# Retranol

# Lebenserwartung von Leistungstransformatoren

**Paul Köstinger**

**Paul.koestinger@retranol.ch**
**www.retranol.ch**

© Retranol GmbH 

# Eine zentrale Frage im Leben

## WIE LANGE LEBEN…

**Wir ?**

**Ein Transformator ?**

© Retranol GmbH 

Retranol

# Lebenserwartung ist von vielen Faktoren abhängig..

- Gesundheit
- Gene
- Eltern
- Unfällen
- Umgebung
- Stress
- Zufällen
- .....

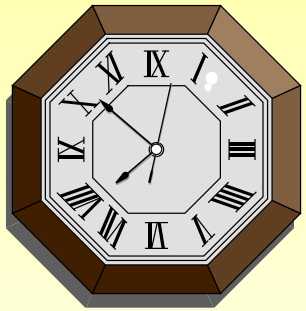
- Unterhalt
- Transformatorkonstruktion
- Lieferant
- Netz
- Umgebung
- Belastung
- Zufällen
- .....

Retranol

© Retranol GmbH 

# Lebenserwartung von Transformatoren

- Bezieht sich oft auf die Alterung (Zersetzung) der organischen Isoliermaterialien,
  (Mineralöl/ Papier)
- Öl kann regeneriert oder gewechselt werden
- Papier kann «nicht» gewechselt werden
- Technische Lebenserwartung ist an den mechanischen Zustand (Festigkeit) der festen Isolation (Papier, Pressboard) geknüpft



© Retranol GmbH 

Retranol

# Alterung von Isolierpapier

- Die Qualität des Papiers wird durch den Polymerisierungsgrad beschrieben (Degree of Polymerization DP). Oder auch die Länge der Molekülkette. DP 1000 = 1000 Zellulosemoleküle in einer Kette.
- Je grösser dieser Wert desto widerstandsfähiger ist das Papier
- Isolierpapier im Transformator hat bei der Auslieferung vom Werk typischerweise einen DP Wert von 1000-1100.
- Bei einem Wert von DP 200 spricht man oft vom Ende der technischen Lebensdauer, da die Festigkeit dann auf ca. 20-40 % ihres ursprünglichen Wertes reduziert ist

