

tech.info

Technisches Handbuch
für Rohrleitungssysteme

Auflage: August 2010



Über dieses Handbuch

Dieses Handbuch soll Ihnen mit den zusammengestellten Daten die Planungs- und Konstruktionsarbeiten erleichtern. Es stellt darüber hinaus die Verarbeitungsmöglichkeiten und Anwendungsbereiche unserer hochwertigen Rohrsysteme in PE, PP und PVDF dar.

Bitte beachten Sie zu diesem Technischen Handbuch die jeweils aktuelle Version unserer SIMCAT CD-ROM mit allen Rohr- und Formteilartikel sowie Armaturen und deren technischen Abmessungen.

Für weitere Information wenden Sie sich bitte an unseren Technical Support:
+49 (0) 67 52 14-254
pipingsystems@simona.de

Inhaltsverzeichnis

Abschnitt	Seite	
Unternehmensprofil	4	
1 Werkstoffkennwerte und Zulassungen	6	1
2 Spannungskennwerte aus Zeitstand-Innendruckversuchen	16	2
3 Zeitabhängiger Elastizitätsmodul (Kriechmodul)	22	3
4 Werkstoffeigenschaften und Belastbarkeiten	28	4
5 Verlegen, Montieren, Druckproben	50	5
6 Schweißen	94	6
7 Nennweitenzuordnung	102	7
8 Toleranzen	106	8
9 Basiseinheiten des Internationalen Einheitensystems (SI)	112	9
10 Erläuterungen	118	10
11 Services	131	11

Profitieren Sie von unserer Dynamik und Leidenschaft – Willkommen bei SIMONA



Hinter jedem Produkt unseres Unternehmens stehen Menschen, die es entwickelt und produziert haben. Unsere Mitarbeiter haben SIMONA mit ihrem Denken, ihrem Handeln und ihrer Leidenschaft geprägt – seit mehr als 150 Jahren.

Heute sind wir einer der weltweit führenden Hersteller von thermoplastischen Kunststoffhalbzeugen.

Produkte für jede Anforderung

SIMONA bietet Ihnen weltweit das breiteste Programm an thermoplastischen Halbzeugen. Unser umfassendes Angebot stellt Ihnen Rohre, Formteile, Armaturen, Platten, Stäbe, Profile, Schweißdrähte und Fertigteile für praktisch jede Ihrer Anwendungen zur Verfügung. Die Werkstoffvielfalt reicht dabei von PE und PP bis zu PVC, PVDF, E-CTFE und PETG. Auf Wunsch entwickeln wir in enger Zusammenarbeit mit Ihnen ein auf Ihre Bedürfnisse abgestimmtes Produkt.

Erstklassige Qualität

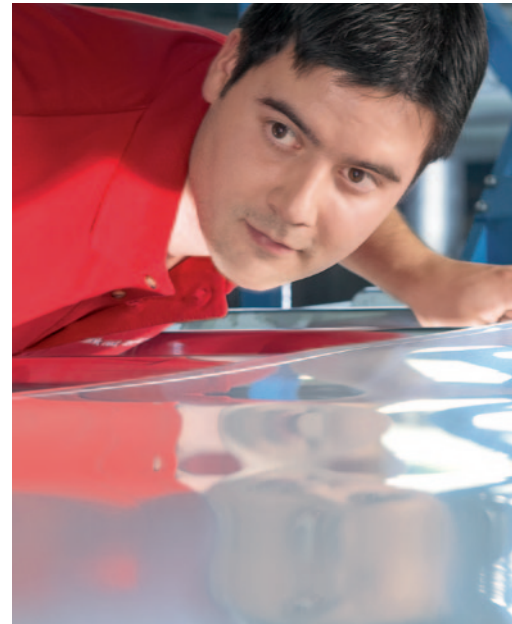
Unsere Produkte und Dienstleistungen garantieren Ihnen ein Höchstmaß an Qualität. Bei der Realisierung Ihrer Projekte legen wir größten Wert auf Professionalität. Dafür steht unser Qualitätsmanagement – darauf können Sie sich verlassen.

Weltweites Vertriebsnetz

Mit einem weltweiten Netz von Tochterunternehmen und Vertriebspartnern kann SIMONA flexibel, schnell und zuverlässig liefern. Wir freuen uns, Ihnen weiterhelfen zu können.

Erstklassige Beratung

Als Kunde stehen Sie im Mittelpunkt unserer Aktivitäten: Von der Entwicklung des Projektes über den Einkauf der Rohstoffe, die Produktion bis zur Projektierung vor Ort stehen wir als beratender Partner an Ihrer Seite. Darüber hinaus stellen wir Ihnen gerne alle Unterlagen zu unseren Produkten zur Verfügung und bieten bei Bedarf spezielle Schulungen an.



Das Qualitäts- und Umweltmanagementsystem der SIMONA AG ist nach DIN EN ISO 9001 : 2008 und DIN EN ISO 14001 : 2005 zertifiziert.

Das Qualitätsmanagementsystem Druckgeräterichtlinie der SIMONA AG ist nach 97/23/EG Anhang I, Absatz 4.3. zertifiziert.



1 Werkstoffkennwerte und Zulassungen

1.1	Werkstoffkennwerte	7
1.1.1	Werkstoffkennwerte PE	8
1.1.2	Werkstoffkennwerte PP	10
1.1.3	Werkstoffkennwerte PVDF und E-CTFE	12

1.2	Zulassungen/Normen	14
------------	---------------------------	-----------

1.3	Zeichenerklärung	15
------------	-------------------------	-----------

1.1 Werkstoffkennwerte



Wir unterziehen unsere Produkte regelmäßigen Prüfungen und Langzeittests. In unserem hauseigenen Labor werden Werkstoffkennwerte und Langzeiteigenschaften permanent geprüft.

Gerne geben wir unser Wissen weiter und führen Untersuchungen in Ihrem Auftrag durch.

1.1.1 Werkstoffkennwerte PE

Neben hervorragender Verarbeitbarkeit besticht Polyethylen (PE) mit guter chemischen Resistenz sowie Zähigkeit und Steifigkeit im Temperaturbereich von -40°C bis $+80^{\circ}\text{C}$. PE ist aufgrund des enthaltenen Rußanteils UV-beständig und somit ideal für den Dauer-einsatz im Außenbereich.

Die neueste Entwicklung in der Familie der Polyethylene auf Basis von PE 100 ist das PE 100 RC (resistant to crack) mit einer verbesserten Eigenschaft gegen langsames Risswachstum.

Das elektrisch leitfähige PE-EL leitet elektrostatische Ladungen ab und verhindert Funkenbildung.



Eigenschaften PE

- sehr gutes hydraulisches Verhalten durch glatte Rohrinnenflächen
- hohe Abriebfestigkeit
- zuverlässige Korrosionsbeständigkeit
- ausgezeichnete Stabilität und Flexibilität
- hervorragende Licht- und Witterungsbeständigkeit
- gute chemische Widerstandsfähigkeit

Eigenschaften PE-EL

- zusätzlich elektrisch leitfähig (gemäß ATEX)

Werkstoffkennwerte	Normen/Richtlinien	PE 80	PE 100	PE 100 RC	PE-EL
Dichte, g/cm ³	ISO 1183	0,950	0,960	0,960	0,990
Streckspannung, MPa	DIN EN ISO 527	22	23	23	26
Dehnung bei Streckspannung, %	DIN EN ISO 527	9	9	9	7
Reißdehnung, %	DIN EN ISO 527	300	600	> 350	60
Zug-E-Modul, MPa	DIN EN ISO 527	800	1100	900	1300
Schlagzähigkeit, kJ/m ²	DIN EN ISO 179	ohne Bruch	ohne Bruch	26	ohne Bruch
Kerbschlagzähigkeit, kJ/m ²	DIN EN ISO 179	12	30	30	6
Kugeldruckhärte, MPa	DIN EN ISO 2039-1	40	40	40	50
Shorehärte, D	ISO 868	63	65	63	67
Mittlerer thermischer Längenausdehnungs-Koeffizient, K ⁻¹	DIN 53752	1,8 · 10 ⁻⁴	1,8 · 10 ⁻⁴	1,8 · 10 ⁻⁴	1,8 · 10 ⁻⁴
Wärmeleitfähigkeit, W/m · K	DIN 52612	0,38	0,38	0,38	0,38
FNCT, Std.	ISO 16770/PAS 1075	> 100	> 300	> 8760	–
Oberflächenwiderstand, Ohm	DIN IEC 167	1 · 10 ¹⁴	1 · 10 ¹⁴	1 · 10 ¹⁴	< 1 · 10 ⁶
Entflammbarkeit	DIN 4102	B2	B2	B2	B2
Physiologische Unbedenklichkeit	nach BfR	ja	ja	ja	nein
Chemische Widerstandsfähigkeit	nach DIN 8075 Beiblatt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt
Temperatureinsatzbereich, °C		–40 bis +80	–40 bis +80	–40 bis +80	–20 bis +60
MRS, MPa	ISO/TR 9082	8	10	10	8
OIT, min	EN 728	30	30	30	30

1.1.2 Werkstoffkennwerte PP

Polypropylen (PP) weist gegenüber PE eine erhöhte Steifigkeit insbesondere im oberen Temperatureinsatzbereich (Temperaturspitzen bis zu +100 °C) aus. Charakteristisch für PP sind die hohe chemische Widerstandsfähigkeit und die guten Langzeiteigenschaften auch bei hohen Temperaturen gegenüber vielen Medien.

Die Sondertypen PP-s und PP-EL-s schützen durch die nachgewiesene Schwerentflammbarkeit im Brandfall. In Kombination mit der elektrischen Leitfähigkeit ist PP-EL-s der ideale Explosionsschutz.



Eigenschaften PP

- hohe Zähigkeit
- sehr gute Resistenz gegenüber vielen Säuren, Laugen und Lösungsmitteln
- höchste Spannungsrisssbeständigkeit
- zuverlässige Korrosionsbeständigkeit

- niedriges Spannungspotenzial durch eine geringe Restspannung
- feines Gefüge und stabile Kristallitstruktur
- hervorragende Verschweißbarkeit aufgrund des feinen, thermodynamisch stabilen Gefüges

Eigenschaften PPs

- zusätzlich schwerentflammbar gemäß DIN 4102 B1

Werkstoffkennwerte	Normen/Richtlinien	PP-H AlphaPlus®	PPs
Dichte, g/cm ³	ISO 1183	0,915	0,950
Streckspannung, MPa	DIN EN ISO 527	33	32
Dehnung bei Streckspannung, %	DIN EN ISO 527	8	8
Reißdehnung, %	DIN EN ISO 527	80	100
Zug-E-Modul, MPa	DIN EN ISO 527	1700	1600
Schlagzähigkeit, kJ/m ²	DIN EN ISO 179	ohne Bruch	ohne Bruch
Kerbschlagzähigkeit, kJ/m ²	DIN EN ISO 179	9	6
Kugeldruckhärte, MPa	DIN EN ISO 2039-1	70	70
Shorehärte, D	ISO 868	72	72
Mittlerer thermischer Längenausdehnungs-Koeffizient, K ⁻¹	DIN 53752	1,6 · 10 ⁻⁴	1,6 · 10 ⁻⁴
Wärmeleitfähigkeit, W/m · K	DIN 52612	0,22	0,22
Durchschlagfestigkeit, kV/mm	VDE 0303-21	52	22
Oberflächenwiderstand, Ohm	DIN IEC 167	10 ¹⁴	10 ¹⁴
Entflammbarkeit	DIN 4102	B2	B1
Physiologische Unbedenklichkeit	nach BfR	ja	nein
Chemische Widerstandsfähigkeit	nach DIN 8075 Beiblatt	erfüllt	erfüllt
Temperatureinsatzbereich, °C		0 bis +100	0 bis +100

1.1.3 Werkstoffkennwerte PVDF und E-CTFE

Polyvinylidenfluorid (PVDF) zählt zu den hochkristallinen thermoplastischen Hochleistungskunststoffen. PVDF weist eine hohe Steifigkeit auch im oberen Temperaturbereich auf. Der Werkstoff ist hervorragend widerstandsfähig gegenüber fast allen organischen und anorganischen Medien sowie physiologisch unbedenklich und ohne weitere Zusätze schwerentflammbar.

PVDF-EL ist mit elektrisch leitfähigen Partikeln ausgerüstet und besitzt einen geringen Oberflächenwiderstand.



Der teilfluorierte Hochleistungswerkstoff Ethylen-Chlortrifluorethylen (E-CTFE) ist extrem chemisch beständig auch im alkalischen Bereich, schwerentflammbar, physiologisch unbedenklich und ausgezeichnet witterungsbeständig.

Eigenschaften PVDF

- hervorragende chemische Widerstandsfähigkeit
- physiologische Unbedenklichkeit (gemäß BfR und FDA)
- hoher Temperatureinsatzbereich
- Schwerentflammbarkeit (gemäß DIN 4102 B1 und FM 4910)
- gutes hydraulisches Verhalten durch glatte Rohinnenflächen
- außergewöhnlich gute Alterungsbeständigkeit

Eigenschaften PVDF-EL

- zusätzlich elektrisch leitfähig

Eigenschaften E-CTFE

- extreme chemische Widerstandsfähigkeit
- physiologische Unbedenklichkeit (gemäß BfR und FDA)
- sehr hoher Temperatureinsatzbereich
- Schwerentflammbarkeit (gemäß DIN 4102 B1)

1

Werkstoffkennwerte	Normen/Richtlinien	PVDF	E-CTFE
Dichte, g/cm ³	ISO 1183	1,780	1,680
Streckspannung, MPa	DIN EN ISO 527	55	31
Dehnung bei Streckspannung, %	DIN EN ISO 527	8	4
Reißdehnung, %	DIN EN ISO 527	30	125
Zug-E-Modul, MPa	DIN EN ISO 527	1950	1650
Schlagzähigkeit, kJ/m ²	DIN EN ISO 179	ohne Bruch	ohne Bruch
Kerbschlagzähigkeit, kJ/m ²	DIN EN ISO 179	12	> 100
Kugeldruckhärte, MPa	DIN EN ISO 2039-1	120	56
Shorehärte, D	ISO 868	78	74
Mittlerer thermischer Längenausdehnungs-Koeffizient, K ⁻¹	DIN 53752	1,3 · 10 ⁻⁴	0,5 · 10 ⁻⁴
Wärmeleitfähigkeit, W/m · K	DIN 52612	0,14	0,15
Durchschlagfestigkeit, kV/mm	VDE 0303-21	25	-
Oberflächenwiderstand, Ohm	DIN IEC 167	10 ⁺³	10 ⁺⁵
Entflammbarkeit	DIN 4102	B1	B1
Physiologische Unbedenklichkeit	nach BfR	ja	ja
Chemische Widerstandsfähigkeit	nach DIN 8075 Beiblatt	erfüllt	erfüllt
Temperatureinsatzbereich, °C		-30 bis +140	-40 bis +150

1.2 Zulassungen/Normen

Zulassungen/Normen

	Maße, allgemeine Güteanforderungen und Prüfungen	Zusätzlich geltende Normen und Richtlinien	Prüfzeichen
Rohre			
PE 80/PE 100 Druckrohre	DIN 8074/8075		DIBt: Z-40.23-311 (für wassergefährdende Flüssigkeiten, §19 WHG)
PE 80/PE 100 Abwasserdruckrohre	DIN 8074/8075	DIN EN 13244	
PE 80/PE 100 Trinkwasserrohre	DIN 8074/8075	DIN EN 12201, DVGW GW 335 – Teil A2	DVGW, WRAS
PE 80/PE 100 Gasrohre	DIN 8074/8075	DIN EN 1555, DVGW GW 335 – Teil A2	DVGW
PE 80 CoEx Kanalrohre	In Anlehnung an DIN 8074/8075	DIN 19537	
PE 80 Hausabflussrohre	DIN 8074/8075	DIN EN 1519	
PE 80/PE 100 SPC-Rohre	Kernrohr in Anlehnung an DIN 8074/8075	DIN 19537, DIN 19533, Schutzmantel nach DIN 4033 (DIN EN ISO 1610)	
PE-EL Druckrohre	DIN 8074/8075		
PP-H Druckrohre	DIN 8077/8078		DIBt: Z-40.23-325 (für wassergefährdende Flüssigkeiten, §19 WHG)
PPs Lüftungsrohre	In Anlehnung an DIN 8077/8078	DIN 4102, Brandschutz- klasse B1	MPA Prüfzeugnis P-BWU03-I-16.5.8 (Schwerentflammbarer Baustoff)
PP-EL-s Lüftungsrohre	In Anlehnung an DIN 8077/8078	UL 94 V-0, Brandschutz- klasse V-0	
PVDF Druckrohre	ISO 10931		DIBt: Z-40.23-323 (für wassergefährdende Flüssigkeiten, §19 WHG) FM-Zulassung (Brandschutz): 3003707, Class Number 4910
E-CTFE Druckrohre	In Anlehnung an ISO 10931		

Formteile

PE 80/PE 100 Spritzgussfittings	DIN 16963		DIBt: Z-40.23-311 (für wassergefährdende Flüssigkeiten, §19 WHG)
PE 80/PE 100 Spritzgussfittings für Trinkwasser	DIN 16963	DIN EN 13244	DVGW, WRAS, PIIP
PE 80/PE 100 Spritzgussfittings für Gas	DIN 16963	DIN EN 12201, DVGW GW 335 – Teil A2	DVGW, PIIP
PE 80/PE 100 Formteile für Abwasserkanäle und -leitungen	DIN 16963	DIN EN 1555, DVGW GW 335 – Teil A2	DVGW
PP Spritzgussfittings	DIN 16962	DIN 19537	DIBt: Z-40.23-311 (für wassergefährdende Flüssigkeiten, §19 WHG)
PVDF Spritzguss	ISO 10931	DIN EN 1519	DIBt: Z-40.23-323 (für wassergefährdende Flüssigkeiten, §19 WHG) FM-Zulassung (Brandschutz): 3003707, Class Number 4910

1.3 Zeichenerklärung

Werkstoffe

PE	Polyethylen
PE-EL	Polyethylen, elektrisch leitfähig
PE RC	Polyethylen, resistant to crack
PP-H	Polypropylen-Homopolymer
PP-R	Polypropylen-Random
PPs	Polypropylen, schwerentflammbar
PP-EL-s	Polypropylen, elektrisch leitfähig, schwerentflammbar
PVDF	Polyvinylidenfluorid
E-CTFE	Ethylen-Chlortrifluorethylen

Normen, Richtlinien

ANSI	American National Standard Institute
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DIN	Deutsche Industrienorm
DVGW	Deutscher Verband für Gas und Wasser
EN	Europäische Norm
FM	Factory Mutual Research
ISO	International Standardization Organisation
TÜV	Techn. Überwachungsverein Süddt.
WRAS	Water Regulations Advisory Scheme

Abkürzungen, Maße und Dimensionen

d	Rohraußendurchmesser
DN	Nennweite
e	Wandstärke
kg	Kilogramm pro Stück
kg/m	Kilogramm pro Meter
m	Meter
mm	Millimeter
NPT	Rohraußen-, -innengewinde, konisch
PN	Nenndruck
R	Rohraußengewinde, zylindrisch
Rp	Rohrinnengewinde, zylindrisch
SDR	Standard Dimension Ratio (entspr. dem Rohraussendurchmesser dividiert durch die Wandstärke)
SF	Sicherheitsfaktor

Zusatzstoffe (Dichtungen)

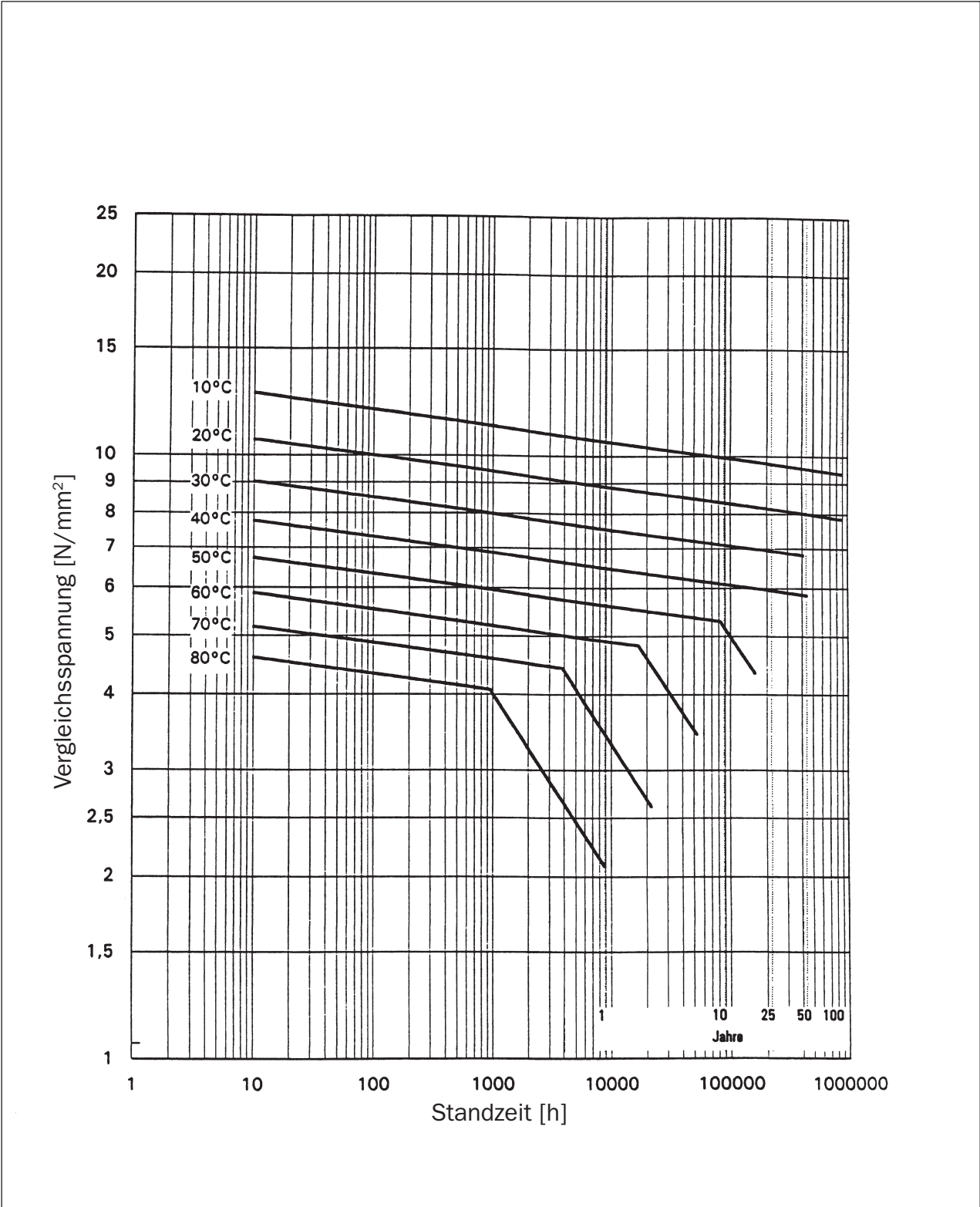
EPDM	Ethylen-Propylen-Kautschuk
FPM	Fluor-Kautschuk
NBR	Nitril-Kautschuk

Alle Maße im Lieferprogramm sind in mm angegeben.
Technische Änderungen vorbehalten.

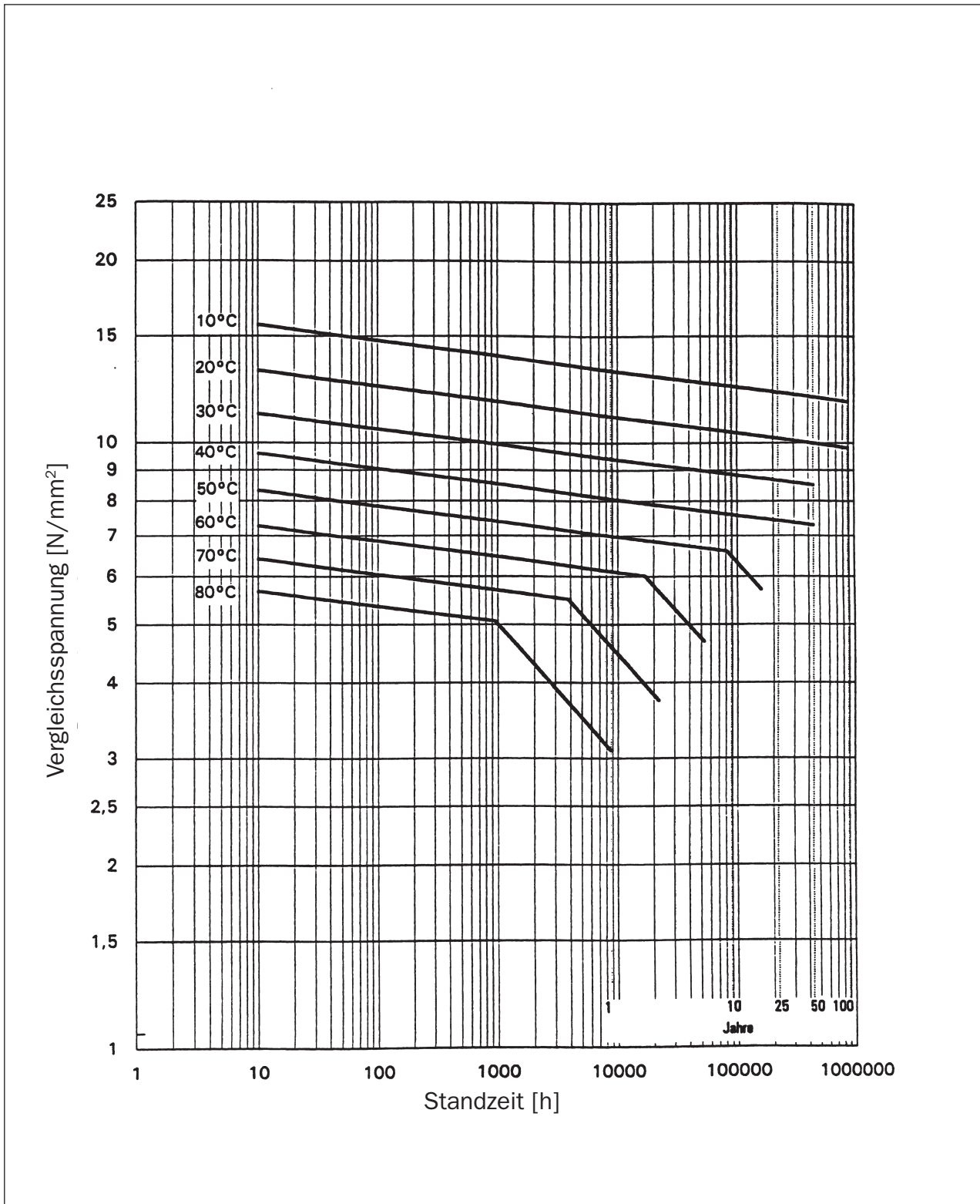
2 Spannungskennwerte aus Zeitstand-Innendruckversuchen

2.1	Innendruck-Zeitstandkurven für Rohre aus PE 80	17
2.2	Innendruck-Zeitstandkurven für Rohre aus PE 100	18
2.3	Innendruck-Zeitstandkurven für Rohre aus PP-H	19
2.4	Innendruck-Zeitstandkurven für Rohre aus PP-R	20
2.5	Innendruck-Zeitstandkurven für Rohre aus PVDF	21

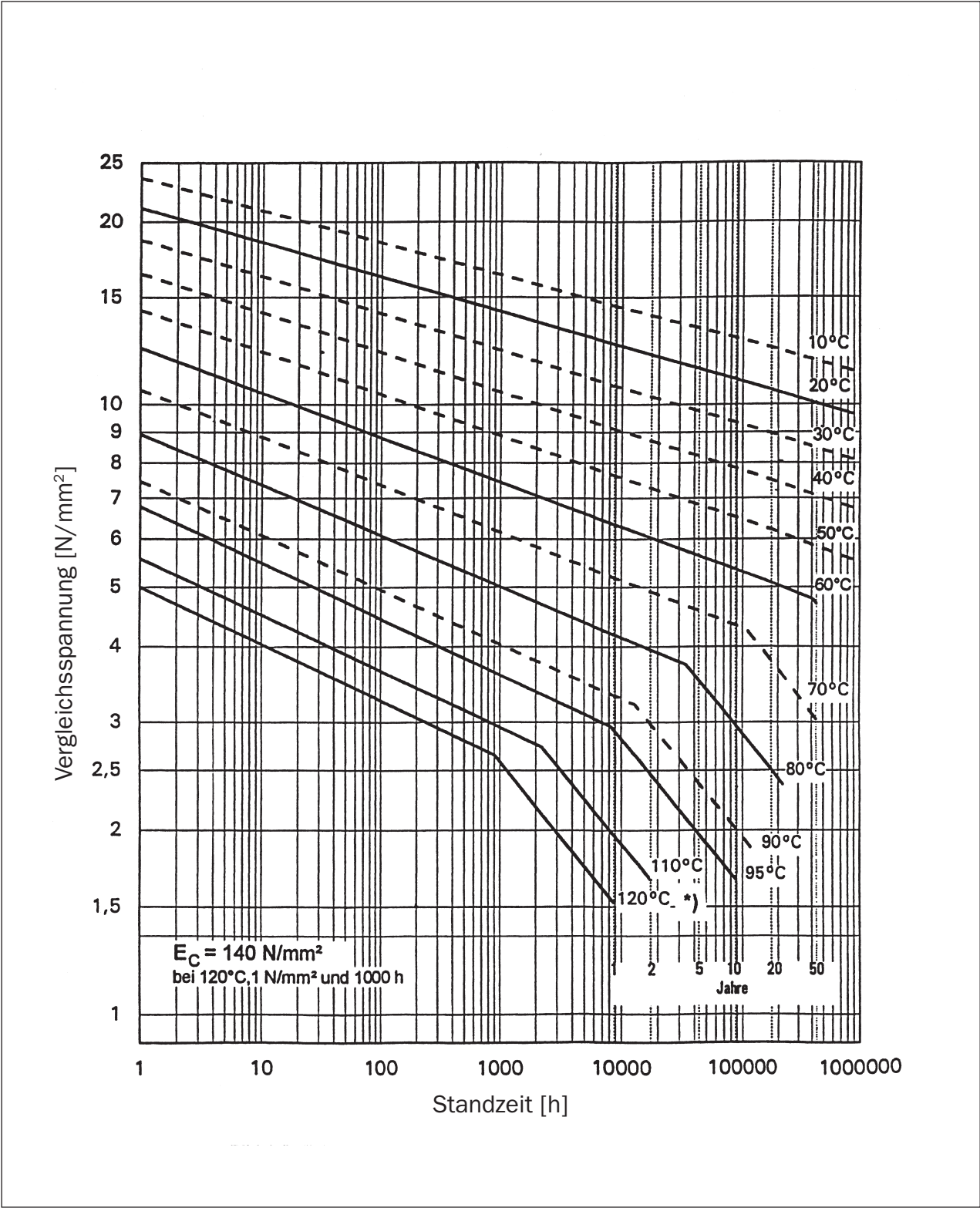
2.1 Innendruck-Zeitstandkurven für Rohre aus PE 80



