



Inbetriebnahme- prüfung

von Mittelspannungs-
kabelanlagen

Impressum

© Forum Netztechnik / Netzbetrieb im VDE (FNN)

Bismarckstraße 33, 10625 Berlin

Telefon: + 49 (0) 30 3838687 0

Fax: + 49 (0) 30 3838687 7

E-Mail: fnn@vde.com

Internet: <http://www.vde.com/fnn>

Oktober 2017

Inbetriebnahmeprüfung von Mittelspannungskabelanlagen

**Erläuterungen zu Prüfungen nach VDE 0276-620, Teil 10-C,
Abschnitt 3.5**

**Technischer Hinweis
Version 2.0**



Inhalt

1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	10
4 Überblick über Prüf- und Messverfahren	12
4.1 Prüfverfahren.....	12
4.1.1 Sichtprüfung	12
4.1.2 Kabelmantelprüfung	12
4.1.3 Isolationsprüfung	13
4.1.4 Spannungsprüfung	13
4.2 Messverfahren.....	15
4.2.1 Hintergrund.....	15
4.2.2 Messung des dielektrischen Verlustfaktors $\tan \delta$	15
4.2.3 Polarisations-/Depolarisationsstrommessung	15
4.2.4 Rückkehrspannungsmessung	16
4.2.5 TE-Messung	16
5 Inbetriebnahmeprüfung	17
5.1 Aufgaben der Inbetriebnahmeprüfung.....	17
5.2 Möglichkeiten der Inbetriebnahmeprüfung	17
5.2.1 Stufe A – Sichtprüfung	18
5.2.2 Stufe B – Sichtprüfung und Kabelmantelprüfung	18
5.2.3 Stufe C – Sichtprüfung, Kabelmantelprüfung und Spannungsprüfung	18
5.2.4 Stufe D – Sichtprüfung, Kabelmantelprüfung, Spannungsprüfung und TE-Messung	18
6 Dokumentation der Inbetriebnahmeprüfung	20
6.1 Inhalt und Umfang der Dokumentation.....	20
7 Grundlegendes zur Zustandsbewertung	21

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Empfohlener Prüfspannungspegel und –dauer bei der Kabelmantelprüfung	13
Tabelle 2 Verfahren zur Spannungsprüfung	14
Tabelle 3 Übersicht der Prüfpegel und -dauer bei Spannungsprüfungen für Kunststoff- und Papierkabel in Anlehnung an DIN VDE 0276-620, DIN VDE 0276-621, DIN VDE 0278-629-1, DIN VDE 0278-629-2	14
Tabelle 4 Mögliche Stufen der Inbetriebnahmeprüfung	17

Vorwort zur zweiten Ausgabe

Energiekabelanlagen sind wichtige Betriebsmittel bei der Verteilung und Übertragung elektrischer Energie.

Die erste Ausgabe des technischen Hinweises in 2013 fokussierte auf Inbetriebnahmeprüfungen von Mittelspannungskabelanlagen als ein mögliches Mittel der Qualitätssicherung und diente damit der Sicherstellung eines sicheren und zuverlässigen Netzbetriebs. Die Empfehlungen dieses technischen Hinweises dienen der besseren Orientierung auf diesem komplexen Themenfeld.

Aufgrund der Überarbeitung der DIN VDE 0276-620, Teil 10-C Abschnitt „Empfohlene Prüfungen nach der Legung“ wurde der FNN-Hinweis angepasst. Dieser gibt dem Anwender aktualisierte Hinweise zur Durchführung von Inbetriebnahmeprüfungen und erstmalig Informationen zur Zustandsbewertung (Kabeldiagnose).

Der Technische Hinweis wurde von der Projektgruppe „Kabelprüfung MS“ des Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (FNN) erarbeitet.

Einleitung

Die Verteilung elektrischer Energie erfolgt im Niederspannungs- und Mittelspannungsnetz überwiegend unter Verwendung von Energiekabelanlagen. Die Stromkreislänge der Mittelspannungskabelnetze betrug 2015 ca. 310.000 km^{*)}. Dabei entfielen ca. 40 % auf papierisolierte Kabel (Massekabel etc.) und ca. 60 % auf kunststoffisolierte Kabel der verschiedenen Technologien [1]. Kabelanlagen stellen damit wertmäßig ein bedeutendes Asset der Verteilungsnetze dar.

