

	DIN IEC 62397 (VDE 0491-9-5)	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 2021-06-16

Entwurf

**Kernkraftwerke –
Leittechnik mit sicherheitstechnischer Bedeutung –
Widerstands-Temperaturfühler
(IEC 45A/1379/CD:2021);
Text Deutsch und Englisch**

Nuclear power plants –
Instrumentation and control important to safety –
Resistance temperature detectors
(IEC 45A/1379/CD:2021);
Text in German and English

Centrales nucléaires de puissance –
Instrumentation et contrôle-commande importants pour la sûreté –
Sondes à résistance
(IEC 45A/1379/CD:2021);
Texte en allemand et anglais

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-04-16 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 77 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 45A/1379/CD:2021-02 "Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Resistance temperature detectors" (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 IEC/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 DKE/UK 967.1 "Elektro- und Leittechnik für kerntechnische Anlagen" der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

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.

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 einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. IEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Inhalt

Seite

Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe und Abkürzungen	7
3.1 Begriffe	7
3.2 Abkürzungen	8
4 Auslegungs- und Konstruktionsanforderungen	9
4.1 Allgemeines	9
4.2 Zuverlässigkeit	9
4.3 Materialien	9
4.3.1 Allgemeines	9
4.3.2 Strahlenbelastung des Materials	9
4.3.3 Material des Widerstandselements	9
4.3.4 Abdichtungen und Klebstoffe	10
4.4 Anschlüsse	10
4.4.1 Bauart	10
4.4.2 Elektrischer Anschluss	13
4.4.3 Mechanischer Anschluss	14
4.5 Verarbeitung	16
4.6 Umgebungsbedingungen (bei Normalbetrieb und bei Störfällen) und Qualifizierung	16
4.7 Leistungsanforderungen für Widerstandstemperaturfühler	17
4.7.1 Genauigkeit	17
4.7.2 Widerstands-Temperatur-Kalibrierung	17
4.7.3 Eigenerwärmungsfehler	18
4.7.4 Temperatur-Ansprechzeit	18
4.7.5 Austauschbarkeit	19
4.7.6 Elektrischer Widerstand der Isolierung	19
4.7.7 Wiederholbarkeit (thermischer Schock)	19
4.7.8 Schwingungen	19
4.7.9 Dampfprüfung	19
4.7.10 Temperaturzyklus	20
4.7.11 Dielektrische Überprüfung	20
4.7.12 Hydraulikprüfung	20
4.7.13 Prüfung der In-situ-Ansprechzeit	20
4.8 Kennzeichnung	20
4.9 Ausfallart- und -effektanalyse	21
5 Überprüfung und Prüfungen	21

5.1	Allgemeines	21
5.2	Nichtbestehen von Überprüfung und Prüfung	21
5.3	Überprüfungs- und Prüfbericht	22
5.4	Prüfverfahren	22
5.4.1	Überprüfung von Anordnung und Aufbau	22
5.4.2	Kalibrierverfahren	22
5.4.3	Prüfung der Eigenerwärmung	23
5.4.4	Temperatur-Ansprechzeit	23
5.4.5	Prüfung des Isolationswiderstands	23
5.4.6	Prüfung der Wiederholbarkeit (thermischer Schock)	23
5.4.7	Schwingungsprüfung	24
5.4.8	Dampfprüfung	24
5.4.9	Temperaturzyklus	24
5.4.10	Dielektrische Überprüfung	25
5.4.11	Hydraulikprüfung	25
5.4.12	Prüfung der In-situ-Ansprechzeit	25
5.4.13	Prüfung durch Kreuzkalibrierung	25
5.5	Herstellungsprüfung	27
5.6	Qualifizierungsprüfung	27
6	Erforderliche technische Informationen	28
Anhang A (informativ) Prüfverfahren für die In-situ-Ansprechzeit		30
A.1	Schleifenstrom-Spungantwort (LCSR-Verfahren)	30
A.2	Berechnung der Ansprechzeit über das Temperaturrauschen (passives Verfahren)	33
A.3	Eigenerwärmungsverfahren (aktives Verfahren)	35
A.4	Anweisungen für die Durchführung der Prüfung	37
Literaturhinweise		38

Einleitung

a) Technischer Hintergrund, hauptsächliche Inhalte und Organisation der Norm

Diese Norm beschreibt die Anforderungen für Auslegung, Materialauswahl, Beschaffung, Herstellung und Prüfung von Widerstandstemperaturfühlern (en: resistance temperature detectors, RTDs), die in Kernkraftwerken eingesetzt werden. Diese Widerstandstemperaturfühler können sowohl in leittechnischen Sicherheitssystemen als auch in der nicht sicherheitsrelevanten Instrumentierung eingesetzt werden.

Diese Norm ist eine Überarbeitung der ersten Ausgabe und wurde im November 2019 initiiert.

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

IEC 62397 wird in IEC 61513 nicht direkt referenziert und ist eine Norm der dritten Ebene der Normen des SC 45A, die die Thematik der Widerstandstemperaturfühler behandelt.

Zu mehr Details über die Struktur der Normen des IEC/SC 45A siehe Punkt d) dieser Einleitung.

c) Empfehlungen und Einschränkungen bezüglich der Anwendung dieser Norm

Es bestehen keine besonderen Empfehlungen oder Einschränkungen bezüglich der Anwendung dieser Norm.

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

IEC 61513 ist das oberste Dokument der Normen des IEC/SC 45A. Sie enthält allgemeine Anforderungen an die leittechnischen Systeme und Geräte, die zur Ausführung sicherheitstechnisch wichtiger Funktionen in Kernkraftwerken genutzt werden. IEC 61513 strukturiert die Normen des IEC/SC 45A.

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 Ursachen, Software- und Hardwareaspekte programmierbarer digitaler Systeme sowie die 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 spezielles Gerät, technische Verfahren oder spezifische Aktivitäten. Sie beziehen sich hinsichtlich der allgemeinen Themen auf die Dokumente der zweiten Ebene, können jedoch im Allgemeinen für sich alleine 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 Sicherheitslebenszyklus als Gesamtrahmen und einem Systemlebenszyklus, und stellt eine Interpretation der allgemeinen Anforderungen der IEC 61508-1, IEC 61508-2 und IEC 61508-4 für die Anwendung auf den nuklearen Sektor dar. Die Einhaltung der IEC 61513 wird die Konsistenz mit den Anforderungen der IEC 61508 erleichtern, da sie diese für den nuklearen Sektor interpretiert hat. In diesem Rahmen entsprechen IEC 60880 und IEC 62138 bezogen auf den nuklearen Sektor IEC 61508-3.

IEC 61513 bezieht sich bei den Themen der Qualitätssicherung (QS) sowohl auf ISO als auch auf IAEA GS-R-3, GS-G-3.1 und GS-G-3.5.

In den Normen des IEC/SC 45A werden die Prinzipien und grundsätzlichen Aspekte der Sicherheit des IAEA-Codes und der IAEA-Sicherheitsstandards, insbesondere die Anforderungen von SSR-2/1, in dem die Sicherheitsanforderungen für die Auslegung von Kernkraftwerken festgeschrieben sind, und SSG-39 für die Auslegung der Leittechnik in Kernkraftwerken, umgesetzt. Terminologie und Definitionen in den Normen des IEC/SC 45A stimmen mit denen, die von der IAEA verwendet werden, überein.

**Kernkraftwerke –
Leittechnische Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung –
Widerstandstemperaturfühler**

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm beschreibt die Anforderungen für Widerstandstemperaturfühler, die für die Verwendung in Kernkraftwerken geeignet sind. Die Anforderungen für Widerstandstemperaturfühler betreffen Auslegung, Materialien, Herstellung, Prüfung, Kalibrierung, Beschaffung und Überprüfung. In der nuklearen Anwendung werden sie üblicherweise sowohl „unmittelbar eingetaucht“ als auch in einer Tauchhülse montiert verwendet, jedoch schließt diese Norm andere Auslegungen von Widerstandstemperaturfühlern nicht aus, die für bestimmte besondere Anwendungen in verschiedenen Arten von Reaktoren erforderlich sein können.

Widerstandstemperaturfühler sind in verschiedenen Bauarten erhältlich, die von der Herstellung, Qualifizierung und Anwendung abhängen. Für in Kernkraftwerken verwendete Widerstandstemperaturfühler sollte Design und Struktur des Widerstandstemperaturfühlers die Umweltbedingungen berücksichtigen, in denen der Fühler unter Bedingungen des Normalbetriebs, bei Auslegungsstörfällen und unter bestimmten auslegungserweiternden Bedingungen eingesetzt wird, wie auch die Bedingungen bei den vom Nutzer festgelegten Qualifizierungsprüfungen¹. Üblicherweise wird ein flexibles mineralisiertes Kabel zwischen Widerstandstemperaturfühler und Anschluss verwendet und der Nutzer kann auch jede andere Konstruktion verwenden. Eine Abänderung dieser Auslegung kann eine starre äußere Schutzhülle über dem mineralisierten Kabel zwischen Widerstandstemperaturfühler und Anschluss einschließen, welche miteinander verschweißt sind.

Der Anwendungsbereich dieser Norm beinhaltet nicht die Auslegung, Materialauswahl und Herstellung der Tauchhülse, des Führungsrohrs, des Verlängerungskabels und des Temperaturübertragers oder der Brücke, die mit dem Widerstandstemperaturfühler verbunden sein können.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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).

