

# MICAFIL - Symposium 2004 , Filderhalle Stuttgart

## “Langzeitprüfungen und Lebensdauer von HS-Kabelanlagen“

Dr.-Ing. W.G. Weissenberg  
Brugg Kabel AG, Switzerland

[www.bugg.com](http://www.bugg.com)

Phone: +41 (0) 56 460 32 64

Fax : +41 (0) 56 460 35 36

[weissenberg.werner@brugg.com](mailto:weissenberg.werner@brugg.com)

Dipl.-Ing. O. Sekula  
Brugg Kabel AG, Switzerland

[www.bugg.com](http://www.bugg.com)

Phone: +41 (0) 56 460 33 87

Fax : +41 (0) 56 460 34 69

[sekula.olderich@brugg.com](mailto:sekula.olderich@brugg.com)

### 1. Kurzfassung

Mit Langzeitprüfungen an kompletten HS-Kabelsystemen werden durch Multistressbeanspruchungen die Alterung und die Funktionssicherheit der Bauelemente eines Kabelsystems getestet. Damit kann eine Abschätzung der Lebensdauer der einzelnen Komponenten der Kabelanlage bei Betriebsbelastung erfolgen.

In einem Präqualifikationstest werden durch extreme elektrische und überlagerte thermomechanische Beanspruchungen einer Kabelanlage über ein Jahr die elektrischen Parameter der Anlage, wie Langzeitwechselspannungsfestigkeit, Teilentladungsfreiheit, Stoßspannungsfestigkeit, aber auch das Temperaturverhalten während 180 Heizzyklen bis zur Grenztemperatur von 95°C, die Schrumpfung, das Ausdehnungsverhalten getestet.

Im Beitrag wird ein durchgeführter Präqualifikationstest an zwei kompletten 400-kV-VPE-Kabelsystemen vorgestellt. Es wird über die Standardanforderungen, den Prüfaufbau, die Durchführung der Tests, über angewendete Temperatur- und Teilentladungs-Monitoring-Methoden und die Auswertung der Lebensdauererwartung berichtet.

Es erfolgt eine Beurteilung der Prüfmethode des Präqualifikationstestes im Vergleich zur Inbetriebnahmeprüfung im Sinne des Lebensdauerverbrauches und der Restlebensdauer des Prüfobjektes.

### 2. Einleitung

Die Isolierung von Kabeln und den dazugehörigen Garnituren setzen sich aus unterschiedlichen Isolierstoffen zusammen. In Abhängigkeit von der Zeit, der Temperatur, den Umgebungsbedingungen und der Beanspruchung können in den Isolierstoffen sowie an den Grenzflächen zwischen den Isolierstoffen unterschiedliche reversible und irreversible Prozesse ablaufen. Bei den irreversiblen Prozessen tritt eine Degradation, eine Alterung des

Isolierstoffes ein /1/. Mit dem Alterungsprozeß findet ein Lebensdauerverbrauch statt, der zum elektrischen Durch- bzw. zum Überschlag führt.

Durch Kurzzeit- und Langzeitprüfungen von HS-Kabelanlagen mit einer praxisnahen Multistress-Beanspruchung bei höherer elektrischer Beanspruchung als im Betriebszustand soll die Lebensdauer des gesamten Isoliersystems einer HS-Kabelanlage ermittelt werden.

