

Innovative und zukunftsorientierte Transformatoren – Designlösungen für steigende Netzanforderungen

22nd June 2022 – 14h30

Jean-Claude Duart - Mike Jorzik
Stuttgart High Voltage Symposium 2022



Contents

- Alternative insulation systems
- New insulation components
- Transformer case study for German grid



DUPONT™

SCHWEIZER
TRANSFORMER PRODUCTS

Alternative insulation systems

Alternative insulation vs. conventional insulation

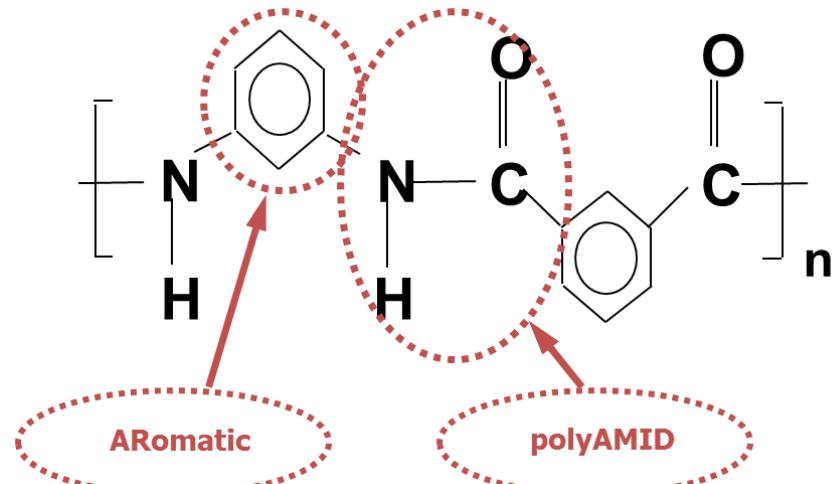
Conventional materials:

- cellulose based paper and board
- mineral oil



Alternative insulation materials (examples):