IEC 60068-2-6:2007, *Environmental testing – Part 2-6: Tests – Test Fc: Vibration (sinusoidal)*

IEC 60068-2-30:2005, *Environmental testing – Part 2-30: Tests – Test Db: Damp heat, cyclic (12h+12h cycle)*

IEC 60751:2008, *Industrial platinum resistance thermometers and platinum temperature sensors*

IEC/IEEE 60780-323:2016, *Nuclear power plants – Electrical equipment of the safety system – Qualification*

IEC/IEEE 60980-344:2019, *Recommended practices for seismic qualification of electrical equipment of the safety system for nuclear generating stations*

IEC 61298-2, *Process measurement and control devices – General methods and procedures for evaluating performance – Part 2: Tests under reference conditions*

IEC 62385:2007, *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Methods for assessing the performance of safety system instrument channels*

¹ Nutzer meint die Gruppe oder das Unternehmen, die/das den Widerstandstemperaturfühler in einem Kernkraftwerk zur Messung der Temperatur in einem Sicherheits- oder betrieblichen System verwendet. Der Begriff Nutzer kann sich auch auf den Auftraggeber, Käufer oder Betreiber des Widerstandstemperaturfühlers beziehen.

3 Begriffe und Abkürzungen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1.1

Messgenauigkeit

(en: accuracy of measurement)

Grad der Übereinstimmung zwischen dem Messergebnis und dem konventionell richtigen Wert der Messgröße

3.1.2

Kalibrierung

(en: calibration)

Tätigkeiten zur Ermittlung des unter festgelegten Bedingungen bestehenden Zusammenhangs zwischen einer Anzeige und einem Messergebnis

[QUELLE: IEV 311-01-09]

3.1.3

Kreuzkalibrierung

(en: cross-calibration (cross-validation))

Vorgehensweise des Vergleichs der Anzeigen redundanter Messgeräte (z. B. Temperaturfühler) zur Bestimmung von Ausreißern zum Zwecke der Verifizierung der Kalibrierung oder deren Änderung. Eine geeignetere Benennung hierfür ist „Kreuz-Validierung“, jedoch ist die Verwendung von Kreuzkalibrierung weiterverbreitet.

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Kalibrierprüfung von Temperaturfühlern kann in einigen Kernkraftwerken von dieser Definition abweichen, hauptsächlich aufgrund einer Anpassung des Temperaturkanals während der Kreuzkalibrierung, die innerhalb von vorbestimmten erlaubten Werten erlaubt sein kann.

[QUELLE: IEC 62385, Begriff 3.6]

3.1.4

Drift

(en: drift)

Abweichung eines Fühlers oder Messkanalausgangs, die zwischen zwei Kalibrierungen auftreten kann und nicht auf Änderungen der Prozessvariablen oder Umweltbedingungen zurückzuführen ist

[QUELLE: IEC 62385, Begriff 3.7]

3.1.5

Widerstandstemperaturfühler

(en: resistance temperature detector (RTD))

Detektor, üblicherweise bestehend aus einem temperaturabhängigen Platinwiderstand, der von einem aus nichtrostendem Stahl bestehenden Zylinder geschützt ist. Dieser Detektor wird in die Rohrleitung eingebracht, die das Fluid enthält, dessen Temperatur gemessen werden soll. Der Widerstandstemperaturfühler kann direkt in das Fluid eingetaucht oder durch eine zwischen Fluid und Detektor befindliche Hülle geschützt sein, genannt Tauchhülle.

Anmerkung 1 zum Begriff: Befestigungsmittel oder Anschlussköpfe können enthalten sein. Der temperaturabhängige Widerstand kann aus Platin, Nickel-Wolfram, Kupfer oder anderen Metallen bestehen. Jedoch werden für Widerstandstemperaturfühler in Kernkraftwerken üblicherweise Platinfühler verwendet; daher bezieht sich dieser Norm auf Platin-Widerstandstemperaturfühler.

Anmerkung 2 zum Begriff: In dieser Norm beschreibt die Benennung „Fühler“ den Widerstandstemperaturfühler als Einheit mit allen ihren Schutzkomponenten, z. B. Hülle oder Tauchhülle. Für die meisten Anwendungen der Messung der Fluidtemperatur in einem Kernkraftwerk ist der Platin-Widerstand in einer Tauchhülle aus nichtrostendem Stahl eingebaut, und die Tauchhülle ist mittels externer Schrauben auf einem Rohr oder Behälter montiert oder angeschweißt. Für die Messung der Lufttemperatur kann ein direkter Fühler verwendet werden.

3.1.6

Ansprechzeit

(en: response time)

Zeitspanne, die eine Komponente vom Zeitpunkt des Eintretens eines einem bestimmten Ausgangszustand entsprechenden Signals benötigt, um diesen Ausgangszustand zu erreichen

[QUELLE: IAEA Safety Glossary, Ausgabe 2.0, 2006]

3.1.7

Eigenerwärmungsfehler

(en: self-heating error)

Anstieg der angezeigten Temperatur aufgrund der im Fühler verbrauchten Energie

3.1.8

Eigenerwärmungskoeffizient

(en: self-heating index, self-heating coefficient (SHI))

Koeffizient mit der Dimension °C/mW, der charakteristisch für einen Widerstand bzw. ein Thermometer ist und die Temperaturerhöhung des Widerstands je Verlustleistungsmenge beschreibt. Der Koeffizient gilt für definierte Betriebsbedingungen des Messwiderstands oder des Thermometers. Anzugeben sind das Messmedium, dessen Strömungsgeschwindigkeit und Temperatur.

[QUELLE: IEC 60751, Begriff 3.9]

3.1.9

Tauchhülse

(en: thermowell)

Schutzmantel für Widerstandstemperturfühler, Thermoelemente und andere Temperaturfühler. Die Tauchhülse wird auch zur Erleichterung des Austauschs des Temperaturfühlers verwendet.

[QUELLE: IEC 62385, Begriff 3.21]

3.1.10

Toleranz des Widerstandstemperturfühlers

(en: tolerance of RTD)

größte anfänglich erlaubte Abweichung, ausgedrückt als Temperatur in °C, vom Nenntemperatur-Widerstands-Verhältnis des Widerstandstemperturfühlers

3.1.11

Schutzrohr

(en: protective tube)

rohrförmiges Material, das dazu verwendet wird, einen oder mehrere Widerstandstemperturfühler und enthaltene Anordnungen von Umgebungseinflüssen zu schützen

3.1.12

In-situ-Messung

(en: in situ measurement)

Messung der Leistungsfähigkeit eines Widerstandstemperturfühlers (Kalibrierung oder Ansprechzeit) während der Widerstandstemperturfühler in der üblichen Betriebskonfiguration eingebaut bleibt und die Anlage in Betrieb ist

3.2 Abkürzungen

Englisch		Deutsch
IST-90	The International Temperature Scale of 1990	Internationale Temperaturskala von 1990
(Temperatureinheiten in diesem Dokument sind entsprechend der Internationalen Temperaturskala von 1990)		
LCSR	Loop Current Step Response	Schleifenstrom-Sprungantwort
M&TE	Measurement and Test Equipment	Mess- und Prüfeinrichtung
NPP	Nuclear Power Plant	KKW Kernkraftwerk

Englisch		Deutsch
PRT	Platinum Resistance Thermometer	Platin-Widerstandsthermometer
RTD	Resistance Temperature Detector	Widerstandstemperaturfühler
SHI	Self-heating index of RTD	Eigenerwärmungskoeffizient eines Widerstandstemperaturfühlers
QA	Quality Assurance	QS Qualitätssicherung

4 Auslegungs- und Konstruktionsanforderungen

4.1 Allgemeines

Der Widerstandstemperaturfühler und seine zugehörigen Baugruppen müssen die in dieser Norm beschriebenen Anforderungen erfüllen, jedoch nicht notwendigerweise auf diese Anforderungen beschränkt.

4.2 Zuverlässigkeit

Die Auslegungsphilosophie für Widerstandstemperaturfühler in einem Kernkraftwerk erfordert eine Baugruppe, die in der Lage ist, über die gesamte Auslegungsdauer der Anlage kontinuierlich unter Nenn-Betriebsbedingungen erfolgreich betrieben zu werden.

In einem Sicherheitssystem verwendete Widerstandstemperaturfühler sollten definierte Auslegungsdauern haben. Für Widerstandstemperaturfühler, deren Auslegungsdauer kürzer ist als die der Anlage oder des Sicherheitssystems, müssen Vorkehrungen dafür getroffen werden, dass der Widerstandstemperaturfühler ersetzt oder nachqualifiziert wird bevor seine Auslegungsdauer erreicht ist.

4.3 Materialien

4.3.1 Allgemeines

Materialien, Prozesse und Normteile, die in dieser Norm nicht gezielt angesprochen werden, aber für Herstellung und Einbau des Widerstandstemperaturfühlers erforderlich sind, müssen von hoher Qualität und entsprechend den höchsten für Herstellung und Anwendung der Messeinrichtung einschlägigen Kalibrierpraktiken behandelt werden.

Alle in dieser Norm abgedeckten Geräte, das Material und die in das Produkt eingebauten Artikel müssen fabrikneu sein, dürfen aber aus Komponenten hergestellt sein, die soweit wie ohne Beeinträchtigung der vorgesehenen Verwendung möglich aus recycelten Materialien bestehen.

4.3.2 Strahlenbelastung des Materials

Die Strahlungs-dosis darf höchstens etwa 900 kGy (90 Mrad) betragen, abhängig von der Anwendung und der vorgesehenen Einsatzzeit nach einem Auslegungsstörfall.

