflagen bezüglich Brand- oder Gewässerschutz

Fazit

Unter normalen Betriebsbedingungen ist der freiatmende Öltransformator empfehlenswert und die ökonomischste Lösung.

In Gewässerschutzzonen oder Orten mit Brandschutzaufgaben sollte ein Giessharztransformator eingesetzt werden.

4.4 Erdbebensicherheit für Verteiltransformatoren

Ausgangslage

Seit 01.10.2012 (Rev. 0415) ist die Richtlinie Nr. 248 «Erdbebensicherung der elektrischen Energieverteilung in der Schweiz» vom ESTI (Eidgenössisches Starkstrominspektorat) in Kraft (www.esti.admin.ch).

Die Zielsetzung ist, mit möglichst geringem Aufwand das Risiko eines ausgedehnten und langfristigen Blackouts bei einem starken Erdbeben nachhaltig zu verringern sowie die direkten Schäden an den Infrastrukturelementen tief zu halten.

Geltungsbereich

- Transformatoren (alle Spannungsebenen)
- Elektrische Apparate (Spannungen von 220 kV und höher)
- Anlagen der Energieverteilung in Schrankbauweise (alle Spannungsebenen)
- Lose Leiterverbindungen (Spannungen von 220 kV und höher)
- Sekundärsysteme und andere Einbauten (alle Spannungsebenen)
- Gebäude der Anlagen und Sekundärtechnik (alle Spannungsebenen)
- Freileitungen (Spannungen von 220 kV und höher)
- Kabelleitungen (alle Spannungsebenen)

Erdbebeneinwirkung

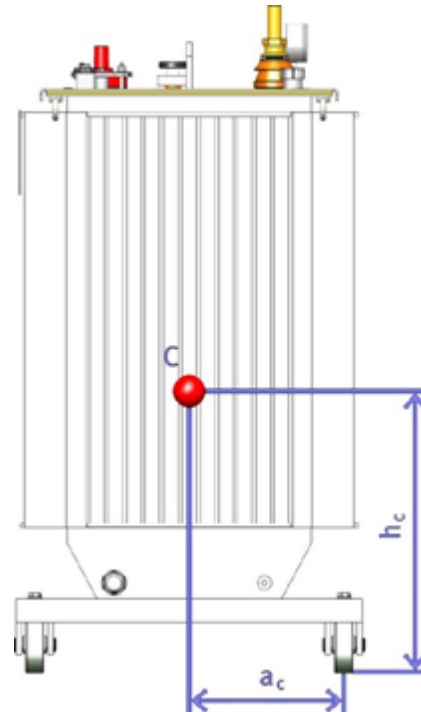
Massgebende Faktoren für einen gegebenen Standort sind gemäss der Tragwerksnorm SIA 261:

- Erdbebenzone (Z1, Z2, Z3a und Z3b)
- Baugrundklassen (A bis F)
- Bauwerksklassen (BWK I bis III)

Erdbebensicherheit von Verteiltransformatoren

Für Verteiltransformatoren, deren höchste Spannungsebene niedriger als 220 kV liegt, hängen die Bestimmungen für eine Verankerung vom Schlankheitsgrad ab in Abhängigkeit von der Erdbebenzone (siehe Tabelle 5, Kapitel 4.1 «Erdbebensicherheit von Transformatoren», ESTI-Richtlinie).

Der Schlankheitsgrad s ist der Quotient von der Schwerpunkthöhe h_c und der minimalen horizontalen Distanz a_c zwischen dem Schwerpunkt und der nächstgelegenen «Kante» eines Transformators. Die Schlankheitsgradwerte für Verteiltransformatoren liegen zwischen 1.5 und 2.5.



Berechnung einer Abhebesicherung

Mit den Angaben von Erdbebenzone, Baugrundklasse und Bauwerksklasse wird die effektive Bodenbeschleunigung bestimmt. Mit einem Sicherheitsfaktor von 3 auf die effektive Bodenbeschleunigung wird die effektive Spektralbeschleunigung S_e errechnet.

$$S_e = 3 a_{gd}$$

Die Notwendigkeit einer Abhebesicherung ergibt sich, wenn der Quotient von 10 m/s^2 und der effektiven Spektralbeschleunigung S_e kleiner als der Schlankheitsgrad s ist.

Notwendigkeit einer Abhebesicherung wenn: $\frac{10}{S_e} < s$ wobei $s = \frac{h_c}{a_c}$

Verteiltransformatoren von Rauscher & Stoecklin

Die Notwendigkeit einer Abhebesicherung ist für jeden Transformator individuell zu berechnen.

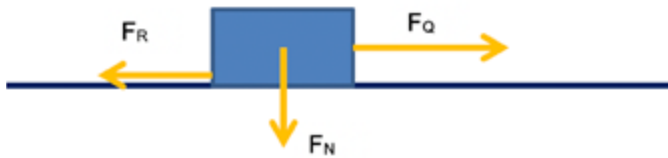
Wenn die Berechnung eine Notwendigkeit einer Abhebesicherung ergibt oder die Spektralbeschleunigung S_e einen Wert höher als 5 m/s^2 erreicht, empfehlen wir die Anwendung unseres modifizierten Transformatorbessels.

Wenn die Berechnung keine Notwendigkeit einer Sicherung ergibt, empfehlen wir, zumindest eine Massnahme gegen das Verschieben des Verteiltransformators vorzunehmen.

Ein Verschieben tritt auf, wenn die Horizontalkraft F_Q aus der Erdbebeneinwirkung höher ist als die Reibungskraft F_R des Transformators auf dem Untergrund. Wobei die Reibungskraft vom Reibungskoeffizient μ und dem Gewicht des Transformators abhängig ist.

$$F_N = \text{Masse}_{\text{tot}} \times g$$

$$F_R = F_N \times \mu$$



Maximale Bodenbelastung

Ein erdbebensicherer Verteiltransformator ist nur erdbebensicher, wenn der Aufstellungsort die auftretenden Kräfte des Verteiltransformators während des Erdbebenfalles aufnehmen kann.

Für eine Trafobefestigung ist es zwingend notwendig, alle Rollen zu fixieren.

Im Erdbebenfall können folgende Rollenkräfte auftreten:

$$F_D [kN] = \left(\frac{1.2 S_e \left[\frac{m}{s^2} \right] \cdot \text{Masse}_{\text{tot}} [t] \cdot s}{4} + \frac{\text{Masse}_{\text{tot}} [t] \cdot g \left[\frac{m}{s^2} \right]}{4} \right) \cdot Sfrs$$

$$F_A [kN] = - \left(\frac{1.2 S_e \left[\frac{m}{s^2} \right] \cdot \text{Masse}_{\text{tot}} [t] \cdot s}{4} - \frac{\text{Masse}_{\text{tot}} [t] \cdot g \left[\frac{m}{s^2} \right]}{4} \right) \cdot Sfrs$$

$$F_Q [kN] = \left(\frac{S_e \left[\frac{m}{s^2} \right] \cdot \text{Masse}_{\text{tot}} [t]}{4} \right) \cdot Sfrs$$

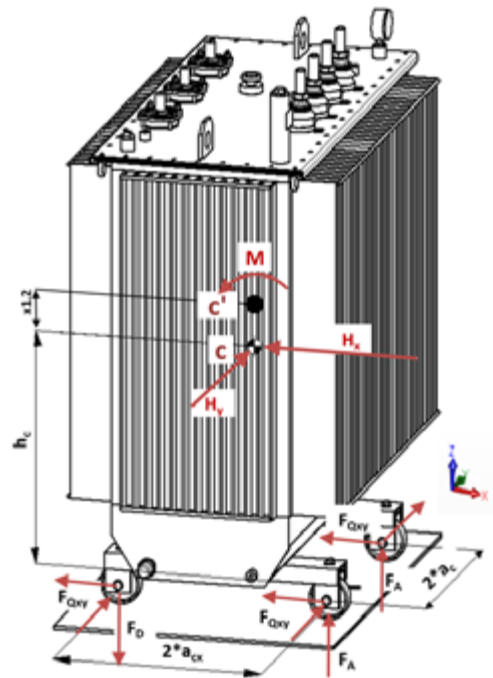
Die Berechnung ist nur gültig, wenn a_x in X- und in Y-Richtung identisch ist. Ansonsten muss man den Wert individuell berechnen.

$Sfrs$ = Sicherheitsfaktor der Rauscher & Stoecklin AG = 1.15

F_D gibt die maximale Druckkraft an, welche eine Rolle auf den Untergrund während des Erdbebenfalles ausüben kann.

F_A gibt die maximale Abhebekraft an, welche eine Rolle auf den Untergrund während des Erdbebenfalles ausüben kann.

F_Q gibt die maximale Querkraft an, welche eine Rolle auf den Untergrund während des Erdbebenfalles ausüben kann. Alle Rollen üben dabei die gleiche Kraft aus.





Bei Verwendung einer Ölwanne ist nur die integrierte Version zugelassen, da ansonsten die Befestigung nicht gewährleistet werden kann.

Lösungsansatz der Rauscher & Stoecklin AG



Abb. 7: Erdbebensicherungskit

Wir raten dringend von Lösungen ab, welche eine Verankerung an den am Trafo angebrachten Ringmuttern vorsehen.

Solche Lösungen sind kontraproduktiv und können den Trafo nicht nur im Erdbebenfall beschädigen.

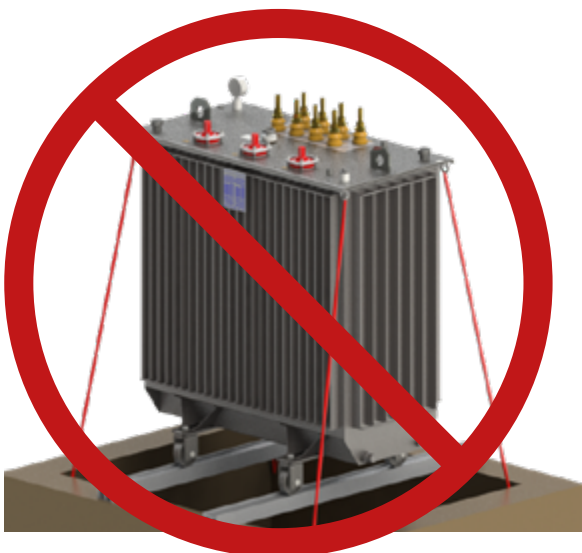


Abb. 8: Schlechte Lösung der Erdbebensicherung

Haftung

Wir übernehmen keine Haftung für Erdbebensicherungen, welche nicht mit uns abgesprochen wurden, da diese unsere Verteiltransformatoren negativ beeinflussen können und im schlimmsten Fall auch beschädigen.

Unterstützung

Wenn Sie weitere Fragen haben oder Unklarheiten bestehen, unterstützen wir Sie gerne bei der Lösungsfindung.

