

DIN EN ISO 9080



ICS 23.040.20; 83.140.30

Ersatz für
DIN EN ISO 9080:2003-10

**Kunststoff-Rohrleitungs- und Schutzrohrsysteme –
Bestimmung des Zeitstand-Innendruckverhaltens von
thermoplastischen Rohrwerkstoffen durch Extrapolation
(ISO 9080:2012);
Deutsche und Englische Fassung EN ISO 9080:2012**

Plastics piping and ducting systems –
Determination of the long-term hydrostatic strength of thermoplastics materials in pipe
form by extrapolation (ISO 9080:2012);
German and English version EN ISO 9080:2012

Systèmes de canalisations et de gaines en matières plastiques –
Détermination de la résistance hydrostatique à long terme des matières thermoplastiques
sous forme de tubes par extrapolation (ISO 9080:2012);
Version allemande et anglais EN ISO 9080:2012

Gesamtumfang 78 Seiten

Normenausschuss Kunststoffe (FNK) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 9080:2012) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 138 „Plastics pipes, fittings and valves for the transport of fluids“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 155 „Kunststoff-Rohrleitungssysteme und Schutzrohrsysteme“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom NEN (Niederlande) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 054-05-02 AA „Prüfverfahren für Rohre“ im Normenausschuss Kunststoffe (FNK) im DIN.

Für die in diesem Dokument zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 1167-1	siehe	DIN EN ISO 1167-1
ISO 1167-2	siehe	DIN EN ISO 1167-2
ISO 3126	siehe	DIN EN ISO 3126
ISO 11357-3	siehe	DIN EN ISO 11357-3
ISO 12162	siehe	DIN EN ISO 12162

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 9080:2003-10 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) alle Verweisungen auf die Lebensdauer wurden heraus genommen, da sich diese Norm nur auf die Mathematik für Extrapolation und die Berechnung der Zeitstand-Zugfestigkeit bezieht;
- b) eine genauere Angabe der Anzahl und der Verteilung der Beobachtungen und der Anwendung der Extrapolation wurden aufgenommen;
- c) die Liste der Prüfergebnisse im Anhang C wurde modifiziert, um den Anforderungen dieser Norm zu entsprechen und die Ergebnisse der Regressionsberechnungen wurden aktualisiert;
- d) eine zweite Liste der Prüfergebnisse wurde in Anhang D aufgenommen, um eine Bewertung entsprechend dem 3-Parameter-Modell bereitzustellen, siehe Anhang C, und entsprechend dem 4-Parameter-Modell, siehe Anhang D;
- e) ein zweites Software-Paket wurde ausgewertet und im Anhang E hinzugefügt.

Frühere Ausgaben

DIN EN ISO 9080: 2003-10

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 1167-1, *Rohre, Formstücke und Bauteilkombinationen aus thermoplastischen Kunststoffen für den Transport von Flüssigkeiten — Bestimmung der Widerstandsfähigkeit gegen inneren Überdruck — Teil 1: Allgemeines Prüfverfahren*

DIN EN ISO 1167-2, *Rohre, Formstücke und Bauteilkombinationen aus thermoplastischen Kunststoffen für den Transport von Flüssigkeiten — Bestimmung der Widerstandsfähigkeit gegen inneren Überdruck — Teil 2: Vorbereitung der Rohr-Probekörper*

DIN EN ISO 3126, *Kunststoff-Rohrleitungssysteme — Rohrleitungsteile aus Kunststoffen — Bestimmung der Maße*

DIN EN ISO 11357-3, *Kunststoffe — Dynamische Differenzkalorimetrie (DDK) — Teil 3: Bestimmung der Schmelz- und Kristallisationstemperatur und der Schmelz- und Kristallisationsenthalpie*

DIN EN ISO 12162, *Thermoplastische Werkstoffe für Rohre und Formstücke für Anwendungen unter Druck — Klassifizierung, Werkstoffkennzeichnung und Gesamtbetriebs-(berechnungs-)Koeffizient*

— Leerseite —

Deutsche Fassung

Kunststoff-Rohrleitungs- und Schutzrohrsysteme —
Bestimmung des Zeitstand-Innendruckverhaltens von
thermoplastischen Rohrwerkstoffen durch Extrapolation
(ISO 9080:2012)

Plastics piping and ducting systems —
Determination of the long-term hydrostatic strength
of thermoplastics materials in pipe form by extrapolation
(ISO 9080:2012)

Systèmes de canalisations et de gaines en
matières plastiques —
Détermination de la résistance hydrostatique à long terme
des matières thermoplastiques sous
forme de tubes par extrapolation
(ISO 9080:2012)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 6. Oktober 2012 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN-CENELEC oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

Seite

Vorwort	3
Einleitung.....	4
0.1 Allgemeines	4
0.2 Grundlagen	4
0.3 Anwendung der Verfahren	5
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Ermittlung der Prüfergebnisse	9
4.1 Prüfbedingungen	9
4.2 Verteilung der Innendruckstufen und Zeitbereiche	9
5 Durchführung	9
5.1 Datenerfassung und Analyse	9
5.2 Extrapolationszeitfaktoren für Polyolefine (teilkristalline Polymere).....	13
5.3 Extrapolationszeitfaktoren für glasartige, amorphe Polymere auf Vinylchloridbasis.....	14
5.4 Extrapolationszeitfaktoren für nicht in 5.2 und 5.3 behandelte Polymere.....	14
6 Berechnungsbeispiel, Software-Validierung	14
7 Prüfbericht.....	15
Anhang A (normativ) Analyseverfahren	16
Anhang B (normativ) Automatische Knieerkennung	20
Anhang C (informativ) Anwendung des SEM auf Versagensspannungswerte eines teilkristallinen Polymers	22
Anhang D (informativ) Beispiel für die Anwendung des SEM auf Versagensspannungswerte eines Polymers auf Vinylchloridbasis	30
Anhang E (informativ) Software für die Berechnung von Versagensspannungsdaten nach ISO 9080	36
Literaturhinweise	37

Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 9080:2012) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 138 „Plastics pipes, fittings and valves for the transport of fluids“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 155 „Kunststoff-Rohrleitungssysteme und Schutzrohrsysteme“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom NEN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis April 2013, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis April 2013 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN ISO 9080:2003.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 9080:2012 wurde vom CEN als EN ISO 9080:2012 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Einleitung

0.1 Allgemeines

Dieses Standard-Extrapolationsverfahren (SEM) ist für die Bewertung des Zeitstand-Innendruckverhaltens von Rohrwerkstoffen vorgesehen. Produkt- und Systemnormen für spezielle Anwendungen enthalten zusätzliche Anforderungen an die physikalischen und mechanischen Eigenschaften des verwendeten Werkstoffs. Es ist hervorzuheben, dass das in diesem Dokument beschriebene Standard-Extrapolationsverfahren (SEM) nicht bezweckt, bestehende Verfahren zur Bestimmung der zulässigen Spannungen bzw. Drücke von Kunststoff-Rohrleitungen oder deren Werkstoffe zu disqualifizieren, die nach diesen Verfahren geprüft wurden und sich entsprechend langjähriger Erfahrung als tauglich erwiesen haben.