Einige Geräte können Neutronenfluss ausgesetzt sein. Die Nutzer müssen die Verwendung der Materialien, die aktiviert werden könnten, überprüfen und genehmigen. Einige Geräte können bei einem schweren Störfall Betastrahlung ausgesetzt sein. Beta- und Gammastrahlung verursachen verschiedene Arten von Schäden.

4.3.3 Material des Widerstandselements

Vorrangig Platin wird für Widerstandsthermometer in Kernkraftwerken verwendet, sowohl für sicherheitsrelevante als auch für nicht sicherheitsrelevante Instrumentierungen. Platin ist ein Edelmetall, relativ stabil und unempfindlich gegenüber Umwelteinflüssen. Es widersteht Korrosion, Oxidation und anderen Formen chemischer Angriffe. Es ist einfach zu bearbeiten und kann zu dünnen Drähten gezogen werden. Platin hat einen hohen Schmelzpunkt und zeigt unterhalb von 1 000 °C nur wenig Verdampfung. Platin kann hoch-rein erhalten werden, was reproduzierbare elektrische und chemische Eigenschaften über einen weiten Bereich von Temperaturen bewirkt. All dies ist an einer einfachen, linearen und stabilen Widerstands-Temperatur-

Beziehung erkennbar, die den Platin-Fühler kennzeichnet. Jedoch ist der elektrische Widerstand eines Platindrahts extrem empfindlich auf kleinste Materialunreinheiten und Deformationen; beide können die einfache Widerstands-Temperatur-Beziehung verändern.

Für Widerstandsthermometer dürfen auch andere Metalle verwendet werden, wenn deren Genauigkeit, Wiederholbarkeit, Ansprechzeit und Zuverlässigkeit den Anforderungen der Anwendung entsprechen.

Der Fühler-Draht muss so montiert werden, dass dieser möglichst frei von Deformationen ist, um den Form-Anspannungs-Effekt, der äußere Änderungen des Widerstands verursacht, zu vermeiden. Weiterhin muss das Thermometer mit einem von Unreinheiten freien Widerstandselement hergestellt werden.

4.3.4 Abdichtungen und Klebstoffe

Der Widerstandstemperturfühler muss hermetisch abgedichtet sein. Der Anschluss kann integraler Teil der Widerstandstemperturfühler-Anordnung sein, muss dieses aber nicht. In rauer Umgebung eingesetzte Widerstandstemperturfühler, wie bei hohen Temperaturen und/oder in Bereichen mit Strahlung, sollten ohne organische Materialien hergestellt werden. Die Verwendung keramischer Materialien wird empfohlen. Die Dichtheit der Isolierungsenden muss mittels angemessener, erprobter Verfahren überprüft werden.

Alle Bindemittel, Klebstoffe oder Dichtungen, die innerhalb des Geräts verwendet werden, müssen in der Lage sein, den Betriebsbedingungen ohne funktionale Einschränkungen und ohne Abgabe von Gasen zu widerstehen. Alle nichtmetallischen Materialien, wenn für Abdichtungen verwendet, Schutzlacke usw. müssen feuchtebeständig und feuerfest sein. Diese nichtmetallischen Materialien dürfen keinen Schimmelbefall unterstützen und nicht von Umgebungsbedingungen beeinflusst werden, wie sie in den Leistungsanforderungen dieser Norm spezifiziert sind.

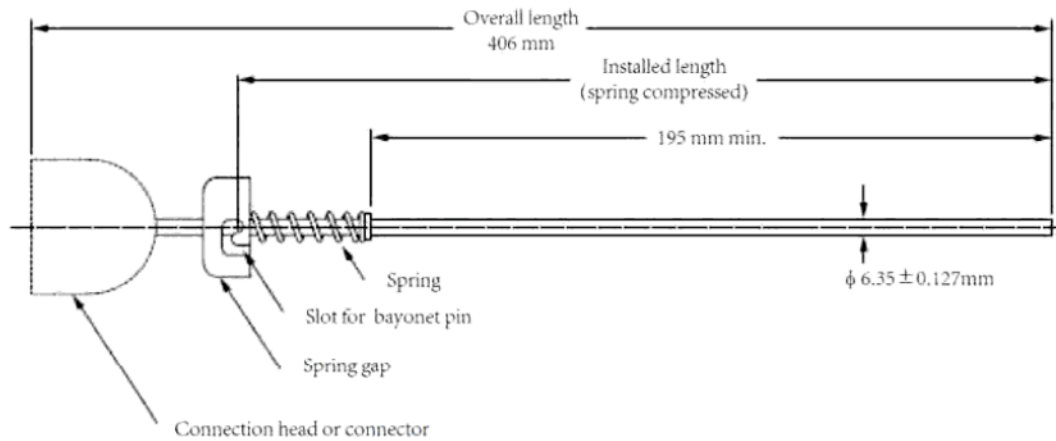
4.4 Anschlüsse

4.4.1 Bauart

Die Zuleitungen von Widerstandstemperturfühlern müssen einen qualifizierten hermetischen Abschluss haben.

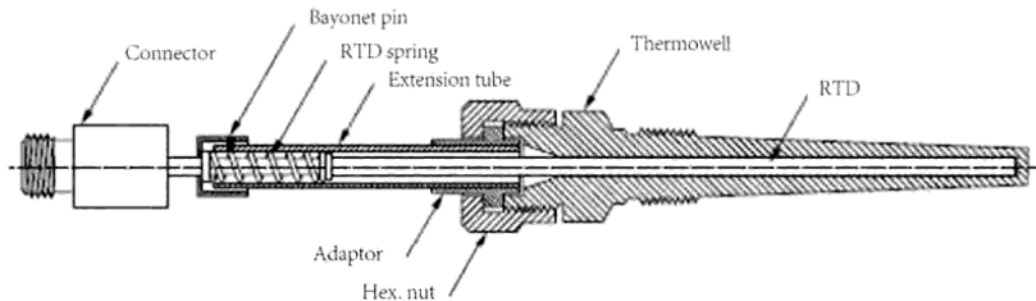
Es gibt im Allgemeinen zwei Arten elektrischer Anschlüsse, die in Kernkraftwerken verwendet werden. Bild 1 zeigt die allgemeine Form und Abmessungen eines Widerstandstemperturfühlers ohne Tauchhülse. Bild 2 zeigt einen starren Widerstandstemperturfühler mit einer Schnellkupplung und wird als „Typ I“ (Schnellkupplung) bezeichnet. Die Bilder 3 und 4 sind starre Widerstandstemperturfühler ohne Schnellkupplung; diese werden als „Typ II“ (Standard) mit langem bzw. kurzem Einschub bezeichnet. Ein Nutzer kann jede andere Art und Bauweise von Widerstandstemperturfühlern spezifizieren, abhängig von seiner jeweiligen Anwendung.

Für Widerstandsthermometer mit Anschluss sollte der Federring, als Teil der Staubabdeckung, das Ende der Auszugsröhre vollständig abdecken.



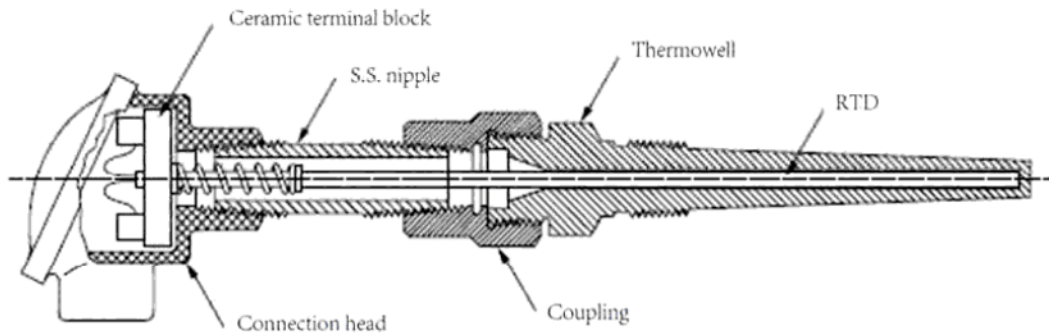
Englisch	Deutsch
Overall length	Gesamtlänge
Installed length (spring compressed)	Einschublänge (komprimierte Feder)
Slot for bayonet pin	Spalt für den Bajonett-Stift
Spring gap	Federring
Connection head or connector	Steckverbindung oder Anschluss

Bild 1 – Form und Abmessungen eines Widerstandstemperturfühlers



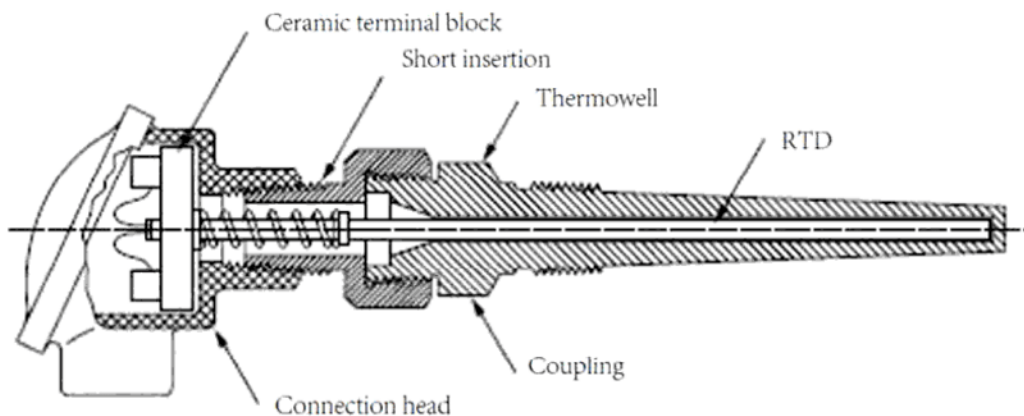
Englisch	Deutsch
Connector	Anschluss
Bayonet pin	Bajonett-Stift
RTD spring	Feder des Widerstandstemperturfühlers
Extension tube	Einschubrohr
Thermowell	Tauchhülse
RTD	Widerstandstemperturfühler
Adaptor	Adapter
Hex. nut	Sechskantmutter