4.5 Funktion

Kessel/Deckel

Der Transformatorkessel dient als geerdeter Schutzbehälter für Aktivteil und Isolierflüssigkeit. Er ist normalerweise aus Stahlblech geschweisst und besteht aus einem genormten Fahrgestell und einer Wand aus Kühlwellen. Die Oberfläche ist so bemessen, dass die anfallenden Maximalverluste bis zur höchsten zu erwartenden Umgebungstemperatur abgeführt werden können.

Bei Aufstellungshöhen von über 1000 m ist dabei auch der reduzierte Wärmeübergang zur Luft infolge ihrer geringeren Dichte zu berücksichtigen. Bei Hermetikausführung dienen die Wellenwände auch zur Aufnahme der Volumenänderung der Isolierflüssigkeit.

Auf dem Deckel sind neben den beiden Hebeösen auch die Durchführungen für die elektrischen Anschlüsse entsprechend ihrer Spannungsreihe und die Bedienungseinrichtung für den Schalter zur Spannungseinstellung angebracht. Dort befinden sich auch die Überwachungsgeräte und die wettersichere Entlüftung für die Ölausdehnung, sofern kein separates Expansionsgefäß vorhanden ist. Der Deckel wird mit dem Kessel öldicht verschraubt.

Der Standardanstrich gewährleistet Schutz in einer nicht aggressiven Umgebung. Für andere Umgebungen kann ein spezieller Anstrich oder eine Feuerverzinkung verwendet werden.

Durchführungen

Der elektrische Anschluss eines Transformators im Drehstromnetz erfolgt in der Regel auf der Oberspannungsseite über 3 hochspannungsisierte Stecker oder über 3 Porzellandurchführungen. Steckbare OS-Durchführungen gelten als berührungssicher; es gibt sie als Aussen- wie auch als Innenkonusausführungen mit geraden oder gewinkelten Steckern auf der Kabelseite.

Auf der Unterspannungsseite befinden sich normalerweise 4 Porzellandurchführungen für die 3 Phasen und den herausgeführten Sternpunkt beziehungsweise den Nullleiter, an welche Stromschienen oder Kabel des Niederspannungssystems angeschlossen sind.

Für die Durchführungen werden nach EN genormte Ausführungen verwendet.



Abb. 9: Kessel/Deckel



Abb. 10: OS-Durchführungen



Abb. 11: US-Durchführungen

Spannungsumsteller

Der dreiphasige Spannungsumsteller ermöglicht eine Spannungsanpassung im spannungslosen Zustand. Der Transformator muss dazu vom speisenden Netz getrennt werden. Bei Transformatoren mit umschaltbarer Ober-spannung (z. B. 10/20 kV) sind 2 Schaltknöpfe auf dem Deckel angebracht. Einer dient zur Umschaltung der beiden OS-Spannungen und der andere zur Spannungsanpassung.



Abb. 12: Spannungsumsteller

Erdanschluss

Am Transformator befinden sich mehrere Erdanschlüsse auf dem Deckel und unten am Kessel. Für die zuverlässige Erdung des Transformators müssen diese Erdanschlüsse verwendet werden.



Abb. 13: Erdanschluss (Kessel)

Ölablassvorrichtung

Über die Ölablassvorrichtung können im Bedarfsfall Proben zur Kontrolle der Ölqualität entnommen werden.



Abb. 14: Ölablassvorrichtung

Umsteckbare Fahrrollen

Das Fahrgestell hat standardisierte Fahrrollen-Mittenabstände. Die Fahrrollen können um 90° gedreht werden.



Abb. 15: Fahrrolle

Entlüfter/Einfüllstutzen/Niveauekontrolle

Bei freiatmenden Transformatoren sind 2 wettersichere Entlüfter für den Luftaustausch infolge der Ölausdehnung auf dem Deckel angebracht. Die Entlüfteröffnungen sind ebenfalls zum Entnehmen von Ölproben oder zum Nachfüllen von Öl geeignet. Beim Transport der Transformatoren müssen Verschlussstopfen in die Entlüfter eingelegt werden (beim Transport ab Werk sind diese bereits eingelegt).



Abb. 16: Entlüfter / Einfüllstutzen (freiatmend)

Der Ölstandsmessstab ist in der Kappe eines Entlüfters eingesetzt. Mit dem Holzstab kann das aktuelle Ölniveau in Abhängigkeit von der momentanen Öltemperatur überprüft werden. Vorsicht ist geboten bei zu tiefem Ölstand: Spannungsführende Teile des Schalters, der Ausleitungen oder sogar der Wicklungen könnten unbedeckt bleiben und zu einem elektrischen Überschlag führen.



Abb. 17: Niveauekontrolle (freiatmend)

Bei Hermetiktransformatoren befindet sich anstelle der Entlüfteröffnungen ein Einfüllstutzen auf dem Deckel. Zur Erstellung des Hermetikzustandes muss dieser das höchstgelegene ölführende Bauteil überragen.



Abb. 18: Einfüllstutzen (hermetisch)

Um den Hermetikzustand zu bewahren, darf die Verschlusskappe nicht geöffnet werden.

4.6 Optionen und Zubehör

Thermometer

Das Thermometer erlaubt die visuelle Ablesung der oberen Kühlmitteltemperatur. Mittels eines Schleppzeigers ist jederzeit auch die Kontrolle der erreichten Höchsttemperatur möglich. Das Thermometer kann auch mit Schaltkontakten zur Auslösung eines Alarms oder Stopps im Falle einer unzulässigen Erwärmung geliefert werden.



Abb. 19: Thermometer

PT100 Widerstandsthermometer

Der PT100 Messwiderstand misst die obere Kühlmitteltemperatur und leitet den Messwert zur auswertenden Messeinrichtung weiter. Er ist in Zweileiter-, Dreileiter- oder Vierleiterschaltung verfügbar. Bei der Dreileiter- und der Vierleiterschaltung wird die Messabweichung durch den Widerstand seiner Anschlussdrähte eliminiert.



Abb. 20: PT100 Widerstandsthermometer

Ölwanne

Die Ölwanne verhindert im Havariefall ein Auslaufen der Isolierflüssigkeit in die Umgebung. Die Dimensionen werden so bemessen, dass die Wanne den Transformator allseitig mindestens 150 mm überragt und die gesamte Isolierflüssigkeitsmenge aufgenommen werden kann.

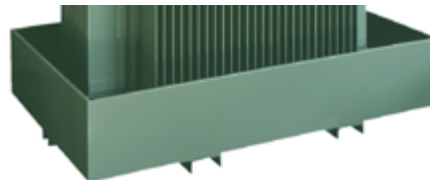


Abb. 21: Integrierte Ölwanne

Während die integrierte Ölwanne zusammen mit dem Transformator geliefert wird, kann die Aluminium-Ölwanne auch nachträglich eingebaut werden.

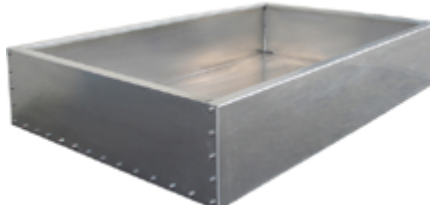


Abb. 22: Aluminium Ölwanne

Niveauekontrolle

Transformatoren können mit einem Ölstandsanzeiger mit Schwimmer ausgerüstet werden. Wird eine Fernüberwachung gewünscht, ist eine Ausführung mit magnetischem Kontakt (Reed-Kontakt) verfügbar.

Zeigt der Ölstandsanzeiger den Stand MIN an, muss der Transformator ausser Betrieb genommen und die Ursache des Kühlmittelverlustes behoben werden.



Abb. 23: Ölstandsanzeige

Transformator-Vollschutz

Der Transformator-Vollschutz umfasst die Funktionen:

- Thermometer
- Niveauekontrolle
- Drucküberwachung
- Gasbildung

Zur Fernüberwachung stehen für jede Funktion potenzialfreie Kontakte zur Verfügung.



Abb. 24: Transformator-Vollschutz (hermetisch)

Anschlussfahnen

Anschlussfahnen können auf die Unterspannungsdurchführungen geschraubt werden und erlauben das einfache Anschliessen von Kabeln mit Kabelschuhen.



Abb. 25: Anschlussfahnen

Radblockierung

Die Radblockierung verhindert ein unbeabsichtigtes Wegrollen des Transformators.

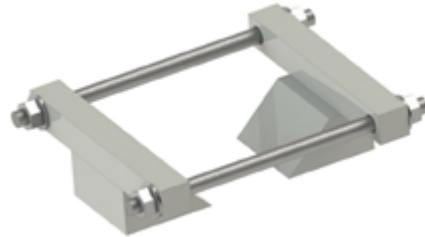


Abb. 26: Radblockierung

Schwingungsdämpfer

Unter die Fahrrollen gelegte Schwingungsdämpfer verringern die Übertragung der vom Transformator erzeugten Vibrationen an die Umgebung in hohem Masse.

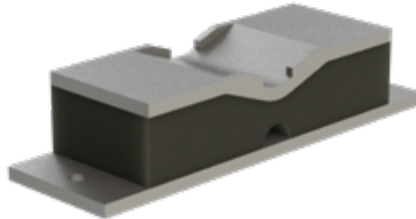


Abb. 27: Schwingungsdämpfer

Erdbebensicherung

Ist gemäss ESTI-Richtlinie Nr. 248 die Installation einer Erdbebensicherung notwendig, verhindert diese bei einem Erdbeben ein Verrutschen des Transformators.

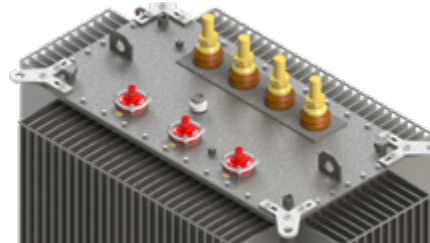


Abb. 28: Erdbebensicherung

Expansionsgefäss

Im Expansionsgefäss wird die während des Betriebs auftretende Volumenänderung der Isolierflüssigkeit aufgenommen; die Wellenwände des Kessels müssen diese Funktion also nicht übernehmen.

Durch die Verwendung eines mit Silikagel gefüllten Luftentfeuchters kommt die Isolierflüssigkeit nicht in direkten Kontakt mit der Umgebungsluft. Die Feuchtigkeit wird durch das Silikagel aufgenommen. Hat sich das Silikagel zu einem hellen Gelb verfärbt, muss dieses getrocknet oder ersetzt werden.

Zeigt der Ölstandsanzeiger den Stand MIN an, muss der Transformator ausser Betrieb genommen und die Ursache des Kühlmittelverlustes behoben werden.

Ein optionaler Buchholzschutz detektiert eine Gasbildung und damit einen inneren Defekt im Transformator.



Abb. 29: Expansionsgefäss

5 Transport, Inbetriebnahme, Lagerung

5.1 Transport und Lagerung

Der Transformator wird vollständig ausgerüstet und betriebsbereit angeliefert.

Für den Transport des Transformators sind nur die dafür vorgesehenen Vorrichtungen (Hebeösen und Fahrgestellträger, siehe Abb. 30) zu verwenden.