Für die in den Anhängen A und B beschriebene SEM-Analyse wurden Softwarepakete entwickelt. Programme auf der Grundlage von Windows sind im Handel erhältlich (siehe Anhang E). Die Anwendung dieser Softwarepakete wird empfohlen.

0.2 Grundlagen

Die Gebrauchstauglichkeit eines Kunststoffwerkstoffes für ein Druckrohr wird durch sein Langzeit-Verhalten unter hydrostatischer Beanspruchung in Rohrform bei Berücksichtigung der vorgesehenen Betriebsbedingungen (z. B. Temperatur) bestimmt. Üblicherweise wird das Werkstoffverhalten durch die Umfangsspannung angegeben, bei der die zu erwartende Lebensdauer eines Rohres aus dem zu untersuchenden Kunststoff bei einer Umgebungstemperatur von 20 °C und unter Verwendung von Wasser als Prüfmedium 50 Jahre beträgt. Die äußere Prüfumgebung kann Wasser oder Luft sein. Dieses Verfahren ist nicht dafür vorgesehen, die Nutzungsdauer miteinzubeziehen. In bestimmten Fällen ist die Innendruckfestigkeit entweder für kürzere Standzeiten oder höhere Temperaturen oder gegebenenfalls für beide zu ermitteln. Das in dieser Internationalen Norm beschriebene Verfahren ist für beide Arten der Bestimmung vorgesehen. Als Ergebnis wird die vorhergesagte untere Vertrauensgrenze (LPL) für diejenige Umfangsspannung ermittelt, die nach der vorgegebenen Zeit und bei einer vorgegebenen Temperatur ein Versagen bewirken kann.

Diese Internationale Norm beschreibt ein definitives Verfahren einer Extrapolation unter Anwendung von Prüfergebnissen, die bei unterschiedlichen Temperaturen durch mehrfache lineare Regressionsanalyse ermittelt wurden. Die Ergebnisse ermöglichen die Bestimmung der werkstoffspezifischen zulässigen Werte nach den Verfahren, die in den jeweiligen Produktnormen beschrieben werden.

Die mehrfache lineare Regressionsanalyse beruht auf den Stufenverfahren, die am genauesten durch die Modelle $\log_{10}(\text{Spannung})/\log_{10}(\text{Zeit})$ beschrieben werden.

Zur Ermittlung des Vorhersage-Wertes des verwendeten Modells wurde es als notwendig erachtet, die vorhergesagte untere Vertrauensgrenze (LPL) bei 97,5 % anzuwenden. Diese entspricht der unteren Vertrauensgrenze des 97,5%-Vertrauensbereiches für den vorhergesagten Wert. In Übereinstimmung mit der entsprechenden Literatur gilt diese Vereinbarung für die Berechnungen. Dieser Aspekt erfordert die Anwendung statistischer Verfahren.

Das Verfahren kann als systematische Grundlage für die Interpolation und Extrapolation von Versagensspannungen bei Betriebsbedingungen dienen, die von den üblichen 50 Jahren und 20 °C abweichen (siehe 5.1.5).

Thermoplastische Materialien in Rohrform wie mineralverstärktes thermoplastisches Polymer, faserstoffverstärkte Thermoplaste, weichmacherhaltige Thermoplaste, Gemische und Legierungen können weitere Aspekte in Bezug auf die Prognose des Langzeitverhaltens bieten, welche in den entsprechenden Produktnormen berücksichtigt werden müssen.

Es ist wichtig, dass das zur Druckbeaufschlagung des Rohres verwendete Medium keinen schädlichen Einfluss darauf ausübt. Im Allgemeinen wird Wasser als solch ein geeignetes Medium erachtet.

Umfangreiche Überlegungen waren für die Entscheidung erforderlich, welche Variable als unabhängige Größe zur Berechnung der Zeitstand-Innendruckfestigkeit angewendet wird. Es bestand die Wahl zwischen Zeit und Spannung.

Die beiden Grundfragen für das Verfahren können folgendermaßen formuliert werden:

- a) Welcher maximalen Spannung (oder welchem maximalen Druck) kann ein bestimmter Rohrwerkstoff bei einer vorgegebenen Temperatur über eine bestimmte Zeit widerstehen?
- b) Wie lang ist die erwartete Standzeit eines Rohrwerkstoffs, wenn dieser bei einer vorgegebenen Spannung und Temperatur ausgesetzt wird?

Beide Fragen sind wichtig.

Zeigen die Prüfergebnisse für das untersuchte Rohr keine Streuung und kann der Rohrwerkstoff mit dem gewählten empirischen Modell eindeutig beschrieben werden, sind zeit- und spannungsabhängige Regression identisch. Praktisch tritt dieser Fall jedoch nicht auf, weil die Prüfbedingungen nicht ideal sind und der Werkstoff nicht zu 100 % homogen ist. Folglich treten immer Streuungen der Ergebnisse auf. Die unter Verwendung von zwei wahlfreien unabhängigen Variablen berechneten Regressionen sind nicht identisch, und die Abweichung vergrößert sich mit zunehmender Streuung.

Die Variable, die vermutlich am stärksten durch die größte Veränderlichkeit (Streuung) beeinflusst wird, ist die Zeit; sie ist als abhängige Variable (Zufallsvariable) zu betrachten, um eine korrekte statistische Auswertung des nach diesem Verfahren ermittelten Datensatzes zu ermöglichen. Aus praktischen Gründen wird es jedoch in der Industrie bevorzugt, die Spannung als unabhängige Variable über der Zeit anzugeben.

0.3 Anwendung der Verfahren

Der Zweck dieses Extrapolationsverfahren ist Folgendes zu ermitteln:

- a) die untere vorhergesagte Vertrauensgrenze¹⁾ (aus einem Wahrscheinlichkeitsniveau von 97,5 %) der Spannung, die ein aus dem betrachteten Werkstoff hergestelltes Rohr bei einer Standzeit von 50 Jahren und einer Umgebungstemperatur von 20 °C unter Verwendung von Wasser oder Luft als Prüfmedium widerstehen kann. Entsprechend ISO 12162 wird dieser kategorisierte Wert dieser unteren Vertrauensgrenze als MRS definiert und für die Klassifizierung des Werkstoffs verwendet;
- b) der Spannungswert der unteren vorhergesagten Vertrauensgrenze (auf einem Wahrscheinlichkeitsniveau von 97,5 %) bei anderen Auslegungszeiten und/oder bei anderen Temperaturen. Entsprechend ISO 12162 wird dieser kategorisierte Wert dieser unteren Vertrauensgrenze als $CRS_{\theta,t}$ definiert und für Auslegungszwecke verwendet.