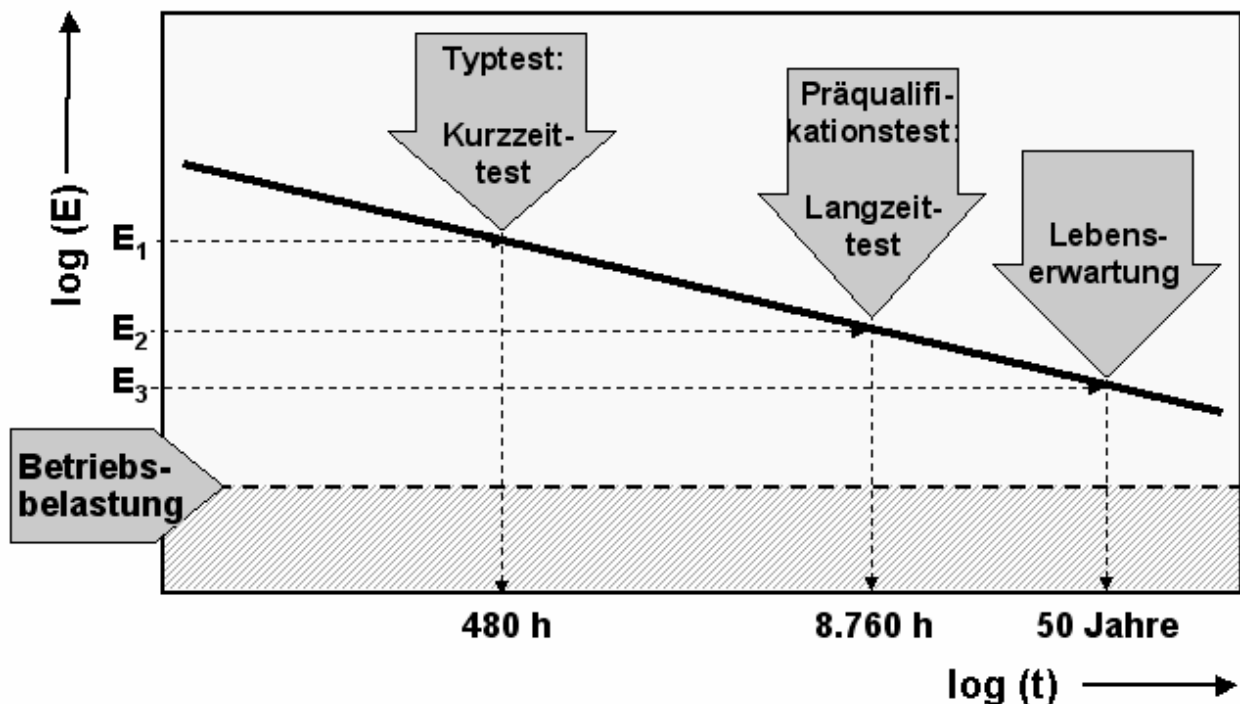


Bild 1: Bestimmung der Lebenserwartung von HS-Kabelanlagen

Für Höchstspannungskabel von 150 kV bis 500 kV mit Polymer-Isolierung gab es bis Oktober 2001 keine Normen. Bei der Erarbeitung der Internationalen Norm IEC 62067 „Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltage above 150 kV up to 500 kV – test methods and requirements“ /2/ wurde erstmals in einem speziellen Abschnitt ein Präqualifikationstest als Langzeitprüfung eingearbeitet.

### 3. Prüfaufbau für Präqualifikationstest

Dieser o.g. Norm /2/ entsprechend wurde an zwei 400-kV-XLPE-Kabelsystemen ein Präqualifikationstest bei dem Prüfinstitut CESI in Mailand/Italien von 2002 bis 2003 durchgeführt.

Die Prüfstrecke bestand aus zwei je 120 m langen 400-kV-XLPE-Kabeln, die in einer Schleife zu einem Heizkreis miteinander verbunden waren.