Für den Transport mittels Hebezeug (Kran o.Ä.) sind die beiden Hebeösen (1) auf dem Deckel zu benutzen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Durchführungen und Armaturen auf dem Deckel nicht beschädigt werden (Winkel $\alpha = \min. 60^\circ$).

Beim Transport mit Flurförderzeugen dürfen nur die Fahrgestellträger (2) auf den Gabeln aufliegen. Die Wanne sowie die Wellen (X) sind dafür nicht geeignet. Transportpaletten können ebenfalls verwendet werden.

Transportsicherungen dürfen die folgenden Kräfte an den Zurrösen (3) (pro Zurröse) nicht überschreiten:

Leistung	Horizontal	45°	Vertikal
$\leq 1000 \text{ kVA}$	115 kg	170 kg	230 kg
$> 1000 \text{ kVA}$	170 kg	240 kg	340 kg

Tab. 1: Zurrösenkräfte

Die Fahrrollen können für Längs- und Querfahrt montiert werden. Der Transformator ist mit Vorsicht zu bewegen, um Beschädigungen insbesondere an den Wellen zu vermeiden.

Freiatmende Transformatoren dürfen nur mit eingelegetem Verschlussstopfen in den Einfüll- und Entlüfterstutzen transportiert werden (Abb. 31).

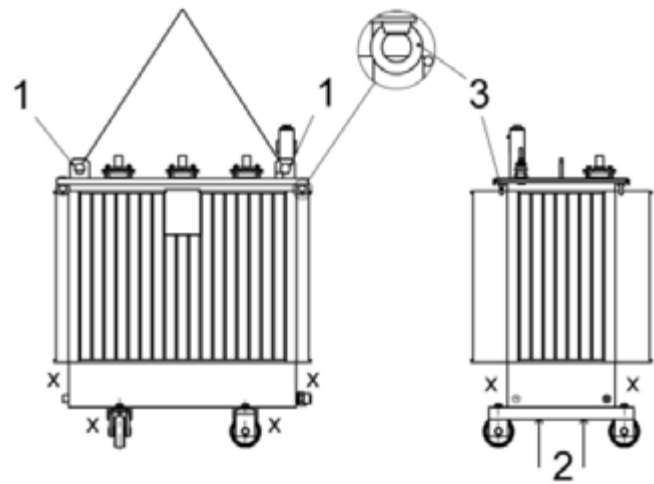


Abb. 30: Transportvorrichtung



Abb. 31: Transportsicherung

!

HINWEIS!

BESCHÄDIGUNGSGEFAHR

Wellenversteifungen und Wellen dürfen nicht zum Anheben, Ziehen oder Schieben benutzt werden! Der Transformator darf nicht mit Stemmeisen etc. bewegt werden!

Transportinspektion

Die Lieferung muss bei Erhalt unverzüglich auf Vollständigkeit und Transportschäden geprüft werden.

- Die Angaben auf dem Leistungsschild mit dem am Transformator angebrachten Prüfbericht und den Lieferpapieren vergleichen
- Die Vollständigkeit und Korrektheit der Lieferung mit den Bestellunterlagen überprüfen

Bei äusserlich erkennbarem Transportschaden wie folgt vorgehen:

- Lieferung nicht oder nur unter Vorbehalt entgegennehmen
- Schadensumfang auf den Transportunterlagen oder auf dem Lieferschein des Transporteurs vermerken
- Reklamation einleiten
- Solange die Verantwortlichkeiten nicht geklärt sind, dürfen keine Reparaturarbeiten ausgeführt werden



TIPPS!

Jeden Mangel reklamieren, sobald er erkannt ist. Schadensersatzansprüche können nur innerhalb der gültigen Reklamationsfristen geltend gemacht werden.

Lagerung (vor Inbetriebnahme)

Transformatoren sollen unter folgenden Bedingungen gelagert werden:

- Vorzugsweise an trockenen und staubfreien Örtlichkeiten lagern
- Direkte Sonneneinstrahlung vermeiden
- Wahrscheinlichkeit für mechanische Beschädigungen minimieren
- Minimale Lagertemperatur: -25°C
- Bei freiatmenden Transformatoren Verschlussstopfen in den Einfüll- und Entlüfterstutzen entfernen (Abb. 31)
- Schutzkappen der Oberspannungsdurchführungen nicht entfernen
- Regelmässig den allgemeinen Zustand des Transformators und der eventuellen Verpackung kontrollieren



TIPPS!

Unter Umständen befinden sich auf den Transformatoren Hinweise zur Lagerung, die über die hier genannten Anforderungen hinausgehen. Diese entsprechend einhalten.



5.2 Inbetriebnahme



Hermetisch geschlossene Transformatoren stehen unter Druck. Es dürfen keine Verschlüsse geöffnet oder Verschraubungen mit Sicherungslack gelöst werden!

Geltungsbereich

- Entfernen Sie die Verschlussdichtungen in Einfüll- und Entlüfterstutzen (nur bei freiatmenden Transformatoren)
- Überprüfen Sie den Ölstand im Einfüllstutzen oder am Expansionsgefäß. Die Markierung zeigt den Ölstand bei 20°C. Eine Abweichung um 1 cm entspricht ca. 10°C (nur bei freiatmenden Transformatoren)
- Überprüfen Sie die untere Ölablassvorrichtung auf dichten Verschluss
- Überprüfen Sie den Erdungswiderstand
- Überprüfen Sie die korrekte Phasenlage der Anschlüsse und ob alle Anschlussschrauben an den Anschlüssen (Primär- und Sekundärseite) korrekt und fest angezogen sind
- Stellen Sie den Stufenschalter im spannungslosen Zustand auf die gewünschte Spannungsstufe (1 bis 5)
- Stellen Sie den zweiten Schalter auf die gewünschte Spannungsebene (I oder II) (nur bei umschaltbaren Transformatoren)
- Überprüfen Sie die Einstellung des Kontaktthermometers (wenn vorhanden): Die 2 Kontakte sind für Gleich- und Wechselspannungen bis 250 V ausgelegt. Standardeinstellung: Alarm 85°C, Auslösung 95°C (oder gemäss Werkseinstellung)
- Überprüfen Sie bei einer geplanten Parallelschaltung, dass die beiden Transformatoren geeignet sind



Es dürfen nur Transformatoren mit gleicher Schaltgruppe, gleichem Übersetzungsverhältnis (gleiche Schalterstellung!), ähnlicher Nennleistung und ähnlicher Kurzschlussspannung (Differenz $\leq 10\%$) parallel geschaltet werden!

Inbetriebnahme

Personal: Instruierte Person



GEFAHR! LEBENSGEFAHR DURCH ELEKTRISCHEN STROM

Bei Arbeiten an spannungsführenden Bauteilen und Leitungen besteht Lebensgefahr.

- Arbeiten an der elektrischen Anlage nur von Elektrofachkräften ausführen lassen
- Vor Beginn der Arbeiten an aktiven Teilen elektrischer Anlagen und Betriebsmittel den spannungsfreien Zustand herstellen und für die Dauer der Arbeiten sicherstellen. Dabei die 5 Sicherheitsregeln beachten:
 - freischalten und allseitig trennen
 - gegen Wiedereinschalten sichern
 - auf Spannungslosigkeit prüfen
 - erden und kurzschliessen
 - gegen benachbarte, unter Spannung stehende Teile schützen

Reinigung

Fremdkörperablagerungen (Staub etc.) von den Durchführungen und anderen Teilen auf dem Deckel entfernen. Je nach Stärke der Verschmutzungen (z. B. nach langer Lagerung) ist evtl. der ganze Transformator zu reinigen.

Kontrolle Ölstand

Verschlussdichtungen in Einfüll- und Entlüfterstutzen entfernen. Ölstand im Einfüllstutzen oder am Expansionsgefäß überprüfen. Die Markierung zeigt den Ölstand bei 20 °C. Eine Abweichung um 1 cm entspricht ca. 10 °C.

Kontrolle Ölablassvorrichtung

Die untere Ölablassvorrichtung auf dichten Verschluss überprüfen.

Kontrolle des Öls

In unseren klimatisch relativ trockenen Regionen ist die Feuchtigkeitsaufnahme des Öls allgemein gering. Bei langer Lagerung vor der Inbetriebnahme (≥ 5 Jahre, bei Lagerung im Freien ≥ 1 Jahr) empfehlen wir eine Ölkontrolle.

Kontrolle Erdungswiderstand

Erdungswiderstand überprüfen.

Kontrolle der Anschlüsse

Alle Anschlussschrauben an den Anschlüssen (Primär- und Sekundärseite) überprüfen; sie müssen korrekt und fest angezogen sein.



Abb. 32: Einfüll- und Entlüfterstutzen



Abb. 33: Ölmesstab / Niveauekontrolle (freiatmend)

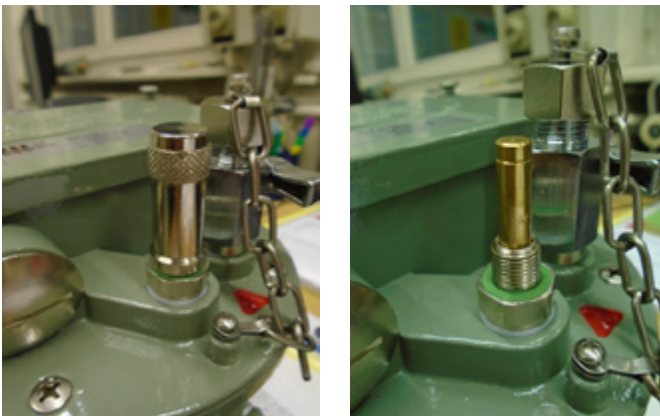


Abb. 34: Ölablassvorrichtung

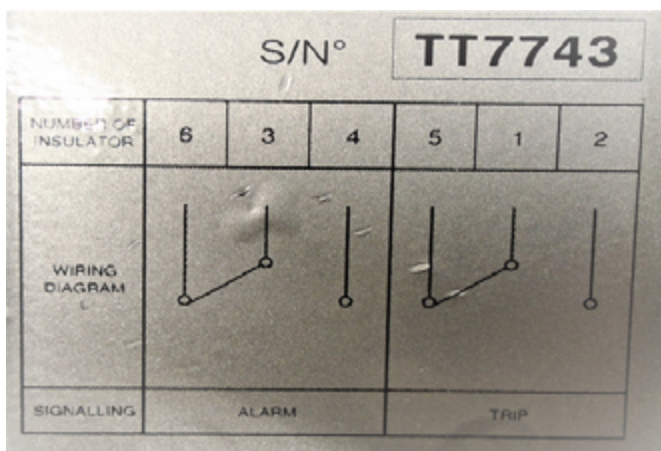
5.3 Funktionsprüfung Buchholzschutz



1. Kappe auf Test-Knopf entfernen



2. Prüfung «Normal-Zustand» («Ruhezustand»)



- Öffner-Kontakt «3–6» (Alarm) muss geschlossen sein
- Öffner-Kontakt «1–5» (Trip) muss geschlossen sein

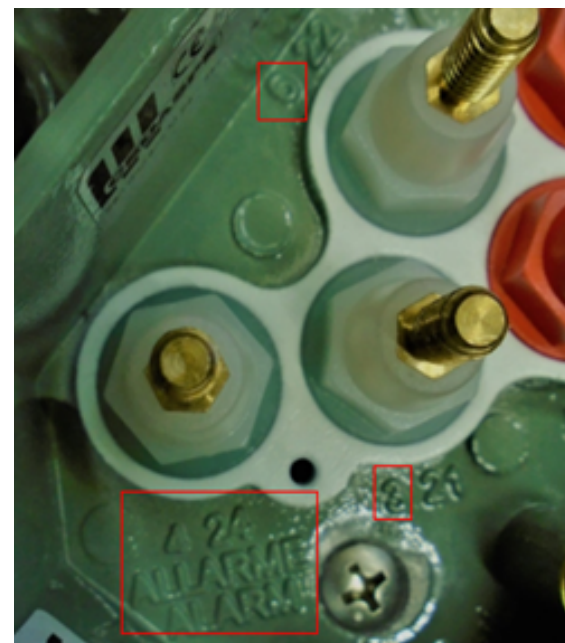
3. Prüfung Ansprechverhalten «Alarm vor Trip»

Den Test-Knopf gerade so weit drücken, bis der Schliesser-Kontakt «3–4» (Alarm) geschlossen ist. In diesem Zustand muss der Schliesser-Kontakt «1–2» (Trip) noch geöffnet sein.

