

Warum der Einsatz von Pflanzenölen in der Hochspannungstechnik ökologisch und ökonomisch sinnvoll ist

Ernst Pagger¹, Sabine Bowers²

¹EPP Consulting GmbH, Heiligenstädter Lände 29 2.OG, 1190 Wien, +436602367283,
office@epp-consulting.at, www.epp-consulting.at

²Cargill Deutschland GmbH, Cerestarstrasse 2, 47809 Krefeld, +4915222609155,
Sabine.Bowers@cargill.com, www.envirottempfluids.com

Kurzfassung: Getrieben von der Diskussion sich von den fossilen Rohstoffen zu verabschieden, beschäftigen sich immer mehr Firmen mit der Produktion und dem Einsatz von Pflanzenölen in der Hochspannungstechnik. Bereits in den frühen 1990er Jahren brachte Cargill - vormals Cooper - die erste Isolierflüssigkeit auf Basis Sojabohnenöl auf den Markt. Zwischenzeitlich gibt es mehrere Anbieter mit den unterschiedlichsten Pflanzenölen. Ihre Eigenschaften wie biologisch abbaubar, hoher Flamm- und Brennpunkt, sehr papierfreundlich, geringer CO₂ Footprint, sowie stammend aus natürlichen Rohstoffen, bringen sie bezüglich der Ökologie in eine hervorragende Position. Diese Eigenschaften schlagen auch in der Ökonomie durch. Der Abstand zu anderen Geräten und zu angrenzenden Gebäude dürfen reduziert werden. Bedingt durch die gute thermische Belastbarkeit der Pflanzenöle, können die Geräte kleiner gebaut werden, was mit einer Reduzierung des Materialeinsatzes verbunden ist.

Keywords: Natürlicher Ester, biologisch abbaubar, Transformator, Flamm- und Brennpunkt

1 Historische Entwicklung

Von den 1930er bis in die 1970er Jahre wurden schwer entflammbare PCB-haltige Isolierflüssigkeiten eingesetzt, um die Brandlast von Geräten der Hochspannungstechnik zu minimieren. Der Einsatz dieser Flüssigkeiten in Transformatoren wurde aber weltweit verboten, nachdem ihre Toxizität für die Umwelt und die hohe Krebslast in den späten 70ern erkannt wurde.

Seit Beginn der 1980er Jahre sind synthetische Ester auf dem Markt. Diese Isolierflüssigkeiten haben einen hohen Flamm- und Brennpunkt und sind biologisch abbaubar. Ihre Herstellung ist bedingt durch den Herstellungsprozess – Synthese im Autoklaven – teuer und verleiht, nachdem die Zutaten aus dem Erdöl stammen, dem Produkt einen großen ökologischen Fußabdruck.

In den frühen 1990er Jahre brachte vormals Cooper, jetzt Cargill, den ersten natürlichen Ester zur Verwendung als Isolierflüssigkeit auf dem Markt. Die Isolierflüssigkeit mit der Bezeichnung Envirottemp FR3™ wird bereits in über zwei Millionen Transformatoren bis zu einer Spannungsebene von 420 kV [1] weltweit eingesetzt und bis dato ist kein einziger Transformatorbrand mit dieser Flüssigkeit bekannt. In den letzten Jahren sind verstärkt weitere alternative Isolierflüssigkeiten vor allem im Bereich der natürlichen Ester (Rapsöl, Haselnussöl, Palmöl etc.) auf dem Markt gekommen [2], [3]. Dabei ist anzumerken, dass das Basisöl nicht immer

angegeben wird. Für die in der einschlägigen Fachliteratur [4] [5] Eingang gefundenen Isolierflüssigkeiten liegen umfangreiche Forschungsergebnisse über die letzten Jahrzehnte vor.