Bild 2 – Einbau eines starren Widerstandstemperturfühlers (Typ I)



Englisch	Deutsch
Ceramic terminal block	Keramischer Abschlussblock
S.S. nipple	Flansch
Thermowell	Tauchhülse
RTD	Widerstandstemperturfühler
Connection head	Anschlusskopf
Coupling	Kupplung

Bild 3 – Einbau eines starren Widerstandstemperturfühlers (Typ II) mit langem Einschub



Englisch	Deutsch
Ceramic terminal block	Keramischer Abschlussblock
Short insertion	Kurzer Einschub
Thermowell	Tauchhülse
RTD	Widerstandstemperturfühler
Connection head	Anschlusskopf
Coupling	Kupplung

Bild 4 – Einbau eines starren Widerstandstemperturfühlers (Typ II) mit kurzem Einschub

4.4.2 Elektrischer Anschluss

4.4.2.1 Allgemeines

Die elektrischen Anschlüsse eines Widerstandsthermometers müssen die folgenden Anforderungen erfüllen:

- Die elektrischen Anschlüsse eines Widerstandsthermometers müssen eine qualifizierte Leckdichte haben.
- Die elektrischen Anschlüsse eines Widerstandsthermometers müssen das Eindringen von Feuchtigkeit verhindern, die einen Leckstrom verursachen könnte, der das Signal verschlechtern und eine falsche Temperaturanzeige erzeugen würde. Das Anschlusskabel muss auch mechanischen Schutz der Anschlüsse bieten, damit mechanische Belastungen den gegenüber den Effekten des Eindringens von Feuchtigkeit empfindlichen Stromkreis nicht beeinflussen oder der Anschluss vollständig unterbrochen wird.
- Alle Stromkreise müssen während den Bedingungen des Normalbetriebs und unter Störfallbedingungen elektrisch stabil sein.

4.4.2.2 Art des Anschlusses

Es gibt zwei üblicherweise verwendete Arten elektrischer Anschlüsse von Widerstandstemperaturfühlern in Kernkraftwerken:

- Typ I (Schnellkupplung, [Bild 2](#)).

Der elektrische Anschluss erfolgt über einen Vielkontakt-Stecker. Die Steckverbindung muss in gestecktem Zustand spritzwassergeschützt und wasserdicht sein und die Isolationsanforderungen nach [4.7.6](#) erfüllen. Zusätzlich sollte der Kontaktwiderstand in gestecktem Zustand nicht größer sein als $0,25\ \Omega$. Der Kontaktwiderstand jedes Stifts muss in gestecktem Zustand so klein wie möglich sein. Für hoch-genaue Anwendungen kann der Nutzer eine Gold- oder Silberbeschichtung der Stifte und Sockel der Steckverbindung wünschen. Die Nenntemperatur der Steckverbindung muss mindestens $150\ ^\circ\text{C}$ oder die vom Nutzer angegebene Temperatur bei einem Störfall betragen. Wenn nicht anders angegeben, muss der Hersteller das Einsteckteil der Kupplung mit dem Widerstandstemperaturfühler liefern. Der Adapter und das Einschubrohr müssen vom Hersteller geliefert werden. Üblicherweise empfohlene Abdichtmittel der Steckverbindung sind Glas-Metall oder Keramik-Metall, die eine Leckrate von weniger als $10^{-9}\ \text{Pa m}^3/\text{s}$ haben sollten, wenn sie mit Helium bei einer atmosphärischen Druckdifferenz geprüft werden.

- Typ II (Standard, [Bilder 3 und 4](#)).

Der elektrische Anschluss erfolgt in einem Metallgehäuse (Anschlusskopf) mittels Schraubklemmen. Das Gehäuse muss, wenn geschlossen, wasser- und staubdicht sein und ein einfaches Entkoppeln des Widerstandstemperaturfühlers ermöglichen, wenn geöffnet. Der abnehmbare Deckel sollte mit dem Gehäuse durch eine korrosionsbeständige Kette verbunden sein, wenn vom Nutzer nicht anders spezifiziert. Flansch und Verlängerung dürfen als Teil der Anwendung spezifiziert werden, oder nach Empfehlung des Herstellers des Temperaturfühlers².

4.4.2.3 Zuleitungen

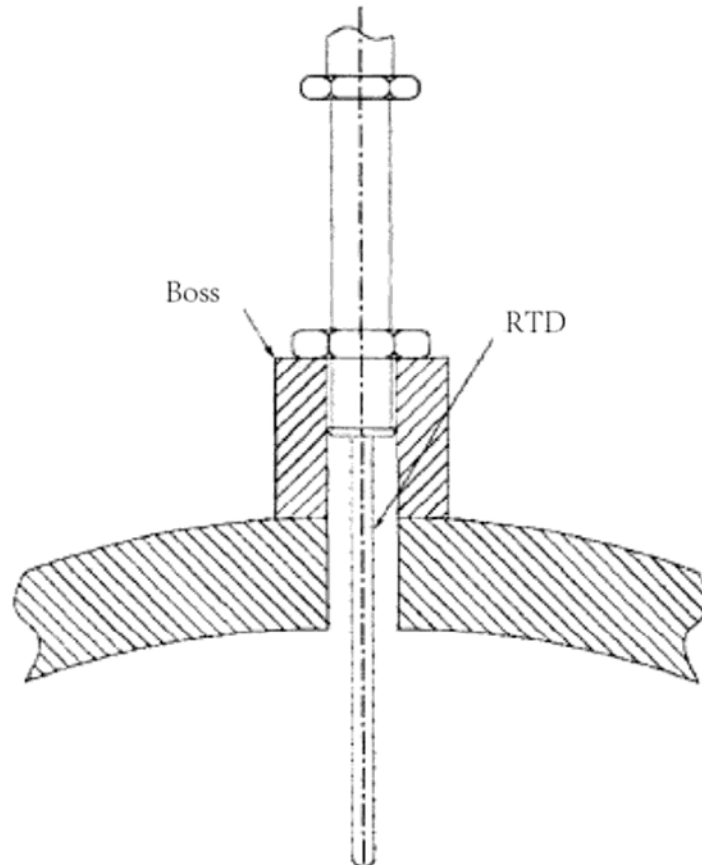
Je nach Anwendung und Grad der geforderten Genauigkeit können drei- oder vieradrige Zuleitungen verwendet werden. Der Widerstandstemperaturfühler sollte üblicherweise ein dreiadriges Gerät sein, es sei denn, ein vieradriges Gerät wird für eine spezielle Auslegung benötigt. Die internen Leitungen eines Widerstandstemperaturfühlers müssen vollständig von einem isolierenden Material so umgeben sein, dass der komplette Widerstandstemperaturfühler tolerant gegenüber Schwingungen, Temperatur und Strahlung ist. Das Material der Zuleitungen muss so ausgewählt werden, dass der Leitungswiderstand so weit wie praktikabel reduziert wird.

² Hersteller meint die Gruppe oder das Unternehmen, die/das den Widerstandstemperaturfühler herstellt. Der Begriff Hersteller kann sich auch auf den Zulieferer oder den Lieferanten des Widerstandstemperaturfühlers beziehen.

4.4.3 Mechanischer Anschluss

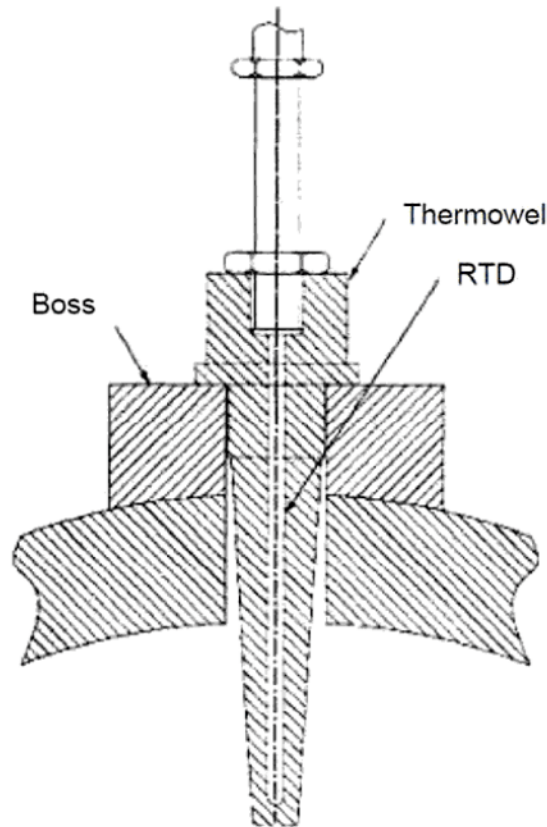
4.4.3.1 Art des Anschlusses

Es gibt zwei üblicherweise verwendete Arten mechanischer Anschlüsse von Widerstandstemperturfühlern in Kernkraftwerken. Bei Typ A kann der Widerstandstemperturfühler direkt an die Nabe angeschlossen werden, wie in Bild 5 gezeigt. Bei Typ B wird der Widerstandstemperturfühler über eine Tauchhülse an die Rohrnabe angeschlossen, wie in Bild 6 gezeigt.