- aramid paper and pressboard (DuPont™ Nomex®)
- ester liquids



DUPONT

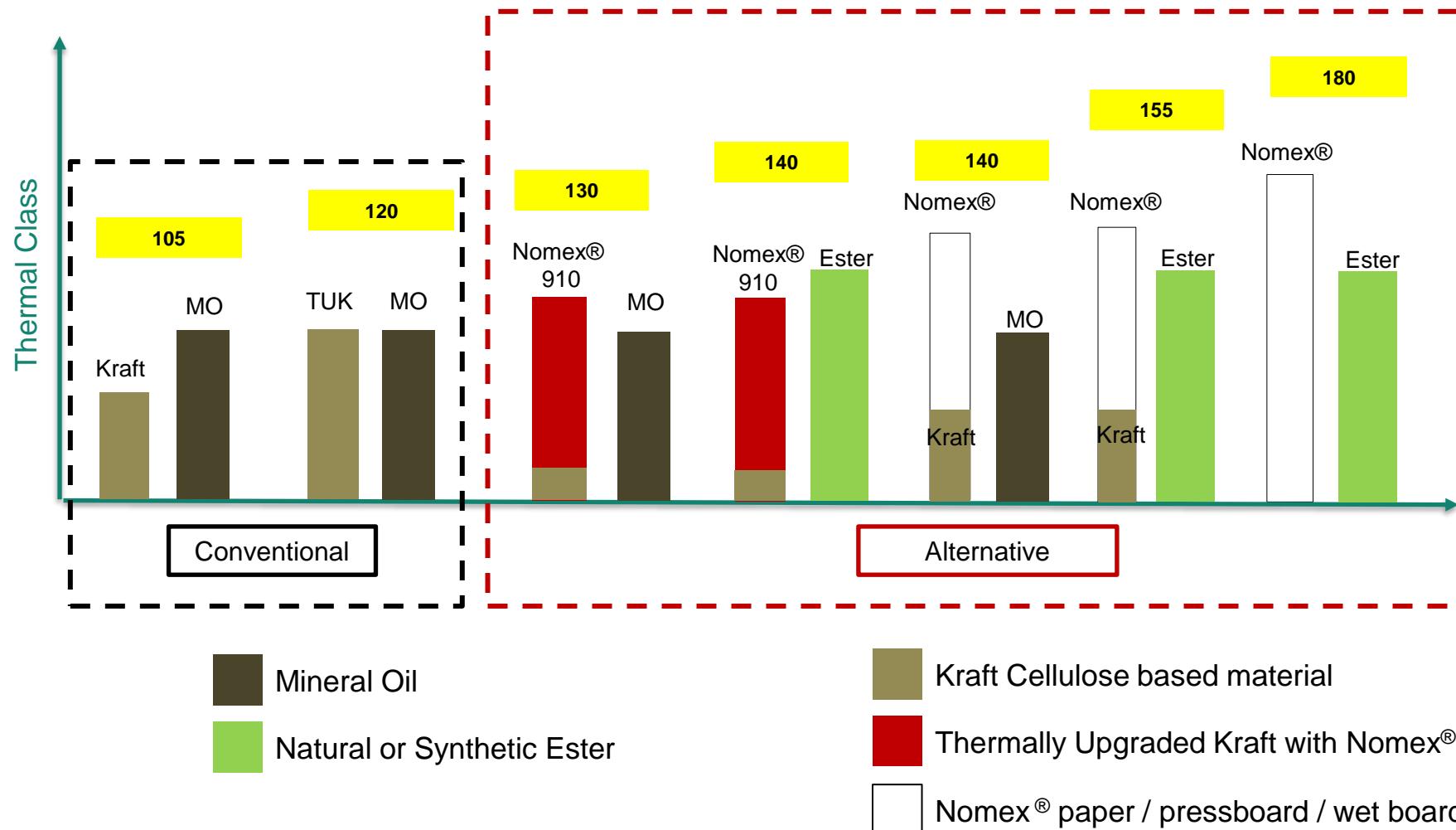
SCHWEIZER
TRANSFORMER PRODUCTS

IEC/EN 60076-14 guidance on temperature limits

	Conventional insulation system	Hybrid insulation systems			
		Semi-hybrid insulation winding	Mixed hybrid insulation winding	Full hybrid insulation winding	
Minimum required solid high-temperature insulation thermal class	105	120	130	130	140
Top liquid temperature rise (K)	60	60	60	60	60
Average winding temperature rise (K)	65/70	75	65	85	95
Hot-spot temperature rise for solid insulation (K)	78	90	100	100	110
					125

	Ester liquid			
Minimum required high-temperature solid insulation thermal class	130	140	155	180
Top liquid temperature rise (K)	90	90	90	90
Average winding temperature rise (K)	85	95	105	125
Hot-spot temperature rise (K)	100	110	125	150

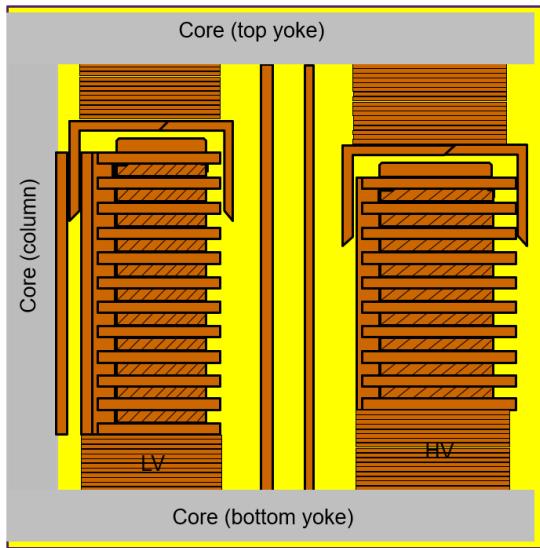
Alternative insulation systems for liquid filled transformers (power and distribution)



Comparison of various insulation systems/technologies

Class A

Conventional insulation

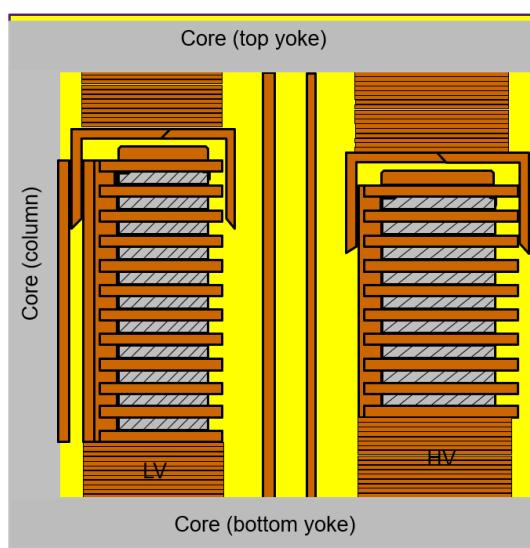


Kraft paper,
Kraft pressboard
Mineral Oil

Design to 98 HST.