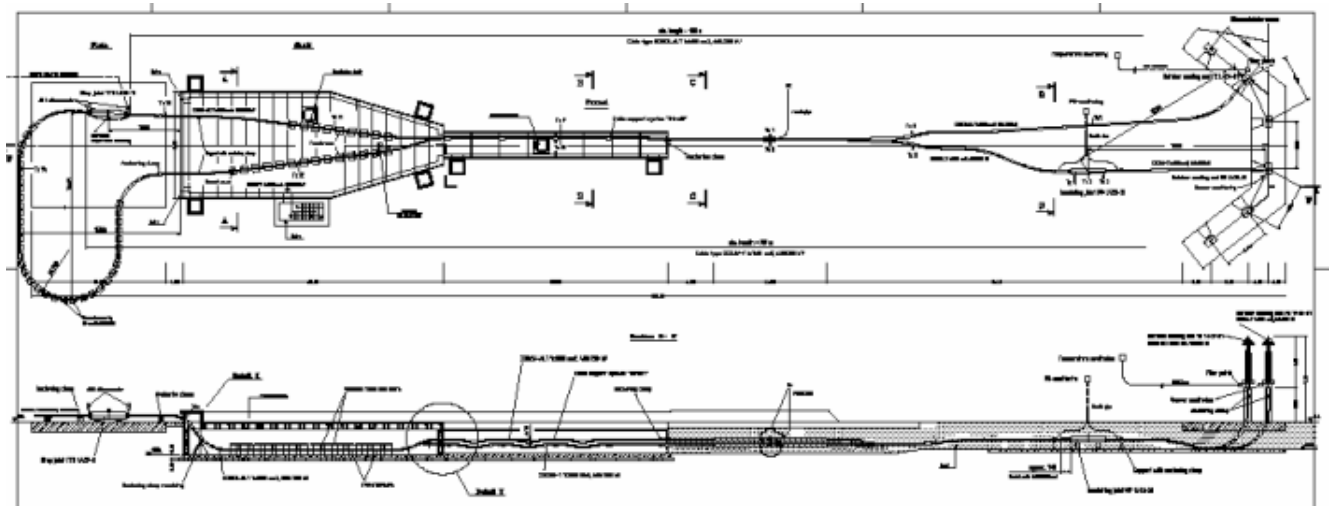


Bild 2: Prüfaufbau für Präqualifikationstest

Die Kabel waren in verschiedenen Medien wie Erdreich, Sand, Kunststoffrohren und in einem Tunnel verlegt.

Das eine Kabel XDCUW-T  $1 \times 1600 \text{ mm}^2$  230/400 kV hatte einen Kupfer-Wellmantel (Bild 3) und das zweite Kabel XDRCU-ALT  $1 \times 1600 \text{ mm}^2$  230/400 kV einen Aluminium-Schichtenmantel (Bild 4).

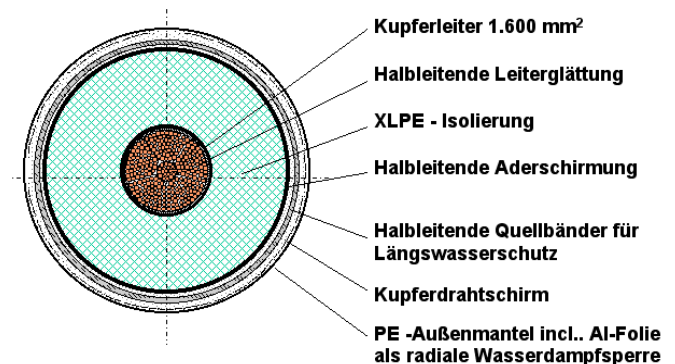


Bild 3: Testkabel mit Kupfer-Wellmantel

Bild 4: Testkabel mit Aluminium-Schichtenmantel

In die Teststrecken eingebaut waren eine vorgefertigte und vorgeprüfte Silikon-Aufschiebemuffe (Bild 5) als cross-bonding-Muffe mit Isoliergehäuse und integrierten Teilentladungssensoren (Bild 6), zwei Schaltereinführungsendverschlüsse als back-to-back-Spezialmuffe

(Bild 7) sowie ein 400-kV-Freiluftendverschluss mit Porzellanisolator (Bild 8) und ein Verbundisolator mit Silikonbeschirmung, SF<sub>6</sub>-Isoliergasfüllung und Drucküberwachung (Bild 9).



Bild 5: vorgeprüfte Silikon-Aufschiebmuffe



Bild 6: cross-bonding-Muffe mit integrierten Teilentladungs-Sensoren

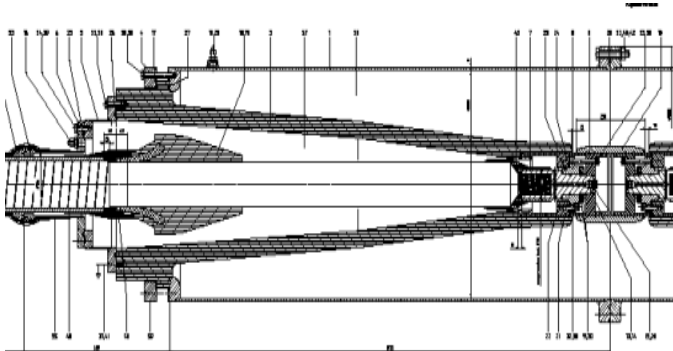


Bild 7: Zwei Schaltereinführungsendverschlüsse als back-to-back-Spezialmuffe



Bild 8: Porzellanendverschluss



Bild 9: Endverschluss mit Verbundisolator

#### 4. Prüfablauf

Alle im Präqualifikationstest angewendeten Komponenten müssen vor Aufbau der Prüfstrecke einen Typentest bestanden haben .

Während des Präqualifikationstestes erfolgt eine 50-Hz-Wechselspannungsbelastung über ein Jahr mit  $1.7 U_0 = 375 \text{ kV}$ . Mit einem Heizstrom wird der Kupfer-Leiter über die ganze Kabelstrecke zyklisch auf  $0^\circ\text{C}$  bis  $5^\circ\text{C}$  über die maximale Leitertemperatur, also auf  $90^\circ\text{C}$  bis  $95^\circ\text{C}$  aufgeheizt und anschließend durch natürliche Kühlung wieder abgekühlt. Durch die relativ dicke XLPE-Isolierung bedingt ist die Heizphase 16 Stunden und die Abkühlphase 32 Stunden lang. In dem Testjahr wird die Kabelanlage mit insgesamt 180 Zyklen beansprucht. Der Verlauf eines Heizzyklus ist in Bild 10 dargestellt.

