

Charakteristische Kennwerte für geschweißte
Thermoplast-Konstruktionen
Bestimmung der zulässigen Spannungen und Moduli für die Berechnung
von Thermoplast-Bauteilen
Deutsche Fassung EN 1778 : 1999

DIN
EN 1778

ICS 83.080.20; 83.140.01

Characteristic values for welded thermoplastics constructions —
Determination of allowable stresses and moduli for design of
thermoplastics equipment; German version EN 1778 : 1999

Valeurs caractéristiques des constructions thermoplastiques
soudées — Détermination des contraintes admissibles et des
modules pour la conception du matériel thermoplastique;
Version allemande EN 1778 : 1999

Die Europäische Norm EN 1778 : 1999 hat den Status einer Deutschen Norm.

Nationales Vorwort

Diese Europäische Norm wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 249 „Kunststoffe“ (Sekretariat: Belgien) erarbeitet.

Die Mitarbeit des DIN im CEN/TC 249 wird über den Normenausschuß Kunststoffe (FNK) wahrgenommen.

Die Arbeiten wurden im CEN/TC 249/SC 5 durchgeführt. Seitens des DIN war der Arbeitsausschuß FNK-AA 501.8 „Fügen von Kunststoffen“ an der Erstellung dieser Europäischen Norm beteiligt.

Für die im Abschnitt 2 zitierten Internationalen Normen wird im folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 899-2 siehe DIN EN ISO 899-2

ISO 8584-1 siehe DIN 16889-1

Nationaler Anhang NA (normativ)

Literaturhinweise

DIN 16889-1

Bestimmung der chemischen Resistenzfaktoren an Rohren aus Thermoplast — Rohre aus Polyolefinen

DIN EN ISO 899-2

Kunststoffe — Bestimmung des Kriechverhaltens — Teil 2: Zeitstand-Biegeversuch bei Dreipunkt-Belastung (ISO 899-2 : 1993); Deutsche Fassung EN ISO 899-2 : 1996

Fortsetzung 49 Seiten EN

Normenausschuß Kunststoffe (FNK) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

— Leerseite —

Deutsche Fassung

**Charakteristische Kennwerte für geschweißte
Thermoplast-Konstruktionen**

**Bestimmung der zulässigen Spannungen und Moduli für die Berechnung
von Thermoplast-Bauteilen**

Characteristic values for welded thermoplastics constructions — Determination of allowable stresses and moduli for design of thermoplastics equipment

Valeurs caractéristiques des constructions thermoplastiques soudées — Détermination des contraintes admissibles et des modules pour la conception du matériel thermoplastique

Diese Europäische Norm wurde von CEN am 2. September 1999 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 Zentralsekretariat 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 Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation

Zentralsekretariat: rue de Stassart 36, B-1050 Brüssel

Vorwort

Diese Europäische Norm wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 249 „Kunststoffe“ erarbeitet, dessen Sekretariat von IBN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muß den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis April 2000, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis April 2000 zurückgezogen werden.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen:

Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, die Tschechische Republik und das Vereinigte Königreich.

Die EN 1778 enthält im normativen Anhang A die erforderlichen Zeitstanddiagramme, die Kriechmodul-Diagramme sowie die Abminderungsfaktoren. In die informativen Anhänge B und C wurden Erläuterungen, Berechnungsbeispiele und Literaturhinweise aufgenommen.

Einleitung

Da die meisten Bauteile mehrachsigt beansprucht sind, werden für die Bestimmung der Festigkeitswerte die Zeitstanddiagramme für Rohre zugrunde gelegt. Diese sind durch Ergebnisse aus langjährigen Messungen und Erfahrungen bestätigt (siehe [1] von Anhang C).

Die Extrapolation der Zeitstandkurven zu höheren Temperaturen ist nicht erlaubt. Aus den vorgenannten Gründen ist die Verwendung der Zeitstandkurven von Zugstäben nicht praxisgerecht.

Eine große Zahl von Abminderungsfaktoren A_2 für den Medieneinfluß unter Berücksichtigung von Werkstoff, Spannung und Temperatur wurden aufgenommen. Die Abminderungsfaktoren A_2 für den Medieneinfluß und die Schweißfaktoren f_1 sind unabhängig voneinander ermittelt worden.

In Untersuchungen wurden die Gültigkeit der multiplikativen Verknüpfung von Schweißfaktoren f_1 und Abminderungsfaktor A_{2K} (reziproker Wert des Chemikalien-Resistenzfaktors f_{cRo}) nachgewiesen (siehe [2] und [3] von Anhang C).

1 Anwendungsbereich

Diese Norm legt ein Verfahren zur Ermittlung von Kennwerten für die Berechnung von geschweißten Konstruktionen fest, z. B. Behältern, Wannen, Tanks, Apparaten und Ventilationsleitungen.

Vorausgesetzt wird, daß bei der Wahl der Werkstoffe und ihrer Verarbeitung die Normen nach Abschnitt 2 berücksichtigt werden. Die Angaben gelten für überwiegend statische Beanspruchungen.

Für die Berechnung, Maße, Ausführung und Prüfung der verschiedenen Konstruktionen gelten die jeweiligen EN-Normen oder ISO-Normen.

Die vorliegende Norm ist anwendbar auf einen großen Bereich von thermoplastischen Werkstoffen, beispielsweise Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polyvinylchlorid (PVC) und Polyvinylidenfluorid (PVDF).

Anhang A gibt die Mindestwerte für spezifizierte Typen dieser Werkstoffe an. Der Gebrauch von anderen Thermoplasten ist erlaubt, vorausgesetzt, daß ihre Kriecheigenschaften den Mindestwerten der genannten Werkstoffe nach Anhang A entsprechen.

Diese Eigenschaften sollten in Übereinstimmung mit den gültigen ISO- und EN-Normen ermittelt werden.

Unter diesen Voraussetzungen ist die Einführung/Anwendung von Thermoplasten mit verbesserten Eigenschaften erlaubt.

2 Normative Verweisungen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an

den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation.

prEN 12202

Kunststoff-Rohrleitungssysteme für Heiß- und Kaltwasser — Polypropylen (PP)

ISO 899-2

Plastics — Determination of creep behaviour — Part 2: Flexural creep by three-point-loading

ISO 1167

Thermoplastics pipes for the conveyance of fluids — Resistance to internal pressure — Test method

ISO 8584-1

Thermoplastics pipes for industrial applications under pressure — Determination of the chemical resistance factor and of the basic stress — Part 1: Polyolefin pipes

ISO/TR 8584-2

Thermoplastics pipes for industrial applications under pressure — Determination of the chemical resistance factor and of the basic stress — Part 2: Pipes made of halogenated polymers

ISO/TR 9080

Thermoplastics pipes for the transport of fluids — Methods of extrapolation of hydrostatic stress rupture data to determine the long-term hydrostatic strength of thermoplastics pipe materials

