

DIN IEC/IEEE 62582-2
(VDE 0491-21-2)
DIN

Diese Norm ist zugleich eine **VDE-Bestimmung** im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.

VDE

ICS 27.120.20

Einsprüche bis 2021-03-22

Vorgesehen als Ersatz für
 DIN IEC/IEEE 62582-2
 (VDE 0491-21-2):2020-03

Entwurf
Kernkraftwerke –
Leittechnik mit sicherheitstechnischer Bedeutung – Zustandsüberwachung elektrischer Geräte –
Teil 2: Eindringmodul
(IEC 45A/1308/CD:2020);
Text Deutsch und Englisch

Nuclear power plants –

Instrumentation and control important to safety – Electrical equipment condition monitoring methods –

Part 2: Indenter modulus

(IEC 45A/1308/CD:2020);

Text in German and English

Centrales nucléaires de puissance –

Instrumentation et contrôle-commande importants pour la sûreté – Méthodes de surveillance de l'état des matériels électriques –

Partie 2: Module indenter

(IEC 45A/1308/CD:2020);

Texte en allemand et anglais

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-01-22 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 40 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist

	Inhalt	Seite
Einleitung		6
1	Anwendungsbereich	8
2	Normative Verweisungen	8
3	Begriffe	8
4	Abkürzungen	8
5	Allgemeine Beschreibung	9
6	Anwendbarkeit, Reproduzierbarkeit und Aufwand	9
6.1	Allgemeines	9
6.2	Anwendbarkeit	9
6.3	Reproduzierbarkeit	9
6.4	Aufwand	10
7	Vorgehensweise bei den Messungen	10
7.1	Stabilisierung des Polymers	10
7.2	Gewinnung von Probestücken und Orte der Messungen	10
7.3	Bedingungen der Messung	10
7.4	Mess- und Prüfeinrichtungen	11
7.5	Kalibrierung und Toleranzen	12
7.6	Auswahl der Messpunkte	12
7.7	Wahl der Geschwindigkeit der Prüfspitze und der maximalen Kraft	13
7.8	Einspannung	13
7.9	Bestimmung des Werts des Indentermoduls	13
7.10	Berichterstattung	14
Anhang A (informativ)	Beispiele, die zeigen, welche Faktoren Schwankungen von Indentermodul- Werten beeinflussen	16
A.1	Beispiel für den Einfluss veränderter Geräteabmessungen und -konstruktion	16
A.2	Beispiele für die Temperaturabhängigkeit	16
A.3	Beispiele für die Einflüsse auf den Indentermodul bei Austrocknung durch Alterung bei hoher Temperatur	18
Anhang B (informativ)	Beispiel eines Messprotokolls für Indenter-Messungen im Labor	20
Literaturhinweise		21
Bilder		
Bild 1	– Geometrie und Abmessungen des Profils der Messspitze (Kegelstumpf) eines Indenters	11
Bild 2	– Eindringtiefe bei vollständigem Kontakt mit der Messspitze	12
Bild 3	– Ermittlung des Indentermoduls	14
Bild A.1	– Beispiel lokaler Veränderung des Indentermoduls aufgrund von Unterschieden in Abmessung und Konstruktion des Geräts	16
Bild A.2	– Indenter-Werte bei verschiedenen Temperaturen	17

Bild A.3 – Normierte Indenter-Mittelwerte	18
Bild A.4 – Beispiel für die Änderung des Indentermodul-Werts eines hygroskopischen Probestücks nach Entnahme aus einer Wärmekammer nach einer Langzeitbeanspruchung unter Laborbedingungen	19
Bild A.5 – Anpassung einer Abklingkurve an die gemessenen Indentermodul-Werte in Bild A.4	19
Bild B.1 – Beispiel gemessener Kraft über der Zeit	20

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 45A/1308/CD:2020 „Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Electrical equipment condition monitoring methods – Part 2: Indenter modulus“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom SC 45A „Instrumentation, control and electrical power systems of nuclear facilities“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und unterliegt dem Copyright der IEC .