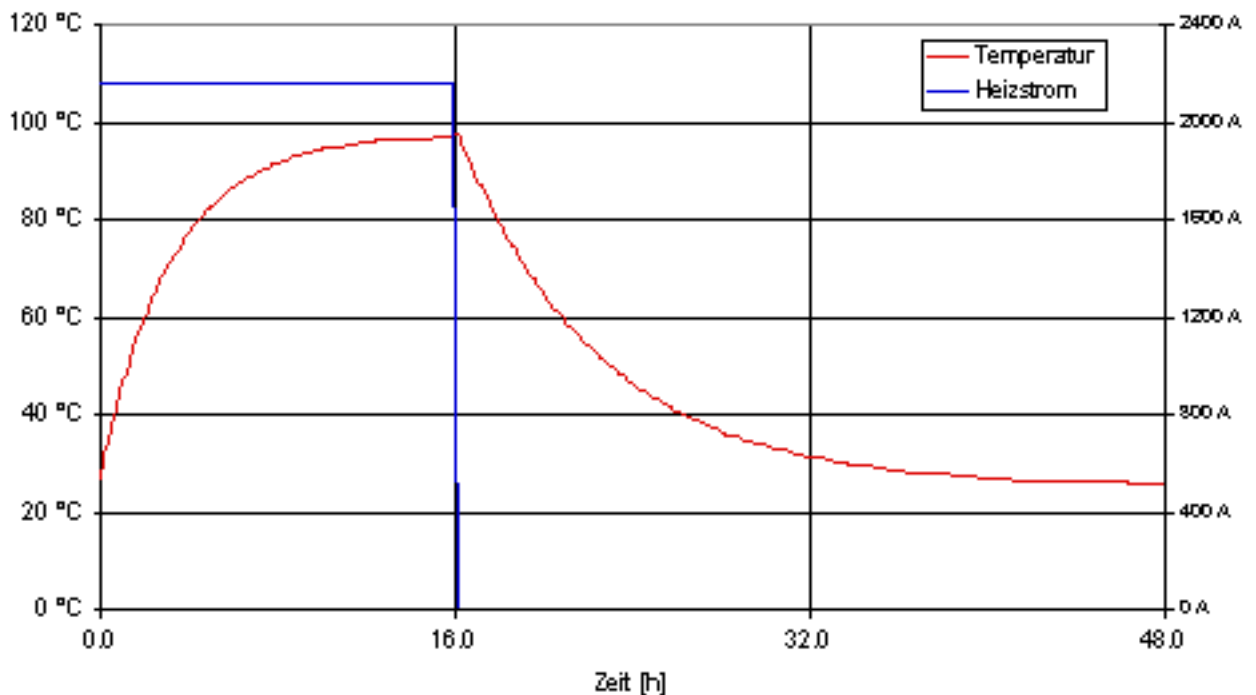


Bild 10: Der Verlauf eines Heizzyklus

Mit einem Lichtwellenleiter kann die erreichte Temperatur entlang der Kabelstrecke über die ganze Testzeit überwacht werden.