Die hohe Bedeutung von Mittelspannungskabelanlagen für eine sichere und zuverlässige elektrische Energieversorgung erfordert geeignete Maßnahmen der Qualitätssicherung. Obwohl heutzutage grundsätzlich von einer hohen Güte bei der Fertigung der Kabel sowie Garnituren ausgegangen werden kann, ist vor der Inbetriebnahme einer Mittelspannungskabelanlage das einwandfreie Funktionieren dieser Anlage durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen.

Neben den elektrischen Inbetriebnahmeprüfungen gehören zu diesen Maßnahmen bspw. Präqualifikationen, die Anwendung von Werksnormen bzw. Anweisungen, spezielle Monteurpässe usw. Grundsätzlich muss der Betreiber von Mittelspannungskabelanlagen unter Berücksichtigung von Gefährdungsbeurteilungen und betrieblichen Erfahrungen eine entsprechende Qualitätsstrategie entwickeln.

Ziel der Inbetriebnahmeprüfung ist es, die sachgerechte Arbeitsausführung zu prüfen und ein hohes Maß an Betriebssicherheit und Versorgungszuverlässigkeit zu erreichen bzw. zu erhalten. Damit kann die Qualität von Betriebsmitteln und Montagearbeiten an der Kabelanlage überprüft werden, um insbesondere Mängel aufzudecken, die den ordnungsgemäßen Betrieb behindern oder Gefährdungen hervorrufen können. Dadurch wird der Personenschutz bei der Inbetriebnahme erhöht und Ausfälle durch unerkannte Montagefehler lassen sich reduzieren.

Der technische Hinweis richtet sich vornehmlich an Betreiber von Mittelspannungskabelanlagen, aber auch an Hersteller, Errichter, Prüfinstitute und wissenschaftliche Einrichtungen.

In dieser zweiten Ausgabe liegt nun der Schwerpunkt auf Hinweisen für die Anwender zur Durchführung der Inbetriebnahmeprüfungen nach DIN VDE 0276-620, Teil 10-C, Abschnitt 3.5 und Abschnitt 4, Nr. 16 + 17.

In der aktuellen Ausgabe der DIN VDE 0276-620, Teil 10-C wurde neben dem Schwerpunkt technische Anpassungen von Produktmerkmalen auch der Überarbeitung der Inbetriebnahmeprüfung deutlich mehr Bedeutung beigemessen.

In Abschnitt 3.5 werden empfohlene Prüfungen wie Mantelprüfungen und Spannungsprüfungen an der Isolierung nach der Kabellegung aufgezeigt.

In Abschnitt 4 „Leitfaden für die Verwendung“ werden Hinweise zu Voraussetzungen, Anlässen, Auswahlkriterien und entsprechende Empfehlungen gegeben. Dieser Leitfaden nennt Maßnahmenschritte und gibt dem Anwender die Möglichkeit, Methoden und Prozessschritte kompetent für seine Netzerfordernisse festzulegen. So wurden in Nr. 16 „Prüfungen an gelegten Kabeln“ die aktuellen internationalen und nationalen Erkenntnisse normativ eingearbeitet. In der neu erarbeiteten Nr. 17 „Hinweise zur Inbetriebnahme“ werden methodische und konzeptionelle Hinweise zu einem Inbetriebnahmekonzept für den Netzbetreiber empfohlen.

*) Berücksichtigt die Stromkreislängen der teilnehmenden Betreiber [1].

1 Anwendungsbereich

Dieser technische Hinweis gilt für Energiekabelanlagen mit AC-Nennspannungen $U_0/U(U_m)$ von 3,6/6(7,2) kV bis 20,8/36(42) kV für die Verwendung in Verteilungsnetzen.

ANMERKUNG: Im allgemeinen Sprachgebrauch sind hierfür die Begriffe „Mittelspannungsnetz“ bzw. „Mittelspannungskabelstrecke“ gebräuchlich.

Der technische Hinweis gibt Empfehlungen zu Möglichkeiten einer Inbetriebnahmeprüfung dieser Mittelspannungskabelanlagen unter Berücksichtigung des bestehenden Vorschriftenwerks (u. a. DIN VDE 0276-620, Teil 10-C, DIN VDE 0105-100, DGUV Vorschrift 3) und sonstiger, insbesondere ordnungspolitischer, Rahmenbedingungen (z. B. EnWG, ARegV).