Das Dokument wurde den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS nur 6 Wochen beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium UK 967.1 „Elektro- und Leittechnik für kerntechnische Anlagen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass die Annahme dieser IEC/IEEE-Publikation die Anwendung von Unterlagen erfordert, die Patentrechte berühren können. Durch Veröffentlichung dieser Norm wird kein Zusammenhang in Bezug auf das Vorhandensein oder die Gültigkeit jeglicher Patentrechte hergestellt. IEC und/oder IEEE sind nicht dafür verantwortlich, wesentliche Patentansprüche, für die eine Lizenz erforderlich sein kann, zu identifizieren, Untersuchungen zur Rechtsgültigkeit oder zum Anwendungsbereich von Patentansprüchen durchzuführen oder festzustellen, ob Lizenzbestimmungen im Zusammenhang mit einem „Letter of Assurance“, falls vorhanden, oder in anderen Lizenzvereinbarungen angemessen und nichtdiskriminierend sind. Anwender dieser Norm werden ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Bestimmung der Gültigkeit jeglicher Patentrechte und das Risiko des Verstoßes gegen derartige Rechte ausschließlich in ihrer Verantwortung liegt.

In der Reihe DIN IEC/IEEE 62582 (VDE 0491-21) sind folgende Normen erschienen:

- DIN IEC/IEEE 62582-1 (VDE 0491-21-1):2020-03, *Kernkraftwerke – Leittechnik mit sicherheitstechnischer Bedeutung – Zustandsüberwachung elektrischer Geräte – Teil 1: Allgemeines* (IEC/IEEE 62582-1:2011)
- DIN IEC/IEEE 62582-2 (VDE 0491-21-2):2020-03, *Kernkraftwerke – Leittechnik mit sicherheitstechnischer Bedeutung – Zustandsüberwachung elektrischer Geräte – Teil 2: Eindringmodul* (IEC/IEEE 62582-2:2011 + A1:2016)

- DIN IEC/IEEE 62582-3 (VDE 0491-21-3):2020-03, *Kernkraftwerke – Leittechnik mit sicherheitstechnischer Bedeutung – Zustandsüberwachung elektrischer Geräte – Teil 3: Reißdehnung (IEC/IEEE 62582-3:2012)*
- DIN IEC/IEEE 62582-4 (VDE 0491-21-4):2020-03, *Kernkraftwerke – Leittechnik mit sicherheitstechnischer Bedeutung – Zustandsüberwachung elektrischer Geräte – Teil 4: Oxidation (IEC/IEEE 62582-4:2011)*
- DIN IEC/IEEE 62582-5 (VDE 0491-21-5):2020-03, *Kernkraftwerke – Leittechnik mit sicherheitstechnischer Bedeutung – Zustandsüberwachung elektrischer Geräte – Teil 5: Optische Zeitbereichsreflektometrie (IEC/IEEE 62582-5:2015)*
- DIN IEC/IEEE 62582-6 (VDE 0491-21-6):2020-05, *Kernkraftwerke – Leittechnik mit sicherheitstechnischer Bedeutung – Zustandsüberwachung elektrischer Geräte – Teil 6: Isolationswiderstand (IEC/IEEE 62582-6:2019)*

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DKE (www.dke.de) und DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN IEC/IEEE 62582-2 (VDE 0491-21-2):2020-03 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Die Verweisungen auf IEEE 323:2003 wurden durch IEC/IEEE 60780-323 ersetzt;
- b) die Gewinnung von Probestücken und Orte der Messungen (jetzt [Unterabschnitt 7.2](#)) wurde überarbeitet;
- c) der Abschnitt zu Mess- und Prüfeinrichtungen (jetzt [7.4](#)) wurde ergänzt;
- d) der Abschnitt zu Kalibrierung und Toleranzen (jetzt [7.5](#)) wurde ergänzt;
- e) die Literaturhinweise wurden ergänzt;
- f) der Text wurde redaktionell überarbeitet;
- g) die Gliederung wurde überarbeitet.

Einleitung

a) Technischer Hintergrund, wesentliche Belange und Aufbau dieser Norm

Dieser Teil der IEC/IEEE 62582 behandelt speziell die Indentermodul-Methoden^{N1} zur Zustandsüberwachung von in Kernkraftwerken installierten elektrischen Geräten im Rahmen des Alterungsmanagements. Die Indenter-Methode wird häufig angewendet, um Messungen an Kabeln (Mantel, Isolierung) und Runddichtringen vorzunehmen.

Er ist der zweite Teil der Reihe IEC/IEEE 62582. Er enthält detaillierte Beschreibungen der Zustandsüberwachung basierend auf Messungen mit dem Indentermodul.

Die Normenreihe IEC/IEEE 62582 wurde als „Doppellogostandard“ veröffentlicht, um sie für das Alterungsmanagement elektrischer Geräte verwenden zu können, die sowohl nach IEEE- als auch nach IEC-Regelwerk qualifiziert wurden.