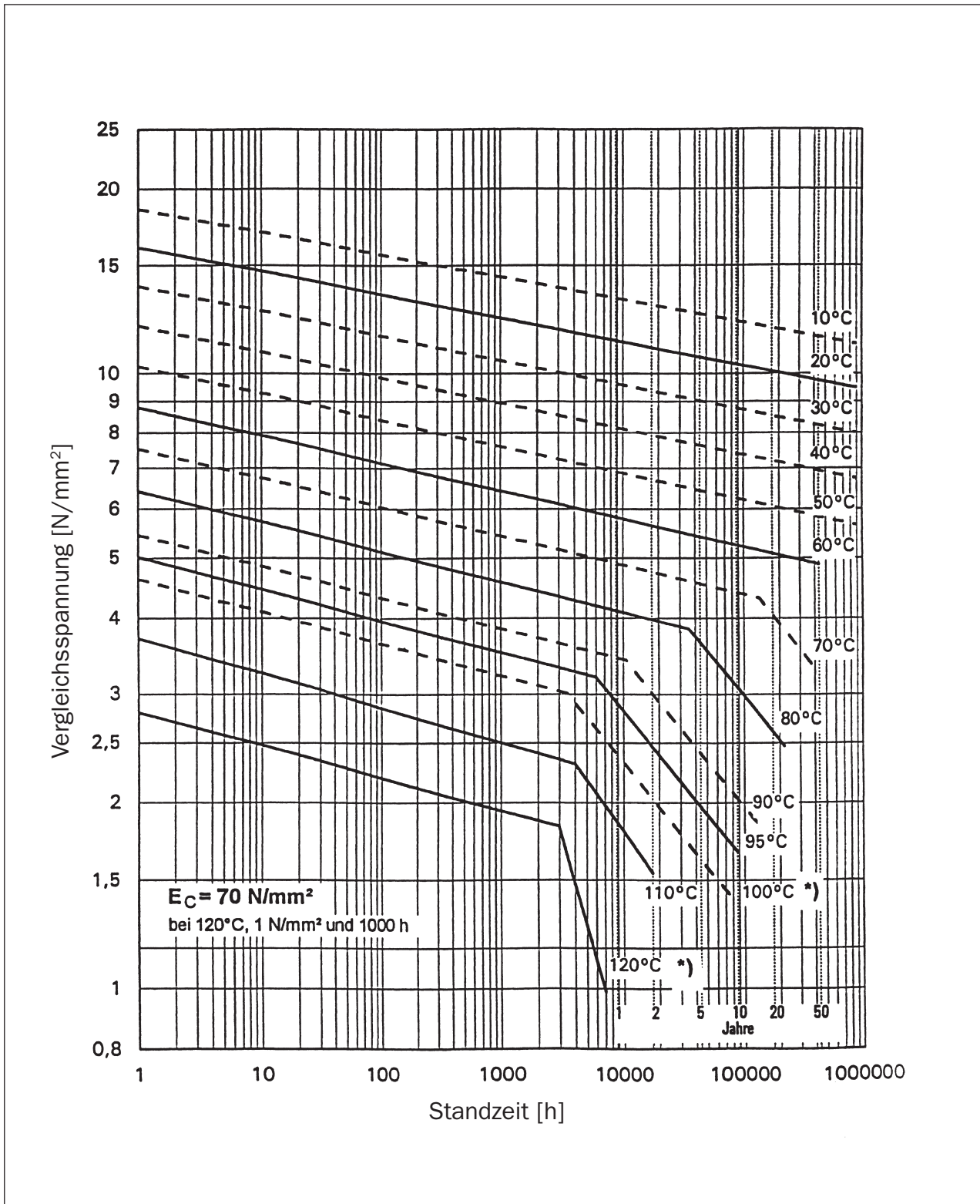
2.2 Innendruck-Zeitstandkurven für Rohre aus PE 100



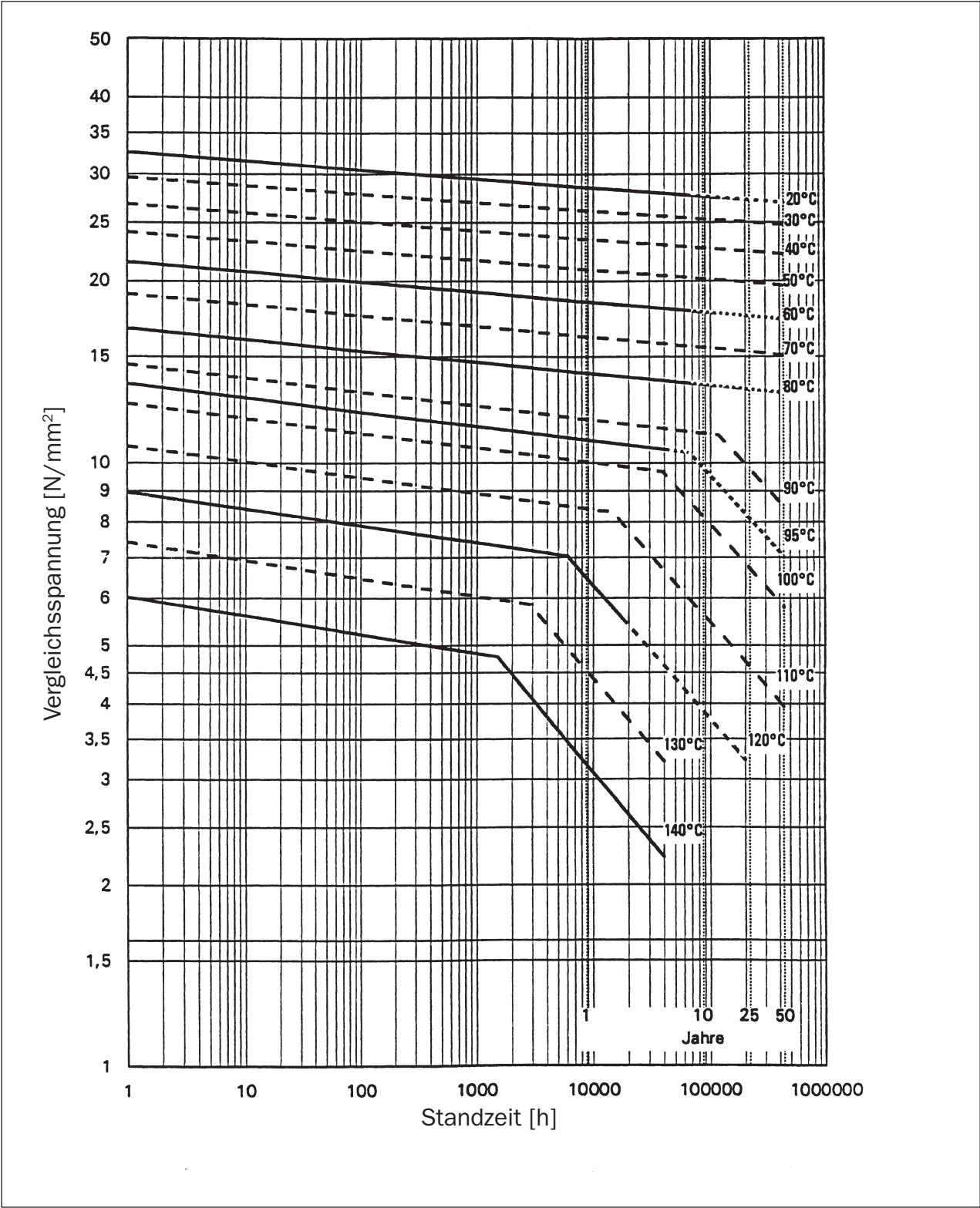
2.3 Innendruck-Zeitstandkurven für Rohre aus PP-H



2.4 Innendruck-Zeitstandkurven für Rohre aus PP-R



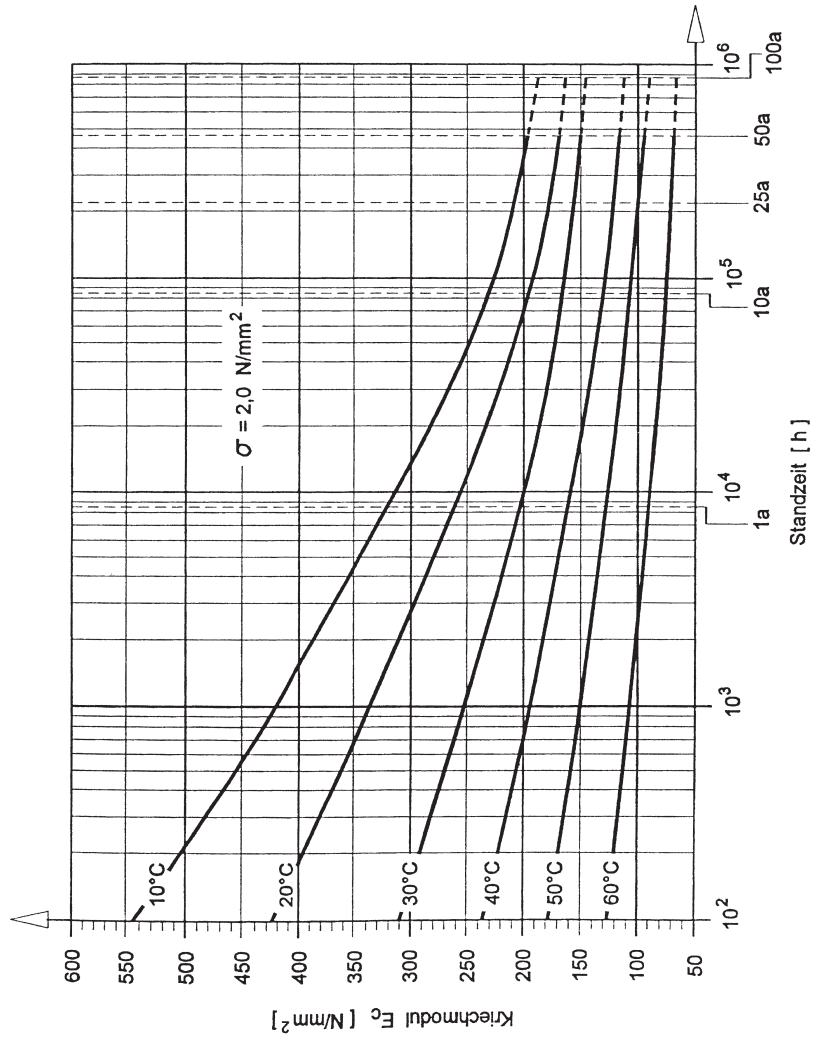
2.5 Innendruck-Zeitstandkurven für Rohre aus PVDF



3 Zeitabhängiger Elastizitätsmodul (Kriechmodul)

3.1	Kriechmodul für PE 80/PE 100	23
3.2	Kriechmodul für PP-H	24
3.3	Kriechmodul für PP-R	25
3.4	Kriechmodul für PVDF	26

3.1 Kriechmodul für PE 80/PE 100



Umrechnungsfaktoren für den Spannungsbereich	
$\sigma = 0,5$ N/mm ²	1,20
$\sigma = 1,0$ N/mm ²	1,08
$\sigma = 2,0$ N/mm ²	▶ 1,00 ◀
$\sigma = 3,0$ N/mm ²	0,78
$\sigma = 4,0$ N/mm ²	0,70
$\sigma = 5,0$ N/mm ²	0,60

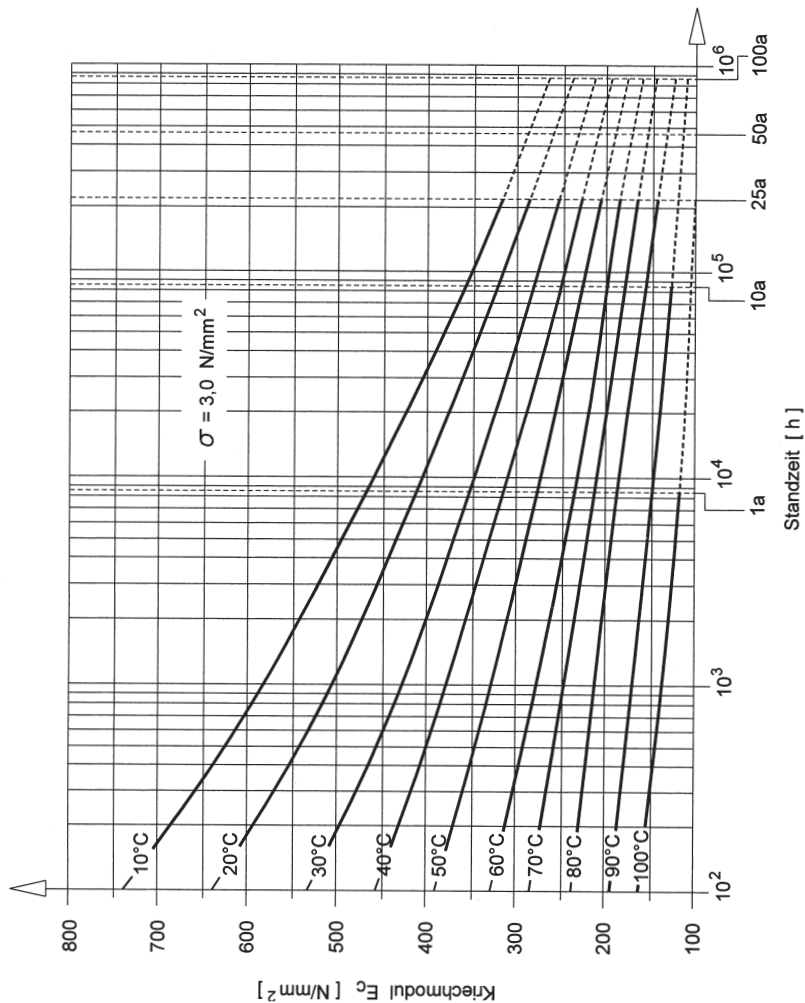
E - Modul [N/mm ²]			
Spalte	1	2	
Temperatur	E_{kz}	$10^{-1}h$	E_c 100 min
≤ 10°C	1100	850	850
20°C	800	630	630
30°C	550	450	450
40°C	390	325	325
50°C	270	230	230
60°C	190	160	160

Hinweis :
 Werte in Spalte 1 aus DVS 2205-2, Tabelle 6.
 Die Angaben in Spalte 2 stellen extrapolierte Werte zwischen $E_{kz}(10^{-1}h)$ und $E_{Lz}(1\text{ Jahr})$ nach DVS 2205-1 dar.

3.2 Kriechmodul für PP-H

Umrechnungsfaktoren für den Spannungsbereich	
$\sigma = 0,5 \text{ N/mm}^2$	1,16
$\sigma = 1,0 \text{ N/mm}^2$	1,10
$\sigma = 2,0 \text{ N/mm}^2$	1,05
$\sigma = 3,0 \text{ N/mm}^2$	▶ 1,00 ◀
$\sigma = 4,0 \text{ N/mm}^2$	0,96
$\sigma = 5,0 \text{ N/mm}^2$	0,92

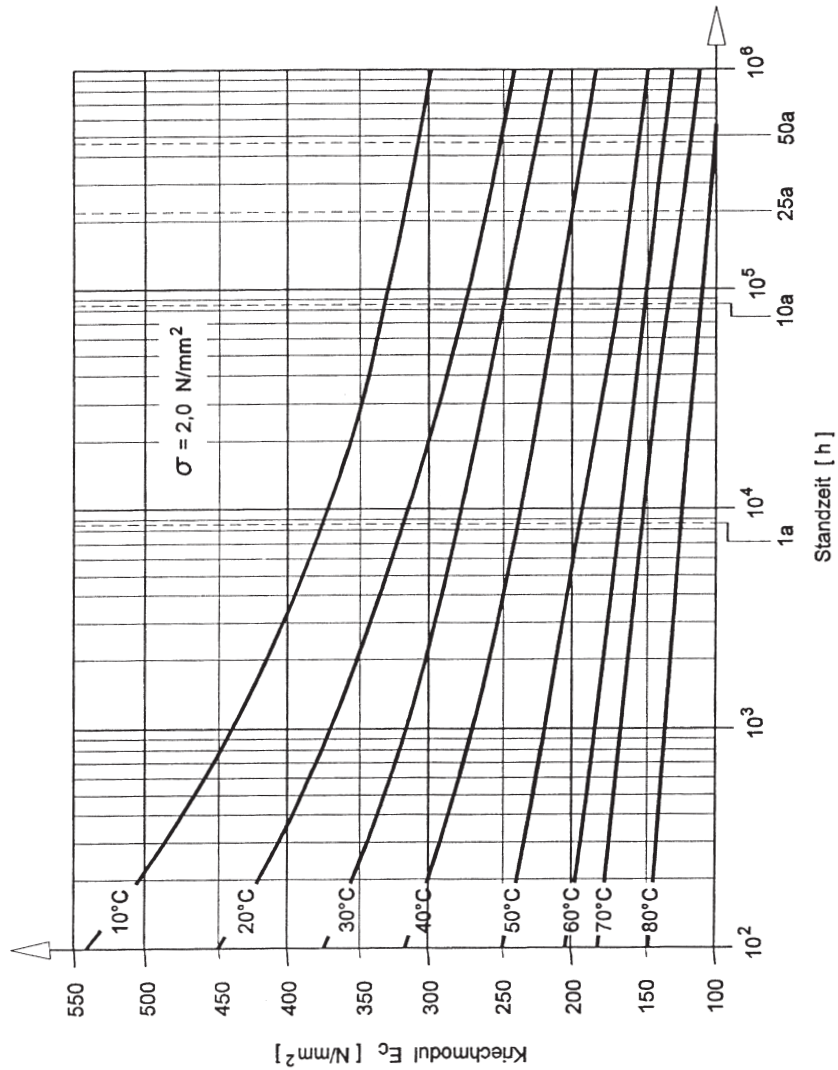
E - Modul [N/mm ²]		
Spalte	1	2
Temperatur	$E_{Kz} 10^{-1} \text{ h}$	$E_C 100 \text{ min}$
≤ 10°C	1400	1130
20°C	1200	980
30°C	960	780
40°C	770	650
50°C	620	525
60°C	500	430
70°C	400	350
80°C	320	280
90°C	270	235
100°C	225	200



Hinweis :

Werte bis 80 °C in Spalte 1 aus DVS 2205-2, Tabelle 6.
Die Angaben in Spalte 2 stellen extrapolierte
Werte zwischen $E_{Kz} (10^{-1} \text{ h})$ und $E_{Lz} (1 \text{ Jahr})$
nach DVS 2205-1 dar.
Bei Berechnungen mit $T \geq 80 \text{ °C}$, ist die zeitabhängige
Wärmealterung besonders zu beachten.

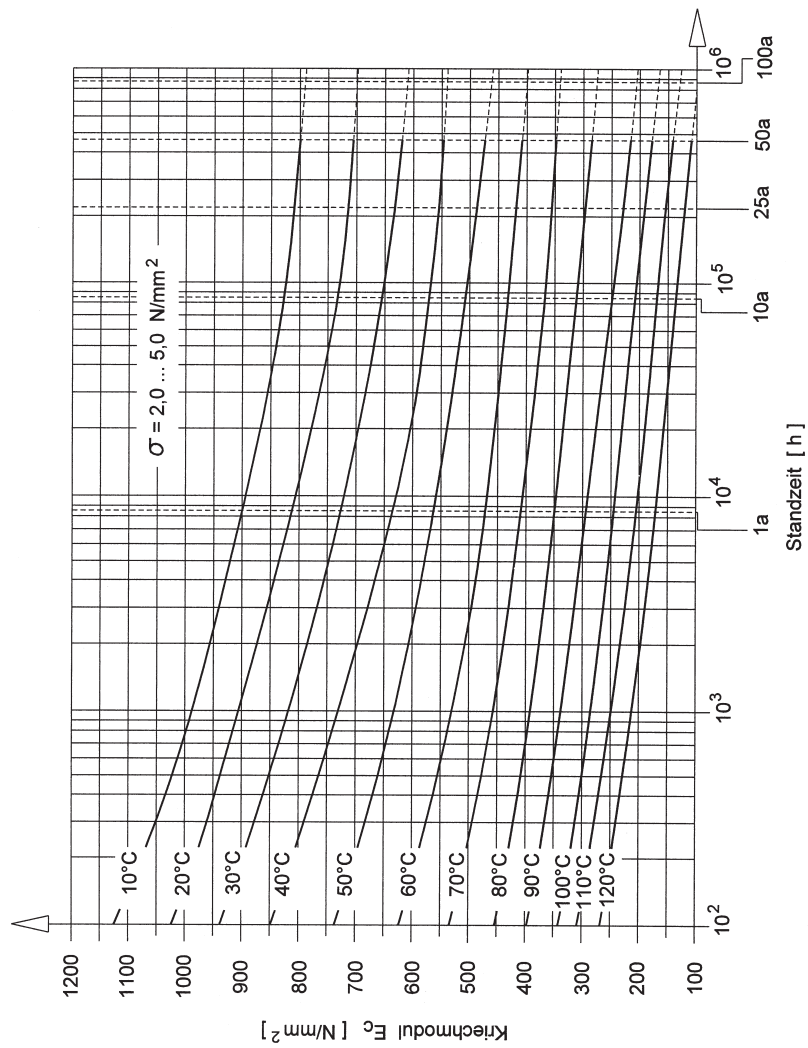
3.3 Kriechmodul für PP-R



E - Modul [N/mm ²]		
Spalte	1	2
Temperatur	$E_{kz} \cdot 10^{-1} \text{ h}$	$E_c \text{ 100 min}$
≤ 10°C	1000	800
20°C	800	650
30°C	620	515
40°C	490	420
50°C	380	320
60°C	300	260
70°C	230	210
80°C	180	170

Hinweis :
 Werte in Spalte 1 aus DVS 2205-2, Tabelle 6.
 Die Angaben in Spalte 2 stellen extrapolierte
 Werte zwischen $E_{kz}(10^{-1} \text{ h})$ und $E_{Lz}(1 \text{ Jahr})$
 nach DVS 2205-1 dar.

3.4 Kriechmodul für PVDF



E - Modul [N/mm ²]		
Spalte	1	2
Temperatur	$E_{KZ} 10^{-1} h$	$E_C 100 min$
≤ 10°C	1900	1540
20°C	1700	1390
30°C	1515	1255
40°C	1330	1110
50°C	1190	980
60°C	1050	850
70°C	935	750
80°C	820	650
90°C	735	570
100°C	650	505
110°C	580	455
120°C	505	395

Hinweis :
 Werte in Spalte 1 aus DVS 2205-2, Tabelle 6.
 Die Angaben in Spalte 2 stellen extrapolierte
 Werte zwischen $E_{KZ}(10^{-1} h)$ und $E_{LZ}(1 Jahr)$
 nach DVS 2205-1 dar.

4 Werkstoffeigenschaften und Belastbarkeiten

4.1	Werkstoffeigenschaften	29
4.1.1	Chemische Widerstandsfähigkeit	29
4.1.2	Strahlenbeständigkeit	29
4.1.3	Brandverhalten	29
4.1.4	Witterungsbeständigkeit	30
4.1.5	Wasseraufnahme	30
4.1.6	Physiologische Unbedenklichkeit	31
4.1.7	Beständigkeit gegenüber Nagetieren und Mikroorganismen	31
4.1.8	Elektrische Leitfähigkeit	31

4.2	Belastbarkeiten	33
4.2.1	Der Elastizitätsmodul und seine Bedeutung bei der Dimensionierung	33
4.2.2	Ermittlung der zulässigen Spannungen	34
4.2.3	Belastungsfall: Innerer Überdruck	36
4.2.4	Belastungsfall: Innerer Unterdruck bzw. äußerer Überdruck	42

4.1 Werkstoffeigenschaften

4.1.1 Chemische Widerstandsfähigkeit

Die Polyolefine PE-HD und PP verhalten sich in ihrer Widerstandsfähigkeit sehr ähnlich. Sie sind beständig gegen verdünnte, wässrige Lösungen von Salzen, Säuren und Alkalien.

Bis 60 °C sind die Werkstoffe gegen sehr viele Lösungsmittel einsetzbar. In Verbindung mit höheren Temperaturen werden sie von aromatischen und halogenierten Kohlenwasserstoffen gelöst.

Rohre aus PVC sind gegen verdünnte und konzentrierte Säuren und Laugen, Mineral- und Pflanzenöle, Alkohol und aliphatische Kohlenwasserstoffe widerstandsfähig. Aromatische und Chlorkohlenwasserstoffe sowie Ester und Ketone lösen an.

PVDF ist gegen die meisten anorganischen Chemikalien, Säuren, Salze und Laugen – auch in hohen Konzentrationen und bei hohen Temperaturen – widerstandsfähig. Die Beständigkeit gegen aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe, organische Säuren, Alkohole und Aromate ist ausgezeichnet. Manche Ketone, heiße, hochkonzentrierte Alkalien, rauchende Schwefelsäure, Amine sowie Pyridin greifen PVDF an. Dimethylformamid und Dimethylacetamid lösen PVDF.

Bei der Wahl des geeigneten Werkstoffes für einen konkreten Einsatzzweck wird die chemische Widerstandsfähigkeit zu beachten sein. Diese ist abhängig von

- dem Medium,
- der Konzentration,
- der Temperatur,
- den Herstellungsbedingungen des Fertigteils und
- der Belastung.

Unsere sehr umfangreichen Erfahrungen mit über 3.000 Medien sind als komfortable CD-Version erhältlich (SIMONA® SIMCHEM). Dort finden Sie detaillierte Antworten auf ihre Fragen.

4.1.2 Strahlenbeständigkeit

Die Wirkung energiereicher Strahlen auf Kunststoffe ist nur von der Dosis, nicht aber von der Strahlenart abhängig (Ausnahme: sehr schwere Teilchen). Bei Bestrahlung mit Luft als Umgebungsmedium ergeben sich wesentlich kürzere Standzeiten als unter Ausschluss des Luftsauerstoffes. Wichtig allein ist die Dosisleistung, die Sie als Richtwert aus der folgenden Tabelle entnehmen können.

Tabelle 1: Dosierungsleistung

Werkstoff	Höchstzulässige Dosis ~ Mrad [Ⓞ]	Dosis bei Langzeitbeanspruchung ~ Mrad [Ⓞ]
PE-HD	10,0	1,0
PP	3,0	0,1
PVC	60,0	6,0
PVDF	40,0	20,0

[Ⓞ] 10⁴ J/kg = 1 Mrad

Zur Größenordnung sei erwähnt, dass die für Menschen tödliche Dosis bei circa 0,0006 Mrad liegt. In Räumen, in denen der dauernde Aufenthalt von Menschen gestattet ist, können demnach praktisch alle Kunststoffe verwendet werden.

4.1.3 Brandverhalten

Gemäß der DIN 4102 wird unterschieden in

- nicht brennbare Baustoffe (Klasse A) und
- brennbare Baustoffe (Klasse B).

Tabelle 2: Beurteilung des Brandverhaltens

Werkstoff	Brandverhalten nach DIN 4102 Klasse	Fremdentzündungstemp. nach ASTM 1929 °C	Sauerstoffindex nach ASTM 2863 %	Bewertung ^① nach UL 94 Klasse	Bewertung nach DIN 53438 Klasse	
PE-HD (PE 80/PE 100)	B2	340	18		F2	K2
PE-EL	B2	340	18		F2	K2
PP-H	B2	345	18		F2	K2
PP-R	B2	345	18		F2	K2
PPs	B1	> 390	28		F1	K1
PVDF	B1	> 390	78	V-0	F1	K1

① Einstufung SIMONA

Kunststoffe sind ohne Ausnahme zur letzteren Klasse zu zählen. Zur weiteren Unterscheidung wird eingestuft in

- B 1 schwerentflammbar,
- B 2 normalentflammbar,
- B 3 leichtentflammbar.

Eine weitere Orientierung für das Brandverhalten ist mit dem Sauerstoffindex (siehe Tabelle 2 auf Seite 30 oben) gegeben. Diese Zahl gibt die Mindestsauerstoffkonzentration in der Verbrennungsatmosphäre an, die für eine stetige Verbrennung notwendig ist. Bei Werten unter 20,8% Sauerstoffgehalt in der Atmosphäre ist eine Entzündung und ein Weiterbrennen nach Entfernen der Zündquelle möglich.

4.1.4 Witterungsbeständigkeit

Bei längerem Einsatz beziehungsweise längerer Lagerung im Freien werden die meisten Natur- und Kunststoffe unter der Einwirkung von Witterungseinflüssen, insbesondere durch UV-Anteile im Sonnenlicht unter Beteiligung des Luftsauerstoffes, geschädigt. Es tritt eine Verfärbung und eine Minderung der mechanischen Eigenschaften auf, die den Gebrauchswert im Laufe der Zeit beeinträchtigen kann.

Diese Tatsache trifft besonders zu auf nicht speziell für den Außeneinsatz stabilisiertes

- PE-HD natur und farbig (Ausnahme schwarz),
- PP natur und farbig, zum Beispiel grau,
- PPs grau.

Eine sehr gute Witterungsbeständigkeit zeigt ohne zusätzliche UV-Stabilisatoren

- PVDF natur und farbig.

Mit speziellen UV-Stabilisatoren (Sonderfertigung) kann der Lichtschutzfaktor bei eingefärbtem Material gegenüber naturfarbigem Material um etwa den Faktor 4 gesteigert werden. Eine weitere Steigerung wird durch Zugabe bestimmter Rußtypen erreicht. Hieraus ergibt sich eine ausgezeichnete Witterungsstabilität für

- PE-HD schwarz,
- PE-EL schwarz.

4.1.5 Wasseraufnahme

Die Werkstoffe

- PE-HD,
- PP und
- PVDF

sind wasserabweisend. Eine Quellung und somit eine Änderung der Dimensionsstabilität erfolgt nicht. Bei der Prüfung nach DIN 53495 (Wasserlagerung) wird eine geringfügige Wasseraufnahme festgestellt. Diese beruht lediglich auf Adsorption von Feuchtigkeitsspuren an der Oberfläche.

4.1.6 Physiologische Unbedenklichkeit

Kontakt mit Lebensmitteln

Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) Berlin regelt in seinen Empfehlungen die Zulässigkeit der Werkstoffe. In einer Positivliste wird vorgegeben, welche Stoffe – gegebenenfalls in eingeschränkter Konzentration – der zulässige Werkstoff beinhalten darf. Demzufolge sind SIMONA® Rohre aus

- PE-HD und
- PP

für den Kontakt mit Lebensmitteln geeignet.

Der Werkstoff

- PVDF

wurde bisher vom BfR noch nicht beurteilt. Nach Aussage des Rohstoffproduzenten sind keine Stoffe enthalten, die im Kontakt mit Lebensmitteln diese negativ beeinflussen.

Die Werkstoffe

- PE-EL und
- PPs

sind für den Kontakt mit Lebensmitteln nicht geeignet.

Kontakt mit Trinkwasser

Zur Beurteilung der Zulässigkeit werden die KTW-Empfehlungen (Kunststoff-Trinkwasser-Empfehlungen) des BfR herangezogen. Die im Kontakt mit Lebensmitteln geeigneten Werkstoffe erfüllen mit ihrer stofflichen Zusammensetzung diese Empfehlung. Bei

Rohren aus PP ist eine Geruchsbildung kurzzeitig möglich.

4.1.7 Beständigkeit gegen Nagetiere und Mikroorganismen

Von Nagetieren weiß man, dass sie ihre Zähne durch Benagen von möglichst harten Gegenständen zu schärfen versuchen. Das trifft auch auf Holz, weiche Metalle und Kunststoffe zu, die weder vom Geschmack noch vom Geruch zum Fressen anreizen. Die glatte, runde Oberfläche der Rohre ist jedoch störend, da sie den Zähnen nicht genügend Halt gibt. Daher gibt es kaum Nageversuche an Rohren beziehungsweise an der Oberfläche von ebenen Platten.

Die von SIMONA vertriebenen Rohrwerkstoffe dienen Mikroorganismen (Bakterien, Pilzen, Sporen) nicht als Nährboden und werden deshalb von diesen nicht angegriffen. Das bezieht sich auch auf sulfatreduzierende Bakterien.

