

## 0 Abstract

Anforderungen an Versorgungssicherheit und Zuverlässigkeit in elektrischen Übertragungs- und Verteilnetzen verlangen eine regelmäßige Prüfung elektrischer Übertragungs- und Betriebsmittel vor Ort. Insbesondere bei Neuinstallationen oder nach Wartungen ist eine Prüfung notwendig. Die Prüfungen sind nach Möglichkeit so durchzuführen, daß der im Betrieb entscheidende Belastungsfall realistisch nachgebildet wird. Der Prüfling soll unter keinen Umständen durch die Prüfung vorgeschädigt werden z.B. durch unrealistische Spannungsbeanspruchung auf Grund eingeschränkter Verfügbarkeit entsprechender Prüfmittel. Beispielsweise bei der Prüfung von Hoch- und Mittelspannungskabeln ist Vorort eine Prüfung mit Wechselspannung gegenüber einer Gleichspannungsprüfung vorzuziehen. Die Frequenzen sollten dabei in der Nähe der Betriebsfrequenz liegen und eine Feldverteilung im Prüfling gewährleisten die der realistischen Verteilung entspricht. Entsprechende Prüfsysteme wurden entwickelt und sollen vorgestellt werden.

## 1 Einführung

Alle Komponenten für elektrische Energieübertragungs- und -verteilnetze werden im Herstellerwerk einer Routine-Prüfung unterzogen. Diese Stückprüfungen sind Abschluß der auftragsbezogenen Qualitätssicherungssysteme des Herstellers. Der Umfang der durchzuführenden Prüfungen hängt maßgeblich vom Gefährdungspotential ab, das mit dem Versagen der Komponente im Netz verbunden ist.

Im allgemeinen werden mechanische, optische und elektrische Prüfungen durchgeführt. Als dielektrische Prüfungen werden typischerweise durchgeführt:

- Prüfwechselspannung (Überspannungsprüfung)  $U_p$
- Prüfstoßspannung (BIL / SIL)
- Teilentladungsprüfung  $U_o < U < U_p$
- Übertragungsfunktion: Vergleich bei unterschiedlichen Stoßspannungspegeln
- $C - \tan \delta: U \leq U_o$

Bei der Auswahl der Prüfmittel für die Werksprüfung wird im allgemeinen in Hinsicht auf die zu prüfenden Komponenten und auf die Messung spezieller Meßgrößen hin optimiert. Eine Überdimensionierung kann erfolgen aufgrund von erwünschten Sicherheitsreserven und in Hinsicht auf zukünftige erwartete Entwicklungen. Aktuell zeigt sich ein Trend zu auftragspezifisch optimierten Prüfanlagen bei einzelnen Großprojekten.

Weniger berücksichtigt werden bei Werksinstallationen Baugröße, Gewicht und Transportierbarkeit der Prüfanlagen. Eine gewisse Mobilität innerhalb eines Prüffeldes ist in einigen Fällen gefordert. Der größte Teil der Anlagen wird im Werk jedoch ortsfest installiert.

Die Gesamtkosten einer Prüfmittelininstallation im Werk unter Berücksichtigung der Baukosten und Maßnahmen zur Gewährleistung der Personensicherheit können zu einer Entscheidung für voll gekapselte Prüfanlagen führen [1]. Die Beschaffungskosten einer solchen gekapselten Prüfanlage sind erhöht im Vergleich zu konventionellen Prüfanlagen gleicher Leistung. Das reduzierte Bauvolumen unter Berücksichtigung der nicht benötigten Sicherheitsabstände erlaubt aber eine kostenoptimierte Gesamtgestaltung und die direkte Integration der Prüfanlage in prozeßorientierte Fertigungsgestaltung.

## 2 Motivation zur Vorort - Prüfung

Grundsätzlich wird die Werksprüfung die Qualität der gefertigten Komponenten nachweisen. Zusätzlich ist die Prüfung Vorort nach Transport und Montage als Inbetriebnahmeprüfung angezeigt:

- Wandler / Schalter: I.a. keine Inbetriebnahmeprüfung mit Hochspannung notwendig
- Transformatoren: Bei Großtransformatoren mit Vorort Ölprozeß und Durchführungsmontage Vorort erscheint eine Spannungsprüfung sinnvoll
- GIS: Überprüfen der Systemmontage und der durchgeführten Füllprozesse
- Generatoren: Überprüfen der Fertigmontage der Wicklungen / Wicklungsisolation
- Kabelanlagen: Überprüfen der Vorort gefertigten oder montierten Garnituren und Verbindungen

Je nach Komponente sind verschiedene Methoden zum On-line-Monitoring eingeführt bzw. möglich. Im Betrieb wird die Komponente kontinuierlich mit ihrer Nennspannung und kurzzeitig mit netzfrequenten oder transienten Überspannung beansprucht.

Überspannungen in Hochspannungsnetzen

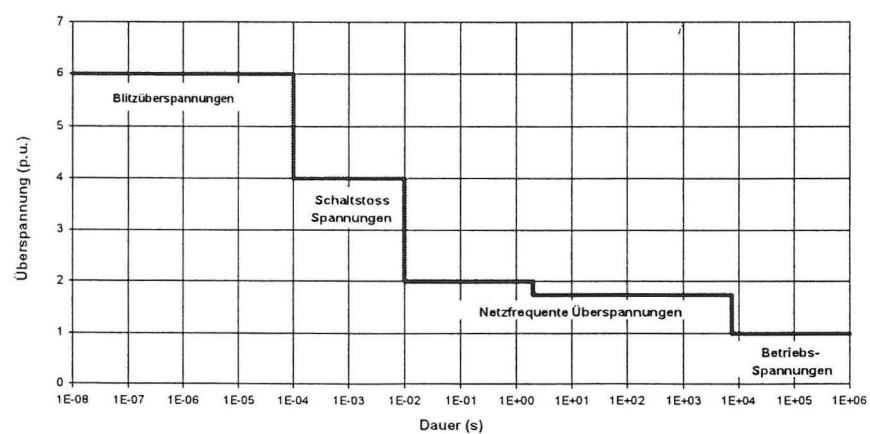


Fig. 1  
Überspannungen in Hochspannungsnetzen [2]

Die dauernde Spannungsbeanspruchung kann Alterungsprozesse oder Fehlereinsatz im Isolationssystem bewirken. Beim On-line-Monitoring werden elektrische Meßwerte als direkte Indikatoren ausgewertet (GIS, Kabel: TE breitbandig, VHF, UHF [3], Transformator: Übertragungsfunktion [4] TE) oder Sekundäreffekte elektrischer Schädigungen beobachtet.