2 Thermisches Verhalten der natürlichen Ester

Mineralölgefüllte Transformatoren stellen bedingt durch den unmittelbaren Kontakt zu Hochspannungsanlagen ein hohes Brandrisiko dar. Elektrische Fehler, die zu Lichtbögen führen, können die Ursache sein, dass das Mineralöl die dielektrischen Eigenschaften verliert. Das Mineralöl verdampft und erzeugt im Transformator einen Druckanstieg. Überschreitet der Transformatorinnendruck die mechanische Festigkeit des Kessels, so kommt es zur Explosion. Brände mit verheerenden Auswirkungen sind die Folge [6]. Abbildung 1 zeigt die Flamm- und Brennpunkte diverser Isolierflüssigkeiten. Der natürliche Ester Envirotemp FR3™ zeigt mit einem Flammpunkt von 330 °C und einem Brennpunkt von 360 °C die höchsten Werte [7].

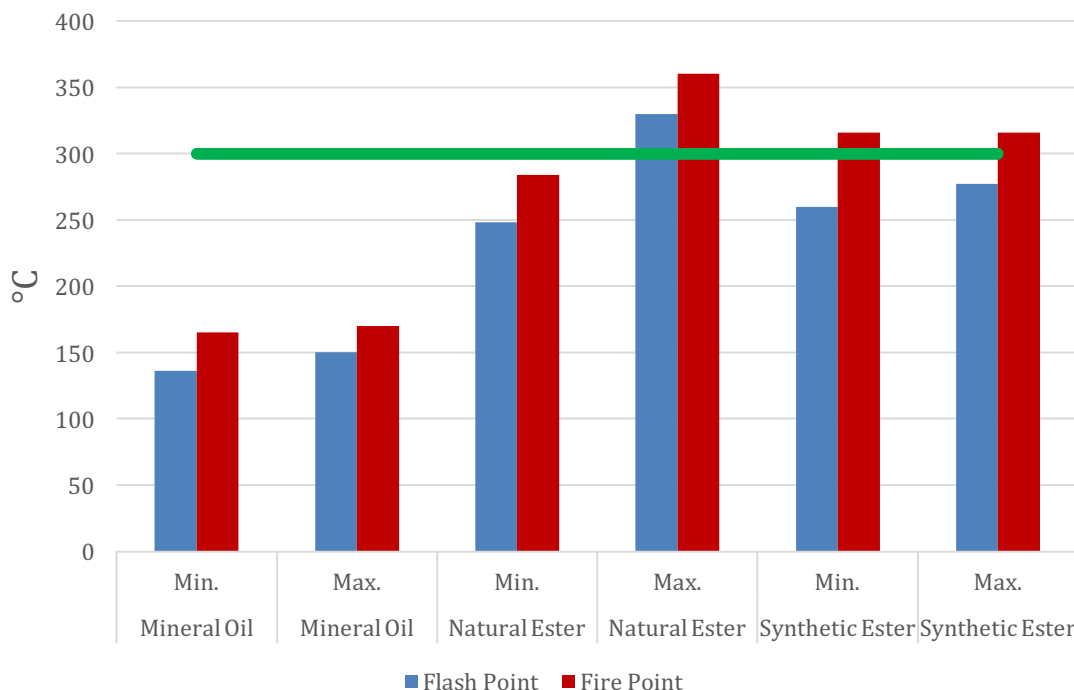


Abbildung 1: Flamm- Brennpunkte diverser Isolierflüssigkeiten

Dieser Umstand hat auch ökonomische Vorteile und wird auch in den relevanten Normen berücksichtigt. Isolierflüssigkeiten mit einem Brennpunkt > 300 °C werden als K-Flüssigkeiten bezeichnet. Die ÖVE/ÖNORM E 8383 [8] erlaubt für diese Isolierflüssigkeiten eine Reduktion der Abstände für die brandschutztechnischen Maßnahmen um 50 %. In der Tabelle 1 sind die Richtwerte für Transformatorabstände in Freiluft lt. IEC 61639-1 [9], berichtet mit [10], zusammengefasst. Ähnlich reduzierte Abstände können nach IEC 61639-1 [9] auch für die Innenaufstellung angewandt werden. Dieser Vorteil kann auch ökonomisch in mehreren Punkten genutzt werden:

- Reduzierung des Flächenbedarfs [11]
- Installierung höherer Leistungen bei bereits vorhandenen und nicht erweiterbaren Flächen und Räumlichkeiten