4.1.8 Elektrische Leitfähigkeit

Die Werkstoffe

- PE-HD,
- PP und
- PVDF

sind wie alle anderen Kunststoffe in die Gruppe der elektrisch isolierenden Stoffe einzuordnen. Darunter sind alle Werkstoffe zu verstehen, deren spezifischer Durchgangswiderstand größer als $10^6 \text{ Ohm} \cdot \text{cm}$ ist. Die genannten Werkstoffe liegen in der Größenordnung von etwa $10^{15} \text{ Ohm} \cdot \text{cm}$. Für den Anwender ist der Oberflächenwiderstand wichtig. Wird der Wert von 10^9 Ohm überschritten, so ist das Material als elektrostatisch aufladbar einzustufen.

WERKSTOFFKENNWERTE

Im Kunststoffrohrleitungsbau ist die elektrostatische Aufladung dann zu vermeiden, wenn elektrisch nicht leitende Medien befördert oder die Leitungen in explosionsgefährdeten Räumen verlegt werden sollen. Der Transport von zündfähigen Gasen oder Flüssigkeiten ist nur dann ohne Gefahr, wenn das System geschlossen und geerdet ist. Außerdem läßt sich durch reduzierte Fördergeschwindigkeit die Aufladungsgefahr vermindern.

Zündfähige Gemische in Räumen, in denen Kunststoffrohrleitungen verlegt werden sollen, lassen sich durch gute Belüftung oder Absaugung vermeiden. Eine weitere Gegenmaßnahme besteht darin, dass die Luft ionisiert und somit die elektrostatische Aufladung des Kunststoffes verhindert wird. Da oberhalb 65% relativer Luftfeuchtigkeit elektrostatische Aufladungen kaum entstehen, ist oftmals durch Erhöhung der Luftfeuchtigkeit eine weitere Lösung gegeben.

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, elektrisch nicht leitfähige Kunststoffe durch geeignete Additive leitfähig zu machen. Nachträgliche Änderungen der elektrischen Leitfähigkeit (Durchgangswiderstand) sind nicht möglich. Rohre aus elektrisch leitfähigem PE 80 – SIMONA® PE-EL – befinden sich im Standardprogramm unseres Unternehmens und sind in vielen Abmessungen als Lagerware verfügbar.

Eine spezielle Anfertigung von Rohren aus elektrisch leitfähigem PP oder PVDF ist möglich, jedoch im Zusammenhang mit der benötigten Menge zu sehen. Für die beiden genannten Werkstoffe erbitten wir bei Bedarf Ihre Anfrage.

4.2 Belastbarkeiten

4.2.1 Der Elastizitätsmodul und seine Bedeutung bei der Dimensionierung

Der Elastizitätsmodul E ist eine werkstoffspezifische Größe und kennzeichnet den Zusammenhang zwischen Spannung σ und Dehnung ϵ in einem Bauteil. Seine experimentelle Ermittlung erfolgt unter einachsiger Belastung, wobei die Probekörper sowohl reiner Zug- als auch Biegezugbeanspruchung ausgesetzt sein können. Der Elastizitätsmodul besitzt die gleiche Einheit wie die Spannung und lässt sich als Steigung der HOOKESCHEN Geraden im Spannungs-Dehnungs-Diagramm (σ - ϵ -Diagramm) interpretieren.

Das HOOKESCHE Gesetz für den einachsigen Spannungszustand lautet:

$$\sigma = E \cdot \epsilon,$$

umgestellt ergibt sich der Elastizitätsmodul mit:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}.$$

Die wesentliche Bedeutung des Elastizitätsmoduls liegt darin, dass bei bekannten Belastungen beziehungsweise Spannungen die resultierende Verformung ermittelt werden kann. Umgekehrt kann aus Verformungen, unter Zuhilfenahme von Dehnungsmessstreifen, auf die einwirkende Spannung beziehungsweise Belastung geschlossen werden.

Zeitabhängiger Elastizitätsmodul (Kriechmodul)

Anstelle des bei Metallen üblichen Elastizitätsmoduls wird bei thermoplastischen Kunststoffen der zeit-, temperatur- und spannungsabhängige Kriechmodul E_c angegeben. Beim Kriechmodul handelt es sich, wie beim Elastizitätsmodul, um den Quotienten aus Spannung und Gesamtdehnung. Der Proportionalitätsbereich zwischen Spannung und Dehnung (HOOKESCHES Gesetz) ist beim Elastizitätsmodul nur bei Kurzzeitbelastung ausgeprägt, bei langzeitiger Beanspruchung muss er aus dem Verhältnis der zeitlich konstanten Spannungen zu den zeitabhängig

zunehmenden Dehnungen ermittelt werden (Kriechmodul).

Die Vorgehensweise zur rechnerischen Bestimmung des für eine Dimensionierung zutreffenden (zulässigen) Kriechmoduls bei thermoplastischen Kunststoffen ist ähnlich wie bei der Spannung. Neben der Zeit- und Temperaturabhängigkeit ist der Einfluss des Durchflussstoffes auf den Kriechmodul sowie die Spannungsabhängigkeit von Bedeutung. Die Berücksichtigung einer angemessenen Sicherheit bei der Bestimmung des zulässigen Kriechmoduls ist vorzunehmen.

Bei Berechnungen mit dem Kriechmodul ist die Belastungsart (Zug oder Biegung) zu beachten, da je nach Aufgabenstellung unterschiedliche Werte einzusetzen sind. Die Elastizitätsmodule aus Zugbelastung sind größer als bei Biegebeanspruchung.

Differenzierung zwischen Elastizitäts- und Kriechmodul

Für Belastungen, welche nur kurzzeitig wirksam werden, ist der Kurzzeit-Elastizitätsmodul E_{KZ} , für solche die langfristig wirken, der Langzeit-Elastizitätsmodul E_{LZ} , das heißt der Kriechmodul E_c zu verwenden. Der Kriechmodul ist der maßgebliche Kennwert zur Berechnung von Verformungen, was insbesondere für die Ermittlung der Durchbiegung von Rohren zwischen zum Beispiel einzelnen Rohraufgestellen (Auflagerabstand) gilt.

Stabilitätsfälle, wie das Beulen eines Rohres bei innerem Unterdruck, sind unter Verwendung des Kurzzeit-Elastizitätsmoduls zu untersuchen. Die Einbindung von E_{KZ} in den Berechnungsgang ist aus dem plötzlichen (kurzzeitigen) Beulvorgang abzuleiten, der zur Instabilität der Rohrleitung führt. Die entsprechenden Angaben zum Kurzzeit-Elastizitätsmodul sind der

Tabelle in den SIMONA Diagrammen Kap. 3.1 bis 3.4 (Seiten 23–26) zu entnehmen. Ein Beispiel zur Ermittlung der Beulsicherheit enthält Abschnitt 4.2.4.

Beim Knicken eines Rohrstranges unter axialem Druck spielen insbesondere die Führungsabstände sowie die Imperfektionen des Rohrstabes (Vorbiegung) eine Rolle, der Elastizitäts- beziehungsweise Kriechmodul hat dagegen keine Bedeutung. Einzelheiten zur Ermittlung von Rohrführungs- und Befestigungsabständen können dem Abschnitt 5.3 entnommen werden.

Ein weiteres Dimensionierungskriterium, bei dem der Kriechmodul Verwendung findet, ist die Festpunktbelastung bei axialer Einspannung einer Rohrleitung (siehe Abschnitt 5.3). Bei Ermittlung der Festpunktbelastung ist davon auszugehen, dass Temperaturunterschiede im Rohrsystem eine bestimmte Zeit benötigen, um Längenänderungen auszulösen. Werden die Längenänderungen durch Festpunkte unterdrückt, so kommt es abhängig vom Kriechmodul und der Temperaturdifferenz zu Druck- oder Zugbelastungen.

Bei solchen Berechnungen ist der Kriechmodulwert für $t = 100 \text{ min}$ [$E_{C(100 \text{ min})}$] in die Gleichung für die Festpunktbelastung einzusetzen. Die entsprechenden Angaben für $E_{C(100 \text{ min})}$ sind der Tabelle in den SIMONA Diagrammen Kap. 3, Seiten 23–26 zu entnehmen. Ein Beispiel zur Ermittlung der Festpunktkräfte enthält Kap. 10 (Bsp. [6] und [7]).

Der werkstoffabhängige Kriechmodul für die thermoplastischen Kunststoffe PE-HD, PP und PVDF kann unter Zuhilfenahme der SIMONA Kriechmodulschaubilder für eine bestimmte Temperatur und eine Standzeit zwischen 100 h und 100 a aus der jeweiligen Kurve (Mittelwerte) entnommen werden.

Bestimmen des zulässigen Elastizitäts- beziehungsweise Kriechmoduls

Die Ermittlung des für einen bestimmten Anwendungsfall zulässigen (maßgeblichen) Elastizitäts- bzw. Kriechmoduls muss neben der Temperatur-, Zeit- und Spannungsabhängigkeit die Wirkung des Durchflusstoffes sowie eine ausreichende Sicherheit gegenüber ungenauen Angaben zu den Betriebsbedingungen berücksichtigen. Als Sicherheitsfaktor wird $S \geq 1,1$ empfohlen. Daraus folgt (siehe Kap. 10 Bsp. [1]):

$$\text{zul } E_{C(KZ,LZ)} = \frac{E_{(T,t,\sigma)}}{A_2 \cdot SF}$$

In der vorstehenden Gleichung bedeuten:

- zul $E_{C(KZ,LZ)}$ = zulässiger Elastizitätsmodul in Abhängigkeit zur Belastungsdauer [N/mm²]
 - $E_{(T,t,\sigma)}$ = Elastizitätsmodul aus SIMONA Diagramm Kap. 3.1 bis 3.4 [N/mm²]
 - A_2 = Abminderungsfaktor für den Durchflusstoff[Ⓢ] [-]
 - SF = Sicherheitsfaktor (Abstand zur Grenzdehnung, gemäß DVS 2205, Teil 1, Tabelle 1) [-]
- [Ⓢ] Die Größe des Abminderungsfaktors A_2 kann der SIMONA® SIMCHEM oder den DIBt-Medienlisten entnommen werden.

4.2.2 Ermittlung der zulässigen Spannungen

Festigkeitsberechnungen zu Kunststoffrohrleitungen sind grundsätzlich auf der Basis von Langzeit-Kennwerten vorzunehmen. Die Langzeit-Kennwerte müssen auf die rechnerische Mindeststandzeit (Lebensdauer) der Rohrleitung bezogen werden. Folgende rechnerische Mindeststandzeiten sind üblich:

- 10 Jahre Behälter und Apparate im Anlagenbau
- 25 Jahre Rohrleitungen im Anlagenbau
- 50 Jahre Rohrleitungen im Bereich der Versorgungswirtschaft

In besonderen Fällen kann die Berechnung für eine geringere Standzeit erfolgen. Dies muss jedoch mit dem Betreiber der Rohrleitung ausdrücklich vereinbart

sein. Eine Verringerung der rechnerischen Mindeststandzeiten für Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen wassergefährdender Stoffe (LAU-Anlagen) ist nicht möglich.

Werkstoffkennwerte aus Innendruck-

Zeitstandkurven

Die Festigkeitskennwerte für thermoplastische Behälter und Rohrleitungen können in Abhängigkeit zur Betriebstemperatur aus SIMONA Zeitstandschaubildern oder den Rohrgrundnormen sowie der Richtlinie DVS 2205-1 mit ihren Beiblättern entnommen werden. Mit Zuhilfenahme der Zeitstandschaubilder ist es möglich, den Festigkeitskennwert für eine bestimmte Temperatur und Standzeit aus einer Mindestkurve abzugreifen. Der Festigkeitskennwert K wird üblicherweise auf das Verhalten eines Werkstoffes unter einachsiger Belastung bei 20 °C bezogen (zum Beispiel Streckgrenze von Stahl unter Zugbelastung).

Die Zeitstandschaubilder für thermoplastische Kunststoffe zeigen die Festigkeit von ungeschweißten Rohren unter Innendruckbelastung (zweiachsiger Spannungszustand), wobei die Kurven die Vergleichsspannung σ_v darstellen. Die sachgerechte Anwendung der Zeitstandschaubilder wird in Zusammenhang mit dem nachfolgenden Beispiel erläutert.

Bestimmen der zulässigen Spannung

Die zulässige Spannung zur festigkeitsabhängigen Dimensionierung von thermoplastischen Rohrleitungen basiert auf den Vergleichsspannungen σ_v , die sich aus den Innendruck-Zeitstandkurven ergeben. Die zulässige Umfangsspannung wird wie folgt ermittelt (siehe Kap. 10 Bsp. [2]):

$$\sigma_{zul(u)} = \frac{\sigma_v}{A_2 \cdot A_4 \cdot SF}$$

In der vorstehenden Gleichung bedeuten:

- $\sigma_{zul(u)}$ = zulässige Umfangsspannung^① [N/mm²]
- σ_v = Festigkeitskennwert aus Zeitstandschaubilder [N/mm²]
- A_2 = Abminderungsfaktor für den Durchflussstoff^② [-]
- A_4 = Abminderungsfaktor für den Zähigkeitseinfluss des Werkstoffes [-]
- SF = Sicherheitsfaktor [-]

① Für die gewählte Temperatur und Standzeit.

② Die Größe des Abminderungsfaktors A_2 kann der SIMONA® SIMCHEM oder den DIBt-Medienlisten entnommen werden.

Hinweis: Für die Ermittlung der Umfangsspannung hat der Füge- bzw. Schweißfaktor der Rohrverbindung keinen Einfluss, da die Spannungsrichtung parallel zur Fügeebene liegt. Bei in Achsrichtung wirkenden Spannungen (zum Beispiel Zug- und Biegezugspannungen) ist der Fügefaktor f_s zu berücksichtigen, weil die Spannungen senkrecht zur Fügeebene wirken.

Der Fügefaktor ist in die vorstehende Gleichung so einzusetzen, dass die Vergleichsspannung um den Faktor $f_s < 1,0$ gemindert wird. Daraus ergibt sich die zulässige Längsspannung (Zug-, Druckspannung; siehe Kap. 10 Bsp. [2]) mit:

$$\sigma_{zul(l)} = \frac{\sigma_v \cdot f_s}{A_2 \cdot A_4 \cdot SF}$$

In der vorstehenden Gleichung bedeuten:

- $\sigma_{zul(l)}$ = zulässige Längsspannung [N/mm²]
- f_s = Füge- bzw. Schweißfaktor [-]

Einzelheiten zur Festlegung der jeweiligen Faktoren und Beiwerte sind der Richtlinie DVS 2205-1 zu entnehmen.

4.2.3 Belastungsfall: Innerer Überdruck

Rohrleitungen werden in den meisten Fällen durch einen inneren Überdruck beansprucht. Angaben zur zulässigen Innendruckbeanspruchung von thermoplastischen Kunststoffrohrleitungen finden sich in den Rohrgrundnormen, dargestellt in Abhängigkeit zur Betriebstemperatur und zur Standzeit.

Wird eine Rohrleitung einem inneren Überdruck ausgesetzt, so entstehen im Rohrquerschnitt Umfangs- und Längsspannungen (Axialspannungen). Betrachtet man die Spannungen hinsichtlich ihrer Größe, so ist festzustellen, dass die Umfangsspannung etwa doppelt so hoch ist wie die Längsspannung.

Aus diesem Grund erfolgt die Dimensionierung von Rohren, egal welchen Werkstoffes, generell für Innendruckbelastung unter Beachtung der zulässigen Umfangsspannung. Die nachfolgenden SIMONA Diagramme (Seiten 37ff.) zeigen in anschaulicher Darstellung, wie der zulässige Innendruck mit zunehmender Betriebstemperatur (Rohrwandtemperatur) absinkt, also von der Temperatur abhängig ist.

Bei der Darstellung ist darauf zu achten, dass die zulässigen Betriebsüberdrücke lediglich für eine rechnerische Standzeit (Lebensdauer) von 25 Jahren Gültigkeit besitzen. Soll die Rohrleitung für eine andere Standzeit ausgelegt werden, muss der Betriebsüberdruck bei gleichbleibender Betriebstemperatur verändert werden. Angaben dazu sind den Rohrgrundnormen des jeweiligen Werkstoffes zu entnehmen.

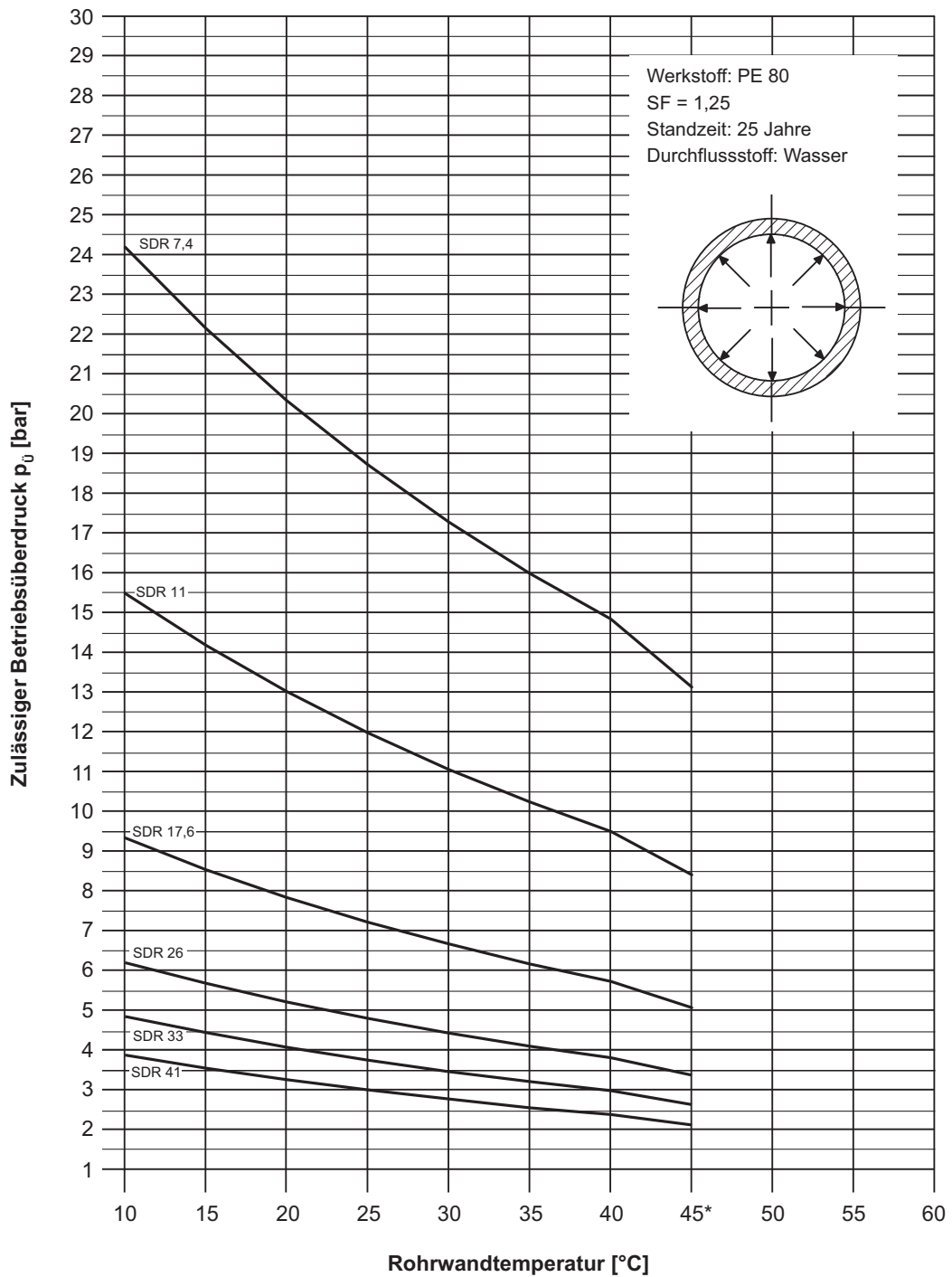
Die Festlegung der Standzeit auf 25 Jahre ist bei Industrierohrleitungen üblich, bei Rohrleitungen in der Versorgungswirtschaft (zum Beispiel für Gas und

Wasser) gelten Standzeiten von ≥ 50 Jahren. Der Unterschied in der Standzeitbetrachtung lässt sich im Wesentlichen dadurch erklären, dass bei Industrierohrleitungen selten eine gleichmäßige Belastung aus der Betriebstemperatur vorkommt. Hingegen kann bei Trinkwasser eine annähernd konstante Temperatur zwischen 10°C bis 20°C angenommen werden, was automatisch zu einer Verlängerung der Standzeit bei Nenndruckbelastung führt.

Trotz der höheren Betriebstemperatur und den häufigen Temperaturschwankungen muss die Industrierohrleitung in der Lage sein, einen sicheren Transport der Durchflusstoffe über den Zeitraum von mindestens 25 Jahren zu gewährleisten.

Bei der Anwendung der SIMONA Diagramme ist zu beachten, dass die Angaben zur Standzeit nur dann zutreffen, wenn die Rohrleitung von Wasser und anderen Stoffen durchströmt wird, welche auf die mechanischen Eigenschaften des Rohrwerkstoffes keine Wirkung haben. Die Wirkung des Durchflusstoffes auf den Rohrwerkstoff wird unter Laborbedingungen ermittelt und in Form eines Abminderungsfaktors A_2 angegeben. Hinweise zum A_2 -Faktor sind der SIMONA® SIMCHEM zu entnehmen (siehe Kap 10 Bsp. [3]).

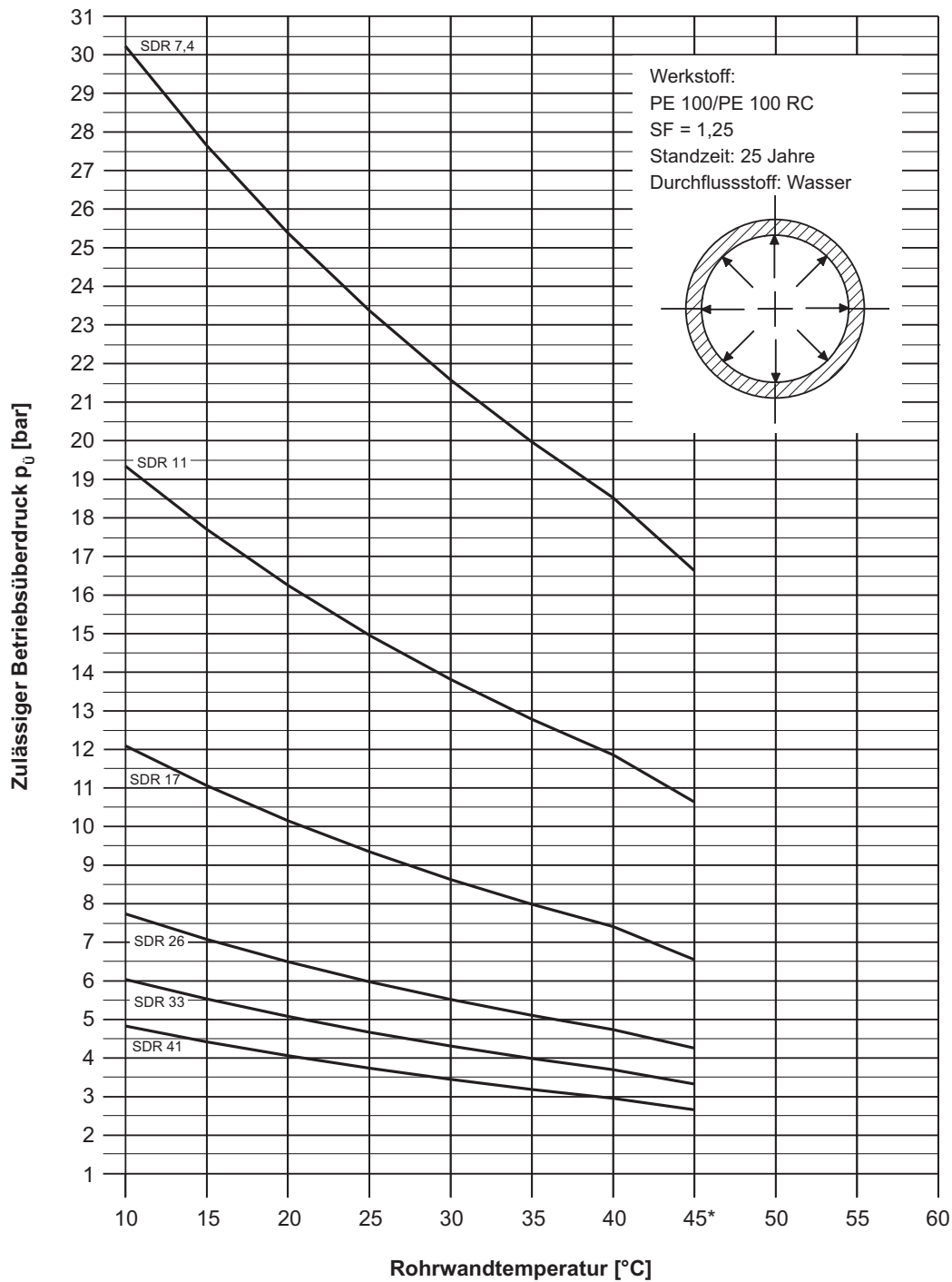
Belastbarkeit von Kunststoffrohrleitungen bei innerem Überdruck
Werkstoff: PE 80
SDR 41/33/26/17,6/11/7,4
SF = 1,25



Hinweis: Höhere Temperaturen bei geringeren Standzeiten möglich (siehe DIN EN 8074)

* Die Temperatur-Zeit-Grenze liegt bei 25 Jahren, da diese im wesentlichen durch Phänomene der Thermoxydation bestimmt wird

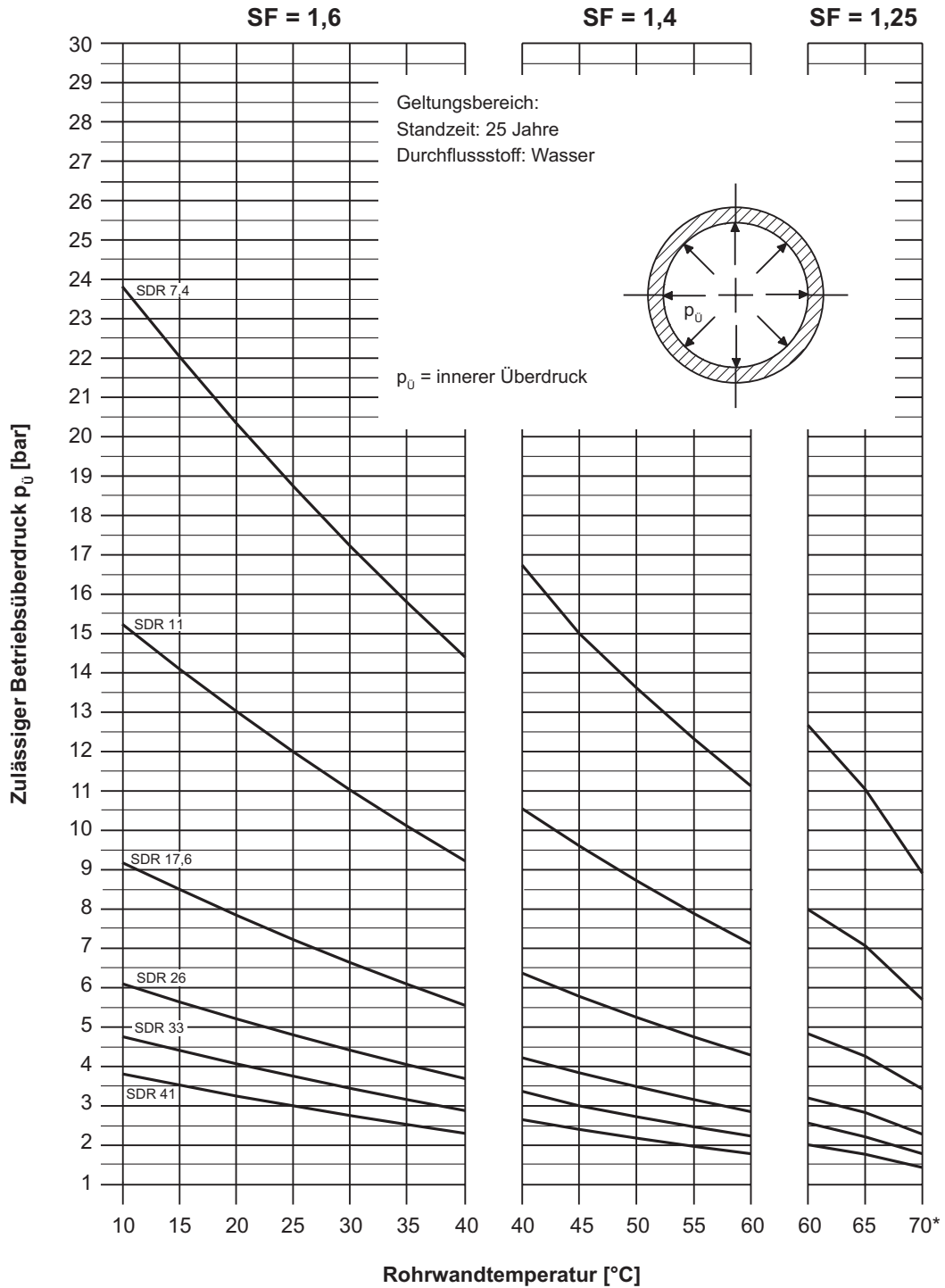
Belastbarkeit von Kunststoffrohrleitungen bei innerem Überdruck
Werkstoff: PE 100/PE 100 RC
SDR 41/33/26/17/11/7,4
SF = 1,25



Hinweis: Höhere Temperaturen bei geringeren Standzeiten möglich (siehe DIN EN 8074)

* Die Temperatur-Zeit-Grenze liegt bei 25 Jahren, da diese im wesentlichen durch Phänomene der Thermoxydation bestimmt wird

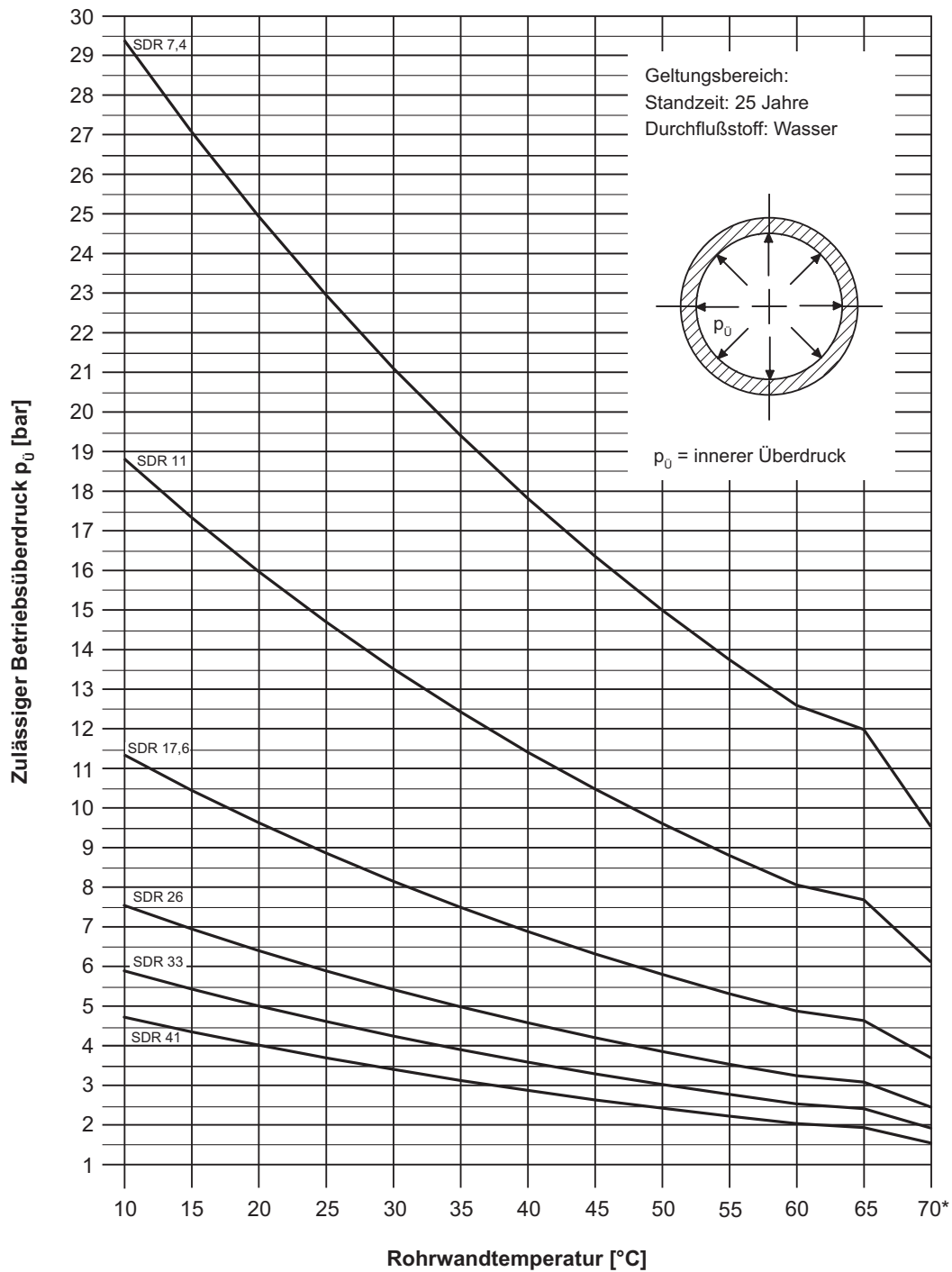
Belastbarkeit von Kunststoffrohrleitungen bei innerem Überdruck
Werkstoff: PP-H
SDR 41/33/26/17,6/11/7,4
SF = 1,25/1,4/1,6



