



Feuchtigkeitstoleranz

OKTOBER 2025 Seite 1 von 2

Feuchtigkeitstoleranz

IsoTec SE 300 verfügt über eine sehr hohe Feuchtigkeitstoleranz und kann daher deutlich mehr Wasser aufnehmen, ohne dass seine dielektrischen Eigenschaften beeinträchtigt werden – weit mehr als Mineralöl oder Silikonflüssigkeit. Zudem kann IsoTec SE 300 das Wasser binden und dadurch den Alterungsprozess der Zellulose verlangsamen. Bei Mineralöl besteht hingegen das Risiko, dass das enthaltene Wasser als Kondenswasser freigesetzt wird.

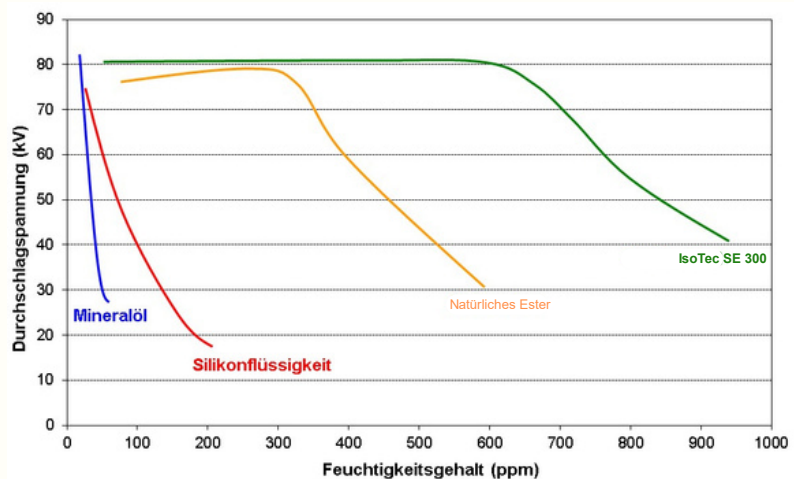
Bedeutung der Feuchtigkeitstoleranz bei Transformatoren:

Durchschlagfestigkeit - nimmt mit steigendem Feuchtigkeitsgehalt ab
Geschwindigkeit der Papieralterung - steigt mit zunehmender Feuchtigkeit
Blasenbildung bei Überlastungen - Blasen entstehen bei niedrigeren Temperaturen und wenn die Feuchtigkeit des Papiers steigt
Kondensation beim Abkühlen - Gefahr des Freisetzung der freiem Wasser aus Mineralöl

Durchschlagfestigkeit

Abb. 1 zeigt die Durchschlagspannung bei Raumtemperatur von IsoTec SE 300, natürlichem Ester, Mineralöl und Silikonflüssigkeit in Abhängigkeit vom Feuchtigkeitsgehalt. Die Abbildung verdeutlicht, dass bereits geringe Wassermengen in Mineralöl und Silikonflüssigkeit die Durchschlagspannung schnell reduzieren. IsoTec SE 300 weist hingegen eine hohe Feuchtigkeitstoleranz auf: Selbst bei über 600 ppm Feuchtigkeit bleibt die Durchschlagspannung über 75 kV stabil.

Abb. 1 - Durchschlagspannung und Feuchtigkeitsgehalt bei 20°C (IEC 60156 – 2,5 mm)



Papieralterung

Die Alterung von Papier ist in direkter Verbindung mit dem Wassergehalt. Verschiedene Studien zeigen, dass die Lebensdauer von Zellulose für jedes zusätzliche Prozent Wassergehalt um das bis zu Zehnfache reduziert werden kann. Mit fortschreitender Alterung setzt die Zellulose Wasser frei, was den Alterungsprozess weiter beschleunigt. Daher ist es entscheidend, die Zellulose möglichst trocken zu halten.

IsoTec SE 300 kann mehr Feuchtigkeit aufnehmen als Mineralöl. Dadurch wird die Wassermenge im Papier reduziert, was wiederum die Alterungsrate verringert

Anhand von Feuchtegleichgewichtskurven lässt sich zeigen, dass bei 60 °C ein Wasseranteil in IsoTec SE 300 einem Wasseranteil in der Zellulose von 1,1 % entspricht. Mineralöl mit einem Wassergehalt von 20 ppm würde unter denselben Bedingungen zu einem Wasseranteil in der Zellulose von 2,6 % führen.

Die zusätzlichen 1,5 % Feuchtigkeit verkürzen die Lebensdauer der Zellulose auf mindestens ein Zehntel der normalerweise zu erwartenden Lebensdauer.