- Wegfall von Sprinkleranlagen
- Wegfall von Feuerschutzwänden

Transformortyp	Flüssigkeitsvolumen	Abstand zu anderen Transformatoren oder Gebäudeflächen aus nicht brennbaren Baustoffen	Abstand zu Gebäudeflächen aus brennbaren Baustoffen
Einheit	Liter	Meter	Meter
Öl-isolierte Transformatoren (O)	1000 <...< 2000	3	7,5
	2000 ≤...< 20000	5	10
	20000 ≤...< 45000	10	20
	≥ 45000	15	30
Schwer brennbare Flüssigkeits-Transformatoren (K) ohne erhöhten Schutz	1000 <...< 38000 ¹⁾	1,5	7,5
	≥ 38000 ¹⁾ ¹⁾ berichtigt	4,5	15
Schwer brennbare Flüssigkeits-Transformatoren (K) mit erhöhtem Schutz	Abstand zu Gebäudeflächen oder angrenzenden Transformatoren		
	waagrecht	senkrecht	
	0,9	1,5	

Tabelle 1: Richtwerte für Transformatorabstände in Freiluft

3 Biologisches Verhalten der natürlichen Ester

Die Basis dieser Flüssigkeiten ist pflanzlichen Ursprungs (Weizen, Soja, Sonnenblumen, Rizinus, Palmöl, Erdnussöl, Raps etc.). Damit ist auch die Diskussion – Nutzung von Nahrungsmittel für industrielle Zwecke – eröffnet. Nachstehend wird gezeigt, dass dies bei Einsatz von Sojabohnenöl nicht der Fall ist, sondern die Nutzung eine Ergänzung darstellt.

3.1 Der Einsatz von Sojabohnenöl als Isolierflüssigkeit

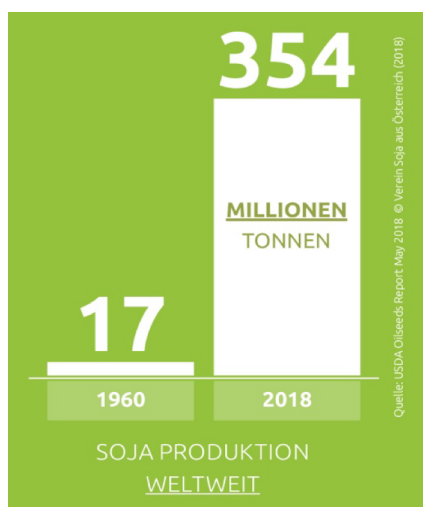


Abbildung 2: Weltweite Sojaproduktion

Beim Einsatz von Sojabohnenöl ist eine Konkurrenzsituation zur Nahrungskette nicht gegeben.

Der in den letzten Jahrzehnten weltweit stark gestiegene Sojaanbau steht häufig in der Kritik. Sehr oft berechtigt, denn die ökologischen, ökonomischen und sozialen Auswirkungen sind gravierend. Keine andere Kulturpflanze hat in dieser Zeitspanne eine derart dynamische Entwicklung genommen (Abbildung 2) aus [12]. Hauptursache für die kontinuierliche Ausweitung des weltweiten Sojaanbaus ist der zunehmende Fleischkonsum (Chinas zunehmender Fleischverzehr ist das Zugpferd des weltweiten Sojaanbaus [13]), denn der Großteil der Sojaernte landet im Tierfutter (Abbildung 3) aus [12].