Englisch	Deutsch
Boss	Nabe
RTD	Widerstandstemperturfühler

Bild 5 – Anschluss-Typ A eines Widerstandstemperturfühlers



Englisch	Deutsch
Thermowell	Tauchhülse
Boss	Nabe
RTD	Widerstandstemperturfühler

Bild 6 – Anschluss-Typ B eines Widerstandstemperturfühlers

Der Nutzer muss sicherstellen, dass der Widerstandstemperturfühler mit der Tauchhülse, dem Anschlusskopf, dem Einführungsrohr und den in [Bild 1](#) gezeigten Endstücken kompatibel ist.

ANMERKUNG Das Führungsrohr ist nicht Gegenstand dieser Norm.

Eine Federspannung in der Größenordnung von $1\,100\text{ kN/m}^2$ stellt einen ausreichenden Kontakt zwischen dem Widerstandstemperturfühler und dem Boden der Tauchhülse sicher.

Wenn Befestigungsmittel, wie Schrauben, Stifte, Bolzen usw. verwendet werden, müssen diese Teile so eingebaut werden, dass sie sich nicht lösen können. Diese Teile dürfen nicht gestaucht, gehämmert, aufgeschichtet oder in anderer Weise dauerhaft verformt werden, wenn sie entfernt oder eingepasst werden.

4.4.3.2 Röntgen von Schweißnähten

Alle Schweißnähte müssen mittels Röntgenstrahlung überprüft werden. Jedes Anzeichen einer Beschädigung von Komponenten in der Nähe von Schweißnähten oder jedes Anzeichen von Fehlstellen, Risse, Querschnittsminderung oder unvollständiges Verschmelzen der Schweißnaht sollten als Grund für eine Zurückweisung angesehen werden.

4.4.3.3 Flüssigkeitsdurchtritt

Alle Schweißnähte und Tauchhülsen müssen auf Flüssigkeitsdurchtritt geprüft werden. Hersteller und Nutzer müssen sich auf das Verfahren zur Überprüfung des Flüssigkeitsdurchtritts und die Materialien verständigen. Die Qualifizierung des Personals nach dem Standard einer anerkannten Regulierungsbehörde ist für diejenigen erforderlich, die die Überprüfung des Flüssigkeitsdurchtritts durchführen, und muss dokumentiert sein.

Halogene Produkte oder halogene Materialien enthaltene Produkte für die Überprüfung des Flüssigkeitsdurchtritts werden nicht empfohlen. Außerdem müssen alle für die Überprüfung des Flüssigkeitsdurchtritts benötigten Verbrauchsmittel (wie z. B. Entwickler und Reiniger) sowohl einen begrenzten Halogen- und Schwefelgehalt haben, unabhängig von der schließlichen Verwendung und wie vom Nutzer festgelegt.

4.5 Verarbeitung

Die Verarbeitung muss entsprechend guter ingenieurmäßiger und Herstellungs-Praxis, wie in der Nuklearindustrie üblich, erfolgen. Der Widerstandstemperrfühler und sein Zubehör sollte eine hohen Qualität aufweisen, um einen zufriedenstellenden Betrieb und eine ausreichende Einsatzdauer entsprechend den Festlegungen dieser Norm sicherzustellen.

Die Verarbeitungsqualität von Widerstandsthermometern muss die folgenden Anforderungen erfüllen:

- a) Alle Teile sind korrekt, zuverlässig und ohne Beschädigung montiert,
- b) ohne unterbrochene Stromkreise oder Kurzschlüsse.

Die Herstellung muss sicherstellen, dass die Anforderungen dieser Norm eingehalten und alle Prüfungen und Überprüfungen dieser Norm durchgeführt werden.

Zusätzlich zu der obigen Anforderung muss der Hersteller Analyse, Überprüfungen, Prüfungen und andere Arbeiten durchführen, die als erforderlich zur Sicherstellung, dass der Widerstandsthermometer die Anforderungen dieser Norm erfüllen kann, angesehen werden.

4.6 Umgebungsbedingungen (bei Normalbetrieb und bei Störfällen) und Qualifizierung

Die typischen Betriebsbedingungen eines Kernkraftwerk können z. B. wie folgt sein:

- a) Höchste Temperatur des Elements 330 °C
- b) Betriebsdauer der Anlage laut Auslegung 40 Jahre
- c) Strahlenbelastung
 - Dosisleistung (Normalbetrieb) bis 3 Gy/h (300 rad/h)
 - Dosisleistung (Störfallbetrieb) bis 100 Gy/h (10 Mrad/h)
 - Gesamtdosis 2 000 kGy (200 Mrad) in 40 Jahren
- d) Luft/Dampfumgebung bei Normalbetrieb und bei Störfällen
 - Temperatur 0 °C bis 330 °C
 - Luftfeuchte bis 100 % (gesättigt)
 - Verunreinigungen bis 50 ppm Ozon-Salz-Belastung „Meeresluft“
 - Dampf gesättigt

Je nach vorgesehener Anwendung des Widerstandstemperrfühlers und der Auslegung des Reaktors kann der Nutzer andere Bedingungen vorgeben als die hier angegebenen.

Eine Umweltqualifizierung für das Störfallszenario einer Anlage, wie z. B. einen Kühlmittelverluststörfall (LOCA) oder Bruch einer energiereichen Leitung (HELB) müssen in den individuellen Datenblättern des Widerstandstemperrfühlers angegeben werden. Die Qualifizierung muss entsprechend der technischen Spezifikation des Nutzers erfolgen. Liegt keine spezifische Anweisung des Nutzers vor, muss die Qualifizierung nach IEC/IEEE 60780-323 erfolgen.

Einige Widerstandstemperaturfühler und ihre Kabelanschlüsse können in Systemen der nuklearen Sicherheitsleittechnik verwendet werden; diese sind dazu erforderlich, die auf Temperaturmessungen basierenden Sicherheitsfunktionen kontinuierlich während der gesamten Einsatzzeit sicherzustellen. Wenn eine solche Anforderung angegeben ist, muss der Widerstandstemperaturfühler und sein gesamtes Zubehör einem Umfang von Qualifizierungsprüfungen unterzogen werden, wie er in 5.6 beschrieben ist. Dieses dient dazu, zu zeigen und sicherzustellen, dass der Widerstandstemperaturfühler und sein Zubehör in der Lage ist, die geforderten Funktionen bei Normalbetrieb und bei Auslegungsstörfällen, die während der Betriebsdauer der Anlage auftreten können, durchzuführen.

Für das die Qualifizierungsprüfungen durchführende Labor muss der Nutzer die normalen Umgebungsbedingungen dieser Widerstandstemperaturfühler, raue Umgebungen als Folge angenommener Störfälle oder Auslegungsstörfälle, betriebliche und Störfall-Sicherheitsfunktionen, die Leistungsanforderungen nach 4.7, ihre Einsatzdauer und das Boden-Schwingungsspektrum für die seismische Qualifizierung nach IEC/IEEE 60980-344 angeben.

4.7 Leistungsanforderungen für Widerstandstemperaturfühler

Die Leistung eines Widerstandstemperaturfühlers wird durch seine Genauigkeit und seine Ansprechzeit charakterisiert. Die Genauigkeit eines Widerstandstemperaturfühlers wird durch die Kalibrierung festgestellt, die Ansprechzeit in einem Labor mittels der Eintauchprüfung gemessen. Nachdem der Widerstandstemperaturfühler in einer Anlage eingebaut ist, wird seine Ansprechzeit nicht die gleiche sein wie bei der Eintauchprüfung im Labor, aufgrund des Prozess-Durchflusses, der Temperatur und eines geringeren äußeren Drucks. Jeder Widerstandstemperaturfühler muss die Leistungsanforderungen dieses Abschnitts erfüllen. Die Konfiguration der Anordnung während der Prüfung muss der auf der Anlage installierten Konfiguration entsprechen.

4.7.1 Genauigkeit

Während der Bedingungen des Normalbetriebs und bei Störfällen muss die Abweichung der Temperaturmessung aufgrund der Leistung des Temperaturmesskreises, einschließlich des Widerstandstemperaturfühlers mit seinen Kabeln und Anschlüssen auf 0,25 °C (bei Temperaturen zwischen 0 °C und 100 °C) oder 0,25 % (bei Temperaturen über 100 °C) beschränkt werden. Die Drift darf je Jahr nicht höher sein als 0,2 % des Skalenendwerts. Diese Abweichung schließt Beiträge aufgrund der Widerstands-Temperatur-Kalibrierung, Eigenerwärmung, Drift und Dampfleitung ein, nicht jedoch Beiträge durch felderhöhende Kabelführung und den Temperaturübertrager oder die Brücke.

Je nach vorgesehener Anwendung des Widerstandstemperaturfühlers und der Auslegung des Reaktors kann der Nutzer andere Genauigkeitsanforderungen oder andere Werte als oben angegeben fordern, wenn die Werte technisch begründet sind.

4.7.2 Widerstands-Temperatur-Kalibrierung

Die temperaturabhängigen Änderungen des Widerstands des Platins folgen einer festen Beziehung, die als einfache mathematische Gleichung ausgedrückt werden kann. Für einen Platin-Widerstandsthermometer kann der Widerstand für jede Temperatur nach der folgenden Callendar-Gleichung angegeben werden.

$$R_t = R_0 (1 + AT + BT^2)$$

Dabei ist

R_t	der Widerstand des Thermometers bei einer Temperatur von T °C;
R_0	der Widerstand des Thermometers bei 0 °C;
A, B	Konstanten, abhängig von den Eigenschaften des Platindrahts;(die Konstanten A und B können definiert werden zu $A = \alpha (1 + \delta/100)$; $B = -\alpha \delta/10\,000$)
α (alpha)	in jeder spezifischen Kalibriertabelle angegeben, nominell = 0,003 85 $\Omega/\Omega/^\circ\text{C}$;
δ (delta)	in jeder spezifischen Kalibriertabelle angegeben, nominell = 1,5.

