

**ZUSTANDSERFASSUNG
UND
BEWERTUNG
VON
DURCHFÜHRUNGEN
IM BETRIEB**

Verfasser:

Karl Widmaier
Leiter Service

EINLEITUNG

Gedanken und Ziel dieses Referates sind:

Durch

- optimalen Unterhalt
- Erkennen des Ist-Zustandes der Durchführung
- Früherkennung von Fehlerquellen
- Richtige Empfehlungen
- Geeignete und zweckmässige Massnahmen

die Betriebszeit der Durchführungen und die Verfügbarkeit der Transformatoren zu steigern.

Um den Isolationszustand richtig zu analysieren und zu diagnostizieren ist ein breites Informationsband nötig.

Umfangreiche Erfahrungswerte sind vor allem von Hauptpapier-Durchführungen vorhanden, wo MICAFIL nun seit 26 Jahren neben den Nachmessungen im Labor auch Vor-Ort-Messungen durchführt.

Weltweit sind aus unserem Hause im Spannungsbereich 24 – 800 kV heute etwa 400'000 Transformator-Durchführungen in Betrieb.

Um eine ständige Weiterentwicklung auf dem Gebiet von

- Konstruktion und Bauweise neuer Durchführungs-Generationen, bei welchen die Erkenntnisse aus dem Betrieb der Hauptpapier-Durchführungen berücksichtigt werden
- neuen Isolationssystemen
- Objekt- und Personenschutz

zu erreichen, sind die Erfahrungswerte aus dem Betrieb sehr wichtig und notwendig.

Die markanten Verbesserungen der Betriebsstatistiken und der Verfügbarkeit lassen die später gezeigten Statistiken erkennen.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1 Baureihen von Durchführungen	4
1.1. Hartpapier-Durchführungen	4
1.2. Durchführungen mit ölimprägnierter Isolation	5
1.3. Harzimpregnierte Durchführungen	6
2 Diagnostik	
2.1. Ziel	8
2.2. Struktur zur Bewertung	9
2.3. Kenntnisse des Designs und der Charakteristik der Durchführung	10
2.4. Lebenserwartung/Alterung	11
2.5. Verursacher & Merkmale der Alterung	12
2.6. Messmethoden und Messerfahrung	14
2.7. Fazit der Ueberwachung	16
2.8. Statistiken	17
2.9. Bewertung und Interpretation der Messungen	18
3 Empfehlungen	22
4 Aktionen	24
5 Austauschbarkeit	24

1 *BAUREIHEN VON TRANSFORMATOR-DURCHFÜHRUNGEN*

1.1. *Hartpapier-Durchführungen*

Innere Isolation

Bei Hartpapier handelt es sich bekanntlich um mit Kunstharz beschichtetes Isolierpapier, das unter Hitze und Druck verklebt wird.

Die Markennamen lauten **Superresocel** (Kresolharz) bzw. **Drysomic** (Epoxidharz).

Die Feldsteuerung erfolgt durch halbleitende Kondensatorbeläge, die in radialen Abständen von ca. 0,8 - 1,2 mm angeordnet sind. Durch den Aufbau einer Serieschaltung von Zylinderkondensatoren wird die Feldverteilung in radialer und achsialer Richtung in gewünschter Weise erreicht.

Hartpapier gehört in die Wärmeklasse E (Dauertemperatur 120°C).

Mechanischer Aufbau

Hier gibt es drei Bauarten von Transformator-Durchführungen:

a) **mit Porzellanelementen**

- Flansch heiss auf den Isolierkörper aufgeschrumpft
- Aufbau der Isolatorsäule durch Porzellanelemente. Zwischen den Porzellanen, zwischen Flansch und Porzellan, zwischen Porzellan und Kopfplatte sind Gummi-Kork-Dichtungen angebracht
- Der Porzellanüberwurf wird mittels Federn im Kopf gegen den Flansch gespannt
- Weichgelötete Kopfhaube, in der Regel keine Oelöffnung und keine Oelstandsanzeige am Kopf
- Oelfüllung: Gemischtes Isolieroel mit hoher Viskosität (ca. 1000 cSt/ 20°C)

b) **Mit einteiligem Porzellan-Isolator** (meist grosse Durchführungen)

- Verspannung zwischen Porzellan und Flansch in der Regel durch Klauensystem
- Dichtungssystem: O-Ringe oder Flachdichtungen
- Kopfpattie meist mit Ölstandanzeiger
- Oelfüllung: Transformatoroel

c) **Variante des Füllstoffes**

Anstelle der Oelfüllung wird eine Compoundfüllung (relative Dielektrizitätskonstante ähnlich wie Oel) vorgesehen, die den Einbau in beliebiger Lage erlaubt. Anwendung meist für Hochstrom-Durchführungen, Mauerdurchführungen und Transformator-Durchführungen mit horizontaler Einbaulage.

1.2. *Durchführungen mit oelimprägnierter Isolation*

Innere Isolation

Der fertig gewickelte Isolierkörper aus reinem Kraftpapier wird nach einer Trocknungsperiode mit Isolieröel niedriger Viskosität unter Vakuum durchimprägniert. In der Regel werden Mineralöle mit einem Inhibitor zur Alterungsbeständigkeit verwendet.

Die Weichpapier-Durchführung benötigt am Unterteil einen dicht abschliessenden Überwurf, der in der Regel aus Porzellan besteht. Das Oel ist hier aktive Isolation.

Weichpapier gehört in die Wärmeklasse A (Dauertemperatur 105°C).

Mechanischer Aufbau

Es gibt hauptsächlich drei Bauarten von Durchführungen:

a) **Reihe 73 - 300 kV**

Aufbau von unten nach oben:

- Fussplatte mit Dichtungen (O-Ring, Flachdichtung)
- Unterteilporzellan mit Dichtungen
- Flansch (zentriert, jedoch lose) mit Dichtungen
- Freiluftseitiger Porzellan mit Dichtungen
- Kopfplatte d.h. untere Schalenhälfte des Expansionsgefässes
- Federpaket im Inneren der Schalenhälfte, d.h. Zentralverspannung aller Dichtungssysteme über das Federsystem
- Oben Schalenhälfte verschweisst am Rohr mit unterer Schalenhälfte
- Oelfüllung Mineralöl Shell Diala D
- Oelschaugläser im Expansionsgefäss

b) Reihe 300-765 kV

Im Prinzip wie oben, jedoch freiluftseitiger Porzellan mittels Klauen am Flansch befestigt. Aufbau von unten nach oben:

- Trägerrohr
- Fussplatte mit Dichtungen (O-Ring, Flachstützdichtung)
- Unterteilporzellan (teilweise mit Klauenverspannung zum Flansch) mit Dichtungen
- Flansch mit Dichtungen
- Freiluftseitiger Isolator mit Klauenverspannung zum Flansch verspannt, mit Dichtungen
- Kopfplatte oder untere Haubenhälfte
- Federpaket im Inneren des Expansionsgefäßes, d.h. Zentralverspannung aller Dichtungssysteme ausser der Flanschpartie
- Oben Schalenhälfte verschweisst mit unterer Hälfte
- Oelfüllung Mineralöl Shell Diala D
- Ölstandanzeiger im Expansionsgefäß oder Schaugläser

c) Variante bezüglich Isolatorbefestigung

Im Prinzip wie b), jedoch Befestigung des Freiluftisolators am Flansch mittels zementierten Kittflansch.

1.3. Harzimprägnierte Durchführungen**Innere Isolation**

Bei dieser Isolierung wird der aus hochwertigem Krepppapier fertig gewickelte Isolierkörper nach einem Trocknungsprozess unter Vakuum vollständig mit Harz (Epoxidharz spezieller Formulierung) imprägniert. Unter vorgeschriebenen Temperaturzyklen findet die Aushärtung statt.

Die Feldsteuerung geschieht mit Kondensatoreinlagen aus Aluminium-Folien.

Mechanischer Aufbau

Hier wird neben den Transformator-Freiluft-Durchführungen zusätzlich noch die Transformator-SF6-Durchführung für direkten Anschluss an SF6-Anlagen beschrieben.

a) **Baureihe 1975; 24 bis 245 kV**

Aufbau im Prinzip wie die Hartpapier-Durchführungen

- Isolierkörper wird nach Vorgabe mechanisch bearbeitet
- Flansch wird mittels Dichtungen und Klebemittel oeldicht am Isolierkörper befestigt
- Durchführungen mit Messanschluss
- Zwischen Flansch, Porzellanelementen und Kopf verklebte Gummi-Kork-Dichtungen
- Isolieroelmischung mit hoher Viskosität
- Zentralverspannung im Kopf
- Expansionsgefäß am Zentralrohr und an der Kopfplatte weichgelötet

b) **Baureihe 1984: 73 bis 420 kV**

- Isolierkörper für die Befestigung mechanisch bearbeitet
- Flansch mittels O-Ringen, Klebemittel und Ringverbindungen oeldicht am Isolierkörper befestigt
- alle Durchführung mit Messanschluss
- O-Ring zwischen Flansch und Isolator, Flachdichtung zwischen Isolator und Kopf
- Isolator mit zementierter Kittflansch-Befestigung
- Füllung Shell Diala D oder (auf Kundenwunsch) auch Öl hoher Viskosität
- Federverspannung im Expansionsgefäß
- Ölstandsanzeiger
- Verschlusschraube am Expansionsgefäß
- Doppel-O-Ring-System am Kabelbolzen oder Kupferleiter
- Auf Wunsch Abschirmung am Unterteil oder rückgesteuerte Version

c) **Öl-SF₆-Durchführungen 73 - 525 kV**

Im Flansch und der SF₆-seitig angeordneten Flanschplatte befindet sich ein ausgereiftes Dichtungssystem.

- SF₆-seitig führt ein Kanal nach aussen, woran vor Ort eine Leckratenmessung gemacht werden kann.

2 *DLAGNOSTIK*

2.1. *Ziel*

- RISIKOREDUKTION
- ERKENNEN VON VERÄNDERUNGEN
- VERHINDERUNG KATASTROPHALER FEHLER
- ANALYSIEREN DES ISOLATIONSZUSTANDES
- EINSCHÄTZUNG DES IST-ZUSTANDES
- ENTSCHEIDUNGSFINDUNG
- EMPFEHLUNGEN
- AKTIONEN

2.2. *Struktur zur Bewertung*

Es ist ein umfassender Kenntnisstand der Durchführungs-Bauweise, der Vorgeschichte, der Struktur und des Alterungsverhaltens des Isoliermaterials, der Betriebsbedingungen, der temporären Dynamiken, der Messmethoden, der externen Beeinflussungen, usw. notwendig.

Daten und Hilfsquellen:

- Originalwerte der Kennwerte Verlustfaktor $\tan\delta$ und Kapazität sowie des TE-Verhaltens
- Interpretation der Qualität der Neuwerte
- Vergleichswerte aus gleicher Fabrikationsperiode
- Kenntnisse der Charakteristiken der Isoliermaterialien
- Kenntnisse der Bauweise und „Schwächen“ des Apparates
- Statistiken und deren Interpretation
- Verstehen von Messdaten
- Kenntnisse der Messmethode
- Erkennen von Trends
- Vergleichsdaten
- Kenntnisse über die Betriebsgeschichte
- Kenntnisse über Vorfälle im Betrieb
- Kenntnisse über die Umweltbedingungen
- Kenntnisse über frühere Manipulationen
- Kenntnisse über Revisionen
- Erfahrungswerte aus Schäden

und nicht zuletzt:

- Informationen über die Zukunft des Transformators

ergeben das

FUNDAMENT

für eine bestmögliche Diagnose,
beziehungsweise Entscheidungsfindung

2.3. *Kenntnisse des Designs und der Charakteristik der Durchführung*

2.3.1 *Hartpapier-Durchführungen*

- a) **Kontaktstellen Isolierkörper**
hochspannungsseitig:
- eingewickelte Alufolie einseitig lackiert
Potentialverbindung zwischen Rohr und Alufolie, in der Regel durch eingewickeltes Metallbändchen
- erdseitig:
- Alufolie in Verbindung mit Stahlband
 - Kontaktstelle (Stahlband) von aussen freigelegt und mechanisch verstärkt durch eingelötetes Kupferplättchen
 - Messanschluss mit Stift und Feder drückt auf die Kontaktstelle
- b) **Isolierkörper**
- Bei .kf-Typen reichen die halbleitenden Kondensatorbeläge am trafoseitigen Ende bis an die Körperoberfläche
 - Luftanteil im Isolierkörper 15-25 Volumen%
(fein verteilt in der Zellulose und in Schwundrissen)
 - Verlustfaktor $\tan \delta$ neu 0,50 bis 0,70 %
 - Anstieg des $\tan \delta$ in Funktion der Temperatur bis ca. 60 °C gering
 - Teilentladungsniveau bei Betriebsspannung:
Superresocel: bis 150 pC
Drysomic: < 5 pC

2.3.2 *Öl-imprägnierte Isolation*

- a) **Kontaktstellen Isolierkörper**
- Die Hochspannungsseite der aktiven Isolation bildet das zentrale Trägerrohr, keine zusätzliche Kontaktierung
 - mit dem letzten erdseitigen Belag ist ein Kupfer- oder Stahlband für die Kontaktierung eingewickelt
 - Freilegen des Kontaktes erfolgt auf der Wickelmaschine
 - Die Verbindung zum Messanschluss wird durch ein flexibles, am Isolierkörper weichgelötetes Kabel mit ölfester Isolation hergestellt

b) Isolation

- Isolierkörper kompakt, luftfrei und oelimpregniert
- Verlustfaktor $\tan\delta$ zwischen 0,25 und 0,5 %
- kein Anstieg des $\tan\delta$ in Funktion der Temperatur bis ca. 70 °C
- Oelqualität des Füllöls: Wassergehalt < 10 ppm
 Durchschlag > 50kV/2,5mm
- Teilentladungsniveau bis doppelte Betriebsspannung < 5 pC.