Es gibt mehrere Extrapolationsmodelle, die eine unterschiedliche Anzahl von Gliedern haben. Bei diesem SEM werden nur Modelle mit zwei, drei oder vier Parametern verwendet.

Durch die Ergänzung weiterer Glieder kann zwar die Anpassung verbessert werden, die Vorhersage wird jedoch weniger zuverlässig.

Das SEM beschreibt (für ein Wahrscheinlichkeitsniveau von 97,5 %) ein Verfahren zur Ermittlung der vorhergesagten unteren Vertrauensgrenze unabhängig davon, ob ein Knick (der den Übergang zwischen Datentyp A und Typ B kennzeichnet) gefunden wird oder nicht (siehe Anhang B).

1) Die vorhergesagte untere Vertrauensgrenze LPL wird in verschiedenen ISO-Dokumenten als untere Vertrauensgrenze LCL bezeichnet, wobei LCL die untere 97,5%-Vertrauensgrenze für die mittlere Innendruckfestigkeit ist.

Um die Anwendung des Verfahrens zu ermöglichen, sind die Werkstoffe in Rohrform zu prüfen.

Das Endergebnis des SEM für einen bestimmten Werkstoff ist die vorhergesagte untere Vertrauensgrenze (für ein Wahrscheinlichkeitsniveau von 97,5 %) der Innendruckfestigkeit, ausgedrückt über die Ringspannung, nach einer bestimmten Zeit und bei einer bestimmten Temperatur.

Die Bestimmung des Zeitstand-Innendruckverhaltens von Mehrschichtverbundrohren wird nach ISO 17456 durchgeführt.

Empfehlungen zur Anwendung dieses Verfahrens für Verbundstoffe und verstärkte thermoplastische Rohre sind den Produktnormen zu entnehmen.

Empfehlungen für das Langzeit-Verhalten eines bestimmten Werkstoffs mit Referenzkennlinien sind der entsprechenden Produktnorm zu entnehmen.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt ein Verfahren zur Vorhersage der Zeitstand-Innendruckfestigkeit von thermoplastischen Werkstoffen durch statistische Extrapolation fest. Das Verfahren gilt bei den vorgesehenen Temperaturen für sämtliche Arten thermoplastischer Rohre. Es wurde auf der Grundlage von Prüfergebnissen für Rohrsysteme entwickelt.

2 Normative Verweisungen

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

ISO 1167-1, *Thermoplastics pipes, fittings and assemblies for the conveyance of fluids — Determination of the resistance to internal pressure — Part 1: General method*

ISO 1167-2, *Thermoplastics pipes, fittings and assemblies for the conveyance of fluids — Determination of the resistance to internal pressure — Part 2: Preparation of pipe test pieces*

ISO 2507-1:1995, *Thermoplastics pipes and fittings — Vicat softening temperature — Part 1: General test method*

ISO 3126, *Plastics piping systems — Plastics components — Determination of dimensions*

ISO 11357-3, *Plastics — Differential scanning calorimetry (DSC) — Part 3: Determination of temperature and enthalpy of melting and crystallization*

ISO 12162, *Thermoplastics materials for pipes and fittings for pressure applications — Classification, designation and design coefficient*

ISO 17456, *Plastics piping systems — Multilayer pipes — Determination of long-term strength*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Innendruck

p

durch das Medium im Rohr ausgeübte Kraft je Flächeneinheit, in bar

3.2

Spannung

σ

Kraft je Flächeneinheit in der Rohrwand in Umfangsrichtung, die durch den Innendruck erzeugt wird, in Megapascal

ANMERKUNG Die Spannung wird nach folgender vereinfachter Gleichung aus dem Innendruck ermittelt:

$$\sigma = \frac{p(d_{\text{em}} - e_{\text{y,min}})}{20e_{\text{y,min}}}$$

Dabei ist

- p der Innendruck, in bar;
- d_{em} der mittlere Außendurchmesser des Rohres, in Millimeter;
- $e_{\text{y,min}}$ die Mindestwanddicke des Rohres, in Millimeter.

3.3

Prüftemperatur

T_t

Temperatur, in Grad Celsius, bei der die Versagensspannungen bestimmt wurden

3.4

maximale Prüftemperatur

$T_{t,max}$

maximale Temperatur, in Grad Celsius, bei der die Versagensspannungen bestimmt wurden

3.5

Betriebstemperatur

T_s

Temperatur, in Grad Celsius, bei der das Rohr eingesetzt wird

3.6

Standzeit

t

Zeit, in Stunden, bis zum Auftreten einer Undichtigkeit im Rohr

3.7

maximale Prüfzeit

t_{max}

Zeit, in Stunden, ermittelt durch Bestimmung der Mittelwerte der Logarithmen der fünf längsten Standzeiten

3.8

Extrapolationszeit

t_e

Zeitgrenze, in Stunden, für die Extrapolation zulässig ist

3.9

Zeitstand-Innendruckfestigkeit

σ_{LTHS}

Größe, in Megapascal, mit der Einheit der Spannung, die die vorhergesagte mittlere Festigkeit bei einer Temperatur T und nach der Zeit t darstellt

3.10

untere Vertrauensgrenze für die vorhergesagte Innendruckfestigkeit

σ_{LPL}

Größe, in Megapascal, mit der Einheit der Spannung, die für einen Einzelwert die untere 97,5 %-Vertrauensgrenze der vorhergesagten Innendruckfestigkeit bei einer Temperatur T und nach der Zeit t darstellt

ANMERKUNG Sie wird bezeichnet als:

$$\sigma_{LPL} = \sigma_{(T, t, 0,975)}$$

3.11

Knick, Datentyp A, Datentyp B

Schnittpunkt zwischen zwei Kurvenästen mit derselben Temperatur; die Datenpunkte für die Berechnung des ersten Kurvenastes werden mit Datentyp A bezeichnet und die zur Berechnung des zweiten Kurvenastes mit Datentyp B

3.12

Kurvenast

Gerade mit konstanter Steigung im Diagramm $\log_{10}(\text{Spannung})/\log_{10}(\text{Zeit})$, die denselben Datentyp darstellt

3.13

Extrapolationszeitfaktor

k_e

Faktor für die Berechnung der Extrapolationszeit

4 Ermittlung der Prüfergebnisse

4.1 Prüfbedingungen

Die Versagensspannungswerte des Rohres sind nach ISO 1167-1 und ISO 1167-2 zu ermitteln. Die Innendruckfestigkeit ist an geraden Rohren zu bestimmen.

Der mittlere Außendurchmesser und die Mindestwanddicke jeder Rohrprobe sind nach ISO 3126 zu bestimmen.

Für alle Berechnungen müssen die geprüften Rohre dieselbe Nennweite aufweisen und aus dem gleichen Werkstofflos und der gleichen Fertigungscharge stammen.