IEC/IEEE 60780-323 enthält das Konzept und die Rolle, dass die zustandsorientierte Qualifizierung als eine Ergänzung zur qualifizierten Nutzungsdauer in der Gerätequalifizierung verwendet werden kann. In der Gerätequalifizierung ist der qualifizierte Zustand derjenige Zustand der Geräte, für den eine akzeptable Leistungsfähigkeit gezeigt wurde. Der qualifizierte Zustand ist der Zustand der Geräte vor Beginn eines Auslegungsereignisses, für den gezeigt wurde, dass das Gerät die Auslegungsanforderungen für die festgelegten Betriebsbedingungen erfüllt.

Verfahren auf Basis der Zustandsüberwachung und ihre Anwendung bei der Qualifizierung von Geräten wurden umfänglich erforscht – dokumentiert in NUREG/CR-6704, Vol. 2 (BNL – NUREG-52610) und JNES-SS-0903, 2009 und IAEA-TECDOC-1825:217.

Es ist beabsichtigt, dass diese IEC/IEEE-Norm von Prüflaboren, Kernkraftwerksbetreibern, Gutachtern, und Genehmigungsbehörden angewandt wird.

b) Einordnung der Norm in die Struktur der Normen des IEC/SC 45A

IEC/IEEE 62582-2 ist ein Level-3-Dokument des IEC/SC 45A, welches die spezifische Frage der Anwendung von Indentermodul-Messungen beim Alterungsmanagement elektrischer und leittechnischer Geräte in Kernkraftwerken behandelt.

IEC/IEEE 62582-2 ist in Verbindung mit IEC/IEEE 62582-1 anzuwenden, die Grundlagen und Vorgaben für die Anwendung von Methoden zur Zustandsüberwachung sicherheitstechnisch wichtiger elektrischer Geräte in Kernkraftwerken enthält.

Weitere Details zur Gliederung der Normen des IEC/SC 45A können Abschnitt d) dieser Einleitung entnommen werden.

c) Empfehlungen und Einschränkungen bezüglich der Anwendung dieser Norm

Es ist wichtig anzumerken, dass diese Norm keine zusätzlichen funktionalen Anforderungen an Sicherheitssysteme einführt.

d) Beschreibung der Struktur der Normen des IEC/SC 45A und der Beziehungen zu weiteren Dokumenten der IEC sowie Dokumenten anderer Organisationen (IAEA, ISO)

IEC 61513 stellt das Eingangsdokument zu den Normen des IEC/SC 45A dar. Sie enthält allgemeine Anforderungen an die leittechnischen Systeme und Geräte, die zur Ausführung sicherheitstechnisch wichtiger Funktionen in Kernkraftwerken genutzt werden. Durch **IEC 61513** werden die Normen des IEC/SC 45A strukturiert.

^{N1} Nationale Fußnote: Wörtlich übersetzt heißt der Indenter „Eindringkörper“. Der Terminus Indenter ist in Deutschland aber bereits als Begriff etabliert. Deshalb schien es ratsam, ihn auch in der deutschen Übersetzung zu verwenden.

In IEC 61513 wird direkt auf andere Normen des IEC/SC 45A verwiesen, die allgemeine Themen wie die Kategorisierung von Funktionen und die Klassifizierung von Systemen, Qualifizierung, Trennung von Systemen, Maßnahmen gegen Versagen aufgrund gemeinsamer Ursache, Softwareaspekte rechnerbasierter Systeme, Hardwareaspekte rechnerbasierter Systeme sowie Auslegung von Warten behandeln. Die Normen, auf die direkt verwiesen wird, bilden die zweite Ebene und sollten zusammen mit IEC 61513 als ein in sich konsistenter Satz von Dokumenten betrachtet werden.

Die dritte Ebene bilden Normen des IEC/SC 45A, auf die in IEC 61513 nicht direkt verwiesen wird. Diese Normen behandeln spezielle Geräte, technische Methoden oder spezifische Aktivitäten. Sie beziehen sich hinsichtlich der allgemeinen Themen auf die Dokumente der zweiten Ebene, können jedoch im Allgemeinen für sich allein benutzt werden.

Eine vierte Ebene erweitert die Normen des IEC/SC 45A um Technische Berichte, die nicht normativ sind.