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Technischen Hinweises erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN VDE 0105-100 (VDE 0105-100) Betrieb von elektrischen Anlagen – Teil 100: Allgemeine Festlegungen

DIN VDE 0276-620, Teil 10-C (VDE 0276-620) Starkstromkabel – Teil 620: Energieverteilungskabel mit extrudierter Isolierung für Nennspannungen von 3,6/6 (7,2) kV bis einschließlich 20,8/36 (42) kV

DIN VDE 0276-621 (VDE 0276-621) Starkstromkabel – Teil 621: Energieverteilungskabel mit getränkter Papierisolierung für Mittelspannung

DIN VDE 0278-629-1 (VDE 0278-629-1) Prüfanforderungen für Kabelgarnituren für Starkstromkabel Nennspannung von 3,6/6(7,2) kV bis 20,8/36(42) kV – Teil 1: Kabel mit extrudierter Kunststoffisolierung

DIN VDE 0278-629-2 (VDE 0278-629-2) Prüfanforderungen für Kabelgarnituren für Starkstromkabel mit einer Nennspannung von 3,6/6(7,2) kV bis 20,8/36(42) kV – Teil 2: Kabel mit massegetränkter Papierisolierung

3 Begriffe

3.1 Isolierung

Aufbauschicht zwischen innerer leitfähiger Schicht um den Leiter und der äußeren feldbegrenzenden Schicht des Kabels.

3.2 Kabelanlage

Gesamtheit aller für den Betrieb notwendigen Komponenten.

3.3 Kunststoffkabel

Kabel mit Isolierung aus Kunststoff (z. B. Polyethylen (PE), vernetztes Polyethylen (VPE)).

3.4 Papierkabel

Kabel mit getränkter Papierisolierung.

3.4.1 Massekabel

Kabel mit massegetränkter Papierisolierung.

3.4.2 Ölkabel

Kabel mit ölgetränkter Papierisolierung.

3.5 Mischkabelstrecke

Kabelanlage bestehend aus Kunststoff- und Papierkabel.

3.6 Kabelmantel

Äußere Schicht des Kabels.

3.7 Garnitur

Muffen, Endverschlüsse oder Kabelsteckteile (siehe DIN VDE 0278-629).

3.8 Inbetriebnahme

Erstmaliges Einschalten einer Anlage durch den Betreiber nach Errichtung, Änderung, Erweiterung oder Sicherheitsabschaltung mit gleichzeitiger Übertragung der Anlagenverantwortung.

ANMERKUNG Eine Sicherheitsabschaltung wird z. B. bei Baumaßnahmen in der Nähe von Kabelanlagen vorgenommen.

3.9 Teilentladung (TE)

Lokale und eng begrenzte Zusammenbrüche der Isolierfähigkeit, die nicht sofort zum Durchschlag der Isolierung führen.

3.10 Nennspannung

Eine durch Kombination der Werte $U_0/U (U_m)$ angegebene Spannung in kV.

3.11 U_0

Effektivwert der Spannung zwischen isoliertem Leiter und Erde.

3.12 U

Effektivwert der Spannung zwischen zwei Außenleitern.

3.13 U_m

Maximaler Effektivwert der Spannung zwischen zwei Außenleitern.

ANMERKUNG Die Isolierung der Betriebsmittel wird auf diese Spannung ausgelegt.

3.14 Prüfspannung

Angelegte Spannung zur Prüfung.

ANMERKUNG Die Prüfspannung ist in der Regel ein Vielfaches der Spannung U_0 .

3.15 Prüfung

Vergleich von festgelegten Kriterien mit den aktuellen Werten (Ja/Nein-Ergebnis).

3.16 Inbetriebnahmeprüfung

Gesamtheit der Prüfungen vor dem Einschalten der Kabelanlage.

3.17 Kabelmantelprüfung

Prüfung der Unversehrtheit des Kabelmantels nach der Legung.

3.18 Isolationsprüfung

Prüfung des Widerstandes der Isolierung des Kabels.

3.19 Spannungsprüfung

Prüfung der Isolierung auf Spannungsfestigkeit.

3.20 Sichtprüfung

Visuelle Kontrolle der Kabelanlage.

3.21 Messung

Aufnahme von Werten.

3.22 TE-Messung

Ein nach IEC 60270 genormtes Verfahren zur Bestimmung der scheinbaren TE-Impulsladung (q), der TE-Einsatzspannung (PDIV) und der TE-Aussetzspannung (PDEV).

3.23 $\tan\delta$ -Messung / Verlustfaktormessung

Integrale Messmethode zur Bestimmung der dielektrischen Verluste einer Isolierung.