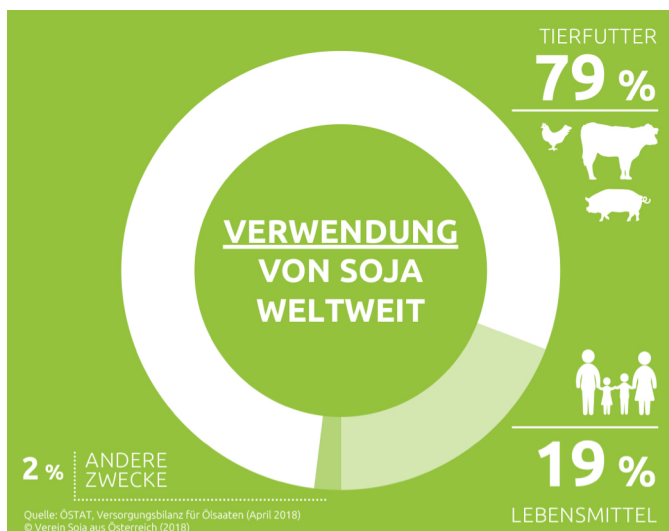


Abbildung 3: Verwendung von Soja weltweit Sojaproduktion

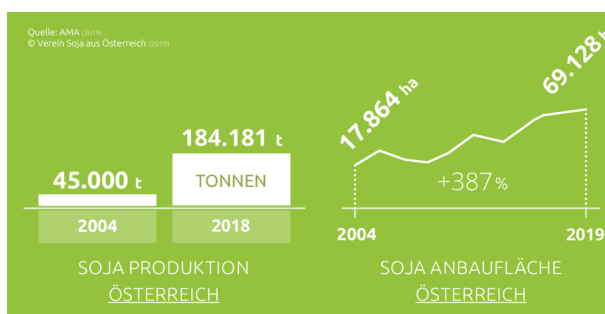


Abbildung 4: Sojaproduktion in Österreich

Wie alle Hülsenfrüchte besitzt die Sojapflanze in ihrem Wurzelgeflecht sogenannte Knöllchenbakterien. Dadurch kann sie sich selbst mit Stickstoff versorgen und gilt als Stickstoffsammler [15]. Diesen braucht sie, um daraus Eiweiß zu bilden. Die Knöllchenbakterien sind die einzigen die das schaffen. Sie holen sich dafür den Stickstoff aus der Luft, wandeln ihn um und stellen ihn der Sojapflanze zur Verfügung [16]. Die Sojapflanze ist in dieser Hinsicht effizienter als andere Hülsenfrüchte. Sie benötigt deshalb weniger Dünger als andere Pflanzen. Dies ist unmittelbar mit Energie und CO₂ Einsparung verbunden.

Hohe Sojaölgehalte hemmen die Aktivität der Pansenbakterien der Wiederkäuer. Durch Pressen wird der Ölgehalt der Sojabohne von ca. 20 % auf ca. 3 % verringert. Für eine weitere Reduktion des Ölgehaltes ist eine Extraktion mit Hexan notwendig. Ein besonderes Problem, oder je nach Sichtweise auch Herausforderung, stellt somit die Reduktion des Ölgehaltes in der Sojabohne dar. Aufgrund des hohen Bedarfs an Eiweißfuttermittel zählt Sojaöl neben Palmöl zu den am meisten produzierten Pflanzenölen auf unserem Planeten [17]. Ein Großteil wird zur Herstellung von Biodiesel verwendet. Dieser Verwertungsschritt ist auch nach der Verwendung als Isolierflüssigkeit möglich.

Im Zeitraum von 2004 bis 2019 haben sich die Soja-Anbauflächen in Österreich fast vervierfacht (Abbildung 4) [12]. Waren es 2004 noch rund 18.000 ha, sind es heute mehr als 69.000 ha (Abbildung 4) [12]. Damit hat Soja traditionell wichtige Kulturen wie etwa Roggen oder Raps längst hinter sich gelassen. Jene Bundesländer mit den höchsten Soja-Anbauflächen sind das Burgenland, Niederösterreich und Oberösterreich (Abbildung 5) [12]. Die Zunahme der Anbauflächen in Europa wird das Fortschreiten von Anbauflächen in sensiblen Regionen Südamerikas verlangsamen [14]. In Deutschland hat sich die Produktionsmenge im Jahr 2019 gegenüber 2018 um 21 % erhöht und wird unter dem Schlagwort „Eiweißwende“ beworben. Alleine die im Jahr 2018 in Österreich produzierte Menge an Sojaöl beträgt ca. 30.000 Tonnen, was die Ölmenge von mehr als 30.000 Verteiltransformatoren entspricht!