Hinweis: Höhere Temperaturen bei geringeren Standzeiten möglich (siehe DIN EN 8077)

* Die Temperatur-Zeit-Grenze liegt bei 25 Jahren, da diese im wesentlichen durch Phänomene der Thermoxydation bestimmt wird

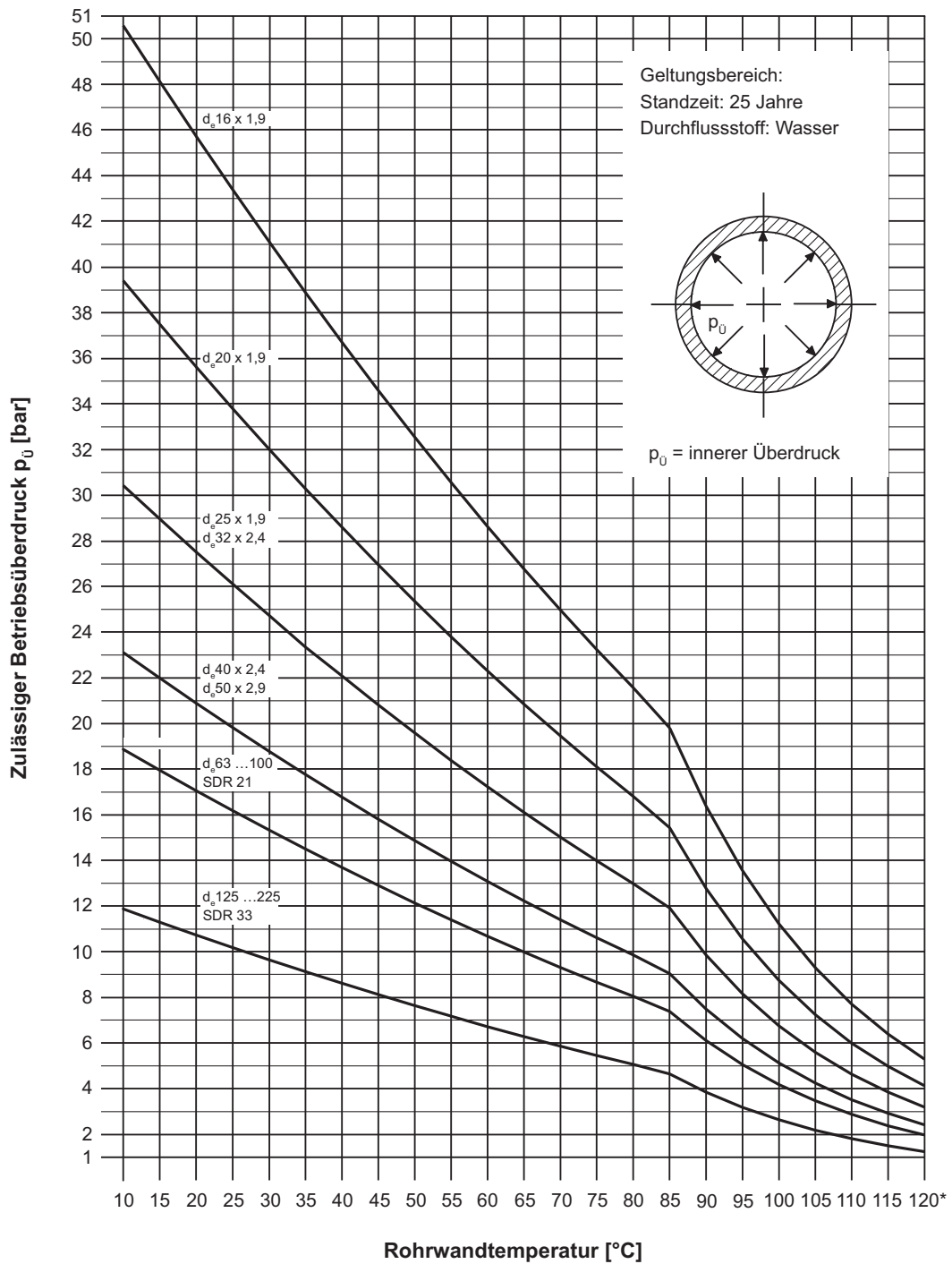
Belastbarkeit von Kunststoffrohrleitungen bei innerem Überdruck
Werkstoff: PP-R
SDR 41/33/26/17,6/11/7,4
SF = 1,25



Hinweis: Höhere Temperaturen bei geringeren Standzeiten möglich (siehe DIN EN 8077)

* Die Temperatur-Zeit-Grenze liegt bei 25 Jahren, da diese im wesentlichen durch Phänomene der Thermoxydation bestimmt wird

Belastbarkeit von Kunststoffrohrleitungen bei innerem Überdruck
Werkstoff: PVDF
SF = 1,6



Hinweis: Höhere Temperaturen bei geringeren Standzeiten möglich (siehe DIN EN ISO 10931)

* Nutzungsdauer auf 25 Jahre begrenzt wegen Wärmealterung

4.2.4 Belastungsfall: Innerer Unterdruck beziehungsweise äußerer Überdruck

Bei Rohrleitungen, welche durch inneren Unterdruck beziehungsweise äußeren Überdruck beansprucht werden, neigt die Rohrwand zum elastischen Beulen. Ist die Beanspruchung groß genug, so kann es auch zu plastischen Verformungen kommen.

Der Belastungsfall Beulen unterliegt weniger einer Festigkeitsbetrachtung, sondern ist als Stabilitätskriterium anzusehen, bei dem die Rohrleitung einem kurzzeitigen Versagen in radialer Richtung ausgesetzt ist. In den Grundnormen für Kunststoffrohre finden sich keine Angaben zur zulässigen Unterdruckbeanspruchung.

Wird die Rohrleitung einer entsprechenden Belastung ausgesetzt, so entstehen wie bei innerer Überdruckbeanspruchung im Rohrquerschnitt Umfangs-, Längs- und Radialspannungen. Die Spannungsrichtung verhält sich umgekehrt zur Beanspruchung aus innerem Überdruck.

Da der innere Unterdruck maximal die Größe des atmosphärischen Druckes ($p_u \leq 1033 \text{ mbar}$) annehmen kann, bleiben in diesem Fall die Spannungen gering. Anders verhält es sich bei äußerer Überdruckbelastung, zum Beispiel bei Rohrleitungen, die unter Wasser betrieben werden. Ein Spannungsnachweis wird allgemein nicht geführt, da in der Regel das Versagen durch Instabilität der Kreisschale auftritt. Lediglich bei dünnwandigen Lüftungsrohren muss die Spannung zwischen möglichen Versteifungselementen untersucht werden.

Die Längsspannungen (Druckspannungen) aus innerem Unterdruck beziehungsweise äußerem Überdruck werden bei axial eingespannten Rohrstrecken durch

zusätzliche Druckspannungen aus verhinderter Wärme- dehnung überlagert. Hierdurch steigt die Gefahr der Instabilität (Beulen) gegenüber axial beweglichen Rohr- strecken.

Aus vorgenannten Gründen konzentriert sich die Dimensionierung von Rohren bei Unterdruckbean- spruchung fast ausschließlich auf den Nachweis der Beulsicherheit. Die Beulsicherheit ist wie folgt zu interpretieren:

$$S_{\text{beul}} = \frac{p_{\text{kritisch}}}{p_{\text{vorhanden}}} \geq 2 \text{ } \textcircled{1}$$

In der vorstehenden Gleichung bedeuten:

- p_{kritisch} = Unterdruck beziehungsweise äußerer Über- druck, bei dem das Rohr zu beulen beginnt [mbar, bar]
- $p_{\text{vorhanden}}$ = Unterdruck beziehungsweise äußerer Über- druck, der in der Rohrleitung auftreten kann [mbar, bar]

$\textcircled{1}$ Wird ein rechnerischer Nachweis geführt, der die Unrundheit der Rohre nicht explizit berücksichtigt, so ist für $S_{\text{beul}} \geq 2,5$ vorzusetzen.

Der kritische Beuldruck langer Rohre (Rohrstrecken) bei Unterdruck- beziehungsweise äußerer Überdruck- belastung lässt sich annähernd genau nach folgender Gleichung ermitteln (siehe Kap. 10 Bsp. [4]):

$$p_{\text{krit}} = \frac{2 \cdot E_{\text{kz}}}{1 - \mu^2} \cdot \frac{e^3}{d_e^3} \cdot 10$$

In der vorstehenden Gleichung bedeuten:

- p_{krit} = kritischer Beuldruck [bar]
- d_e = Rohraußendurchmesser [mm]
- e = Rohrwanddicke [mm]
- E_{kz} = Kurzzeit-Elastizitätsmodul bei max T_B [N/mm²]
- μ = Querkontraktionszahl = 0,38 [-]
- 10 = Faktor zur Einheitenkohärenz von [N/mm²] auf [bar]

Die nachfolgenden SIMONA Diagramme (Seiten 44– 49) zeigen die zulässige Unterdruckbeanspruchung für axial eingespannte Rohrstrecken. Auf eine

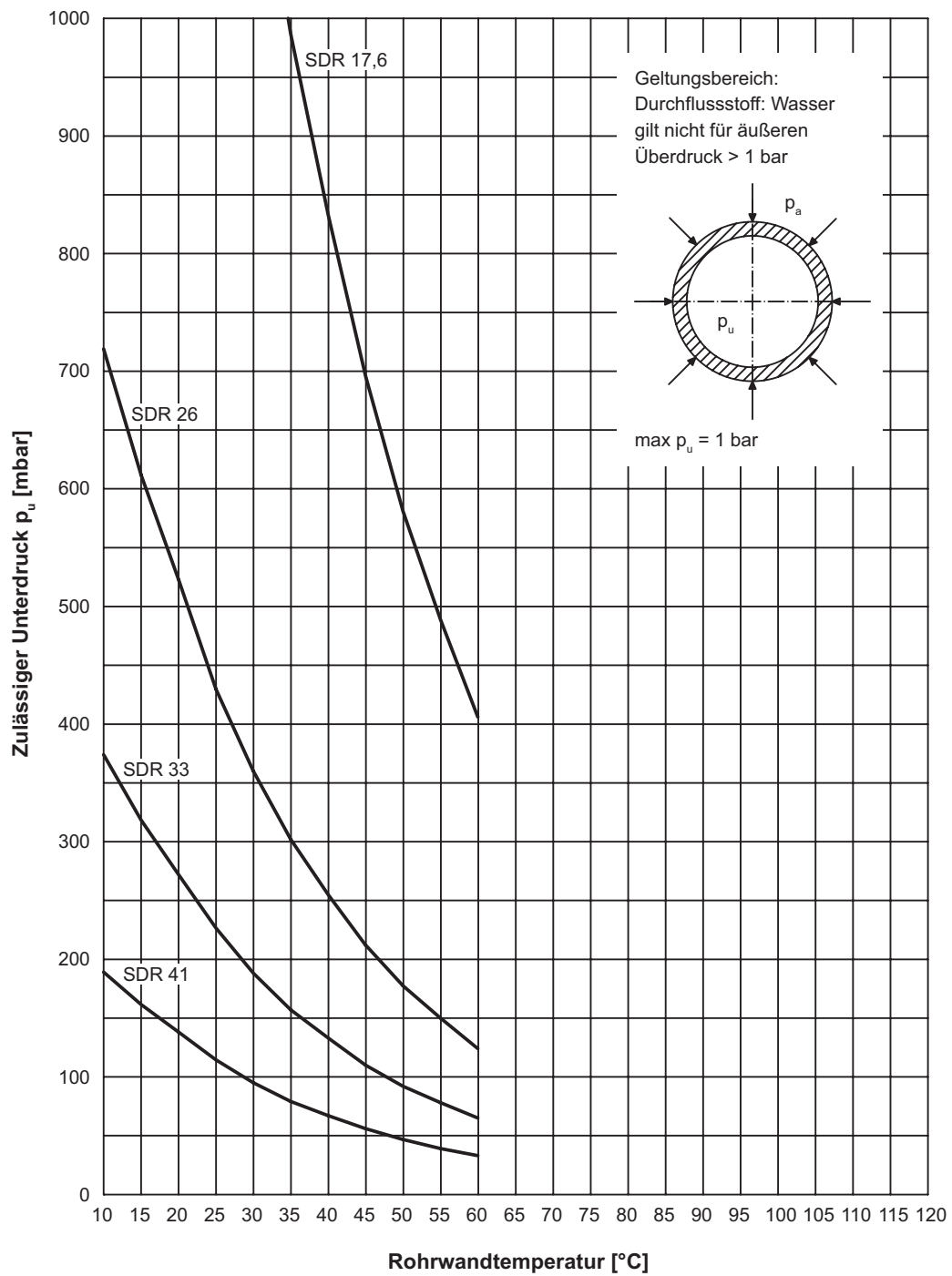
Unterscheidung zu axial beweglichen Rohrstrecken wurde verzichtet, da bei der Verlegung die Längsbeweglichkeit nicht immer sichergestellt werden kann.

Alle Kurven machen deutlich, dass sich der zulässige Unterdruck mit der Betriebstemperatur (Rohrwandtemperatur) ändert. Eine Abhängigkeit der zulässigen Unterdruckbeanspruchung von der rechnerischen Standzeit besteht nicht, das heißt Beulen kann zu jedem Zeitpunkt auftreten, wobei für das Versagen besonders die Höhe des ständigen beziehungsweise plötzlich auftretenden Unterdruckes und der für die maximale Betriebstemperatur geltende Kurzzeit-Elastizitätsmodul maßgebend sind.

Bei einer rechnerischen Betrachtung des Belastungsfalles „Innerer Unterdruck/Äußerer Überdruck“ ist die Summe der axialen Druckspannungen dem zulässigen Spannungswert gegenüberzustellen. Die Kombination von axialem und radialem Druck ist in Form einer Interaktion zu bewerten.

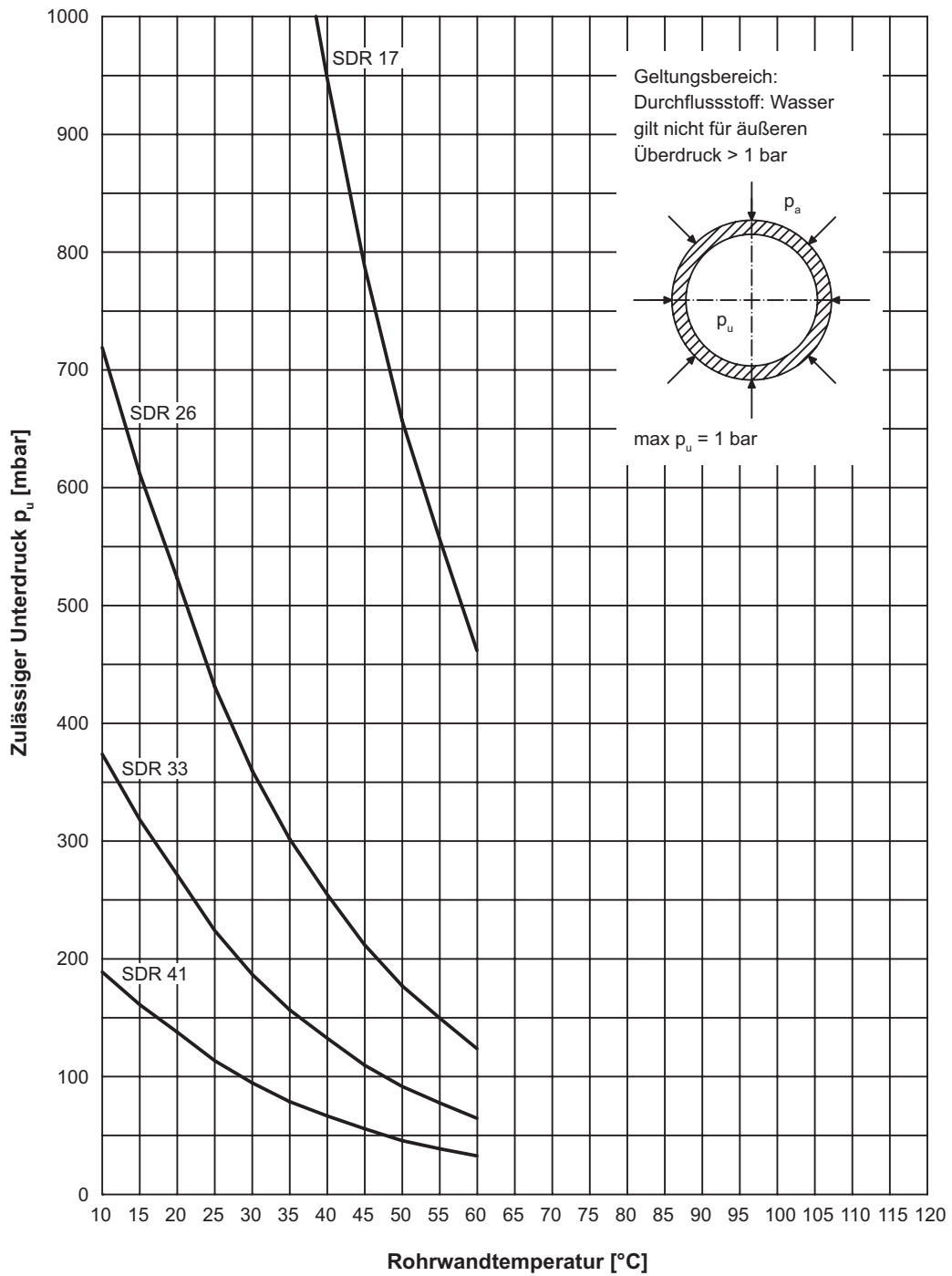
Die SIMONA Diagramme zur Abschätzung der zulässigen Unterdruckbelastbarkeit von thermoplastischen Kunststoffrohrleitungen sind als Hilfe bei der Planung zu verstehen. Sie ersetzen keinesfalls eine rechnerische Betrachtung, welche insbesondere bei axial eingespannten Rohrleitungen mit geringer Wanddicke (großem SDR) vorzunehmen ist. Die Anwendung soll am Beispiel [4] erläutert werden (siehe Kap. 10).

Belastbarkeit von Kunststoffrohrleitungen bei innerem Unterdruck
Werkstoff: PE 80
SDR 41/33/26/17,6
SF = 2,0



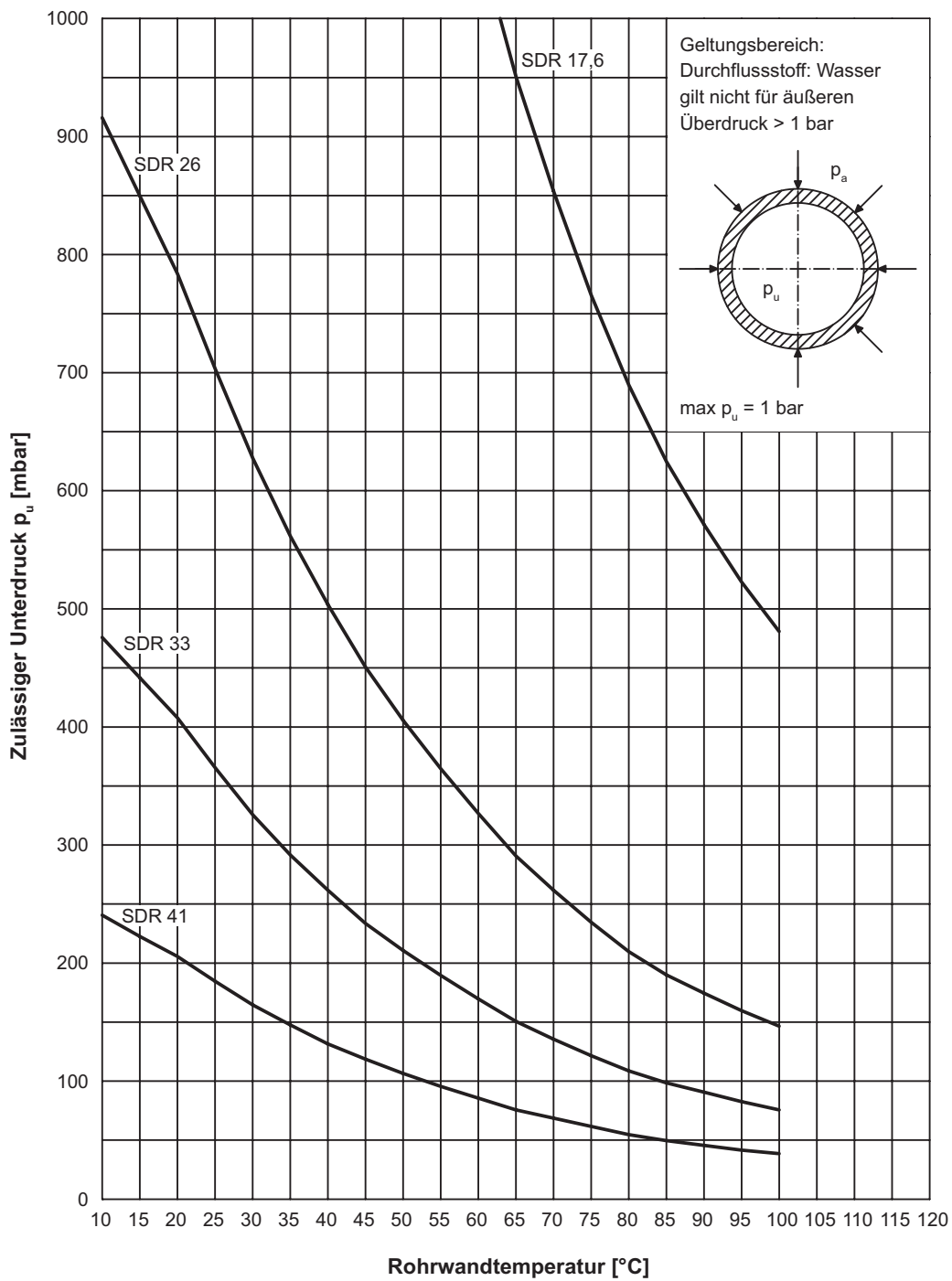
1 mbar = 100 Pa
 p_a = äußerer Überdruck
 p_u = innerer Unterdruck

Belastbarkeit von Kunststoffrohrleitungen bei innerem Unterdruck
Werkstoff: PE 100/PE 100 RC
SDR 41/33/26/17
SF = 2,0



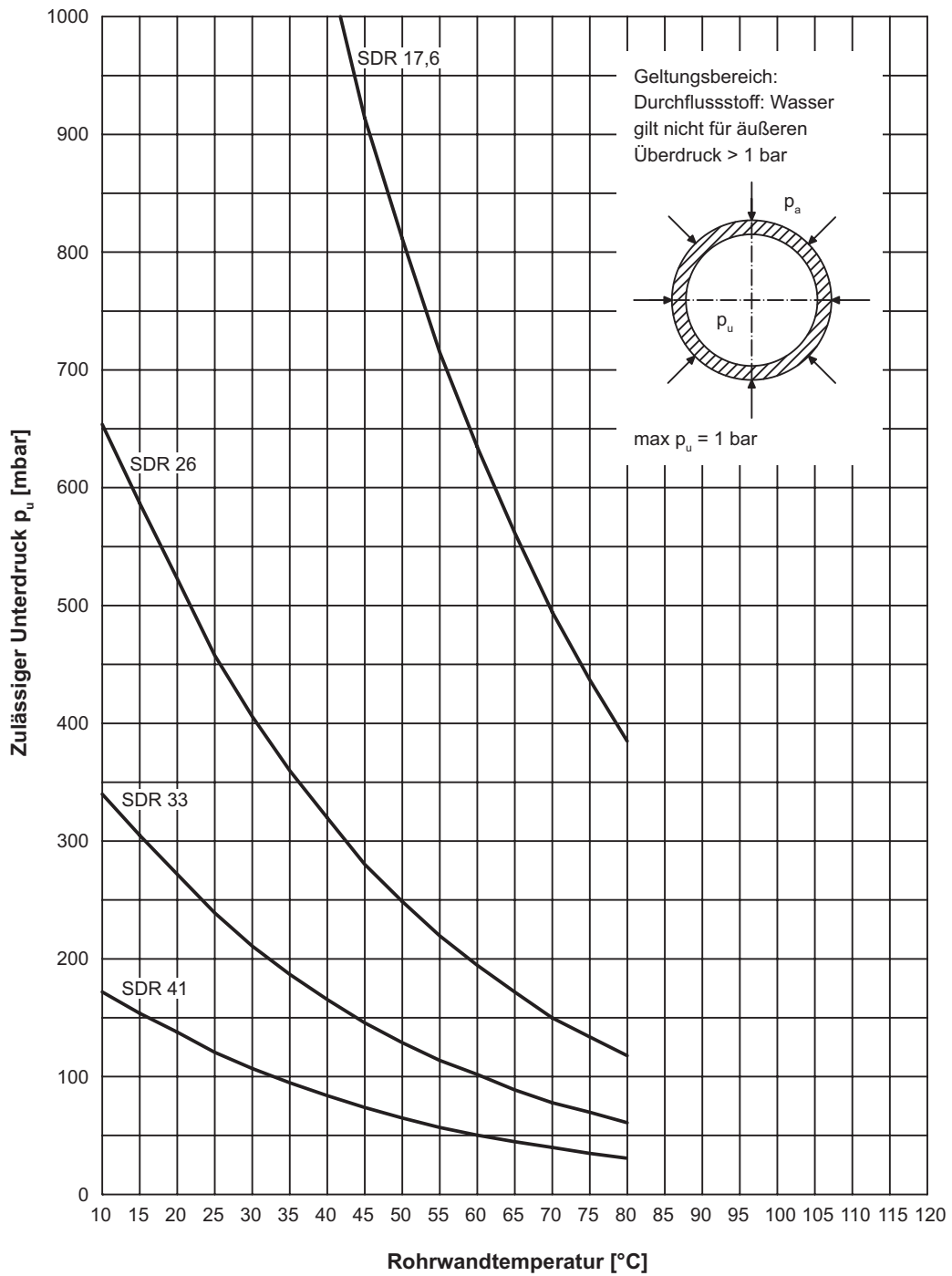
1 mbar = 100 Pa
 p_a = äußerer Überdruck
 p_u = innerer Unterdruck

Belastbarkeit von Kunststoffrohrleitungen bei innerem Unterdruck
Werkstoff: PP-H
SDR 41/33/26/17,6
SF = 2,0



1 mbar = 100 Pa
 p_a = äußerer Überdruck
 p_u = innerer Unterdruck

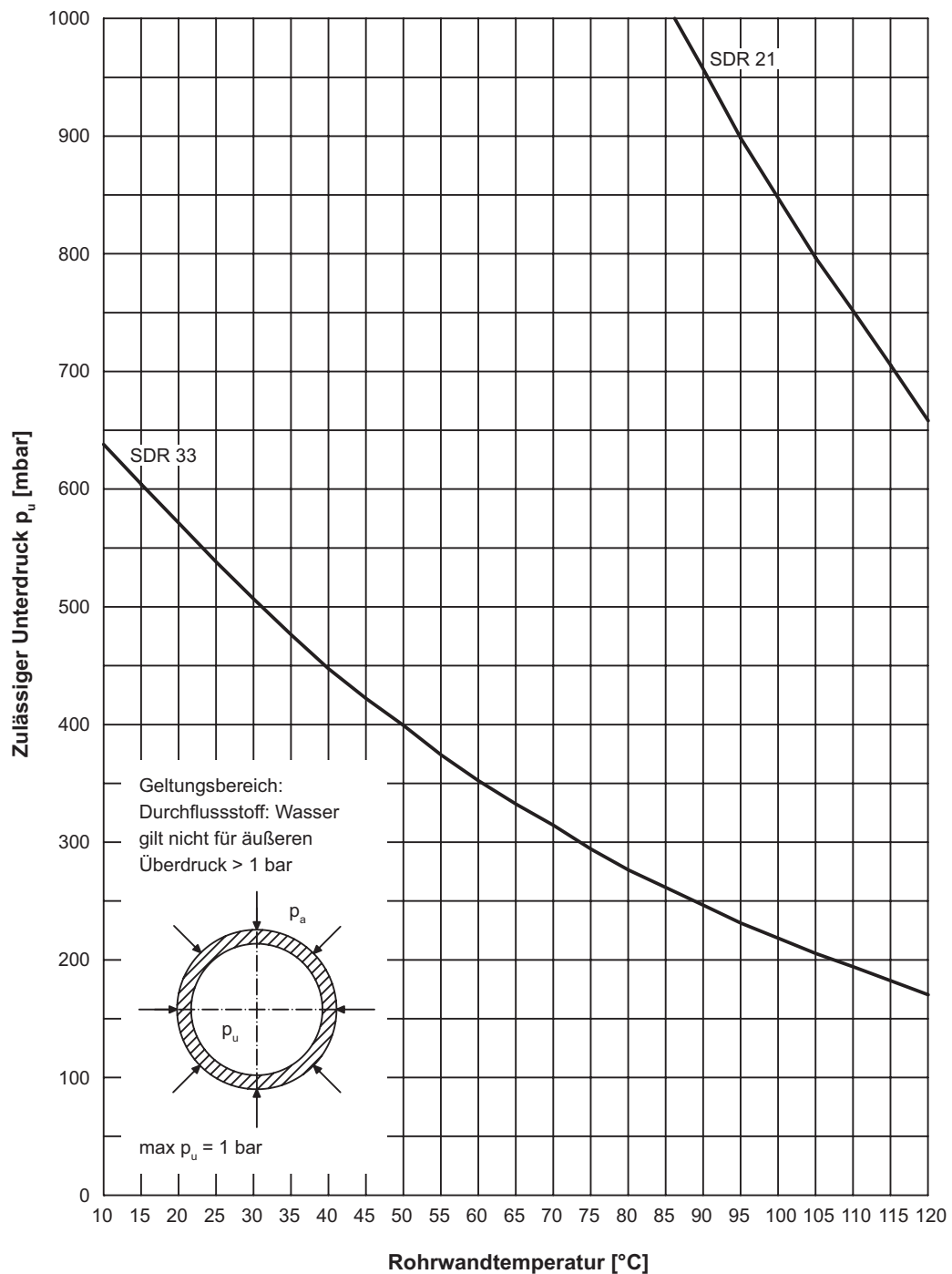
Belastbarkeit von Kunststoffrohrleitungen bei innerem Unterdruck
Werkstoff: PP-R
SDR 41/33/26/17,6
SF = 2,0