Die Reinheit des Platindrahts und die nichtrostende Konstruktion des Widerstandstemperturfühlers sollten für die Alpha-Konstante einen Wert von nicht weniger als $0,003\,85\,\Omega/\Omega/^{\circ}\text{C}$ ergeben. Der Nennwiderstand des Widerstandstemperturfühlers bei $0\,^{\circ}\text{C}$ muss $100\,\Omega$ betragen. Für präzise Temperaturmessungen kann der Nutzer angeben, dass der Nennwiderstand des Widerstandstemperturfühlers bei $0\,^{\circ}\text{C}$ $200\,\Omega$ betragen soll. Eine mitgelieferte Übersichtstabelle der Widerstands-Temperatur-Beziehung muss den Bereich zwischen $0\,^{\circ}\text{C}$ und $330\,^{\circ}\text{C}$ in Schritten zu $1\,^{\circ}\text{C}$ abdecken.

Temperaturbereich in $^{\circ}\text{C}$	Grenzabweichung
0 bis 150	$\pm 0,75\,\%$
Über 150	$\pm 0,50\,\%$

Der Widerstand muss am Anschlusskopf gemessen werden. Die oben genannten Grenzabweichungen gelten für die Herstellung des Widerstandstemperturfühlers. Jeder einzelne Widerstandstemperturfühler muss vor seinem Einbau in die Anlage kalibriert werden, um die Genauigkeitsanforderungen nach 4.7 einzuhalten.

Für einige Anwendungen, und wenn in der Anwendungsspezifikation gezielt gefordert, muss eine individuelle Kalibriertabelle mit den Werten des Widerstands gegen die Temperatur mitgeliefert werden. Diese muss nach der im Kalibrierverfahren (siehe 5.4.2) beschriebenen Vorgehensweise erstellt werden. Für unterschiedliche Widerstandselemente muss jeweils eine Kalibriertabelle mitgeliefert werden.

4.7.3 Eigenerwärmungsfehler

Der Eigenerwärmungsfehler ist als Anstieg der angezeigten Temperatur aufgrund der im Fühler verbrauchten Energie definiert. Das Prinzip für das Prüfverfahren zur Untersuchung des Eigenerwärmungsfehlers sollte wie folgt sein.

Bei der Prüfung des Widerstandsthermometers auf Eigenerwärmung muss der Fühler in der Lage sein, $10\,\text{mW}$ Leistung mit einem Anstieg der Temperatur von weniger als $0,2\,^{\circ}\text{C}$ umzuwandeln. Für einen $200\text{-}\Omega$ -Platin-Widerstandstemperturfühler mit einem Temperaturkoeffizienten von etwa $0,003\,9\,\Omega/^{\circ}\text{C}$ entspricht dies einem Eigenerwärmungskoeffizienten von $15,6\,\Omega/\text{W}$. Für einen $100\text{-}\Omega$ -Platin-Widerstandstemperturfühler entspricht dies einem Eigenerwärmungskoeffizienten von $7,8\,\Omega/\text{W}$.

4.7.4 Temperatur-Ansprechzeit

Die Temperatur-Ansprechzeit ist definiert als die Dauer, die ein Temperaturfühler benötigt, um $63,2\,\%$ der gesamten Änderung des Widerstands bei einer sprungförmigen Änderung der Temperatur zu erreichen. Für Anwendungen in Kernkraftwerken hängen die Anforderungen an die Ansprechzeit von der zu erfüllenden Funktion ab. Üblicherweise werden zwei Arten von Widerstandstemperturfühlern betrachtet: schnelle Widerstandstemperturfühler und Standard- Widerstandstemperturfühler.

Prüfverfahren und Anforderungen müssen entsprechend den funktionalen Erfordernissen festgelegt werden (zu Einzelheiten siehe 5.4.4 bis 5.4.12).

Wenn nicht anders angegeben, darf die Dauer, bis $63,2\,\%$ der Sprungänderung der Temperatur erreicht sind, die Anforderungen der technischen Spezifikation der Anlage nicht überschreiten, welche üblicherweise etwa $4\,\text{s}$ für schnelle Widerstandstemperturfühler in einer Tauchhülse beträgt. Für Standard-Widerstandstemperturfühler sind die Anforderungen nicht so streng.

Zur Ermittlung der Ansprechzeit eines Widerstandstemperturfühlers im Labor kann der Nutzer die Anwendung der Eintauchprüfung fordern (zu Einzelheiten siehe 5.4.4).

Um die In-situ-Ansprechzeit eines Widerstandstemperturfühlers zu erhalten, kann der Nutzer verlangen, dass die In-situ-Ansprechzeit mittels des Verfahrens der Schleifenstrom-Sprungantwort (LCSR-Verfahren) gemessen werden kann. Das LCSR-Verfahren kann dazu benutzt werden, den bestimmungsgemäßen Einbau des Widerstandstemperturfühlers in die Tauchhülse zu verifizieren, die Ansprechzeit des Widerstandstemperturfühlers in unterkritischen heißen Standby-Bedingungen sowie die In-situ-Ansprechzeit bei Bedingungen des Normalbetriebs zu messen (zu Einzelheiten siehe 5.4.12.2).

4.7.5 Austauschbarkeit

Jeder nach der gleichen Spezifikation hergestellte Fühler muss gegen jeden Fühler des gleichen Typs ausgetauscht werden können, innerhalb der im Bericht über die Widerstands-Temperatur-Kalibrierung aufgeführten Grenzwerte (siehe 4.7.2).

4.7.6 Elektrischer Widerstand der Isolierung

Der Widerstandstemperturfühler muss die Akzeptanzkriterien für die Prüfung des elektrischen Widerstands der Isolierung erfüllen, die im Folgenden angegeben sind:

- a) Der elektrische Widerstand der Isolierung des Temperturfühlers darf bei Raumtemperatur nicht geringer sein als 100 MΩ.
- b) Der elektrische Widerstand der Isolierung des Temperturfühlers darf bei einer Temperatur von mindestens 200 °C nicht geringer sein als 10 MΩ.

Für die in 5.6 beschriebene Qualifizierungsprüfung muss der Widerstand der Isolierung kontinuierlich überwacht werden, während das Element von (330 ± 10) °C auf Raumtemperatur abkühlt. Jeder Rückgang des Isolationswiderstands unter die angegebenen Grenzen muss ein Grund für die Nicht-Qualifizierung sein.

Alle hergestellten Widerstandstemperturfühler müssen in Räumen mit kontrollierter Umgebung gelagert werden. Am Ende dieser Lagerzeit muss der Isolationswiderstand des Widerstandstemperturfühlers größer als 10 MΩ sein und darf nicht auf 1/10 des während der Herstellungsprüfung erhaltenen Werts abgefallen sein.

Je nach vorgesehener Anwendung des Widerstandstemperturfühlers kann der Nutzer für jede Phase der Gerätequalifizierung eigene Akzeptanzkriterien für den elektrischen Widerstand der Isolierung fordern.

4.7.7 Wiederholbarkeit (thermischer Schock)

Nach der Prüfung der Wiederholbarkeit muss der Isolationswiderstand des Fühlers überprüft und der Fühler bei 0 °C und 100 °C kalibriert werden. Der Isolationswiderstand muss mindestens 100 MΩ betragen und der thermische Zyklus darf die Widerstands-Temperatur-Kalibrierung um nicht mehr als 0,1 °C bei 0 °C oder 0,15 °C bei 100 °C verändern.

Je nach vorgesehener Anwendung des Widerstandstemperturfühlers kann der Nutzer andere Anforderungen, Prüfverfahren (Temperaturen) und Akzeptanzkriterien für die Prüfung der Wiederholbarkeit angeben.

4.7.8 Schwingungen

Nach der Schwingungsprüfung muss der Widerstandstemperturfühler die folgenden Akzeptanzkriterien erfüllen:

- a) weder ein Kurzschluss noch die Unterbrechung eines Stromkreises tritt auf,
- b) die Kalibrierung am Gefrierpunkt hat sich um nicht mehr als 0,1 °C verändert,
- c) die Kalibrierung bei 100 °C hat sich um nicht mehr als 0,15 °C verändert,
- d) der Fühler erfüllt die Anforderungen an den Isolationswiderstand (siehe 4.7.6).

Je nach vorgesehener Anwendung des Widerstandstemperturfühlers kann der Nutzer ein Prüfverfahren und die diesbezüglichen Anforderungen und Akzeptanzkriterien angeben.

4.7.9 Dampfprüfung

Widerstandstemperturfühler, die in Umgebungen mit Dampf verwendet werden, müssen der Dampfprüfung unterzogen werden. Nach der Dampfprüfung muss der Widerstandstemperturfühler die folgenden Akzeptanzkriterien erfüllen:

- a) Der Isolationswiderstand des Widerstandsthermometers muss größer sein als 100 MΩ.
- b) Jeder Fühler muss bei 0 °C kalibriert werden und die Anforderungen nach 5.4.2 erfüllen,

4.7.10 Temperaturzyklus

Nach der Prüfung mit dem Temperaturzyklus muss der Widerstandstemperaturfühler die folgenden Akzeptanzkriterien erfüllen:

- a) Die absolute Abweichung der aus dem bei 0 °C und bei 100 °C gemessenen Widerstand konvertierten Temperatur darf nicht größer sein als 0,1 C.
- b) Der Isolationswiderstand des Widerstandsthermometers muss bei einer Temperatur unter 200 °C größer sein als 100 MΩ.