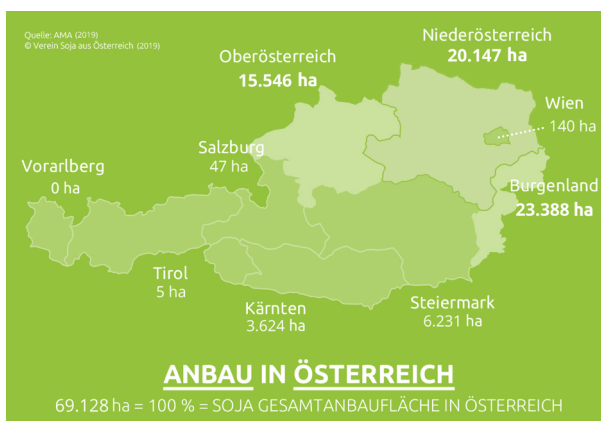


Abbildung 5: Sojaflächen in Österreich

3.2 Biologische Abbaubarkeit

Im Gegensatz zu Mineral- und Silikonölen gelten die natürlichen Ester als vollständig abbaubar. Diese Eigenschaft ermöglicht einerseits einen verminderten Gewässerschutz und andererseits die Verwendung dieser Isolierflüssigkeiten in sensiblen Gebieten [18].

4 Klimarelevanz

Der Einsatz von Pflanzenölen ist auch ein Beitrag zur Dekarbonisierung unseres Planeten. Abbildung 6 zeigt die Kohlendioxidbelastung der Umwelt bei Einsatz von Mineralöl und dem natürlichen Ester FR3 Fluid™ über einem Bilanzzeitraum von 30 Jahren. Daten entnommen aus [19]. Diese geringe CO₂ Emission - im dargestellten Fall jener des Sojabohnenöls - wird im Wesentlichen durch die wachstumsbedingte Kohlendioxidaufnahme im Rahmen der Photosynthese verursacht [20].

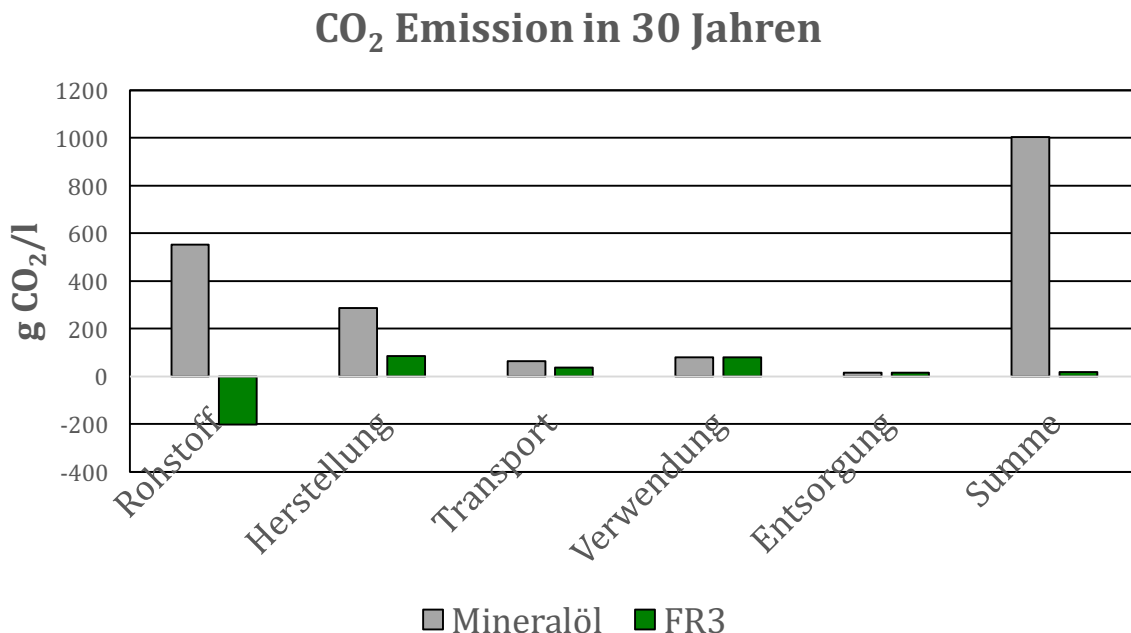


Abbildung 6: CO₂ Emission über einen Zeitraum von 30 Jahren

Fratelli Parodi gibt die CO₂-Einsparung für das Produkt „Paryol Electra 7426“ mit ca. 5 kg pro Liter Isolierflüssigkeit an [2].