3.24 Diagnose

Interpretation der Messwerte hinsichtlich des Zustandes.

4 Überblick über Prüf- und Messverfahren

4.1 Prüfverfahren

4.1.1 Sichtprüfung

Die Sichtprüfung ist die visuelle Kontrolle der Kabelanlage auf Fehler, Beschädigungen oder Schmutzablagerungen.

Die Möglichkeiten der Sichtprüfung bei Kabelanlagen sind beschränkt, d.h. innere Fehler können in der Regel nicht erkannt werden.

4.1.2 Kabelmantelprüfung

Ein unversehrter Kabelmantel bietet den Kabelaufbauelementen, insbesondere der Isolierung, einen wirksamen Schutz vor eindringender Feuchtigkeit.

Die Kabelmantelprüfung wird an Kabelanlagen durchgeführt, deren Schirmung bauartbedingt keinen Kontakt zum Erdpotential hat. Die Prüfung liefert nur eine Aussage für den erdverlegten Teil.

ANMERKUNG Eine Kabelmantelprüfung ist beispielsweise nicht durchführbar bei erdfühli- gen Gußeisenmuffen.

Bei Mischkabelstrecken kann die Kabelmantelprüfung des zu prüfenden kunststoffummantelten Mittelspannungskabels nur vor dem Verbinden mit Kabelanlagen, deren Schirmung bauartbedingt Kontakt zum Erdpotential hat, durchgeführt werden. Die Prüfspannung bei der Kabelmantelprüfung hängt vom verwendeten Mantelwerkstoff ab. Es ist zwischen PE-Außenmantel (2Y) und PVC-Außenmantel (Y) zu unterscheiden. Wenn Kabelanlagen aus Kabeln mit PE- und PVC-Außenmänteln existieren, ist der Prüfspannungspegel für PVC-Mäntel zu verwenden.

Die Prüfspannung wird zwischen Erdpotential und dem Schirm des Kabels angelegt. Es wird eine Gleichspannungsquelle (DC) verwendet. Die Prüfdauer von einer Minute hat sich in der Praxis bewährt.

Kann der nach Tabelle 1 empfohlene Prüfspannungspegel nicht erreicht werden, kann bei geringerer Prüfspannung der Ableitstrom als Kriterium zur Bewertung herangezogen werden. In der Praxis ergeben sich bei unversehrtem Kabelmantel Ableitströme bei PE von $\leq 100 \mu\text{A}/\text{km}$ (5 kV) und bei PVC von $\leq 800 \mu\text{A}/\text{km}$ (3 kV).

Tabelle 1 Empfohlener Prüfspannungspegel und –dauer bei der Kabelmantelprüfung

Mantelwerkstoff	PE	PVC
Kennzeichnung	2Y	Y
Prüfspannungsart	DC	DC
Prüfspannungspegel	5 kV	3 kV
Prüfdauer	≥ 1 min	≥ 1 min

Quelle: DIN VDE 0276-620, Teil 10-C, Abschnitt 3.5

4.1.3 Isolationsprüfung

Mit der Isolationsprüfung wird der Isolationswiderstand ermittelt. Damit können niederohmige Verbindungen in der Kabelanlage erkannt werden. Die Isolationsprüfung erfolgt vor dem (Wieder)-Einschalten, z. B. mit einem Isolationsprüfgerät.

ANMERKUNG: Die Isolationsprüfung ist kein Prüfverfahren nach Norm und ersetzt nicht die Spannungsprüfung.

4.1.4 Spannungsprüfung

Bei der Spannungsprüfung wird zur Prüfung der Isolierung eine Prüfspannung zwischen Leiter und Schirm für eine festgelegte Zeit angelegt. Die Prüfung gilt als bestanden, wenn kein Durchschlag erfolgt.

Bei dem Verfahren wird lokal die jeweils am meisten ausgeprägte Schwachstelle aufgedeckt. Daher kann nach einem ersten Fehler und Reparatur dieser Fehlerstelle bei einer erneuten Spannungsprüfung eine zweite Schwachstelle aufgedeckt werden, bei der es vorher (noch) nicht zum Durchschlag gekommen ist. Eine Spannungsprüfung wird i. d. R. solange wiederholt, bis während der festgelegten Prüfdauer kein Fehler mehr auftritt.

Eine Einschränkung von Prüfpegel und Prüfdauer kann abhängig vom Zustand der Kabelanlage (z. B. Kunststoffkabel der ersten Generation) vorgenommen werden.