2.3.3. Harzimpregnierte Durchführungen (RIP)**a) Kontaktstellen am Isolierkörper**

- im Hochspannungsbereich

- zwischen Trägerrohr und erster Alufolie durch miteingewickelter Bändchen oder am Rand von aussen hergestellter Kontakt. Die Verbindung zum Rohr erfolgt mittels einer Litze.

- im erdseitigen Bereich

- Alufolie in Verbindung mit Stahlband
- Kontaktstelle (Stahlband) am fertigen Isolierkörper von aussen freigelegt und mechanisch verstärkt durch eingelötetes Kupferplättchen
- Messanschluss mit Stift und Feder drückt auf die Kontaktstelle oder Verbindung mit angelöteter flexibler Litze

b) Isolation

- öl- und gasdichter Feststoff-Isolierkörper
- Verlustfaktor $\tan\delta$ zwischen 0,25 und 0,45 %
- kein Anstieg des $\tan\delta$ in Funktion der Temperatur bis ca. 70 °C
- Teilentladungsniveau bis über doppelte Betriebsspannung < 5 pC

2.4. Lebenserwartung - Alterung

Grundsätzlich sind alle festen und flüssigen Isoliersysteme einer gewissen Alterung als Folge der zeitlichen, elektrischen, thermischen und mechanischen Beanspruchungen unterworfen. Als Dimensionierungsbasis für die Lebensdauer werden in der Regel die Betriebsfeldstärken zu Grunde gelegt. Die zulässigen Betriebsfeldstärken variieren je nach Isoliersystem. Es wird von einer Lebensdauer > 30 Jahren ausgegangen.

Die Resultate aus vielen tausend Messungen zeigen:

- Es können schadhafte oder erhöht gealterte Isolationen entdeckt werden
- Durch die Kenntnis des Isolationszustandes kann die Lebensdauer unter Umständen wesentlich verlängert werden.

2.5 *Verursacher und Merkmale der Alterung*

2.5.1 *Hartpapier-Isolation*

Betriebskomponente:

- hohe Betriebstemperaturen
- häufige Last- und Temperaturschwankungen
- Evakuieren des Trafos mit aufgebauten Durchführungen
- Umweltbeeinflussung wie Korrosionsschäden, Leckagen, Eindringen von Feuchtigkeit oder innere Überschläge
- Überspannungen, äussere Überschläge, Blitzeinschläge

Isolationskomponente:

- Risse durch Temperaturzyklen
- Abbau des Harzes oder des Papiers (Erosion) durch starke Teilentladungen
- Versteuerung der Spannungsverteilung durch ungleichmässigen Anstieg der Kapazitätswerte infolge Eindringen von Öl und der Verdrängung der naturgemäss im Hartpapier vorhandenen Luft (lokale Erhöhung der diel. Konstante). Öl dringt in der Regel durch die entstandenen Risse ein. Die Tränkung des harzbeschichteten Papiers weitet sich von den Rissen beginnend aus.
- Umwandlung des in den Körper eingedrungenen Oels in X-Wachs als Folge starker Teilentladungen
Eindringen von Feuchtigkeit in die Isolation, Verschlechterung von Potentialverbindungen (Oelfilm bei Feder-kontakten, Risse)
- Die Isolation kann am Trägerrohr oder an den Alubelägen im Erd- und Hochspannungsbereich verrutschen (Schwächung der Klebfestigkeit durch das eingedrungene Öl), dadurch können Unterbrüche an den Potentialverbindungen entstehen
- Erhöhung des Verlustfaktor $\tan \delta$ in Funktion der Temperatur als Folge der Alterung
- Erhöhung des Verlustfaktor $\tan \delta$ in Funktion der Temperatur als Folge eingedrungener Feuchtigkeit

Durch höhere dielektrische Verluste wird mehr Eigenwärme erzeugt. Durch weitere Faktoren wie Sonnenbestrahlung oder hohe Temperaturen an den Stromverbindungen steigt dann das Risiko einer thermischen Instabilität, was zum Wärmedurchschlag führen kann.

Mechanische Komponente:

Oelverlust und eingedrungene Feuchtigkeit infolge

- Risse am Porzellan
- Defekte Dichtungen
- Undichte Kopfarmaturen

2.5.2 Oelimprägnierte Isolation

Vom Betrieb her gilt hier ähnliches wie bei der Hartpapier- Isolation, wobei das uneingeschränkte Evakuieren des Transformators mit eingebauten Durchführungen erlaubt ist.

Ein besonderes Augenmerk muss auf hohe oder zu hohe Betriebstemperaturen gelegt werden. Die Oelsäule der Durchführung reicht bis zur Fussplatte im Inneren des Trafos. Durch das zirkulierende Oel wird die Durchschnittstemperatur der Durchführungs-Isolation wesentlich höher als bei trockenen Isolationen, bei welchen die Freiluftseite zur Transformerseite getrennt ist.

Max. zulässige Temperatur: 105 °C

Hier kann auf Untersuchungen über das Alterungsverhalten von oelimprägnierter Isolation in Funktion der Temperatur hingewiesen werden.

Isolationskomponente:

- Teilentladungen in der Isolation z.B. infolge Lufteinschlüsse durch falsche Transport- oder Einbaumanipulationen, welche einen starken Abbau des Isolieroels und Papiers zur Folge hat
- Schmutzablagerungen im Fussbereich (im Bereich hoher Feldstärken)

Mechanische Komponente:

- Eindringen von Feuchtigkeit in die Durchführungen durch äussere Beschädigungen.
„Verursachte“ Undichtigkeiten infolge unsachgemässer Behandlung von Verschlusschrauben z.B. bei häufigen Oelprobennahmen.
- Oelverlust
- mechanische Schäden wie Haarrisse am Unterteilporzellan durch Spannungen und Wärmezyklen

2.5.3 Harzimprägnierte Durchführungen

Isolationskomponenten

Bis heute sind keine Erkenntnisse vorhanden, da noch kein Schadenfall aufgetreten ist und noch keine grösseren Untersuchungen stattgefunden haben.

Mechanische Komponente

- Bruch von Porzellan, Eindringen von Feuchtigkeit
- Bei Durchführungen mit Kunststoff-Isolatoren sind Brüche und Risse kaum möglich

2.6. Messmethoden und Messerfahrungen

Langzeiterfahrungen über den Zustand einer Isolierung können im Labor nur bedingt gesammelt werden. Durch viele Nachprüfungen im Labor während Reparaturen und Revisionen, auch von bereits vor Ort gemessenen Durchführungen, konnte ein umfangreicher und breit gefächelter Wissensstand aufgebaut werden.

Messmethoden

Es gibt viele Messmethoden. Am besten, bezogen auf die drei Isoliersysteme, sind:

1. Harzbeschichtete Isolation:

- Verlustfaktor- und Kapazitätsmessung in regelmässigen Spannungsschritten
- Im Labor zusätzlich Teilentladungsmessungen
- Thermovisuelle Messungen bei Verdacht auf Heissstellen an den Stromverbindungen

2. *Oelimprägnierte Isolation:*

- Verlustfaktor- und Kapazitätsmessungen in regelmässigen Spannungsschritten
- Wassergehaltsbestimmungen des Oels
- Gas-in-Oel-Analysen
- Im Labor zusätzlich Teilentladungsmessungen
- Thermovisuelle Kontrolle

3. *Harzimprägnierte Isolation:*

- Verlustfaktor- und Kapazitätsmessung in regelmässigen Spannungsschritten
- Im Labor zusätzlich Teilentladungsmessungen
- Thermovisuelle Messungen bei Verdacht auf Heissstellen an den Stromverbindungen

Messverfahren bei Vor-Ort-Messungen

- Mit den heutigen Messmethoden sind Durchführungen aller Isolationssysteme überwachbar
- Die Interpretation bei trockenen Isolationen ist etwas einfacher
- Durch periodische Messungen können Veränderungen, Alterszustand und Lebenserwartung ermittelt werden
- Je breiter die Struktur zur Bewertung (Originalwerte, Vergleichswerte, Temperaturabhängigkeiten usw.), desto präziser ist die Bewertung
- Referenzmessungen im Neuzustand sind eine enorm wichtige Basis.
Man erkennt: Die Differenzen zwischen Labor- und Feldbedingungen, d.h. die Einflüsse durch die Nachbartrafos, umliegende Leitungen, Abstände gegen Erde und Hochspannung usw.
- Visuelle Kontrollen anlässlich von Feldmessungen bringen zusätzliche wichtige Informationen über den Alterungszustand und sind ein Bestandteil der Bewertung
- Das Notieren aller Daten wie Temperatur (Umgebung und Trafoöl), Transformatoren, Umgebung, Wetter, Abstände, ist sehr wichtig
- Sauberes Reinigen der Isolatoren ist unerlässlich
- bei zu niedrigen Temperaturen ($< \text{ca. } 12^\circ\text{C}$) sollte nicht gemessen werden, da die Oberflächen beim Reinigen schlecht trocknen
- Informationen über Betriebsstillstände, Manipulationen müssen erfragt werden
- auch durchschnittliche Betriebstemperaturen des Transformators sind wichtig.

Messerfahrung bei Nachmessungen im Labor

- Teilentladungswerte bei Hartpapier-Durchführungen sind oft besser als im Neuzustand (Risse füllen sich mit Oel)
- Teilentladungswerte von ausgebauten Durchführungen aus dem Betrieb verschlechtern sich in Funktion mit der Zeit (Oel läuft aus den Rissen)
- Evakuieren von Hartpapier-Durchführungen am Transformator sollte man unterlassen (TE kann sich stark verschlechtern)

2.7. Gesamtergebnisse und Schlussfolgerung der Ueberwachung im Betrieb

Seit Anfang der 70er Jahre mit der Ueberwachung im Betrieb begonnen wurde, haben sich unseres Wissens keine Betriebsausfälle mehr ereignet.

2.7.1 Hartpapier-Durchführungen

Auf Grund der Messungen bzw. visueller Kontrollen anlässlich der Messungen wurde die Ausserbetriebnahme von 32 Hartpapier-Durchführungen verlangt.

- 6 Stück wurden aus mechanischen Gründen ausser Betrieb genommen
- Bei 26 Stück wurde auf Grund hoher tangens δ Kapazitätsanstiegs der Ausbau verlagert
- Bei insgesamt 14 Stück wurde bei den Untersuchungen Teilentladungsdurchschläge festgestellt.

Durch die periodischen Messungen hat man ein für die Betreiber wichtiges und nützliches Bild über den Alterungszustand und über die zu erwartende weitere Betriebsdauer der Durchführungen erhalten. Massnahmen und Aktionen können rechtzeitig geplant werden.

2.7.2 Weichpapier-Durchführungen

Insgesamt musste bei 14 Stück aus unterschiedlichen Gründen die Ausserbetriebnahme verlangt werden.

2.7.3 Harzimprägnierte Durchführungen

Werden bei den periodischen Ueberwachung ebenfalls mitgemessen. Bisher mussten auf Grund der Messungen noch kein Ausbau verlangt werden.

Neben der Auswertung der Messresultate und Oelanalysen erhält man ein Bild über den visuellen Ist-Zustand der Durchführungen. Dadurch konnten in mehreren Fällen Folgeschäden verhindert werden.