5 Angepasstes Transformatordesign

Die guten thermischen und papierfreundlichen Eigenschaften der natürlichen Ester [21] erlaubt es, Transformatoren auch bei höherer Temperatur zu betreiben. Gerade die Energiegewinnung aus Wind- und Sonnenkraft ist in unseren Breiten sehr Tages- und Jahreszeit abhängig und damit sehr volatil. Die Zunahme der Elektromobilität in Verbindung mit dem Gleichzeitigkeitsfaktor wird zusätzliche Verbrauchsspitzen ins Netz bringen. Um die Verluste zu minimieren, macht es oft Sinn, den Transformator nicht auf die höchste Leistungsspitze auszulegen. Westrafo verfolgt hier das Konzept des Sustainable Peak Load Transformers [22].

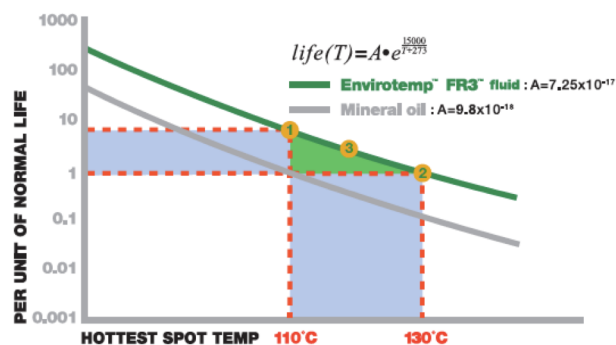
5.1 Das Konzept des Sustainable Peak Load (SPL)Transformer

Dieses Konzept nutzt die Möglichkeit, dass mit natürlichem Ester gefüllte Transformatoren bei einer um 20 °C höheren Temperatur betrieben werden können (Tabelle 2) und Abbildung 7 aus [7].

Paper	Dielectric Fluid	Thermal Class	Hot Spot	IEEE WAR	IEC WAR
TUK	Mineral Oil	120	110 °C	65 °C	75 K
TUK	Natural Ester	140	130 °C	85 °C	95 K

Tabelle 2: SPL Transformer – Thermische Eigenschaften, Quelle: [22]

TUK life curves



OPTION 1: Extend asset life at current 110° hotspot.

OPTION 2: Increase load capability up to 20% with 130°C hotspot.

OPTION 3: Incrementally extend asset life and increase load capability with 120°C hotspot.

Abbildung 7: Isolationssystem mit TUK (Thermal Upgraded

einer Verringerung der Leerlaufverluste, sondern auch mit einer Verringerung des Materialeinsatzes bei der Herstellung. Dies alles hilft den Energieaufwand und somit den CO₂-Ausstoß zu reduzieren.

6 Schlussfolgerung

Neben der praktisch klimaneutralen Verwendung eines natürlichen Rohstoffs bringt der Einsatz von Pflanzenölen in der Hochspannungstechnik gegenüber anderen Isolierflüssigkeiten weitere, nicht zu übersehende ökologische und ökonomische Vorteile wie:

- ✓ Soja: Sinnvolle Nutzung eines Nebenprodukts aus der Tiernahrungsherstellung. Durch die Möglichkeit der Sojapflanze Stickstoff über die Knöllchenbakterien direkt aus der Luft aufzunehmen, hat die Pflanze einen Selbstdüngungseffekt. Dieser in der Pflanze gebundene Stickstoff steht auch weiteren Pflanzen im Rahmen der Fruchtfolge zur Verfügung.
- ✓ Keine Freisetzung von fossil gebundenen Kohlenstoff, damit geringer CO₂-Footprint.
- ✓ Reduzierter Flächenbedarf für die Transformatoreninstallation: Dies schlägt sich bei Neuanlagen beim Grundstückspreis nieder und bei Altanlagen kann bei gegebener Infrastruktur eine größere Leistung installiert werden.
- ✓ Reduzierte Abstände zu umgebenden Wänden und zu weiteren Geräten.
- ✓ Verzicht auf Löschroboter und Sprinkleranlagen.
- ✓ Reduzierte Anforderungen an die Aufstellung zum Schutz gegen Leckverlusten.