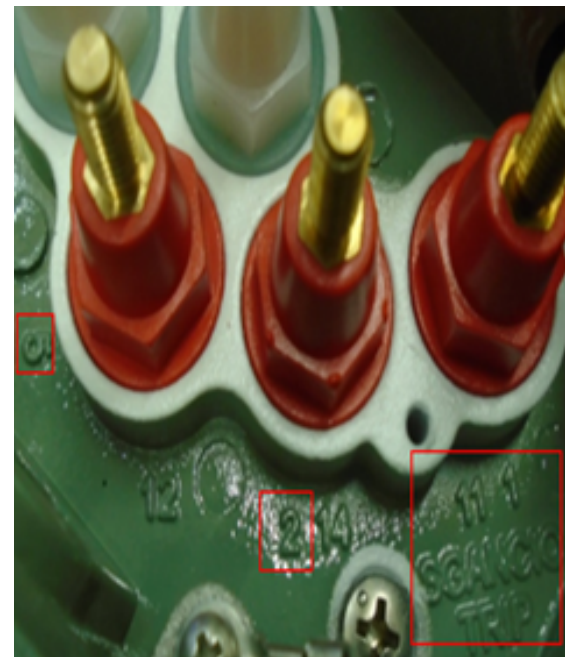
4. Prüfung «Fehler-Zustand»

- Den Test-Knopf ganz durchdrücken. Jetzt muss nebst dem Schliesser-Kontakt «3–4» (Alarm) auch der Schliesser-Kontakt «1–2» (Trip) geschlossen sein.

5. Markierung der jeweiligen Kontakte



- Alarmkontakte 3, 4 und 6



- Trip-Kontakte 1, 2 und 5

6 Installation

Elektrischer Strom



GEFAHR! LEBENSGEFAHR DURCH ELEKTRISCHEN STROM

Bei Arbeiten an spannungsführenden Bauteilen und Leitungen besteht Lebensgefahr.

- Arbeiten an der elektrischen Anlage nur von Elektrofachkräften ausführen lassen
- Vor Beginn der Arbeiten an aktiven Teilen elektrischer Anlagen und Betriebsmittel den spannungsfreien Zustand herstellen und für die Dauer der Arbeiten sicherstellen. Dabei die 5 Sicherheitsregeln beachten:
 - freischalten und allseitig trennen
 - gegen Wiedereinschalten sichern
 - auf Spannungslosigkeit prüfen
 - erden und kurzschliessen
 - gegen benachbarte, unter Spannung stehende Teile schützen

6.1 Aufstellungsort

Aufstellung

Vor der Aufstellung muss Folgendes beachtet werden:

- Zugänglichkeit
- ebene und stabile Unterlage
- lokale Vorschriften (z. B. Ölwanne, Sicherheit, Feuer-schutz etc.)

Aufstellungshöhe

Sofern in der technischen Dokumentation zum Transformator nichts anderes festgelegt ist, darf die maximale Aufstellungshöhe 1000 m über Meer nicht überschritten werden. Höhere Werte erfordern eine andere Auslegung des Transformators und müssen bereits während der Bestellphase berücksichtigt werden.

Temperaturen

Beim Betrieb des Transformators müssen folgende Temperaturen eingehalten werden:

- Minimale Temperatur: -25 °C
- Jahresmittel: +20 °C
- Monatsmittel: +30 °C
- Maximale Temperatur: +40 °C

Höhere Werte erfordern eine andere Auslegung des Transformators und müssen bereits während der Bestellphase berücksichtigt werden.

Allgemeines

Bei Transformatoren, die in geschlossenen Zellen oder Trafostationen aufgestellt werden, ist auf eine ausreichende Belüftung zu achten. Für Verteiltransformatoren genügt normalerweise eine natürliche Belüftung der Zelle, die auf dem Kamineffekt beruht. Dabei tritt kühle Luft unten in der Zelle ein, erwärmt sich durch die vom Transformator erzeugten Verluste, steigt nach oben und tritt durch die obere Öffnung aus.

Lage der Lufteintritts- und Luftaustrittsöffnung

Die **Lufteintrittsöffnung** soll sich so nahe beim Transformator und so weit unten wie möglich befinden, evtl. mittels eines Lüftungsschachtes.

Die **Luftaustrittsöffnung** soll sich möglichst weit oben in der Zelle befinden.

Die Anordnung der Öffnungen muss die Störungen berücksichtigen, die Wind und Sonne auf den Kamineffekt haben können. Folgendes ist zu beachten, falls möglich:

- direkte Sonneneinstrahlung sollte vermieden werden, deshalb Öffnungen möglichst nicht auf der Südseite platzieren
- auf der Seite der Hauptwindrichtung sollten die Öffnungen ebenfalls nicht platziert werden
- Lufteintritts- und Luftaustrittsöffnungen sollten sich auf derselben Gebäudeseite befinden

Dimensionierung der Lufteintritts- und Luftaustrittsöffnung

Die Abmessungen der Öffnungen hängen von den auszubringenden Gesamt-Trafoverlusten und der Lufferwärmung in der Trafazelle ab.

Für jedes Kilowatt Trafo-Verlustleistung wird eine Frischluftmenge von ca. 3 m³ pro Minute benötigt, daraus resultiert eine Lufferwärmung von ca. 15 bis 18 K.

Berechnung des Querschnittes der Lufteintritts- und Luftaustrittsöffnung:

$$A_L = 0.188 \frac{P}{\sqrt{H}}$$

A_L: Öffnungsquerschnitt für Lufteintritt und Luftaustritt in m²

P: Gesamt-Trafoverluste (Leerlauf- und Lastverluste in kW)

H: Höhenunterschied von Mitte Transformator bis Mitte Luftaustrittsöffnung in m

Um eine ausreichende Luftströmung zu gewährleisten, sind folgende Minimalabstände einzuhalten:

- 300 mm zwischen Zellenwand und Transformatorkessel
- 500 mm zwischen nebeneinanderstehenden Transformatoren

Hinweis: Elektrisch bedingte Abstände können evtl. grössere Werte verlangen.

Forcierte Kühlung

Unter Umständen ist es möglich, dass die natürliche Kühlung nicht ausreicht. In diesem Falle ist ein Ventilator, der an einer der beiden Öffnungen platziert ist, einzusetzen. Die Fördermenge ist wie oben angegeben ca. 3 m³ pro Minute. Zu empfehlen ist, dass der Ventilator temperaturgesteuert (Zellentemperatur z.B. höher als 30 °C) in Betrieb gesetzt wird. In Wohngebieten ist zudem auf eine sehr geräuscharme Ausführung zu achten.

6.2 Aufstellung

Generell

Der Transformator wird vollständig ausgerüstet und betriebsbereit angeliefert.

Zum Abschluss der Montage werden die Einfahrhilfen entfernt und die Ölwanne wieder verschlossen.

Die separate Montageanweisung ist zu beachten:

- KD-00198, Montageanweisung Ölwanne EASY

Fahrrollen

Personal: Instruierte Person

Mitgelieferte Fahrrollen sind an den Fahrgestellträgern provisorisch befestigt. Diese Fahrrollen können für Längs- und Querfahrt montiert werden.

Fahrrollen können nur an den Fahrgestellträgern montiert werden, wenn der Transformator über dem Boden schwebt. Dabei ist auf eine geeignete Abstützung oder Aufhängung zu achten.

Einbringung

Personal: Instruierte Person

Für jegliche Bewegung des Transformators sind die Vorgaben hinsichtlich des Transports zu beachten.

Kapitel 5.1: Transport und Lagerung auf Seite 40



HINWEIS! MÖGLICHE UNDICHTIGKEIT BZW. VERLUST ISOLIERFLÜSSIGKEIT

Die Deckelverschraubungen dürfen auf keinen Fall gelöst werden!

Hermetisch geschlossene Transformatoren stehen unter Druck. Es dürfen keine Verschlüsse geöffnet oder Verschraubungen mit Sicherungslack gelöst werden!



WARNUNG! VERLETZUNGSGEFAHR WÄHREND DER EINBRINGUNG

Beim Einbringen herrschen oft enge Platzverhältnisse, die zu Quetschungen an den Gliedmassen oder am Körper führen können.

- Immer darauf achten, dass sich kein Körperteil zwischen dem Transformator und einem festen immobilen Gegenstand befindet.

Vorbereitung

Personal: Instruierte Person

Vor der Einbringung ist der Transformator unbedingt auf Vollständigkeit und Korrektheit zu überprüfen. Ebenfalls soll die Vollständigkeit des benötigten Zubehörs überprüft werden. Sämtliche Komponenten auf Beschädigungen überprüfen.

Ölwanne

Personal: Instruierte Person

Falls vorhanden: separat angelieferte Ölwanne am Zielort installieren. Die abnehmbare Seitenwand demontieren und aufbewahren. Die Fahrschienen und Einfahrhilfen anbringen und gegen unbeabsichtigtes Verschieben sichern.



HINWEIS! BESCHÄDIGUNGSGEFAHR WÄHREND DER EINBRINGUNG

Beim Einbringen herrschen oft enge Platzverhältnisse, die zu Beschädigungen am Transformator führen können.

- Immer darauf achten, dass der Transformator genügend Abstand zu festen immobilen Gegenständen aufweist.
- Immer auf kontrollierte und, im Falle eines Gefälles in der zu bewältigenden Wegstrecke, gesicherte Bewegung des Transformators achten.