© Retranol GmbH


Retranol

# Papieralterung

**Neues Papier DP 1200** **Stark gealtertes Papier DP < 200**

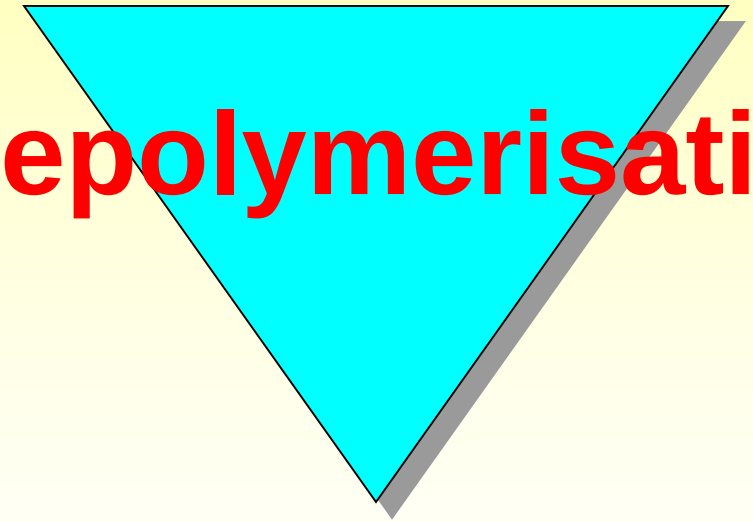
© Retranol GmbH 

Retranol

# Papieralterung

Feuchtigkeit

Temperatur




Säuren

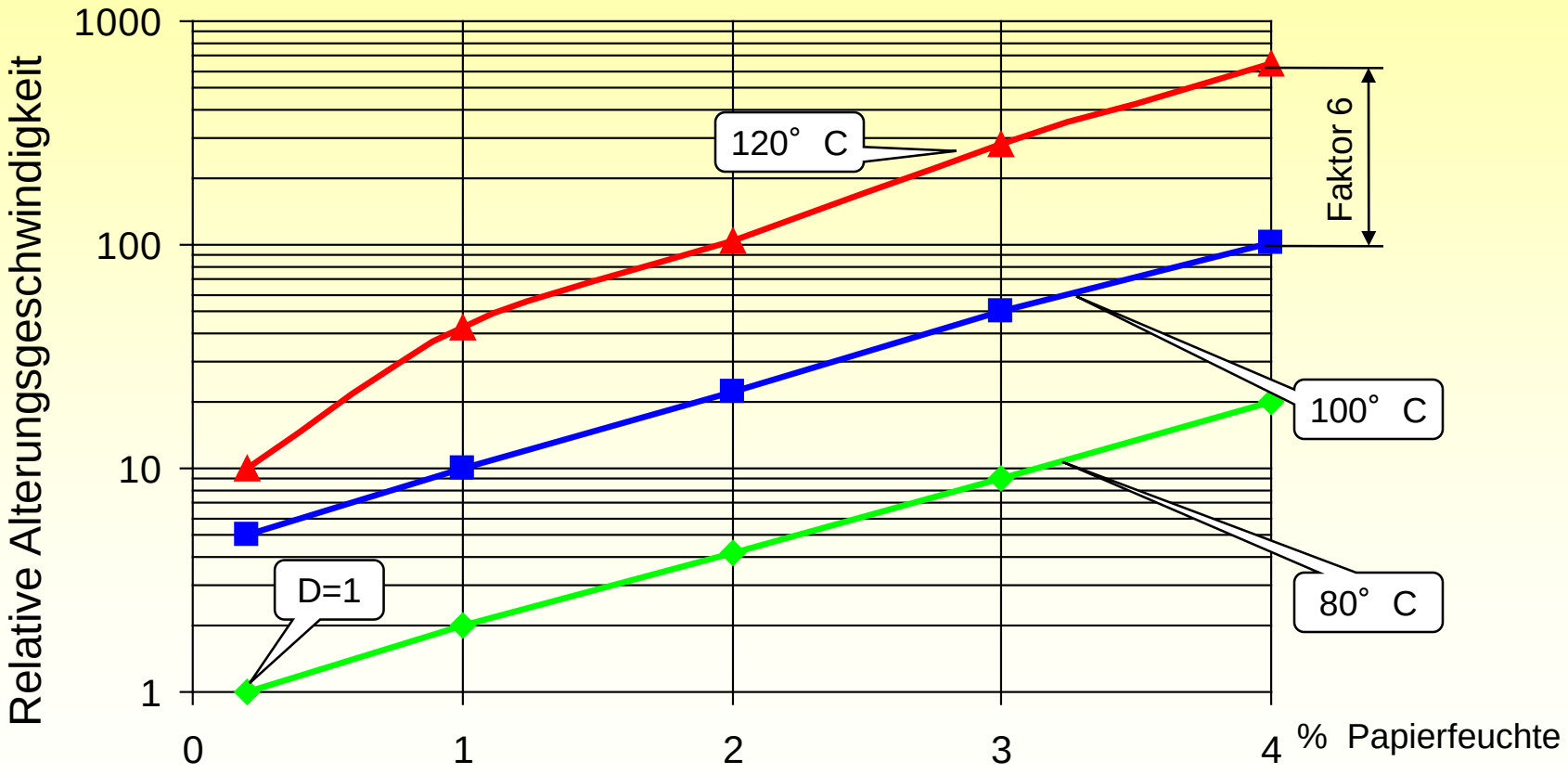
© Retranol GmbH 

Retranol

# Alterungsgeschwindigkeit

## Alterungsgeschwindigkeit von Papier in Abhängigkeit von Feuchtigkeit und Temperatur

[D(80° C, 0.2% $H_20$) = 1, nach Bouvier]