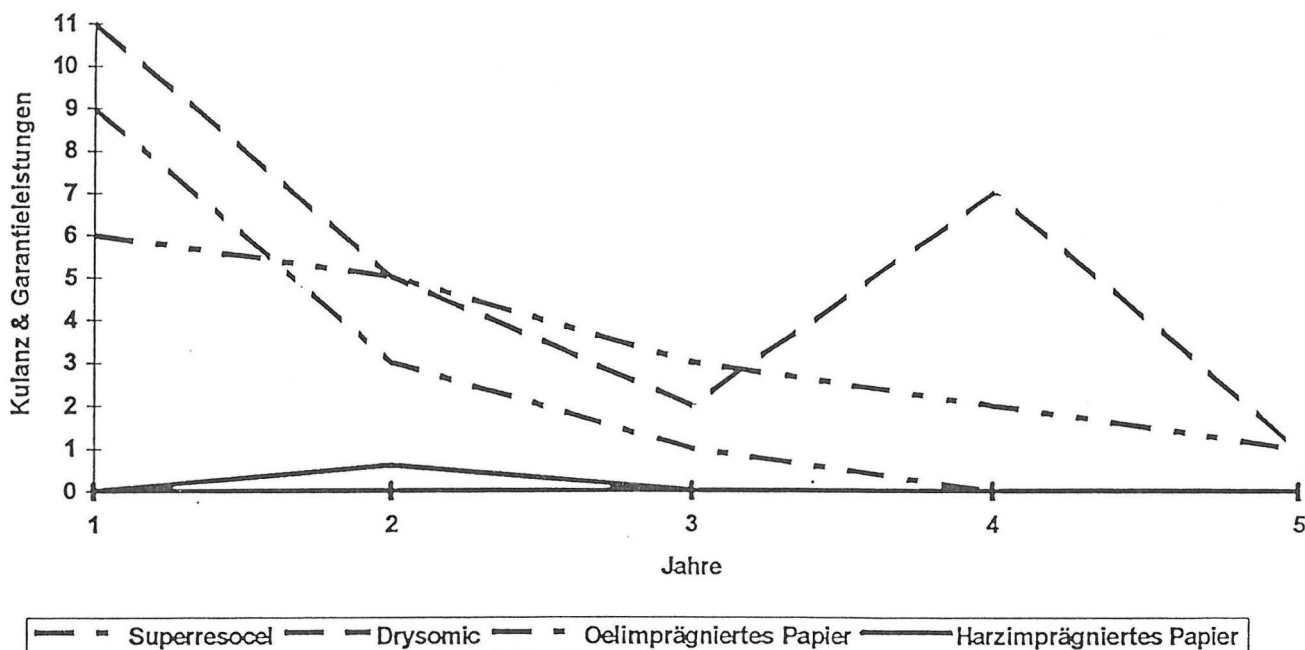
2.8. *Statistiken*

Fabrikationsstatistiken, Lieferstatistiken, Schadensstatistiken sind ein wichtiger Baustein für die Erkenntnisse über die „Ausgereiftheit“ des ganzen Apparates zum Zeitpunkt der Lieferung und ein weiteres Hilfsmittel für die Bewertung.

- Die Schadensstatistiken zeigen, dass viele Schäden auf Manipulations-, Handling- oder Ueberwachungsfehler zurückzuführen sind
- Der Anteil solcher Fehler in Mitteleuropa ist um ein Vielfaches geringer als in anderen Ländern
- Dies zeigt auch, wie wichtig verständliche Beschreibungen und Betriebsvorschriften sind
- Diese Statistiken beinhalten auch ein grosses Kompliment an unsere Elektrizitätsgesellschaften und an ihr qualifiziertes Personal

Das nachstehende Diagramm zeichnet die ausgezeichnete Verfügbarkeitsstatistik der neuen Generationen von Durchführungen im Bezug auf die anderen Isolationssysteme.

Diagramm



2.9. *Bewertung und Interpretation der Messungen*

Die Verlustfaktor $\text{tg}\delta$ - und Kapazitätsmessungen sollten vor Ort (wie auch im Labor) immer bei regelmässigen Spannungsstufen z.B. 2; 4, 6, 8, 10 kV, durchgeführt werden.

Störspannungen durch Fremdfelder sind zu unterdrücken (moderne Geräte) oder es sind zwei Messungen mit umgekehrter Messpolarität und anschliessender Mittelwertbildung auszuführen.

Beurteilung der Messresultate bei Hartpapier-Durchführungen:

Befund	mögliche Ursache
<ul style="list-style-type: none"> • $\text{tg}\delta$ sinkend in Funktion der Spannung 	<ul style="list-style-type: none"> • sehr schlechte Potentialverbindungen • Teildurchschläge
<ul style="list-style-type: none"> • Kapazität im Vergleich zur Nachbardurchführung stark angestiegen 	<ul style="list-style-type: none"> • Teildurchschläge (Vergleiche Fabrikationsperioden)
<ul style="list-style-type: none"> • Kapazitätsanstieg 	<ul style="list-style-type: none"> • Öltränkung
<ul style="list-style-type: none"> • Hohe $\text{tg}\delta$ Werte 	<ul style="list-style-type: none"> • Feuchtigkeit und/oder Schmutz aussen (Porzellan nochmals reinigen) • Alterung, Feuchtigkeit in der Isolation • Teildurchschläge
<ul style="list-style-type: none"> • Hohe $\text{tg}\delta$-Werte 	<ul style="list-style-type: none"> • Feuchtigkeit, Alterung, Isolation, Trafoöl, Imprägnierung
<ul style="list-style-type: none"> • $\text{tg}\delta$-Verlauf stark ansteigend mit der Temperatur 	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Feuchtigkeit oder sehr starke Alterung des Materials

Weichpapier-Durchführungen

- Das saubere Reinigen des Porzellans ist hier noch wichtiger als bei Hartpapier-Durchführungen, da die Verlustfaktorwerte niedriger sein müssen
- zur Interpretation sollten möglichst Gas-in Öl-Analysen oder mindestens Wassergehaltsmessungen zugezogen werden

Befund	mögliche Ursache
<ul style="list-style-type: none"> • $\text{tg}\delta$ sinkend in Funktion der Spannung 	<ul style="list-style-type: none"> • schlechte Potentialverbindungen
<ul style="list-style-type: none"> • $\text{tg}\delta$ hoch 	<ul style="list-style-type: none"> • Feuchtigkeit und/oder Schmutz aussen (Porzellan nochmals reinigen) • Teildurchschläge
<ul style="list-style-type: none"> • Anstieg der Kapazitätswerte 	<ul style="list-style-type: none"> • Teildurchschläge

Anmerkung:

Bei oelimprägnierten Durchführungen sind Teildurchschläge oft nur mit höheren Messspannungen nachweisbar.

Harzimprägnierte Durchführungen

- auch hier ist eine saubere Reinigung sehr wichtig, da das Niveau des Verlustfaktors niedrig ist
- Referenzmessungen sind sehr wichtig für die Interpretation

Befund	mögliche Ursache
• tgδ mit der Spannung sinkend	• schlechte Potentialverbindungen
• tgδ hoch	• Feuchtigkeit und/oder Schmutz aussen (Porzellan nochmals reinigen) • Teildurchschläge
• Anstieg Kapazitätswerte	• Teildurchschläge

Nachmessungen im Labor

- gewährleisten genauere Beurteilung
- Teilentladungsmessungen sind möglich

Erschwerung:

An vielen Hartpapier-Durchführungen wurde bis weit in die 70er Jahre keine Teilentladungsmessung gemacht, so dass die Beurteilung schwierig ist.

Fehler-Checkliste:

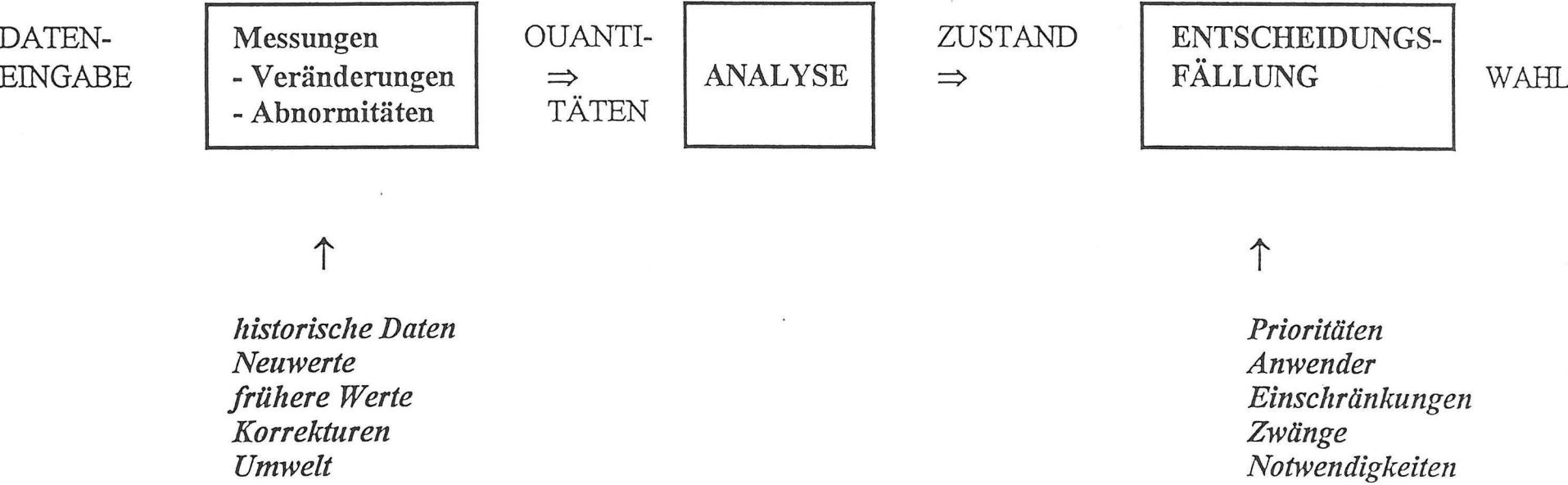
mögliche Ursache: → Befund ↓	Flansch- befesti- gung	Isolier- körper gerutscht	Risse im Isolier- körper	Alterung, Tränkung der Isola- tion	Messanschluss Potential Verbindungen	Lagerung Feuchtig- keit	Teil- durch- schläge	Heiss- stellen	Ver- schmutz- ung aussen
Undicht am Flansch	X	X		X					
Undichte Kopfpattie			X	X				X	
Undichte Dichtungen am Porzellan		X	X	X					
tgδ sinkend mit Spannung				X	X		X		
Niveau tgδ hoch				X		X	X		X
tgδ ansteigend mit der Temperatur				X		X			
Kapazitäts-Anstieg hoch				X			X	X	
Kapazität ansteigend mit der Temperatur				X		X			
äussere Entladungen							X		X

3 *EMPFEHLUNGEN*

Zur Entscheidungsfindung sind vier Strukturgruppen massgebend:

1. Veränderung und Abweichung zum Neuzustand
2. Analyse des Alterungszustandes im Bezug auf die gesetzten Limiten (*siehe Beilage 1*)
3. Zustand der Isolation im Quervergleich (Nachbar-Durchführungen, Durchführungen der gleichen Fabrikationsperiode)
4. Anwenderprioritäten:
 - weitere Betriebsdauer
 - geplante Revisionen

BASISSTRUKTUR



4 *AKTIONEN*

Einflüsse sind:

- Zwänge auf Grund der Entscheidung
- Prioritäten und Pläne des Anwenders
- Einfache Abdichtungen bei Leckagen im eingebauten Zustand oder vor Ort
- Reparaturen, Beheben der Ursache von Leckagen im Werk
- Nachmessungen im Labor
- Ersatz der Isolierkörper unter Wiederverwendung der Armaturen
- Kompletter Ersatz

5 *AUSTAUSCHBARKEIT*

Service der Micafil Isoliertechnik

Für alle gelieferten Durchführungen können Ersatz:

- Trafoseitig 100 % identisch
- freiluftseitig angepasst

geliefert werden.