Sicherung

Personal: Instruierte Person

Es wird empfohlen, den Transformator mittels Radblockierungen gegen unbeabsichtigtes Verschieben zu sichern. Wir empfehlen die Verwendung von 2 Radblockierungen in diagonaler Anordnung.



HINWEIS! BESCHÄDIGUNGSGEFAHR

Schlecht gesicherte Transformatoren können sich unbeabsichtigt verschieben. Dadurch kann der Kessel beschädigt werden.

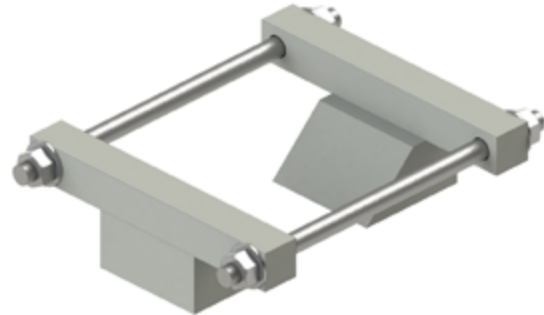


Abb. 35: Radblockierung

Es sind geeignete Massnahmen zur Erdbebensicherheit gemäss Erdbebenrichtlinie ESTI Nr. 248 zu treffen, wenn der Transformator in erdbebengefährdeten Zonen betrieben werden soll.

Erdung

Für die zuverlässige Erdung des Transformators sind ausschliesslich die dafür vorgesehenen Erdanschlüsse an Deckel oder Kessel zu verwenden.

Für die Erdung der Mittelspannungskabel dürfen nur die Erdanschlüsse auf dem Deckel verwendet werden. Die Deckelverschraubungen dürfen auf keinen Fall gelöst werden.

Drehmoment M12: 75 Nm

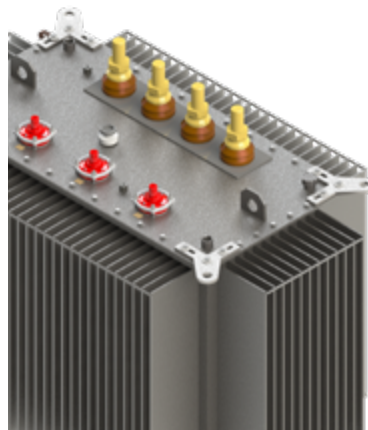


Abb. 36: Erdbebensicherung

6.3 Elektrischer Anschluss

Anschliessen

Personal: Instruierte Person



HINWEIS! VORGABEN DES BETREIBERS

Die jeweiligen Vorgaben und Richtlinien des Betreibers müssen eingehalten werden.

Die Oberspannungs- und Unterspannungskabel sind an den jeweiligen Durchführungen anzuschliessen.

Strahlungsarme Transformatoren müssen an allen 8 Unterspannungsdurchführungen punktsymmetrisch angeschlossen werden.

Folgende Bedingungen müssen eingehalten werden:

Die Kontaktflächen müssen sauber gehalten werden, um einen geringen Anschlusswiderstand zu gewährleisten. Die Anschlusskabel dürfen keine mechanische Belastung auf die Durchführungen ausüben.

Geschraubte Anschlüsse sollen mithilfe eines Drehmomentschlüssels ausgeführt werden. Empfohlene Drehmomente für den Anschluss an die Bolzen von Porzelanddurchführungen (Tabelle 2).

Weitere Anschlüsse

Weitere Geräte mit elektrischen Kontakten wie z.B. Widerstandsthermometer, Niveauekontrolle, Buchholzschutz, Transformator-Vollschutz etc. – sofern vorhanden – anschliessen.

250 A	630 A	1000 A	2000 A	3150 A
M12	M20	M30 × 2	M42 × 3	M48 × 3
15 Nm	30 Nm	75 Nm	95 Nm	110 Nm

Tab. 2: Drehmomente

6.4 Parallelbetrieb

Personal: Instruierte Person



HINWEIS! BESCHÄDIGUNGSGEFAHR

Es dürfen nur Transformatoren, die die nachstehenden Bedingungen erfüllen, parallel geschaltet werden!

Bedingungen für Parallelbetrieb

Transformatoren sind parallel geschaltet, wenn diese sowohl auf der OS- als auch auf der US-Seite mit gleichen Netzsystemen verbunden sind.

- Gleiche Nennspannungen OS- und US-seitig (d.h. auch gleiche Stellung des Anzapfschalters) oder die Abweichung des Übersetzungsverhältnisses soll kleiner als 0.5 % sein. Schon bei kleinen Abweichungen der Übersetzungsverhältnisse können die Ausgleichsströme zwischen den Transformatoren sehr gross werden
- Gleiche Schaltgruppen-Kennziffern (Ausnahmen möglich, siehe weiter unten)
- Annähernd gleiche Kurzschlussspannung (Abweichung möglichst kleiner als +/-10 %)
- Ähnliche Nennleistungen. Abweichungen nicht grösser als 3:1
- Gleiche Phasenfolge

Parallelbetrieb unterschiedliche Schaltgruppen-Kennziffer

Mögliche Anschlüsse bei Parallelbetrieb von Transformatoren mit Schaltgruppen der Kennziffern 5 und 11 (z.B. Dy5, Yd5, Yz5, Dy11, Yd11, Yz11):

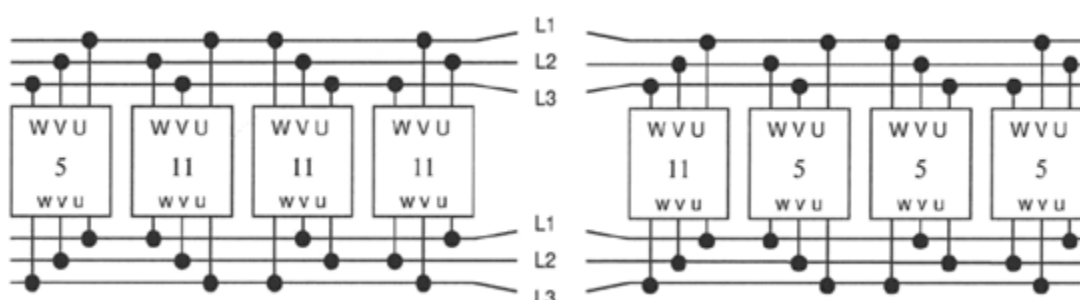
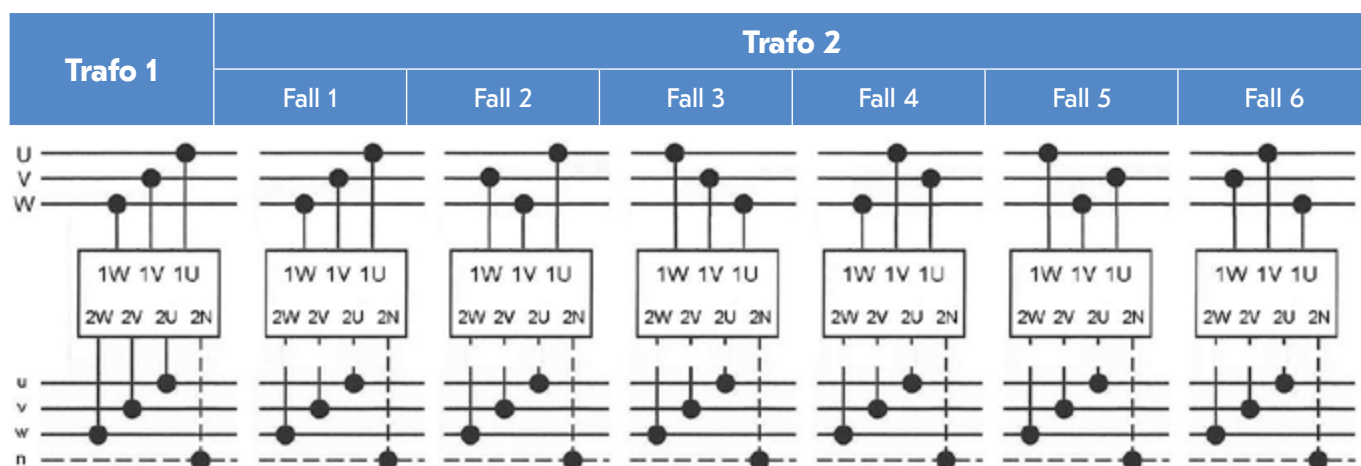


Abb. 33: Parallelbetrieb



Gemessene Spannungen zwischen US-Anschlüssen						
2U und u	0	230	230	460	400	400
2U und v	400	230	460	230	0	400
2U und w	400	460	230	230	400	0
2V und u	400	230	460	230	400	0
2V und v	0	460	230	230	400	400
2V und w	400	230	230	460	0	400
2W und u	400	460	230	230	0	400
2W und v	400	230	230	460	400	0
2W und w	0	230	460	230	400	400

Tab. 3: Absicherung

Lastaufteilung

Berechnungsformeln für 2 parallel geschaltete Transformatoren. Bei mehr als 2 Transformatoren sind die Formeln entsprechend anzupassen.

Transformator-Gesamtleistung $S_{tot} = S_1 + S_2$

Resultierende Kurzschlussspannung $u_k = \frac{S_{tot}}{\frac{S_1}{u_{k1}} + \frac{S_2}{u_{k2}}}$

Übernommene Last pro Trafo $S_1' = S_1 \frac{u_k}{u_{k1}} \quad S_2' = S_2 \frac{u_k}{u_{k2}}$

Weichen die Kurzschlussspannungen und/oder die Leistungsgrößen stark voneinander ab, weichen auch die übernommenen Lasten der parallel geschalteten Transformatoren voneinander ab.

Grundsätzlich werden Transformatoren mit kleinerer Kurzschlussspannung überlastet. Es ist also darauf zu achten, dass kein Transformator überlastet wird.

Wenn also Transformator 2 überlastet ist, darf der nicht überlastete Transformator 1 nur eine solche Teillast aufnehmen, dass seine Kurzschlussspannung derjenigen des überlasteten Transformators 2 entspricht.

Also $S_1' = S_1 \frac{u_{k2}}{u_{k1}} \quad S_2' = S_2 \frac{u_{k2}}{u_{k2}}$

S_{tot} wird dann kleiner als die Gesamt-Nennleistung beider Transformatoren.

6.5 Absicherung

Personal: Instruierte Person



HINWEIS! BESCHÄDIGUNGSGEFAHR

Zu hohe Absicherung kann zu Beschädigungen des Transformators (Überhitzung etc.) führen!

Allgemeines

Voraussetzung für die korrekte Absicherung von Transformatoren ist die Kenntnis folgender Daten:

- Transformator-Nennleistung
- zulässige Überlast
- Betriebsspannungen
- relative Kurzschlussspannung u_k
- Höhe des Einschaltstromes (Inrush)

Die meisten dieser Daten sind auf dem Transformatorschild ersichtlich.