Die ursprünglichen Datensätze für bestehende Werkstoffe, die nach ISO/TR 9080:1992 oder ISO 9080:2003 bewertet wurden, können durch zusätzlich Daten von anderen Losen ergänzt werden, um die Anforderungen von 4.2 zu erfüllen. In diesem Fall sollten die zusätzlichen Daten bei jeder Temperatur gleichmäßig verteilt sein und im Prüfbericht angegeben werden.

4.2 Verteilung der Innendruckstufen und Zeitbereiche

4.2.1 Für jede ausgewählte Temperatur sind mindestens 30 Messergebnisse zu ermitteln, die über die Prüfzeit verteilt sind. Die Innendruckstufen sind so zu wählen, dass bei einer Beanspruchung über 7 000 h mindestens vier Messwerte vorliegen und bei einer Beanspruchung über 9 000 h mindestens ein Messwert vorliegt (siehe auch 5.1.5). Für den Fall, dass die Vorhersage auf dem zweiten Kurvenast basiert, ist eine Mindestanzahl von 20 Messergebnissen für die zweiten Kurvenäste, mit einem Minimum von fünf Messergebnissen je Temperatur, erforderlich.

4.2.2 Bei sämtlichen Temperaturen sind Standzeiten bis zu 10 h zu vernachlässigen.

4.2.3 Bei Temperaturen $\leq 40\text{ °C}$ dürfen Standzeiten bis 1 000 h unter der Voraussetzung vernachlässigt werden, dass die Anzahl der verbleibenden Einzelergebnisse 4.2.1 entspricht. In diesem Fall sind bei der gewählten Temperatur sämtliche Punkte unterhalb der gewählten Zeit zu verwerfen.

4.2.4 Rohrproben, bei denen bei über 1 000 h Standzeit noch kein Versagen aufgetreten ist, dürfen bei den Berechnungen einer mehrfachen linearen Regression und zur Ermittlung eines Knicks als Einzelergebnisse verwendet werden. Andernfalls dürfen sie vernachlässigt werden, sofern die Anzahl der verbleibenden Einzelergebnisse 4.2.1 entspricht.

5 Durchführung

5.1 Datenerfassung und Analyse

5.1.1 Allgemeines

Das Verfahren beruht auf einer mehrfachen linearen Regression, Einzelheiten zur Berechnung sind in Anhang A angegeben. Es erfordert die Prüfung bei einer oder mehreren Temperaturen und Zeiten von 9 000 h oder mehr und gilt unabhängig davon, ob Anzeichen für einen Knick vorhanden sind oder nicht.

5.1.2 Erforderliche Prüfergebnisse

Die Prüfergebnisse sind nach Abschnitt 4 unter den folgenden Bedingungen bei zwei oder mehreren Temperaturen $T_1, T_2, \dots, T_n$ zu ermitteln:

- a) Benachbarte Temperaturen müssen mindestens 10 °C und höchstens 50 °C auseinander liegen;
- b) Eine der Prüftemperaturen muss 20 °C oder 23 °C betragen;

- c) Die höchste Prüftemperatur $T_{t,max}$ darf bei glasartigen amorphen Polymeren die Vicat-Erweichungstemperatur VST_{B50} nach ISO 2507-1:1995 abzüglich 15 °C oder bei teilkristallinen Polymeren die Schmelztemperatur nach ISO 11357-3 abzüglich 15 °C nicht überschreiten;
- d) Die Anzahl der Einzelergebnisse und die Verteilung der Innendruckstufen bei jeder Temperatur müssen 4.2 entsprechen;
- e) Für eine optimale Ermittlung von σ_{LPL} ist der Bereich der Prüftemperaturen so auszuwählen, dass die Betriebstemperatur oder der Bereich der Betriebstemperaturen eingeschlossen wird.

Versagen aufgrund von Verunreinigung darf vernachlässigt werden, sofern die Anzahl der verbleibenden Einzelergebnisse 4.2.1 entspricht.

Bei der Berechnung sind alle gültigen Datenpunkte zu verwenden.

Für die meisten Werkstoffe sind die Prüfumgebung und Prüftemperaturen in den entsprechenden Produktnormen festgelegt.

5.1.3 Knieerkennung und Gültigkeitserklärung von Prüfergebnissen und Modellen

Zur Knieerkennung ist das in Anhang B beschriebene Verfahren anzuwenden.

Nach Knieerkennung bei einer beliebigen einzelnen Temperatur wird der Datensatz in zwei Gruppen unterteilt, wobei eine für den ersten Kurvenast (Datentyp A) und die andere für den zweiten Kurvenast (Datentyp B) gilt.

Die in Anhang A beschriebene mehrfache lineare Regression wird unabhängig angepasst, indem zunächst sämtliche Datenpunkte im ersten Kurvenast (Datentyp A) für alle Temperaturen und dann sämtliche Datenpunkte im zweiten Kurvenast (Datentyp B) für alle Temperaturen berücksichtigt werden.

Bei der Auswertung der Prüfergebnisse zur Knieerkennung sollte auf möglicherweise auftretende degradative Versagensfälle geachtet werden. Derartige Prüfergebnisse (die gewöhnlich durch eine nahezu spannungsunabhängige Linie gekennzeichnet und daher gut zu erkennen sind) sollten nicht zur Berechnung verwendet werden, sondern ausschließlich für die Bestimmung der Extrapolationszeit (siehe 5.1.5).

Entspricht die automatische Knieerkennung nicht der Sichtprüfung des Diagramms, können die Datenpunkte vom Typ A und Typ B im Bereich des vorhergesagten Knicks für eine bessere Angleichung der Knickstelle an die Daten manuell reklassifiziert werden. In diesem Fall sind alle Datenpunkte bei Spannungen oberhalb des Spannungsniveaus beim reklassifizierten Übergang von Datentyp A zu Datentyp B als Datentyp A und alle Datenpunkte bei niedrigeren Spannungen als Datentyp B zu bezeichnen. Die Extrapolation muss ohne automatische Knieerkennung wiederholt werden. Es wird empfohlen, in diesem Fall mehr Datenpunkte jenseits der Zeit des vorhergesagten Knicks zu ermitteln.

Die Gründe für die Verwendung dieses manuellen Verfahrens und die Einzelheiten der für die Analyse erfolgten Änderungen sind im Prüfbericht anzugeben und zu erläutern, siehe Abschnitt 7.

5.1.4 Sichtprüfung

Die ermittelten Datenpunkte, die σ_{LTHS} -Regressionsgeraden und die σ_{LPL} -Kurven sind in ein Diagramm $\log_{10}\sigma/\log_{10}(\text{Zeit})$ einzutragen.

5.1.5 Extrapolationszeit und Extrapolationszeitfaktor

Die Extrapolationszeit t_e ist nach den folgenden Angaben und Verfahren zu bestimmen.