Für IEC 61513 wird ein Darstellungsformat verwendet, das dem der grundlegenden Sicherheitsnorm IEC 61508 ähnlich ist, mit einem Sicherheits-Lebenszyklus als Gesamtrahmen und zusätzlich einem System-Lebenszyklus. Mit IEC 61513 werden die allgemeinen Anforderungen von IEC 61508-1, IEC 61508-2 und IEC 61508-4 für die Anwendung auf dem nuklearen Sektor umgesetzt. Die Einhaltung der IEC 61513 erleichtert somit die Übereinstimmung mit der Norm IEC 61508, weil deren allgemeine Anforderungen für die nukleare Industrie berücksichtigt wurden. In diesem Rahmen entsprechen IEC 60880 und IEC 62138 für den nuklearen Sektor der IEC 61508-3.

IEC 61513 bezieht sich bei Themen der Qualitätssicherung (QS) sowohl auf ISO als auch auf IAEA 50-C-QA (inzwischen ersetzt durch IAEA GS-R-3).

In den Normen des IEC/SC 45A werden die Prinzipien und grundsätzlichen Sicherheitsaspekte des IAEA-Codes für die Sicherheit von Kernkraftwerken und der IAEA-Sicherheitsserie umgesetzt, insbesondere die Requirements NS-R-1, *Safety of Nuclear Power Plants: Design*, und der Safety Guide NS-G-1.3, *Instrumentation and control systems important to safety in Nuclear Power Plants*. Terminologie und Definitionen in den Normen des IEC/SC 45A stimmen mit den von der IAEA verwendeten überein.

**Kernkraftwerke –
Leittechnik mit sicherheitstechnischer Bedeutung –
Zustandsüberwachung elektrischer Geräte –
Teil 2: Eindringmodul**

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der Reihe IEC/IEEE 62582 beschreibt die Verwendung der Indentermodul-Technik zur Zustandsüberwachung organischer und polymerer Werkstoffe in Geräten der Elektro- und Leittechnik^{N2} mit dem Ziel, hinreichend genaue und reproduzierbare Messergebnisse zu erlangen. Dies schließt Anforderungen an die Auswahl der Probestücke, Anforderungen an Messsysteme und Anforderungen an Messbedingungen und die Dokumentation der Messergebnisse ein.

Die verschiedenen Teile der Reihe IEC/IEEE 62582 sind Normen über Messverfahren primär zur Anwendung des Alterungsmanagements im Rahmen von Eignungsprüfungen und nach Einbau und Betrieb. Teil 1 der IEC/IEEE 62582 enthält Anforderungen an die Anwendung der anderen Teile der Reihe IEC/IEEE 62582 und einige allgemeine Anforderungen, die für alle Messverfahren gelten. Informationen über die Aufgabe der Zustandsüberwachung im Rahmen der Qualifizierung sicherheitstechnisch wichtiger Geräte können IEC/IEEE 60780-323 entnommen werden.

Es ist beabsichtigt, diese Norm für Geräte anzuwenden, die nicht in Betrieb sind.

2 Normative Verweisungen

Keine.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Indentermodul

(en: indenter modulus)

Verhältnis zwischen der Änderung einer aufgebrachten Kraft und dem entsprechenden Weg einer Messeinrichtung genormter Form, die in ein Material gedrückt wird. Die Einheit des Indentermoduls ist $\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$.

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Begriff „Modul“ bezieht sich auf den Elastizitätsmodul eines Werkstoffs, definiert als das Verhältnis zwischen einer aufgebrachten Kraft und der resultierenden Dehnung, ausgedrückt in $\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$ (Pa). Bei der Anwendung des Indenters ist es jedoch allgemein üblich geworden, mit dem Ausdruck „Indentermodul“ das Verhältnis der Änderung der aufgebrachten Kraft zur Verformung des Materials zu beschreiben, ausgedrückt in $\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$.

4 Abkürzungen

DBE	Auslegungseignis (en: Design Basis Event)
IM	Indentermodul (en: Indenter Modulus)
SiR	Silikonkautschuk (en: silicone rubber)
CSPE	chlorosulfoniertes Polyäthylen (en: chlorosulfonated polyethylene)
EPDM	Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (en: ethylene propylene diene monomer)

^{N2} Nationale Fußnote: Abweichend vom englischen Text wurde „instrumentation and control systems“ mit „Geräte der Elektro- und Leittechnik“ übersetzt, weil a) die Norm gemäß des neuen Scopes des IEC/SC 45A auch für die Elektrotechnik gilt und b) es die physikalische Alterung der die Systeme bildenden Geräte betrifft (obgleich sich sowohl der Titel der IEC 61513 als auch deren Anwendungsbereich aus historischen Gründen im Wesentlichen auf Leittechnik beziehen).