Je nach vorgesehener Anwendung und den funktionalen Anforderungen kann der Nutzer ein Prüfverfahren und die diesbezüglichen Anforderungen und Akzeptanzkriterien angeben.

4.7.11 Dielektrische Überprüfung

Während der dielektrischen Überprüfung dürfen keine Korona-Entladungen, Durchschläge oder Kriechströme mit einem als Überschlag betrachteten Leckstrom von mehr als 3 mA auftreten.

4.7.12 Hydraulikprüfung

Nach der Hydraulikprüfung muss der Widerstandstemperaturfühler die folgenden Akzeptanzkriterien erfüllen:

- a) Während der Hydraulikprüfung darf keine sichtbare Leckage des Thermometers (ohne Tauchhülse) oder der Tauchhülse auftreten.
- b) Nach der Hydraulikprüfung muss der Isolationswiderstand des Thermometers größer sein als 100 MΩ und die absolute Abweichung der aus dem bei 0 °C und bei 100 °C gemessenen Widerstand konvertierten Temperatur darf nicht größer sein als 0,1 C.

4.7.13 Prüfung der In-situ-Ansprechzeit

Als optionale Prüfung kann die Prüfung der In-situ-Ansprechzeit und deren Akzeptanzkriterien vom Nutzer gefordert werden. Wenn nicht anders angegeben, müssen die Akzeptanzkriterien die gleichen sein wie bei der Prüfung der thermischen Ansprechzeit. Die In-situ-Prüfung sollte nach Anweisung des Anlagenpersonals erfolgen.

Die Ansprechzeit eines Widerstandstemperaturfühlers hängt von der Installation und den Prozessbedingungen ab. Daher sind die vom Hersteller angegebenen Ansprechzeiten, die üblicherweise auf einer Eintauchprüfung im Labor basieren, nicht die gleichen wie die Ansprechzeit des Widerstandstemperaturfühlers nach seinem Einbau in der Anlage. Dies gilt insbesondere für Widerstandstemperaturfühler, die in eine Tauchhülse eingebaut sind. Wenn ein Widerstandstemperaturfühler in einem Labor in einer Prüf-Tauchhülse geprüft und in einer anderen Tauchhülse in der Anlage eingebaut wird, kann seine Ansprechzeit völlig anders sein. Der Luftspalt in der Tauchhülse wie auch der Prozess-Durchfluss, die Temperatur und der Druck beeinflussen die Ansprechzeit des Widerstandstemperaturfühlers. Daher kann die In-situ-Ansprechzeit des Widerstandstemperaturfühlers nur durch eine In-situ-Prüfung des in der Anlage in seine Tauchhülse eingebauten Widerstandstemperaturfühlers während des Normalbetriebs der Anlage oder nahe dessen Bedingungen bestimmt werden.

In Anlage A sind drei Prüfverfahren der In-situ-Ansprechzeit beschrieben.

4.8 Kennzeichnung

Jedes Gerät muss durch die folgenden Informationen identifiziert werden:

- Name oder Bezeichnung des Herstellers;
- Modell- und/oder Seriennummer des Herstellers;
- Identifikationsnummer(n) des Nutzers.

Die Kennzeichnung muss mittels Elektro-Ätzen einer nicht kritischen Oberfläche nach den akzeptablen Qualitätssicherungsverfahren aufgebracht werden. Wenn gefordert, muss der Identifizierungs-Code des

Nutzers für jedes Gerät auch auf einem fest mit dem Gerät verbundenen Metallanhänger aufgebracht sein. Der Anhänger muss aus Messing oder nichtrostendem Stahl bestehen.

4.9 Ausfallart- und -effektanalyse

Jede Komponente kann auf die eine oder andere Art ausfallen, genannt Ausfallarten.

Hersteller und Kunde müssen alle signifikanten Ausfallarten und ihre Auswirkungen auf den Widerstandstemperaturfühler und dessen Betrieb untersuchen.

Untersuchung und Analyse müssen die folgenden Aspekte beinhalten:

- die wahrscheinlichsten Ursachen für Ausfälle;
- die Auslegungsmerkmale, die zur Verhütung von Ausfällen vorgesehen sind;
- die Auslegungsmerkmale, die zur Begrenzung der Auswirkungen von Ausfällen vorgesehen sind;
- wie Verschlechterungen vor einem Ausfall erkannt werden;
- wie Ausfälle erkannt werden.

5 Überprüfung und Prüfungen

5.1 Allgemeines

Prüfungen müssen durchgeführt werden, um nachzuweisen, dass Widerstandstemperaturfühler die Anforderungen dieser Norm erfüllen.

Jeder hergestellte Widerstandstemperaturfühler muss im Rahmen seiner Herstellung einer Stückprüfung nach 5.5 unterzogen werden.

Qualifizierungsprüfungen (Typprüfungen) müssen an Prüflingen jeder Art von Auslegung und Messbereich von Widerstandstemperaturfühlern durchgeführt werden. Der Umfang der Qualifizierungsprüfungen (Typprüfungen) ist in 5.6 beschrieben.

Zusätzlich zu den in 5.6 aufgeführten Qualifizierungsprüfungen kann der Nutzer weitere Umgebungsqualifizierungs- und/oder seismische Qualifizierungsprüfungen für jene Widerstandstemperaturfühler angeben, die während des Normalbetriebs und Störfällen in der Anlage unter rauen Umgebungsbedingungen eingesetzt werden, siehe IEC/IEEE 60980-344. Nutzer und Hersteller müssen die Abfolge und den Inhalt jeder Prüfung überprüfen. Zweck der Qualifizierungsprüfungen ist, zu zeigen, dass der Widerstandstemperaturfühler seine Sicherheitsfunktion während den Bedingungen des Normalbetriebs und bei Störfällen der Anlage erfüllen wird.

Der Hersteller muss alle Stückprüfungen und alle Überprüfungen durchführen, die erforderlich sind, um sicherzustellen, dass das Material, seine Verarbeitung und sein Betrieb die hohe Güte aufweisen wie in dieser Norm gefordert, und um zu zeigen, dass das gelieferte Gerät kalibriert ist und so funktioniert wie in dieser Norm beschrieben.

Alle Überprüfungen und Prüfverfahren, Kalibriereinrichtung und Kalibrierzertifikate müssen für den Nutzer verfügbar sein, um sie zu akzeptieren bevor die Herstellung beginnt.

5.2 Nichtbestehen von Überprüfung und Prüfung

Im Falle dass eine Einheit oder ein Teil davon irgendeine der in dieser Norm beschriebenen Überprüfungs- oder Prüfanforderungen nicht erfüllt, sollten Nutzer und/oder Hersteller eine Analyse der Ausfallart oder der Ursache durchführen.

5.3 Überprüfungs- und Prüfbericht

Überprüfungs- und Prüfberichte, einschließlich Herstellungs- und Qualifizierungsberichten, müssen für die Dauer der Einsatzzeit in der Anlage oder der Betriebszeit des Widerstandstemperturfühlers auf zweckdienliche Weises aufbewahrt werden.

5.4 Prüfverfahren

5.4.1 Überprüfung von Anordnung und Aufbau

Gesamtaufbau, Anordnung und Aufbau des Widerstandstemperturfühlers und der Tauchhülse sollten vor der Prüfung überprüft werden. Die Überprüfung von Anordnung und Aufbau umfasst das Folgende:

- a) Überprüfung des Aufbaus des Widerstandsthermometers, welcher von hoher Qualität sein muss.
- b) Überprüfung der Korrektheit der elektrischen und mechanischen Verbindungen.
- c) Überprüfung der Abmessungen des Widerstandsthermometers und der Tauchhülse, welche mit den technischen Zeichnungen übereinstimmen müssen.
- d) Die Überprüfung der Qualität der Anordnung des Widerstandsthermometers kann durch Sichtprüfung erfolgen.
- e) Überprüfung der Kennzeichnung des Widerstandsthermometers, die die in dieser Norm geforderten Informationen enthalten muss.
- f) Überprüfung des Widerstandsthermometers mittels eines Mehrfach- oder anderen Messgeräts, es sollten weder Kürzschlüsse noch Unterbrechungen der Verbindungen vorhanden sein.
- g) Überprüfung der axialen Geradheit des Widerstandstemperturfühlers. Auf seiner Länge sollte keine Krümmung vorhanden sein, die seinen Einbau in eine Tauchhülse gefährdet. Dieses kann visuell erfolgen oder durch Messung des Krümmungsradius (welcher null sein muss).

5.4.2 Kalibrierverfahren

- a) Bei 0 °C

Das Standard-Widerstandsthermometer und das kalibrierte Widerstandsthermometer müssen in ein gut aufgerührtes Eisbad bei $(0 \pm 0,02) ^\circ\text{C}$ eingetaucht werden. Der Wert des Widerstands wird aufgezeichnet, wenn die Anzeige stabil ist, und die Abweichung des kalibrierten Widerstandsthermometers bei 0 °C wird berechnet. Die Abweichung des Widerstandswerts muss auf $\pm 0,015 \%$ begrenzt werden.