ANMERKUNG 1 Der Prüfpegel kann bei betriebsgealterten Kabeln entsprechend des Alterungszustandes auf $\geq 1,7 U_0$ reduziert werden (siehe Abschnitt 3.5, Fußnote „b“ in DIN VDE 0276-620, Teil 10-C).

ANMERKUNG 2 Die Prüfdauer kann bei begleitender TE-Messung auf ≥ 10 min reduziert werden (siehe Abschnitt 5.2.4, Stufe D und Abschnitt 3.5, Fußnote „d“ in DIN VDE 0276-620, Teil 10-C).

Für Kunststoffkabel gemäß DIN VDE 0276-620 erfolgt die Spannungsprüfung mit

- Wechselspannung mit 20 – 300 Hz oder
- Wechselspannung mit 0,1 Hz.

Für Papierkabel gemäß DIN VDE 0276-621 erfolgt die Spannungsprüfung mit

- Gleichspannung oder
- Wechselspannung mit 45 – 65 Hz oder
- Wechselspannung mit 0,1 Hz.

Tabelle 2 Verfahren zur Spannungsprüfung

	Vorteile	Nachteile
Gleichspannung	einfache Spannungserzeugung, leichtes Prüfequipment, gute Eignung für Papierkabel	nicht zulässig für VPE-/PE-Kabel, Problem der Spannungsfestigkeit bei Schaltanlagen infolge von hohen Prüfspannungspegeln
Wechselspannung 45 – 65 Hz	betriebsnahe Prüffrequenz und Spannungsbeanspruchung	Größe und Gewicht des Prüf-equipments, hoher Leistungsbedarf der Prüfeinrichtung
Wechselspannung 20 – 300 Hz	betriebsnahe Prüffrequenz und Spannungsbeanspruchung, geringer Leistungsbedarf der Prüfeinrichtung	Größe und Gewicht des Prüf-equipments
Wechselspannung 0,1 Hz	kompaktes Prüfequipment, längere Kabelstrecken prüfbar, geringer Leistungsbedarf der Prüfeinrichtung	Prüffrequenz nicht betriebsnah

Tabelle 3 Übersicht der Prüfpegel und -dauer bei Spannungsprüfungen für Kunststoff- und Papierkabel in Anlehnung an DIN VDE 0276-620, DIN VDE 0276-621, DIN VDE 0278-629-1, DIN VDE 0278-629-2

Isolierung	Gleichspannung		Wechselspannung $45 \text{ Hz} \leq f \leq 65 \text{ Hz}^{5)}$		Wechselspannung $f = 0,1 \text{ Hz}^{2)}$	
	Prüfpegel ¹⁾	Prüfdauer	Prüfpegel ¹⁾	Prüfdauer	Prüfpegel ¹⁾	Prüfdauer
PVC	$6 U_0$	15 min	$2 U_0$	30 min	$3 U_0$	30 min ⁴⁾
VPE, PE	nicht zulässig		$2 U_0$	60 min	$3 U_0$	30 min ⁴⁾
Papier-Isolierung sowie Mischkabelstrecken mit PVC-Isolierung	$6 U_0$	15 min	$2 U_0$	30 min	$3 U_0$	30 min ⁴⁾
Mischkabelstrecken mit VPE/PE-Anteil ³⁾	nicht zulässig		$2 U_0$	60 min	$3 U_0$	30 min ⁴⁾

1) Effektivwert

2) Sinus- oder Cosinus-Rechteck-Spannung

3) Bei Mischstrecken mit betriebsgealterten PE- und VPE-isolierten Kabeln kann eine Schädigung durch zu hohe Gleichspannungspegel nicht ausgeschlossen werden. Bei neuen VPE-Kabeln besitzt die Gleichspannungsprüfung praktisch keine Aussagekraft. Daher werden bei Mischnetzen Wechselspannungsprüfverfahren empfohlen.

4) empfohlen auf Basis von Erfahrungswerten [5]

5) gemäß DIN VDE 0276-620, Teil 10-C, Abschnitt 3.5 kann für VPE-Isolierte Kabel die Wechselspannungsprüfung mit einer Prüffrequenz von 20 bis 300 Hz durchgeführt werden

4.2 Messverfahren

4.2.1 Hintergrund

Die nachfolgend beschriebenen Verfahren liefern Messwerte, die für eine Zustandsbeurteilung der Kabelanlagen herangezogen werden können.