Die Zeitgrenzen t_e , für die eine Extrapolation zulässig ist, sind an temperaturabhängige Werte gebunden. Der Extrapolationszeitfaktor k_e in Abhängigkeit von ΔT beruht auf folgender Gleichung:

$$\Delta T = T_t - T$$

Dabei ist

T_t die Prüftemperatur, auf die der Extrapolationszeitfaktor k_e angewendet wird, $T_t \leq T_{t,max}$, in Grad Celsius;

$T_{t,max}$ die maximale Prüftemperatur, in Grad Celsius;

T die Temperatur, für die die Extrapolationszeit errechnet wird, $T_s \leq T$, in Grad Celsius;

T_s die Betriebstemperatur, in Grad Celsius.

Die Extrapolationszeit t_e ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$t_e = k_e t_{max}$$

Die maximale Prüfzeit t_{max} ist durch Bildung des Mittelwertes aus den Logarithmen der fünf längsten Standzeiten zu bestimmen, die nicht notwendigerweise bei identischen Spannungsniveaus, aber bei derselben Temperatur ermittelt wurden. Probekörper, die noch nicht versagt haben, können zu diesem Zweck als Datenpunkte berücksichtigt werden. Sämtliche dieser Punkte müssen zu der Gesamtheit gehören, an der die Berechnungen durchgeführt werden.

Wenn die Daten der höchsten Prüftemperatur nicht zur Bestimmung des Regressionsmodells verwendet werden, so dienen diese Daten nur der Verwendung der maximalen Prüfzeit t_{max} und somit auch für die Extrapolationszeit t_e . Derartige Entscheidungen hinsichtlich der Berechnung sind im Prüfbericht anzugeben und zu erläutern. Extrapolation über dem Temperaturbereich des Regressionsmodells ist nicht gestattet.

Die ermittelten Daten können für die Vorhersage der Festigkeit bis 20 °C unterhalb der niedrigsten Prüftemperatur verwendet werden, sofern keine Veränderung des Werkstoffzustands vorliegt, z. B. Glasübergang.

ANMERKUNG Es wird empfohlen, die Prüfdaten bei der niedrigsten erwarteten Temperatur zu ermitteln, um das Verhalten darzustellen.

Beispiele für die Anwendung des Extrapolationszeitfaktors werden in den Bildern 1 bis 3 angegeben. Bild 2 stellt den Fall dar, dass nur bei der höchsten Temperatur ein Knick nachgewiesen wurde, Bild 3 bezieht sich speziell auf den Fall, dass ein Knick bei höheren Temperaturen nachgewiesen wurde. Werte für den Extrapolationszeitfaktor k_e sind in 5.2 und 5.3 angegeben.

ANMERKUNG In Fällen, wie in Bild 2 dargestellt, liegt t_{max} bei der Zeit des Knicks.

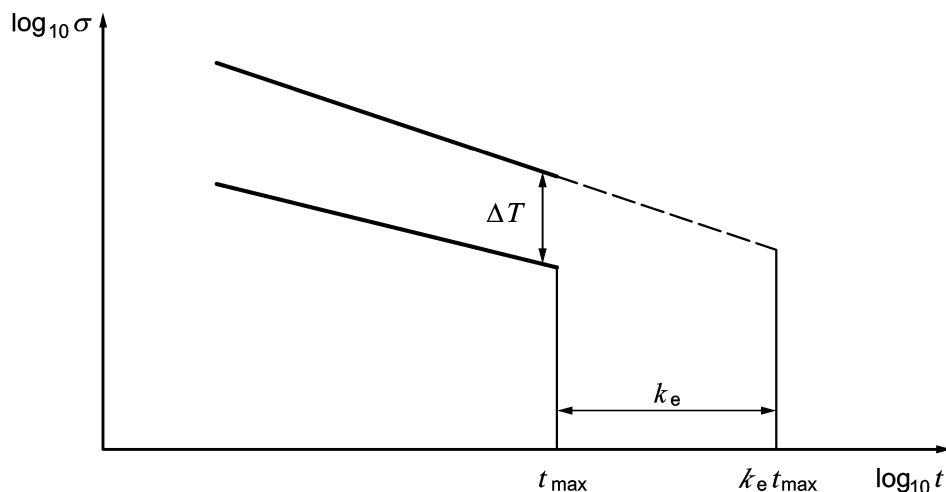


Bild 1 — Extrapolationszeit für eine Extrapolation ohne Knick bei der höchsten Prüftemperatur

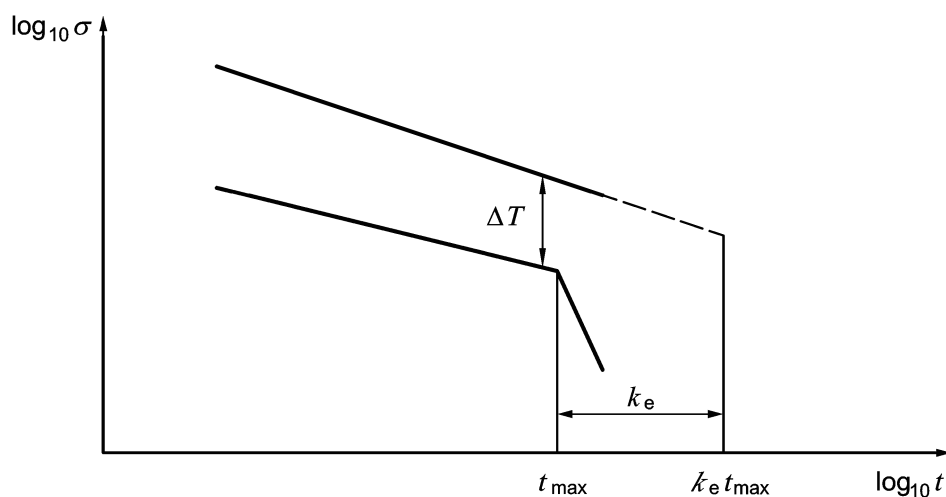


Bild 2 — Extrapolationszeit für eine Extrapolation mit einem Knick nur bei der höchsten Prüftemperatur

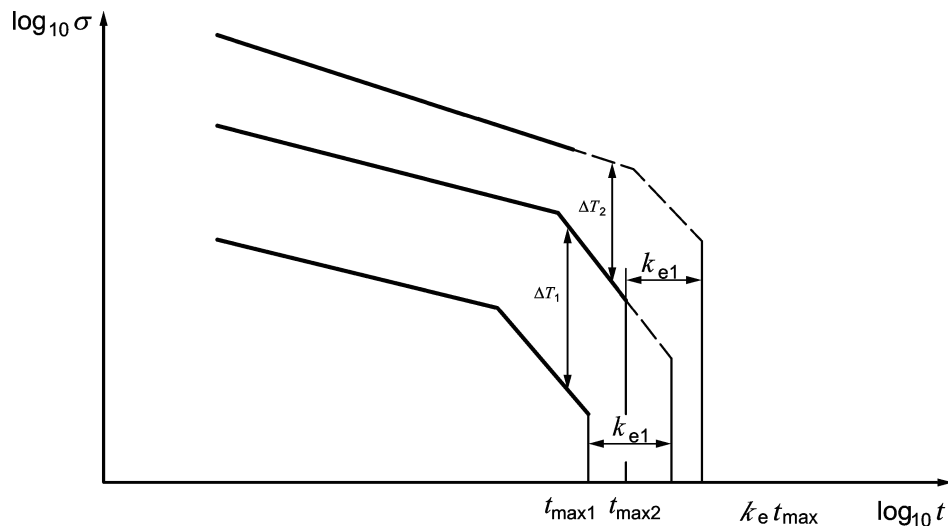


Bild 3 — Extrapolationszeit für eine Extrapolation mit Knicken bei unterschiedlichen Prüftemperaturen