Beilage 1

Richtwerte für $\text{tg}\delta$ - und Kapazitätsgrenzen von Transformator-Durchführungen aus Hartpapier

Grenzen erreicht in durchschnittlich 25 Jahren. Gilt nicht für feuchte Isolierkörper!

a) Grenzwert für Verlustfaktor $\text{tg}\delta$ bei Raumtemperatur

U_n (kV)	$\text{tg } \delta$ (%)
36	2,5
73	2,3
123	2,0
170	1,8
245	1,5
300	1,3
362	1,15
420	1,0

b) Grenzwert für Kapazitätserhöhung ΔC bei Raumtemperatur

U_n (kV)	ΔC (%)
36	25
73	23
123	20
170	18
245	15
300	13
362	12
420	10

Diagnostik

Service
Austausch

Neue Konzepte

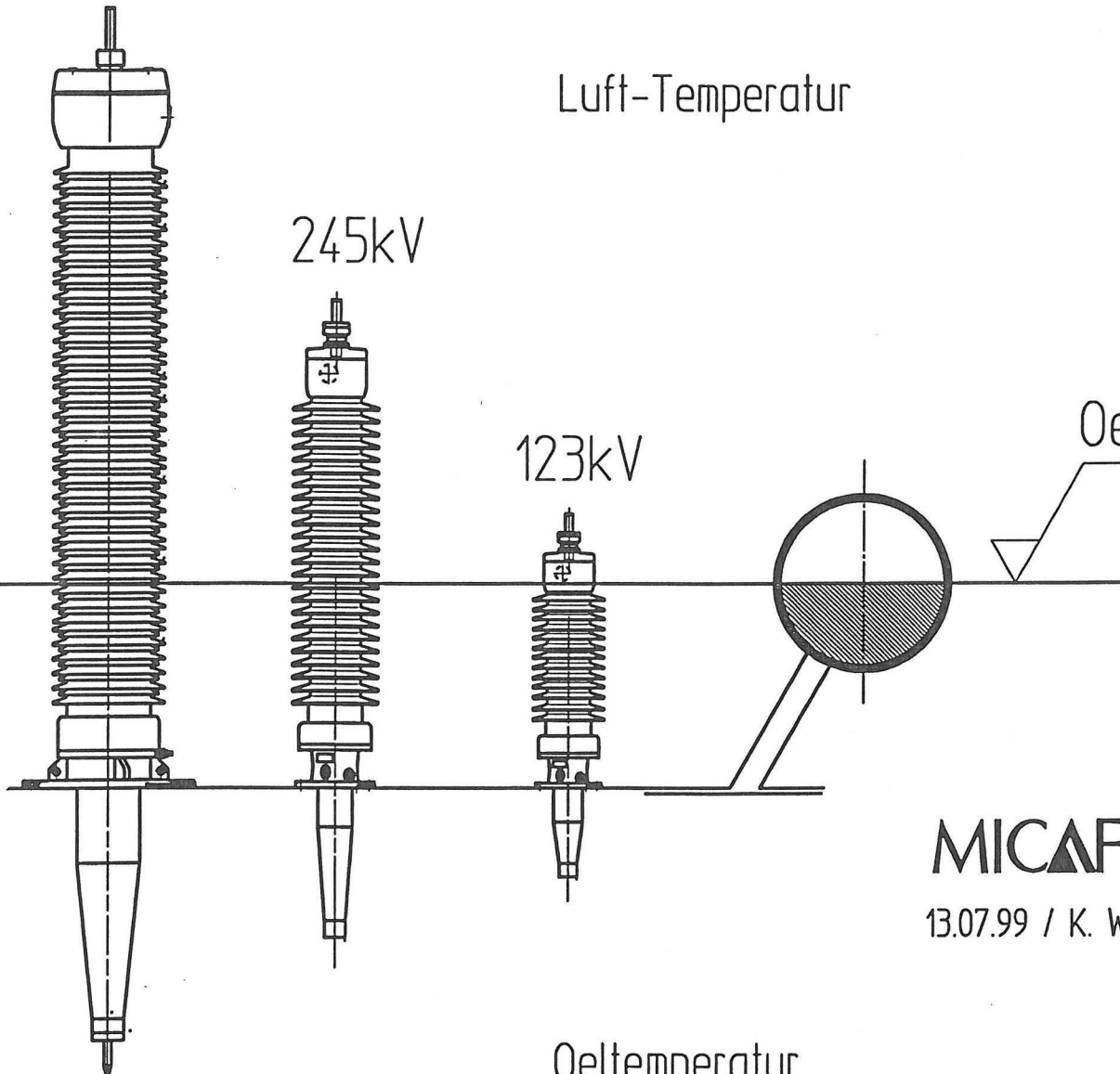
420kV

Luft-Temperatur

245kV

123kV

Öelspiegel



Öeltemperatur
Transformator

MICAFIL

13.07.99 / K. Widmaier

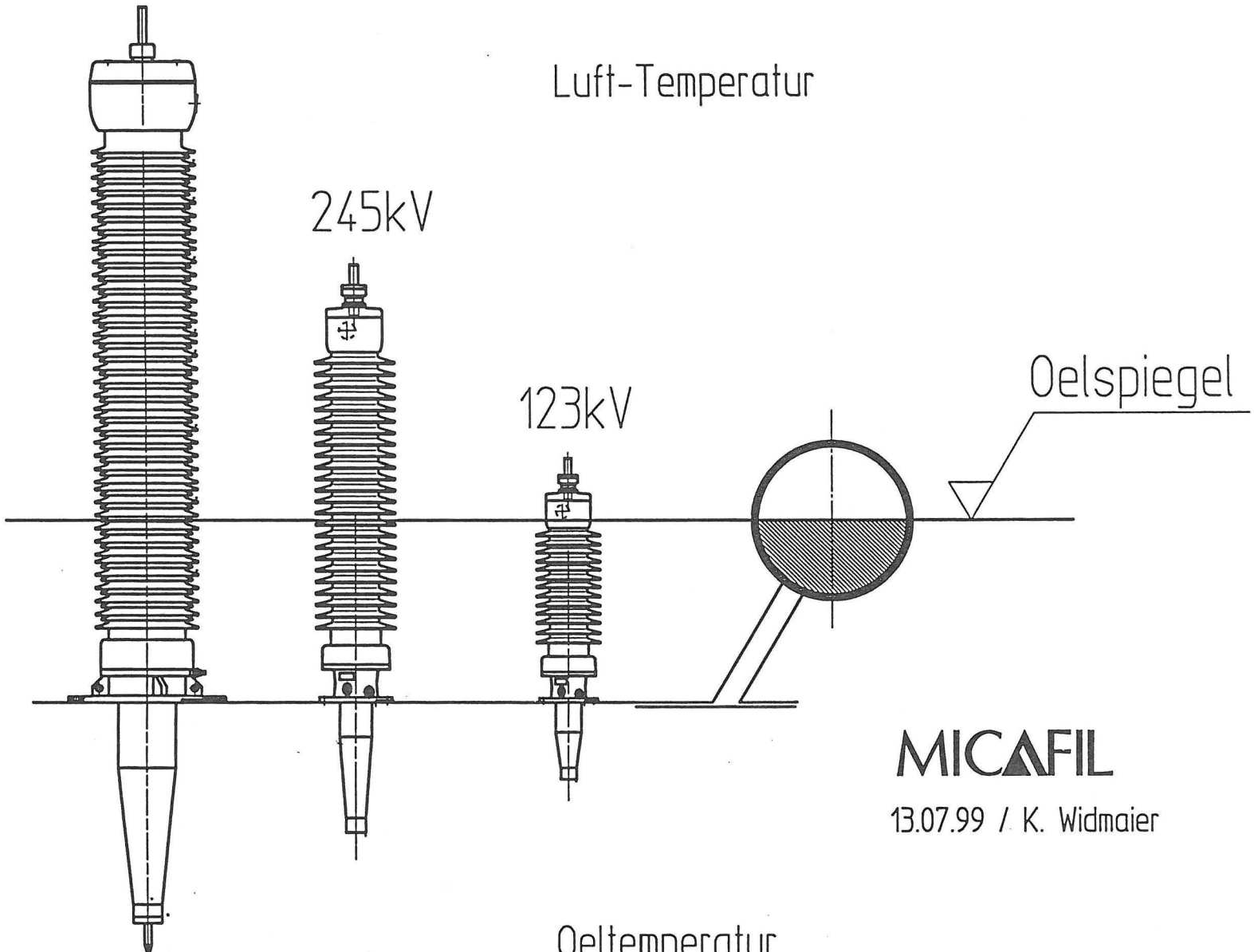
420kV

Luft-Temperatur

245kV

123kV

Öelspiegel



MICAFIL

13.07.99 / K. Widmaier

Öltemperatur
Transformator

Diagnostik

Harz imprägnierte Durchführungen

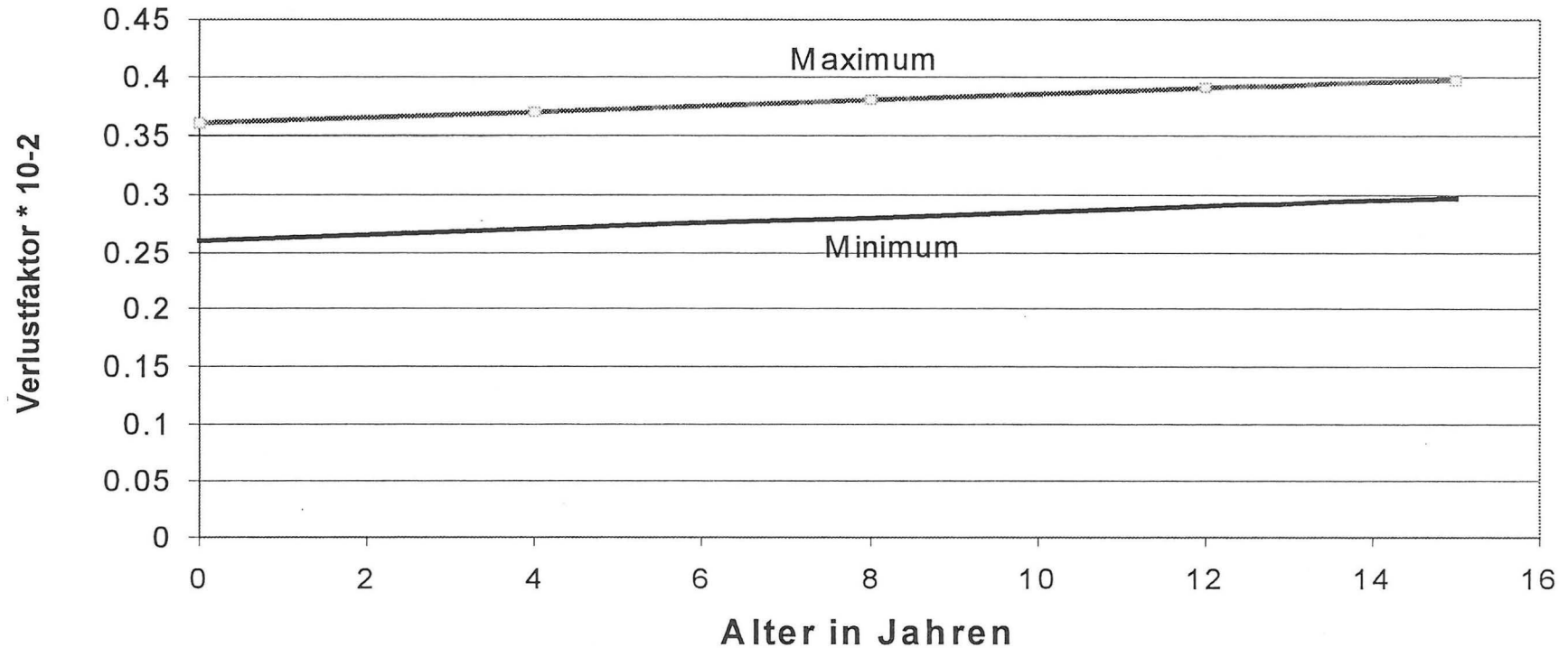
Offline Tangens Delta und Kapazität
mehrere Spannungsstufen

Problematic tiefer Verlustfaktor
saubere Reinigung ist wichtig
keine grossen Störeinflüsse

Bewertung offline ist Aussagekräftig

Verlustfaktorgrenze in Abhängigkeit der Betriebsjahre

Epoxidharz - Durchführungen (RIP)



Diagnostik

Oelimprägnierte Durchführungen

Offline Tangens Delta und Kapazität
mehrere Spannungstufen

Problematik tiefer Verlustfaktor, niedrige Spannung
saubere Reinigung ist wichtig
keine grossen Störeinflüsse
Isolationsdurchläge nur bedingt
messbar