3 Definitionen, Symbole und Abkürzungen

K	Zeitstandfestigkeit für Betriebstemperatur und Betriebszeit in Newton pro Quadratmillimeter
S	Sicherheitsfaktor
A_1	Abminderungsfaktor für die spezifische Zähigkeit
A_{2K}	Abminderungsfaktor für den Einfluß des Umgebungsmediums (reziproker Resistenzfaktor f_{cRo})
f_{cRo}	Resistenzfaktor
A_{2E}	Abminderungsfaktor für den Einfluß des Umgebungsmediums auf den Elastizitätsmodul
E_c	Kriechmodul (temperatur-, spannungs- und zeitabhängig) in Newton pro Quadratmillimeter
$E_{c(al),St}$	zulässiger Kriechmodul für Stabilitätsberechnungen (abhängig von Temperatur, Spannung, Zeit, Medium, Sicherheit) in Newton pro Quadratmillimeter
$E_{c(al),D}$	zulässiger Kriechmodul für Deformationsberechnungen (abhängig von Temperatur, Spannung, Zeit, Medium) in Newton pro Quadratmillimeter
T	Betriebstemperatur in Grad Celsius
f_s	Kurzzeit-Schweißfaktor
f_l	Langzeit-Schweißfaktor
σ_{ef}	vorhandene Spannung in Newton pro Quadratmillimeter
σ_{al}	zulässige Spannung in Newton pro Quadratmillimeter
n	Anzahl der Teilbeanspruchungen
$a_1, a_2 \dots a_n$	Anteile der Teilbeanspruchungszeiten von der Gesamtbeanspruchungszeit in Prozent
$t_1, t_2 \dots t_n$	Standzeit bei den einzelnen Betriebsbedingungen (Druck und Temperatur konstant)
t_x	rechnerische Standzeit mit oder ohne intermittierender Beanspruchung
σ	Spannung in Newton pro Quadratmillimeter

4 Bestimmung der zulässigen Spannungen und Kriechmoduls

4.1 Allgemeines

Die Berechnung von Bauteilen erfolgt grundsätzlich auf der Basis von Langzeitwerten. In Abhängigkeit von der Belastungsart ergeben sich 3 generelle Kriterien:

- 1) Spannung;
- 2) Verformung (z. B. Biegung);
- 3) Stabilität (z. B. Beulen bei Kurz- oder Langzeit).

Die Spannungsberechnung muß mit den angegebenen Zeitstandfestigkeiten erfolgen, da mehraxiale Spannungszustände in den meisten Fällen vorliegen. Die maximale Hauptspannung darf die zulässige Zeitstandfestigkeit nicht überschreiten.

Die zulässigen Werte werden durch die Anwendung der werkstoffabhängigen Abminderungsfaktoren (siehe Abschnitt 5), Fügefaktoren (siehe Abschnitt 6) und den Sicherheitsfaktoren (siehe Abschnitt 7) erhalten.

Die Kennwerte für Stabilität und Deformation sind die der Kriechmodule. Diese können in Abhängigkeit von Zeit, Temperatur und Spannung den Kriechmodul-Diagrammen entnommen werden. Bei Stabilitätsproblemen ist ein entsprechender Sicherheitsfaktor (siehe Abschnitt 7) zu verwenden.

4.1.1 Berechnung auf Festigkeit

Die zulässige Spannung ergibt sich aus der Zeitstandfestigkeit, den Abminderungsfaktoren, den Fügefaktoren und dem Sicherheitsbeiwert.

$$\sigma_{al} = \frac{K \cdot f_l}{A_1 \cdot A_{2K} \cdot S} \quad (1)$$

Die für die Berechnung zugrunde zu legende Zeitstandfestigkeit K ist für die bestimmte Betriebszeit und Betriebstemperatur den Diagrammen in A.1.1 zu entnehmen oder in Übereinstimmung mit ISO/TR 9080 zu bestimmen.

4.1.1.1 Zeitstandfestigkeitskurven

Die Zeitstandfestigkeitskurven zeigen die Festigkeit in Abhängigkeit von Zeit und Temperatur. Sie wurden durch Langzeit-Innendruckprüfungen an mit Wasser gefüllten Rohren ermittelt und stellen Mindestkurven dar (siehe ISO 1167).

Die Mindest-Zeitstandfestigkeitskurven anderer Halbzeugformen müssen gleich oder höher sein als die für die ermittelten Rohre.

Andere Werkstoffe als jene, wie in den Bildern A.1 bis A.12 angegeben, dürfen in Erwägung gezogen werden, falls nachweislich geeignete Prüfungen nach ISO/TR 9080 durchgeführt wurden.

4.1.1.2 Intermittierende Beanspruchung

Für Anwendungsfälle, bei denen regelmäßig wechselnde (intermittierende) Beanspruchungen auftreten, kann näherungsweise die Theorie der linearen Schadensakkumulation (Minersche Regel) zugrunde gelegt werden (siehe [4] von Anhang C). Mit dieser Regel wird die zu erwartende Standzeit durch Addition der Schädigungsraten aus den intermittierenden Betriebsbedingungen ermittelt.

Siehe das Beispiel in B.2.2.

Nach dieser Regel gilt:

$$\sum_{i=1}^n \frac{a_i \cdot t_x}{100 \cdot t_i} = 1 \quad (2)$$

Für zwei fraktionale Beanspruchungen gilt danach:

$$\frac{a_1 \cdot t_x}{100 \cdot t_1} + \frac{a_2 \cdot t_x}{100 \cdot t_2} = 1 \quad (3)$$

oder

$$t_x = \frac{100 \cdot t_1 \cdot t_2}{a_1 \cdot t_2 + a_2 \cdot t_1} \quad (4)$$

4.1.2 Berechnung auf Stabilität und Biegung

Der Kriechmodul (E_c) wird bei Thermoplast-Konstruktionen anstelle des Elastizitätsmoduls verwendet. Der Kriechmodul ist zeit-, spannungs- und temperaturabhängig. Er kann auch mediumabhängig sein (insbesondere bei quellend wirkenden Substanzen; Kennwerte sind noch zu bestimmen). Der Kriechmodul ist für die angegebenen Werkstoffe in Abhängigkeit von den gewünschten Parametern aus den Kriechmodul-Kurven (Bilder A.13 bis A.27) zu entnehmen oder nach ISO 899-2 zu bestimmen.

Das Kriechmodul wird gebraucht:

— in Stabilitätsberechnungen

$$E_{c(al),St} = \frac{E_c}{A_{2E} \cdot S} \quad (5)$$



— zum Berechnen von Verformungen

$$E_{c(al)D} = \frac{E_c}{A_{2E}} \quad (6)$$

5 Abminderungsfaktoren

5.1 Abminderungsfaktor A_2 (siehe [4] und [5])

5.1.1 Abminderungsfaktor A_{2K}

Der Abminderungsfaktor A_{2K} quantifiziert den Einfluß des Betriebsmediums auf die Zeitstandfestigkeit von thermoplastischen Kunststoffen.

Der Abminderungsfaktor A_{2K} ist der reziproke Resistenzfaktor f_{cRG} (f_{cRG} wird bestimmt nach ISO 8584-1 oder ISO/TR 8584-2).