5.2 Extrapolationszeitfaktoren für Polyolefine (teilkristalline Polymere)

Für die Extrapolation der Prüfdaten aus Zeitstandbrüchen von Polyolefinen beruht die Extrapolationszeit auf einer experimentell bestimmten Standzeit bei der jeweiligen maximalen Prüftemperatur und auf einer Arrheniusgleichung für die Temperaturabhängigkeit, wobei die aus dem dritten (degradierten) Kurvenast errechnete scheinbare Aktivierungsenergie stabilisierter Polyolefine (110 kJ/mol, d. h. ein konservativer Wert für die Aktivierungsenergie aus dem dritten Kurvenast) herangezogen wird. Daraus ergeben sich die in Tabelle 1 angegebenen Extrapolationszeitfaktoren k_e .

Tabelle 1 — Zusammenhang zwischen $\Delta T (= T_t - T)$ und k_e für Polyolefine

ΔT °C	k_e
≥ 10 aber < 15	2,5
≥ 15 aber < 20	4
≥ 20 aber < 25	6
≥ 25 aber < 30	12
≥ 30 aber < 35	18
≥ 35 aber < 40	30
≥ 40 aber < 50	50
≥ 50	100

5.3 Extrapolationszeitfaktoren für glasartige, amorphe Polymere auf Vinylchloridbasis

Für die Extrapolation der Prüfdaten aus Zeitstandbrüchen von Polymeren auf Vinylchloridbasis beruhen die Extrapolationszeiten auf einer experimentell bestimmten Standzeit bei der maximalen Prüftemperatur, die 15 °C unterhalb der Vicat-Erweichungstemperatur liegt, und auf einer Arrheniusgleichung für die Temperaturabhängigkeit, wobei die Aktivierungsenergie herangezogen wird, die aus dem angenommenen dritten (degradierten) Kurvenast für Polymere auf Vinylchloridbasis (178 kJ/mol) ermittelt wurde. Daraus ergeben sich die in Tabelle 2 angegebenen Extrapolationszeitfaktoren k_e .

Tabelle 2 — Zusammenhang zwischen $\Delta T (= T_i - T)$ und k_e für Polymere auf Vinylchloridbasis

ΔT °C	k_e
≥ 5 aber < 10	2,5
≥ 10 aber < 15	5
≥ 15 aber < 20	10
≥ 20 aber < 25	25
≥ 25 aber < 30	50
≥ 30	100

Für modifizierte PVC-Werkstoffe sind die in Tabelle 2 angegebenen Extrapolationszeitfaktoren zu verwenden, wenn die Dispersionsphase des modifizierten PVC-Werkstoffs ein Polymer auf Vinylchloridbasis ist.

5.4 Extrapolationszeitfaktoren für nicht in 5.2 und 5.3 behandelte Polymere

Für die nicht in dieser Internationalen Norm erwähnten Polymere sind die in Tabelle 1 angegebenen Extrapolationszeitfaktoren zu verwenden. Falls bei einem experimentellen Nachweis gezeigt werden kann, dass für ein bestimmtes Polymer andere Extrapolationszeitfaktoren gerechtfertigt sind, dürfen diese Faktoren statt der Faktoren aus Tabelle 1 verwendet werden.

6 Berechnungsbeispiel, Software-Validierung

Anhang C enthält ein Beispiel für die Berechnung der Regressionskurven für ein teilkristallines Polymer und ein Beispiel für eine Knieerkennung nach den in Abschnitt 5 beschriebenen Verfahren.

Anhang D enthält ein Beispiel für die Berechnung der Regressionskurven für ein Polymer auf Vinylchloridbasis nach den in Abschnitt 5 beschriebenen Verfahren.

Die in den Abschnitten C.1 und D.1 angegebenen Datensätze werden als Datensätze für die Software-Validierung bezeichnet. Wird ein anderes als die in Anhang E erwähnten Programme verwendet, müssen die Ergebnisse der mit den Datensätzen für die Software-Validierung nach Anhang C und D berechneten Ergebnisse bis auf drei Dezimalstellen mit den in Anhang C und D angegebenen Ergebnissen übereinstimmen.

7 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss die folgenden Angaben enthalten:

- a) eine Verweisung auf diese Internationale Norm;
- b) die vollständige Identifizierung der Werkstoffe und Proben unter Angabe z. B. von Hersteller, Werkstoffart, Bezeichnung der Klasse, Losnummer, Herkunft und gegebenenfalls Vorgeschichte;
- c) die Maße der geprüften Rohre;
- d) die äußere Prüfumgebung der Rohre und das Druckmedium in den Rohren;
- e) eine Tabelle mit den Einzelergebnissen, wobei für jedes Einzelergebnis die Prüftemperatur (in Grad Celsius), die Druckstufe (in bar), die Spannung (in Megapascal), die Standzeit (in Stunden), eine physikalische Beobachtung der Versagensart (Verformungsbruch, Sprödbbruch oder unbekannt), der Datentyp A bzw. B, das Prüfdatum und alle weiteren eventuell wichtigen Beobachtungen anzugeben sind;
- f) die Anzahl der vernachlässigten Datenpunkte unterhalb 1 000 h und die entsprechende Temperatur sowie Standzeit und Versagensart;
- g) sofern zutreffend, die reklassifizierten Datenpunkte sowie die Begründung für die Reklassifizierung;
- h) das zur Ermittlung von σ_{LTHS} und σ_{LPL} verwendete Modell;
- i) die ermittelten Parameter c_i und ihre Standardabweichungen s_i , gesondert für jeden Kurvenast;
- j) das Zeitstanddiagramm mit eingetragenen Versagenspunkten, σ_{LTHS} -Regressionsgerade(n) und σ_{LPL} -Kurve(n);
- k) Einzelheiten bezüglich des für die Berechnungen verwendeten Softwarepakets;
- l) sämtliche Faktoren, die die Ergebnisse beeinflusst haben könnten, wie alle Zwischenfälle oder alle Einzelheiten bezüglich des Betriebs, die nicht in dieser Internationalen Norm festgelegt wurden.

