



Bildquelle: ZVEI / Carmen Hauser, adobe stock

Transformatoren: Innovationen für die Umwelt

Natürliche Ester – eine Alternative zu Mineralölen

Im Transformatorenbau unterscheidet man zwei Prinzipien der Isolierung. Zum einen den flüssigkeitsisolierten Transformator und zum anderen den Trockentransformator. Bei Trockentransformatoren sind die Wicklungen überwiegend in Gießharz als Isoliermedium eingebettet. Trockentransformatoren werden hauptsächlich bis zu Baugrößen von 5 MVA und 36 kV für spezielle Anwendungen eingesetzt, bei denen es in erster Linie um den Ausschluss von Brandgefährdung geht. In diesem Papier widmen wir uns ausschließlich den flüssigkeitsisolierten Transformatoren.

Traditionell werden in der Energiewirtschaft als Dielektrikum hauptsächlich Mineralöle in Transformatoren eingesetzt, da diese weltweit verfügbar, kostengünstig und dielektrisch als Kühlmittel gut geeignet sind. Die Energiewirtschaft ist zurzeit im Wandel und dieser macht auch vor den elektrischen Betriebsmitteln und den dabei eingesetzten Materialien nicht halt.

- Immer mehr Unternehmen suchen einen nachhaltigen Ersatz für auf Mineralöl basierende Technologien und der Einsatz von biogenen Rohstoffen wird in sehr vielen Produkten vorgezogen. Biogene Isolieröle sind umweltschonend sowie nachhaltig und minimieren etwaigen Schaden beim Kontakt mit Wasser oder Erdreich. Bereits seit mehr als 20 Jahren sind natürliche Ester im Einsatz als Transformatoren-Dielektrikum und Kühlmittel, die aus natürlichen Rohstoffen (z. B. Sojabohnen oder Raps) hergestellt werden und somit dauerhaft auch nachhaltig vorhanden sind.
- Als weitere Alternative zum Mineralöl stehen neben den natürlichen Estern auch synthetische Ester (basierend auf Mineralölen) mit den praktisch identischen dielektrischen Parametern zur Verfügung. Synthetische Ester sind zum Beispiel seit Jahrzehnten in Traktionstransformatoren für Elektrolokomotiven in Europa im Einsatz. Ihr Vorteil gegenüber den natürlichen Estern ist die hohe Oxidationsstabilität.

In diesem Papier liegt der Fokus aufgrund der Nachhaltigkeit auf den natürlichen Estern.

Für Ölverteiltransformatoren und Transformatoren bis zu einem Spannungsbereich von 110 kV sind die elektrischen Auslegungskriterien der Transformatoren, ob für Ester- oder Mineralölfüllung, sehr ähnlich. Deswegen war die Einführung von Estern in diesem Anwendungsbereich unproblematisch und es liegen schon jahrelange Betriebserfahrungen vor.

Bei den höheren Spannungsebenen ab 220 kV aufwärts ist dies aber noch nicht der Fall. Da Ester in diesen hohen Spannungsbereichen andere Entladungseffekte als Mineralöle aufweisen, führt dies zu geänderten Auslegungskriterien für die Spannungsfestigkeit der Wicklungen und weiterer im Transformator verbauter Teile (z. B. Durchführungen und Stufenschalter). In diesem Bereich werden bei einzelnen laufenden Projekten Betriebserfahrungen gesammelt.

Der Einsatz von auf Ester basierenden Isolierflüssigkeiten als Alternative zu Mineralöl in Transformatoren bietet in Bezug auf die ökologische Betrachtung folgende Vorteile:

- 1.) Die Transformatoren können höher belastet und in definierten Zeiträumen auch höher überlastet werden. Dies bedeutet, dass bei gleicher Baugröße eine größere Leistungsübertragung und somit ein geringerer Ressourceneinsatz für die Herstellung des Transformators möglich ist. Eventuelle Überlastszenarien müssen mit den Betreibern bei der Erstellung der technischen Spezifikation im Detail diskutiert werden.
- 2.) Durch das höhere Feuchtigkeitsaufnahmevermögen von auf Ester basierenden Isolationsflüssigkeiten in Vergleich zu Mineralölen wird die Alterung des gesamten Isolationssystems im Transformator verlangsamt. Im Resultat ergibt sich eine höhere Lebensdauer bei gleicher Betriebsweise, was einen geringeren Ressourcenverbrauch bedeutet.

Kontakt:

Sven Borghardt
Bereich Energie
Telefon: +30 306960-22
E-Mail: borghardt@zvei.org
Oktober 2019

- 3.) Der Brennpunkt von auf Ester basierenden Isolierflüssigkeiten ist wesentlich höher als der Brennpunkt von Mineralölen; damit wird der Brandschutz von Transformatoren wesentlich verbessert, was einen positiven Effekt auf Sicherheit und Umwelt hat.