1 mbar = 100 Pa
 p_a = äußerer Überdruck
 p_u = innerer Unterdruck

Belastbarkeit von Kunststoffrohrleitungen bei innerem Unterdruck
Werkstoff: PVDF
SDR 33/21
SF = 2,0

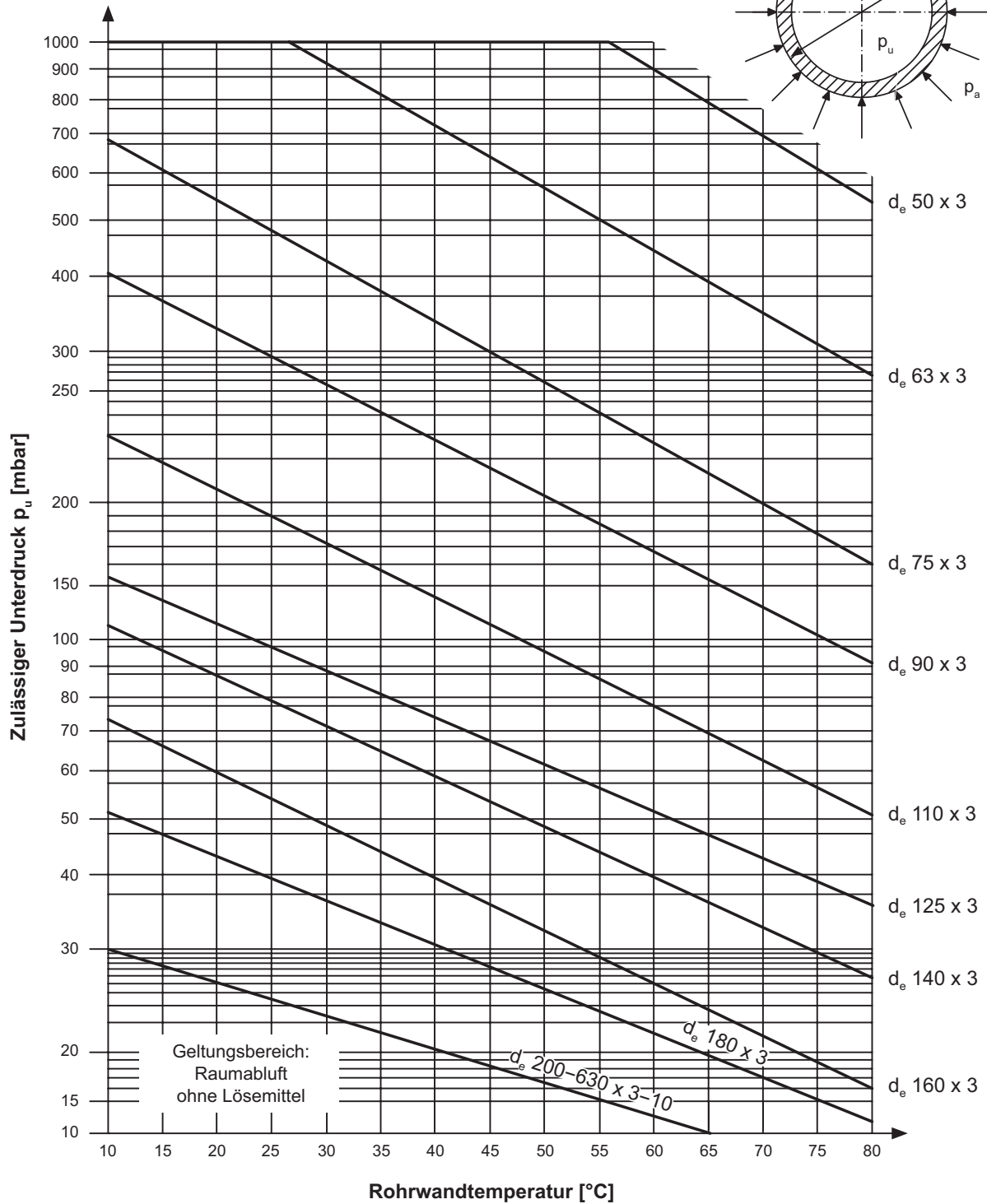
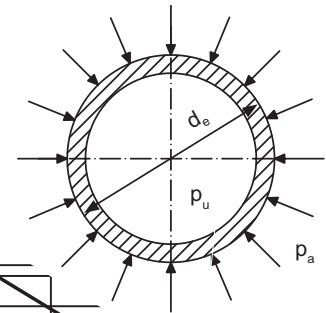
Hinweis: Aufgrund hoher Druckspannungen, wird der Einsatz axial eingespannter Rohrleitungen aus PVDF bei $T_g > 80^\circ\text{C}$ nicht empfohlen



1 mbar = 100 Pa
 p_a = äußerer Überdruck
 p_u = innerer Unterdruck

Belastbarkeit von Kunststoffrohrleitungen bei innerem Unterdruck
Werkstoff: PPs schwer entflammbar (Lüftungsreihe)
SF = 3,0*

max $p_u = 1$ bar
 p_a = äußerer Überdruck
 p_u = innerer Unterdruck



1 mbar = 100 Pa

* Dimensionierung in Anlehnung an DIN 4740-1

5 Verlegen, Montieren, Druckproben

5.1	Transport und Lagerung	51
<hr/>		
5.2	Verlegung im Erdreich	52
<hr/>		
5.3	Oberirdisch verlegte Kunststoffrohrleitungen	53
5.3.1	Befestigung von Kunststoffrohrleitungen	53
5.3.2	Ermittlung von Längenänderungen	57
5.3.3	Rohrstrecken zur Aufnahme von Längenänderungen (Biegeschenkel)	57
5.3.4	Festpunktbelastungen	82
5.3.5	Befestigungsabstände	87
<hr/>		
5.4	Prüfungen	93
5.4.1	Prüfungen bei Kunststoffdruckrohrleitungen	93
5.4.2	Prüfungen bei drucklos betriebenen Kunststoffrohrleitungen	93

5.1 Transport und Lagerung

Die Rohrleitungsteile sind mit geeigneten Fahrzeugen zu transportieren. Beim Auf- und Abladen ist mit entsprechender Sorgfalt vorzugehen. Erfolgen die Ladevorgänge mittels Hebezug, so sind spezielle Anhängervorrichtungen zu verwenden. Das Herunterwerfen der Rohrleitungsteile von der Ladeebene ist verboten. Die Rohre sollen möglichst auf der gesamten Länge aufliegen. Schlagartige Beanspruchungen sind zu vermeiden. Dies gilt besonders bei niedrigen Temperaturen und bei Werkstoffen, deren Schlagzähigkeit mit sinkender Temperatur deutlich abnimmt.

Die Lagerfläche für die Rohre muss unter allen Umständen steinfrei und eben sein. Auflagerungen und Stapelhöhe sind so zu wählen, dass Beschädigungen oder bleibende Verformungen nicht auftreten können. Im Regelfall sollen folgende Stapelhöhen nicht überschritten werden [Die Stapelhöhe von Rohren mit einer Wandstärke \leq SDR 26 (PN 4) sollte 0,5 m weniger betragen. Die Stapel müssen gut gesichert werden.]:

- PVDF, PP 2,0 m
- PE 80/100 1,5 m

Beim Transport ist das Schleifen über den Boden zu vermeiden. Riefen und Kratzer dürfen nicht tiefer als 10 % der Rohrwanddicke sein.

Der Witterungseinfluss auf die gelagerten Rohrleitungsteile ist auf ein Minimum zu reduzieren. Dazu gehört, dass Rohre und Formteile nicht der direkten Sonneneinwirkung ausgesetzt werden. Weiterhin ist zu beachten, dass einseitige Wärmeaufnahme durch Sonneneinstrahlung bei thermoplastischen Kunststoffrohren zu einer Verformung der Rohrlängsachse führen kann.

5.2 Verlegung im Erdreich

Auflager und Einbettungen sind im Kanalbau allgemein ausschlaggebend für die Standfestigkeit der Rohrleitungen. Für die Grabensohle und Verfüllung darf im Leitungsbereich nur steinfreies und verdichtungsfähiges Erdmaterial verwendet werden. In felsigem, steinigem Untergrund ist die Grabensohle mindestens 0,15 m tiefer auszuheben und der Aushub durch eine steinfreie Schicht (zum Beispiel Sand, Feinkies) zu ersetzen. Bei normalen Bodenverhältnissen sind 0,1 m ausreichend. Im Bedarfsfall kann ein doppelt gebrochenes Material (zum Beispiel Brechsand) bis Größtkorn 5 mm empfohlen werden. Bei Verwendung von scharfkantigem Splitt in der Leitungszone muß die Polyethylenrohroberfläche zum Beispiel durch ein entsprechendes Vlies oder eine spezielle Ummantelung gegen äußere Beschädigung geschützt werden.

Diese Ausführungen entsprechen den Richtlinien für die Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen nach DIN EN 1610 und der Verlegeanleitung für PE-HD-Kanalrohr des Kunststoffrohrverbandes e.V., Bonn.

Für den speziellen Anwendungsfall kann SIMONA eine entsprechende prüffähige Rohrstatik nach ATV-A 127 erstellen.

Zulässige Mindestbiegeradien

Thermoplastische Werkstoffe werden üblicherweise als elastische Materialien angesehen, d. h., dass sie in Abhängigkeit von der Verlegetemperatur mehr oder weniger flexibel zu verlegen sind und oftmals Formteile und Schweißungen eingespart werden können. Neben der Verlegetemperatur ist auch die Wanddicke bzw. die Druckstufe des Rohres zu berücksichtigen. Die unten aufgeführten Tabellen gelten für Werkstoffe, die in der Erdverlegung Verwendung finden.

Biegeradien für Rohre aus PE 80/PE 100, PP-H

Werkstoff	Verlegetemperatur		
	≥ 0 °C	~ 10 °C	~ 20 °C
PE 80/PE 100	50 x d _a	35 x d _a	20 x d _a
PP-H	75 x d _a	50 x d _a	30 x d _a

Faktor zur Erhöhung des Biegeradius bei Rohren geringer Druckbelastung

SDR-Klasse	Erhöhung des Biegeradius
SDR 7,4, SDR 11, SDR 17 und 17,6	x 1,0
SDR 26	x 1,5
SDR 33	x 2,0
SDR 41	x 2,5

5.3 Oberirdisch verlegte Kunststoffrohrleitungen

5.3.1 Befestigung von Kunststoffrohrleitungen

Kunststoffrohrleitungen können sowohl oberirdisch als auch unterirdisch verlegt werden. Bei der unterirdischen Verlegung (Erdverlegung) wird die Rohrleitung auf einem durchgängigen Sandauflager gebettet, welches die Funktion einer durchgehenden Tragkonstruktion übernimmt.

Die oberirdische Verlegung von Kunststoffrohrleitungen erfordert die Verwendung von Unterstützungen, Tragkonstruktionen und Befestigungselementen. Die Befestigungselemente müssen die Rohrleitung in entsprechenden Abständen stützen, führen und arretieren.

Die Belastung von Rohrbefestigungen ist abhängig von ihrer jeweiligen Funktion innerhalb des Rohrsystems. So erfahren Unterstützungspunkte vorwiegend vertikale Belastungen aus dem Eigengewicht der Rohrleitung. Sofern die Befestigungskonstruktion dafür ausgebildet ist, können auch horizontale Belastungen aufgenommen werden.

Vertikale Belastungen

Vertikale Belastungen resultieren aus dem Gewicht aller Rohrleitungsteile einschließlich Armaturen, dem Füllgewicht oder Zusatzgewichten. Bei den im Freien verlegten Großrohrleitungen kann gegebenenfalls eine Belastung aus Schneelast hinzukommen.

Horizontale Belastungen

Kräfte aus Reibung

Horizontale Belastungen entstehen meist aus der thermisch bedingten Längenänderung der Kunststoffrohrleitung. Verändert der Rohrstrang bei Zu- oder Abnahme der Betriebstemperatur seine Lage, so entsteht an den Gleitflächen der Rohrbefestigungen ein Widerstand (Reibung). Die Größe der Reibungskräfte ist abhängig

vom Gewichtsanteil an der Gleitfläche und dem Reibungskoeffizienten der Gleitpaarung. Keinen Einfluss auf die Größe der Belastung hat die Form der Fläche. Bei metallischen Befestigungen sind aus korrosionstechnischen Gründen kleine Gleitflächen zu wählen.

Kräfte aus Wind

Eine andere Art von horizontaler Belastung tritt durch Windkräfte auf (zum Beispiel bei auf Rohrbrücken verlegten Rohrleitungen). Für die Größe der horizontalen Belastung pro Befestigungspunkt sind folgende Faktoren verantwortlich:

- der Rohrdurchmesser,
- der spezifische Winddruck sowie
- der Abstand der Rohrbefestigungen untereinander.

Einzelheiten zur Bestimmung der Windkräfte können der DIN 1055-4 entnommen werden.

Kräfte aus der Verlegeart

Rohrleitungen aus thermoplastischen Kunststoffen können sowohl axial beweglich als auch axial unbeweglich verlegt werden. Je nach Art der Verlegung treten unterschiedlich große Kräfte auf, die auf die Befestigung übertragen werden.

Kräfte in axial beweglichen Rohrleitungen

Generell sind die axialen Reibungskräfte zu berücksichtigen. Eine Rohrleitung besteht jedoch selten aus einer geraden Rohrstrecke, sondern enthält meist auch Rohrbögen und Rohrabzweige. An den Stellen, an denen die Rohrleitung eine Richtungsänderung erfährt, wird ein Teil der am Bogen oder am Rohrabzweig anschließenden Rohrstrecke aufgrund der Längenänderung quer zu ihrer Achse bewegt. Dabei entsteht ein Widerstand durch Querreibung und Verformung der auf Biegung beanspruchten Rohrstrecke. Die Verformungskraft ist um so geringer, je länger die querbewegte Rohrstrecke ist. Allerdings nimmt mit der Biegelänge die Größe der Querreibung zu.

Kräfte in axial unbeweglichen Rohrleitungen

Gerade Rohrleitungsstrecken, deren axiale Längenänderung aufgrund eingeschränkter Ausdehnungsmöglichkeiten limitiert werden muss, können mit Festpunkten ausgestattet werden. Die an Festpunkten auftretenden Kräfte aus Verhinderung der axialen Längenänderung entsprechen meistens der Maximalbelastung in einem Rohrsystem.

Eine gleich große Belastung tritt auf, wenn sich bei einer langen, axial beweglichen Rohrstrecke aufgrund der kumulativen Reibungskräfte ein sogenannter „natürlicher Festpunkt“ einstellt. In beiden Fällen müssen die Festpunktkräfte rechnerisch oder mit Hilfe der SIMONA Diagramme im Abschnitt 5.3.4 ermittelt werden.

Festpunktdimensionierung

Die Kräfte an einem Festpunkt wirken sowohl in horizontaler (x- und y-Achse) als auch in vertikaler Richtung (z-Achse). Festpunkte erfordern aufgrund ihrer großen Belastung fast immer eine Sonderkonstruktion. Die horizontale Belastung längs und quer zur Rohrachse, in Zusammenhang mit dem Abstand der Kräfte zur Befestigungsebene, erzeugen ein zusätzliches Moment. Die Wirkung des Momentes auf die Bauteile der Festpunktstruktur kann unterschiedlich sein. Zum einen werden die Befestigungselemente (Schrauben oder Dübel) auf Zug, Druck und Abscheren beansprucht. Zum anderen erfahren die geschweißten oder geschraubten Bauteile eine Biegebeanspruchung, der durch entsprechende Dimensionierung der Bauteilgeometrie (Profile und Wanddicken) entgegengewirkt werden muss.

Festpunkte sind für alle Belastungen aus Montage-, Prüf- und Betriebszuständen zu dimensionieren. In senkrechten Rohrleitungen wird der Festpunkt zusätzlich durch das Gewicht der Rohrleitung und die dynamischen Lasten (Umlenkungskräfte) beansprucht.

Aufgrund der großen Kräfte und des aufzunehmenden Momentes sind Festpunkte unbedingt einem rechnerischen Nachweis zu unterziehen. Dabei sind alle tragenden Bauteile bezüglich ihrer erforderlichen Querschnitte und zulässigen Spannungen zu betrachten. Die Größe der Festpunktkräfte kann dem Abschnitt 5.3.4 entnommen werden.

Grundlagen für die Befestigung von Kunststoffrohrleitungen

Rohrbefestigungen müssen alle mechanischen Belastungen, die eine Rohrleitung an ihre Umgebung abgibt, sicher aufnehmen und auf ein Bauwerk beziehungsweise eine Unterkonstruktion übertragen. Aufgrund der eingeschränkten und von der Temperatur abhängigen Festigkeit und Formstabilität von Kunststoffrohrleitungen ergeben sich gegenüber metallischen Rohrleitungen andere Anforderungen an das Befestigungssystem.

Nachfolgend werden die Grundlagen für eine sachgerechte Ausführung der Rohrbefestigungen unter Berücksichtigung ihrer Funktion beschrieben.

Gleitrohrschele

Die Gleitrohrschele dient vor allem dem Zweck, den betriebsbedingten Längenänderungen der Kunststoffrohrleitung einen möglichst geringen Widerstand entgegenzusetzen. Die Gleitfunktion muß sowohl in Rohrlängsrichtung als auch quer zur Rohrachse gegeben sein. Die Gleitrohrschele in einer horizontal verlegten Rohrleitung kann nur vertikal gerichtete Kräfte (Gewichtslasten) aufnehmen.

Führungsrohrschelle

Die Führungsrohrschelle darf ein seitliches Verschieben des Rohres nicht zulassen. Sie muss in der Lage sein, neben den Gewichtsbelastungen auch Querkräfte aufzunehmen und wird zum Beispiel in axial eingespannten Rohrstrucken zur Sicherung gegen Knicken benötigt.

Die Führungsrohrschelle kann je nach Anwendung in Richtung der Rohrlängsachse fest oder beweglich sein. Das Schieben des Rohres in der Rohrschelle, als Ersatz für eine auf der Befestigungsebene gleitende Führungsrohrschelle, ist nur dann zulässig, wenn die Rohrschelle eine entsprechende Schiebehülse enthält.

Ausführungsvarianten der Führungsrohrschellen

Form A: Ausführung mit beweglichem Gleitschuh, die eine Verschiebung in Rohrlängsachse zulässt. Wird zum Beispiel in Nähe von Kompensatoren oder nach einem Festpunkt in Richtung von Dehnungsbogen eingebaut.

Form B: Ausführung mit Befestigung auf einer Unterkonstruktion. Wird zum Beispiel in Rohrstränge eingebaut, welche an beiden Enden mit einem Festpunkt versehen sind. Eine axiale Bewegung ist nicht möglich.

Form C: Führungsrohrschelle in einem senkrechten Rohrstrang. Sie soll so angeordnet sein, dass Bewegungen in Richtung der Rohrlängsachse möglich sind und gleichzeitig eine radiale Führung des Rohres sichergestellt ist.

Rohrschelle zur Stützung vertikaler Rohrstränge

Soll das Gewicht einer senkrechten Rohrleitung durch eine Befestigung aufgenommen werden, so ist zur Lastaufnahme durch die Rohrschelle ein Auflagerring am Rohr vorzusehen. Diese Art der Rohrbefestigung wird auch als Vertikalstopp bezeichnet. Die Rohr-

schelle erfährt eine wesentlich höhere Belastung als bei Verwendung als Gleit- oder Führungsrohrschelle in einem horizontalen Rohrstrang. Hier ist insbesondere auf einen ausreichenden Anschluss der Rohrschellenfußplatte mittels Schrauben oder Dübel zu achten.

Hängerrohrschelle

Die Hänge- oder Pendelrohrschelle kann, wie die Gleitrohrschelle, lediglich vertikale Belastungen aufnehmen. Die Anwendung erfolgt meistens mit einer Befestigung an Gebäudedecken oder Deckenträgern. Es gibt Ausführungsvarianten in Form von Einfach- und Doppelhängerrohrschellen. Die so befestigte Rohrleitung ist schwingungsempfindlich und bedarf meistens einiger Zwischenlager mit stabilisierender Wirkung.

Armaturenbefestigung

Die Armaturenbefestigung dient zur Aufnahme von Lasten aus dem Armaturen- und Füllgewicht. Sie soll gleichzeitig verhindern, dass die Belastung aus Betätigung der Armatur auf die Rohrleitung übertragen wird. Die Befestigungskonstruktion ist dann richtig gewählt, wenn ein Auswechseln der Armatur ohne gleichzeitige Demontage des Umfeldes möglich ist. Entspricht die Armaturenbefestigung einem Festpunkt, so muss die Auswirkung der verhinderten Längenänderung gesondert berücksichtigt werden.

Festpunkte

Festpunkte sollen ein Verschieben der Rohrleitung entweder in eine bestimmte Richtung steuern oder ganz verhindern. Festpunkte dienen desweiteren zur Aufnahme von Reaktionskräften bei Verwendung von Kompensatoren beziehungsweise Schiebe- oder Steckmuffen. Festpunkte sind so einzubauen, dass Längenänderungen im Rohrsystem den vorhandenen Kompensationselementen in Größe und Richtung zugeordnet werden können.

Das Fixieren der Rohrleitung in der Festpunktrohrschele erfolgt unter Verwendung geeigneter Formteile (zum Beispiel Festpunktringe), die mittels Heizelementschweißen mit dem Rohr verbunden werden. Als Ersatz für Festpunktringe können auch in besonders zu betrachtenden Einzelfällen Heizwendelschweißmuffen dienen. Die Durchmesser der Festpunktringe sollen so gewählt werden, dass handelsübliche Rohrschellen verwendbar sind. Bei der Rohrschellenwahl ist auf eine stabile, verwindungssteife Ausführung zu achten.

Das Einklemmen des Rohres in die Rohrschelle, als Ersatz für Festpunktringe oder Heizwendelschweißmuffen, ist nicht statthaft. Durch unsachgemäße Befestigungsmethoden kommt es häufig zu einer Deformierung des Rohrquerschnittes beziehungsweise zu Beschädigungen der Rohroberfläche mit nachteiliger Kerbwirkung. Dies kann zu einem vorzeitigen Versagen der Rohrleitung führen. Das Verbinden der Festpunktringe mit dem Rohr unter Verwendung des Warmgasschweißverfahrens ist nur in Ausnahmefällen anzuwenden. Generell ist zu beachten, dass Schweißarbeiten immer durch einen ausgebildeten beziehungsweise geprüften Schweißer erfolgen müssen.

Das Anschweißen von axialen Versteifungsrippen auf dem Rohr zur Unterstützung des radialen Festpunktringes ist wegen der hohen Punktbelastungen und einer damit verbundenen Spannungskonzentration nicht zulässig.

Installationssysteme und standardisierte Befestigungselemente

Die im Handel erhältlichen Installationssysteme (Profilschienen mit Zubehör) sind eine große Hilfe bei der Befestigung von Kunststoffrohrleitungen. Bei der Auswahl geeigneter Profilschienenquerschnitte ist zu

prüfen, welche Vertikalbelastung die Installationsschiene in Abhängigkeit zur Stützweite aufnehmen kann.

Häufig werden in den technischen Unterlagen der Hersteller zulässige Stützweiten angegeben, welche für Rohrleitungen in Bezug auf die entstehende Durchbiegung nicht akzeptiert werden können. Der Einsatz der Installationssysteme erfordert deshalb eine rechnerische Kontrolle der Durchbiegung, was eingeschränkt mittels Diagrammen in den technischen Unterlagen der Hersteller möglich ist.

Als zulässiges Durchbiegungsmaß für die Rohrleitung gilt als Richtwert $f = L/750$ bis $L/500$, wobei L der Befestigungsabstand der Rohrleitung ist. Die Installationsschiene hat häufig ein anderes Durchbiegungsverhalten als die Rohrleitung, was aus der Punktbelastung auf der Schiene resultiert.

Schwierig wird es, wenn horizontale Belastungen auf die Installationsschiene übertragen werden müssen (zum Beispiel Festpunktkräfte). Hierzu sagen die technischen Unterlagen der Hersteller nichts aus, so dass meistens zusätzliche Berechnungen anzustellen sind. Dies gilt auch für die übrigen Befestigungselemente wie Traversen, Wandkonsolen und dergleichen.

Hinweis: Anwendern wird empfohlen, sich im Rahmen einer Ausführungsplanung umfassend mit den Einsatzmöglichkeiten, den Grenzen der Anwendung und der Auslegung von Installationssystemen zu befassen. Die generellen Gestaltungsrichtlinien für Befestigungen von thermoplastischen Kunststoffrohrleitungen sind der Richtlinie DVS 2210-1 zu entnehmen.

5.3.2 Ermittlung von Längenänderungen

Längenänderungen durch Temperaturunterschiede

Für die Ermittlung von temperaturabhängigen Längenänderungen in thermoplastischen Kunststoffrohrleitungen gilt:

$$\Delta L_T = \alpha \cdot L \cdot \Delta v$$

In der Gleichung bedeuten:

- ΔL_T = temperaturabhängige Längenänderung [mm]
- α = linearer Ausdehnungskoeffizient [mm/m · K bzw. 1/K]
- L = Länge der betrachteten Rohrstrecke [m bzw. mm]
- Δv = Temperaturdifferenz ($\Delta T = \max T - \min T$) [K]

Die linearen thermischen Ausdehnungskoeffizienten^① α sind wie folgt in die vorstehende Gleichung einzusetzen:

Tabelle 6: α -Mittelwerte

Werkstoff	mm/(m · K)	1/K
PE	0,18	$1,8 \cdot 10^{-4}$
PP	0,16	$1,6 \cdot 10^{-4}$
PVDF	0,13	$1,3 \cdot 10^{-4}$
E-CTFE	0,05	$0,5 \cdot 10^{-4}$

① Die Temperaturabhängigkeit der Ausdehnungskoeffizienten kann in Zusammenhang mit der Ermittlung von Längenänderungen in Rohrleitungen vernachlässigt werden.

Längenänderungen durch Innendruckbelastung

Längenänderungen können nicht nur durch Temperaturschwankungen, sondern auch durch Belastungen aus Innendruck ausgelöst werden. Die durch einen inneren Überdruck hervorgerufene Längsdehnung einer geschlossenen und reibungsfrei gelagerten Rohrstrecke beträgt:

$$\Delta L_p = \frac{0,1 \cdot p_i \cdot (1 - 2\mu)}{E_c \cdot [(d_e/d_i)^2 - 1]} \cdot \text{ges L}$$

In der vorstehenden Gleichung bedeuten:

- ΔL_p = Längenänderung durch inneren Überdruck [mm]
- ges L = Länge der betrachteten Rohrstrecke [mm]
- p_i = innerer Überdruck [bar]

- μ = Querkontraktionszahl = 0,38 für Thermoplaste [-]
- E_c = Kriechmodul, Elastizitätsmodul^① [N/mm²]
- d_e = Rohraußendurchmesser [mm]
- d_i = Rohrinne Durchmesser [mm]

① Es ist der für den jeweiligen Betrachtungsfall gültige Elastizitätsmodul zu berücksichtigen. Für kurzzeitig andauernde Belastungen (zum Beispiel Innendruckprüfung) ist E_{kr} , für langandauernde Belastungen E_{ct} in die vorstehende Gleichung einzusetzen.

Längenänderungen durch Einwirkung des Durchflusstoffes

Unter Einwirkung bestimmter Durchflusstoffe (zum Beispiel Lösemittel) kommt es bei thermoplastischen Rohrleitungen zur Quellung. Mit der Quellung ist eine merkliche Volumenzunahme in Längs- und Radialrichtung, das heißt eine Verlängerung der Rohrstrecken und Vergrößerung des Rohrdurchmessers verbunden. Außerdem tritt mittel- bis langfristig eine Minderung der Festigkeit und des Elastizitätsmoduls ein.

Soll der störungsfreie Betrieb von lösemittelbeaufschlagten Rohrleitungen aus Thermoplasten sichergestellt sein, so sind die Wirkungen der Quellung im Rahmen der Planung gesondert zu berücksichtigen.

5.3.3 Rohrstrecken zur Aufnahme von Längenänderungen (Biegeschenkel)

Das Verlegen von Kunststoffrohrleitungen erfolgt im Wesentlichen nach den Grundlagen metallischer Rohrleitungen. Deutliche Unterschiede gibt es durch die größeren Wärmeausdehnungskoeffizienten der Kunststoffe, die bei Temperaturunterschieden zu merklichen Längenänderungen in einer Rohrleitung führen. Dabei ist es nur von untergeordneter Bedeutung, wie hoch die Ausgangstemperatur ist. Längenänderungen können sowohl in positiver als auch in negativer Richtung auftreten.

- Positive Richtung: Wirksame Rohrwandtemperatur höher als Ausgangstemperatur
Folge: Rohrstrecke wird länger
- ← Negative Richtung: Wirksame Rohrwandtemperatur niedriger als Ausgangstemperatur
Folge: Rohrstrecke wird kürzer

Als Ausgangstemperatur wird entweder die Montage-temperatur oder die minimale Betriebstemperatur eingesetzt. Wenn nichts anderes angegeben ist, kann eine rechnerische Montagetemperatur $T_M = 15\text{ °C} - 20\text{ °C}$ zugrunde gelegt werden.

Ein Merkmal kunststoffgerechter Verlegung ist das Einbeziehen von gekrümmten Rohrstrecken zur Aufnahme von Längenänderungen. Als gekrümmte Rohrstrecken sind Bogenstücke mit üblicherweise 90°-Bogenwinkel samt der am Bogen anschließenden Rohrstücke zu verstehen. In der Literatur wird häufig von Biegeschenkeln gesprochen, wobei hier die Belastung der Bogenstrecke, das heißt die Biegung, in den Vordergrund gerückt wird.

Als Bezeichnung für den Biegeschenkel soll im weiteren der Begriff „Dehnungsbogen“ gewählt werden. Zur Darstellung, um welche Art es sich bei dem Dehnungsbogen handelt, wird die geometrische Form als Buchstabe vorangestellt. Es ergeben sich folgende Varianten:

- L-Dehnungsbogen,
- Z-Dehnungsbogen,
- U-Dehnungsbogen sowie
- R-Dehnungsbogen.

Der zuletzt genannte Dehnungsbogen mit dem Kurzzeichen „R“ soll ein räumliches System definieren. Der Unterschied zu den L-, Z- und U-Dehnungsbogen liegt darin, dass eine weitere Ausdehnungsrichtung (Koordinate) hinzukommt.

Folgende Bezeichnungen sind üblich:

Ausdehnung in 2 Richtungen → ebene

Dehnungsbogen

Ausdehnung in 3 Richtungen → räumliche

Dehnungsbogen

In den nachfolgenden Abschnitten werden die Systemabmessungen von ebenen Dehnungsbogen behandelt. Zur vereinfachten Bestimmung der Dehnungsbogenabmessungen wurden Diagramme erstellt, die auf umfangreichen Berechnungen basieren. Bei Beachtung der in die SIMONA Diagramme eingeflossenen Berechnungsergebnisse kann von Spannungen in zulässiger Größe ausgegangen werden.

Die Anwendung der Diagramme zur Bestimmung von Dehnungsbogen wird anhand von Beispielen erläutert. Die mit den Diagrammen erzielten Ergebnisse berücksichtigen den jeweils zulässigen Betriebsüberdruck des geraden Rohres aus den nachfolgenden Diagrammen.