Class B

Semi Hybrid insulation

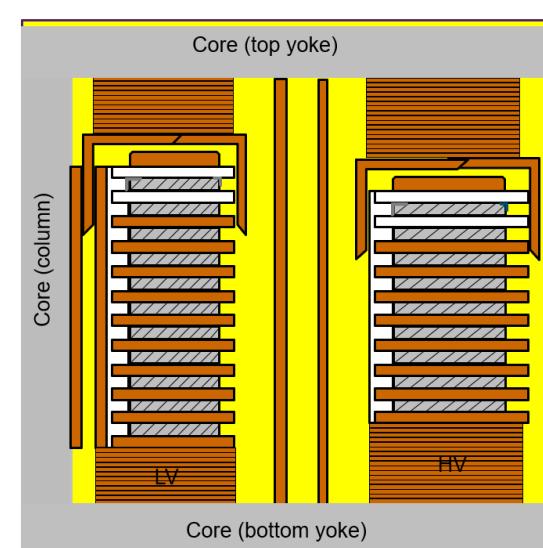


Nomex® 910 paper,
Kraft pressboard
Mineral Oil

Design to 110 HST or
Design to 98 HST

Class B

Mixed Hybrid insulation

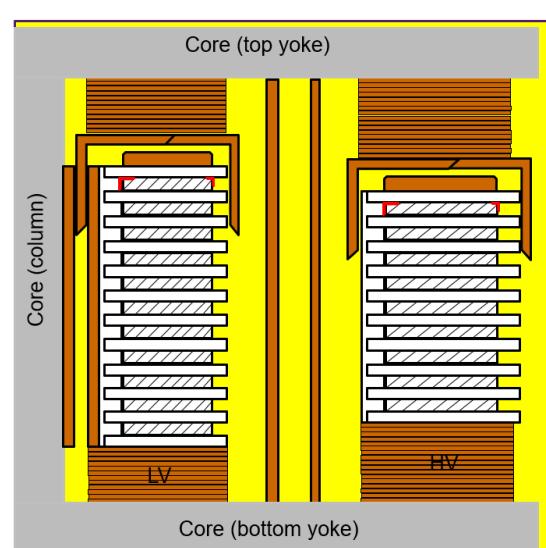


Nomex® 910 paper,
Nomex® 994 pressboard
Mineral Oil

Design to 110 HST or
Design to 120 HST

Class H

Hybrid insulation



Nomex® 926 paper,
Nomex® 994 pressboard
Mineral oil

Design to 130 HST or
Design to 155 HST

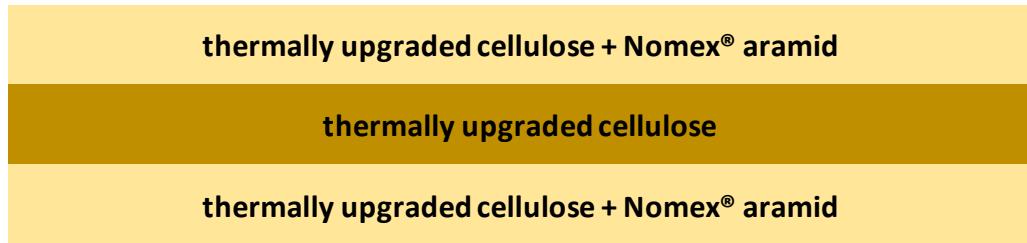


Note : all systems operate in Mineral Oil

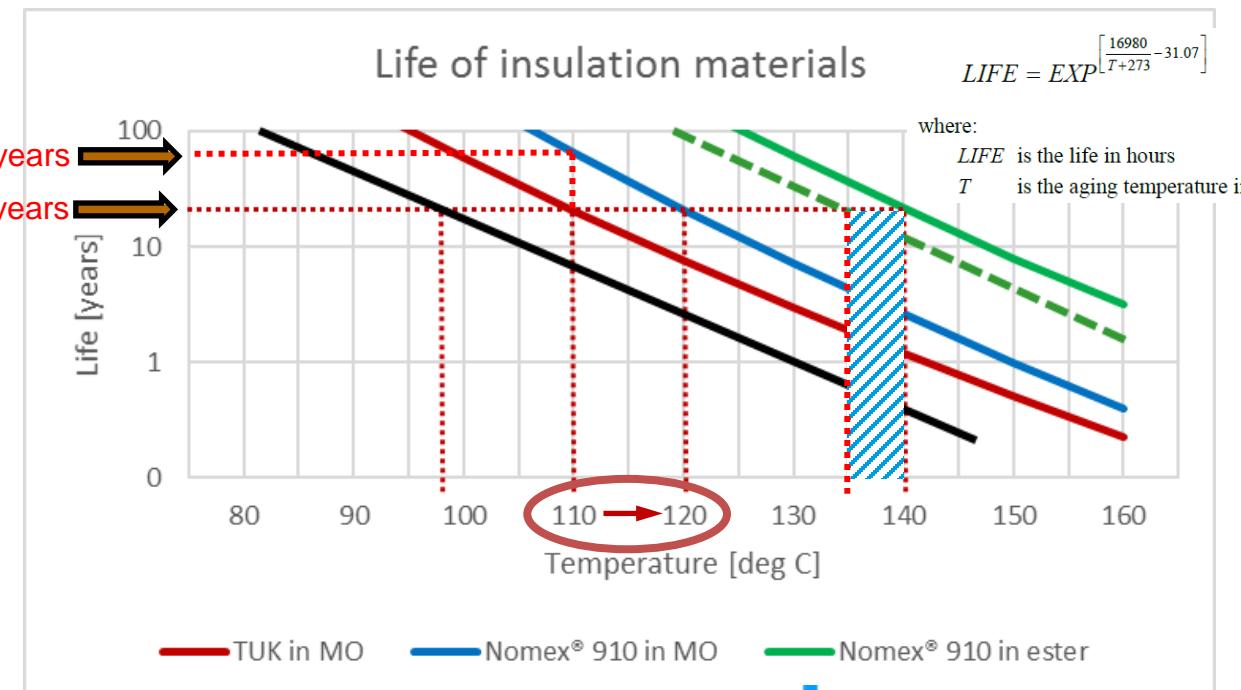