Bei Wartungen von Komponenten besteht die Möglichkeit zur Kontrolle des Isolationszustandes durch Auswertung unterschiedlicher Meßgrößen (mechanisch, optisch, DGA (Dissolved Gas Analysis) [5, 6], C - tan  $\delta$ , RVM [7]). Die gezielte Prüfung mit Wechsel- oder Stoßspannung ist eine Möglichkeit die Aussagefähigkeit der Wartungsinspektion zu erhöhen oder den korrekten Abschluß der Wartungsarbeiten zu überprüfen. Hierbei wird immer abzuwägen sein zwischen dem Nutzen der Prüfung und der Gefährdung durch Vorschädigung bei Beanspruchung mit gegenüber Normalbetrieb überhöhter Spannung.

Insbesondere nach längeren Stillstandzeiten sollte vor Wiederinbetriebnahme die Spannungsfestigkeit der Komponenten überprüft werden (s.a. Kap. 5.5).

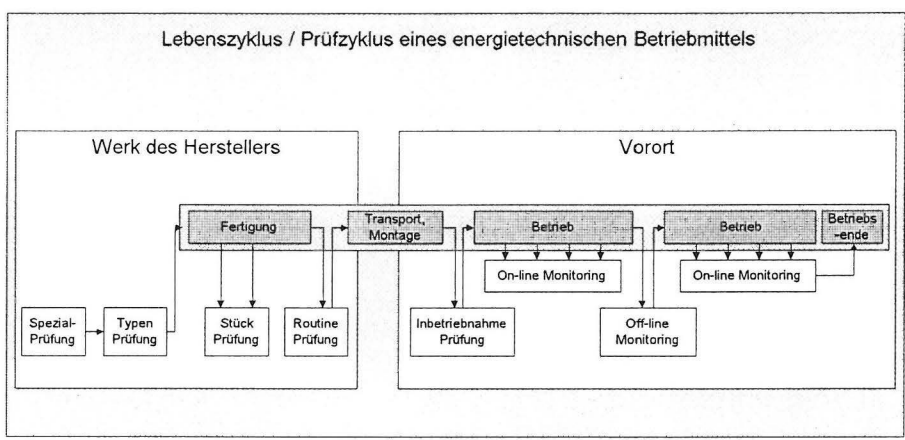


Fig. 2  
Lebenszyklus / Prüfzyklus eines Betriebsmittels

Vorort - Prüfungen ermöglichen immer ein langsames Steigern der Spannung am Betriebsmittel mit vergleichsweise geringer Prüfleistung. Dies ermöglicht bei auftretenden Fehlern eine spätere detaillierte Fehleruntersuchung. Tritt der Fehler bei Einschalten der Netzspannung auf, ist mit einer massiven Schädigungen der Fehlerstelle zurechnen. Eine Untersuchung der Fehlerursache ist in diesem Fall i. a. nicht möglich. Die Gefahr von Sekundärschäden ist erheblich.

### 3      **Auswahl der Prüfspannung für Vorort - Prüfungen**

Aussagekräftige Prüfergebnisse im Werk werden erzielt durch Prüfspannungen die der gleichen Form entsprechen wie der späteren Beanspruchung im Betrieb. Das heißt i.a. Werksprüfungen werden mit Wechselspannungen mit Netzfrequenz oder mit geringer Abweichung von der Netzfrequenz und mit Stoßspannungen durchgeführt.

Entsprechende Beanspruchungen sollen bei der Vorort - Prüfung ebenfalls realisiert werden. Nur das Fehlen entsprechender Prüfmittel hat in der Vergangenheit zur Vorort - Prüfung von Wechselspannungskomponenten mit DC oder VLF Wechselspannungen geführt. Die Aussagekraft solcher Prüfungen sind begrenzt, evtl. können die unrealistischen Prüfbedingungen Vorschädigungen im Prüfling verursachen z.B. [8]. Dies wurde vor allem für die Prüfung von XLPE Kabeln intensiv untersucht. Aus diesen Überlegungen folgt, daß bei Prüfmitteln Vorort vor allem Bedarf besteht an:

- Stoßspannungsgeneratoren
- Wechselspannungsgeneratoren

Wesentliche Voraussetzungen und Wunschanforderungen für Prüfanlagen im Vororteinsatz sind neben der Bereitstellung der benötigten Prüfspannung:

- Transportierbarkeit
- Geringes Gewicht
- Geringes Transportvolumen
- Kurze Installationszeiten
- Modularer Aufbau
- Wetterfest bei Transport
- Wetterfest bei Betrieb
- Einfache Bedienbarkeit

### 4      **Stoßspannungsprüfungen Vorort**

Stoßspannungen werden in der Vorort - Prüfung von GIS oft einer Wechselspannungsprüfung vorgezogen, weil die Modularität von Stoßspannungsgeneratoren automatisch Teile der Grundanforderungen erfüllt (Transportierbarkeit, geringes Gewicht, geringes Transportvolumen) und durch Stoßspannungsprüfungen große Teile der möglichen Fehler detektiert werden können.

Durch die Verwendung von schwingenden Stoßspannungen kann der Ausnutzungsfaktor eines Stoßspannungsgenerators deutlich erhöht werden. Dies ermöglicht den Einsatz von Generatoren mit reduzierter Summenladespannung im Vergleich zum benötigten Stoßpegel. Entsprechende Normenvorschläge werden z.Zt. diskutiert [9].