XLPE vernetztes Polyäthylen (en: crosslinked polyethylene)

5 Allgemeine Beschreibung

Ein typischer Indenter besteht aus einer instrumentierten Messspitze, die mit einer festgelegten Geschwindigkeit in ein Material gedrückt wird. Er enthält eine Kraftmessdose oder ein ähnliches Kraftmessgerät, das mit der Messspitze verbunden ist und die Kraft misst, die erforderlich ist, um die Geschwindigkeit konstant zu halten. Dabei wird der Weg der Messspitze mit einem geeigneten Geber gemessen. Der Weg und die Kraft sind zweckentsprechend begrenzt, um das zu messende Material vor einer bleibenden Schädigung zu schützen. Der Indentermodul wird aus dem Quotienten der Änderung der Kraft und dem entsprechenden Weg, den die Messspitze beim Eindringen in das Material zurücklegt, bestimmt.

6 Anwendbarkeit, Reproduzierbarkeit und Aufwand

6.1 Allgemeines

Wenn organische und polymere Materialien altern, werden sie oft härter, was einen Anstieg des Indentermoduls zur Folge hat. Einige Materialien, wie z. B. die chemische Zusammensetzung einiger Butylkautschukarten, werden durch thermische und/oder radiologische Alterung weicher. Die Überwachung der Änderungen des Indentermoduls hat den Zweck, die Rate und den Grad der Verschlechterung durch Alterung abzuschätzen.

6.2 Anwendbarkeit

Die Indentermethode wird gewöhnlich angewendet, um Messungen an Kabeln (Kabelmäntel, Isolierung) und Runddichtungsringen auszuführen. Die Anwendung erfordert, je nach der Geometrie des Probestücks, spezielle Vorrichtungen zur Befestigung.

Die Indentermethode sollte nur bei Materialien angewendet werden, deren Härte sich mit der Alterung gleichbleibend ändert.

Die Indentermethode darf bei Geräten, die gegenüber ihrer unmittelbaren Umgebung räumlich abgeschlossen sind, in nicht-invasiver Weise angewendet werden. Die Ausführung von Indenter-Messungen an einem Gerät am Einbauort sollte jedoch Kontrollen beinhalten, die sicherstellen, dass dem Gerät keine Beschädigungen – von der Messspitze oder durch Eingriffe, um Zugang zu geeigneten Messpunkten zu erlangen – zugefügt wurden. Der ganze Vorgang sollte die Wiederherstellung von beschädigten Geräten oder Geräten, bei denen eine Beschädigung vermutet wurde, beinhalten.

Messungen vor Ort erfordern den Zugang zur äußeren Hülle des Geräts. Dies begrenzt oft Vor-Ort-Messungen an Kabelmänteln. Es ist möglich, den Zustand der Aderisolierung durch Indenter-Messungen am Kabelmantel abzuschätzen, wenn eine bekannte Beziehung zwischen der Schwächung des Kabelmantels durch Alterung und der Schwächung der Aderisolierung besteht. Die Gültigkeit und ausreichende Empfindlichkeit dieser Beziehung muss begründet werden, um eine zulässige Überwachung während der Lebensdauer zu erbringen.

6.3 Reproduzierbarkeit

Indentermodul-Werte können durch Unterschiede in den Abmessungen der Prüflinge, ihrer Konstruktion, der Temperatur und dem Feuchtegehalt des Prüflings, der Stabilisierung der Prüflinge und durch Verunreinigung der Prüflinge beeinflusst werden. Werden Messungen an Orten mit zu starken Schwingungen gemacht, können diese die Messwerte beeinflussen. Der Einfluss durch Unterschiede in Abmessung und Konstruktion der Prüflinge ist typisch für Messungen an Kabeln, wenn der Messpunkt über einem Hohlraum unterhalb des Kabelmantels liegt. Der Querschnitt einer üblichen Aderisolierung darf nennenswert von dem einer idealen Röhre abweichen, woraus Schwankungen der gemessenen Werte des Indentermoduls resultieren können, abhängig davon, an welcher Stelle die Messung vorgenommen wurde. Die Schwankungen sind häufig räumlich begrenzt. Es müssen Messungen an verschiedenen Punkten des Geräts vorgenommen werden, um dadurch die örtlichen Abweichungen auszugleichen (siehe 7.6).