Zu beachten ist, dass die Längsbiegespannungen im Dehnungsbogen nur vorübergehend auftreten, das heißt immer dann, wenn sich eine Temperaturänderung einstellt. Kommt es danach zu einem stationären Betriebszustand, klingen die Spannungen durch Relaxation des Kunststoffes ab, so dass die rechnerisch zugrunde gelegten Maximalspannungen lediglich Kurzzeitcharakter haben und langfristig nicht zum Versagen führen. Kritischer wird es, wenn sich im Rohrsystem die Temperaturen ständig oder des öfteren ändern.

Achtung:

Bei Verkürzung der mit den SIMONA Diagrammen ermittelten Biegeschenkellängen kann es durch wiederkehrende Temperaturänderungen zu einem Versagen der Rohrleitung am Bogen oder an der Einspannstelle (Festpunkt bzw. Führungsrohrschele) kommen.

Bei der Gestaltung von Dehnungsbogen ist besonders darauf zu achten, dass im Bereich der auf Biegung beanspruchten Rohrstrecken die zulässigen Befestigungsabstände nach Abschnitt 5.3.5 nicht überschritten werden.

Rechnerische Ermittlung von Dehnungsbogen

Die Berechnung von Dehnungsbogen erfordert in den meisten Fällen einen erhöhten Aufwand sowie spezielle Kenntnisse der Rohrstatik. Es ist deshalb nicht möglich, hier näher auf die Systematik der Berechnungen einzugehen.

Um jedoch einen Dehnungsbogen in seinen Hauptabmessungen rechnerisch bestimmen zu können, genügen häufig einfache Beziehungen, deren Ergebnisse auf der sicheren Seite liegen. So ist auch der L-Dehnungsbogen mit folgender Gleichung hinreichend genau zu dimensionieren.

$$L_B = \sqrt{\frac{3 \cdot d_e \cdot L_{1,2} \cdot \Delta T \cdot \alpha \cdot E_{cm}}{\text{zul } \sigma_b}}$$

- In der vorstehenden Gleichung bedeuten:
- L_B = erforderliche Länge des jeweiligen Biegeschenkels [mm]
 - d_e = Rohraußendurchmesser [mm]
 - $L_{1,2}$ = Systemlängen des Dehnungsbogens [mm]
 - ΔT = Temperaturdifferenz [K]
 - α = thermischer Längenausdehnungskoeffizient [1/K]
 - E_{cm} = mittlerer Biegekriechmodul für die rechnerische Standzeit [N/mm²]
 - zul σ_b = zulässiger Biegespannungsanteil für die rechnerische Standzeit [N/mm²]

Der mittlere Biegekriechmodul für die rechnerische Standzeit läßt sich unter Anwendung der SIMONA Diagramme im Abschnitt 3 ermitteln. Dabei ist wie folgt vorzugehen:

$$E_{cm} = [0,5 \cdot (E_{(\min TB)} + E_{(\max TB)})]/A_2$$

In die vorstehende Gleichung ist einzusetzen:

- $E_{(\min TB)}$ = Biegekriechmodul bei minimaler Betriebstemperatur[ⓐ] [N/mm²]
- $E_{(\max TB)}$ = Biegekriechmodul bei maximaler Betriebstemperatur [N/mm²]
- A_2 = Abminderung aus Einwirkung des Durchflusstoffes [-]

[ⓐ] Für min T_B wird in den meisten Anwendungsfällen die Montagetemperatur $T_M = 5-20$ °C eingesetzt. Aufgrund der Temperatur- und Spannungshängigkeit des Biegekriechmoduls wird empfohlen, den Kriechmodulmittelwert mit $E_{(\min TB)} = E_{LZ(20^\circ C)}$ nach der Tabelle 1 (Auszug aus Tabelle 7, DVS 2205-2) zu bestimmen.

Biegekriechmodule für 20 °C, 25 Jahre Standzeit

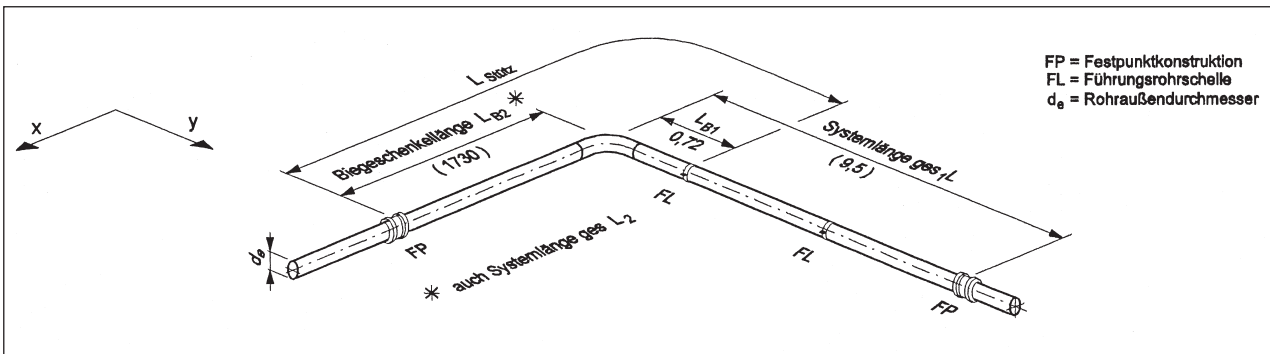
Werkstoff	$E_{LZ(20^\circ C)}$
PE 80, PE 100	235 N/mm ²
PP-H	330 N/mm ²
PP-R	276 N/mm ²
PVDF	720 N/mm ²

Der zulässige Biegespannungsanteil für die rechnerische Standzeit wird unter Anwendung der Gleichungen im Abschnitt 4 wie folgt ermittelt:

$$\text{zul } \sigma_b = [(\sigma_v \cdot f_s)/(A_2 \cdot A_4 \cdot SF) - \sigma_{l(p)}]$$

Die Behandlung von Z-, U- und R-Dehnungsbogen innerhalb standardisierter Unterlagen ist wegen der Formenvielfalt, den unterschiedlichsten Rohrabmessungen, den Varianten der Betriebsbedingungen und letztlich aufgrund der aufwendigen Berechnungsverfahren nicht möglich. SIMONA empfiehlt in allen Fällen, in denen für die Kunststoffrohrleitung ein statischer Nachweis gefordert wird, ein geeignetes Berechnungsverfahren zu wählen. Berechnungen können sowohl konventionell erstellt werden (zum Beispiel in Anlehnung an DVS 2210-1, Beiblatt 1) oder unter Verwendung eines Berechnungsprogrammes. Gerne sind wir bei der Beschaffung eines statischen Nachweises oder der Vermittlung von Adressen von Ingenieurbüros behilflich, die sich mit der vorgenannten Thematik befassen.

Dimensionierung von L-Dehnungsbögen



Hinweis: Die maßliche Festlegung von Dehnungsbogen nach den SIMONA Diagrammen ersetzt in Grenzfällen nicht den statischen Nachweis.

Generelle Hinweise zur Anwendung der SIMONA Diagramme für die Ermittlung der Biegeschenkelabmessungen bei Dehnungsbögen

Die SIMONA Diagramme dienen nicht dazu, Biegeschenkelabmessungen zu optimieren. Die Anwendung der SIMONA Diagramme stellt lediglich sicher, dass die im Dehnungsbogen durch die Längenänderung der angeschlossenen Rohrstrecken ausgelösten Biegespannungen in zulässigen Grenzen bleiben. Neben der Biegeschenkelbestimmung ist immer der zulässige Betriebsdruck p_b der geraden Rohrstrecke einer Kontrolle zu unterziehen. Die Vorgehensweise wird am Beispiel [5] in Kap. 10 erläutert.

Zur Dimensionierung von L-Dehnungsbögen unter Verwendung der SIMONA Diagramme ist gemäß dem nachfolgenden Beispiel vorzugehen:

Diagramm:

Systemabmessungen L-Bogen PE 80 (siehe Diagramm Seite 61)

Gegeben: Rohrleitung aus PE 80

Rohrabmessung: $d_e = 280$ mm

Nenndruckstufe beziehungsweise SDR-Klasse:

Das Diagramm kann für alle PE-Rohrleitungen, unabhängig von der Nenndruckstufe und der SDR-Klasse verwendet werden (Die Kontrolle der zulässigen Betriebsüberdruckbelastung ist gemäß des Beispiels [5] Kap. 10 vorzunehmen).

Minimale Betriebstemperatur: $\min T_B = 20^\circ\text{C}$

Maximale Betriebstemperatur: $\max T_B = 40^\circ\text{C}$

Montagetemperatur:

Die Montagetemperatur liegt in den meisten Fällen zwischen 5°C und 25°C . Aufgrund der einmaligen Temperaturänderung beim Anfahren der Rohrleitung muss nicht die Temperaturdifferenz zur Montagetemperatur, sondern die Differenz zwischen minimaler und maximaler Betriebstemperatur berücksichtigt werden.

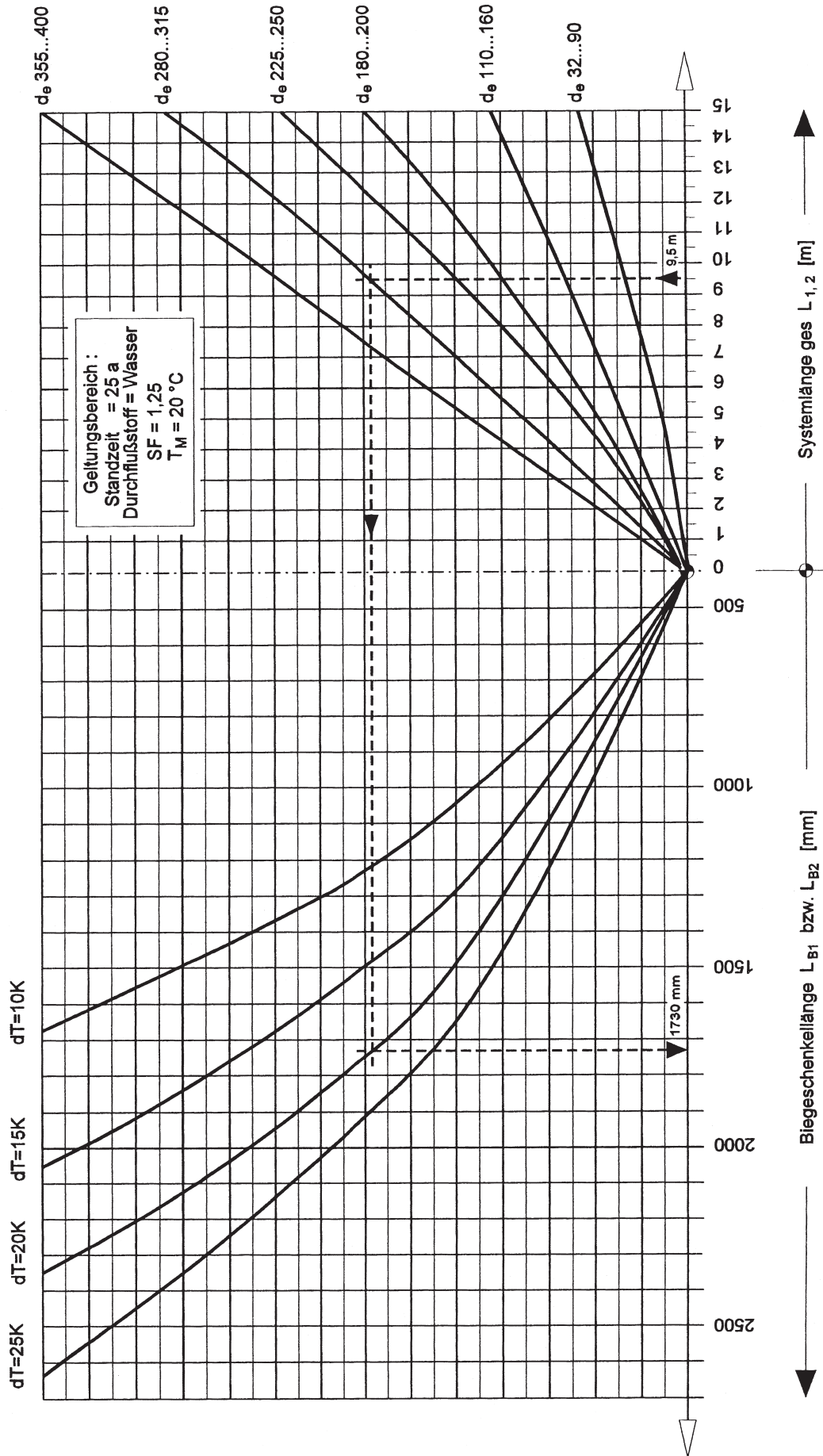
Temperaturdifferenz: $\Delta T = 40 - 20 = 20$ K

Systemlänge des L-Bogens: $\text{ges } L_1 = 9500$ mm

Erforderliche Biegeschenkelängen:

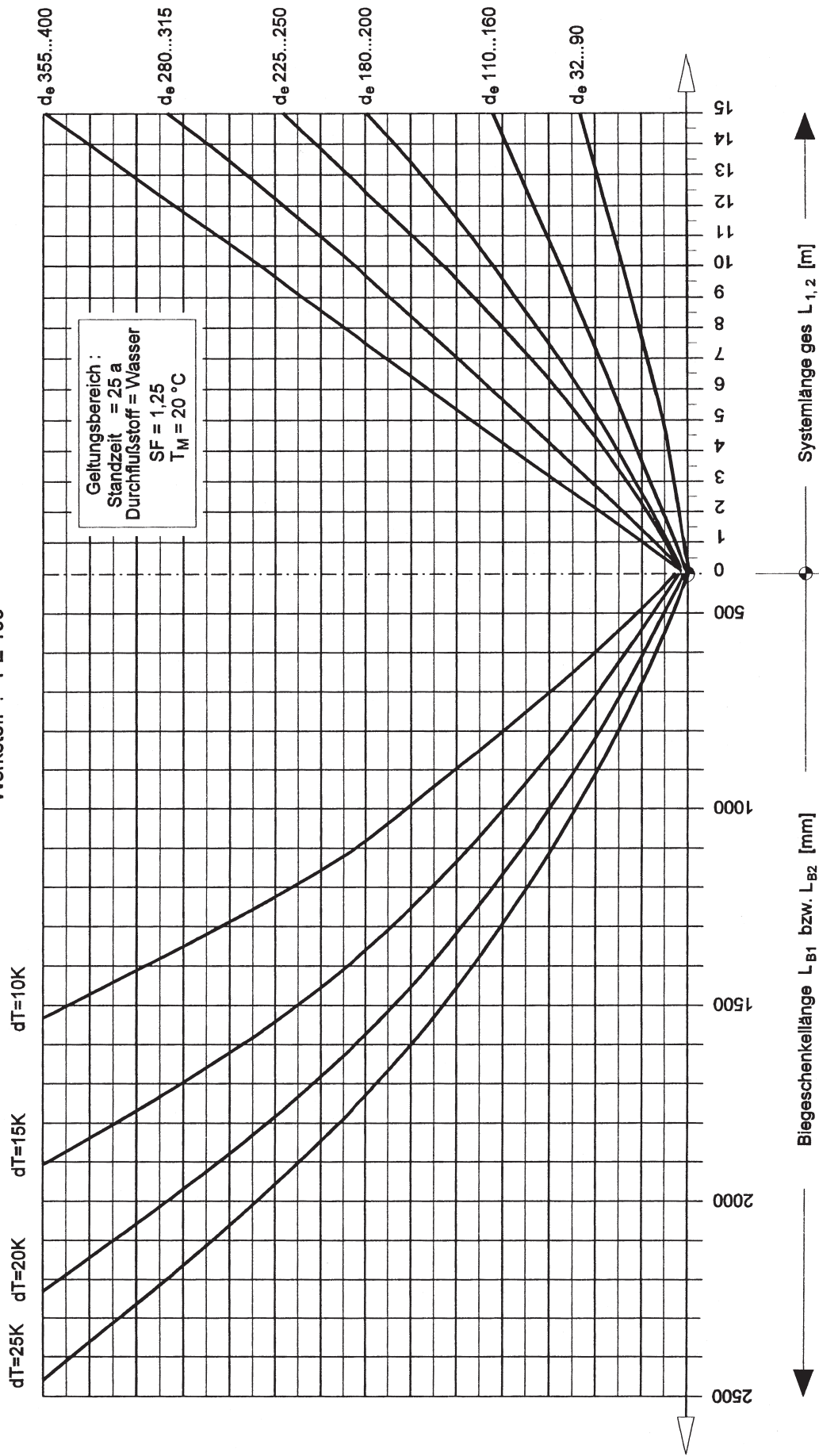
$\text{erf } L_{B2} = 1730$ mm ist die Biegeschenkelänge in Bezug auf die Systemlänge L_2 . Für den Bereich von L_{B1} ergibt sich in Bezug auf $L_2 = \text{erf } L_{B2} = 1730$ mm. Für den Bereich L_{B1} ergibt sich der Mindestabstand für die Führungsrohrschele vom Scheitelpunkt mit $L_{B1} = 720$ mm.

Systemabmessungen L - Bogen
Werkstoff : PE 80



Systemabmessungen L - Bogen

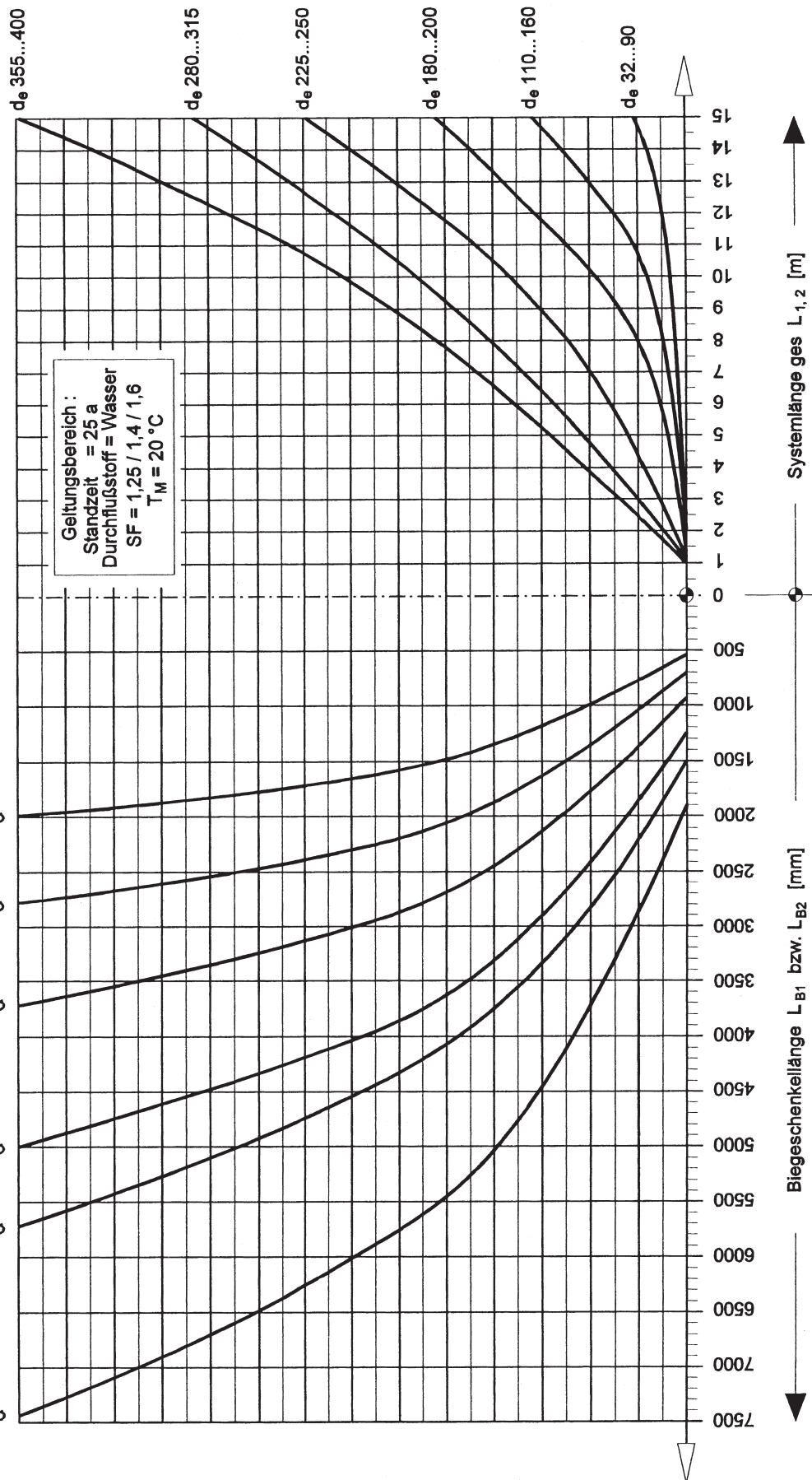
Werkstoff : PE 100



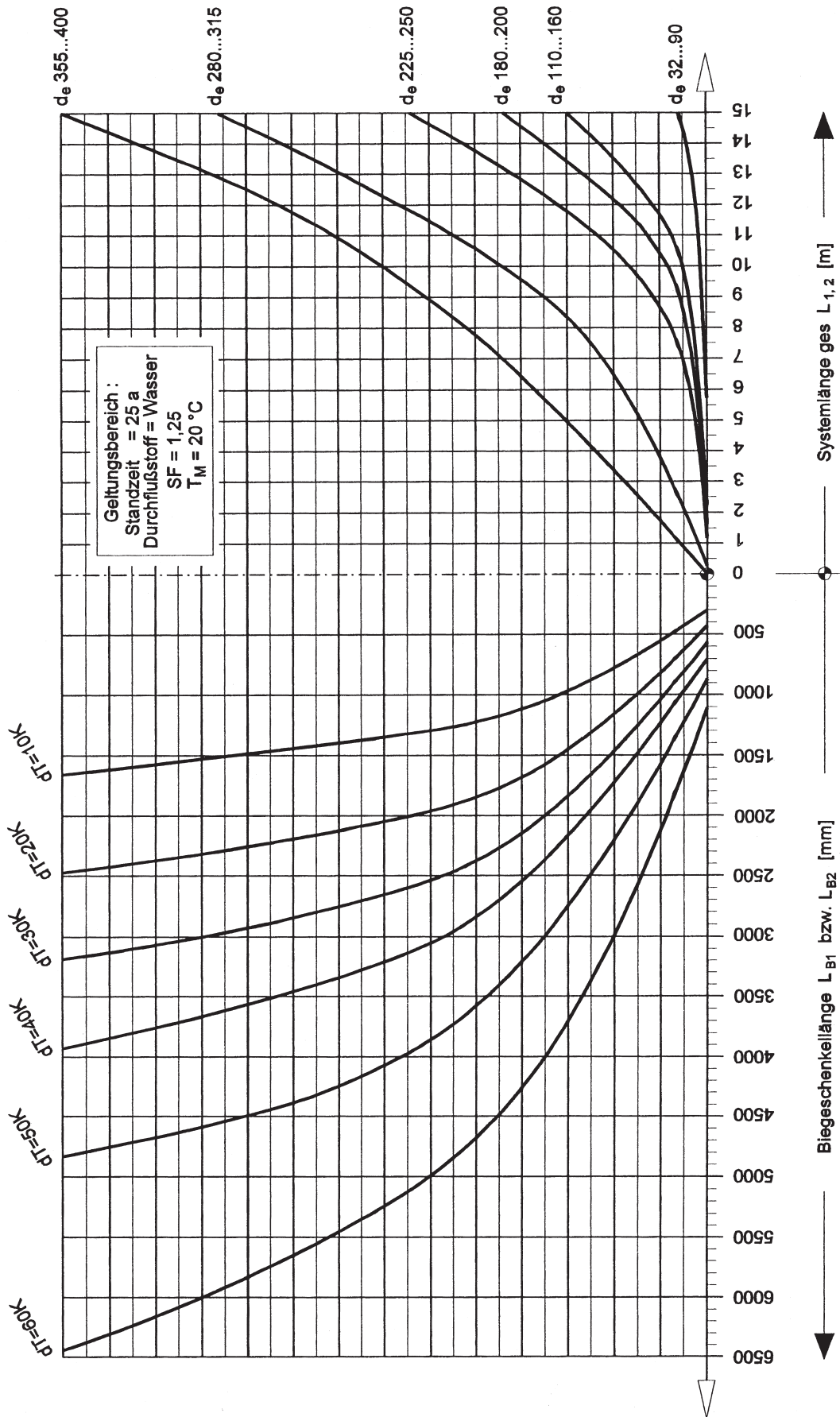
Systemabmessungen L - Bogen

Werkstoff : PP-H

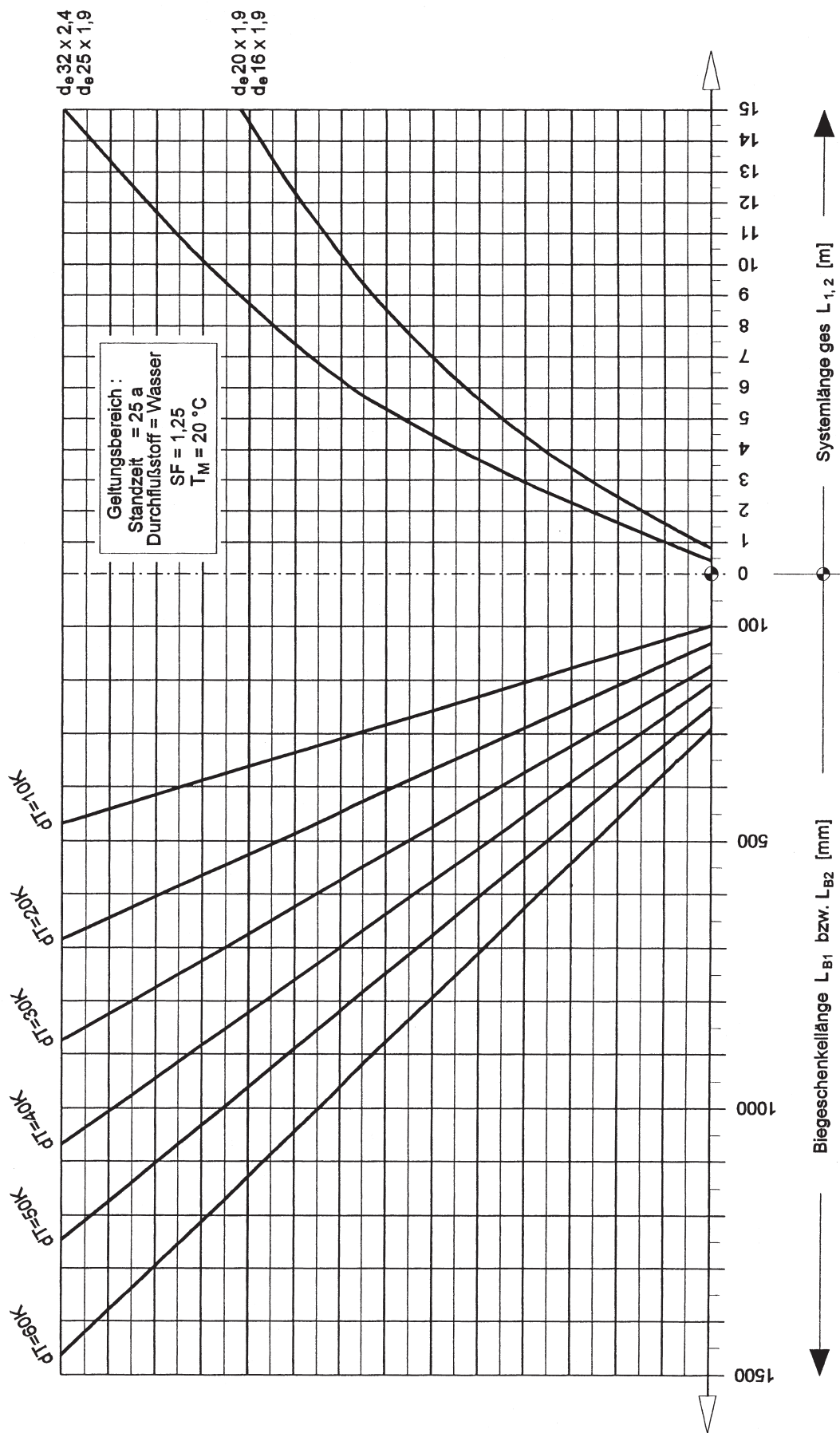
DT=10K / SF=1,6
 DT=20K / SF=1,6
 DT=30K / SF=1,4
 DT=40K / SF=1,4
 DT=50K / SF=1,25
 DT=60K / SF=1,25



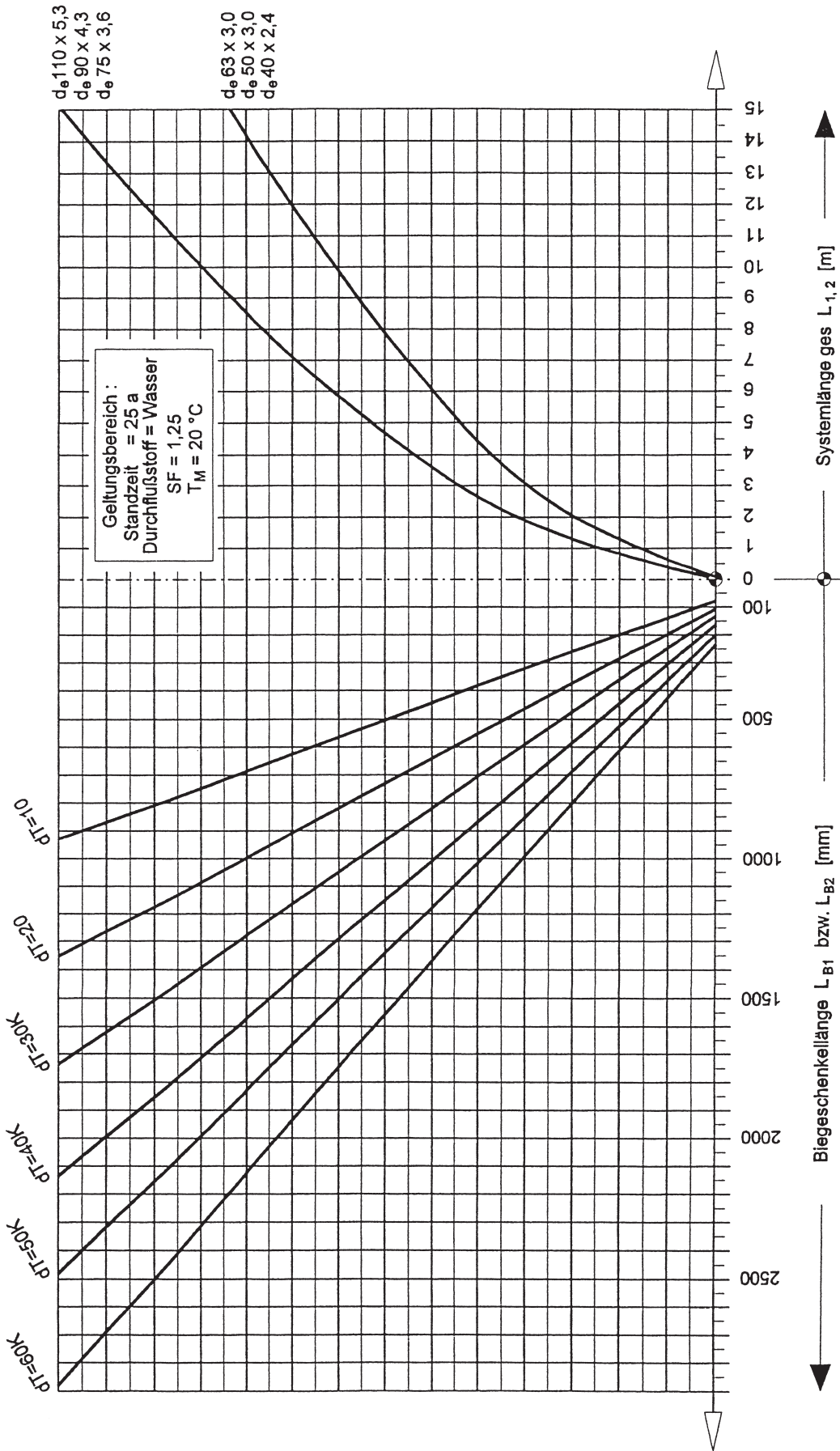
Systemabmessungen L - Bogen
Werkstoff : PP-R