Blasenbildung bei Überlastung

Blasen in dielektrischen Flüssigkeiten sind elektrisch schwach und daher unerwünscht. Laut IEC 60076-14 hängt die Temperatur, bei der Blasen entstehen, direkt vom Feuchtigkeitsgehalt der Zellulose ab.

Während Überlastphasen steigt die Temperatur der mit Papier umwickelten Leiter, wodurch die Gefahr kritischer Temperaturen zur Blasenbildung zunimmt. Bei einem Wassergehalt im Papier von 2,6 % entstehen Blasen bei 130 °C, während sich bei einem Wassergehalt von 1,1 % Blasen erst bei 165 °C bilden. Da IsoTec SE 300 das Papier trockener hält, ist die Sicherheitsspanne bei Überlastungen größer.

Feuchtigkeitstoleranz

OKTOBER 2025 Seite 2 von 2

Kondensation während des Abkühlens

Bei Mineralöl kann beim Abkühlen des Transformators von Betriebs- auf Umgebungstemperatur Wasser freigesetzt werden. Dies liegt daran, dass Mineralöl eine niedrige Feuchtigkeitssättigungsgrenze hat, die mit sinkender Temperatur weiter abnimmt. IsoTec SE 300 weist eine deutlich höhere Sättigungsgrenze auf und erreicht den Sättigungspunkt daher erst unter deutlich anspruchsvolleren Bedingungen.

Beispiel: Läuft ein mit Mineralöl gefüllter Transformator bei einem Papier-Wasser-Anteil von 1,5 % und einer Betriebstemperatur von 90 °C, würde der Wassergehalt des Mineralöls 65 ppm betragen. Nach Abschaltung des Transformators tendiert das Wasser dazu, im Mineralöl zu verbleiben. Bei 20 °C liegt die Sättigungsgrenze von Mineralöl jedoch bei 55 ppm. Das Mineralöl wäre somit zu 118 % gesättigt und würde freies Wasser in den Transformator abgeben. Gleichzeitig wäre die Durchschlagsspannung des Mineralöls sehr niedrig, wodurch die Ausfallgefahr beim Neustart deutlich steigt.

Unter denselben Bedingungen würde IsoTec SE 300 bei 90 °C einen Wassergehalt von etwa 700 ppm aufweisen. Die Sättigungsgrenze von IsoTec SE 300 bei 20 °C liegt bei 2700 ppm. Selbst wenn das gesamte Wasser im IsoTec SE 300 verbleiben würde, wäre die Flüssigkeit nur zu 26 % gesättigt. Es entstünde also kein freies Wasser, und die Durchschlagsspannung bliebe weiterhin sehr hoch.

Tabelle 1 - Normen für den Feuchtigkeitsgehalt

Norm	Feuchtigkeitsgehalt
IEC 61099 – neue Ester	max. 200ppm
IEC 61203 – in Gebrauch befindliche Ester	max. 400ppm
IEC 60296 – neue Mineralöle	max. 30ppm
IEC 60422 – in Gebrauch befindliche Mineralöle*	max. 30ppm

Hinweis: Der typische Wert für das neue IsoTec SE 300 beträgt 50 ppm

* Anlage bei >72,5 kV bzw. <170 kV

Test zum Feuchtigkeitsgehalt

Die Normen für den Feuchtigkeitsgehalt neuer und im Einsatz befindlicher Flüssigkeiten sind in Tabelle 1 aufgeführt. IsoTec SE 300 wird nach sehr hohen Standards hergestellt und weist einen typischen Feuchtigkeitsgehalt von 50 ppm auf.

IsoTec SE 300 bleibt bis zu 400 ppm weiterhin innerhalb des Spezifikationsbereichs. Im Gegensatz dazu liegt Mineralöl bei etwas über 300 ppm bereits außerhalb des Spezifikationsbereichs. Dies wirkt sich unmittelbar auf die Auswertung des Feuchtigkeitsgehalts aus. Bei Transformatoren mit einer Feuchtigkeitsüberwachungsanlage sollten die Toleranzeinstellungen entsprechend angepasst werden.

Entfernung von Feuchtigkeit

Sollte der Feuchtigkeitsgehalt den für den Betrieb empfohlenen Höchstwert überschreiten, können die gleichen Verfahren und Geräte, die zur Entfeuchtung von Mineralöl eingesetzt werden, auch für IsoTec SE 300 verwendet werden. Beispiele hierfür sind Molekularsiebe und Vakuumfilter.

Weitere Informationen zu den Vorteilen von IsoTec SE 300 hinsichtlich Feuchtigkeitstoleranz und Verlängerung der Anlagenlebensdauer erhalten Sie vom technischen Team unter info@isotec.bio