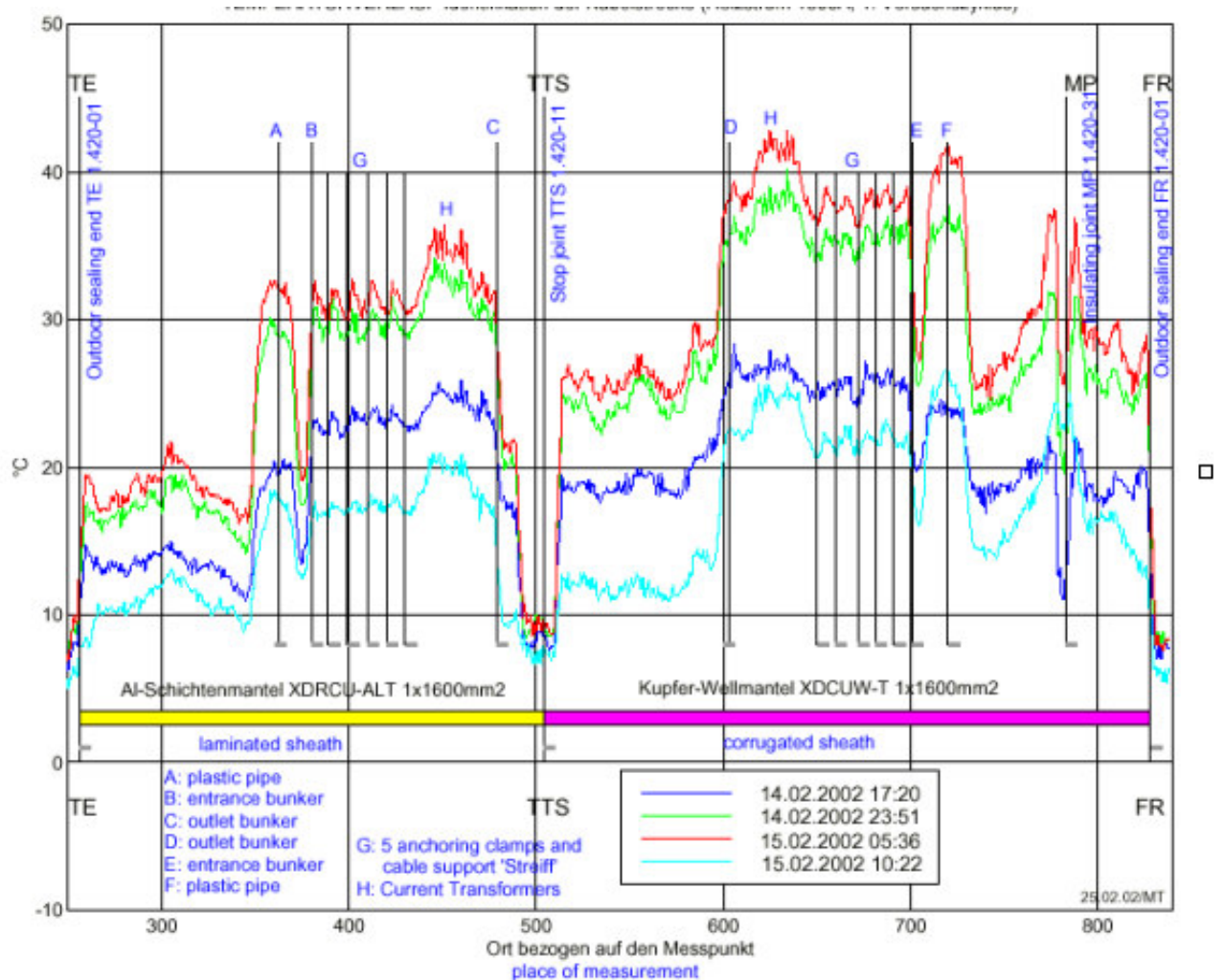


Bild 11: Temperaturverlauf entlang der Kabelstrecke beider HS-Kabeltypen bei 1800 A

Die Teilentladungen(TE-)Sensoren ermöglichten ein ständiges TE-Monitoring vor Ort und von der Schweiz aus. Es wurden Richtkoppler /3/ als TE-Sensoren angewendet.