SCHWEIZER
TRANSFORMER PRODUCTS

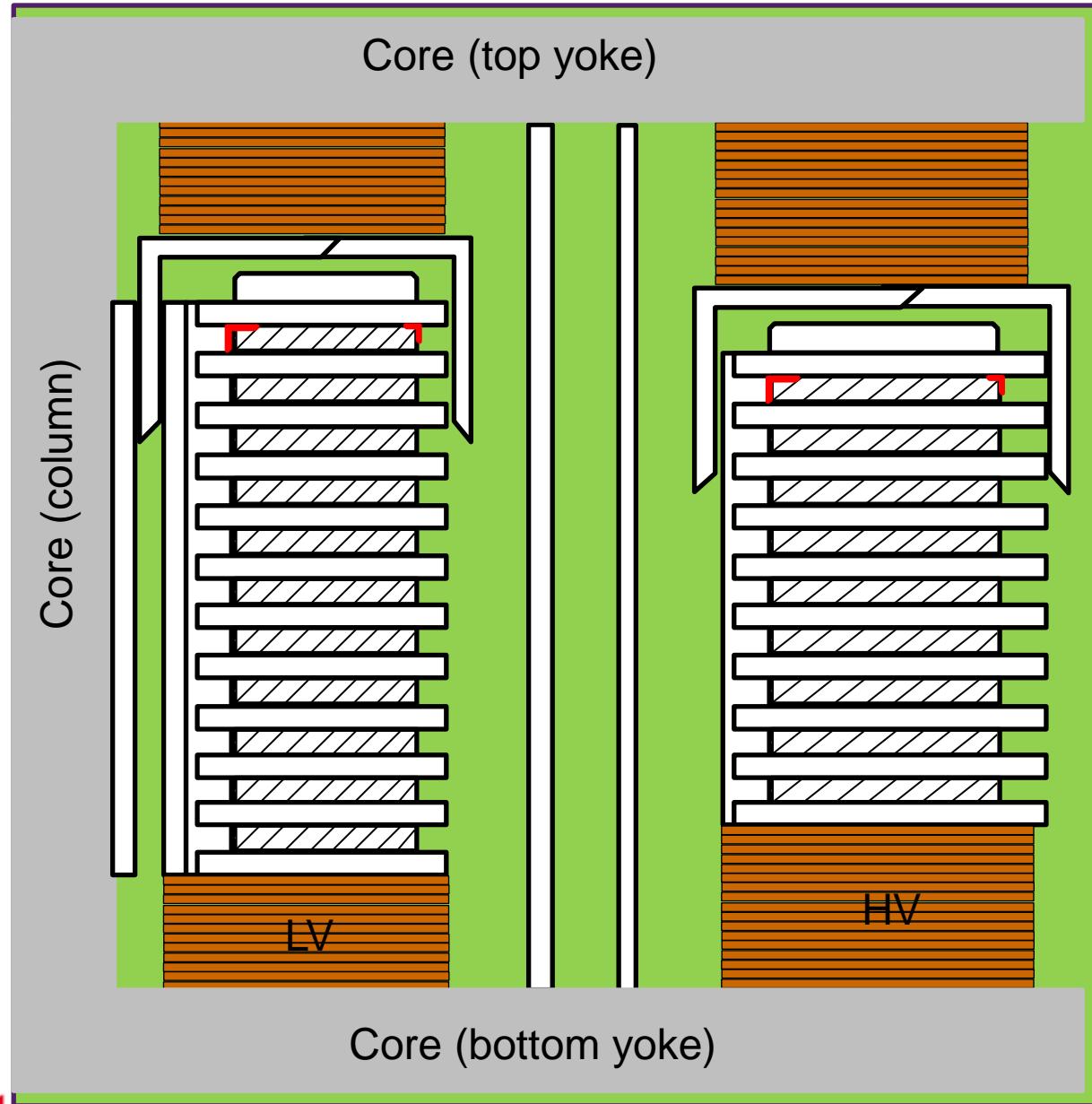
Aramid enhanced cellulose paper

Nomex® 910 – Designed for class B



This system is the first ever certified EIS
for liquid filled transformers





DUPONT™

Hybrid Plus insulation with ester fluid – Class H



- Wrapped wires with Nomex® 926 paper
- Small edge collars with Nomex® 993 pressboard or Nomex® 356 paper
- Spacers and sticks with Nomex® 994 pressboard .
- Cylinders with Nomex® 993 or Nomex® 994 pressboards
- Angle rings, caps, snout in Nomex® wet board
- HST continuous operation >145°C