Anhang A kann eine Darstellung der durch Abweichungen in den Abmessungen und der Konstruktion des Prüflings verursachten Messabweichungen entnommen werden.

ANMERKUNG Eine gute Kenntnis der Konstruktion des Geräts ist wichtig, bevor die Messpunkte ausgewählt werden. Im Falle eines locker konstruierten Kabels, ist zu erwarten, dass die mechanischen Eigenschaften über der Länge stark schwanken, und es ist deshalb wichtig, Messungen am Kabelmantel oberhalb einer Kabelverbindung statt in den Bereichen dazwischen zu machen.

6.4 Aufwand

Der Grad des Aufwands, der sich während Indentermodul-Messungen vor Ort ergibt, ist häufig abhängig von der Zugänglichkeit des zu messenden Kabels. Sind die Kabel zugänglich, dürfen vorhandene Messeinrichtungen genutzt werden. Ist dies der Fall, erfolgt die Erhebung der Daten zügig und die Messungen können in kurzer Zeit an vielen Punkten erfolgen. Die Messeinrichtungen können derart eingerichtet werden, dass die Daten unmittelbar ermittelt und gespeichert werden können. Messungen an Geräten mit komplexerer Geometrie und begrenzter Zugänglichkeit können die Entwicklung spezieller Befestigungselemente erforderlich machen. Für zu wiederholende Indentermodul-Messungen müssen dieselben Befestigungselemente verwendet werden.

7 Vorgehensweise bei den Messungen

7.1 Stabilisierung des Polymers

Polymeren in erst vor kurzem gefertigten Geräten muss ausreichend Zeit gegeben werden, sich zu stabilisieren, bevor irgendwelche Zustandsbestimmungs- oder beschleunigte Alterungsmaßnahmen vorgenommen werden. Der Zeitraum für die Stabilisierung eines Polymers hängt üblicherweise von den Verarbeitungszusatzstoffen und der Zusammensetzung des Polymers ab. Sind keine Angaben zu Stabilisierungszeiten des Herstellers verfügbar, sollte eine Dauer von 6 Monaten zugelassen werden.

7.2 Gewinnung von Probestücken und Orte der Messungen

Messungen des Indentermoduls im Labor an Probestücken aus ursprünglichen Einbauorten und Messungen des Indentermoduls vor Ort liefern lediglich Informationen über den Zustand des entsprechenden Geräts für Einbauorte, denen das Probestück entnommen wurde^{N3}. Die Kenntnis der Umgebungsbedingungen an repräsentativen Orten während des Kraftwerksbetriebs ist eine Voraussetzung für die Auswahl von Entnahmeorten. Da die Erwärmungs- und Strahlungseffekte auf Geräte in der Nähe von Wärme- und Strahlungsquellen am deutlichsten erkennbar sein könnten, sollte bei der Wahl der Standorte die Erfassung des Potentials für signifikante Alterungseffekte in der Nähe von Wärme- und Strahlungsquellen in Betracht gezogen werden. Der Einbauort, dem das Probestück entnommen wurde, und die verfügbaren Informationen über den zeitlichen Verlauf der Alterungsbelastung am Einbauort müssen dokumentiert werden.

Die Verfahren zur Gewinnung und Messung von Probestücken müssen die jeweils geltenden Anweisungen bezüglich der Sicherheit von Personen und Geräten einhalten. Die notwendige Handhabung der Ausrüstungsteile während der Messung oder zur Probenahme aus der Anlage sollte minimiert werden, z. B. sollten Kabel, von denen Probestücke entnommen werden, nicht mehr als notwendig gebogen werden.

7.3 Bedingungen der Messung

Von der Oberfläche, auf der die Messung erfolgen soll, müssen Ablagerungen entfernt werden. Vor Ort kann es erforderlich sein, einen trockenen Wischlappen zu verwenden, um angesammelten Schmutz von der Oberfläche des Kabels zu entfernen und die Verschmutzung des Indenter-Instruments zu vermeiden. Auf keinen Fall dürfen zur Reinigung der Oberfläche Lösungsmittel verwendet werden.

^{N3} Nationale Fußnote: Abweichend vom englischen Text ist die Gültigkeit auch für solche Einbauorte gegeben, die bezüglich der betrieblichen Belastungen mit dem Entnahme-Einbauort vergleichbar sind.

Der Indentermodul variiert mit der Temperatur und dem Feuchtegehalt des Probestücks, wie in [Anhang A](#) gezeigt wird.