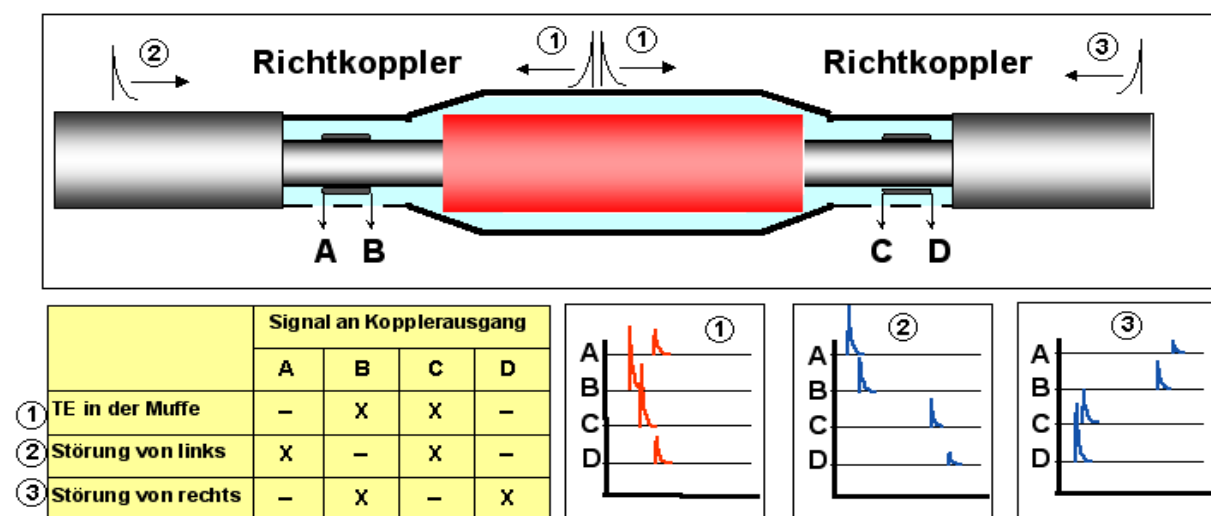


Bild 12: Ortsselektive TE-Messung mit Richtkopplern



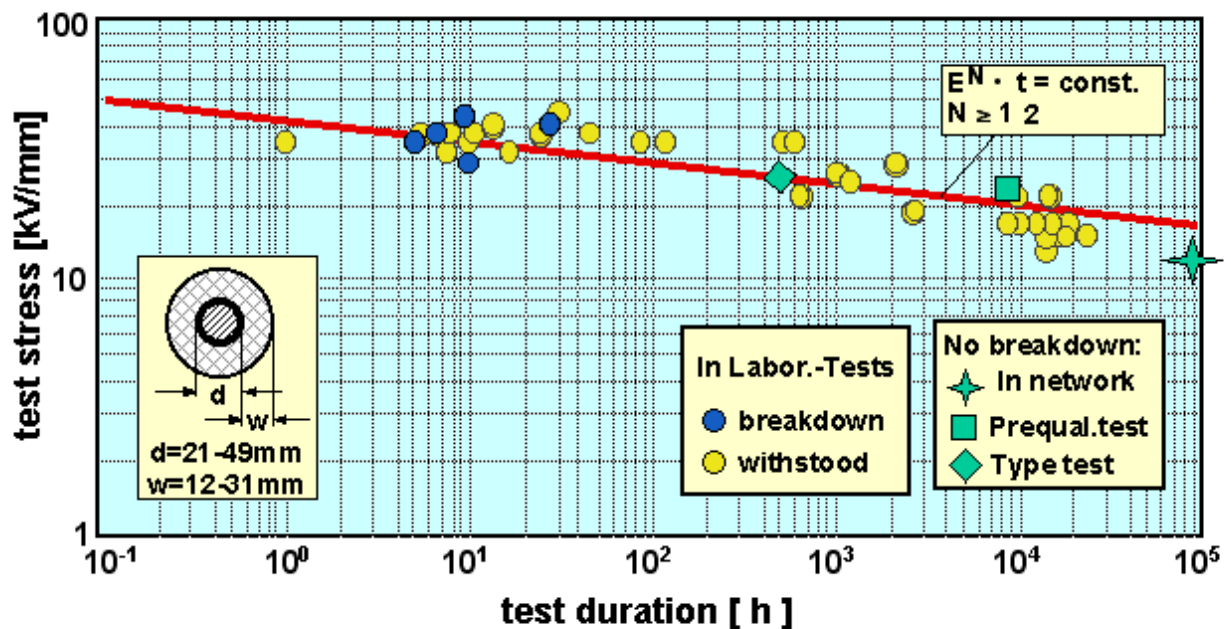
Nach einem Jahr (8760 h) Beanspruchung ohne Durch- bzw. Überschlagen wurde die Wechselspannungsprüfung beendet. An den „warmen“ Kabelkomponenten mit 95 °C Leitertemperatur werden danach Blitz-Stoßspannungs-Prüfungen mit je 10 positiven und 10 negativen Impulsen 1,2/50  $\mu$ s, 1425 kV durchgeführt. Nachdem auch diese Prüfungen ohne Durch- bzw. Überschlagen bestanden worden sind, wurden die einzelnen Komponenten der Kabelanlage visuell auf Alterungserscheinungen untersucht.

## 5. Prüfergebnisse

Im Jahre 2003 konnte der Präqualifikationstest für alle Komponenten der 400-kV-XLPE-Kabelanlage erfolgreich beendet werden. Die Bauelemente zeigten keine visuell sichtbaren Alterungserscheinungen.

Das Temperatur- und TE-Monitoring haben sich unter diesen extremen Bedingungen bestens bewährt.