© Retranol GmbH 

Retranol

# Alterungseffekt von verschiedenen Säuren

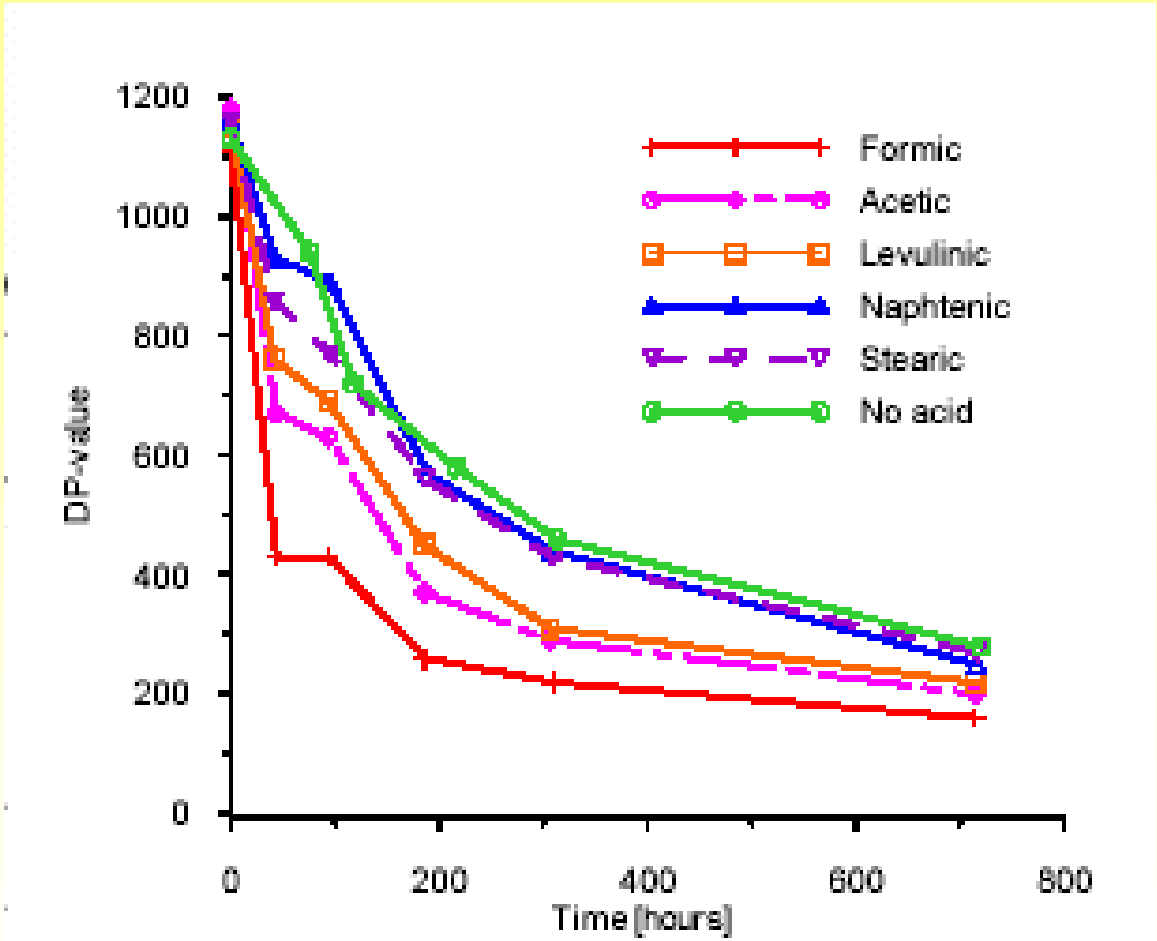



Fig. 3: Aging with different acids in oil under wet conditions at 130°C.

**Aging of Kraft paper by acid catalyzed hydrolysis**

L.E.Lundgaard1, W.Hansen1, S.Ingebrigtsen1, D.Linhjell1, M. Dahlund2
1SINTEF Energy Research
Sem Sælandsvei 11, N-7465 Trondheim, Norway
2ABB Transformers
S-77180 Ludvika, Sweden