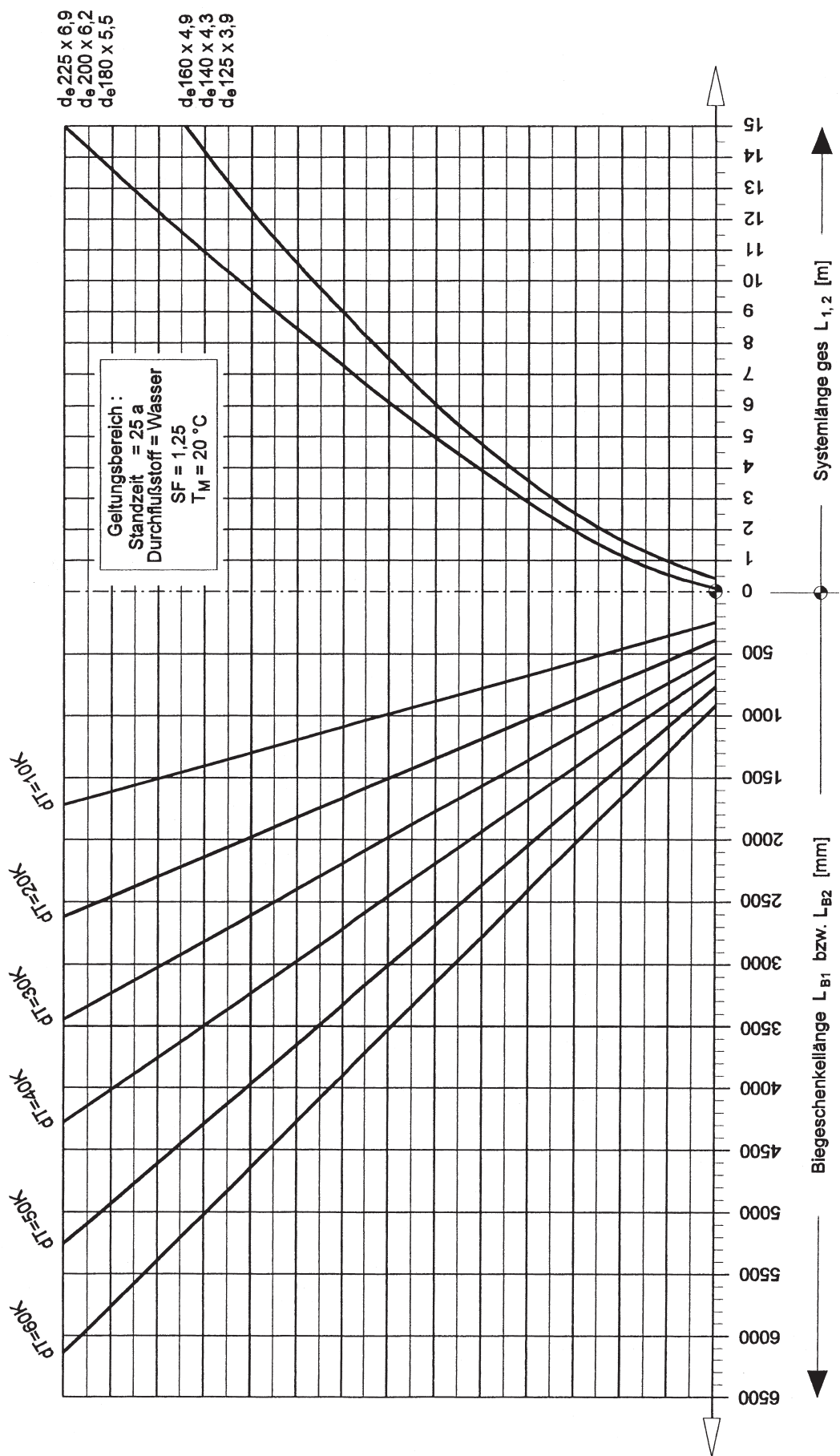
Systemabmessungen L - Bogen
 Werkstoff: PVDF (d_e 16 bis 32)



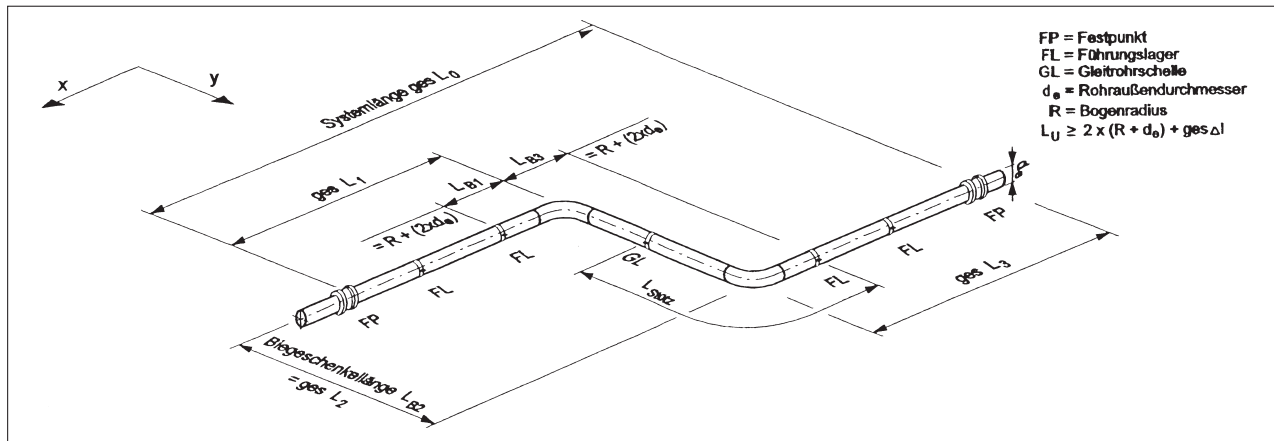
Systemabmessungen L - Bogen
 Werkstoff: PVDF (d_e 40 bis 110)



Systemabmessungen L - Bogen
Werkstoff: PVDF (d_e 125 bis 225)



Dimensionierung von Z-Dehnungsbögen



Z-Dehnungsbogen sind dem L-Dehnungsbogen sehr ähnlich. Die Prinzipzeichnung zeigt, dass das Z-System beidseitig Längenänderungen aufnehmen kann und somit insgesamt elastischer ist als der L-Dehnungsbogen. Diese Elastizität darf im Bereich des wirksamen Z-Elementes nicht durch Stützung mittels Führungsrohrschele (FL) eingeschränkt, sondern muss durch die Anordnung von Gleitrohrschele (GL) erhalten werden.

Die Elastizität des Z-Dehnungsbogens ist abhängig von der Lage des Biegeschenkels L_{B2} innerhalb des Systems. Je mehr die Symmetrie des Z-Dehnungsbogens verändert wird ($ges L_1 \neq ges L_3$), desto mehr verliert der Z-Dehnungsbogen seine Elastizität.

Im Grenzfall ($ges L_1 = 0$ und $ges L_3 = ges L_0$) liegt wieder ein L-Dehnungsbogen vor. Für alle Fälle, in denen eine symmetrische Anordnung des Biegeschenkels L_{B2} nicht möglich ist, kann die Lösung dem nachfolgenden Beispiel entnommen werden.

Die Dimensionierung von Z-Bogen unter Verwendung der SIMONA Diagramme ist folgendermaßen vorzunehmen:

Gegeben: Rohrleitung aus PE 80

Rohrwerkstoff:

Bei der Dimensionierung der Z-Dehnungsbogen nach SIMONA Diagramm ist kein Unterschied zwischen PE 80 und PE 100 zu machen.

Rohrabmessung: $d_e = 280$ mm

Nenndruckstufe beziehungsweise SDR-Klasse:

Das Diagramm kann für alle PE-Rohrleitungen, unabhängig von der Nenndruckstufe und der SDR-Klasse verwendet werden (Die Kontrolle der zulässigen Betriebsüberdruckbelastung ist gemäß des Beispiels [5] Kap. 10 vorzunehmen).

Minimale Betriebstemperatur: $\min T_B = 20^\circ C$

Maximale Betriebstemperatur: $\max T_B = 40^\circ C$

Montagetemperatur:

Die Montagetemperatur liegt in den meisten Fällen zwischen $5^\circ C$ und $25^\circ C$. Aufgrund der einmaligen Temperaturänderung beim Anfahren der Rohrleitung muss nicht die Temperaturdifferenz zur Montagetemperatur, sondern die Differenz zwischen minimaler und maximaler Betriebstemperatur berücksichtigt werden.

Temperaturdifferenz aus Betrieb:

$$\Delta v = \Delta T = 40 - 20 = 20 \text{ K}$$

Systemlänge des Z-Bogens:

$$\text{ges } L_0 = 17 \text{ m,}$$

symmetrische Anordnung

Erforderliche Biegeschenkellängen:

erf L_{B2} : Für ges L_0 ergibt sich ein Mindestbiegeschenkel aus Diagramm mit = 850 mm. erf $L_{B1} = \text{erf } L_{B3}$:

Für ges L_2 ergibt sich der Mindestbiegeschenkel aus

der Beziehung $2 \cdot d_e = 560 \text{ mm}$.

Mit diesem Abstand der Führungsrohrschele (FL) vom jeweiligen Rohrbogenscheitel liegen die Biegespannungen im zulässigen Bereich.

Sonderfall: Asymmetrischer Z-Dehnungsbogen

Systemlänge des Z-Bogens: ges $L_0 = 17 \text{ m}$

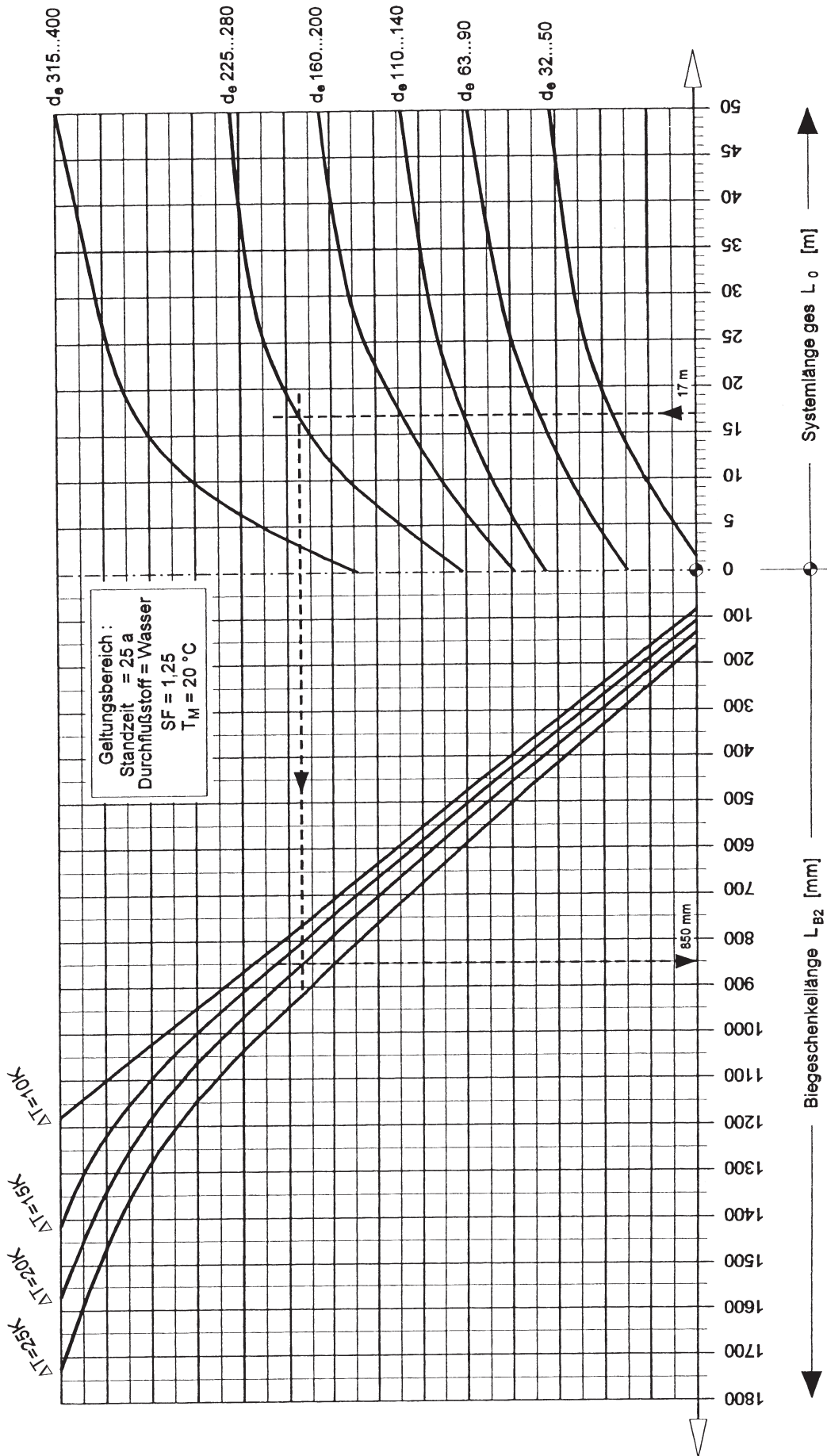
Schenkellänge: ges $L_1 = 12 \text{ m}$

Erforderliche Biegeschenkellängen:

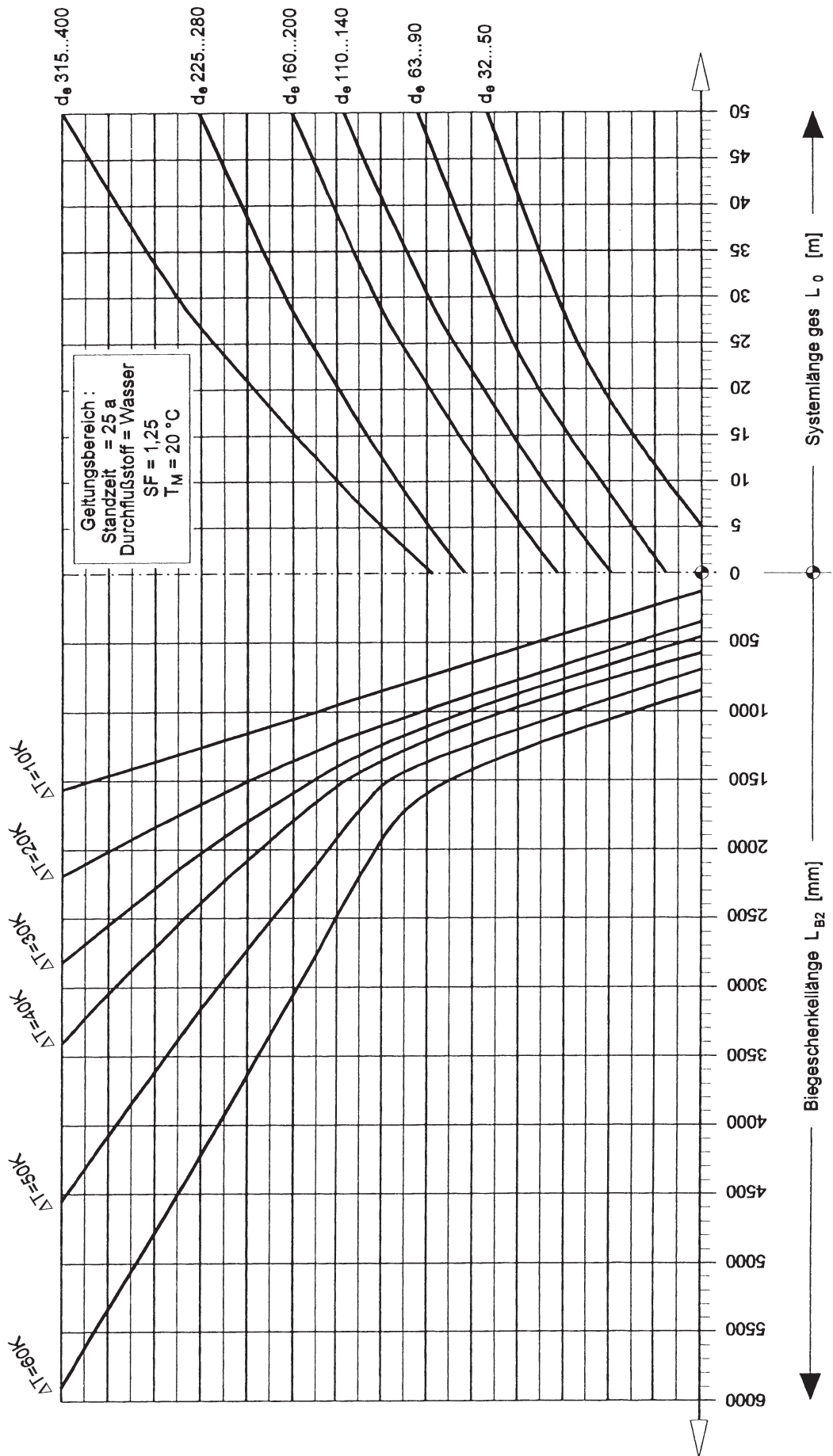
erf L_{B2} : Für ges L_1 ergibt sich ein Mindestbiegeschenkel aus SIMONA Diagramm für L-Dehnungsbogen mit = 1200 mm.

erf $L_{B1} = \text{erf } L_{B3}$: Hier bleibt es bei $2 \cdot d_e = 560 \text{ mm}$.

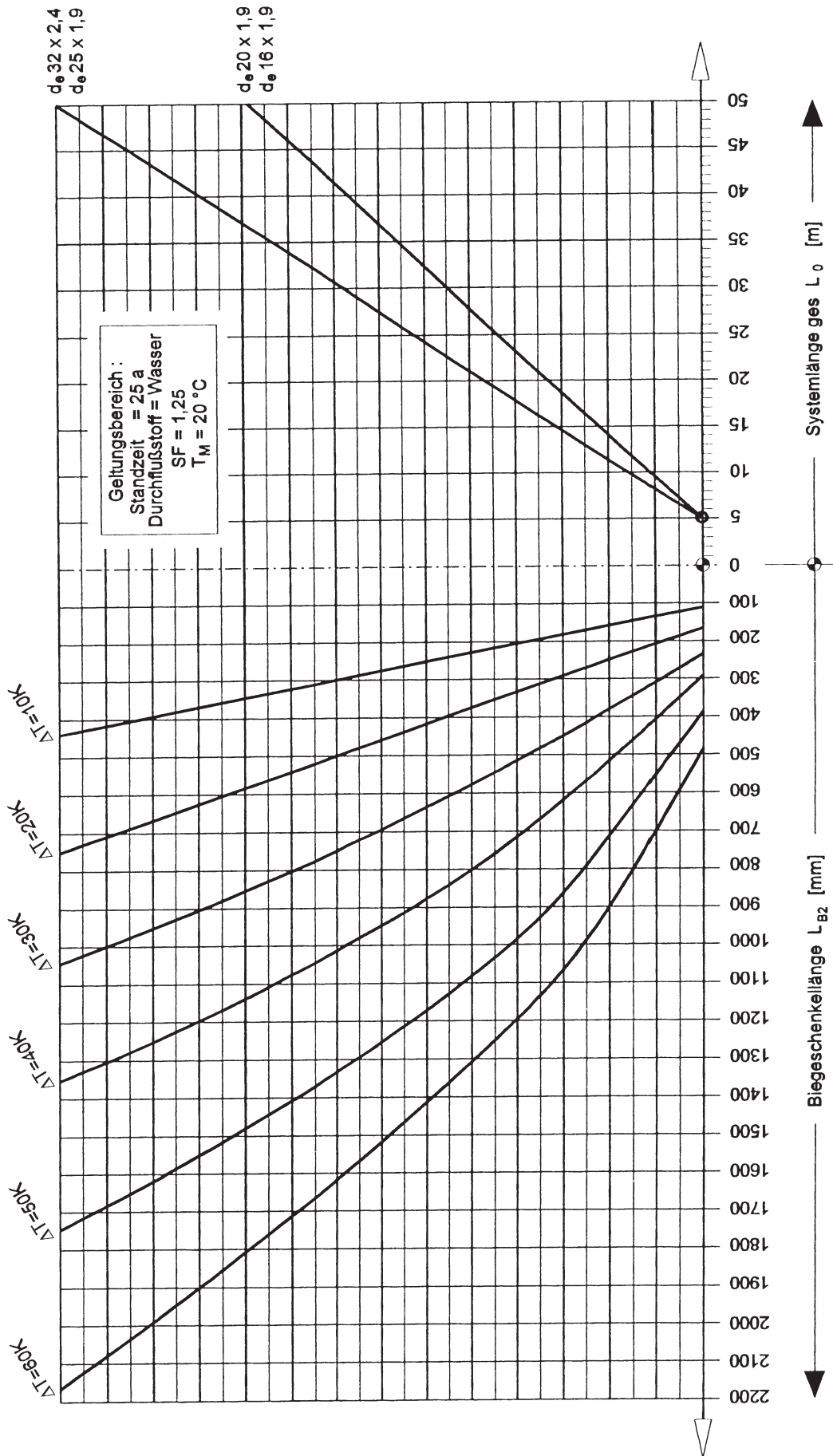
Systemabmessungen Z-Bogen
Werkstoff: PE 80/PE 100



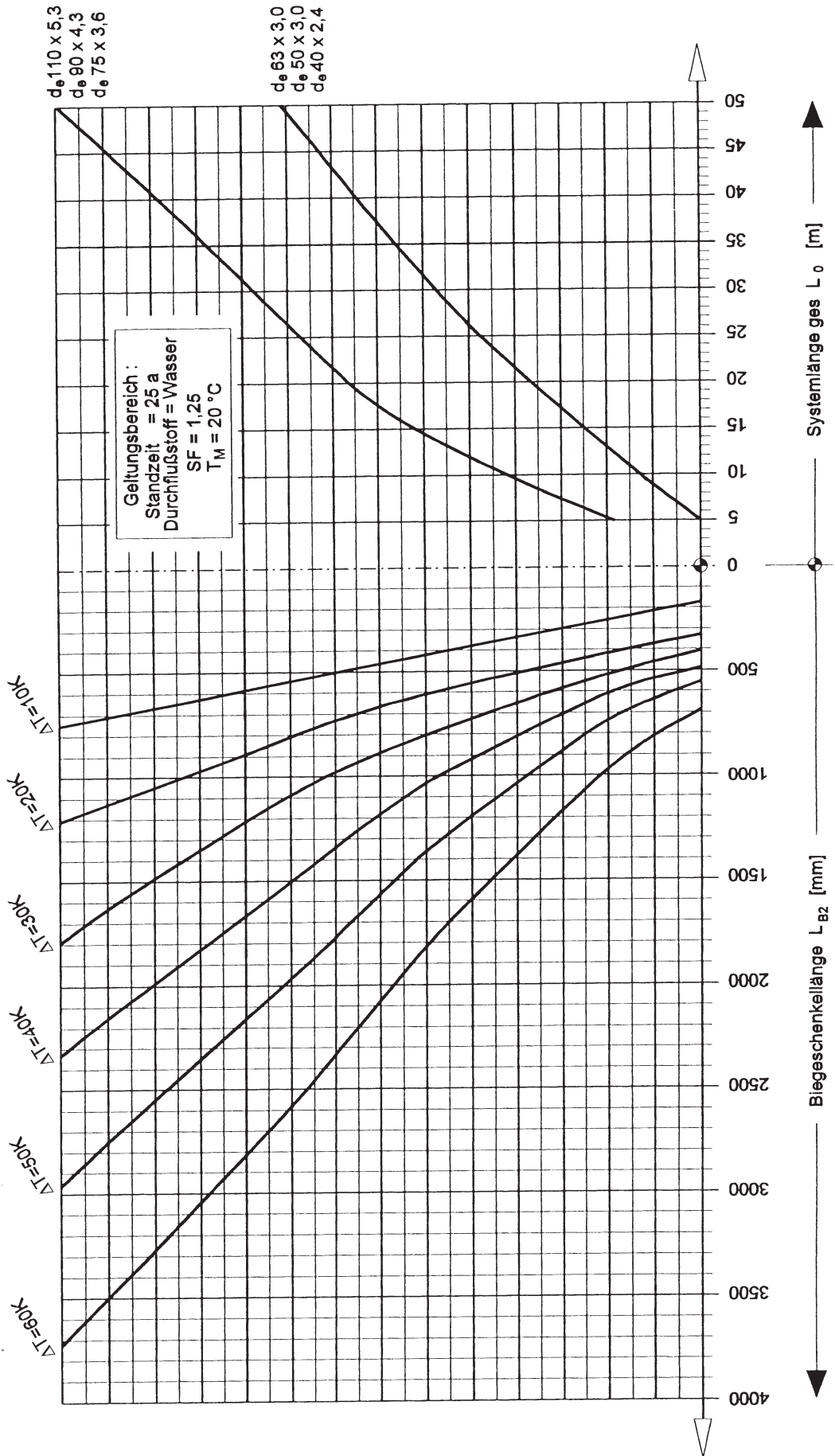
Systemabmessungen Z-Bogen
Werkstoff: PP-H/PP-R



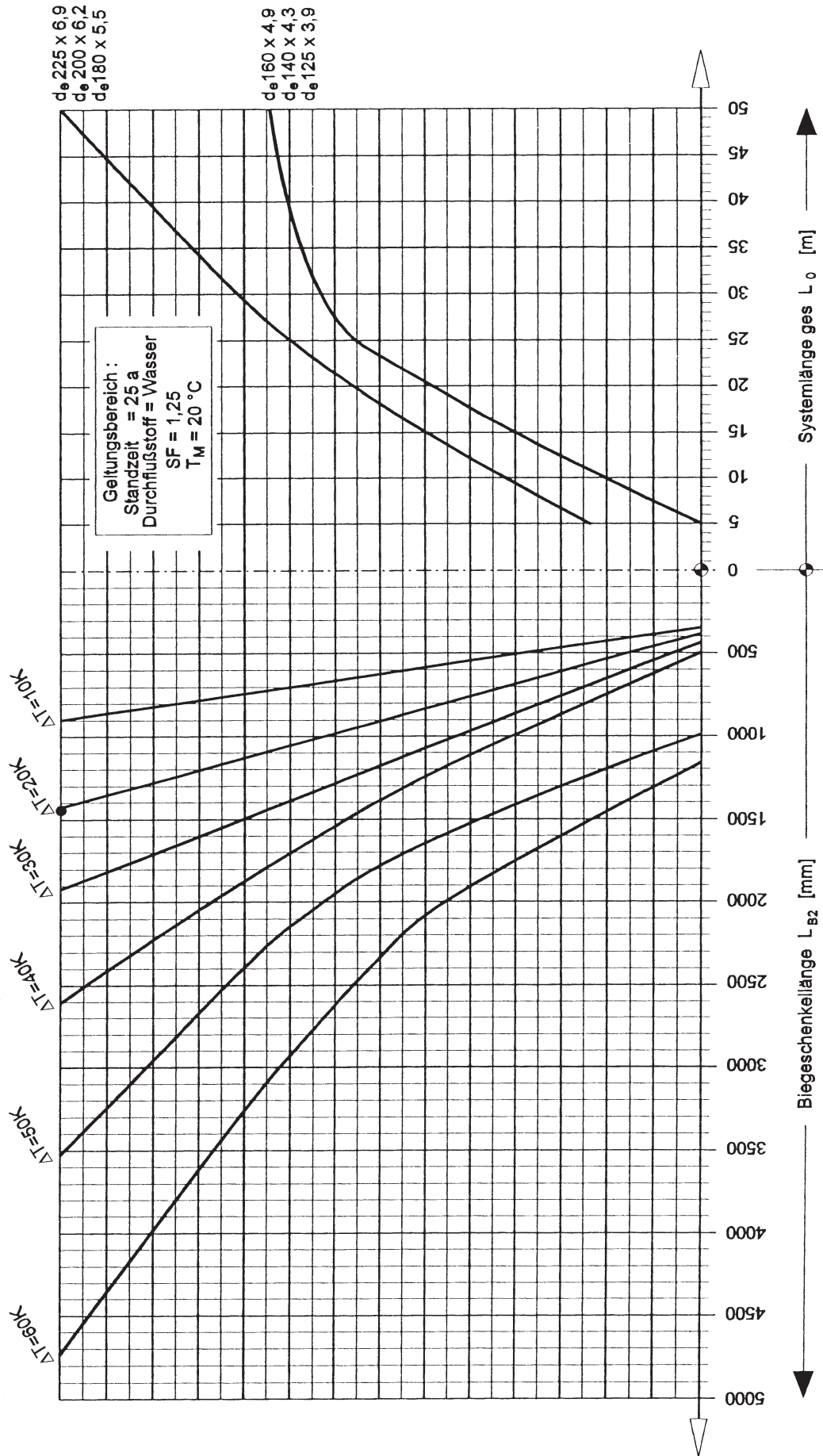
Systemabmessungen Z-Bogen
Werkstoff: PVDF (de 16 bis 32)



Systemabmessungen Z-Bogen
Werkstoff: PVDF (de 40 bis 110)

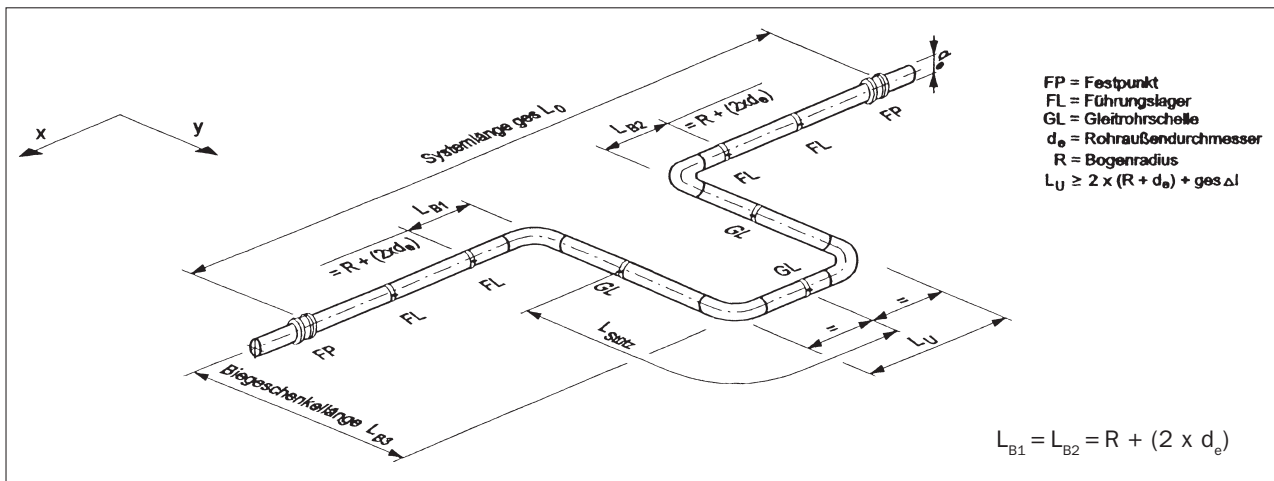


Systemabmessungen Z-Bogen
Werkstoff: PVDF (d_e 125 bis 225)



Dimensionierung von U-Dehnungsbogen

U-Dehnungsbogen dienen zur Aufnahme von Längenänderungen aus langen Rohrstrecken. Die Systemabmessungen gehen aus der Prinzipzeichnung hervor. Besondere Beachtung ist auf die sachgemäße Stützung des U-Dehnungsbogens zu legen. Zum einwandfreien Betrieb dürfen im Bereich der Biegeschenkel keine Führungsrohrschellen (FL) sondern ausschließlich Gleitrohrschellen (GL) angeordnet werden.