SCHWEIZER
TRANSFORMER PRODUCTS

New insulation components

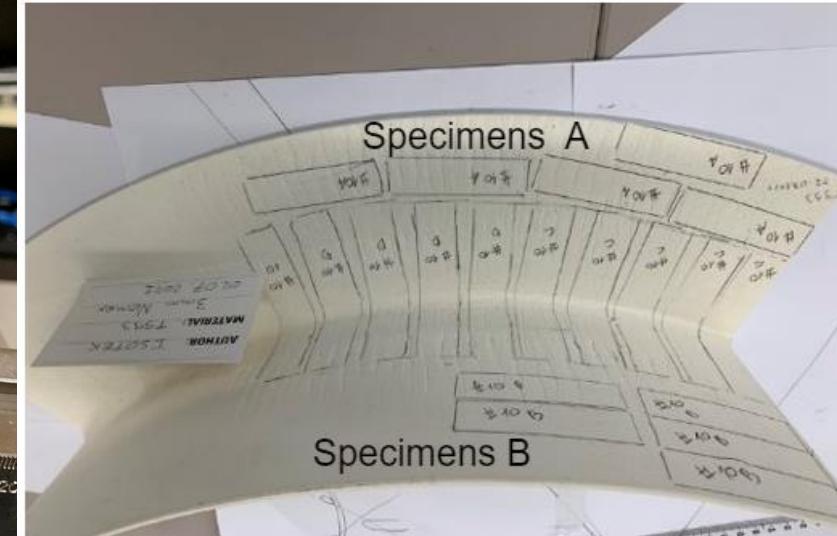
Moulded components



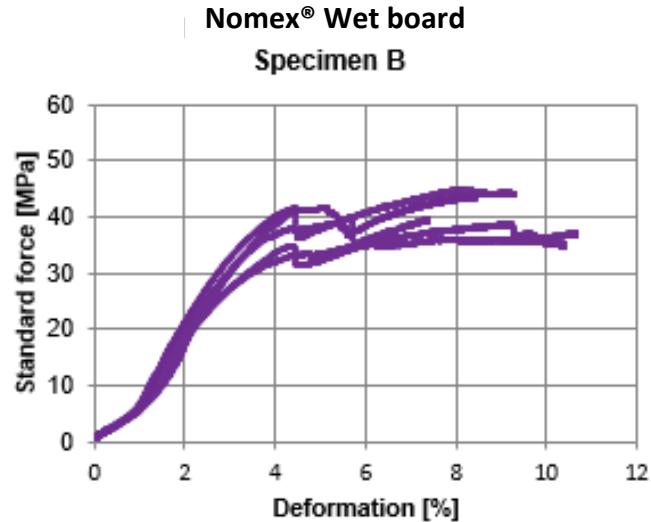
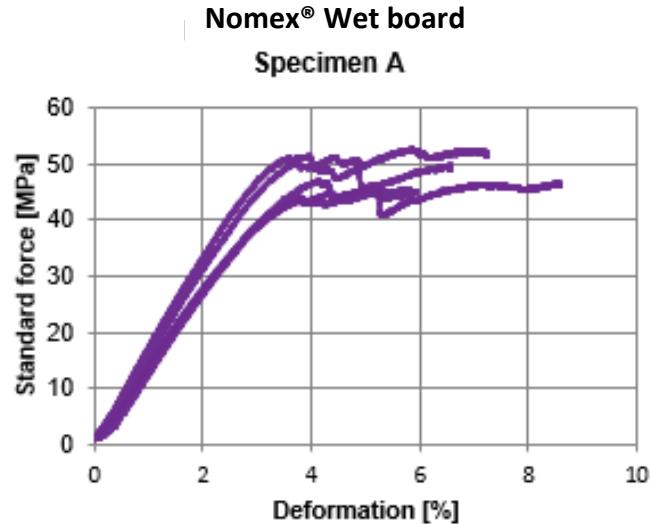
DUPONT

SCHWEIZER
TRANSFORMER PRODUCTS

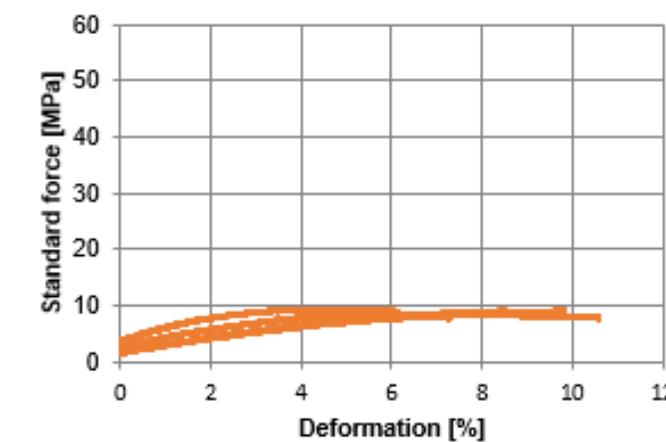
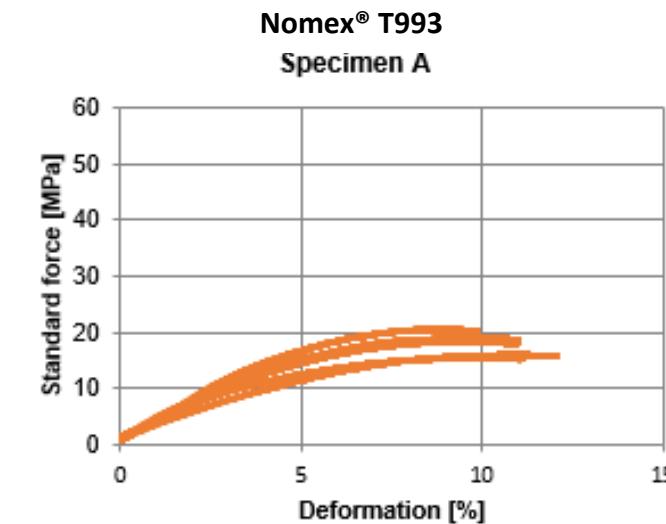
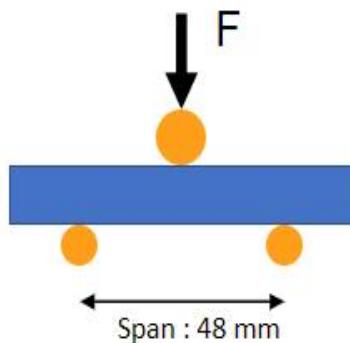
Mechanical evaluation on Specimens A&B