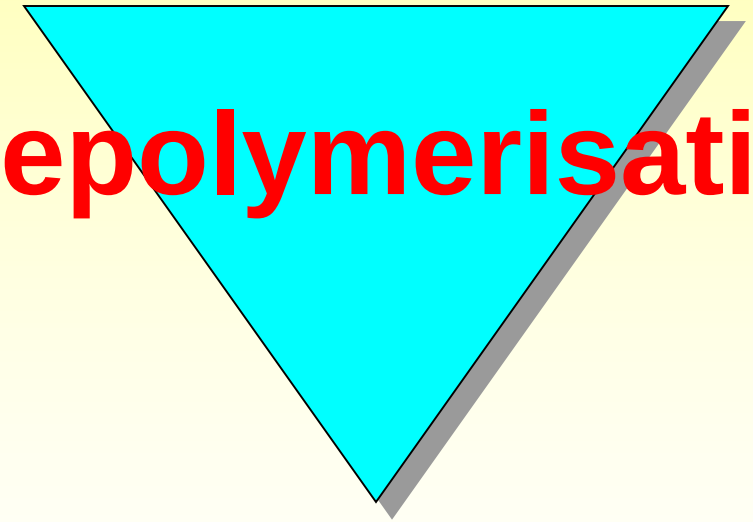
© Retranol GmbH 

Retranol

# Papieralterung

**Feuchtigkeit**

**Temperatur**



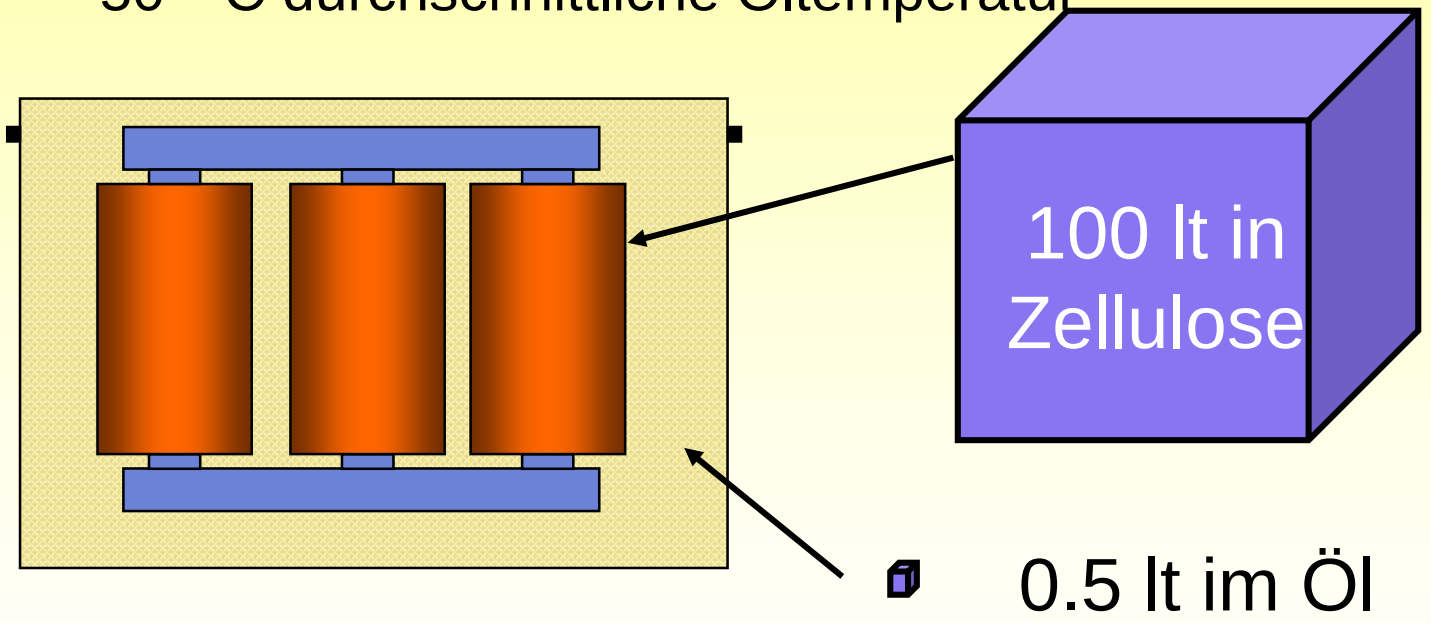

**Säuren**

© Retranol GmbH 

Retranol

# Feuchteverteilung Papier/Öl

Beispiel: 100 MVA Transformator mit 3.3 Tonnen Isolation (Zellulose)
and 20 Tonnen Öl
3% durchschnittliche Feuchte in der Isolation
50° C durchschnittliche Öltemperatur

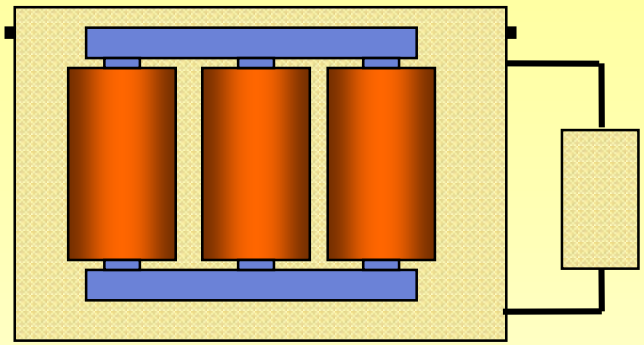



**Über 99,5 % der Feuchtigkeit befindet sich in der Zellulose (Papier, Pressboard)!**

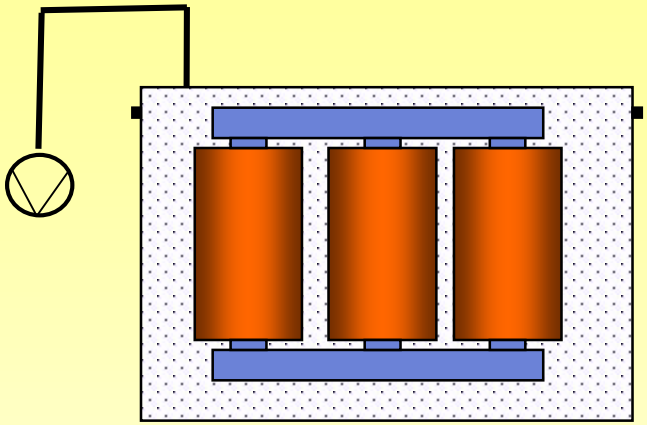
© Retranol GmbH 

Retranol

# Unterschiedliche vor Ort Trocknungsmethoden



**Öltrocknung**



**Trocknung mit Vakuum**

- Kontinuierliche Trocknung mit Molekularsieb
- Ölzirkulation + Vakuum
- LFH und ”Hot oil spray” oder Ölzirkulation

© Retranol GmbH 

Retranol

# Kontinuierliche Trocknung mit Molekularsieb

**Vorteile:**

- Günstig
- Einfacher Aufbau
- Wenig Bauteile
- Beeinflusst Gasanalyse nicht
- Ideal zur Trockenhaltung der Isolation
- Tiefe Betriebskosten