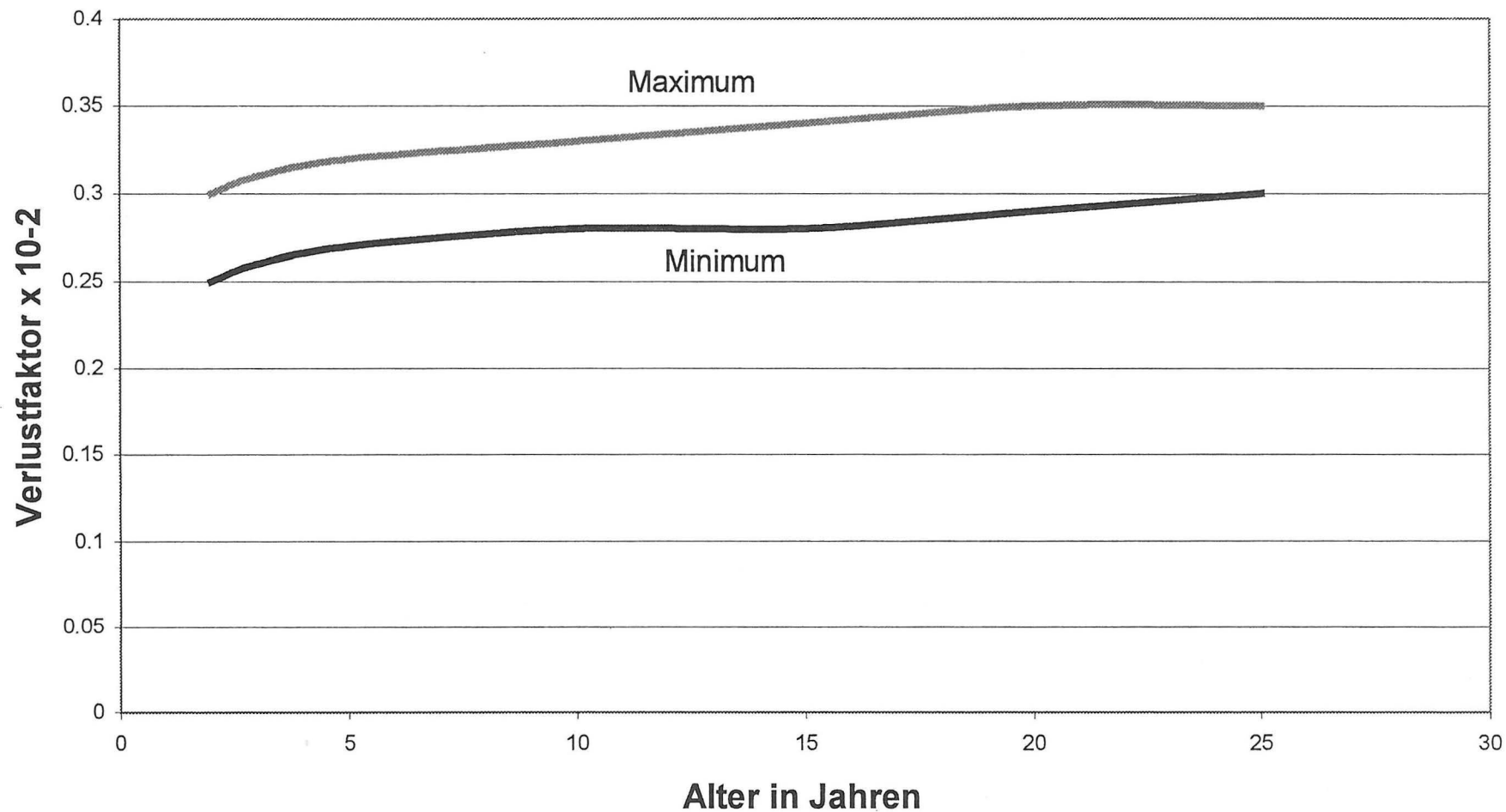
Zusätzlich als Entscheidungshilfe
Gas in Oelanalyse

Nachmessung im Labor
immer mit TE Messung bis zur
Prüfspannung

Aussagekraft entscheidend höher

Verlustfaktorgrenze in Abhängigkeit der Betriebsjahre

Weichpapier



Optimaler Service

Kenntnisse über: Technik und Konstruktion
Isoliersysteme und Bauarten
Stärken und Schwächen

Kenntnisse über: Betriebsgeschichte
Betriebsbedingungen
Alterungszustand

Kenntnisse über: Absichten und Bedürfnisse
des Kunden
geplante Lebensdauer des
Transformators

Messungen im Labor
im Transformator
Erkennen des Alterungs-
Zustandes

Aktionspläne Wiederholung der Messung
Ausbau
Umfang der Reparatur
Ersatz Isolierkörper
Neue austauschbare DFG
Einfache Revision

UNSERE PROGRAMME

Reparaturen

Nachmessungen
im Labor

mit Ersatz von
Bauteilen der
Reihe 1956/1970

mit Ersatz von
Bauteilen der
Reihen 1975 / 1976

mit Ersatz des
Isolierkörpers

Nachbau

Hartpapier-Dfgen
Jahrgänge 1956-1986
Spezial-Dfgen

Oelimprägnierte
Durchführungen
WT-Ausführung
1968-1985
OT-Ausführung
1986-1990

Nachbau
Fremdprodukte

Messungen

Messungen vor Ort
- Tangens Delta
- Kapazität
- Gas in Oel

Reparatur vor Ort
- im eingebautem
Zustand
- ausgebaut

Reparatur Varianten

Einfache Reparatur

Elektrische Nachmessungen mit TE

Abdichtungen von Leckagen

Ersatz defekter Komponenten

Erweiterte Reparatur

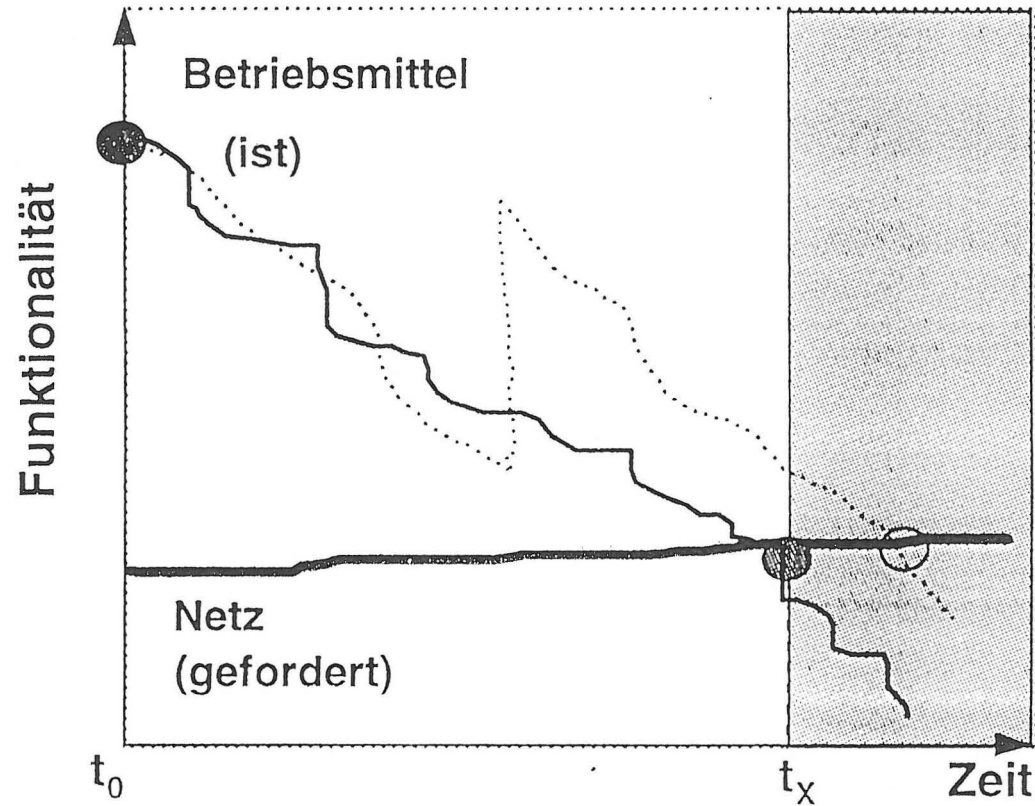
neue Armaturen

Nacharbeit, Abdichtungen am Isolierkörper

Totalrevision

Neuer Isolierkörper aus RIP

Prinzip



Zustand - Funktionalität.

Zustandsbewertung (ZBW) - Schlüsselfaktor für Entscheidungen.

Art und Umfang der Reparatur Bewertungskriterien

Einflüsse

Rest Betriebsdauer des Transformer

Revision vorgesehen ja - nein

Art der Revision vor Ort
neue Wicklung

Nachprüfungen mit TE ja - nein

Neue Konstruktionen
Transformatorensektor
245 kV - 550 kV

Freiluft-Durchführungen
mit Porzellanüberwurf

ca. 70 Bauarten

mit Verbundisolator

ca. 20 Typen

Transformatoren / SF6

Mit mit verschiedenen Transformator
und GIS Varianten

ca. 80 Typen

Kapazitiv-gesteuerte Durchführungen im Netzbetrieb der RWE Energie AG

RWE Energie AG Essen, Netzbetrieb
Volker Seitz

Übersicht

- Grund der Messungen (Überblick)
- Entwicklung von ersten Beurteilungskriterien
- Entwicklung der Meßtechnik
- Probleme und Lösungen für die Meßwerterfassung
- Beurteilungskriterien RWE Energie
- Beispiel für Schadensverläufe und Untersuchungen

Schaden an einer 380 kV Durchführung KW Frimmersdorf

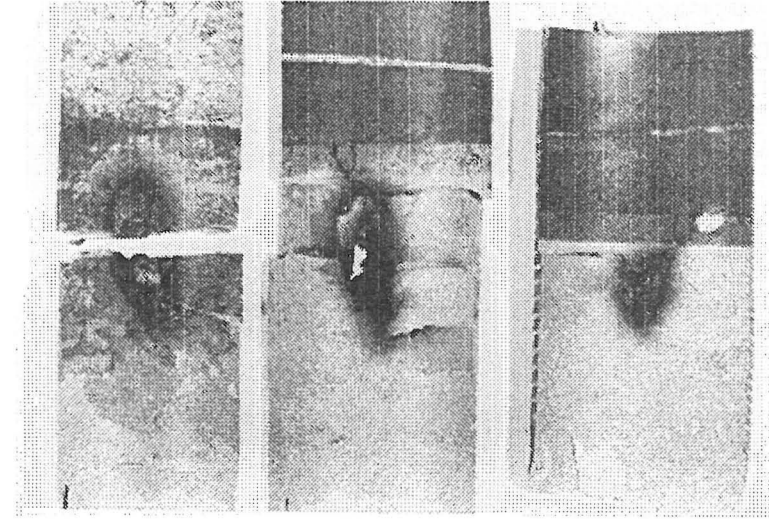
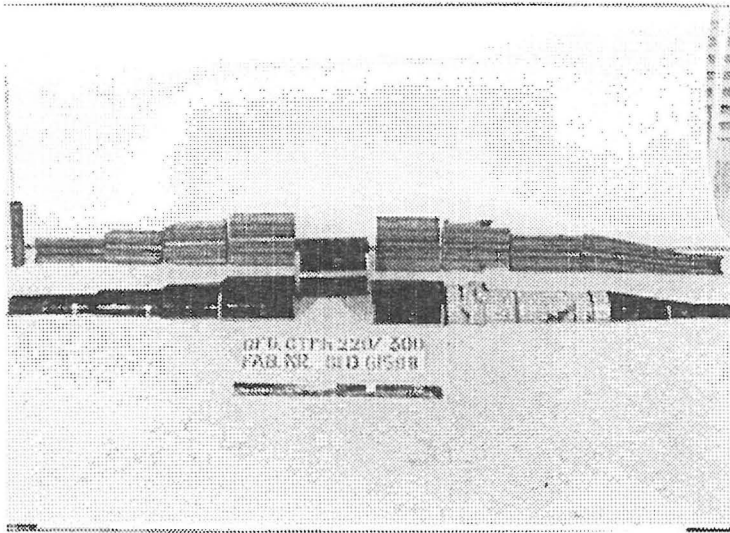




Schaden einer 220 kV Stromdurchführung an
einem Einphasen-Netztransformator

Geschichtlicher Rückblick

- **Veranlassung der Messungen bei RWE Energie**
 - insgesamt 14 Totalausfälle von Durchführungen in den Jahren 1964 bis 1981 (380 und 220 kV)
 - 3 Ausfälle in 1977 mit verheerenden Folgen (1 x 380 kV, 2 x 220 kV)
- **Sezierungen zur Schadensaufklärung und Ursachenerforschung**
Nachmessung aller Durchführungen bei Traforeparaturen im Herstellerwerk (Nachmessung von über 100 Durchführungen zwischen 1973 und 1979, Sezierung von ca. 65 Durchführungen im gleichen Zeitraum.
- **Beginn der Messungen 1977 mit Micafil in den Kraftwerken Frimmersdorf und Weisweiler.**



Sezierungen:

Komplette Zerlegung einer
Kondensatordurchführung, hier
mit Teildurchschlägen, X-Wachs,
TE-Flecken, Öltränkung,
Vergleich mit Meßergebnissen,
Rückschlüsse auf Betriebs-
Durchführungen



Gründe für Totalausfälle/ Sezierungsergebnisse

- Unterschiedliche Alterungsverläufe in baugleichen Durchführungswickeln durch verschiedene Harz- und Papiersorten.
- Härtungsrisse und Öltränkung verschieben die Spannungsverteilung im gesamten Wickel und die Feldstärkebelastung an den Randzonen.
- Überbeanspruchung an den Grenzschichten der Tränkungszone führen zu TE und X-Wachsbildung und damit zu beschleunigter Alterung.
- Unterschiedliche Rissbildung und Öltränkung bei waagerechten Durchführungen.