Anhang A (normativ)

Analyseverfahren

A.1 Allgemeines Modell

In dieser Internationalen Norm wird das folgende allgemeine Modell mit 4 Parametern verwendet:

$$\log_{10} t = c_1 + c_2/T + c_3 \log_{10} \sigma + c_4 (\log_{10} \sigma)/T + e \quad (\text{A.1})$$

Dabei ist

- t die Zeit bis zum Versagen (Standzeit), in Stunden;
- T die Temperatur, in Kelvin ($^{\circ}\text{C} + 273,15$);
- σ die Umfangsspannung, in Megapascal;
- c_1 bis c_4 die im Modell verwendeten Parameter;
- e die Fehlervariable einer Laplace-Gauß-Verteilung, mit einer konstanten mittleren Varianz Null (es wird davon ausgegangen, dass die Fehler unabhängig sind).

ANMERKUNG Für die Berechnungszwecke nach Anhang A wird die Temperatur T in Kelvin ausgedrückt.

Dieses Modell mit 4 Parametern ist zu einem Modell mit 3 Parametern zu vereinfachen, falls das Wahrscheinlichkeitsniveau c_3 einen Wert von 0,05 überschreitet. In diesem Fall, $c_3 = 0$, d. h.:

$$\log_{10} t = c_1 + c_2/T + c_4 (\log_{10} \sigma)/T + e \quad (\text{A.2})$$

Beziehen sich sämtliche Datenpunkte auf dieselbe Temperatur, ist ein Modell mit nur 2 Parametern auszuwählen:

$$\log_{10} t = c_1 + c_3 \log_{10} \sigma + e \quad (\text{A.3})$$

Die Berechnungen für das Modell mit 4 Parametern werden nachfolgend angegeben. Bei den entsprechenden Berechnungen für andere Modelle können die entsprechenden Glieder jeweils entfallen. Durch eine mögliche Fehlanpassung der zu invertierenden Matrizen ist es erforderlich, Berechnungen mit doppelter Stellenzahl durchzuführen (14 signifikante Stellen). Die Inversion der Matrizen erfolgt nach dem klassischen Gauß-Jordan-Verfahren, dass in Verweisung [1] beschrieben ist (siehe Literaturhinweise).

Folgende Matrixschreibweisen werden verwendet:

$$X = \begin{bmatrix} 1 & 1/T_1 & \log_{10} \sigma_1 & (\log_{10} \sigma_1)/T_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 1/T_N & \log_{10} \sigma_N & (\log_{10} \sigma_N)/T_N \end{bmatrix}; y = \begin{bmatrix} \log_{10} t_1 \\ \vdots \\ \log_{10} t_N \end{bmatrix}; e = \begin{bmatrix} e_1 \\ \vdots \\ e_N \end{bmatrix}$$

Dabei ist

- N die Gesamtanzahl der Einzelergebnisse.

Wenn $c = (c_1, c_2, c_3, c_4)^T$, wobei T der Transponent ist, kann für Modell (A.1) geschrieben werden:

$$Y = Xc + e$$

Die kleinsten zu erwartenden Quadrate der Parameter werden angegeben durch:

$$\hat{c} = (X^T X)^{-1} X^T y$$

und die Restvarianz wird angegeben durch:

$$s^2 = (y - X\hat{c})^T (y - X\hat{c}) / (N - q)$$

Dabei ist

q die Anzahl der Parameter des Modells.

Der vorhergesagte Spannungswert, der einer Standzeit t und einer Temperatur T entspricht, wird angegeben durch:

$$\log_{10} \sigma = (\log_{10} t - c_1 - c_2/T) / (c_3 + c_4/T)$$

Um σ_{LPL} entsprechend der Standzeit t und der Temperatur T zu errechnen, wird die folgende Beziehung invertiert:

$$\log_{10} t = c_1 + c_2/T + c_3 \log_{10} \sigma + c_4 (\log_{10} \sigma) / T - t_{St} [1 + x(X^T X)^{-1} x^T]^{1/2}$$

Dabei ist

t_{St} die Student-Statistik, die einem Wahrscheinlichkeitsniveau von 0,975 und $N - 4$ Freiheitsgraden entspricht;

x der Vektor $(1, 1/T, \log_{10} \sigma, (\log_{10} \sigma)/T)$.

Das Ergebnis lautet:

$$\log_{10} \sigma_{LPL} = \frac{-\beta - \sqrt{\beta^2 - 4\alpha\gamma}}{2\alpha}$$

Dabei ist

$$\alpha = (c_3 + c_4/T)^2 - t_{St}^2 s^2 (K_{33} + 2K_{43}/T + K_{44}/T^2)$$

$$\beta = 2(c_1 + c_2/T - \log_{10} t)(c_3 + c_4/T) - 2t_{St}^2 s^2 [K_{31} + (K_{41} + K_{32})/T + K_{42}/T^2]$$

$$\gamma = (c_1 + c_2/T - \log_{10} t)^2 - t_{St}^2 s^2 (K_{11} + 2K_{21}/T + K_{22}/T^2 + 1)$$

K_{ij} das Element $(X^T X)^{-1}$ entsprechend den Parametern c und c_j in Modell (A.1)

Der Wert für σ_{LPL} kann dann nach folgender Gleichung errechnet werden:

$$\sigma_{LPL} = 10^{\log_{10} \sigma_{LPL}}$$

A.2 Vereinfachte Modelle

Für ein Modell mit 3 Parametern (d. h. $c_3 = 0$) wird die dritte Spalte von X gelöscht und K_{ij} steht nun für das Element $(X^T X)^{-1}$, das den unter Verwendung dieser neuen X -Matrix berechneten Parametern c_i und c_j entspricht:

$$\log_{10} \sigma = (\log_{10} t - c_1 - c_2 / T) \frac{T}{c_4}$$

und

$$\alpha = (c_4 / T)^2 - t_{St}^2 s^2 K_{44} / T^2$$

$$\beta = 2(c_1 + c_2 / T - \log_{10} t) c_4 / T - 2 t_{St}^2 s^2 (K_{41} / T + K_{42} / T^2)$$

$$\gamma = (c_1 + c_2 / T - \log_{10} t)^2 - t_{St}^2 s^2 (K_{11} + 2 K_{21} / T + K_{22} / T^2 + 1)$$

t_{St} beruht nun auf $N - 3$ Freiheitsgraden.

Für ein Modell mit 2 Parametern (d. h. $c_2 = 0$, $c_4 = 0$) werden die zweite und die letzte Spalte von X gelöscht und K_{ij} steht nun für das Element $(X^T X)^{-1}$, das den unter Verwendung dieser neuen X -Matrix berechneten Parametern c_i und c_j entspricht:

$$\log_{10} \sigma = (\log_{10} t - c_1) / c_3$$

und

$$\alpha = c_3^2 - t_{St}^2 s^2 K_{33}$$

$$\beta = 2(c_1 - \log_{10} t) c_3 - 2 t_{St}^2 s^2 K_{31}$$

$$\gamma = (c_1 - \log_{10} t)^2 - t_{St}^2 s^2 (K_{11} + 1)$$

t_{St} beruht nun auf $N - 2$ Freiheitsgraden.