Die positiven Ergebnisse der Prüfung ermöglichen eine Lebensdauerabschätzung für die 400-kV-XLPE-Kabel (Bild 15) und die Garnituren (Bild 16) von weit über 50 Jahre Nutzungsdauer bei einer elektrischen Beanspruchung mit der Netzspannung.



(© Prof. Peschke, Prof. v. Olshausen)

Bild 15: Lebensdauerabschätzung für die 400-kV-XLPE-Kabel

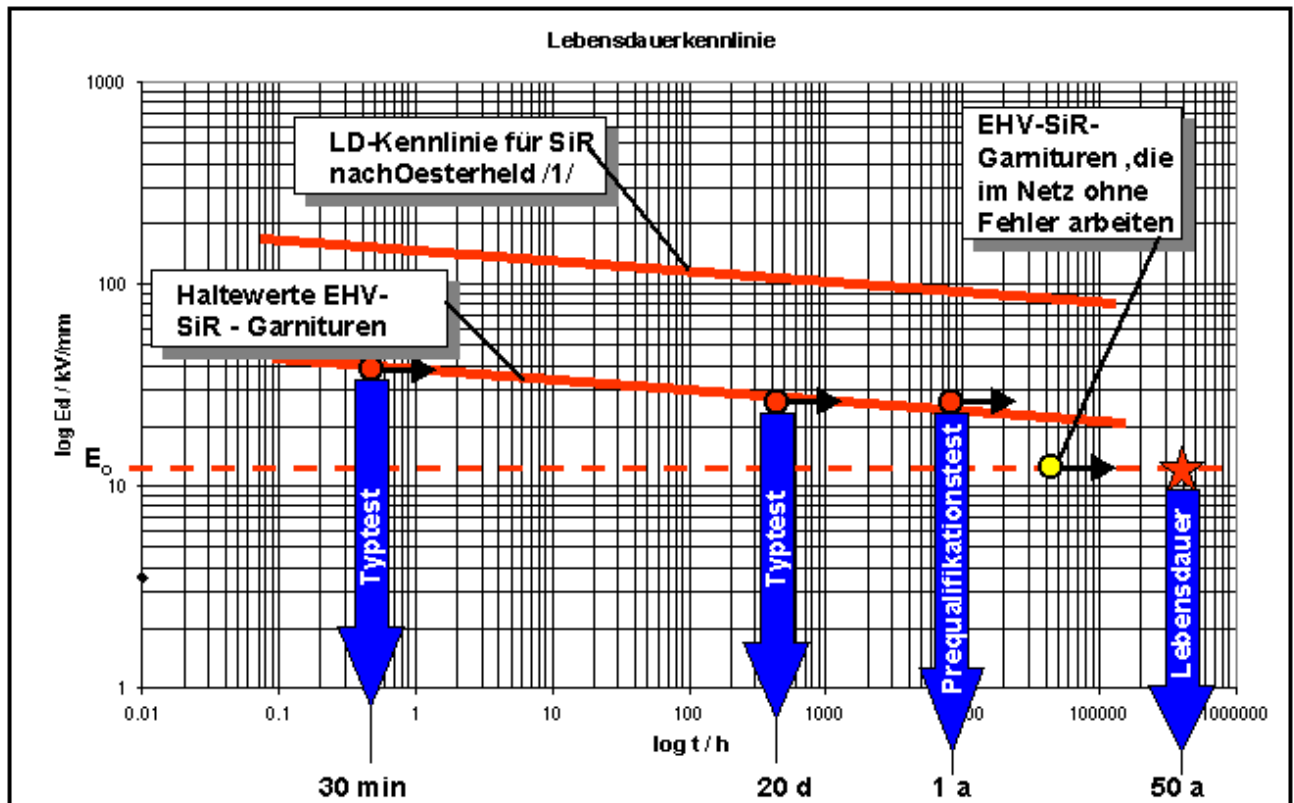


Bild 16: Lebensdauerabschätzung für die Garnituren (Silikon-Aufschiebmuffe)

## 6. Zusammenfassung

Ein Präqualifikationstest als Langzeittest nach den standardisierten Prüfbedingungen in der IEC 62067 /2/ ermöglicht eine gute Selektierung von guten und schlechten Isolierstoffsystemen und eine gute Einschätzung der Lebensdauer eines kompletten Kabelsystems mit seinen Einzelkomponenten.

Während der Prüfung waren Temperatur- und TE-Monitoring bestens geeignet, den aktuellen Betriebszustand der Anlage zu bewerten.