Flexural Strength ISO 178 (Specimen Type A & type B)

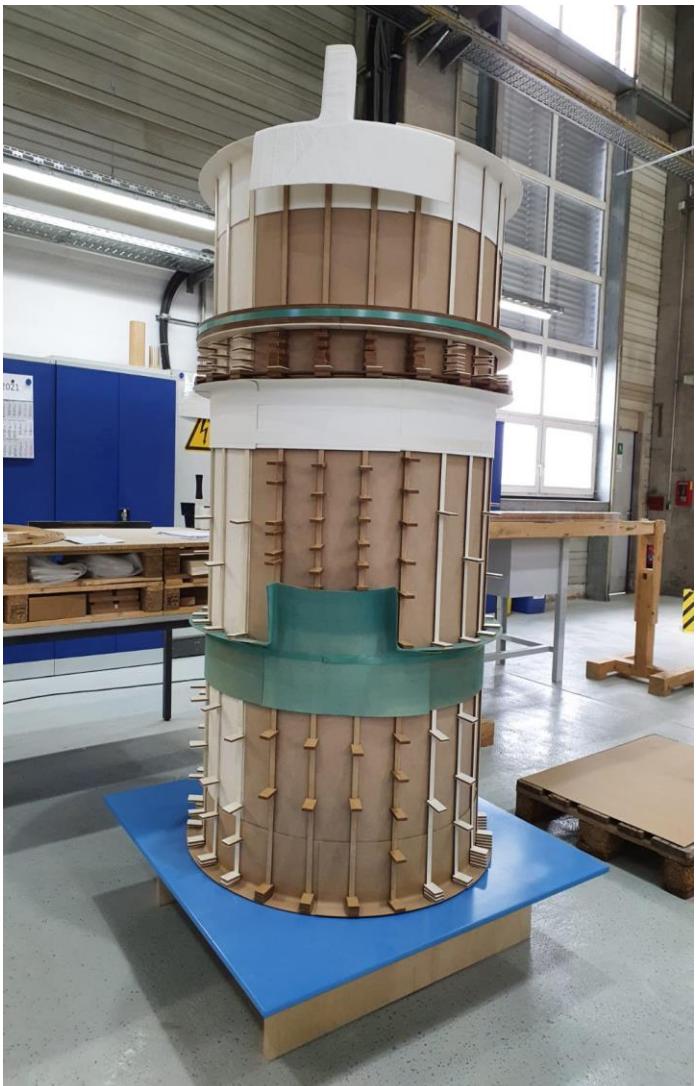


Sample	L,W,t [mm]	68 x 20 x thickness
Method A	Drying	105°C during 24h
Pin Radius	5mm	R ₁ = 5,0 mm ± 0,2 mm
Support Radius	2mm	R ₂ = 2,0 mm ± 0,2 mm
Span	16 x thickness	48mm (kept constant regardless of variations in specimens thickness)
Pre-load	0,5 N	10mm/min
E-Modulus	Segment 0,15mm-0,4mm	1mm/min
Speed Test	one speed (method A)	5 mm/min
Test Conditions		23°C / 60%RH



Transformer case study for German grid

Innovative Wicklungsauslegung



Wicklungsaufbau konventionell mit Isolierteilen aus :

Isoliersystem	Thermische Klasse	Übergrenztemperaturen Öl / Wicklung / Hot Spot
Zellulose + MO	105°C	60 K/ 65K / 78K
Zellulose + Ester	130°C	90 K/ 85K / 100K

**Innovative Wicklungsauslegung mit Isolierstofflösungen
aus 2 neuen Basismaterialien für HT- Anwendungen:**

1) TU – Power Board

Isoliersystem	Thermische Klasse	Übergrenztemperaturen Öl / Wicklung / Hot Spot
TU-Powerboard + MO	120°C	60 K/ 75K / 90K
TU-Powerboard + Ester	140°C	90 K/ 95K / 110K

2) Nomex® Board

Isoliersystem	Thermische Klasse	Übergrenztemperaturen Öl / Wicklung / Hot Spot
Nomex® Board + MO	155°C	60 K/ 105K / 125 K
Nomex® Board + Ester	180°C	90 K/ 125K / 150 K

Isoliersysteme nach IEC/EN 60076-14 „Flüssigkeitsgekühlte Transformatoren“ für Hochtemperaturanwendungen

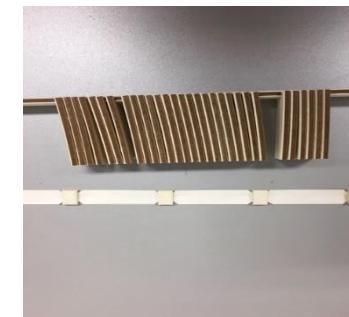
Zellulose- Pressboard
Thermische Kl: 105°C