In A.1.3 sind für eine große Anzahl von Medien Abminderungsfaktoren angegeben.

Andere Medien als in A.1.3 angegeben, dürfen in Erwägung gezogen werden, falls geeignete nachweisbare Erfahrungen und/oder Prüfungen mit ähnlichen Flüssigkeiten aber gleichem Werkstoff nach ISO 8584-1 oder ISO/TR 8584-2 vorliegen.

5.1.2 Abminderungsfaktor A_{2E}

Bei nicht quellenden Medien ist der Abminderungsfaktor $A_{2E} = 1$.

Für quellende Medien (siehe Fußnote 9 von A.1.3) ist A_{2E} durch geeignete Versuche zu bestimmen.

5.2 Abminderungsfaktor A_1

(Spezifische Zähigkeit des Werkstoffes in Abhängigkeit von Temperatur und Schlagzähigkeit)

Dieser Faktor berücksichtigt die Zähigkeit der Werkstoffe in Abhängigkeit der Temperatur und ist deshalb aus den Werten der Schlagzähigkeit abgeleitet. Tabelle 1 enthält die Werte für A_1 . Für andere Werkstoffe müssen die Werte in Übereinstimmung mit Anhang B nachgewiesen werden.

Weitere Erklärungen sind in B.1 zu finden.

6 Fügefaktor (Schweißfaktor)

(siehe [7] und [8])

Die Werte für diese Faktoren gelten nur für geschweißte Verbindungen. Für ausgewählte Werkstoffe sind die Schweißfaktoren (f_s und f_l) in Tabelle 2 angegeben.

Die genannten Werte setzen die Beherrschung der angegebenen Schweißverfahren und die Ausführung durch qualifiziertes Personal voraus.

Die Kurzzeitfaktoren gelten für Belastungszeiten bis zu einer Stunde. Die Langzeitfaktoren werden grundsätzlich bei tragenden Bauteilberechnungen angewendet. Bei anderen Werkstoffen und/oder Fügeverfahren sind die Werte im einzelnen nachzuweisen.

ANMERKUNG: Die Schweißfaktoren in der Tabelle 2 werden zur Zeit durch CEN/TC 249/SC 5/WG 2 überprüft und falls erforderlich korrigiert.

Tabelle 1: Abminderungsfaktoren A_1

Werkstoff		Betriebstemperatur T			
		-10 °C	20 °C	40 °C	60 °C
PE-HD,	hohe Dichte	1,2	1	1	1
PP-H	Homopolymerisat	1,8	1,3	1	1
PP-B	Blockcopolymerisat	1,2	1,0	1	1
PP-R	Random Copolymerisat	1,2	1	1	1
PVC-NI	normal schlagzäh (PVC-U)	1,8	1,6	1,4	1,1
PVC-RI	erhöht schlagzäh (PVC-U)	1,6	1,3	1	1
PVC-C	nachchloriert	1,9	1,8	1,6	1,2
PVDF-H	Homopolymerisat	1,6	1,4	1,2	1

Tabelle 2: Kurzzeit- (f_s -) und Langzeit- (f_l -)Schweißfaktoren

Verfahren	Werkstoff				
	PE-HD	PP*)	PVC-U**)	PVC-C	PVDF
Heizelementstumpfschweißen HS	f_s 0,9 f_l 0,8	0,9 0,8	0,9 0,6	0,8 0,6	0,9 0,6
Warmgas-Extrusionsschweißen WE	f_s 0,8 f_l 0,6	0,8 0,6	— —	— —	— —
Warmgasschweißen W	f_s 0,8 f_l 0,4	0,8 0,4	0,8 0,4	0,7 0,4	0,8 0,4
*) PP-H, PP-B, PP-R					
**) PVC-NI, PVC-RI					

7 Sicherheitsfaktor

Der Sicherheitsfaktor S bedeutet, daß bei bestimmungsgemäßer Verwendung des Bauteils zu jeder Zeit während der zugrunde gelegten Gebrauchsdauer noch die Sicherheit zur Zeitstandfestigkeit des Werkstoffes gegeben ist.

Der Sicherheitsfaktor berücksichtigt somit auch die Vereinfachung bei den Lastannahmen und beim rechnerischen oder experimentellen Festigkeitsnachweis.

In dem Fall, wo keine anderen EN-Normen vorliegen und/oder Regeln den Sicherheitsfaktor vorschreiben, sind die angegebenen Werte der Tabelle 3 anzuwenden.

Die Sicherheitsfaktoren der Tabelle 3 sind für zwei Belastungsfälle entsprechend der Gefährdung angegeben, die von den Behältern und Apparaten ausgeht. Der Konstrukteur hat im Einzelfall zu entscheiden, welche Einstufung für das auszulegende Bauteil zutrifft.

Gegebenenfalls können Zwischenwerte angemessen sein.

Tabelle 3: Sicherheitsfaktoren

Belastungsart	S
Belastungsfall 1 Ruhende Behälter bei Raumtemperatur und konstanten Bedingungen. Im Schadensfall keine Gefährdung von Personen, Sachen und Umwelt möglich.	1,3
Belastungsfall 2 Belastung unter wechselnden Bedingungen (z. B. Temperatur, Füllhöhe). Im Schadensfall Gefährdung von Personen, Sachen und Umwelt möglich.	2,0

Bei Stabilitätsberechnungen nach 4.1.2 ist ein Mindest-Sicherheitsfaktor von 2 einzusetzen (siehe [9]).

Einflüsse durch Exzentrizität und Unrundheit sind gesondert zu berücksichtigen (siehe [10]).

Anhang A (normativ)

Zeitstanddiagramme, Kriechmodul-Diagramme und Abminderungsfaktoren

A.1.1 Zeitstandfestigkeits-Diagramme (Bilder A.1 bis A.12)