Beurteilungskriterien Micafil - RWE

- **Drastische Reduzierung der TE Werte bei neuen Durchführungen**
- **Festlegung von Meßwertgrenzen bei Wiederholungsprüfungen**
- **Festlegung von Messungen beim Trafohersteller vor und nach elektrischen Prüfungen und Basiswerte für „vor Ort“-Messungen**
- **Verbot von Vakuumbehandlungen an Transformatoren mit eingebauten Hartpapier-Durchführungen**
- **Festlegung von Grenzwerten für „vor Ort“-Messungen**
Verlustfaktor absolut max. 0,015 bis 0,02, Kapazitätsänderung relativ zum Neuwert max. 20 - 25 % (Micafil AVD 72 bzw. 73).

Tabelle für max. Abweichungen beim Meßwerte-Vergleich

Höchste Spannung der Durchführung Ur				420 kV		420 kV		245 kV		245 kV		245 kV		170 kV		170 kV		123 kV		123 kV	
				OIP		RBP		OIP		RIP		RBP		RBP		RIP		RBP		RIP	
Messungen		Art der Hauptisolation		neu	alt	neu ¹⁾	alt	neu	alt	neu	alt	neu ¹⁾	Alt	neu ¹⁾	alt	neu	alt	neu	alt	neu	alt
Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	ΔC_{max} Vergleich der Meßpunkte Vor und nach elektr. Prüfungen	%	0,5		0,5		1		2		1		1		2		2		3		
2	$\Delta \tan \delta_{max}$ Vergleich der Meßpunkte vor Und nach elektr. Prüfungen	10^{-2}	0,05		0,1		0,05		0,05		0,1		0,1		0,05		0,1		0,05		
3	max. Anstieg tan δ Vergleich der 0.5U _r / Y3 und 1.05U _r / Y3 Meßpunkte einer Messung	10^{-2}	0,02		0,02	0,05	0,02 ³⁾		0,01		0,02	0,05	0,02	0,05	0,01		0,02	0,05	0,01		
4	max. Anstieg tan δ Vergleich der 0.5U _r / Y3 Meßpunkte einer Messung	10^{-2}	0,15		0,25		0,15		0,02		0,25		0,25		0,02		0,25		0,02		
5	TE-Aussatzspannung $\geq \frac{U_{r,0}}{Y3}$	0	2,1		-	1,05	2,1		2,1		1,05		1,05		2,1		1,05	1,05	2,1		
6	TE-Intensität $\leq \frac{U_{r,0}}{Y3}$ Selektiv 60 Ohm	V	3		3 ²⁾		3		3		3 ²⁾		3 ²⁾		3		3 ²⁾				
		PC	-6		-6 ²⁾		-6		-6		-6 ²⁾		-6 ²⁾		-6		-6 ²⁾		-6		

¹⁾ wird nicht mehr eingebaut

²⁾ RBP-Hauptisolation: Lieferungen vor 1973 Richtwert 25 μV / ~ 60 pC

³⁾ Ausnahme: 0,07 $\cdot 10^{-2}$ bei Typ OKTF

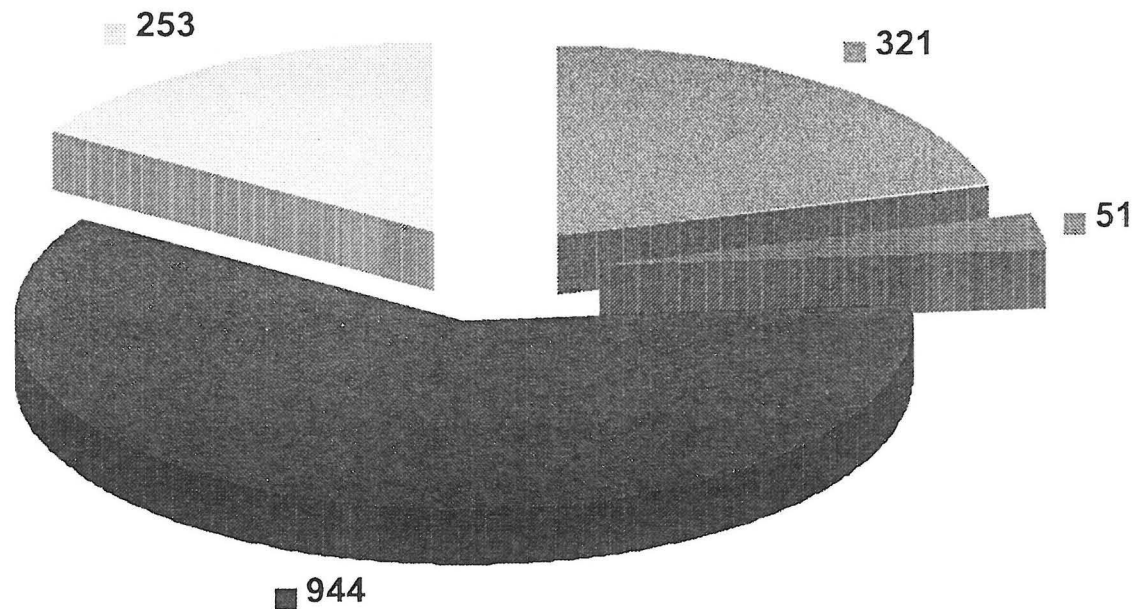
⁴⁾ Art der Hauptisolation:

RBP= resin bonded paper - harzverklebtes Papier
OIP= Impregnoled paper - ölgetränktes Papier
RIP=resin impregnoled paper - harzgetränktes Papier

Vereinbarungen und Festlegungen RWE Energie

- **Nachmessungen an Durchführungen vor Ort ab 1977**
- **Entwicklungen einer Spezialmeßtechnik und div. Meßverfahren von 1977 bis 1980 (Weiterentwicklungen bis heute)**
- **Seit 1979 systematische Nachmessungen vor Ort bei Reparatur in den Herstellerwerken**
- **Aufbau von Datenbanken zur Beurteilung und Bewertung von Hartpapier-, Weichpapier- und Epoxidharz-Durchführungen**
- **Datenerfassung bis heute ca. 4.500 Meßergebnisse**

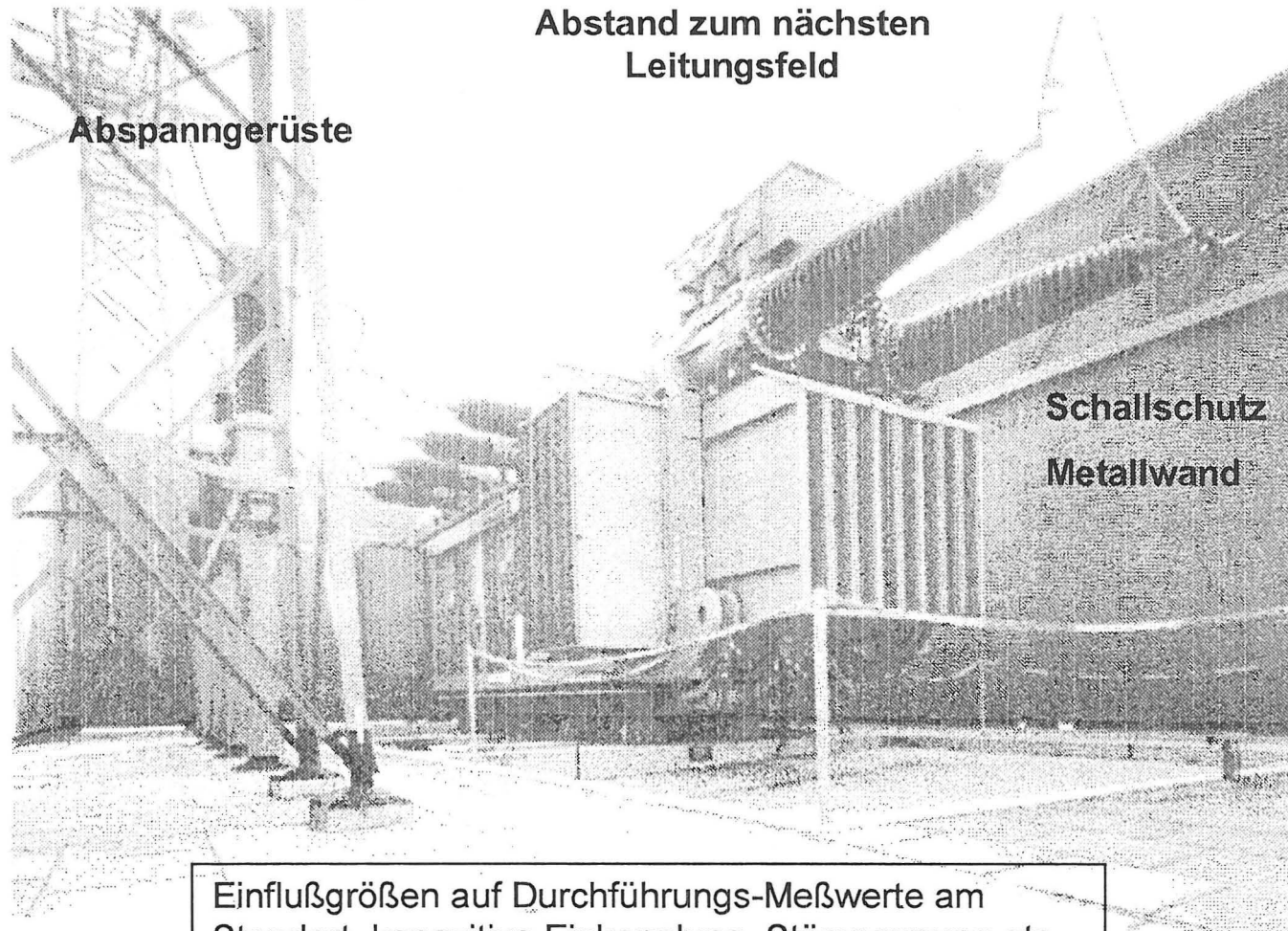
**Aufteilung der kapazitiv gesteuerte Durchführungen in Betrieb bei
der RWE Energie AG nach Spannungsebenen**



■ 110kV ■ 170kV ■ 220kV ■ 380kV

Einflussgrößen bei Meßwertfassung „vor Ort“

- Unter Spannung stehende Anlagenteile in der Nähe des Meßobjektes
- Oberflächenzustand der Durchführung
- Art des Meßanschlusses
- Konstruktion und Aufbau des Transformators
- Einbauort und Lage der Durchführung des Transformators
- Witterungsverhältnisse
- Ölzustand im Durchführungsraum (wenn vorhanden)