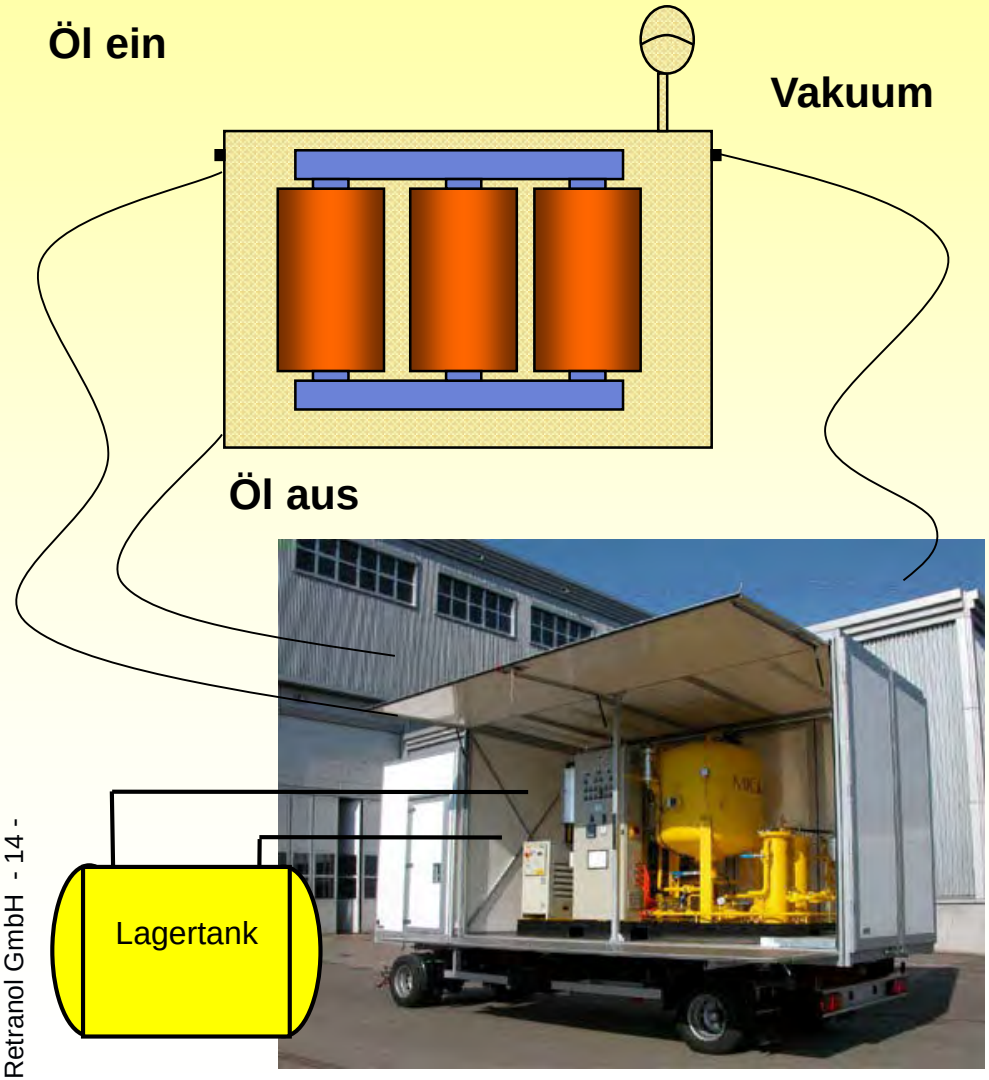
**Herausforderung:**

- Elemente müssen bei Sättigung reaktiviert werden (ca alle 2-5 Jahre)

© Retranol GmbH 

Retranol

# Ölzirkulation + Vakuum




## Vorteile:

- Einfach
- Besserer Trocknungseffekt als Ölentgasung

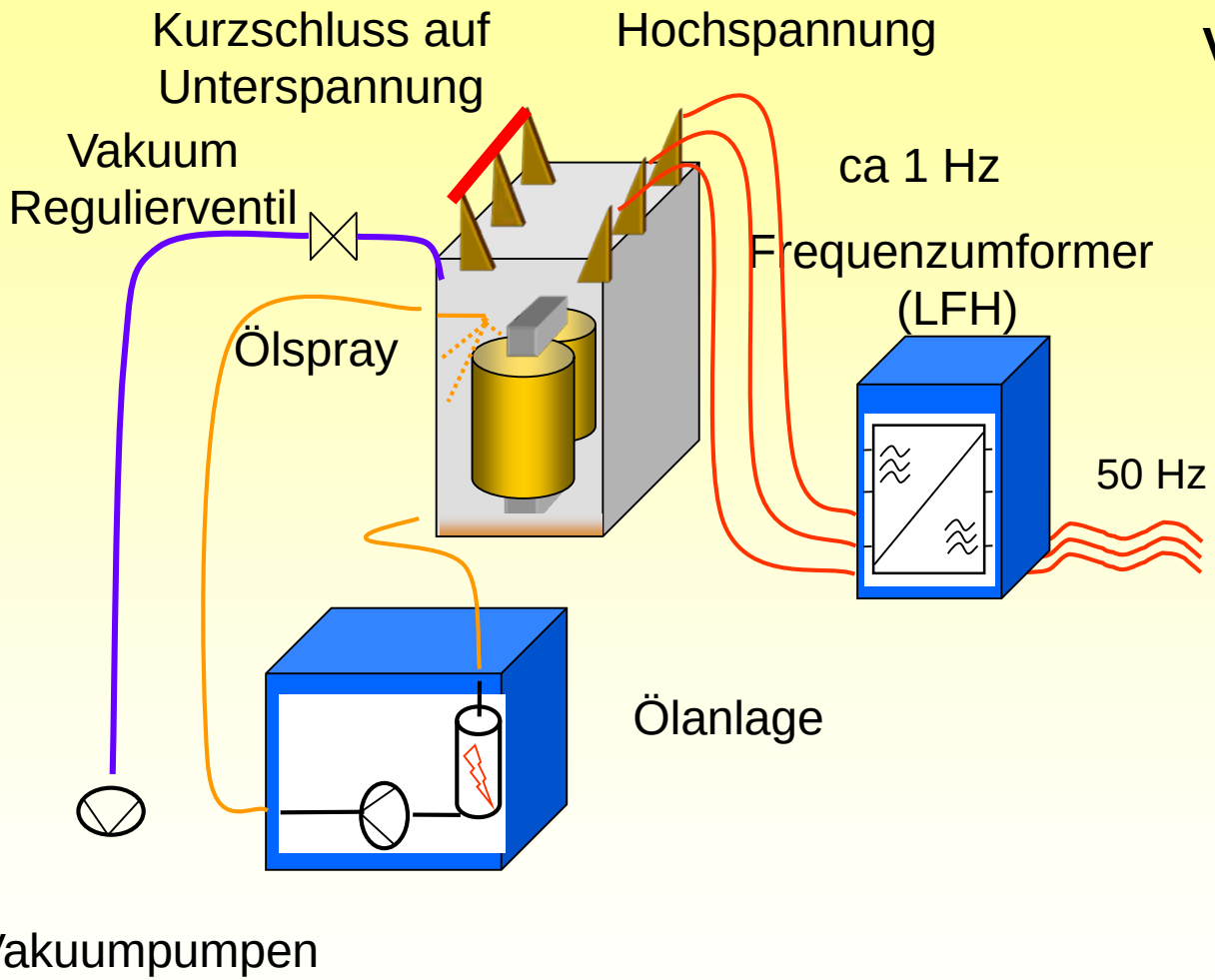
## Herausforderung:

- Lange Prozesszeiten
- Mehrere Zyklen notwendig
- Öllagertank
- Transformator muss ausgeschaltet sein

© Retranol GmbH 

Retranol

# Niederfrequenztrocknung (LFH) und ”hot oil spray”




**Vorteile:**

- Erwärmung unter Vakuum
- Optimale Wäremverteilung
- Kurze Prozesszeiten
- Hervorragende Trocknungsresultate

**Herausforderung:**

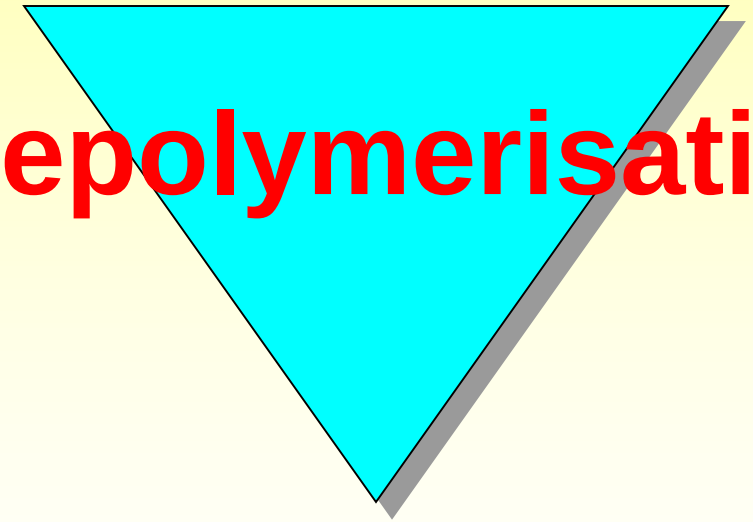
- Nur Offline möglich
- Grösserer Anlagenaufwand als bei konventionellen Prozessen