Der Zustand der Isolierung von Kabeln wird im Wesentlichen durch die normale Alterung im Betrieb, äußere Einwirkungen (z. B. das Eindringen von Feuchte) und außergewöhnlichen Betriebsbedingungen (z. B. Überlast, Überspannungen) bestimmt [4].

Zur Zustandsbeurteilung der Isolierung energietechnischer Betriebsmittel haben sich Verfahren zur Messung von Teilentladungen und der so genannten dielektrischen Antwort etabliert. Voraussetzung hierfür ist jedoch die Kenntnis des Zusammenhangs zwischen Alterungseffekt und Änderung der dielektrischen Antwort gegenüber dem Neuzustand. Prinzipiell kann die dielektrische Antwort sowohl im Frequenzbereich als auch im Zeitbereich ermittelt werden (siehe z. B. [4]).

Verfahren zur Messung der dielektrischen Antwort sind:

- Dielektrischer Verlustfaktor $\tan \delta$ (Frequenzbereichsverfahren)
- Polarisations-/Depolarisationsstrommessung (Zeitbereichsverfahren)
- Rückkehrspannungsmessung (Zeitbereichsverfahren)

Die Verfahren sind grundsätzlich gleichwertig und beschreiben den globalen (Alterungs-)Zustand einer Isolierung.

Bei der Anwendung von dielektrischen Messverfahren an Kabelstrecken ist der Einfluss der Garnituren (Art der Feldsteuerung, z. B. resistiv, refraktiv; Isolierstoffeigenschaften, Ableitströme bei höheren Messspannungen) zu berücksichtigen. Zudem ist eine Bewertung des Ergebnisses einer Diagnosemessung bei Mischkabelstrecken sehr schwierig, wenn das Ergebnis vom Anteil des Papierkabels dominiert wird [3].

4.2.2 Messung des dielektrischen Verlustfaktors $\tan \delta$

Der Verlustfaktor $\tan \delta$ beschreibt das Verhältnis von Wirkstrom zum Blindstrom eines Dielektrikums und wird bestimmt durch den Werkstoff der Isolierung und den Kabelaufbau.

Der Verlustfaktor ist generell von der Temperatur des zu beurteilenden Isolierstoffvolumens und der Frequenz der benutzten Prüfspannung abhängig.

4.2.3 Polarisations-/Depolarisationsstrommessung

Die dielektrische Antwort im Zeitbereich wird nach Anregung durch eine zeitlich begrenzte und welligkeitsarme Gleichspannung entweder als Strom (im Kurzschluss) oder als Spannung (im Leerlauf), siehe Abschnitt 4.2.3, ermittelt [4].

Die Messung des Polarisationsstroms $i_p(t)$ erfolgt während der Anregung des Prüfobjektes durch eine Gleichspannungsquelle (bei unendlicher Ladedauer erreicht der Polarisationsstrom einen stationären Endwert (stationäre Gleichstromleitfähigkeit)). Die Messung des Depolarisationsstromes $i_d(t)$ erfolgt nach Beendigung der Aufladung bei kurzgeschlossenem Prüfobjekt. Die Messgrößen Polarisationsstrom bzw. Depolarisationsstrom werden durch die im Ersatzschaltbild des Prüfobjektes angenommenen RC-Glieder bestimmt, die die Polarisations- und Leitfähig-

keitsmechanismen beschreiben. Aus der Kurvenform der Ströme und daraus abgeleiteter Parameter kann eine Aussage zum Zustand des Prüfobjektes getroffen werden.

4.2.4 Rückkehrspannungsmessung

Nach einer Anregung des Prüfobjektes mit Gleichspannung und anschließender kurzzeitiger Erdung wird die sich wieder aufbauende Spannung des Prüfobjektes, die sogenannte Rückkehrspannung $u_r(t)$ gemessen.

Zur Interpretation des Zustandes können die gebildeten Kenngrößen Steilheit der Spannung, Maximum der Rückkehrspannung und Zeit des Maximums herangezogen werden. Bekannteste Methode ist die RVM-Technik, bei der aus einer Vielzahl von Rückkehrspannungsverläufen die Spannungsmaxima in Abhängigkeit der Ladezeit aufgetragen werden (Polarisationsspektrum).