Jede Prüfung ist ein Lebensdauerverbrauch der Systemkomponenten. Bei Typprüfungen und bei einem Präqualifikationstest sind die Beanspruchungen und damit der Lebensdauerverbrauch sehr hoch (Bild17). Nach dem Test werden die Prüflinge verschrottet. Für Stückprüfungen und für Prüfungen nach der Installation von HS-Kabeln und Garnituren darf der Prüfpegel und damit der Lebensdauerverbrauch während dieser Prüfungen nicht so hoch sein, da diese Bauelemente ihre ganze Nutzungszeit im Netz ja noch vor sich haben. Die Prüfpegel in den Standards sind deshalb auf diese Anforderungen abgestimmt.



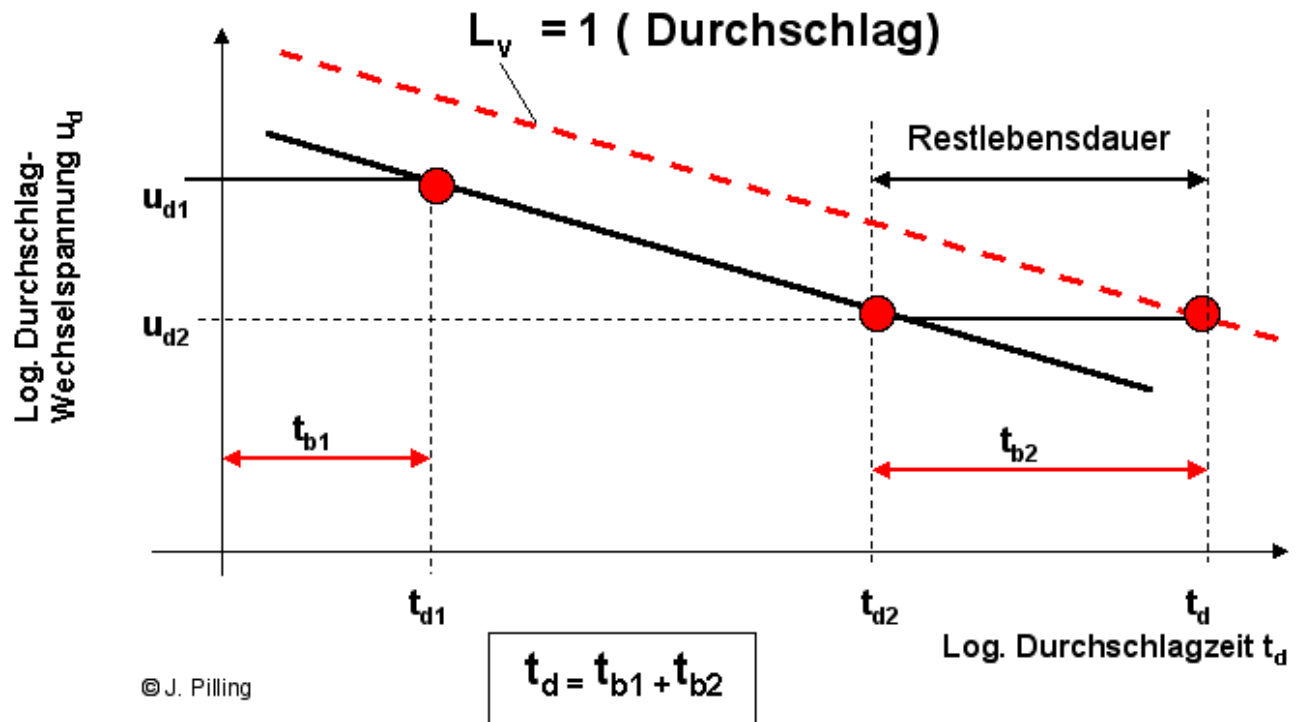


Bild 17: Ablauf der Alterung bei hohen Prüfpegeln (Lebensdauerverbrauch)

## 7 Literatur

- /1/ Weissenberg, W; v. Olshausen, R; Kalkner, W. : Die elektrische Zeitstandfestigkeit von vernetztem Polyethylen. Erschienen in Kontakt und Studium, Vol. 111: Kunststoffe in der Kabeltechnik, edited by H.J.Mair; Expert-Verlag, Renningen\_Malmsheim 1999
- /2/ IEC 62067 „Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltage above 150 kV up to 500 kV – test methods and requirements“
- /3/ D. Pommerenke, T. Strehl, R. Heinrich, W. Kalkner, F.Schmidt, W.Weissenberg: Discrimination between Internal PD and other Pulses using Directional Coupling Sensors on High Voltage Cable Systems, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.6, No 6, December 99, pp. 814-824