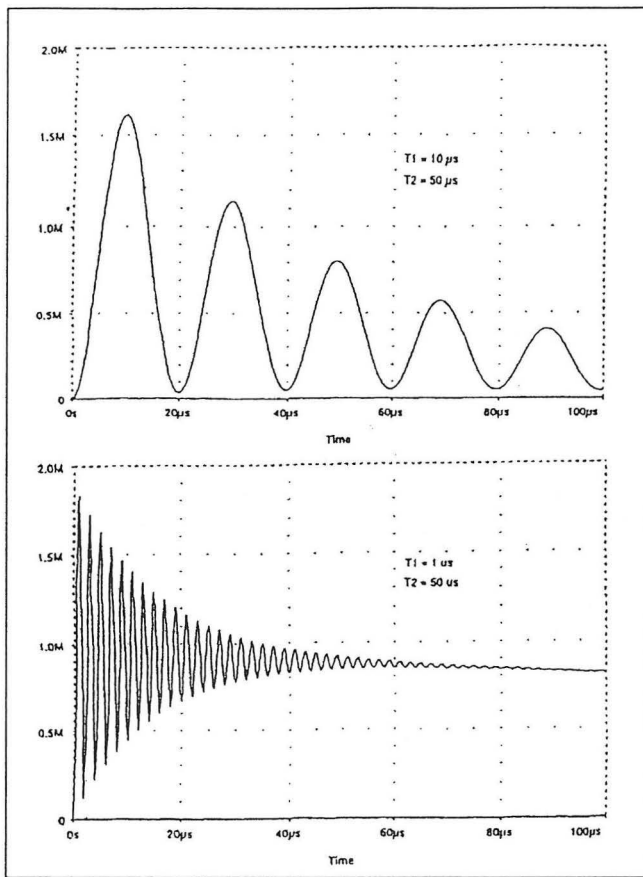


Fig. 3  
Beispiele von vorge-  
schlagenen Schwin-  
genden Stoßspannun-  
gen Vorort nach [9]

Bei lang ausgehenden Prüfobjekten (z.B. gasisolierte Leitungen, GIL) wird bei entsprechen-  
der Prüfung die Spannungsverteilung aufgrund von Fortpflanzungsgeschwindigkeit und Re-  
flexionserscheinungen nicht gleichmäßig sein [10].

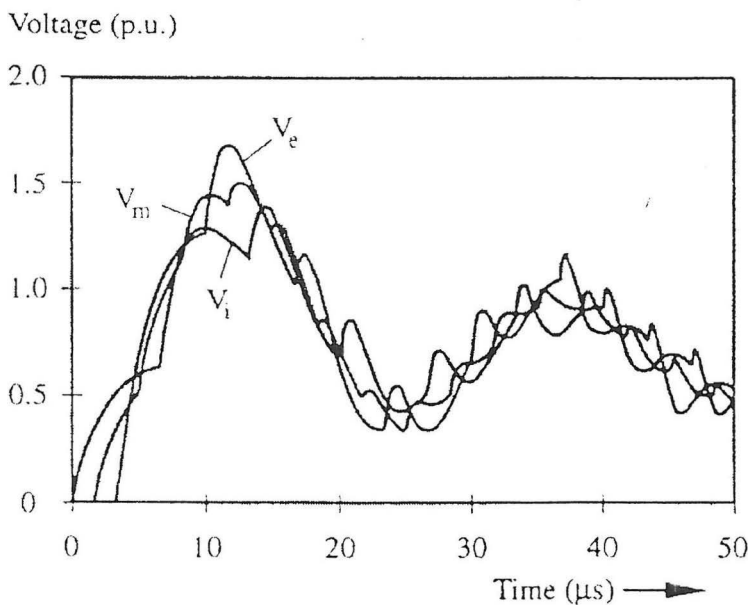


Fig. 4  
Schwingende Stoß-  
spannungsprüfung an  
einer GIL nach [10]

Entsprechende Prüfeinrichtungen sind in konventioneller oder auch gekapselter Bauweise verfügbar [11].

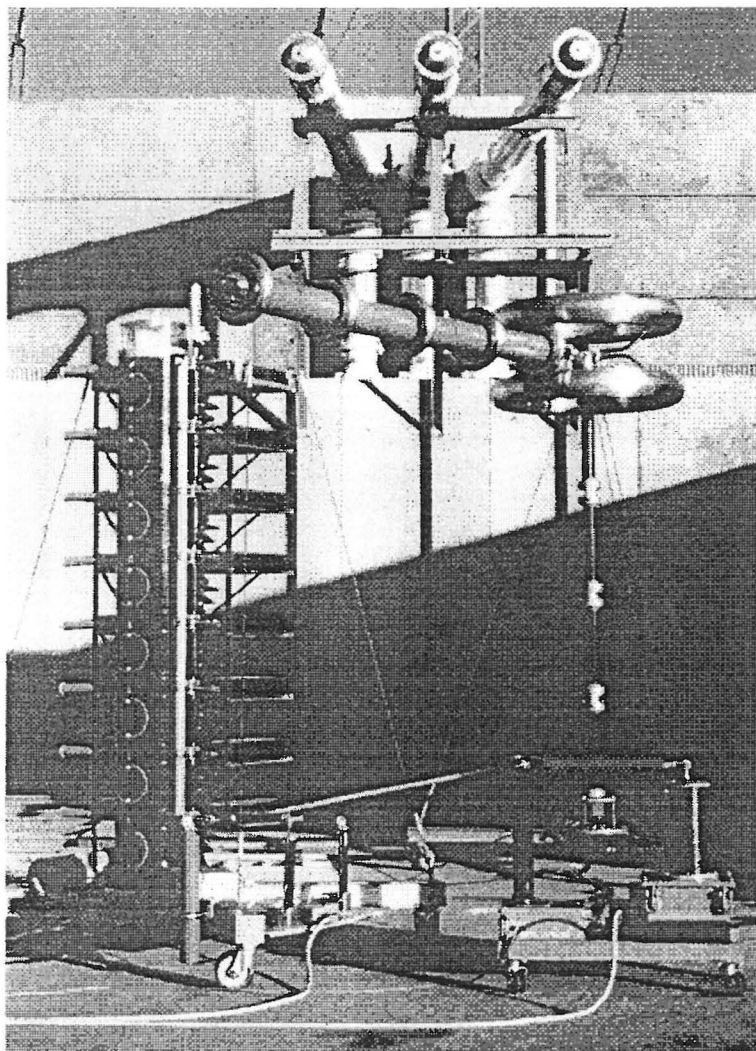


Fig. 5  
Stößspannungs-  
generator im Vorort  
Einsatz für schwingen-  
de Prüfspannungen

Blitzstoßprüfung an Objekten mit hoher Prüflingskapazität ist mit konventionellen Generatoren Vorort wie im Werk nicht möglich. Eine entsprechende Erweiterungsschaltung ist in [11, 12] beschrieben.