4.2.5 TE-Messung

Die Messung von Teilentladungen kann lokale Fehlstellen in einer Kabelanlage bis zur angeschlossenen Schaltanlage detektieren. Bei dem Messprinzip handelt es sich um ein Verfahren, das bei allen Kabelisolierungen angewendet werden kann. Die gemessenen TE-Pegel und die zugehörigen Spannungswerte sind dabei ein Maß für die Intensität der Fehlstelle. Aus der Signallaufzeit kann der Ort der Fehlstelle ermittelt werden.

Teilentladungen können bei

- Papierkabeln, z. B. in masseverarmten Bereichen,
- Kunststoffkabeln, z. B. bei Beschädigung der äußeren Leitschicht oder Electrical Treeing,
- Kabelgarnituren, z. B. in Hohlräumen auftreten.

5 Inbetriebnahmeprüfung

5.1 Aufgaben der Inbetriebnahmeprüfung

Der Zweck von Inbetriebnahmeprüfungen besteht gemäß DIN VDE 0105-100 in dem Nachweis, dass eine elektrische Anlage, hier Mittelspannungskabelanlage, den Sicherheitsvorschriften (z. B. DGUV Vorschrift 3) und den Errichtungsnormen entspricht. Die Prüfungen können den Nachweis des ordnungsgemäßen Zustandes der Anlage einschließen. Sowohl neue Anlagen als auch bestehende Anlagen nach Änderungen und Erweiterungen müssen vor ihrer Inbetriebnahme einer Prüfung unterzogen werden.

5.2 Möglichkeiten der Inbetriebnahmeprüfung

Tabelle 4 zeigt die möglichen Einzelprüfungen im Rahmen einer Inbetriebnahmeprüfung auf.

Tabelle 4 Mögliche Stufen der Inbetriebnahmeprüfung

	Sichtprüfung	Kabelmantelprüfung *)	Spannungsprüfung	TE-Messung
Stufe A	X	-	-	-
Stufe B	X	X	-	-
Stufe C	X	X	X	-
Stufe D	X	X	X**)	X

*) Einschränkung siehe Abschnitt 4.1.2

***) verkürzte Prüfdauer/-spannung möglich, siehe Abschnitt 5.2.4

Nach Änderungen oder Erweiterungen der Kabelanlage ist vor dem Zuschalten der Kabelanlage die Phasenlage (Phasenvergleich) zu prüfen.

Im Rahmen der Spannungsprüfung kann vorab auch eine Isolationsprüfung durchgeführt werden.

Für eine Zustandsbeurteilung neuer und vor allem betriebsgealterter Kabelanlagen bieten sich im Beilau der oben genannten Prüfungen auch Messverfahren zur Ermittlung dielektrischer Größen (z. B. $\tan \delta$) an.

Sind die Kabelanlagen an Schaltanlagen angeschlossen, ist auf die Spannungsfestigkeit der Schaltanlagen zu achten. Weiterhin ist darauf zu achten, dass die kapazitiven Spannungsschnittstellen für die angelegte Spannungshöhe und -form ausgelegt sind. Die Vorgaben der Schaltanlagenhersteller hinsichtlich der kapazitiven Spannungsschnittstellen sind vor der Prüfung zu beachten.

5.2.1 Stufe A – Sichtprüfung

Gemäß DIN VDE 0105-100, Abschnitt 5.3.3.2 sind mindestens Sichtprüfungen durchzuführen. Kann die Elektrofachkraft den Zustand der Anlage nicht eindeutig beurteilen, sind geeignete Messverfahren einzusetzen.

Sichtprüfungen können als alleinige Prüfung z. B. ausreichend sein bei:

- Freischaltungen ohne Arbeiten an der Kabelanlage,
- Inbetriebnahme nicht störungsbetroffener Kabelanlagen nach Schutzauslösung,

Die Sichtprüfung ist gleichzeitig die Voraussetzung für alle weiteren Prüfungen.

5.2.2 Stufe B – Sichtprüfung und Kabelmantelprüfung

Durch eine Mantelprüfung kann zusätzlich zur Sichtprüfung der ordnungsgemäße Zustand der äußeren Umhüllung an kunststoffisolierten Kabeln nachgewiesen werden.

Mantelprüfungen sollten durchgeführt werden:

- nach Arbeiten am Außenmantel von Kunststoffkabeln und Muffen,
- vor dem Verbinden von Kunststoffkabeln mit Papierkabeln,
- wenn Beschädigungen an Kabelanlagen infolge von Tiefbauarbeiten vermutet werden.

5.2.3 Stufe C – Sichtprüfung, Kabelmantelprüfung und Spannungsprüfung

Durch die zusätzliche Spannungsprüfung können grobe Fehler bei der Montage erkannt werden.