Abstand zum nächsten
Leitungsfeld

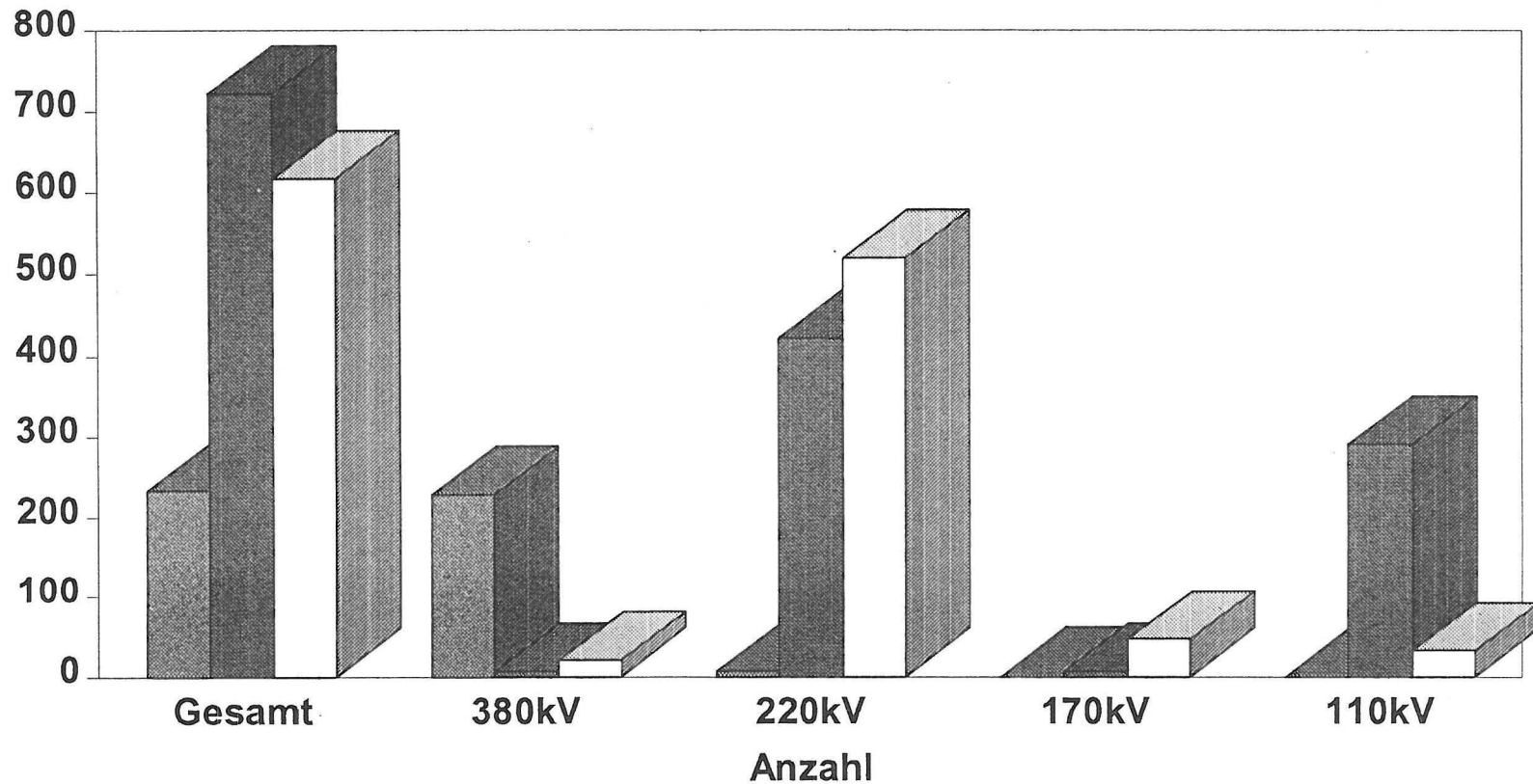
Abspanngerüste

Schallschutz
Metallwand

Einflußgrößen auf Durchführungs-Meßwerte am
Standort, kapazitive Einkopplung, Störspannung etc.
Basiswerte am Standort ermitteln vor Inbetriebnahme

Kapazität gesteuerte Durchführungen im Betrieb der RWE Energie AG , Aufteilung nach Wickelhauptisolation

■ Weichpapier ■ Epoxidharz □ Hartpapier



Maßnahmen zur Verringerung bzw. Abschätzung der Störeinflüsse

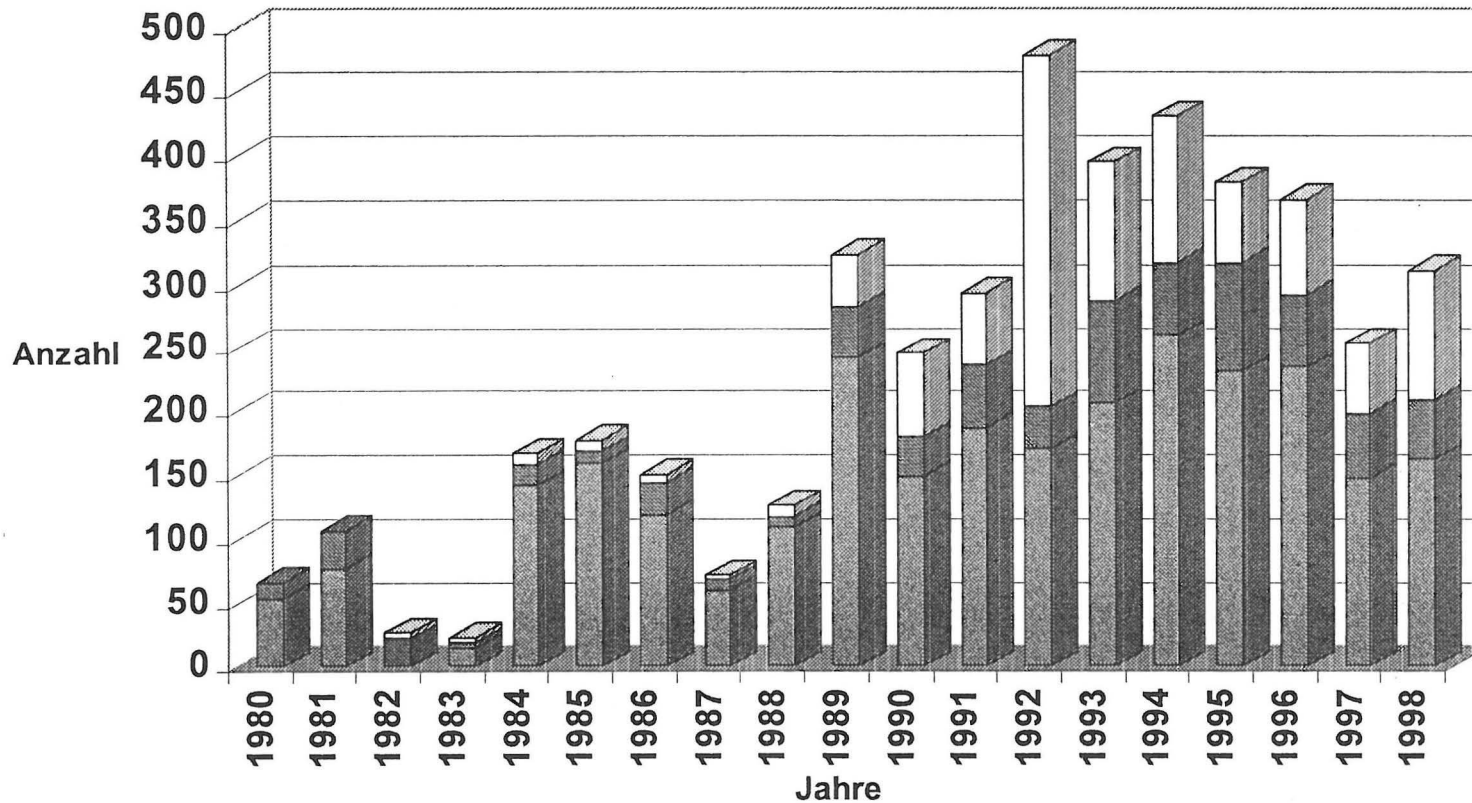
- **Kompensation der Störeinflüsse von Fremdspannungen durch Meßbrückenabgleich und Meßaufbau; Erden und Kurzschließen nicht an der Messung beteiligter Wicklungsteile des Transformators. Möglicherweise Abschaltung von Anlagenteilen während der Messung (Veränderungen von Lastflüssen können Störgrößen beeinflussen, Zeitpunkt der Messung entsprechend wählen). Bewegliche Anlagenteile (Gerüste, Erdungsstangen etc.) wenn möglich von der zu messenden Durchführung entfernen.**
- **Reinigung der Porzellanoberflächen und Silikonschirme gemäß Herstelleranweisungen.**
- **Meßanschluß prüfen, Isolationswerte, Erdungen, Kontakte**

Maßnahmen zur Verringerung bzw. Abschätzung der Störeinflüsse

- **Abstände zu Brandschutzwänden, Gerüsten, Portalen, Schallschutzeinrichtungen etc. messen und vermerken, (Skizze Einbauart und Einbaulage).**
- **Daten und Konstruktionen des Transformators erfassen (Korrekturwerte Durchführungseinbau, siehe Tabelle)**
- **Korrekturwerte Temperatur und rel. Luftfeuchtigkeit beachten (siehe Diagramm)**
- **Meßaufbau und alle Verhältnisse am Standort genauestens dokumentieren (Reproduzierbarkeit)**
- **Spezialkabel für alle Spannungsverbindungen am Transformator**

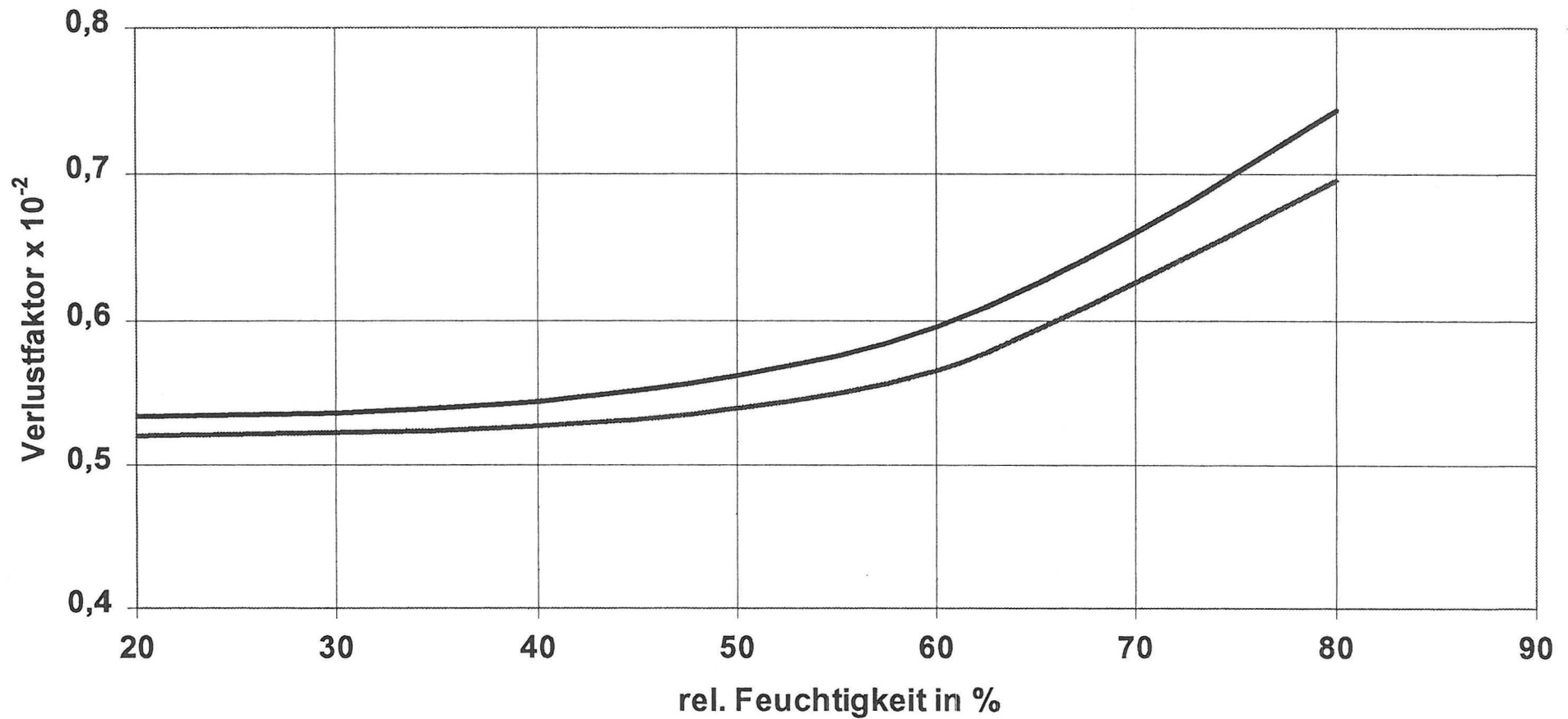
Kapazitäts- und Verlustfaktormessungen an montierten, gesteuerten Durchführungen auf Transformatoren in Umspannanlagen der RWE Energie AG

Hartpapier
 Weichpapier
 Epoxidharz



**Verlustfaktor von Hartpapier-Durchführungen, komplett montiert, in
Abhängigkeit der rel. Luftfeuchte der Umgebungsluft**