Allen alternativen Ersatzverfahren zur Prüfung von Komponenten und Teilsystemen Vorort ist die Prüfung entsprechend der dauernden Beanspruchung mit Wechselspannung vorzuziehen. Die generellen Möglichkeiten zur Wechselspannungs - Prüfung sind:

- Prüftransformatoren
- Serien- oder Parallelresonanzanlagen
  - Resonanzabstimmung mit variabler Induktivität
  - Resonanzabstimmung mit variabler Frequenz

Die grundsätzlichen Zusammenhänge sind in den folgenden Diagrammen dargestellt:

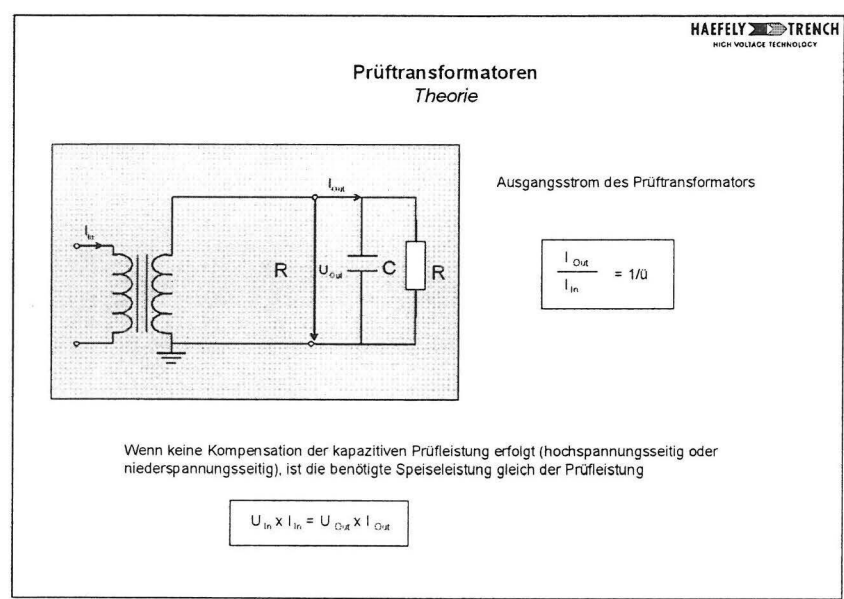


Fig. 6a  
Prinzipschema  
"Prüftransformator"

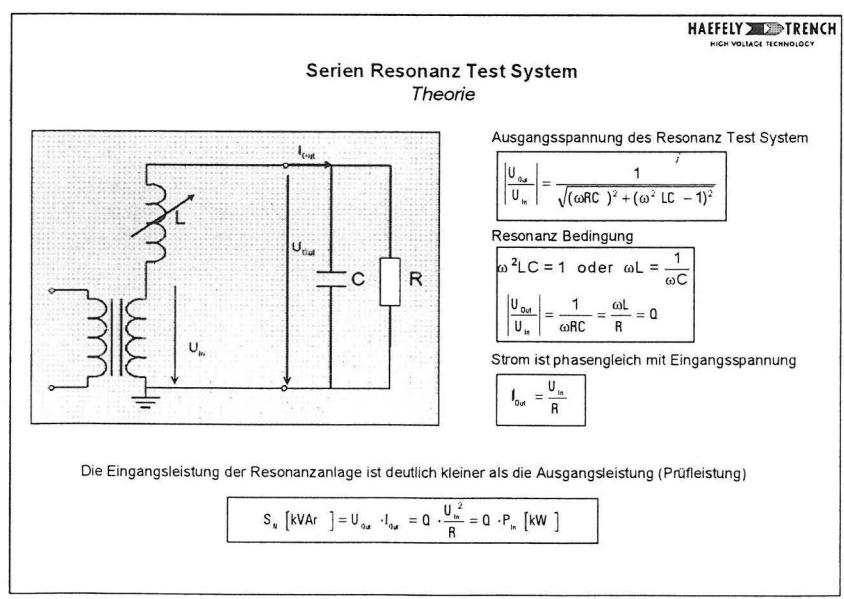
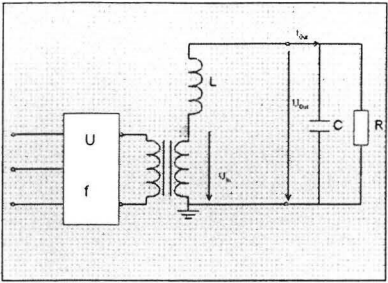


Fig. 6b  
Prinzipschema  
"Serien Resonanz Test  
System"

Serien Resonanz Test System mit variabler Frequenz  
Theorie



Ausgangsspannung des Resonanz Test System

$$\left| \frac{U_{out}}{U_{in}} \right| = \frac{1}{\sqrt{(\omega RC)^2 + (\omega^2 LC - 1)^2}}$$

Resonanz Bedingung

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ oder } \omega L = \frac{1}{\omega C}$$
$$\left| \frac{U_{out}}{U_{in}} \right| = \frac{1}{\omega RC} = \frac{\omega L}{R} = Q$$

Die Eingangsleistung der Resonanzanlage ist deutlich kleiner als die Ausgangsleistung (Prüfleistung)

Fig. 6c  
Prinzipschema  
"Serien Resonanz Test  
System mit variabler  
Frequenz"

Gerade für die Prüfung mit Wechselspannung ist die Forderung nach geringem Gewicht der Prüfanlage nicht leicht zu erfüllen. Nachfolgende Zusammenstellung zeigt typische Gewichts - Leistungsverhältnisse von Hochspannungserzeugern für Werks - und Vorort - Prüfungen. Unterschiedliche Betriebsmittel stellen sehr unterschiedliche Forderungen an die Leistungsstärke von Wechselspannungserzeugern.

Hochspannungseinheit	Typische Spezifikation "min"				bis	Typische Spezifikation "max"			
	Typ	kg	kVA	kg/kVA		Typ	kg	kVA	kg/kVA
Prüftransformator									
SF <sub>6</sub> - isoliert	230 kV 45 kVA	350	45	7.8		750 kV, 250 kVA	2'500	250	10.0
Kesseltyp	70 kV, 70 kVA	1'300	70	18.6		400 kV, 1'800 kVA	16'100	1'800	8.9
Zylindertyp	100 kV, 25 kVA	385	25	15.4		400 kV , 1'600 kVA	13'000	1'600	8.1
Reaktor mit variabler Induktivität									
Kesseltyp	75 kV, 1'000 kVA	5'500	1'000	5.5		400 kV 10'000 kVA	35'000	10'000	3.5
Zylindertyp	400 kV, 1'600 kVA	8'900	1'600	5.6		375 kV, 13'000 kVA	23'200	13'000	1.8
Reaktor mit variabler Frequenz									
SF <sub>6</sub> - isoliert						460 kV, 1'000 kVA	1'500	1'000	1.5
Kesseltyp						160 kV, 6'400 kVA	14'000	6'400	2.2
Zylindertyp	230 kV, 920 kVA	420	920	0.5		220 kV, 14'500 kVA	21'400	14'500	1.5
Luftspule mit fixer Induktivität									
Zylindertyp	100 kV, 4'000 kVA	2'500	4'000	0.6		100 kV, 100'000 kVA	7'000	100'000	0.07

Tabelle 1      Gewicht - Leistungsverhältnis verschiedener AC - Prüfsysteme

## 5.1 Wandlerprüfung

Vorort - Prüfungen von Wandlern mit hoher Wechselspannung werden im wesentlichen durchgeführt zur Überprüfung der Meßgenauigkeit des Gesamtsystems und zur Überprüfung von der Isolationsfestigkeit evtl. kombiniert mit entsprechender TE - Messung. Die benötigten Prüfleistungen sind klein.