Den Schutz der OS-Seite übernehmen Hochspannungs-Hochlast-Sicherungen (HH-Sicherungen), welche den Transformator-Nennstrom sowie dessen zulässige Überlast führen können.

Die Bemessungsspannung des HH-Sicherungseinsatzes muss höher oder gleich der maximalen Betriebsspannung des Transformators sein.

Häufig werden Transformatoren bis zu ihrem zweifachen Nennstrom belastet. In diesem Fall hat auch die Sicherung den doppelten Laststrom zu führen. Um den Sicherungseinsatz nicht einer zu hohen Eigenerwärmung auszusetzen, ist dieser höhere Strom als Basis für die Auswahl des Sicherungs-Bemessungsstromes zugrunde zu legen. Somit muss der Sicherungs-Bemessungsstrom etwa den doppelten Wert des Transformator-Nennstromes betragen. HH-Sicherungen schützen also nicht vor Überlast.

Der Einschaltstrom beträgt je nach Transformatortyp und -größe zwischen dem 6- und dem 20-Fachen seines Bemessungsstromes über eine Dauer von 100 ms. Die HH-Sicherung darf beim Einschalten des Transformators nicht ansprechen. Dies erfordert einen ausreichenden Abstand des Einschaltstromes zum Kennlinienwert der Sicherung bei 100 ms.

Über die relative Kurzschlussspannung u_k des Transformators ergibt sich bei Auftreten eines dreipoligen Kurzschlusses auf der US-Seite der auf der OS-Seite fließende Dauerkurzschlussstrom. Dieser muss innerhalb einer festgelegten Zeit vom HH-Sicherungseinsatz abgeschaltet werden, um einen Transformatordefekt zu vermeiden.

Auf der US-Seite werden Niederspannungs-Hochleistungs-Sicherungen (NH-Sicherungen) eingesetzt, die einen Schutz gegen Überlast bieten. Normalerweise werden NH-Sicherungen der Betriebsklassen gTr (Ganzbereichsicherungen für Transformatoren) und gG (Ganzbereichsicherung Standardtyp) verwendet.

Allgemein müssen die Sicherungen den Bemessungsstrom dauernd führen, ohne zu schmelzen. Die Auslösecharakteristik beschreibt z.B. in einem Zeit-Strom-Diagramm ein Toleranzfeld der Auslösezeit bei bestimmten auf den Nennstrom bezogenen relativen Überströmen. Verbal werden diese Kennwerte durch die Bezeichnung «flick» (F), «mittelträge» (MT) oder «träge» (T) ausgedrückt.

Eng mit der Auslösecharakteristik verbunden ist die Selektivität einer Sicherungs- bzw. Verteileranlage: Es muss vermieden werden, dass z.B. die Hauptsicherung bei Kurzschluss oder Überlast eher anspricht als die untergeordnete Sicherung im defekten Stromkreis. Daher müssen die Sicherungen hinsichtlich ihres Ansprechverhaltens aufeinander abgestimmt sein. Der Selektivitätsabstand zwischen 2 hintereinander geschalteten Sicherungen sollte 1:2 betragen, d.h., die vorgeschaltete Sicherung sollte den doppelten Nennwert der nachgeschalteten Sicherung haben.

Die im Handel erhältlichen Sicherungseinsätze sind nur für die einmalige Auslösung vorgesehen. Sie sollten nicht repariert oder «geflickt» werden. Die Sicherungen sollen zur Vermeidung von Bränden nicht überbrückt werden. Schmelzsicherungen sind für einmaligen Gebrauch ausgelegt. Sie sind zu ersetzen, nachdem eine Sicherung ausgelöst hat.

Absicherungsempfehlungen

Bemessungsspannung (kV)	100 kVA, $u_k = 4\%$	160 kVA, $u_k = 4\%$	250 kVA, $u_k = 4.2\%$
6 / 7.2	20 und 25 A	31.5 und 40 A	50 und 63 A
10 / 12	16 A	20 und 25 A	31.5 und 40 A
16	10 A	16 A	20 und 25 A
20 / 24	10 A	16 A	16 und 20 A
30 / 36	6.3 A	10 A	16 A
US 400 V	150 A	250 A	350 oder 400 A

Bemessungsspannung (kV)	400 kVA, $u_k = 4.4\%$	630 kVA, $u_k = 6\%$	1000 kVA, $u_k = 5\%$
6 / 7.2	80 und 100 A	125 und 160 A	160 und 200 A
10 / 12	50 und 63 A	80 und 100 A	125 und 160 A
16	31.5 A	50 und 63 A	80 A
20 / 24	25 A	40 und 50 A	63 A
30 / 36	20 A	31.5 A	40 und 50 A
US 400 V	600 A	1000 A	1500 A

Tab. 4: Absicherung

Um dem Wunsch nach einer kleinen Lagerhaltung zu entsprechen, können 2 oder mehr Sicherungsbemessungsströme empfohlen werden. Damit kann der gleiche Sicherungseinsatz für mehrere Transformatorgrößen verwendet werden.

Empfehlungstabellen berücksichtigen ebenso unterschiedliche Absicherungskonzepte auf der Niederspannungsebene, im Besonderen die Verwendung von Leitungsschutzsicherungen gG, Transformatorschutzsicherungen gTr oder Trennern ohne Sicherungen.

Stellung Stufenschalter

Ob die Spannung des Transformators mit der Spannung des speisenden Netzes übereinstimmt, kann dem Leistungsschild entnommen werden.

Der Stufenschalter wird im spannungslosen Zustand auf die gewünschte Spannungsstufe (1 bis 5) eingestellt. Nur bei umschaltbaren Transformatoren: den zweiten Schalter im spannungslosen Zustand auf die gewünschte Spannungsebene (I oder II) einstellen.

Kontrolle Kontaktthermometer

Die Einstellung des Kontaktthermometers (wenn vorhanden) überprüfen: Die 2 Kontakte sind für Gleich- und Wechselspannungen bis 250 V ausgelegt. Standardeinstellung: Alarm 85°C, Auslösung 95°C (oder gemäss Werkseinstellung).

Weitere Kontrollen

Die korrekte Funktion von weiteren optionalen Zubehörteilen wie z.B. Widerstandsthermometer, Niveauekontrolle, Buchholzschutz, Transformator-Vollschutz etc. ist zu überprüfen. Für diese Zubehörteile werden eigene Anleitungen mitgeliefert.

Einschalten des Transformators

Den Transformator auf der Primärseite mit dem speisenden Netz verbinden. Damit wird der Transformator im Leerlauf betrieben.

Kontrolle der Phasenlage

Die korrekte Phasenlage der Anschlüsse ist mit einem Drehfeldmessgerät zu überprüfen.

Fehlerbestimmung bei vertauschten OS-Anschlüssen

Sind die Anschlüsse auf der Primärseite irrtümlich vertauscht worden, kann mithilfe von Spannungsmessungen auf der Sekundärseite die korrekte Phasenlage ermittelt werden.

Richtiger Anschluss: Differenzspannungen wie Fall 1. Je nach Ergebnis der Messwerte kann der entsprechende Fall (Fall 2 bis 6) der irrtümlichen Schaltung festgestellt werden. Anschliessend sind die OS-Anschlüsse richtig zu stellen, sodass Parallellauf möglich wird.

Inbetriebnahme beenden

Den Transformator sekundärseitig mit dem Verbraucher-Netz verbinden.

7 Betrieb

7.1 Spannungsregulierung

Spannungsregulierung

Personal: Sachverständige Person

Falls sich während der Betriebszeit Veränderungen an der Oberspannung ergeben, ist zur Erhaltung der Unterspannung der Stufenschalter an der Oberspannungsseite umzustellen. Wir empfehlen mehrfaches Hin-und-her-Schalten des Schalters, um einen möglichst guten elektrischen Kontakt zu erhalten.



VORSICHT!

Der Stufenschalter darf nur im spannungslosen Zustand betätigt werden!

7.2 Überlastbarkeit

Allgemeines

Verteiltransformatoren, gemäss den Normen nach IEC und EN gebaut, sind für Dauerbetrieb mit Nennleistung bei einer mittleren Jahrestemperatur von 20 °C geeignet. Sie erreichen dann ihre «Normallebensdauer» von ca. 30 Jahren oder mehr.

Die Umgebungstemperatur T_A bleibt während eines Jahres aber nicht konstant. In den Sommermonaten wird bei $T_A > 20^\circ\text{C}$ «Lebensdauer verbraucht» und im Winter bei $T_A < 20^\circ\text{C}$ wird dies wieder «kompensiert».

In den Normen sind maximal zulässige Grenztemperaturen für die Wicklung wie auch für das Öl festgelegt:

- zulässige Grenztemperatur der Wicklung, bezogen auf eine Umgebungstemperatur von 40 °C:
 $T_{\text{max}} = 40^\circ\text{C} + 65\text{ K (Wicklungserwärmung)} = 105^\circ\text{C}$
- zulässige Grenztemperatur des Öls in der obersten Schicht: $T_{\text{max}} = 40^\circ\text{C} + 60\text{ K (Ölerwärmung)} = 100^\circ\text{C}$

Diese Grenztemperaturen sind weder für das Öl noch für die Wicklung dauernd zulässig, da sich diese Werte auf eine Umgebungstemperatur von 40 °C beziehen. Andernfalls ist eine erhebliche Lebensdauereinbusse in Kauf zu nehmen.

Zulässige Überlast ohne Lebensdauerverlust

In einem gewissen Ausmass dürfen elektrische Maschinen während einer bestimmten Zeit überlastet werden, wenn im Mittel die maximal zulässigen Temperaturen nicht überschritten werden.

Die zulässige Überlast ist hauptsächlich abhängig von der Umgebungstemperatur und von der Vorlast. Bei steigender Temperatur altert die vorwiegend aus Zellulose bestehende Isolation schneller. Gemäss dem Gesetz von Montsinger verdoppelt sich die Alterung jeweils bei einer Temperaturzunahme von 6 °C.

Bei Verteiltransformatoren liegt die oberste zulässige Überlast bei 150 %.

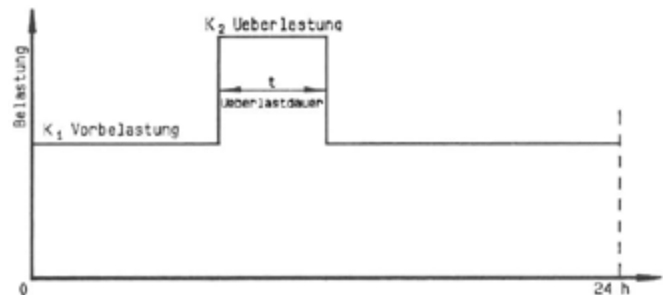


Abb. 37: Theoretisches Lastspiel

Abb. 37 zeigt das theoretische Lastspiel bei einem Transformator. Der Transformator ist anfänglich mit einer bestimmten Teillast K_1 belastet, und die Leistung wird während der Zeit t auf K_2 erhöht. Anschliessend wird er wieder mit K_1 belastet.