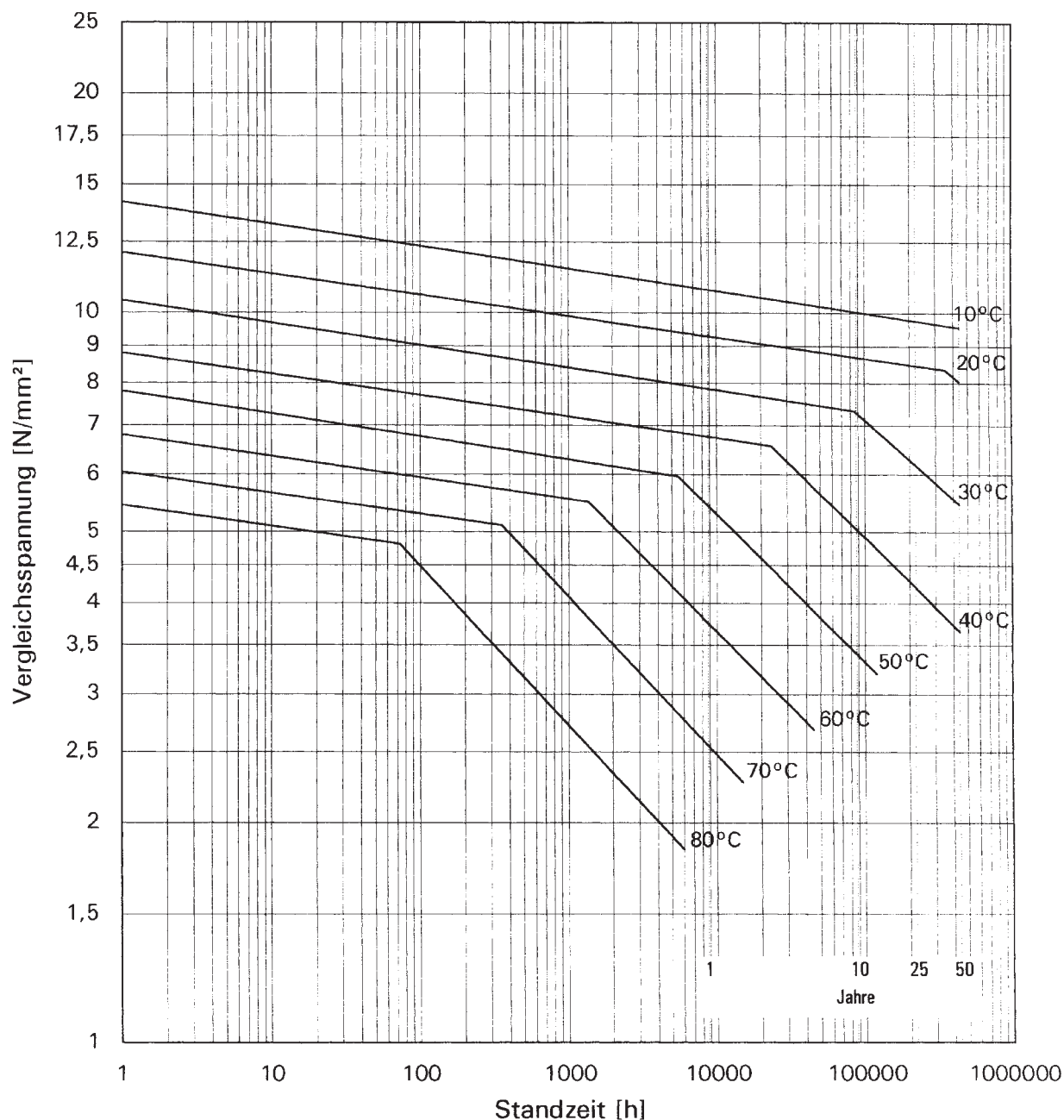


**Bild A.1: Zeitstandfestigkeit von Rohren aus Polyethylen hoher Dichte
(PE-HD vergleichbar mit ISO 8584-1)**

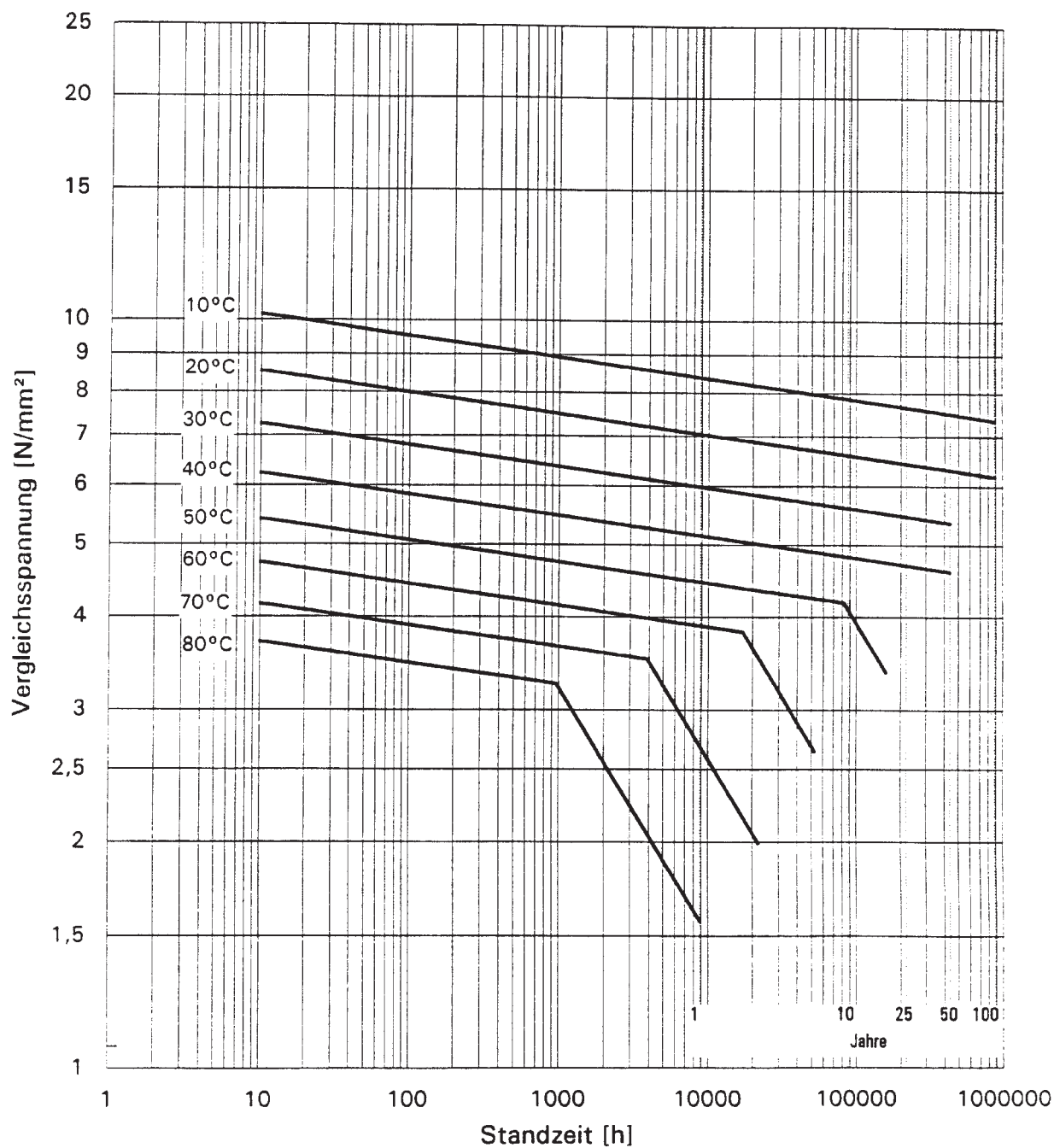


Bild A.2: Zeitstandfestigkeit von Rohren aus Polyethylen (PE 63)