TU - Powerboard
Thermische Kl: 140°C

Hybridboard
Thermische Kl: 180° + 105°C

Nomex® Board
Thermische Kl: 180°C

	Kaminsegmente / Formstücke Snouts - moulded Parts	Winkelring-Segmente angle ring - segments	Kappen-Segmente	Kantenschutz edge protection	Zylinder - Cylinder	Noppenband cooling tapes	Ölsperre / Leisten / Distanz spacer, intermediate layer	Stützringe	Strahlungs-ringe
Zellulose- Pressboard Thermische Kl: 105°C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
TU - Powerboard Thermische Kl: 140°C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Hybridboard Thermische Kl: 180° + 105°C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Nomex® Board Thermische Kl: 180°C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓



DUPONT™

SCHWEIZER
TRANSFORMER PRODUCTS

Kupferdrahtisolation: nach IEC/EN 60076-14 „Flüssigkeitsgekühlte Transformatoren“ für Hochtemperaturanwendungen

- Zellulose

Isoliersystem	Thermische Klasse	Übergrenztemperaturen	
		Öl / Wicklung	Hot Spot
Zellulose + MO	105°C	60 K / 65K	78K
Zellulose + Ester	130°C	90 K / 85K	100K

- TUK – Thermally Upgraded Kraftpaper

Isoliersystem	Thermische Klasse	Übergrenztemperaturen	
		Öl / Wicklung	Hot Spot
TUK + MO	120°C	60 K / 75K	90K
TUK + Ester	140°C	90 K / 95K	110K

- Nomex® 910

Isoliersystem	Thermische Klasse	Übergrenztemperaturen	
		Öl / Wicklung	Hot Spot
Nomex® 910 + MO	120°C	60 K / 75K	90K
Nomex® 910 + Ester	140°C	90 K / 95K	110K

- Nomex® 926

Isoliersystem	Thermische Klasse	Übergrenztemperaturen	
		Öl / Wicklung	Hot Spot
Nomex® 926 + MO	155°C	60 K / 105K	125 K
Nomex® 926 + Ester	180°C	90 K / 125K	150 K



Anwendungsbeispiele für Hochtemperaturtransformatoren



Transporteinschränkungen / -genehmigungen:

- Kritisch / problematisch ab 63/80 MVA Transformatoren = > 100 Ton.
 - Plus Schwerlasttransport – Tieflader = 80 Ton.
-

Gesamtgewicht = > 180 Ton.

Anwendungsbeispiele für Hochtemperaturtransformatoren

Platzeinschränkungen bei Leistungserhöhung der Transformatoren auf existierenden Umspannwerken:

- Kompaktere Bauweise
- Gewichtsreduzierung: Kupfer, Kernbleche sowie Isolierflüssigkeit
- Verlängerte Lebensdauer, erhöhte Betriebssicherheit
- Schutz bei erhöhten Umgebungstemperaturen + 30°C
- Einsparungen: Nutzung des alten UW's, keine Brandschutzwand gem. VDE 0101 / DIN EN 61939-1
- **Anwendung: Netztransformatoren ab 110 kV, Energieversorger**



Anwendungsbeispiele für Hochtemperaturtransformatoren

Überlastfähige Transformatorenauslegung bis zu 30% bei 110 °C Hot Spot Temperatur (zur Kompensation v. Lastspitzen):

- Gleichbleibende Lebensdauer
- Optimierter Wirkungsgrad in Abhängigkeit der Lastläufe möglich
- Geringere Leerlaufverluste über die gesamte Lebensdauer

Anwendung: Netztransformatoren ab 110 kV, Energieversorger

Erhöhung der Betriebssicherheit bei Überlast / - Übertemperaturen:

- Verlängerte Lebensdauer
- Platzeinsparungen

Anwendung: Offshore Umspannstationen + Industrikunden mit Spezialanforderungen (Ofentransformatoren)

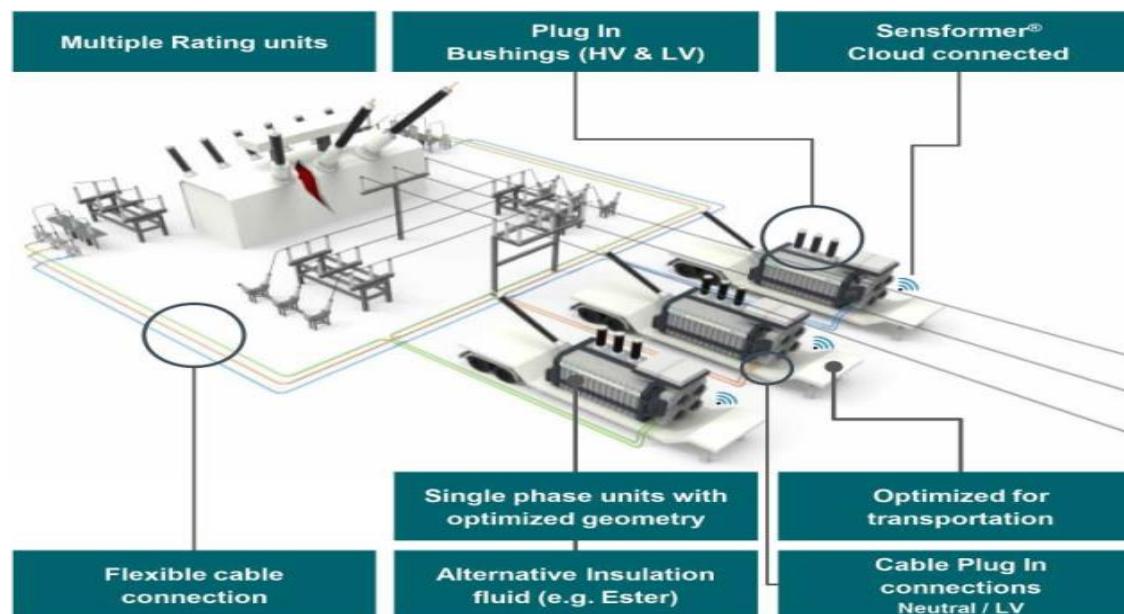
Vergleichskalkulation konventionelles vs. Mischhybrid - Isoliersystem