- Daher können leistungsschwächere Systeme mit hoher Mobilität gut verwendet werden.
- Bei Prüfung oberhalb der Nennspannung des Betriebsmittels ist ein Übergang zu höheren Frequenzen nötig um Sättigungseffekte im Eisenkern zu verhindern. Dies kann sowohl mit Hilfe von Prüftransformatoren als auch mittels frequenzvariabler Resonanzprüfkreise erzielt werden.
- Bei Prüfung von kapazitiven Spannungswandlern ist dagegen die benötigte Prüfleistung deutlich erhöht.

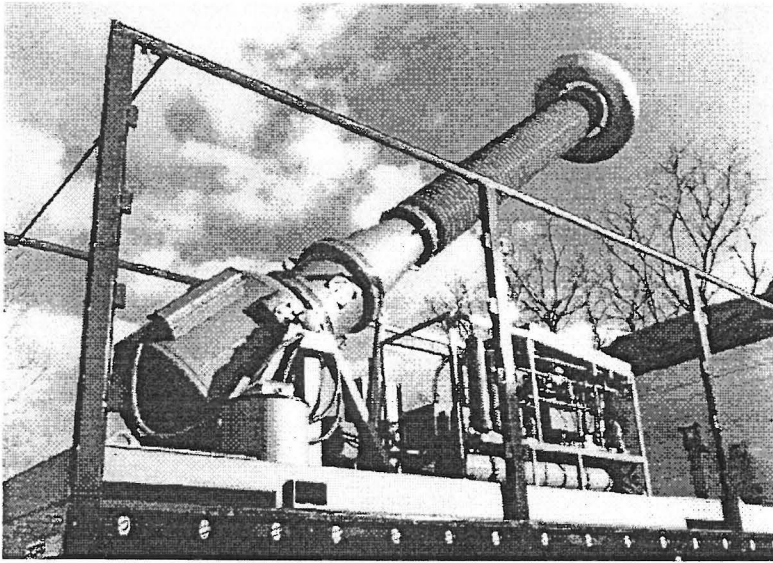


Fig. 7  
SF<sub>6</sub> - isolierter Transformator mit SF<sub>6</sub> - Luft Durchführung für Vorort - Wandlerprüfung

## 5.2 Transformator- Prüfung

Die Prüfung von Transformatoren Vorort ist stark umstritten. Bei umfangreichen Eingriffen in das Isolationssystem, wie z.B. Ölfüllung des Transformators Vorort oder die Vorort - Montage der Hochspannungsdurchführungen, scheint die Prüfung der Transformatorisolation jedoch sinnvoll. Die Bemerkungen zur Prüfung von GIS und Wandlern sind entsprechend anzuwenden.

Die benötigten Prüfleistungen hängen vor allem von der Baugröße der Anlage ab. Die Leistung ist gegenüber der Wandlerprüfung leicht bis deutlich erhöht. Bei Prüfung der Anlage mit angeschlossenen induktiven Wandlern ist wiederum auf die Erhöhung der Prüffrequenz zu achten.

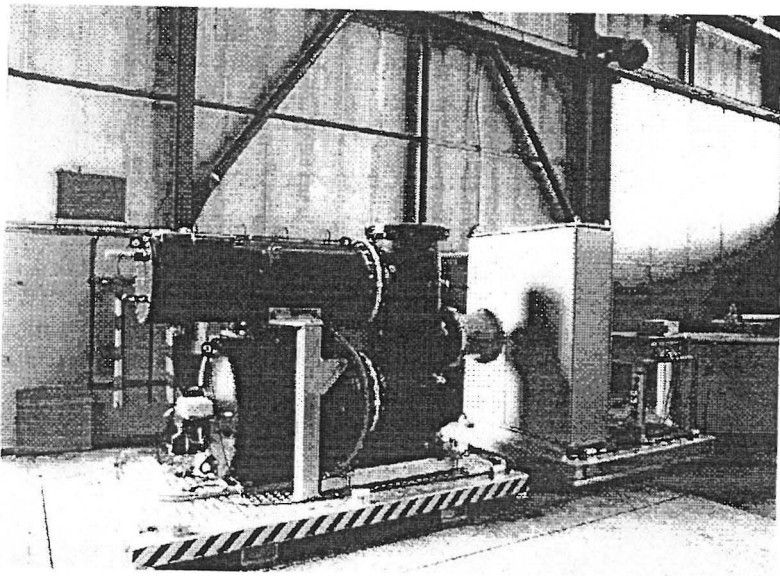


Fig. 8  
SF<sub>6</sub> - isolierter Transformator für Vorort - GIS Prüfung

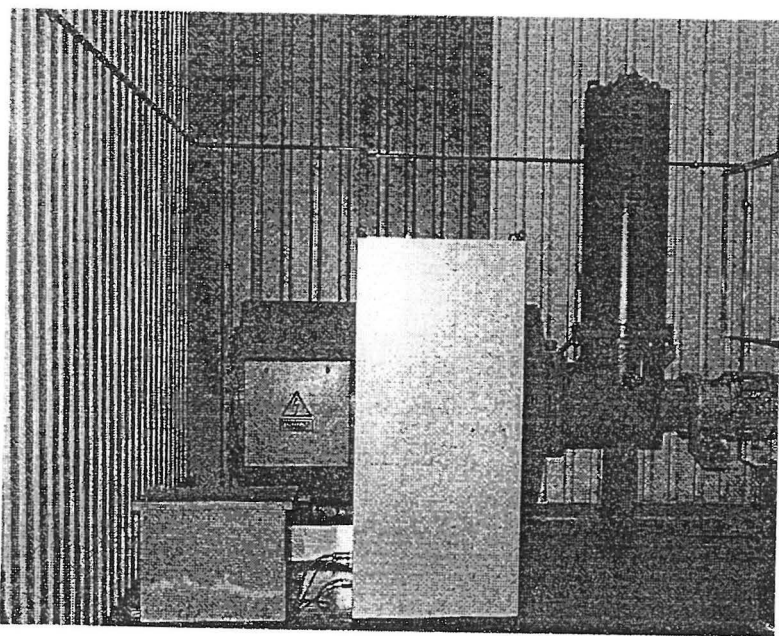


Fig. 9  
SF<sub>6</sub> - isolierte frequenzvariable Resonanzanlage für GIS-Prüfung