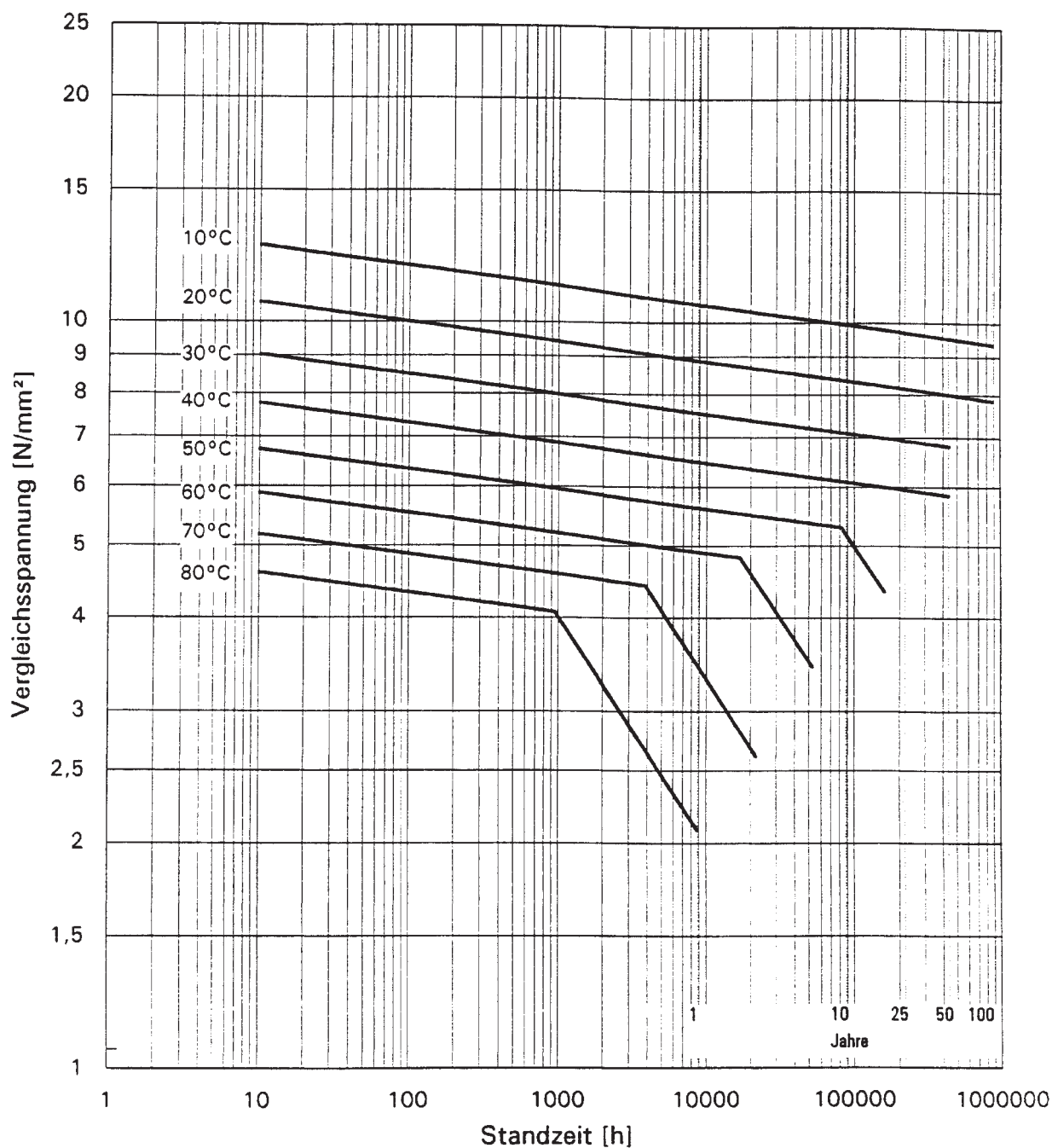


Bild A.3: Zeitstandfestigkeit von Rohren aus Polyethylen (PE 80)

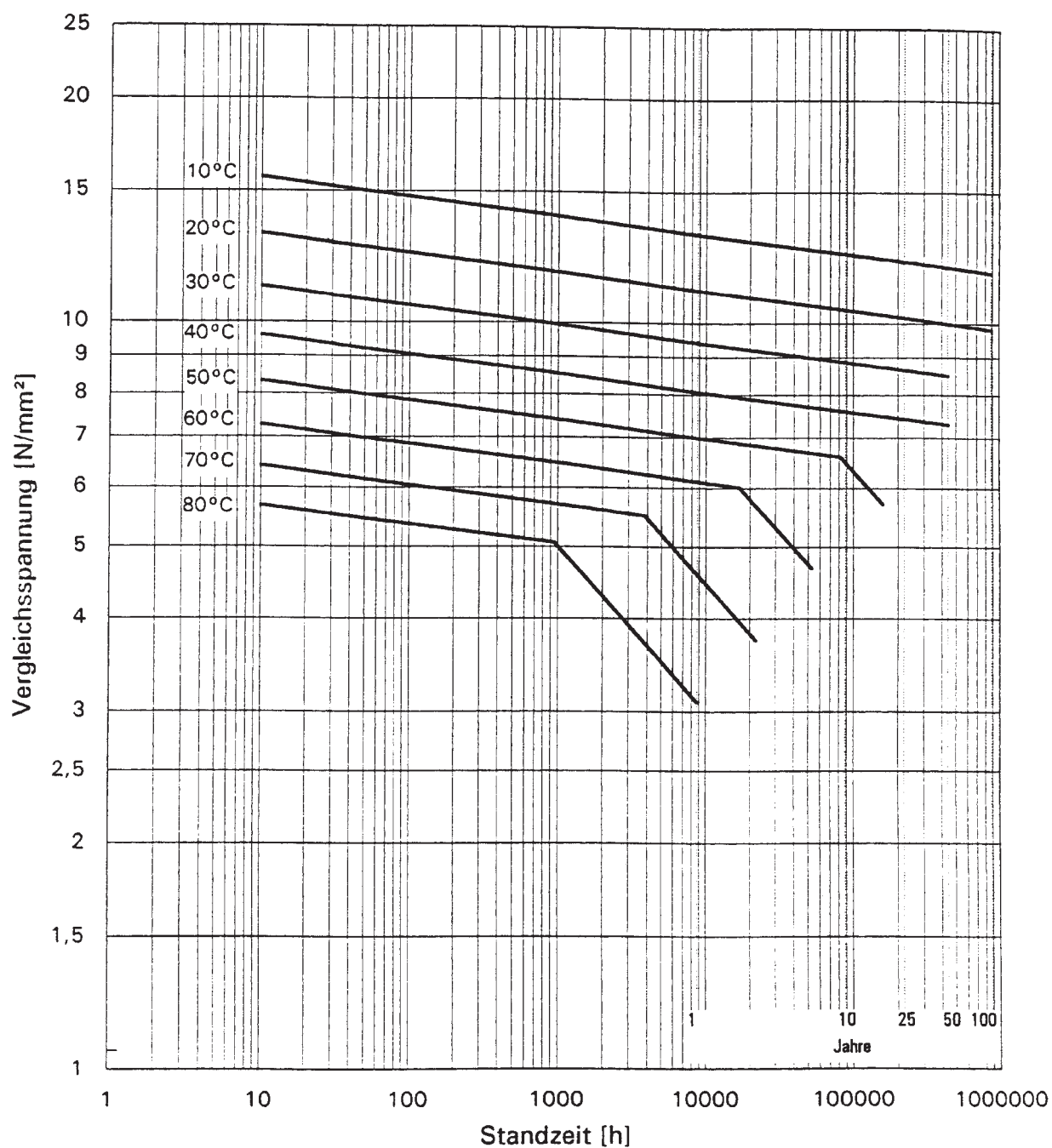


Bild A.4: Zeitstandfestigkeit von Rohren aus Polyethylen (PE 100)