A.3 Berechnung von σ_{LTHS} und σ_{LPL} bei erforderlicher Berücksichtigung eines Knicks

Entsprechend der Erläuterung in Anhang B, wird davon ausgegangen, dass zwei Versagensmechanismen auftreten können, jeder in seinem eigenen Temperatur- und Standzeitbereich. Die beiden Datensätze, die jedem Datentyp entsprechen, sind unabhängig voneinander anzupassen. Dazu sind die vorliegenden Prüfergebnisse in zwei Gruppen aufzuteilen, wobei davon ausgegangen wird, dass in jeder dieser Gruppen einer der Mechanismen auftritt.

In jeder Gruppe können nun σ_{LTHS} und σ_{LPL} nach dem üblichen Verfahren errechnet werden, sofern ausreichend Daten mit einer geeigneten Verteilung über den Temperaturbereich vorliegen (siehe 4.2 und 5.1.2).

Das in Anhang B beschriebene Verfahren zur automatischen Knieerkennung ist für jede Temperatur gesondert anzuwenden. Nach diesem Verfahren werden die Ergebnisse in zwei Gruppen aufgeteilt. Diese beiden Datensätze werden dann unabhängig voneinander nach dem in diesem Anhang beschriebenen allgemeinen Verfahren angepasst.

A.4 Anpassungstest

Um die Anpassung des Modells für die Daten zu prüfen, wird das folgende Statistikverfahren angewendet:

$$F = \frac{(SS_H - SS_e) / (\nu_H - \nu_e)}{SS_e / \nu_e}$$

Dabei ist

- F die Fisher-Statistik;
- SS_e die Summe der Quadrate der Differenzen zwischen jedem Einzelergebnis und dem entsprechenden Mittelwert, d. h. der Mittelwert der Wiederholungen unter experimentellen Bedingungen, bei denen die Einzelergebnisse ermittelt wurden (das verwendete Modell beeinflusst diese Berechnung nicht);
- SS_H die Summe der Quadrate der Differenzen zwischen jedem Einzelergebnis und der entsprechenden Vorhersage, d. h. die auf dem Modell beruhende Vorhersage für die experimentellen Bedingungen, unter denen die Einzelergebnisse ermittelt wurden;
- ν_e die Anzahl der Freiheitsgrade für SS_e , d. h. die Differenz zwischen der Anzahl der Einzelergebnisse und der Anzahl der unterschiedlichen Prüfbedingungen;
- ν_H die Anzahl der Freiheitsgrade für SS_H , d. h. die Differenz zwischen der Anzahl der Einzelergebnisse und der Anzahl der Parameter im verwendeten Modell.

Unter der Hypothese, dass das an die Daten angepasste Modell korrekt ist, folgt das oben aufgeführte Statistikverfahren einer Fisher-Verteilung mit $\nu_H - \nu_e$ Freiheitsgraden für den Zähler und ν_e Freiheitsgraden für den Nenner.

Bei Verwendung der in Tabellenform und als Computerprogramm erhältlichen Fisher-Verteilung liegt die Wahrscheinlichkeit vor, dass F die nach der oben aufgeführten Gleichung errechneten Werte überschreitet. Die Wahrscheinlichkeit wird dann mit einer Signifikanzgrenze von 0,05 verglichen. Ist diese Grenze überschritten, wird die Annahme, dass das an die Daten angepasste Modell korrekt ist, akzeptiert. Ist die Grenze nicht überschritten, wird diese Annahme zurückgewiesen.

ANMERKUNG 1 Diese Prüfung kann nur als Anzeichen für die Anpassung des Modells an die Einzelergebnisse betrachtet werden.

ANMERKUNG 2 Ein Beispiel für die Berechnung bei einem Anpassungstest für die in Tabelle C.1 angegebenen Einzelergebnisse bei 20 °C ist nachfolgend aufgeführt, unter Annahme eines Modells mit 2 Parametern:

Der Wert $F(13;15)$ beträgt 0,478. Die Wahrscheinlichkeit (Pr), dass die Fisher-Verteilung mit der angegebenen Anzahl von Freiheitsgraden diesen Wert überschreitet, beträgt:

$$\Pr[F(13;15) > 0,478] = 0,906$$

Mit der Signifikanzgrenze bei 0,05 wird das Modell akzeptiert, da die Grenze von der Wahrscheinlichkeit überschritten wird.

Anhang B (normativ)

Automatische Knieerkennung

B.1 Kurzbeschreibung

Bei diesem Verfahren erfolgt die Knieerkennung durch Berechnungen, die für jede einzelne Temperatur durchgeführt werden.

Es wird angenommen, dass für einen bestimmten Temperaturwert und Datentyp ein linearer Zusammenhang zwischen dem dekadischen Logarithmus der Innendruckspannung, der die Rohrprobe ausgesetzt ist, und dem dekadischen Logarithmus der Standzeit der Rohrproben besteht. Darüber hinaus wird angenommen, dass die Standzeitmessungen durch einen zufälligen Fehler beeinflusst werden.

Die bei diesem Verfahren entwickelte Vorstellung geht davon aus, dass der Datentyp vom Wert der Innendruckspannung abhängt. Datenpunkte vom Typ B treten bei Spannungen unterhalb des Knickwertes auf und Datenpunkte vom Typ A bei Spannungen oberhalb davon.

B.2 Durchführung

Das Modell für diese Hypothesen, das den Datentyp berücksichtigt, wird folgendermaßen formuliert:

$$\log_{10} t = \begin{cases} c_1 + c_{31}(\log_{10} \sigma - \log_{10} \sigma_k) + e_i, & \text{wenn Typ A } (\sigma > \sigma_k) \\ c_1 + c_{32}(\log_{10} \sigma - \log_{10} \sigma_k) + e_i, & \text{wenn Typ B } (\sigma < \sigma_k) \end{cases}$$

Dabei ist

- | | |
|-----------------------|--|
| σ_k | die Knickspannung; |
| c_1 | die $\log(\text{Zeit})$ bei dieser Spannung; |
| c_{31} und c_{32} | die Neigungen der beiden Kurvenäste; |
| e_i | ist die Fehlervariable. |

ANMERKUNG Die Fehler werden als unabhängig eingeschätzt und unterliegen einer Normalverteilung mit einer konstanten Varianz.

Eine praktische Art der Anpassung dieses Modells an die Messungen besteht darin, σ_k über den experimentellen Bereich der Spannungswerte zu erfassen, die Restsumme der Quadrate für jede entsprechende lineare Anpassung zu errechnen sowie den Wert für σ_k zu wählen, der dem Mindestwert entspricht. Statistische Software gibt die Freiheitsgrade dieser linearen Anpassung als $N - 3$ an, obwohl sie tatsächlich $N - 4$ sein sollten, da σ_k ein vorhergesagter Wert ist. Der korrekte Wert für s_k^2 wird errechnet durch Dividieren der Restsumme der Quadrate durch $N - 4$.