© Retranol GmbH


Retranol

# Papieralterung

**Feuchtigkeit** **Temperatur**



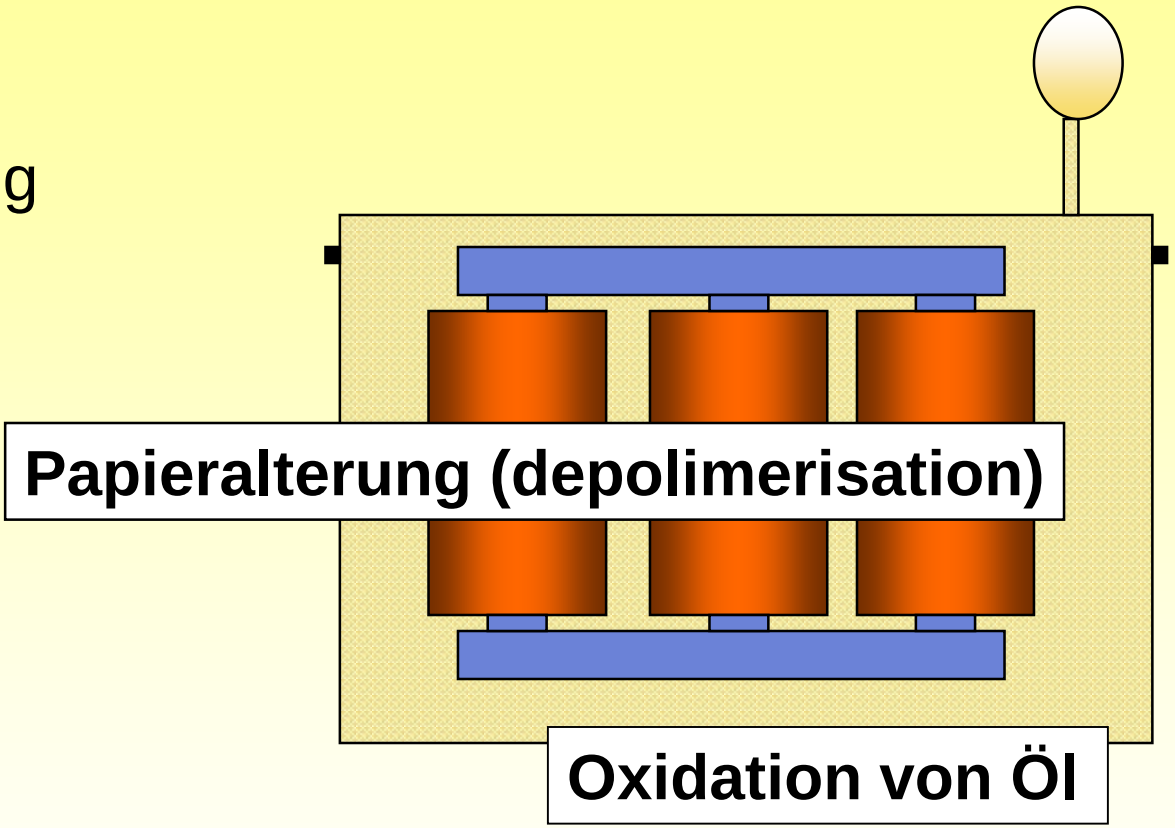

**Säuren**

© Retranol GmbH 

Retranol

# Woher kommen die Säuren in einem Transformator?

- Ölalterung
- Papieralterung




- Niedermolekulare Säuren (wasserlösliche Säuren) werden zum grossen Teil durch das Papier absorbiert !

© Retranol GmbH 

Retranol

# Ölalterung

- Typische Alterungszeichen
  - Farbveränderung
  - Erhöhte Säurezahl
  - Reduzierte Grenzflächenspannung
  - Erhöhter Tan d,

© Retranol GmbH 

Retranol

# Ölregeneration (Fullerung)

## Alterung

## Fullerung

© Retranol GmbH 

Retranol

# Ölregeneration : « Konventionelle » Technik

- Adsorption der Alterungsprodukte durch frische Fullererde
- Ca. 60-100 kg Fullererde pro Tonne Öl
- Gebrauchte Erde wird entsorgt
- Keine Geruchsbelastung durch Verbrennungsprozesse
- Keine Gefahr von Bildung korrosiver Schwefelverbindungen

Retranol

© Retranol GmbH 

# Wieso nicht einfach das Öl wechseln?

- Man kann nicht alles Öl entleeren (ca. 10 % des Öles sind im Papier und am Boden des Transformators)
  - Schlechter Langzeiteffekt
  - Das alte Öl verunreinigt das Neue mit Alterungsprodukten. Die Alterung des neuen Öles startet unmittelbar
- Ölwechsel = Langer Betriebsunterbruch
- Umweltaspekt
  - Verbrauch von begrenzten Ressourcen
  - Entsorgung des alten Öles
- Bei einem Ölwechsel am Auto ist es auch sehr wichtig, den Ölfilter zu wechseln!!!

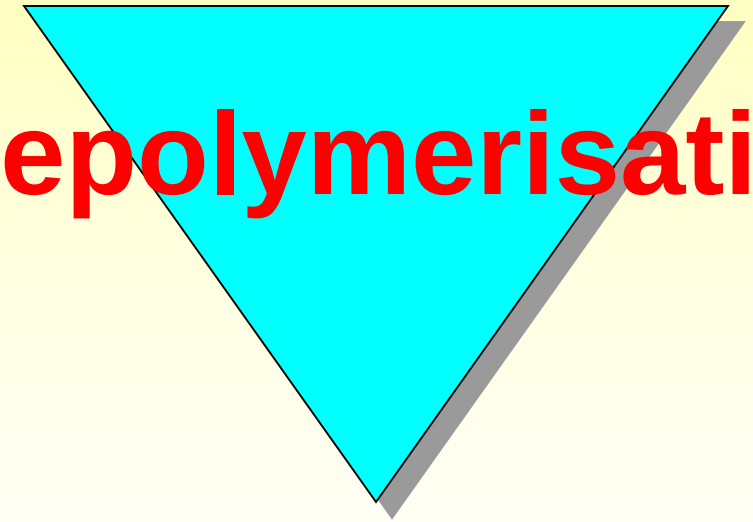
© Retranol GmbH


Retranol

# Papieralterung

**Feuchtigkeit**

**Temperatur**




**Säuren**

© Retranol GmbH 

Retranol

# Temperatur

- Betriebstemperatur ist abhängig von der Belastung und den Kühlmöglichkeiten (oft Fremdbestimmt)
- Bei forcierter Kühlung (Luft oder Wasser) lassen sich aber die Schaltpunkte für Lüfter und Pumpen einstellen.
- Oft sind diese Schaltpunkte ab Werk eher hoch eingestellt.
- Generell gilt je kühler je besser