Bei der Konzeption von Neuanlagen können die notwendigen Brandschutzmaßnahmen mit weniger Aufwand realisiert werden. Beispielsweise kann durch die Einsparung von normalerweise benötigten Brandschutzmauern die Anlage verkleinert und der Landschaftsverbrauch reduziert werden.

- 4.) Ester werden im Zusammenhang mit der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV), Neufassung vom 18. April 2017, BGBl. I Nr. 22 vom 21. April 2017, in der neuen Klasse als allgemein wassergefährdend (aWg) eingestuft, weil sie leichter als Wasser sind und daher als „Fettkügelchen“ aufschwimmen. Allerdings sind Ester biologisch leicht abbaubar, was auch für die Wiederaufbereitung von verunreinigtem Erdreich vorteilhaft ist.

Im Falle eines Transformatorschadens mit verbundenem Auslaufen der Isolierflüssigkeit sind die Auswirkungen auf die Umwelt im Vergleich zum Mineralöl geringer.

Die oben beschriebenen Punkte machen den Einsatz von Transformatoren mit Estern im Gegensatz zu Mineralölen als Isoliermedium für folgende Anwendungsbeispiele besonders sinnvoll:

- Transformatoren in Ballungszentren/Großstädten/ Datenzentren
- Transformatoren unter Tage
- Transformatoren in der Nähe von Naturschutzgebieten
- Transformatoren für Offshore-Anwendungen auf Plattformen der Öl-/Gas-Gewinnung und Windindustrie

Transformatoren mit natürlichen Estern als Isoliermedium erfüllen damit sehr gut die Kriterien von Nachhaltigkeit, biologischer Abbaubarkeit und Erneuerbarkeit, da es sich um eine nicht endliche Ressource handelt. Damit passt die Verwendung von Estern sehr gut in die Grundkonzeption der EU-Ökodesignrichtlinie.

Zur Indikation der Umweltverträglichkeit von Isolationsflüssigkeiten wie in diesem Fall wird deren Grad des biologischen Abbaus gemessen. Der OECD-Test B zeigt den Grad des biologischen Abbaus in wässriger Umgebung nach 42 Tagen. Für synthetische Ester ergeben sich dabei Werte zwischen 72 % und 84 %, Silikonöle weisen Werte kleiner gleich 5 % aus wogegen Mineralöle im Segment kleiner 30 % und natürliche Ester im Bereich größer 80% gewertet werden. Aufgrund der noch geringen Verbreitung der Ester im Leistungstransformatorenbereich ist bisher die Beschaffung mit einem erhöhten Kostenaufwand verbunden.

Mit einer wachsenden Anzahl von Referenzen und Betriebserfahrungen ist in Zukunft jedoch mit einer wettbewerbsfähigeren Situation zu rechnen.

Wenn in speziellen Anwendungsfällen schon jetzt die gesamten Vorteile in die Evaluierung des Transformators und die umgebende Anlage miteinfließen, kann eventuell der Kostenvorteil schon heute nachgewiesen werden. Zudem ist nicht mit einem Engpass von natürlichen Estern aufgrund der ausreichenden Verfügbarkeit zu rechnen.

Grundsätzlich sind Ester als Alternative zu Mineralölen auch mit amorphen Kernen kombinierbar, die im ZVEI-Papier „Amorphe Kerne – eine Alternative mit niedrigeren Leerlaufverlusten“ vorgestellt werden.

Quellen / Literaturverzeichnis:

- New Impacts on ecological Transformer design (Ernst Pagger et. al.)
- Transformatorentechnologie für die Energiewende (Ernst Pagger, Mark-André Thelen)
- Die Verwendung von Sojabohnenöl in der Hochspannungstechnik (Ernst Pagger, Sabine Bowers)
- Einsatz natürliche Ester in Leistungstransformatoren – Betriebserfahrungen und Stand der Technik (Michael Schäfer et. al.)
- R. Frotscher: Tap-changer know-how: Insulating Liquids, Part I & II, Transformers Magazine Vol. 3, Issue 2 & 3, 2016
- Tamini's experience in manufacturing and design of large power transformers insulated with natural ester oil (Dario Rogora)
- <https://www.netze-bw.de/News/Netze-BW-Feldtest-zu-mehr-Einsatz-Biooel-Trafos>
- <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/references/ester-filled-power-transformer.html>
- <http://www.abb.com/cawp/seitp202/d10a66a81386ee8dc12580cf00323360.aspx>