63/80 MVA Transformator Ynyn0+d / 115 - 21 kV			
	Konventionelles Isoliersystem in Öl 105°C	Mischhybrid Isoliersystem in Öl 120°C	Mischhybrid Isoliersystem in Ester 140°C
Designvarianten K.ETRA			
Übergrenztemperaturen (Öl-oben/ Wicklung-mittig.Hot-Spot)(K)	60/65/78	60/85/100	85/90/100
Übergrenztemperaturen gemäß IEC 60076-14	60/65/78	60/85/ 100	90/95/110
Gesamtgewicht (kg)	93000	78800	80500
Flüssigkeitsgewicht (kg)	18500	16740	18200
Kühlsystem (Radiatoren) (kg)	5800	8700	6600
Kupfergewicht (kg)	20539	12160	12300
P0 - Leerlaufverluste (KW)	24	24,5	24,5
Pk - Kurzschlussverluste (kW)	156	236	236
Gesamtpreis Trafo (ohne Verlustbewertung) %	100	90	95
Gesamtpreis Trafo (ohne Verlustbewertung) €	900.000,00 €	818.181,00 €	857.143,00 €
Verlustbewertung P0 = €/kW 11.000,--	- €	5.500,00 €	5.500,00 €
Verlustbewertung PK = €/kW 1.000,--	- €	80.000,00 €	80.000,00 €
Gesamtpreis inkl. Verlustbewertung	900.000,00 €	903.681,00 €	942.643,00 €
Brandschutzwand bei Ölvolumen > 20.000 Ltr.			
Gem. VDE 0101 / DIN EN 61936-1	-	20.000,00 €	20.000,00 €
Neues Fundament bei Leistungserhöhung MVA	-	60.000,00 €	60.000,00 €
Gesamt - Kostenbetrachtung	900.000,00 €	823.681,00 €	862.643,00 €

- Mischhybridsysteme: Wirkungsgrad entspricht Ökodesign-Richtline 548/2014, Stufe 2: > 99,758%
- Tap-Changer und Durchführungen mit erhöhter Spannungsfestigkeit wurden bei Kalkulation für den Betrieb in Esterflüssigkeiten berücksichtigt

References for transformers with alternative insulation system

- **ConEdison – utility in New York – USA** = Area Substation high temperature Transformers for improved mobility and quick installation, and for loading flexibility (CIGRE 2021 publication)



References for transformers with alternative insulation system

- **Center Point – transmission grid operator in Texas, USA** = Rec X – fast deployable transformers,
3 x 200 MVA, 345 kV
- **Red Electrica – Transmission System Operator in Spain**
3 x 250 MVA, 400 kV, 3 x single phase transformers
Application – fast deployable transformers for easy transportation to selected substation in Spanish transmission grid. (CIGRE 2013 publication and DuPont brochure)
- **PG + E (USA)**
Mobile Substation
- **American Electric Power Ohio**
Mobile Substation
- **CPFL Energia – Utility in Brasil**
Mobile substation



Fazit:

- Neue innovative Transformatoren – **Designlösungen stehen dem Markt zur Verfügung**
- **Leistungsverzeichnisse** für Transformatoren **müssten** zunächst **Hybridwicklungsauslegungen** mit erhöhten thermischen Eigenschaften zur Designoptimierung **zulassen**
- **Nachhaltigkeit!** Schonender Umgang mit begrenzten Ressourcen!! ca. 20% Einsparungen von Rohstoffen wie Kupferwicklungen, Kernblechen und Isolierflüssigkeiten
- Dies entspricht der allgemeinen Zielsetzung zur Öko-Designrichtline Nr: 548/2014: **Erhöhung der Energieeffizienz. Maximaler Wirkungsgrad zur Nennleistung in MVA.**
- Denkbar / sinnvoll wäre der Einsatz von Isolermaterialien mit unterschiedlichen Temperaturklassen entsprechend den tatsächlichen Temperaturanforderungen im Wicklungsaufbau.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Mike Jorzik
Albert Schweizer GmbH & Co. KG
Mallaustrasse 79
D-68219 Mannheim

Tel.: 0049-(0)621 87879-0
Mobil.: 0049-(0)173-8089998
E-Mail: m.jorzik@schweizer-net.de

Jean-Claude Duart
DuPont
Route du Nant D'Avril, 146
CH-1217 Meyrin

Tel: 0041792053714
E-Mail: jean-claude.duart@dupont.com