Wenn Messungen im Labor erfolgen, z. B. nach einer beschleunigten thermischen Alterung, müssen sie bei einer Umgebungstemperatur von $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ und einer relativen Luftfeuchte von 45 % bis 75 % ausgeführt werden. Den Probestücken muss ausreichend Zeit gelassen werden, um sich an die Umgebungsbedingungen anzupassen, bevor mit den Messungen begonnen wird.

ANMERKUNG 1 Sind die zu messenden Materialien hygroskopisch, sollte beachtet werden, dass das Probestück infolge einer lang andauernden künstlichen thermischen Alterung bei hohen Temperaturen in einem Ofen äußerst trocken ist. Bei solchen Materialien können die Werte des gemessenen Indentermoduls nennenswert höher sein, verglichen mit einem Probestück im Zustand des Gleichgewichts mit der Laboratmosphäre. Dies ist besonders wichtig für die Zustandsüberwachung hygroskopischer Isolierungen, wenn der abschließende Wert des Indentermoduls, auf dem der qualifizierte Zustand basiert, nach Abschluss der beschleunigten thermischen Alterung vor der Auslegungsergebnisprüfung gemessen wird. Abschnitt [A.3](#) enthält eine Anleitung zum Umgang mit diesen besonderen Umständen.

Es kann möglich sein, dass Vor-Ort-Messungen nicht unter Standardatmosphären-Bedingungen durchgeführt werden können. In solchen Fällen müssen die Temperatur der umgebenden Atmosphäre und die Temperatur der Oberfläche, an der die Messung vorgenommen wird, dokumentiert werden.

ANMERKUNG 2 [Anhang A](#) kann eine Methode entnommen werden, mit der ein gemessener Indentermodul in einen entsprechenden Modul bei einer anderen Temperatur umgerechnet werden kann. Es wird empfohlen, zusätzlich zu der Temperatur, bei der der Wert gemessen wurde, den entsprechenden Wert für eine Temperatur von $20 ^\circ\text{C}$ zu berechnen und zu dokumentieren.

7.4 Mess- und Prüfeinrichtungen

Der Indenter funktioniert, indem eine instrumentierte Messspitze mit einer konstanten Geschwindigkeit in ein Material gedrückt wird, während eine Kraftmessdose oder ein ähnliches Kraftmessgerät, verbunden mit der Messspitze, die aufgebrachte Kraft misst. Die Messspitze muss die Form eines Stahl-Kegelstumpfs haben, mit Form und Abmessungen wie in Bild 1 dargestellt. Der Weg der Messspitze wird durch einen geeigneten Geber gemessen. Der Punkt, an dem die Messspitze das Material berührt, wird durch die Änderung des gemessenen Kraftwerts erkannt. Der gesamte Weg der Messspitze ist üblicherweise auf einen Bruchteil eines Millimeters begrenzt, um eine permanente Verformung zu vermeiden und ungefähr im Bereich linearer Verhältnisse zwischen Kraft und Weg zu bleiben. Der Indentermodul (IM) wird anschließend berechnet, indem die Änderung der Kraft durch den entsprechenden Weg der Messspitze auf ihrem Weg in das Material dividiert wird. Der geringe Weg und die geringe Kraft während des Vorgangs vermeiden bleibende Folgen im Material.

ANMERKUNG 1 Obgleich der gesamte Weg begrenzt ist, ist das Verhältnis von Kraft und Weg bei manchen Materialien nennenswert nicht-linear.

Maße in Millimeter

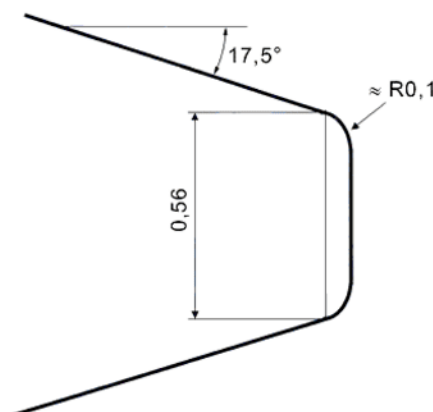


Bild 1 – Geometrie und Abmessungen des Profils der Messspitze (Kegelstumpf) eines Indenters