— unterer Wert — oberer Wert

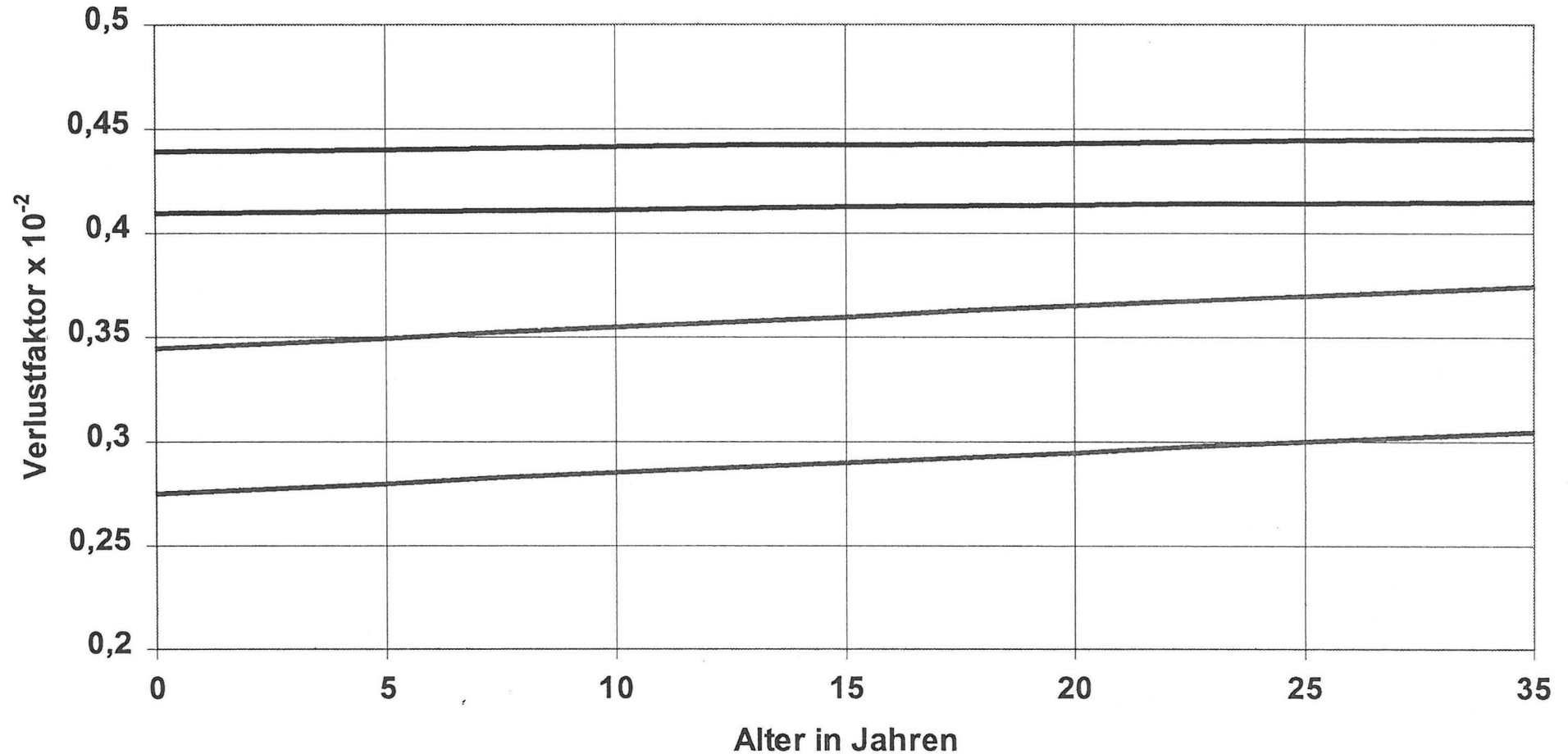


Kapazitätskorrektur für Meßwerte Prüffeld/Betrieb

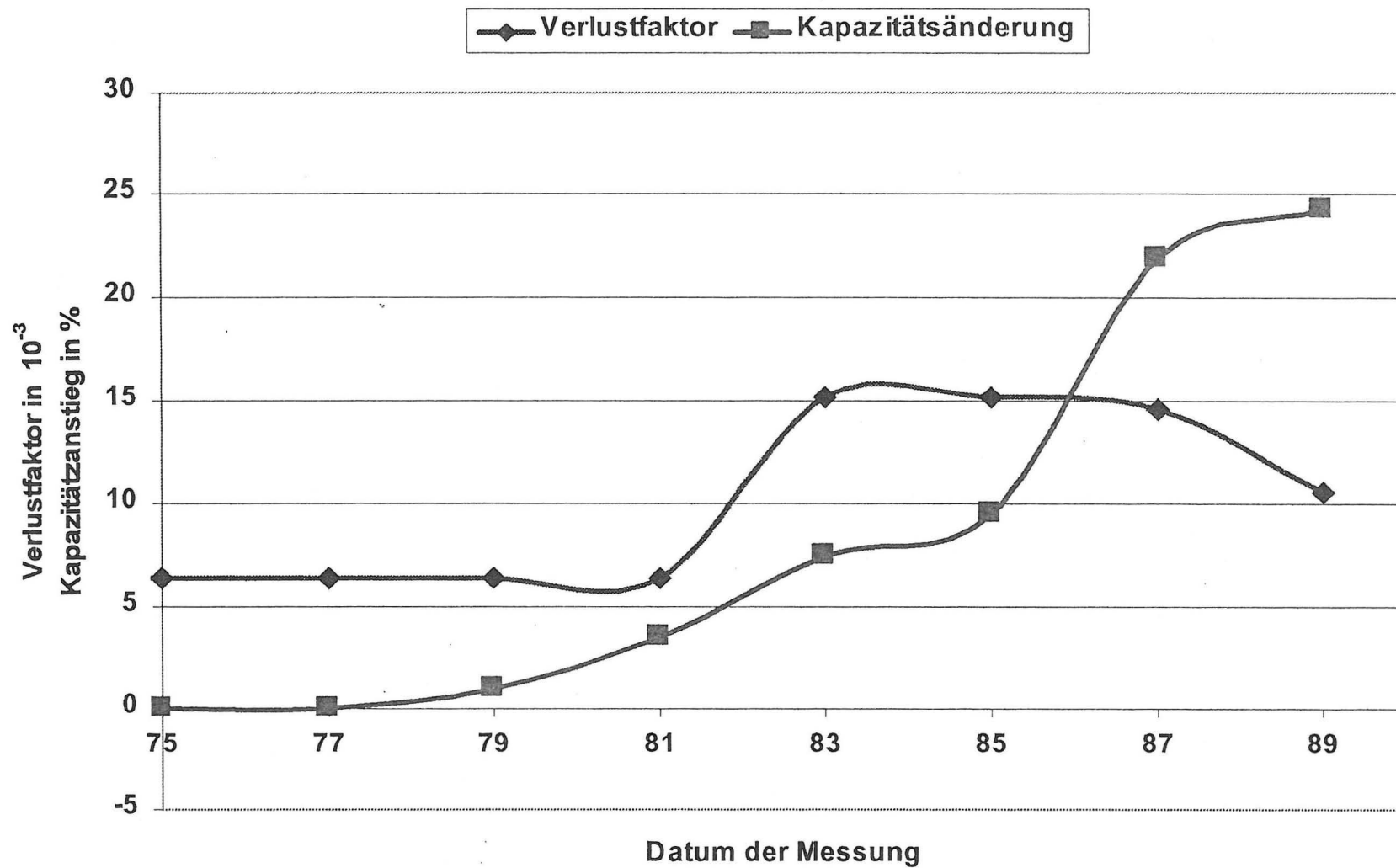
Transformator typ	Nennspannung	Einbaulage	Wickelmateriale	Kapazitäts
	Durchführung			Korrekturwert
Einphasen-Pol Netz (nur AEG Fabrikat)	420 kV	senkrecht	Hartpapier	8 pF
			Weichpapier	8 pF
	245 kV	waagerecht	Hartpapier	9 pF
	dito			13 pF
			Epoxidharz	9 pF
Maschinenpol	420 kV	waagerecht	Hartpapier	10 pF
			Weichpapier	9 pF
	170 kV	waagerecht	Hartpapier	8 pF
Drehstrom Transformator Netz	420 kV	senkrecht	Weichpapier	8 pF
			Epoxidharz	?
	245 kV	senkrecht	Hartpapier	6 pF
		waagerecht	dito	8 pF
		senkrecht	Weichpapier	6 pF
		waagerecht	Weichpapier	5 pF
		waagerecht	Epoxidharz	8 pF
Drehstrom Transformator Masch.	420 kV	senkrecht	Weichpapier	10 pF
			Epoxidharz	?
	245 kV	senkrecht	Weichpapier	6 pF
		waagerecht	Hartpapier	8 pF
			Epoxidharz	8 pF

Verlustfaktorgrenzen in Abhängigkeit der Betriebsjahre

— Epoxidharz — Weichpapier —



Meßwerteverlauf an einer 220 kV Hartpapier- Durchführung

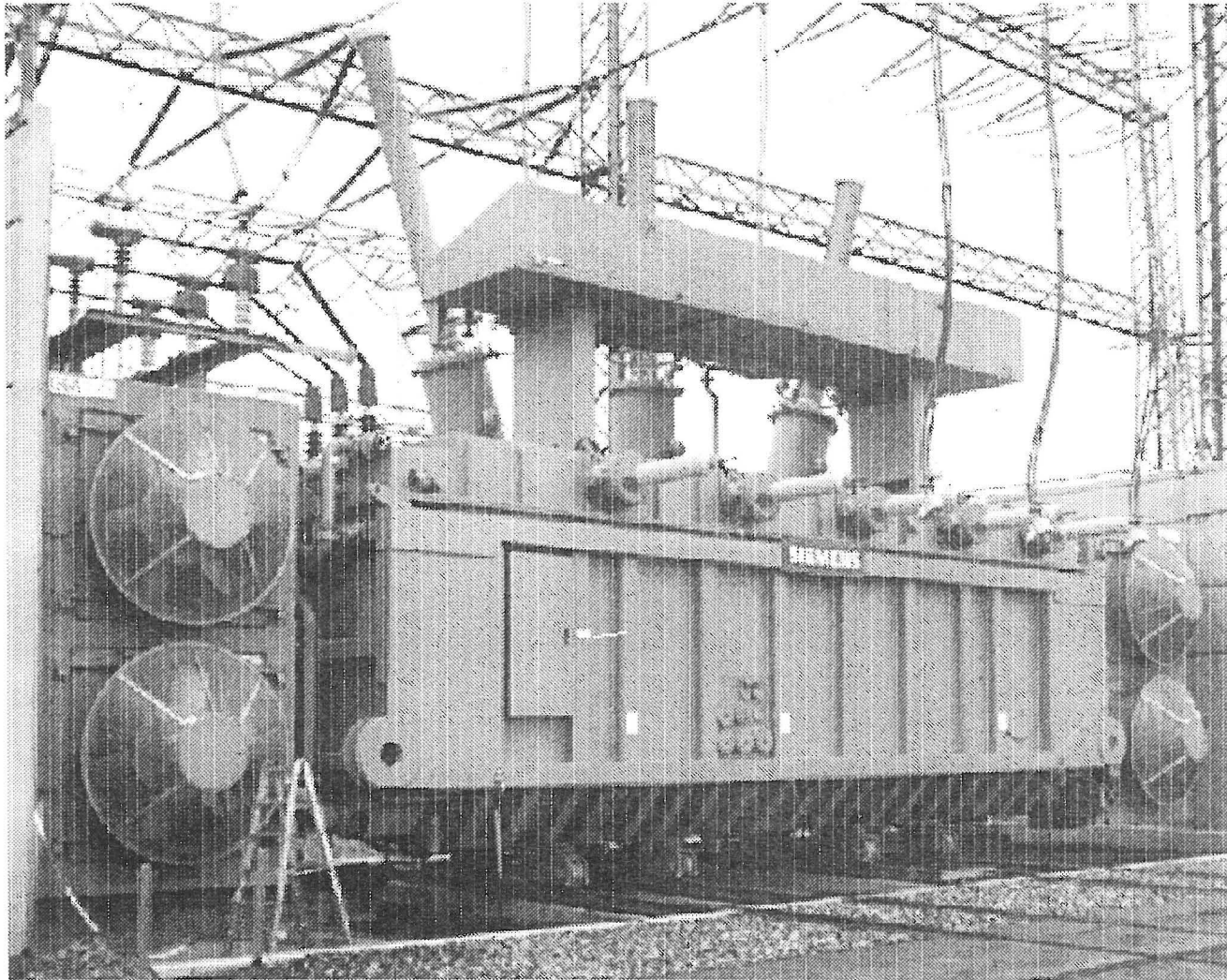


Auswertungen der Durchführungs-Nachmessungen Auswirkungen auf die Betriebsführung

- **Der Betrieb von Hartpapier- Kondensatordurchführungen ist unter Einhaltung vorgegebener Grenzwerte unkritisch und unproblematisch**
(Widerlegung der Theorie von 1977 über Gefährdungspotential)
- **Weichpapier- Durchführungen mit hermetisch geschlossenem Ölraum zeigen nach mehr als 35 Betriebsjahren nur sehr geringe Alterungseinflüsse**
- **Epoxidharz- Durchführungen sind nach über 25 Betriebsjahren (245 kV) und 35 Betriebsjahren (123 kV) nahezu unverändert betriebstüchtig.**

Voraussetzungen sind sehr enge Qualitätsgrenzen bei der Neufertigung und eine absolute TE- Freiheit der Wickel bis $1,2 U_m$ sichergestellt ist

(Vereinfachungen an Transformatorkonstruktionen möglich durch einfache Durchführungs konstruktion mit hoher Betriebssicherheit)



350 MVA Transformator, 380/110 kV, Epoxidharz/Silikonschirm Durchführungen