Spannungsprüfungen sollten durchgeführt werden:

- vor der Inbetriebnahme,
- nach Arbeiten an der Isolierung einer Kabelanlage,
- nach der Störungs-/Schadensbeseitigung.

5.2.4 Stufe D – Sichtprüfung, Kabelmantelprüfung, Spannungsprüfung und TE-Messung

Die TE-Messung erbringt einen zusätzlichen Nachweis der Montage- und Materialqualität von Kabeln und Garnituren.

Teilentladungsmessungen sollten durchgeführt werden:

- bei neu montierten Kabelanlagen, die eine erhöhte Versorgungszuverlässigkeit erfordern,
- zur Kontrolle der Material- und Montagequalität (insbesondere bei geänderten Technologien/Prozessen),
- zur Ermittlung von lokalen Fehlstellen.

Alternativ kann die Spannungsprüfung im Rahmen einer begleitenden TE-Messung gemäß Tabelle 4, aber mit deutlich reduzierter Prüfdauer (z. B. 10 Minuten) und/oder reduzierter Prüfspannung (z. B. $1,7 U_0$ bei betriebsgealterten Kabeln) erfolgen.

ANMERKUNG 1 Praktische Erfahrungen haben gezeigt, dass bei der TE-Messung Fehlstellen auch bei reduzierter Prüfspannung/-dauer erkannt werden können.

ANMERKUNG 2 Die Bewertung von TE-Messergebnissen liegt im Verantwortungsbereich des Anlagenbetreibers.

6 Dokumentation der Inbetriebnahmeprüfung

6.1 Inhalt und Umfang der Dokumentation

Bei einer Inbetriebnahmeprüfung sollen alle relevanten Informationen dokumentiert werden, die den Umfang und die Ergebnisse der Prüfung erkennen lassen.

Die Dokumentation sollte mindestens folgende Informationen enthalten:

- Ergebnis der Inbetriebnahmeprüfung: bestanden / nicht bestanden
- Eindeutige Identifikation der Kabelanlage (Betriebsnummer oder Start- und Zielbezeichnungen)
- Eindeutige Identifikation der verwendeten Mess- und Prüftechnik
- Beschreibung der Kabelanlage
- Ort der Prüfung
- Hinweis auf verwendete Prüfvorschriften
- Prüfumfang:
 - Sichtprüfung,
 - Mantelprüfung,
 - Spannungsprüfung,
 - TE-Messung,
 - sonstige Prüfung
- Ergebnisse und Details der durchgeführten Prüfungen
- Datum der Prüfung
- Name des Prüfers

Darüber hinaus können unternehmensspezifisch weitere Details festgelegt werden.

Die Dokumentation kann auch elektronisch erfolgen.

7 Grundlegendes zur Zustandsbewertung

Die im Abschnitt 4.2 beschriebenen Messverfahren dienen der Zustandserfassung.

Die Ergebnisse der Messungen an Kabelanlagen müssen vom Anwender bewertet werden.

Messdaten dürfen nicht als alleinige Entscheidungsgrundlage für die weiteren Festlegungen herangezogen werden, sondern müssen mit, beim Anwender/Netzbetreiber vorliegenden, Zuverlässigkeits-/ Ausfalldaten abgeglichen werden.

Erst nach der gemeinsamen Bewertung der Messungen und spezifischen Netzbetreiberdaten ist eine Zustandsbewertung (Kabeldiagnose) möglich und an Hand von definierten Zustandsgruppen (z. B. gut, mittel, schlecht) können Ersatzmaßnahmen ermittelt und priorisiert werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Störungs- und Verfügbarkeitsstatistik - Berichtsjahr 2015 - Technischer Bericht, FNN im VDE, September 2016.
- [2] DGUV Vorschrift 3 Elektrische Anlagen und Betriebsmittel, Unfallverhütungsvorschrift vom 1. April 1979, Januar 1997, Aktualisierte Nachdruckfassung Januar 2005, DGUV
- [3] Kliesch, M., Merschel, F.: Kabelhandbuch, 8. Auflage, EW Medien und Kongresse GmbH, 2012
- [4] Kumm, Th.: Diagnose des Alterungszustandes von 110-kV-Gasaußendruckkabeln, Dissertation, TU Berlin, 2008
- [5] Cichowski, R. (Hrsg.): Anlagentechnik 2013, 1. Auflage, EW Medien und Kongresse GmbH, 2013