## 5.4 Generator / Motoren-Prüfung

Vorort - Prüfungen an Generatoren werden zum einem nach der Endmontage im Kraftwerk als Inbetriebnahmeprüfung und zum anderen im Rahmen der Generator - Revision als Off-line Monitoring durchgeführt. Dabei kann mit Hilfe der Wechselspannungsprüfung, zusammen mit einer breitbandigen TE - Messung und einer C -  $\tan\delta$  Messung, die Isolationseigenschaften der Statorwicklung beurteilt und die Lebensdauer der Wicklung abgeschätzt werden. Die erforderliche Prüfleistung ist recht hoch, so daß für diesen Anwendungsfall aufgrund des Gewichts - Leistungsverhältnis eine Resonanzanlage am geeignetsten ist.

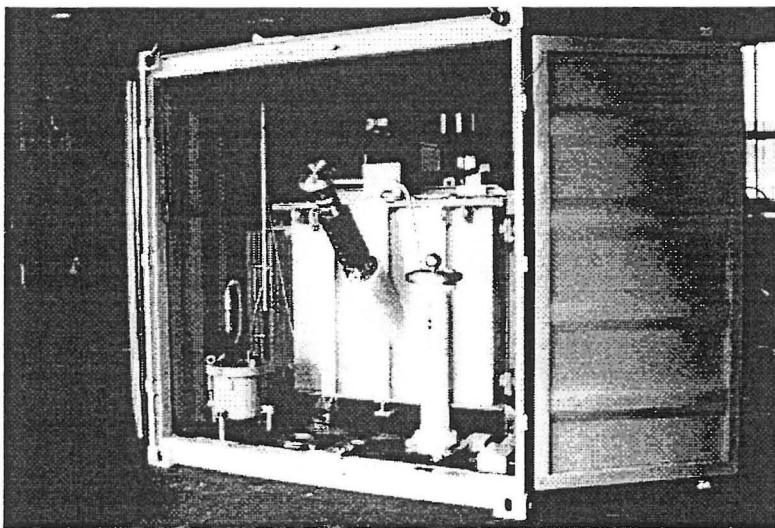


Fig. 10  
Resonanz Prüfsystem  
für Vorort - Prüfung an  
Generatoren inkl. TE -  
und C -  $\tan\delta$  Messung

## 5.5 Kabel-Prüfung

Wechselspannungsprüfung von Hochspannungskabeln in System - Längen von mehreren Kilometern stellen aufgrund der hohen benötigten kapazitiven Leistung die höchste Anforderung an die Leistungsfähigkeit der Prüfmittel. Aufgrund des günstigen Gewichts - Leistungsverhältnis bei frequenzvariablen Resonanzanlagen kommen für Kabelprüfungen Vorort ausschließlich diese Art von Anlagen zum Einsatz [13, 14]. Nur bei der Prüfung von Mittelspannungskabeln wird durch den Übergang zu 0,1 Hz Prüffrequenz der Blindleistungsbedarf so reduziert, daß auch hier leistungsschwächere Systeme zum Einsatz kommen. Diese Reduzierung der Prüfleistung wird jedoch durch Einschränkung in der verwendbaren Meßtechnik (TE, C -  $\tan\delta$ ) und in immer wiederkehrender Diskussion über die Aussagekraft der Messungen erkauft.

Mehrere leistungsstarke Prüfanlagen sind zur Zeit im Einsatz. Das derzeit leistungsstärkste ist in den technischen Daten im folgenden durchgeführt.



### 5.5.1 Leistungsstarke Vorort - Prüfanlage für verlegte Hochspannungskabel, Dimensionierungsgrundlagen und praktische Erfahrungen

Das beschriebene System auf dem Funktionsprinzip der frequenzvariablen Serienresonanzanlage dient zur Prüfung großer kapazitiver Lasten mit hoher Wechselspannung.

Technische Daten			
Konfiguration	1 Modul (1S1P)	2 Module parallel (1S2P)	2 Module seriell (2S1P)
Nennspannung	220 kV	220 kV	440 kV
Nennleistung	14.5 MVA	29 MVA	29 MVA
Max. Prüfkapazität	1.6 $\mu$ F	3.2 $\mu$ F	0.8 $\mu$ F
Frequenzbereich	30 Hz - 200 Hz		
Tuning - Bereich	1 : 44.44		
Lastzyklus	1 h ON / 2 h OFF, 6 x in 48 h (Kühlmethode „OIL Forced Air Forced“, OFAF)		
Gewicht incl. Auflieger	40 t		
Länge	13.6 m		
Breite	2.5 m		
Höhe	4 m		

Tabelle 2 Technische Daten Resonanzanlage mit variabler Frequenz Typ RSZF 440-66

Die elektrische Speisung Vorort wird im allgemeinen durch einen Diesel - Generator zur Verfügung gestellt. Um die benötigte Mobilität zu erreichen ist das gesamte System (1S1P) auf einem Auflieger montiert.

Ein zusätzlicher Reaktor zur Erweiterung des abgleichbaren Lastbereichs kann entweder in Serie zur Verdopplung der Ausgangsspannung oder parallel zur Verdoppelung des Ausgangsstroms geschaltet werden.

Aufgrund des einfachen Aufbaus beträgt die Einrichtungzeit zur Prüfung nach dem Eintreffen der Anlage Vorort weniger als eine Stunde. Die möglichen Betriebsfrequenzen der Anlage liegen zwischen 30Hz und 200Hz.

Sicherheitschecklisten sind vom Anlagenbetreiber erstellt. Die Bedienungsanleitungen und Sicherheitshinweise des Herstellers sind entsprechend eingearbeitet.

Bei der Dimensionierung der Anlage ist insbesondere auf die speziellen Anforderungen durch Umwelteinflüssen und häufige Bewegung durch den Transport zu achten. Entsprechende Sicherheiten sind in das System und die Komponenten einzurechnen.