Relative Anfangsbelastung:
$$K_1 = \frac{S_1}{S_N}$$

Relative zulässige Überlastung:
$$K_2 = \frac{S_2}{S_N};$$

S_N = Nennleistung, t = Überlastdauer in Stunden

Beispiele

Die folgenden Abbildungen zeigen verschiedene Überlastungsmöglichkeiten für Umgebungstemperaturen von 10 bis 40 °C. Die Beispiele beziehen sich jeweils auf eine länger dauernde Vorlast von 50 %.

Umgebungstemperatur = 10 °C; Überlast K2 von 1.3 während 8 Stunden möglich; Dauerlast von 110 % möglich.

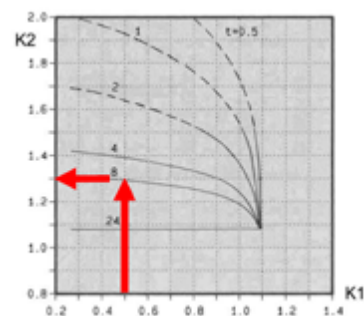


Abb. 38: Temperaturkurve 10 °C

Umgebungstemperatur = 20 °C; Überlast K2 von 1.3 während 4 Stunden möglich; Dauerlast von 100 % möglich.

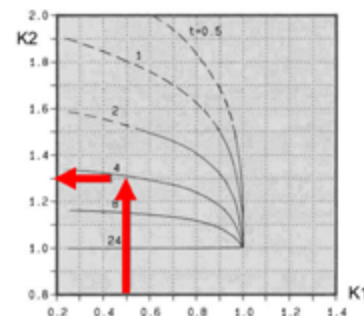


Abb. 39: Temperaturkurve 20 °C

Umgebungstemperatur = 30 °C; Überlast K2 von 1.3 während 3 Stunden möglich; Dauerlast von 90 % möglich.

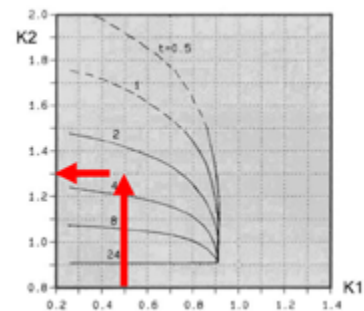


Abb. 40: Temperaturkurve 30 °C

Umgebungstemperatur = 40 °C; Überlast K2 von 1.3 während 2 Stunden möglich; Dauerlast von 80 % möglich.

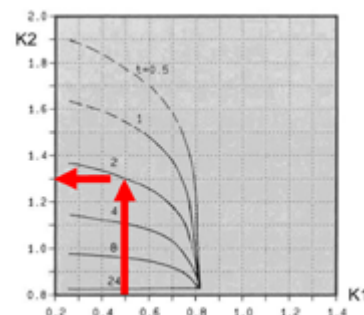


Abb. 41: Temperaturkurve 40 °C

7.3 Transformatorbelastung mit Oberwellen

Allgemeines

Obwohl die Hersteller die Verteiltransformatoren nach den geltenden Normen bauen, gab es in der Vergangenheit vermehrt Trafoausfälle in sogenannten Industrienetzen mit hohem Oberwellengehalt. Betroffen waren alle Trafohersteller. Die Vermutung liegt nahe, dass die geltenden Standards für Industrietransformatoren ungenügend sind.

Der Bau nach den geltenden IEC-, EN- und SN-Standards für Verteiltransformatoren garantiert bei Vorhandensein von Vakuum-Leistungsschaltern, Umrichtern etc., wie sie im modernen Industrieinsatz häufig anzutreffen sind, **keine genügende Betriebssicherheit.**

Quellen für die Entstehung und Verbreitung von hochfrequenten, hohen transienten Störspannungen sind:

- Vakuum-Leistungsschalter
- Stromrichter und frequenzgeregelte Antriebe
- Netzteile (Rechner, PCs, allgemein elektronische Geräte und Anlagen in grosser Zahl)

Zusätzlich haben aktuelle Kabeltypen eine geringere Dämpfung als alte Öl-Kabel.

Treten transiente Störspannungen dauernd und in grosser Zahl auf, tritt eine schnelle Alterung der Papierisolation und der Drahtlackierung ein, dies auf der OS- und der US-Seite des Transformators, was nach kurzer Betriebszeit zum Ausfall des Transformators führen kann.

Mögliche Massnahmen am Transformator bei Vorhandensein von Störspannungen

- **Schirmzylinder zwischen OS- und US-Wicklungen**
Der Schirm dämpft netzseitige Störspannungen im Frequenzbereich von 20 Hz bis 200 kHz um ca. 35 dB. Damit wird die Übertragung dieser Störspannungen auf die andere Wicklung ca. um den Faktor 55 reduziert (kapazitive Kopplung).
Die Leistungsübertragung (magnetische Kopplung) wird durch das Vorhandensein des Schirms kaum beeinflusst.
Der Schirm ist geerdet.
- **Verstärkung der Lagenisolation der OS-Wicklung um ca. 30 %**
Verstärkung der Windungs-/Lagenisolation der US-Wicklung um ca. 30 %
Die verstärkte Lagenisolation verbessert die Durchschlagsfestigkeit beim Vorhandensein von hohen Störspannungen.

- **Ausführung des Transformators mit einem BIL 1.2/50 us von 170 kV anstatt 125 kV**

Die Ausführung der OS-Wicklung mit BIL 170 kV entspricht der Isolationsfestigkeit in einem 30 kV-Netz (Nennspannung 25 kV bis 36 kV). Diese Massnahme ist nach unserer Ansicht nicht notwendig und wird deshalb nicht empfohlen.

- **Einsatz von Überspannungsableitern**

Der Überspannungsableiter dient zum Begrenzen hoher Überspannungen.

7.4 Störungen

Unsachgemäss ausgeführte Arbeiten zur Störungsbeseitigung



WARNUNG! VERLETZUNGSGEFAHR DURCH UNSACHGEMASSE STÖRUNGSBESEITIGUNG

Unsachgemäss ausgeführte Arbeiten zur Störungsbeseitigung können zu schweren Verletzungen und erheblichen Sachschäden führen.

- Vor Beginn der Arbeiten für ausreichende Montagefreiheit sorgen.
- Auf Ordnung und Sauberkeit am Montageplatz achten! Lose aufeinander- oder umherliegende Bauteile und Werkzeuge sind Unfallquellen.
- Wenn Bauteile entfernt wurden, auf richtige Montage achten, alle Befestigungselemente wieder einbauen und Schrauben-Anziehdrehmomente einhalten.
- Arbeiten zur Störungsbeseitigung nur von Elektrofachkräften ausführen lassen.

Verhalten bei Störungen

Wird der Transformator während des Betriebs ausserordentlichen Umständen wie Kurzschlüssen, Überspannungen, lang anhaltender Überlast etc. ausgesetzt, empfehlen wir eine Wartung gemäss Kapitel 8: Instandhaltung auf Seite 57.

Wird der Transformator durch eine Schutzschaltung ausgeschaltet, sollte nicht versucht werden, ihn wieder einzuschalten, bevor die Ursache für das Ausschalten geklärt ist.

Empfehlungen bei verschiedenen Betriebsbedingungen

Betriebsbedingung	Massnahmen
Transformatoren im normalen Verteilnetz (zum normalen Verteilnetz gehören auch Netze mit Industriebetrieben, wo keine oder nur wenige frequenzgeregelte Antriebe oder Umrichter im Einsatz stehen)	Bau nach den geltenden Normen (EN 60076), diese genügen den Anforderungen
Industrietransformator bei mehrheitlicher Belastung mit Oberwellen US-seitig (Umrichterbetrieb, frequenzgeregelte Antriebe, IGBT)	Bau nach den geltenden Normen (EN 60076) mit zusätzlichen Massnahmen: <ul style="list-style-type: none"> • geerdeter Schirm zwischen US- und OS-Wicklung • verstärkte US-Windungs-/Lagenisolation • Begrenzung der Induktion auf max. 1.6 Tesla zur Vermeidung der Kernsättigung
Oberwellen auf der OS-Seite (Vakuum-Leistungsschalter, Kabeltypen mit wenig Dämpfung)	Bau nach den geltenden Normen (EN 60076) mit zusätzlichen Massnahmen: <ul style="list-style-type: none"> • geerdeter Schirm zwischen US- und OS-Wicklung • verstärkte OS-Lagenisolation • Ausführung der innersten OS-Wickellage mit einem minimalen Drahtdurchmesser von 2 mm • Zusätzliche Isolation der ersten und letzten Windung der innersten OS-Wickellage • Einsatz von Überspannungsableitern
Oberwellen auf der OS-Seite (Vakuum-Leistungsschalter, Kabeltypen mit wenig Dämpfung)	Bau nach den geltenden Normen (EN 60076) mit zusätzlichen reduzierten Massnahmen: <ul style="list-style-type: none"> • verstärkte OS-Lagenisolation • Einsatz von Überspannungsableitern Die reduzierten Massnahmen werden von R & S NICHT empfohlen!
Erwartete Grenzwerte der Oberwellen von: THDi > 5 % oder THDu > 7 %	Zelle ergänzen mit dem Inhalt: Bau nach den geltenden Normen (EN 60076) mit zusätzlichen Massnahmen: <ul style="list-style-type: none"> • geerdeter Schirm zwischen US- und OS-Wicklung • verstärkte OS-Lagenisolation

Je nach Massnahme und Leistungsgrösse beträgt der Mehrpreis zu einem gewöhnlichen Netztransformator ca. 5 bis 10 %.

Das Ziel dieser Empfehlung ist eine Vorbeugemassnahme zur Vermeidung von Trafoausfällen und damit zum Vorteil des Kunden.

Empfehlungen bei verschiedenen Betriebsbedingungen

Vergleichsmessung (Frequenzgangmessungen) der kapazitiven Kopplung an 2 baugleichen Transformatoren 630 kVA (mit und ohne Schirm zwischen der US- und OS-Wicklung)

Die Messungen wurden von der Fachkommission für Hochspannungsfragen (FKH) durchgeführt.