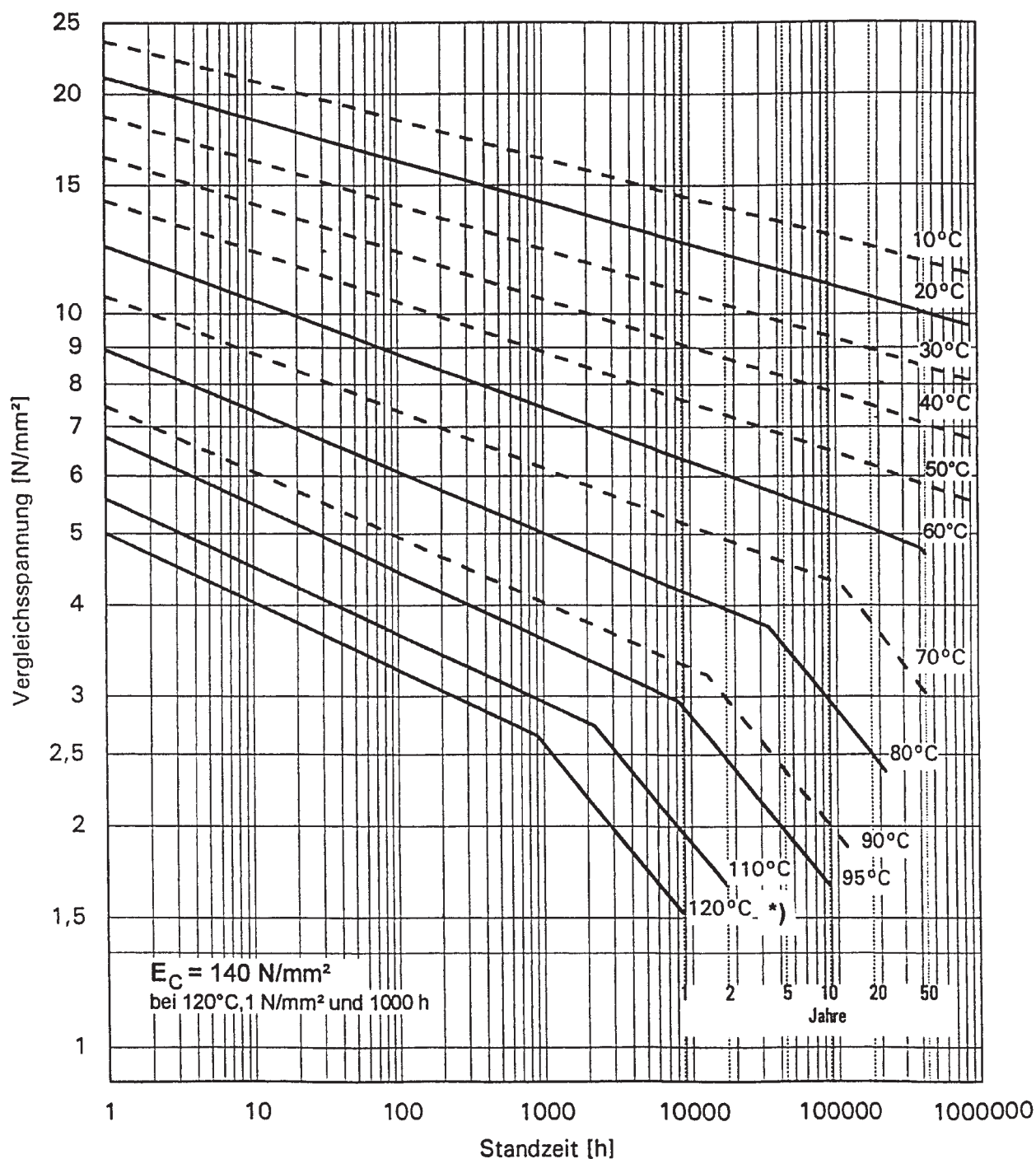


Bild A.5: Zeitstandfestigkeit von Rohren aus Polypropylen (PP-H)

*) Dieser Temperaturparameter wurde im Gegensatz zu prEN 12202 mit aufgenommen.