Ein typischer Indenter ist ein tragbares zylindrisches Instrument. Am Kopf des Instruments hält eine geeignete Einspannvorrichtung das Kabel oder die Kabelader fest in Position, damit die Messspitze gleichmäßig in den Mantel oder die Isolierung des Kabels bzw. der Kabelader eindringen kann. Die Messspitze befindet sich innerhalb des Instruments und ist an einer Kraftmessdose befestigt. Ein servogesteuerter Elektromotor liefert über ein entsprechendes Getriebe den Antrieb, der die Messspitze in Richtung Probestück bewegt. Die Position der Messspitze wird durch einen Weggeber gemessen. Ein Temperaturgeber befindet sich nah an der Einspannvorrichtung. Die Stromversorgung, die Servosteuerung des Elektromotors und die Signale der Kraftmessdose, des Weggebers und des Temperaturgebers sind über Kabel mit einem separaten Regler verbunden, der direkt mit einem Rechner verbunden sein darf oder in der Lage ist, die gewonnenen Daten, die von einem unabhängigen Rechner ausgelesen werden dürfen, selbst vor Ort zu speichern. Parameter wie Geschwindigkeit der Messspitze, maximale Kraft und Weg sind vor dem Beginn der Messung im Regler eingestellt. Das Instrument ist so konstruiert, dass Änderungen an der Einspannvorrichtung des Kabels vorgenommen werden können, um die Kraftmessdose mit einem geeigneten Gewicht und den Weg der Messspitze mit einer Messuhr zu kalibrieren.

ANMERKUNG 2 Wenn Messungen an einem Kabel mit kleinem Durchmesser vorgenommen werden, könnte das Ergebnis am Beginn der Kurve stärker nichtlinear ausfallen, da nur ein Teil der Messspitze Kontakt zur Probe hat. Das könnte die Reproduzierbarkeit der Messung bei nur kleinen Änderungen in der Messdurchführung beeinflussen.

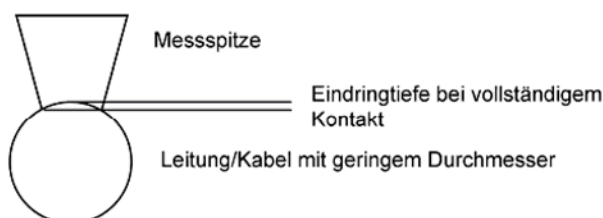


Bild 2 – Eindringtiefe bei vollständigem Kontakt mit der Messspitze

7.5 Kalibrierung und Toleranzen

Der Indenter und das Messsystem müssen vor jeder Messserie entsprechend den Anweisungen des Herstellers kalibriert werden. Die Kalibrierung muss für die Kraftmessung und die Messspitzen-Geschwindigkeit ausgeführt werden. Die Gesamtunsicherheit der Kraftmessung muss kleiner als 3 % sein, bezogen auf den Maximalwert des Kraftmessbereichs, einschließlich der Instrumententoleranz sowie der Ablesegenauigkeit. Die Geschwindigkeit der Prüfspitze muss konstant sein. Die Gesamtunsicherheit der erforderlichen Geschwindigkeit muss kleiner als 2 % sein.

Wenn die Abnutzung oder andere Beschädigungen an der Messspitze in einem Ausmaß auftreten, dass die Abmessungen der Spitze nicht mehr [Bild 1](#) entsprechen, muss die Messspitze ersetzt werden.

7.6 Auswahl der Messpunkte

An jedem gewählten Ort für Feldmessungen müssen an mehreren Punkten Messungen vorgenommen werden und der Mittelwert und die Standardabweichung müssen dokumentiert werden. Ist die Anzahl der Messpunkte größer als sieben, muss der höchste und der niedrigste Wert für die Bestimmung des Mittelwerts und der Standardabweichung gelöscht werden. Bei Messungen an Kabeln müssen mindestens drei Punkte am Umfang mit jeweils drei Messpositionen in Längsrichtung gewählt werden. Bei räumlich beengten Verhältnissen können Messungen am gesamten Umfang gegebenenfalls nicht möglich sein. In diesem Fall müssen mindestens neun Punkte mit einem Abstand von 60 mm bis 100 mm in Längsrichtung des Kabels gewählt werden.

ANMERKUNG Wenn die Messwertkurve nicht glatt ist, z. B. durch ein Abrutschen wegen geringer Festklemmkräfte, kann der Messwert gelöscht und eine neue Messung durchgeführt werden.

Werden Messungen an Kabel-Probestücken im Labor durchgeführt, müssen mindestens drei Punkte über den Umfang verteilt an jeder von drei Positionen in Längsrichtung des Kabels gewählt werden. Keiner der Messpunkte darf weniger als 100 mm von den Enden des Probestücks entfernt sein.