Prüfresultat:

FKH A14/062 Vergleich Frequenzgang-Messungen (FRA) an zwei 630-kVA-Transformatoren mit und ohne Abschirmung im R&S-Werk in Sissach

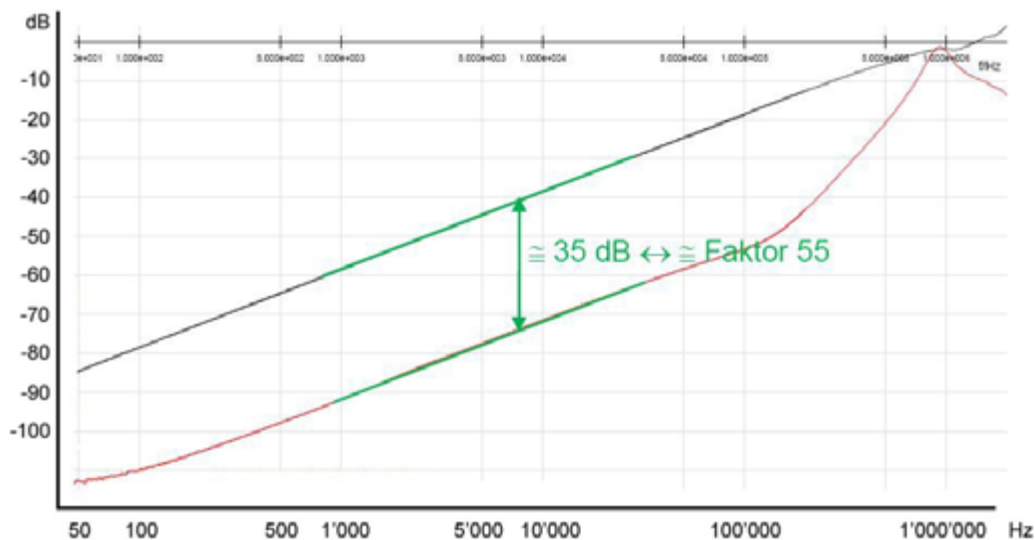


Diagramm 1

Messungen 1 und 6

rot: Transformator mit Abschirmung

schwarz: Transformator ohne Abschirmung

8 Instandhaltung

Elektrischer Strom



GEFAHR! LEBENSGEFAHR DURCH ELEKTRISCHEN STROM

Bei beschädigten Isolationen und Bauteilen besteht Lebensgefahr durch Funkenüberschlag und elektrischen Schlag.

- Arbeiten an der elektrischen Anlage nur von Elektrofachkräften ausführen lassen
- Vor Beginn der Arbeiten an aktiven Teilen elektrischer Anlagen und Betriebsmittel den spannungsfreien Zustand herstellen und für die Dauer der Arbeiten sicherstellen. Dabei die 5 Sicherheitsregeln beachten:
 - freischalten und allseitig trennen
 - gegen Wiedereinschalten sichern
 - auf Spannungslosigkeit prüfen
 - erden und kurzschliessen
 - gegen benachbarte, unter Spannung stehende Teile schützen

Unsachgemässe Wartung



WARNUNG! VERLETZUNGSGEFAHR DURCH UNSACHGEMÄSS AUSGEFÜHRTE WARTUNGSARBEITEN

Unsachgemässe Wartung kann zu schweren Verletzungen und erheblichen Sachschäden führen.

- Wartungsarbeiten nur von qualifiziertem Personal ausführen lassen.
- Wenn Bauteile entfernt wurden, auf richtige Montage achten, alle Befestigungselemente wieder einbauen und Schrauben-Anziehdrehmomente einhalten.

Die Festlegungen des Betreibers hinsichtlich Instandhaltung von Betriebsmitteln sind zu beachten.

8.1 Wartungsplan

Inspektion/Sichtkontrolle

Personal: Sachverständige Person

Wir empfehlen eine Inspektion des Transformators alle 12 Monate. Diese soll folgende Punkte umfassen:

- Kontrolle des Ölstandes
- Kontrolle der Öltemperatur anhand des Schleppzeigerwertes des Thermometers (max. 100 °C oder gemäss Angabe am Transformator)
- Belastung des Transformators (Strom und Spannung)
- Zustand der Durchführungen und der Anschlüsse
- Kontrolle des Kessels auf Dichtigkeit (Ölspuren), Deformation und Rostschäden
- Ungewöhnliches Transformatorgeräusch
- Raumtemperatur (max. 40 °C)

Der Transformator ist vom Netz zu nehmen, wenn bei der Inspektion/Wartung Beschädigungen oder abweichende Werte (z. B. ungewöhnliches Transformatorgeräusch, Überhitzung etc.) festgestellt werden, die einen sicheren Betrieb verunmöglichen.

Wartung/Funktionskontrolle

Personal: Sachverständige Person

Wir empfehlen eine Wartung/Funktionskontrolle des Transformators alle 5 Jahre. Diese soll folgende Punkte umfassen:

- Funktionskontrolle von Schaltern und Trennern
- Schraubenkontrollen an den Durchführungen
- Erdungsmessungen
- Kontrolle des Stufenschalters (mehrfaches Hin-und-her-Schalten)
- Reinigung von verschmutzten Teilen
- Funktionskontrolle von ggf. vorhandenen Schutzgeräten

Isolierölkontrolle

Personal: Sachverständige Person

Wir empfehlen eine Isolierölkontrolle an freiatmenden Transformatoren das erste Mal nach 12 Jahren, danach wird alle 5 Jahre eine Kontrolle empfohlen. Dazu wird eine Ölprobe entnommen.

An hermetisch geschlossenen Transformatoren wird die Isolierölkontrolle nur durchgeführt, wenn ein Schaden im Aktivteil vermutet wird. Unter normalen Betriebsbedingungen ist diese Kontrolle bei diesen Transformatoren nicht notwendig. Eine Ölprobenentnahme kann unter bestimmten Umständen (z. B. bei niedriger Öltemperatur) zu einem Druckverlust im Kessel führen.

Für die Ölprobenentnahme ist das Kapitel 8.2: Ölprobenentnahme in diesem Handbuch zu befolgen.

Revision des Transformators

Personal: Sachverständige Person

Ergeben sich aus den Wartungs-, Funktions- oder Ölkontrollen schwerwiegende Mängel, sollte eine Revision des Transformators durchgeführt werden. Revisionen sind nur im Herstellerwerk oder in entsprechend ausgerüsteten Werkstätten möglich.

8.2 Ölprobenentnahme

Hinweise

Personal: Sachverständige Person

Der Transformator muss spannungslos sein Ölauffang-Gefäss unterstellen (Umweltverschmutzung). Im Freien darauf achten, dass die Probenentnahme bei trockener Witterung durchgeführt wird. Verschmutztes Einweg-Material (Spritzen etc.), muss fachgerecht entsorgt werden.

WICHTIG: Ölprobengefäss ganz mit Öl füllen und möglichst rasch nach der Ölprobenentnahme zur Analyse einsenden (verhindert ungewollte Feuchtigkeitsaufnahme).

Ölprobengefäss

R & S stellt die entsprechenden Gefässe zur Verfügung, welche absolut rein, trocken und gut verschlossen sind. Wenn eigene Gefässe verwendet werden, muss wegen ihrer Beschaffenheit und Handhabung bei R & S nachgefragt werden. Inhalt: Für den Standardtest wird 1.0l und für den Chlorschnelltest 50 ml Öl benötigt. Das Gefäss sollte folgende Angaben (Klebeetikette) enthalten: Name

des Betreibers (Kunde), Standort des Objektes, Hersteller, Objekt-Nr. (S-Nr.), Baujahr, Datum der Ölprobenentnahme, Entnahmestelle am Transformator und Öltemperatur bei Entnahme.

Mitgeliefertes Material:

- Glasflasche 1000 ml mit Kunststoffdeckel
- Einwegspritze 100 ml
- Verlängerungsschlauch 20 cm
- Verbindungsstück
- Klebeetikette

Ölprobenentnahme am Deckel mit Absaugspritze

Für Hermetik-Transformatoren und Transformatoren mit Expansionsgefäss nicht geeignet.

- Verlängerungsschlauch auf die Einwegspritze aufstecken und am Ende des Verlängerungsschlauches das Verbindungsstück aufstecken
- Entlüfterdeckel am Transformator entfernen
- Schlauch ins Öl eintauchen, senkrecht halten und Spritze langsam füllen, um eine Bildung von Luftblasen zu vermeiden. Spritze weiterhin immer senkrecht halten
- Öl langsam in ein sauberes und trockenes Ölprobengefäss einfüllen. Darauf achten, dass dabei das Schlauchende immer in Öl eingetaucht ist und nicht unnötig Luft in das Öl gelangt
- Vorgang mehrmals wiederholen, bis das Ölprobengefäss komplett gefüllt ist
- Ölprobengefäss gut verschliessen
- Entlüfterdeckel am Transformator korrekt verschliessen

Ölprobenentnahme an der Ölablassvorrichtung

Für Hermetik-Transformatoren nur bedingt geeignet. Der Transformator muss Überdruck haben.

- Ölauffang-Gefäss unterstellen, Kappe an Ölablassvorrichtung entfernen und die innere Verschluss-Schraube lösen
- Eine genügende Menge Öl von 0.5 bis 2l in ein Gefäss (dies richtet sich nach der Grösse des Transformators) ablassen, um eventuell vorhandene Verschmutzungen am Ausfluss zu beseitigen. Dieses Öl ist fachgerecht zu entsorgen
- In ein sauberes und trockenes Ölprobengefäss 1l bzw. 50 ml ablassen
- Ölprobengefäss gut verschliessen
- Ölablassvorrichtung korrekt schliessen

9 Entsorgung

Nachdem das Gebrauchsende des Geräts erreicht ist, muss der Transformator demontiert und einer umweltgerechten Entsorgung gemäss den geltenden gesetzlichen Vorgaben zugeführt werden.

Entsorgung



**HINWEIS!
GEFAHR FÜR DIE UMWELT
DURCH FALSCHES
ENTSORGUNG!**

Durch falsche Entsorgung können Gefahren für die Umwelt entstehen.

- Transformatoren können nach Gebrauchsende an den Hersteller zur fachgerechten Entsorgung zurückgegeben werden.
- Im Zweifel Auskunft zur umweltgerechten Entsorgung bei der örtlichen Kommunalbehörde oder speziellen Entsorgungsfachbetrieben einholen.

Firmen der R&S Group

Switzerland

R & S International Holding AG
Reuslistrasse 32
4450 Sissach
+41 61 976 34 66
info@the-rsgroup.com

Switzerland

Rauscher & Stoecklin AG
Reuslistrasse 32
4450 Sissach
+41 61 976 34 66
info@raustoc.ch

Italy

Tesar S.r.l.
Loc. Chiaveretto 37/B
52010 Subbiano Arezzo
+39 0575 3171
info@tesar.eu

Poland

ZREW Transformatory S.A.
ul. Rokicińska 144
92-412 Łódź
+48 42 671 86 00
transformatory@zrew-tr.pl

Poland

Tesar Polska Sp. z o.o.
ul. Skarbowa 34
32-005 Niepołomice
+48 12 312 90 41
info@tesarpolska.pl

UAE

Tesar FZE
Dubai Airport Free Zone
Office 118, Building 5E, Block A
+971 4 2045305/06
tesarfze@tesar.eu

UAE

Tesar Gulf
P.O. Box #13898
Al Ain
+971 3 7847900
tesarfze@tesar.eu

Argentina

Tadeo Czerweny Tesar S.A.
Av. República 328 (S2252BQQ)
Gálvez, Santa Fe
+54 3404 48 7200
info@tesar.eu



the-rsgroup.com


**Rauscher
Stoecklin**
A company of R&S