Das System ist seit Oktober 1996 in Betrieb zur Prüfung von XLPE und Öl - Papier- Kabeln. Zwischen Oktober 1996 und Januar 1998 wurden 112 Prüfungen an mehr als 70 Standorten durchgeführt. Die größte Anzahl der Prüfungen erfolgte in Deutschland und den Niederlanden.

Prüfspannungen waren von 60kV bis 220kV. Lastkapazitäten lagen zwischen 50 $\mu$ F und 3000 $\mu$ F, die Prüffrequenzen zwischen 30Hz und 136Hz.

Eines der geprüften Kabelanlagen versagte beim Hochfahren der Spannung bei 1.2  $U_0$  in einer Kabelmuffe.

Die aus Gewichtsgründen gewählte Isoliermantelbauweise bedingt einen eingeschränkten Betrieb bei Regen. Die Erfahrung zeigt, daß keine Prüfungen aufgrund von Wetterbedingungen abgesagt wurden. Einige Prüfungen wurden um einige Stunden verschoben.

Zur Verbindung des Systems in ein Gebäude hinein steht ein 200m langes EPR isoliertes Kabel zur Verfügung. Das Kabel kann auch zur Vergrößerung der Lastkapazität verwendet werden um die Resonanzprüffrequenz entsprechend zu verkleinern.

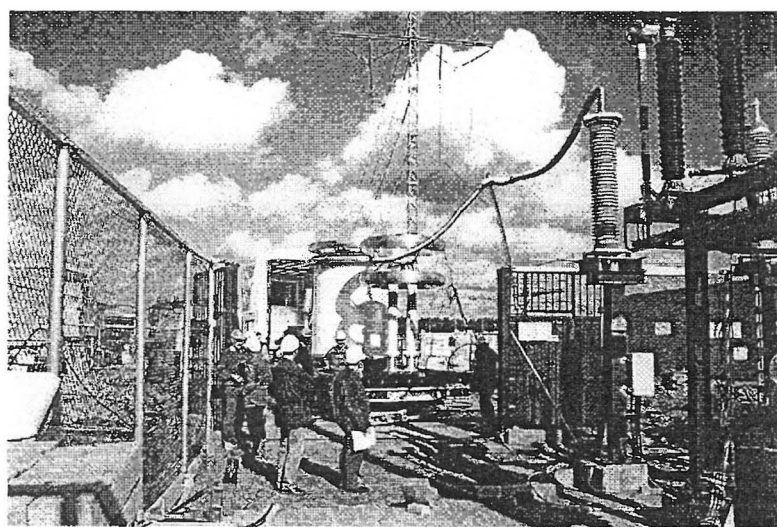


Fig. 11  
Resonanz - Prüfsystem mit  
variabler Frequenz für  
Vorort - Prüfungen an ver-  
legten Kabeln  
(Foto wurde freundlicher-  
weise von der Firma NKF  
Kabel Delft, Niederlande  
zur Verfügung gestellt)

5.5.2    Prüfungsvorschriften zur Kabelprüfung Vorort

Die Normen zur Vorort - Prüfung von Kabeln sind zur Zeit stark diskutiert. Ein Vorschlag der CIGRE WG 21.09 ist in [15] veröffentlicht:

Nennspannung [kV]	vorgeschlagene Prüfspannung Vorort	Prüfdauer
60 bis 115	2.0 U <sub>0</sub>	1h
130 bis 150	1.7 U <sub>0</sub>	1h
220 bis 230	1.4 U <sub>0</sub>	1h
275 bis 345	1.4 U <sub>0</sub>	1h
380 bis 400	1.1 U <sub>0</sub>	1h

Tabelle 3: Vorgeschlagene Prüfspannungen nach [15]

Dieser Vorschlag wurde bei keiner der durchgeführten Prüfungen berücksichtigt. Vielmehr wurden Prüfungen im allgemeinen basierend auf KEMA Empfehlungen definiert:

- 2.5 U<sub>0</sub>                    für 10 Minuten bei neuen XLPE Kabeln
- 2.5 U<sub>0</sub> x 0.8            für 10 Minuten bei alten XLPE Kabeln

Weitere Prüfungen:

- 2.0 U<sub>0</sub>                    für 30 Minuten bei neuen XLPE Kabeln
- 3.0 U<sub>0</sub>                    für 10 Minuten bei XLPE Kabeln mit erwarteten Problemen

Öl- Papier- isolierte Kabel werden mit höheren Spannungen geprüft. Wurde die Spannung von 220kV nur leicht überschritten, wurden die Prüfungen mit 220kV, 30min durchgeführt um den Einrichtungsaufwand des 440kV Prüfsystems zu umgehen.

Die Prüffrequenz von >100Hz bei kurzen Kabellängen war in Einzelfällen Grund zu Diskussionen. Zusätzlich installierte kapazitive Grundlast kann in solchen Fällen zur Reduktion der Prüffrequenz benutzt werden.

Die beschriebenen Erfahrungen und die in vielen Fällen kundenspezifischen Prüfbedingungen zeigen offensichtlich, daß der Vorschlag die Vorort - Prüfspannungen zu normieren und die aktuelle Prüfpraxis noch weit voneinander entfernt sind.

### 5.5.3 Zukünftig zu erwartende Entwicklung

Vorort - Prüfung von Kabeln wird einen immer höheren Stellenwert erhalten. Die Verfügbarkeit leistungsstarker Prüfanlagen wird diesen Trend verstärken.

Bei extremen Anforderungen in Bezug auf zu prüfende Kabellängen ist eine Erweiterung des Lastbereichs der Vorort Prüfeinrichtungen durch parallel schalten weiterer Kompensationsreaktoren möglich. Hierbei ist wie bei allen Vorort - Technologien auf Gewicht und Transportierbarkeit zu achten. Zusätzlich ist bei dieser Art von Erweiterung eine hohe Güte der Zusatzreaktoren gefordert, um die Einspeisung der Prüfanlage nicht zu überlasten. Eine Möglichkeit ist die Verwendung von Luftdrosseln. Einschränkend wirkt dabei der magnetische Streufluß und die bei Luftspulen begrenzte Spannungsfestigkeit.