- ✓ Biologisch abbaubar – damit verbunden sind geringere Reinigungskosten bei einem Störfall.
- ✓ Die höhere thermische Belastbarkeit bringt eine bessere Anpassung an die Energiewende mit sich.

Quellen / Literaturverzeichnis:

- [1] Envirotemp™ FR3™ Fluid; Guide for Storage, Installation, Commissioning and Maintenance of FR3 Fluid Filled Transformers; G2300; April 2017
- [2] PARYOL ELECTRA 7426®, TGA - DELIVERY AND LOAD, © A&A Fratelli Parodi Spa; 2015
- [3] NeuGen plus; Environmentally, sustainable, dielectric fluid; Material Safety Data Sheet; 1st March 2012
- [4] R. Fritsche: Nachhaltige elektrische Isolierung dank Pflanzenölen; Energy 2.0-Kompodium; 2015
- [5] S. Borghardt: Transformatoren: Innovationen für die Umwelt, Natürliche Ester – eine Alternative zu Mineralölen; ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. • Bereich Energie, Oktober 2019
- [6] E. Pagger, M. Thelen: Reduzierung der Umweltgefährdung durch den Einsatz natürlicher Ester; Oberlausitzer Energie-Symposium 2017; Zittau, Deutschland; 25./26. Oktober 2017
- [7] Envirotemp FR3 fluid, Formulated for performance; Cargill B300v4 (6/19); © 2019
- [8] ÖVE/ÖNORM E 8383: Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV; Ausgabe: 2000
- [9] ÖVE/ÖNORM EN 61936-1, Starkstromanlagen mit Nennwechselspannung über 1kV; 2015
- [10] DIN EN 61936-1 Berichtigung 1:2017-05; VDE 0101-1; Berichtigung 1:2017-05 Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV - Teil 1
- [11] R. Da Silva, A. Coelho: Recognition of the benefits by the use of Transformers and Reactors immersed in insulating fluid with high fire point (K Class): the case of Fire Department of Sao Paulo state Brazil; CIGRE Canada Conference, Montreal, Quebec; 2019
- [12] <https://soja-aus-oesterreich.at/nachhaltigkeit/>; 2018
- [13] M. Wolf: Der Weltmarkt für Soja – ist die Bohne unverzichtbar?; Grüne Woche Berlin; 18. Jänner 2014
- [14] <https://www.sojafoerderring.de>; 2019
- [15] F. Lembacher, J. Schmiedl, J. Wasner: Sojabohne; Landwirtschaftskammer Niederösterreich; St. Pölten; Oktober 2009
- [16] <https://www.donausoja.org/de/home/>; 2019
- [17] <http://www.sojatoaster.com/hintergrundinfos/sojaanbau-globale-mengenverteilung-und-mengenstroeme/>; 2019
- [18] TÜV SÜD Industrie Service GmbH: Gutachterliche Stellungnahme zu Anforderungen an Verwendungsanlagen, in denen Envirotemp FR3™ - Flüssigkeit verwendet wird (Transformatoren) hinsichtlich anlagenbezogenen Gewässerschutz; 2015
- [19] BEES® 4.0, Building for Environmental and Economic Sustainability Technical Manual and User Guide, August 2007
- [20] R. Frotscher: Alternative Isolierflüssigkeiten für Stufenschalter; ©Maschinenfabrik Rheinhausen GmbH; 2013
- [21] E. Pagger, M. Muhr, R. Braunstein, M. Tieber, K. Rapp, A. Sbravati: Natural Ester FR3 Insulating Liquid - Very Paper Friendly; 12th IEEE International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials - Xi'an - China; 2018
- [22] Sustainable Peak Load Distribution Transformers; Westrafo; Chiampo; 2017
- [23] E. Pagger, M. Thelen: Transformatorentechnologie für die Energiewende; Internationale Energiewirtschaftstagung; TU Wien; 2019