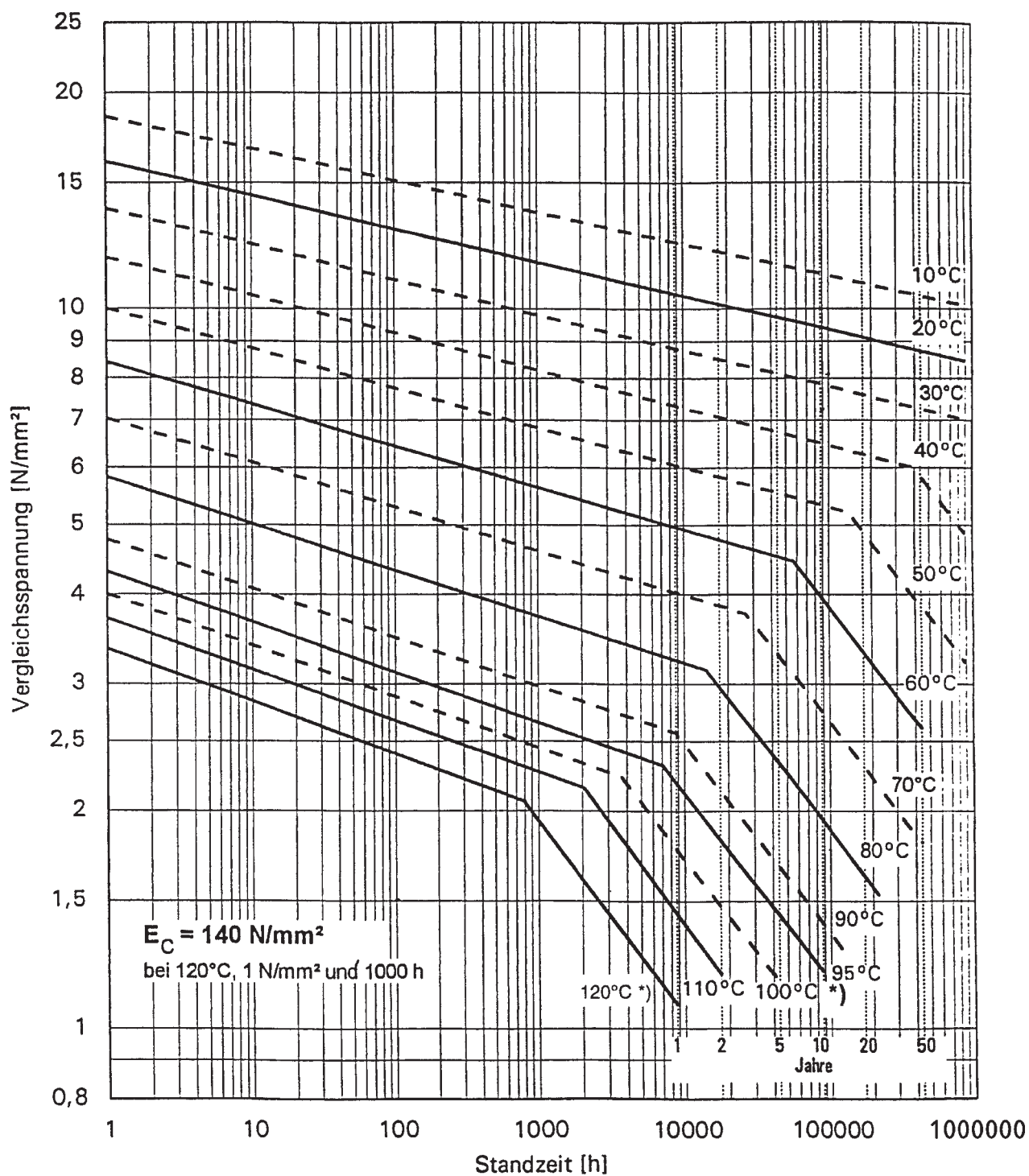


Bild A.6: Zeitstandfestigkeit von Rohren aus Polypropylen (PP-B)

*) Dieser Temperaturparameter wurde im Gegensatz zu prEN 12202 mit aufgenommen.

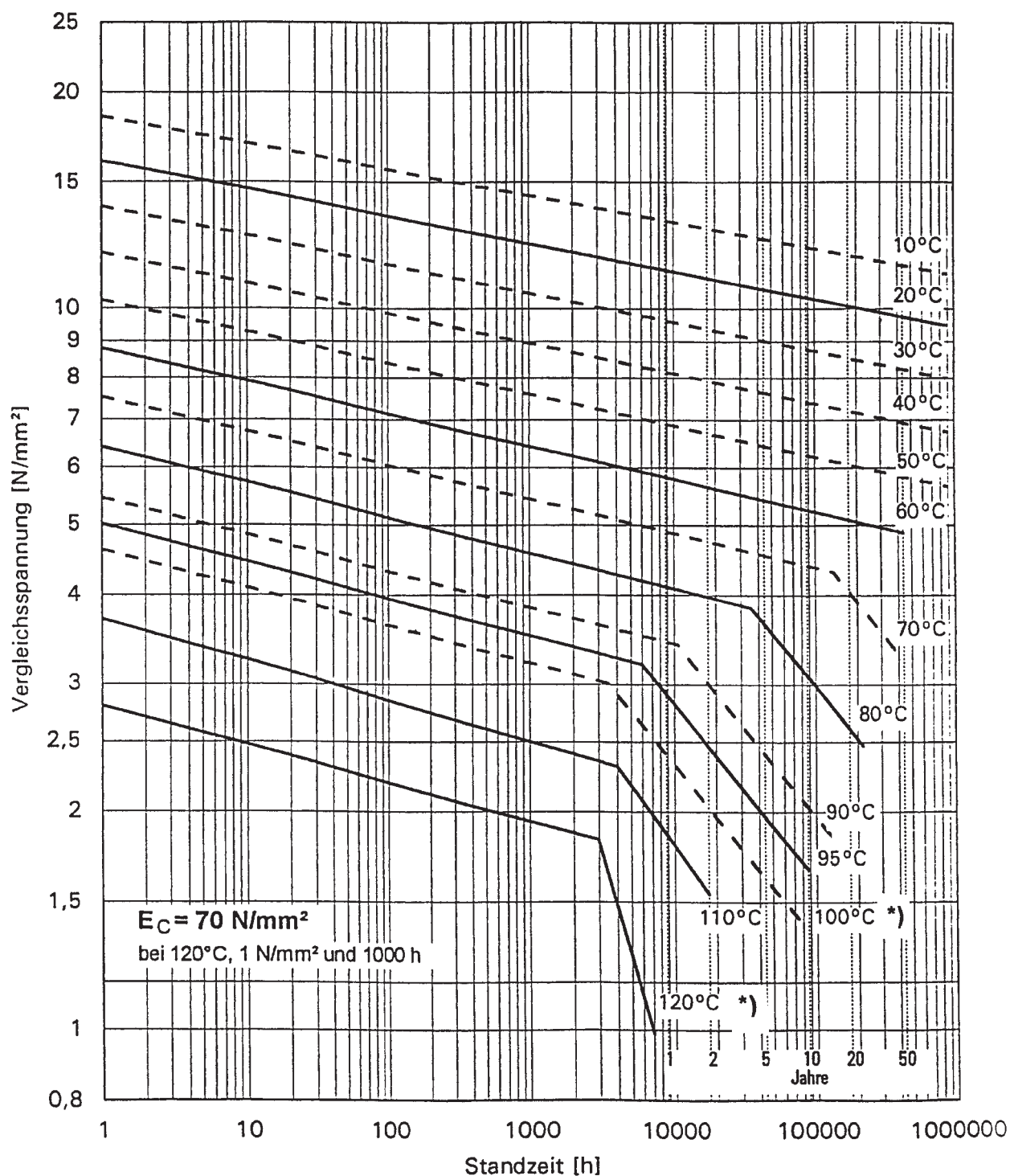


Bild A.7: Zeitstandfestigkeit von Rohren aus Polypropylen (PP-R)

*) Dieser Temperaturparameter wurde im Gegensatz zu prEN 12202 mit aufgenommen.