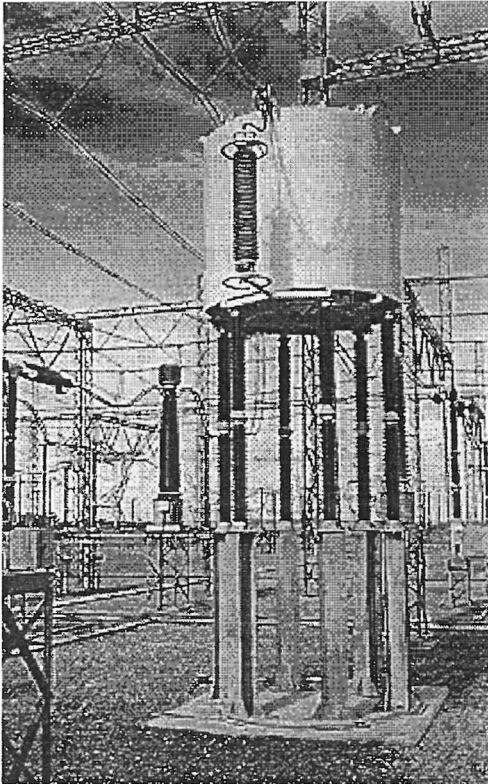


Fig. 12  
Luftspule zur Lastbereichserweiterung

Das gleiche Konzept der Lastbereichserweiterung kann auch bei Prüfungen im Werk zur Prüfung von langen Fertigungslängen mit konventionellen Prüfanlagen eingesetzt werden (s. auch Tab. 1). Auch dabei ist auf ausreichende Dimensionierung der Speisung zu achten.

Bei der Vorort - Prüfung mit Wechselspannung werden zur Zeit fast ausschließlich reine Spannungsprüfungen durchgeführt. Verschiedene Ansätze zur Teilentladungsmessung an Kabeln bzw. Muffen und Endverschlüssen sind in der Diskussion z.B. [16,17] . Die konventionelle breitbandige TE Meßtechnik erscheint aufgrund des ungünstigen Verhältnisses von Koppelkondensatorkapazität zur Lastkapazität nicht erfolgversprechend. Aufgrund der Dämpfung von TE - Impulsen im Zuge des Kabels [18] ist eine verteilte Messung über die Länge des Kabels sinnvoller.

## 6 Zusammenfassung

Für verschiedene Betriebsmittel in Hochspannungsnetzen gelten unterschiedliche Motivationen zur Hochspannungsprüfung Vorort. Sowohl Stoßspannungsprüfung als auch Wechselspannungsprüfungen können Vorort sinnvoll sein. Insbesondere bei Wechselspannungsprüfungen waren im wesentlichen fehlende Prüfmittel Ursache für die Einführung alternativer Prüfspannungen.

Die erhöhte Aussagekraft von Messungen bei Wechselspannung und die Einführung leistungsstarker Anlagen weisen den Weg zur verstärkten Prüfung mit netzfrequenten oder nahe der Netzfrequenz liegenden Prüfspannungen.

## 7 Literatur

- [1] M. Gamlin, et.al.  
Encapsulated Test Systems Insulated with SF<sub>6</sub>  
10<sup>th</sup>, International Symposium on High Voltage Engineering  
ISH, Montréal, Kanada 1997
- [2] H. Koettnitz, et.al.  
Grundlagen elektrischer Betriebsvorgänge in Elektroenergiesystemen  
VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig
- [3] K. Feser, R. Kurrer  
Insulation Monitoring of Gas-insulated Substations with Respect to Life Cycle  
10<sup>th</sup>, International Symposium on High Voltage Engineering,  
ISH, Montréal, Kanada 1997
- [4] T. Leibfried  
Einsatz der Übertragungsfunktion zur Online-Überwachung von Transformatoren  
7. Haefely Trench Symposium, Stuttgart 1995
- [5] C. Beauchemin, et.al.  
On-line Monitoring of key fault gases in transformer oil:  
An operational experience accumulated over the years  
10<sup>th</sup>, International Symposium on High Voltage Engineering,  
ISH, Montréal, Kanada 1997
- [6] P. Matthiessen  
Service, Maintenance and Diagnosis of instrument transformers  
6<sup>th</sup> International Power System Conference, Teheran, Iran, 1991
- [7] G. Urbani  
Die RVM Methode zur Beurteilung des Alterungszustandes von Öl-Papier Isolation  
Haefely Symposium, Stuttgart, 1998
- [8] J.L. Parpal  
DC Testing of XLPE insulation  
Jicable "95", Versailles, Frankreich, 1995

- [9] Draft for an Amendment to IEC 60:  
High Voltage testing on site WG 33.03-97 IWD 20  
Lake George, USA, 1997
- [10] A. Diessner, et.al  
Progress in High Voltage Testing of Gas Insulated Transmission Lines  
10<sup>th</sup>, International Symposium on High Voltage Engineering,  
ISH, Montréal, Kanada 1997
- [11] A. Claudi  
Neue Entwicklungen in der Impulsprüftechnik  
Haefely Symposium, Stuttgart, 1998
- [12] J. Wolf, G. Voigt  
A new solution for the extension of the load range of impulse voltage generators  
10<sup>th</sup>, International Symposium on High Voltage Engineering,  
ISH, Montréal, Kanada 1997
- [13] P. Mohaupt et.al.  
High Voltage Testing using Series Resonance with variable Frequency  
10<sup>th</sup>, International Symposium on High Voltage Engineering,  
ISH, Montréal, Kanada 1997
- [14] W. Hauschild et.al.  
Alternating voltage on-site testing of XLPE cables:  
The parameter selection of frequency turned resonant test systems  
10<sup>th</sup>, International Symposium on High Voltage Engineering,  
ISH, Montréal, Kanada 1997
- [15] CIGRE WG 21.09  
After laying tests on high voltage extruded insulation cable systems  
ELECTRA, No. 173, August 1997
- [16] C.G. Henningsen et.al.  
Experience with an On-Line Monitoring System for 440kV XLPE cables  
IEEE T&D Conference, Los Angeles, USA, 1996
- [17] Th. Heinzmann et.al.  
On-site Partial Discharge Measurements on premoulded  
Cross-Bonding Joints of 170kV XLPE and EPR Cables  
IEEE PES Summer Meeting, Berlin, 1997
- [18] Th. Heinzmann, W. Zaengl  
Impulsausbreitung in Hochspannungskabeln  
III. International Cable Conference, Budapest, 1989

## Danksagung

- I. Die Autoren bedanken sich für die freundliche Unterstützung durch die Firma NKF Kabel, Delft, Niederlande, insbesondere für die Bereitstellung von Erfahrungen in der Vorort - Kabelprüfung und den verwendeten Prüfparametern.