© Retranol GmbH 

Retranol

# Lebenserwartung von Transformatoren

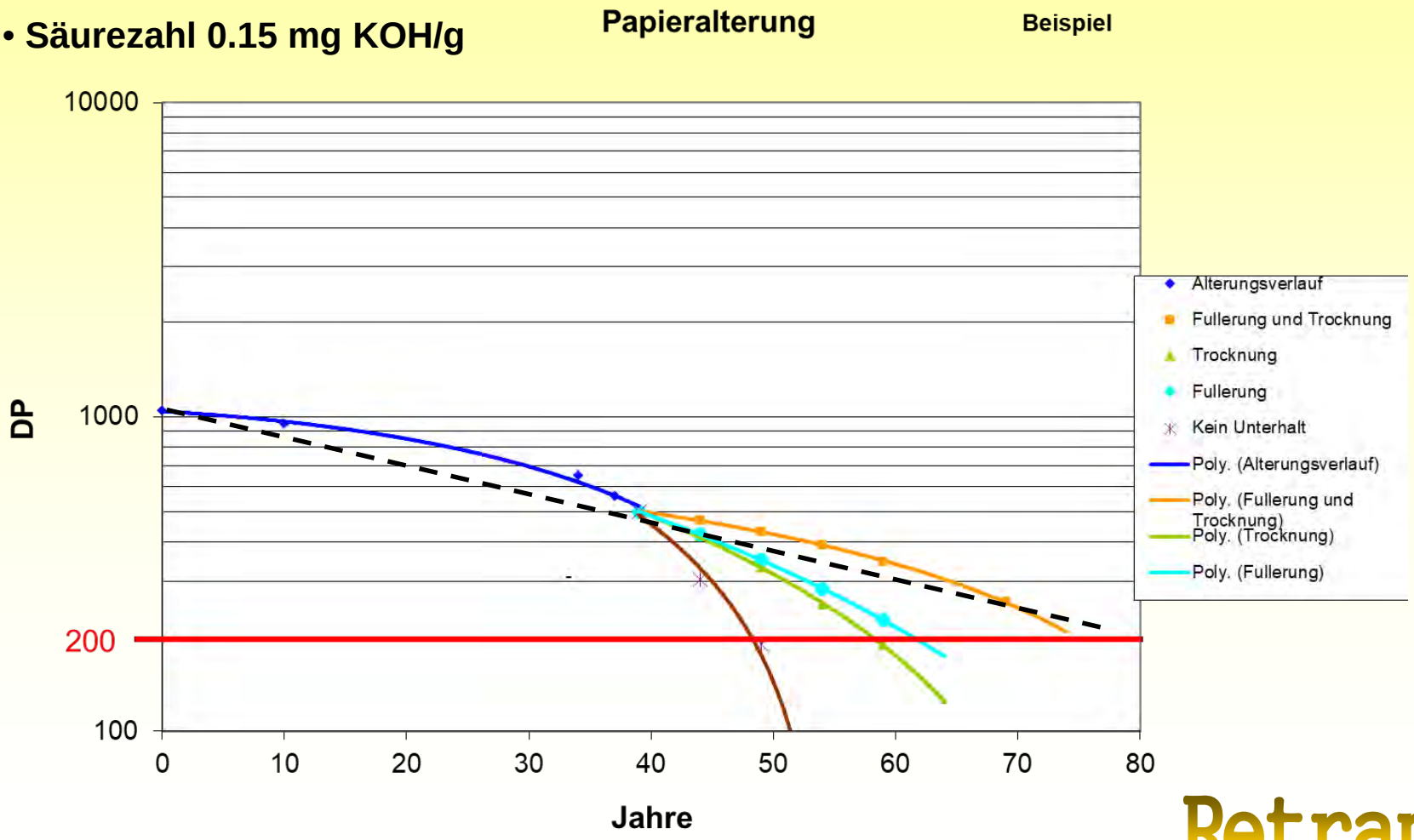
- Auslegung der Transformatoren basiert auf dem IEC loading guide.
- Bei Volllast mit entsprechenden Heisspunkttemperaturen (Hotspot) von ca. 98 ° C sind dies je nach Studie 10-15 Jahre.
- Diese Tests wurden aber jeweils unter idealen Bedingungen durchgeführt. (ohne zusätzlichen Wassereintrag oder Säureansammlung)
- Transformatoren in der Schweiz werden aber wesentlich älter…

© Retranol GmbH 

Retranol

# Alterungsverlauf (Beispiel)

- **Alter 39 Jahre**
- **DP wert aktuell: 500**
- **Feuchte: 2.5 %**
- **Säurezahl 0.15 mg KOH/g**




© Retranol GmbH 

Retranol

# Wie lange lebt ein Transformator?

**Niemand weiss das exakt,**

**aber sicher nicht ewig!!**

© Retranol GmbH 

Retranol

# Alterung von Transformatoren

**Die Alterung kann man nicht komplett stoppen, doch die Lebenserwartung und die Betriebssicherheit können durch gezielten Unterhalt erhöht werden**

© Retranol GmbH 

Retranol

# Zusammenfassung

- Die Papieralterung wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Feuchte und Säuren bilden dabei zwei Parameter, die man aktiv beeinflussen kann.
- Es gibt verschiedenste Vor-Ort Trocknungsmethoden mit unterschiedlichsten Leistungsbereichen. Je nach Anforderung gilt es, die passende Methode zu wählen.
- Mit einer Ölregeneration mit Fullererde kann die Säureproduktion massiv reduziert werden. Zudem werden durch das mehrmalige umwälzen des sauberen Öles Säuren aus dem Papier ausgewaschen.
- Je besser die Papierqualität im Transformator ist, je besser ist seine Betriebssicherheit.

© Retranol GmbH 

Retranol

# Fragen ?

Source: ETH Zürich Solid State Transformer Concepts in Traction and Smart Grid Applications J.W. Kolar, G.I. Ortiz

Retranol

© Retranol GmbH 