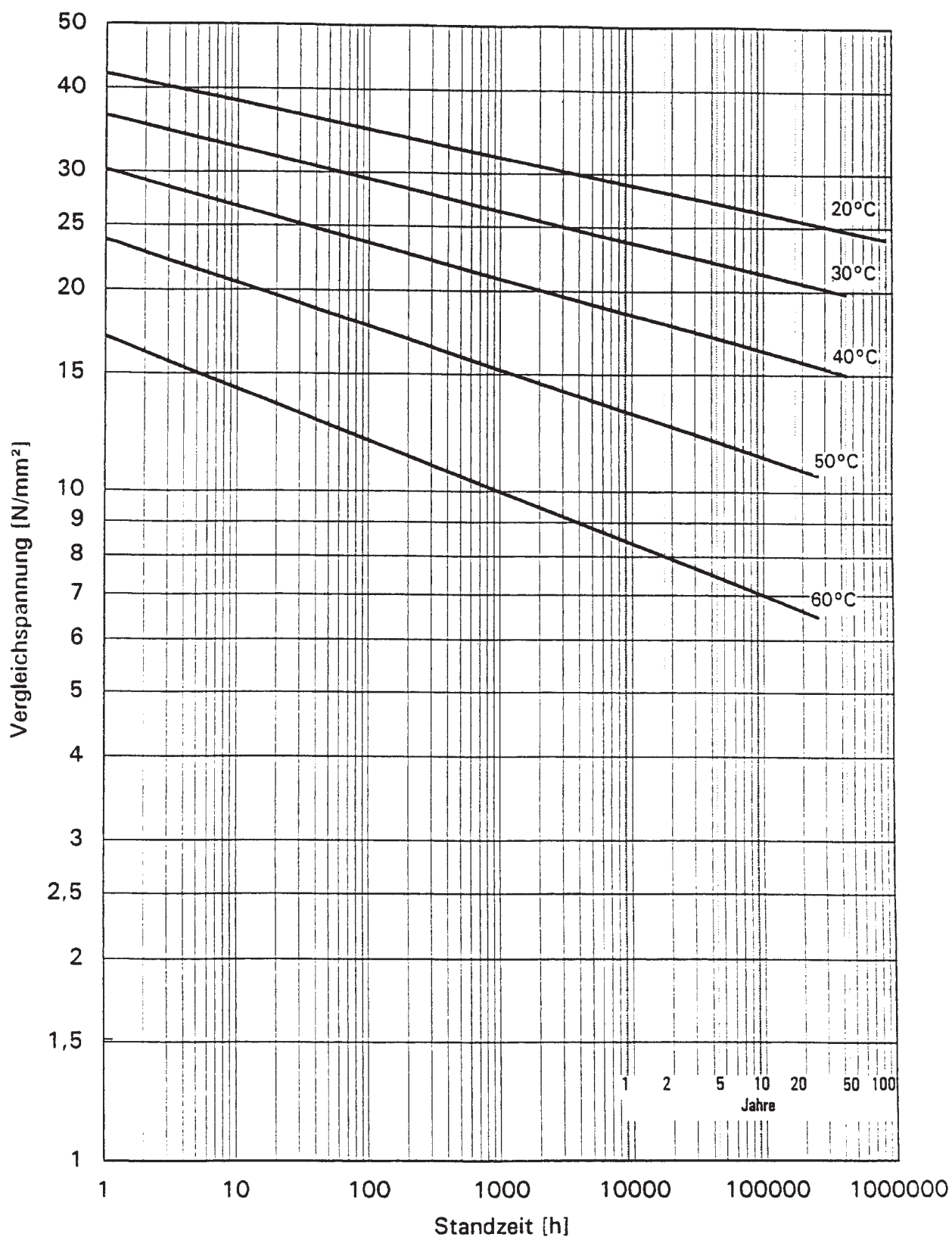


Bild A.8: Zeitstandfestigkeit von Rohren aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-NI vergleichbar mit PVC-U), normal schlagzäh

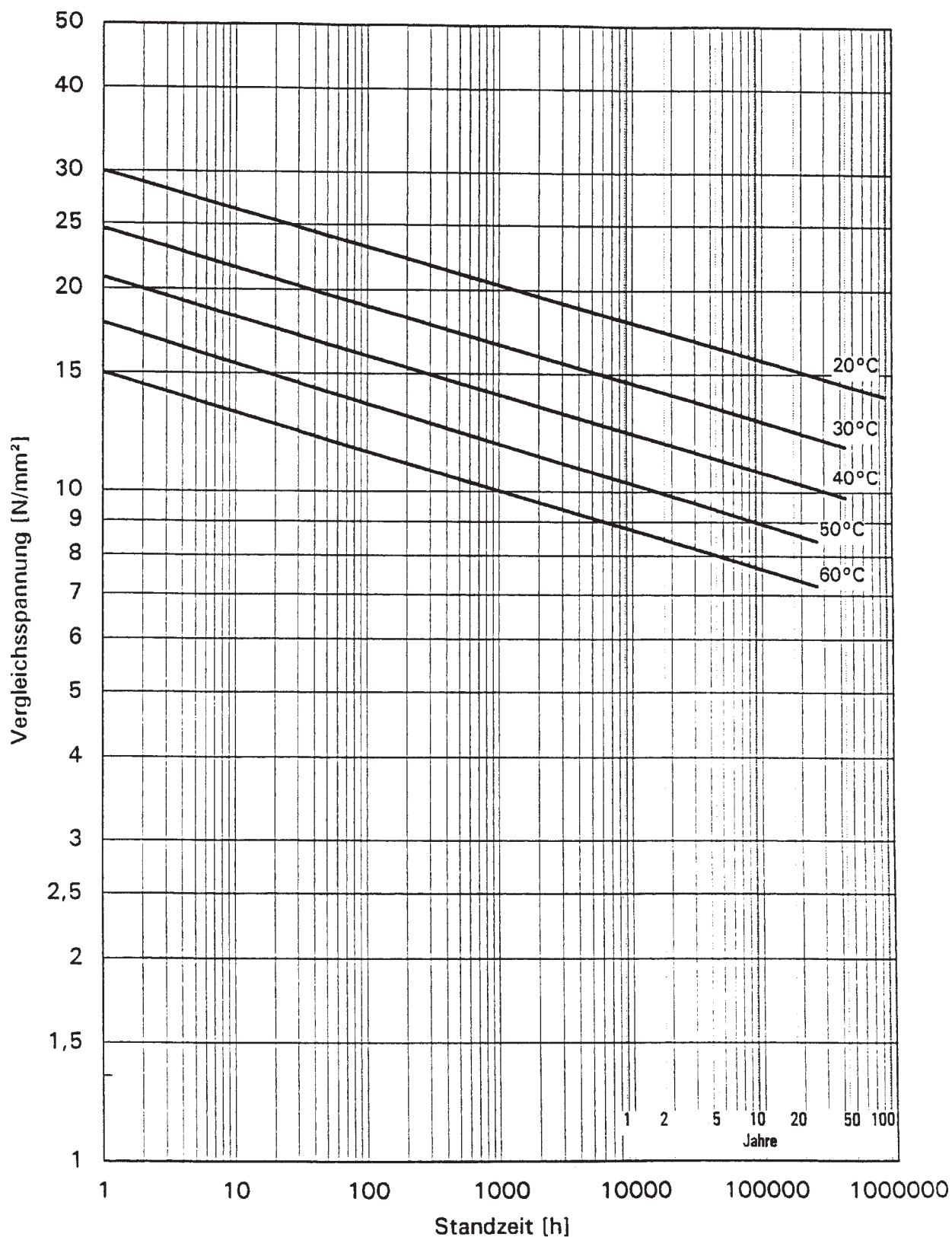


Bild A.9: Zeitstandfestigkeit von Rohren aus schlagzäh modifiziertem weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-Rl)

Typ 1: Mischung aus Vinylchlorid-Homopolymerisat und Pfropfcopolymerisat auf Basis von Acrylsäureester-Vinylchlorid