- b) Bei 100 °C und bei 330 °C oder der vom Nutzer angegebenen Betriebstemperatur

Der Fühler muss in ein Ölbad oder eine andere geeignete Flüssigkeit eingetaucht werden, je nach Empfehlung durch den Sekundärstandard, der direkt auf ein anerkanntes Temperaturnormal rückführbar ist. Der Wert des Widerstands wird aufgezeichnet, wenn die Anzeige stabil ist, und die Abweichung des kalibrierten Widerstandsthermometers bei 100 °C^{N1} und bei 330 °C oder der vom Nutzer angegebenen Temperatur wird berechnet. Der Fühler muss so tief eingetaucht werden, das die Abweichung durch die Halterung vernachlässigbar ist.

Das Bad muss die festgelegte Kalibriertemperatur bis auf 1 °C genau einhalten, wenn der Widerstandswert abgelesen wird.

Die Stabilität der Temperatur des Bads und dessen Unsicherheit müssen festgestellt und die Auswirkung jeder Nicht-Konstanz oder bleibenden Temperatur-Instabilität des Bads muss bei der Berechnung der Gesamt-Unsicherheit der Kalibrierung des Widerstandstemperturfühlers berücksichtigt werden.

N1 Nationale Fußnote: Schreibfehler im IEC-Original, dort steht an dieser Stelle 0 °C.

5.4.3 Prüfung der Eigenerwärmung

Wenn der Widerstandstemperaturfühler in einer Konstant-Temperaturzelle bei einer bestimmten Temperatur platziert ist, sollte der Erregungsstrom sicherstellen, dass 10 mW Leistung verbraucht werden. Das Prüfverfahren kann sich auf IEC 60751 beziehen.

Dann wird der stabile Widerstandswert des Widerstandstemperaturfühlers gemessen. Dieses Vorgehen kann für verschiedene Verbrauchsleistungen wiederholt werden, um zusätzliche stabile Widerstandswerte des Widerstandstemperaturfühlers zu erhalten, die in einer Grafik gegen die Verbrauchsleistung aufgetragen werden können. Diese Grafik wird als Eigenerwärmungsgraph bezeichnet und sollte üblicherweise eine gerade Linie sein. An den Eigenerwärmungsgraph kann eine gerade Linie angelegt und die Steigung dieser Linie berechnet werden, was als Eigenerwärmungskoeffizient des Widerstandstemperaturfühlers bezeichnet wird, angegeben in Ω je W. Der Eigenerwärmungskoeffizient ist ein Gradmesser der dynamischen Leistungsfähigkeit des Widerstandstemperaturfühlers und kann zusammen mit dem Ergebnis der LCSR-Prüfung nachverfolgt werden, um Verschlechterungen der Ansprechzeit zu identifizieren. Der Eigenerwärmungskoeffizient ist nicht direkt mit der Ansprechzeit des Widerstandstemperaturfühlers verbunden, jedoch steigt und fällt der Eigenerwärmungskoeffizient eines Widerstandstemperaturfühlers in gleicher Weise wie die In-situ-Ansprechzeit.

5.4.4 Temperatur-Ansprechzeit

Eine typische Prüfbedingung für die Bestimmung der Ansprechzeit ist das schnelle Eintauchen des Fühlers bei $(20 \pm 2,5)^\circ\text{C}$ und bei $(75 \pm 2,5)^\circ\text{C}$ in mit $(1 \pm 0,15)$ m/s fließendes Wasser. Der gemessene Widerstandsthermometer muss seine Endposition in weniger als 1/10 seiner Ansprechzeit erreichen. Während der Prüfung muss der eingetauchte Teil des gemessenen Widerstandsthermometers in der Mitte des für die Prüfung verwendeten Flusskanals angeordnet sein. Die Längsachse des Thermometers muss in einer Ebene senkrecht zur Flussrichtung des Mediums angeordnet sein. Die Breite des Flusskanals darf nicht weniger als das 10-Fache des Durchmessers des gemessenen Widerstandsthermometers betragen.

Die aufgezeichnete Ansprechzeit muss der Mittelwert von mindestens drei Ergebnissen der gleichen Prüfung sein, und die Abweichung jedes der Prüfergebnisse vom Mittelwert muss innerhalb von $\pm 10\%$ sein.

Wenn der Nutzer die Parameter der Prüfung der Ansprechzeit in seiner Spezifikation festgelegt hat, muss die Prüfung in Übereinstimmung mit den Anforderungen dieser Spezifikation durchgeführt werden.

5.4.5 Prüfung des Isolationswiderstands

Eine Spannung von mindestens 100 V DC wird zwischen den Enden der Leiter des Thermometers und der Tauchhülse angelegt und der gemessene Isolationswiderstand nach 1 min abgelesen.

5.4.6 Prüfung der Wiederholbarkeit (thermischer Schock)

Der Fühler muss 25 Zyklen zwischen einem Bad bei 0°C , einem Bad bei 330°C und wieder zurück durchlaufen. Jeder Temperaturwechsel muss innerhalb von weniger als 5 s erfolgen und der Fühler muss für mindestens 60 s in dem jeweiligen Bad bleiben bevor er wieder gewechselt wird. Bei dieser Prüfung darf der Fühler in der Tauchhülse montiert sein, dann muss aber eine Stabilisierungszeit von mindestens 1 min in jedem der Tauchbäder eingehalten werden^{N2}. Im Anschluss an diese Prüfung muss der Isolationswiderstand des Fühlers überprüft und dieser bei 0°C und bei 100°C kalibriert werden.

Die Anzahl der Zyklen und die Vorgehensweise können gemeinsam durch Nutzer und Hersteller festgelegt werden.

^{N2} Nationale Fußnote: Der Text entspricht dem IEC-Entwurf, 60 s sind jedoch identisch mit 1 min, sodass dieser Satz nutzlos ist. Es wird angenommen, dass für das Eintauchen mit einer Tauchhülse eine längere Stabilisierungszeit gefordert werden sollte.

5.4.7 Schwingungsprüfung

Der Widerstandstemperaturfühler muss die Akzeptanzkriterien für eine mechanische Beständigkeitsprüfung (Schwingungen) erfüllen. Die Prüfbedingungen (Frequenzbereich, Dauer eines Durchlaufs, Art des Frequenzdurchlaufs, Stärke der Schwingungen und Dauer der Prüfung) und die Akzeptanzkriterien sollten entsprechend den Bedingungen und der Anwendung der Temperaturmessung bestimmt werden. Ein typisches Prüfverfahren ist im Folgenden angegeben.

Der Fühler wird auf eine der Installation in der Anlage vergleichbaren Weise montiert (insbesondere die Federspannung muss mit der am Einbauort identisch sein) und für die Dauer der Prüfung auf $(330 \pm 10)^\circ\text{C}$ erhitzt. Dann wird der Fühler für zwei Durchgänge der Schwingung in zwei Ebenen ausgesetzt: eine senkrecht und eine parallel zur Längsachse des Fühlers. Das für jeden Durchgang zu benutzende Schwingungsspektrum ist im Folgenden angegeben.

Frequenzbereich	10 Hz bis 500 Hz
Dauer eines Durchlaufs	10 Hz – 500 Hz – 10 Hz in 1 h
Art des Frequenzdurchlaufs	Logarithmisch
Stärke der Schwingungen	0,762 mm max. Spitze-Spitze für 5 g max. Spitze
Dauer der Prüfung	2 h in jeder Ebene

Diese Schwingungsprüfung ist nicht dafür vorgesehen, irgendeine seismische Qualifizierungsprüfung zu ersetzen, die vom Kunden gefordert werden kann, wenn es notwendig ist, dass der Widerstandstemperaturfühler die Temperaturmessung während und nach seismischen Ereignissen aufrecht erhält, siehe IEC/IEEE 60980-344.

Die Schwingungsprüfung kann auch nach [IEC 60068-2-6](#) erfolgen, wenn der Nutzer dieses fordert.

5.4.8 Dampfprüfung

Die Prüfung muss an der gesamten Widerstandstemperaturfühler-Anordnung durchgeführt werden, z. B. inklusive der Schnellkupplung bei Widerstandstemperaturfühlern des Typs I und mit Metallgehäuse bei Typ II.

Der Widerstandstemperaturfühler muss geprüft werden, um zu zeigen, dass ein ausreichender Isolationswiderstand besteht, wenn er für 2 h mit Sattdampf bei $(101 \pm 2,0)$ kPa beaufschlagt wird. Am Ende dieses Zeitraums müssen die Kontaktstifte getrocknet und eine Prüfung des Isolationswiderstands sowie eine Kalibrierung bei 0°C durchgeführt werden.

5.4.9 Temperaturzyklus

Der Widerstandstemperaturfühler muss für eine festgelegte Anzahl vollständiger Zyklen zwischen zwei stabilen Temperaturen wechseln. Der Temperaturbereich und die Anzahl der Zyklen müssen zwischen Nutzer und Hersteller vereinbart werden. Typische Temperaturbereiche und Zyklen sind 100 vollständige Zyklen zwischen 23°C und 330°C .

Die Dauer der Zyklen darf nach Zweckmäßigkeit gewählt werden, wobei die einzige Anforderung, die ist, dass dem Fühler erlaubt werden muss, sich bei jeder Temperatur zu stabilisieren. Die Kalibrierung bei 0°C und 100°C sowie der Isolationswiderstand müssen vor und nach der Prüfung überprüft werden.

Die Temperaturzyklus-Prüfung kann auch nach IEC 60068-2-30 erfolgen, wenn der Nutzer dies fordert. Und der Nutzer muss die Wahl des folgenden Wertepaares angeben: Temperatur und Anzahl der Zyklen.