Zur Dimensionierung von U-Bogen, unter Verwendung der SIMONA Diagramme, ist gemäß dem nachfolgenden Beispiel vorzugehen:

Gegeben: Rohrleitung aus PE 80

Rohrwerkstoff:

Bei der Dimensionierung der U-Dehnungsbogen nach SIMONA Diagramm ist kein Unterschied zwischen PE 80 und PE 100 zu machen.

Rohrabbmessung: $d_e = 280$ mm

Krümmungsradius der Rohrbogen: $R = d_e = 280$ mm

Nenndruckstufe beziehungsweise SDR-Klasse:

Das Diagramm kann für alle PE-Rohrleitungen, unabhängig von der Nenndruckstufe und der SDR-Klasse verwendet werden (Die Kontrolle der zulässigen Betriebsüberdruckbelastung ist gemäß des Beispiels [5] Kap. 10 vorzunehmen).

Minimale Betriebstemperatur: $\min T_B = 20^\circ\text{C}$

Maximale Betriebstemperatur: $\max T_B = 40^\circ\text{C}$

Montagetemperatur:

Die Montagetemperatur liegt in den meisten Fällen zwischen 5°C und 25°C . Aufgrund der einmaligen Temperaturänderung beim Anfahren der Rohrleitung muss nicht die Temperaturdifferenz zur Montagetemperatur, sondern die Differenz zwischen minimaler und maximaler Betriebstemperatur berücksichtigt werden. Für dieses Beispiel soll die Montagetemperatur $T_M = 10^\circ\text{C}$ betragen.

Temperaturdifferenz aus Betrieb:

$$\Delta T = 40 - 20 = 20 \text{ K}$$

Um sicherzustellen, dass sich die Biegeschenkel L_{B3} bei maximaler Temperaturdifferenz nicht berühren, ist die maximale Längenänderung für die Festlegung von L_U zu berücksichtigen.

Maximale Temperaturdifferenz:

$$\Delta v = \max \Delta T = 40 - 10 = 30 \text{ K}$$

Systemlänge des U-Bogens: ges $L_0 = 43$ m

Berechnung der Längenänderung:

$$\Delta l_T = \alpha \cdot \text{ges } L_0 \cdot \Delta T = 0,00018 \cdot 43 \cdot 1000 \cdot 30 = 232 \text{ mm (siehe dazu auch Abschnitt 5.3.2)}$$

Erforderliche Biegeschenkelängen:

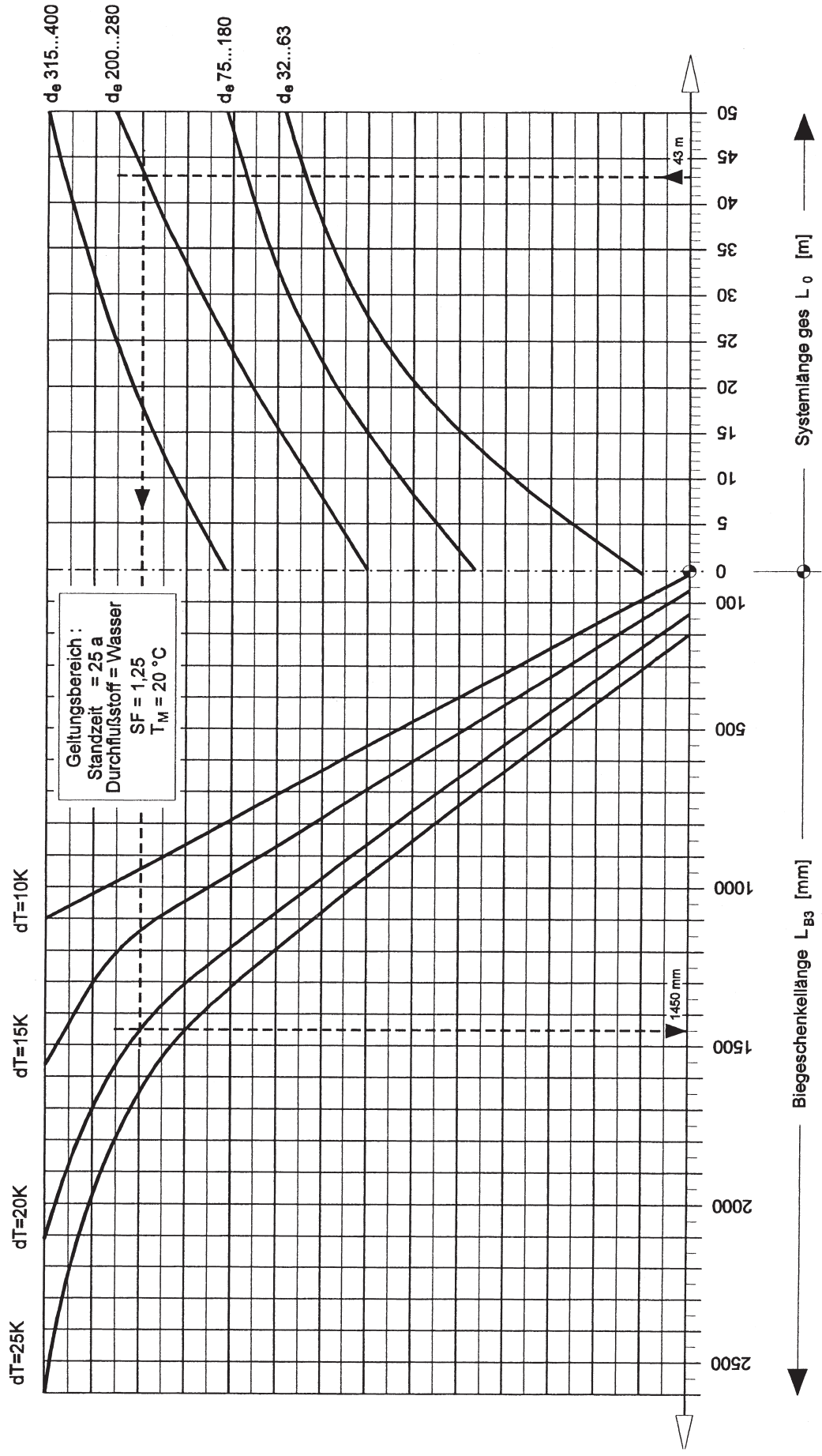
$$\text{erf } L_{B1} = \text{erf } L_{B2} = 280 + 2 \cdot 280 = 840 \text{ mm}$$

$\text{erf } L_{B3}$: Für ges L_0 ergibt sich ein Mindestbiegeschenkel aus Diagramm U-Bogen aus PE 80/PE 100 mit = 1450 mm^①

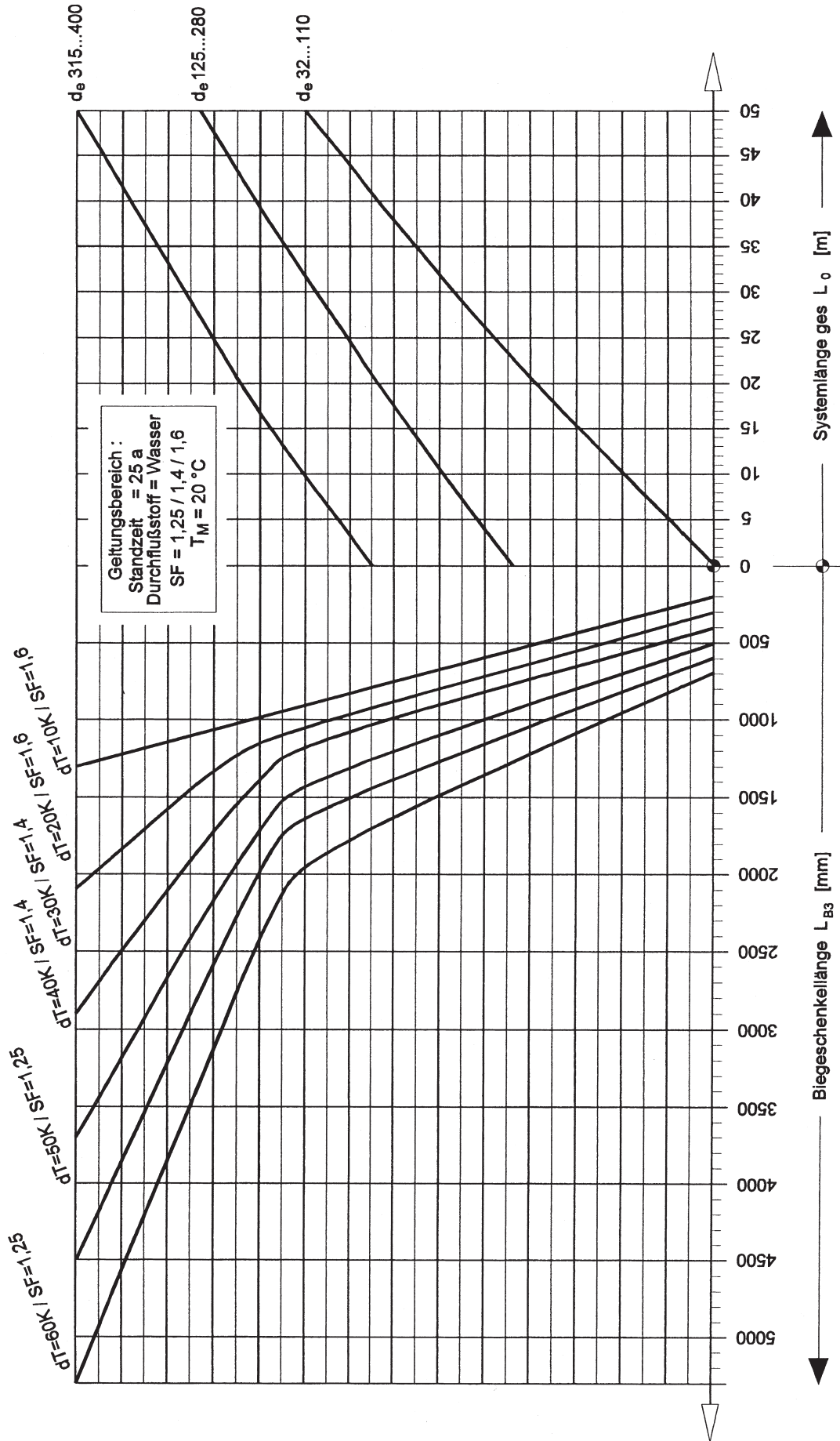
$$\text{erf } L_U = 2 \cdot (280 + 280) + 232 = 1352 \text{ mm}$$

① Die Mindestbiegeschenkelänge nach Diagramm berücksichtigt, dass wes aufgrund der Reibung an den Rohraufgaben, unter Umständen nicht zur gesamten Längenänderung kommt.

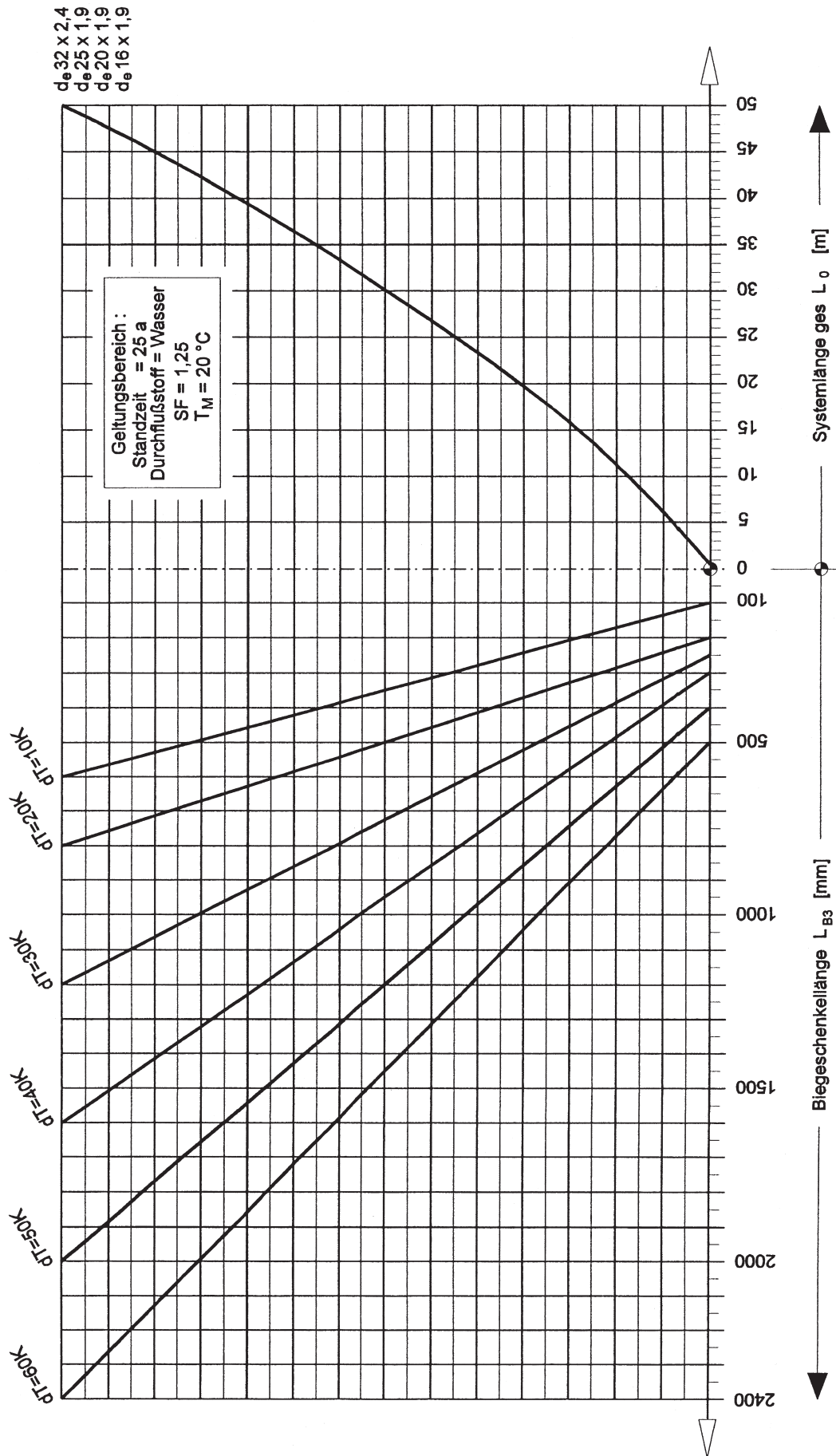
Systemabmessungen U-Bogen
Werkstoff: PE 80/PE 100



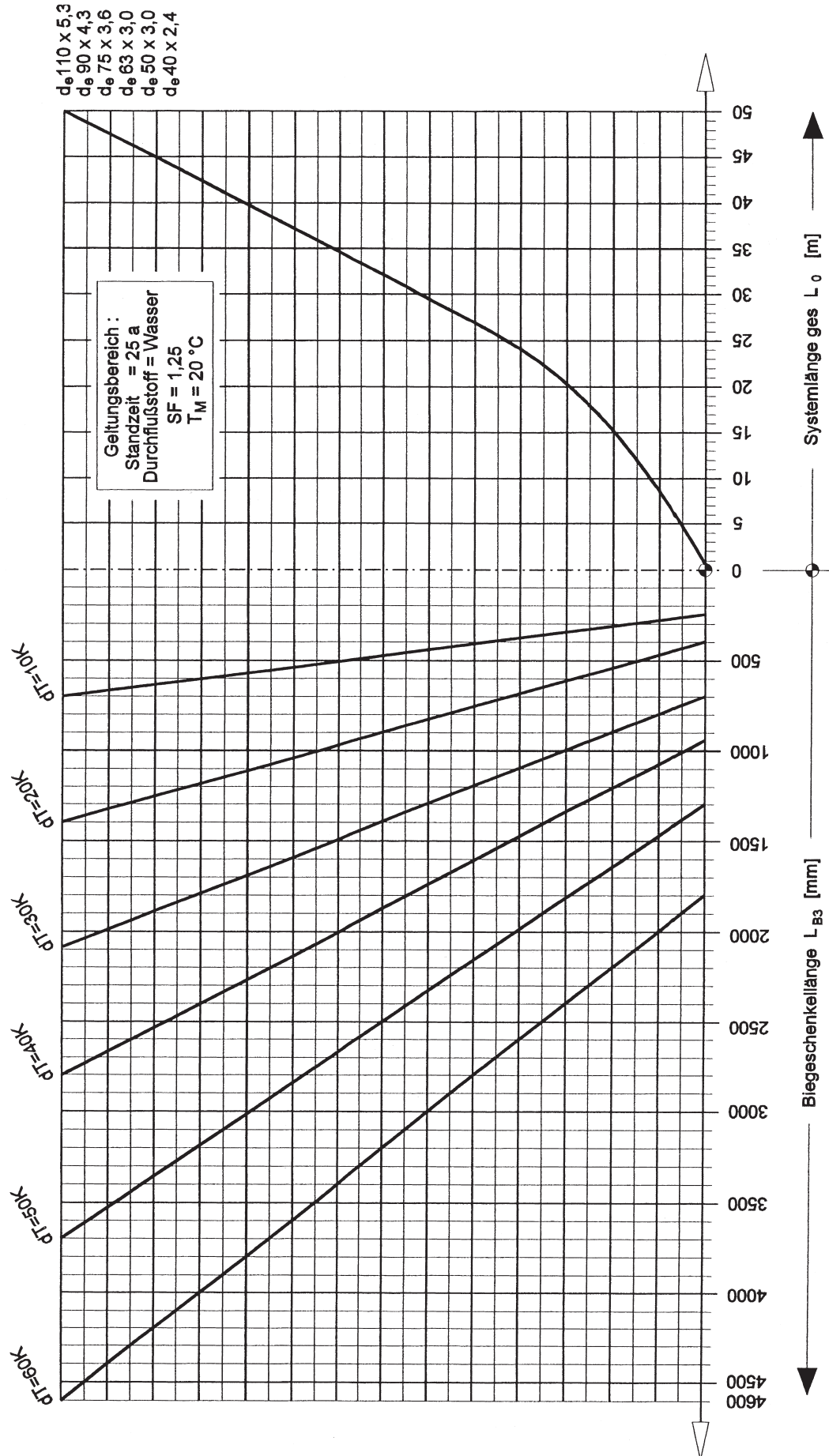
Systemabmessungen U-Bogen
Werkstoff: PP-H/PP-R



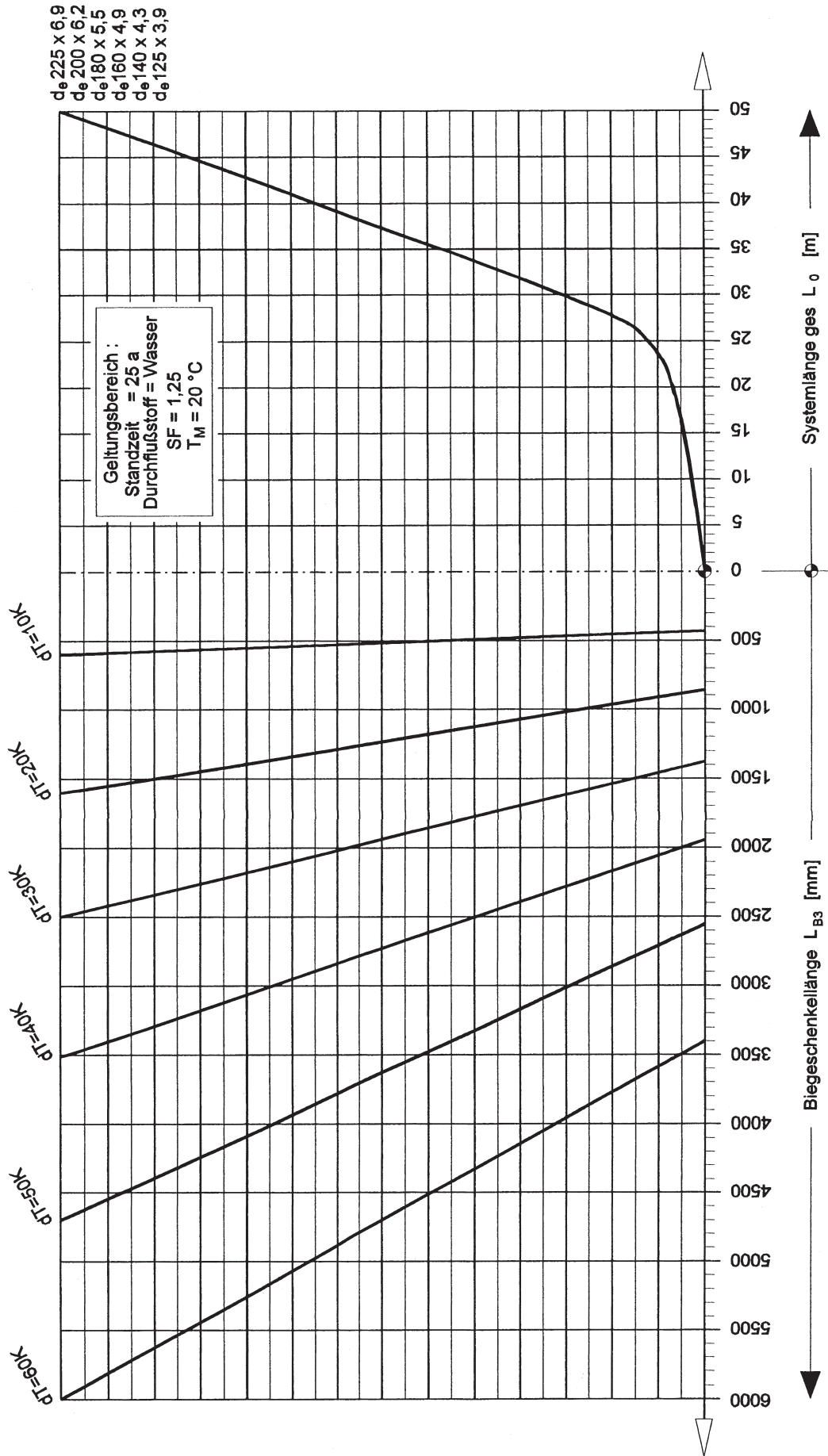
Systemabmessungen U-Bogen
Werkstoff: PVDF (d_e 16 bis 32)



Systemabmessungen U-Bogen
Werkstoff: PVDF (d_e 40 bis 110)



Systemabmessungen U-Bogen
Werkstoff: PVDF (d_e 125 bis 225)



5.3.4 Festpunktbelastungen

Oberirdisch verlegte Kunststoffrohrleitungen erfordern ein Befestigungssystem. Das Befestigungssystem muss sicherstellen, dass die Rohrleitung ausreichend gestützt beziehungsweise geführt wird und während des Betriebes keine unzulässigen Belastungen aus unzureichender Befestigung auftreten können.

Um von einem Befestigungssystem reden zu können, bedarf es der Verwendung verschiedener Befestigungseinheiten mit unterschiedlicher Funktion. Ein wesentliches Element des Befestigungssystems ist der unverschiebbare Festpunkt, welcher aufgrund seiner Funktion die größte Belastung aufzunehmen hat.

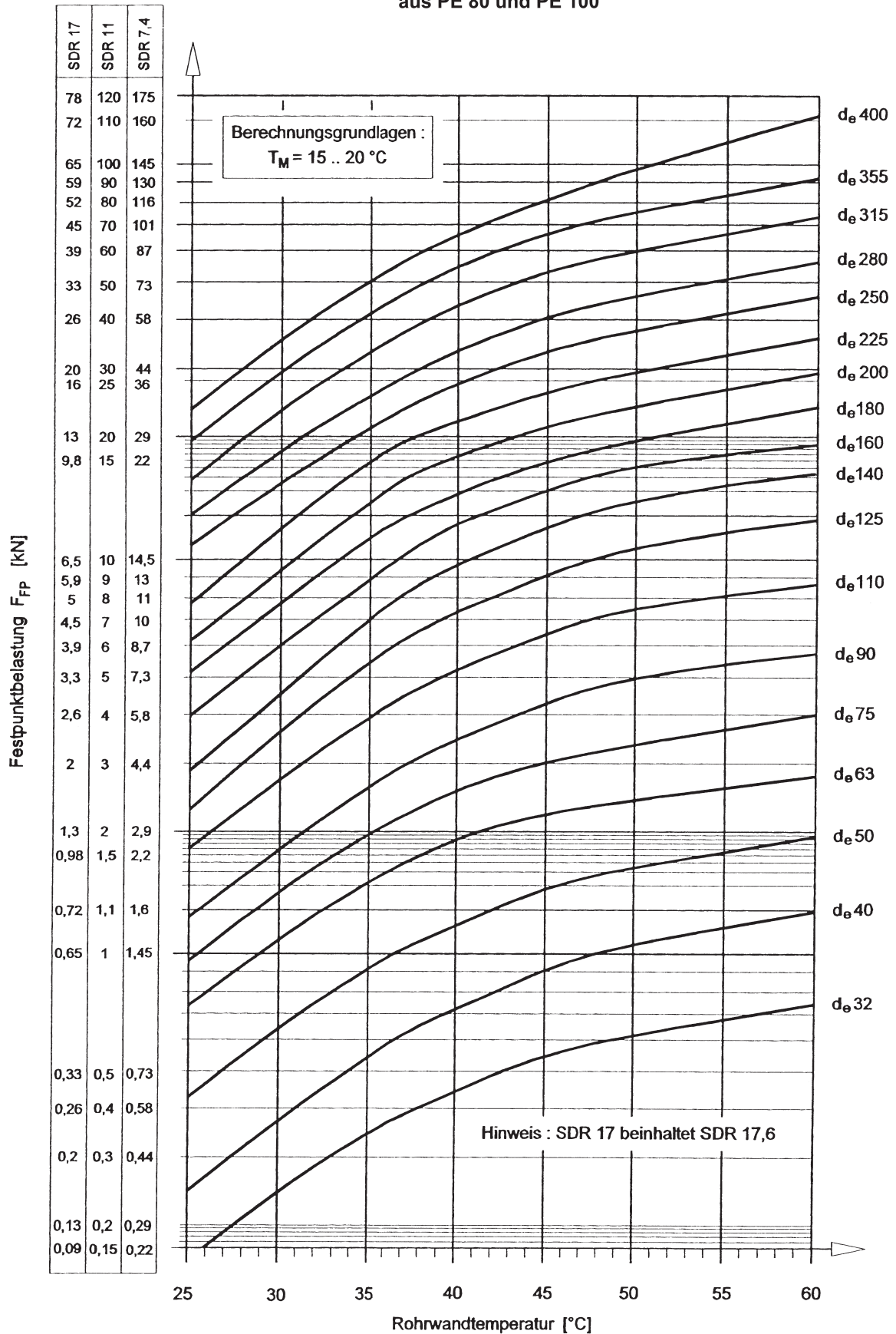
Festpunkte erhalten ihre Belastung aus folgenden Prüf- und Betriebszuständen:

- Innendruckprüfung,
- Behinderung der Längenänderung,
- Reibung bei den Rohrauflagen,
- Innendruck beim Einbau von Kompensatoren oder Schiebemuffen.

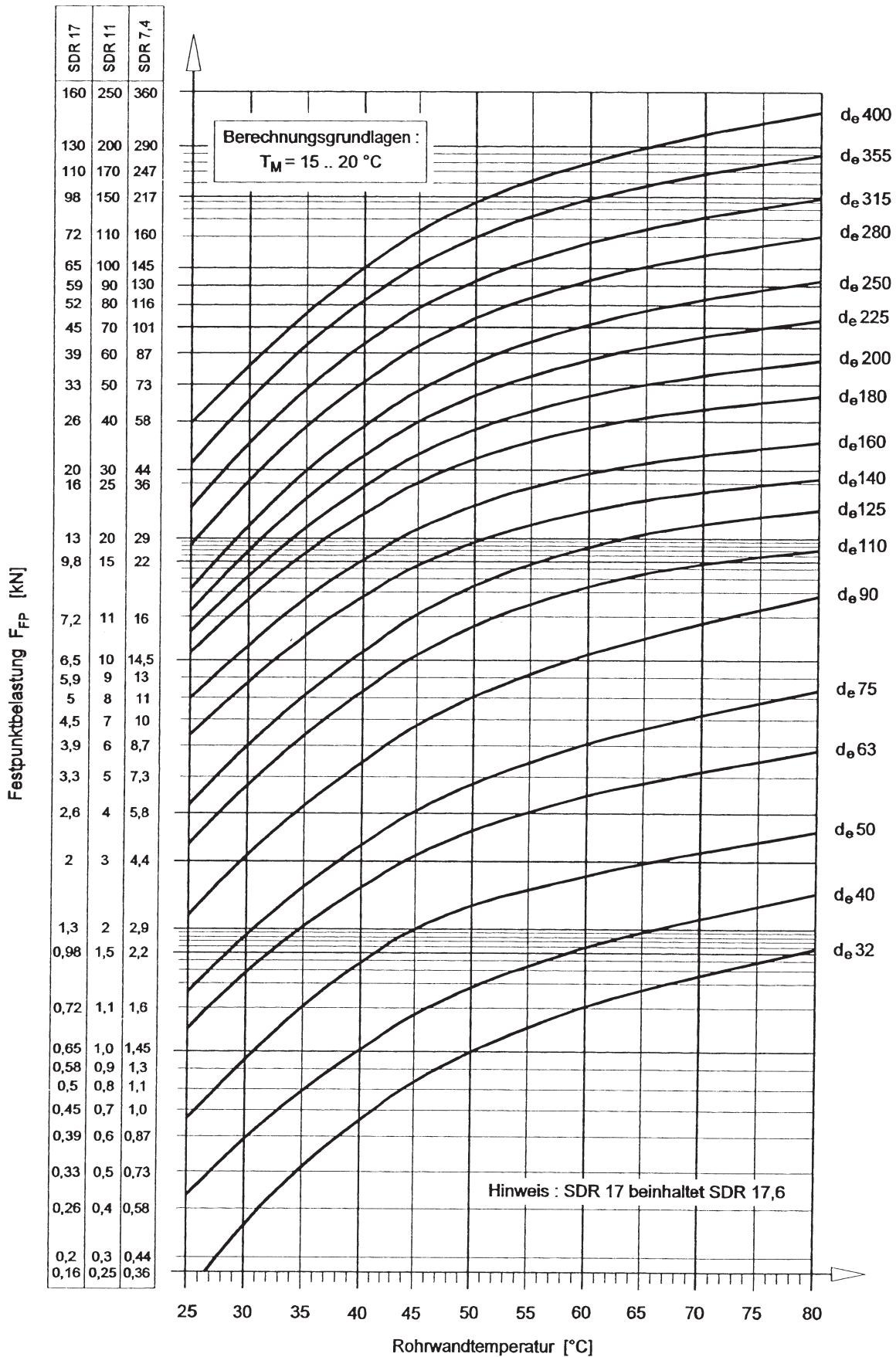
Welche der angegebenen Belastungen das Maximum darstellt, lässt sich ohne rechnerische Untersuchung nicht feststellen. Aufgrund der unterschiedlichen Betriebszustände soll im Rahmen der vereinfachten Ermittlung von Verlegeparametern lediglich die Festpunktbelastung aus veränderter Wärmedehnung in Rohrlängsrichtung betrachtet und in einem werkstoffzugeordneten Diagramm dargestellt werden (siehe Kap. 10 Bsp. [6]).

Die ermittelte Festpunktbelastung erfasst nur den Betriebszustand der Rohrleitung bei veränderter Wärmedehnung. Nachfolgend sollen auch andere Einflüsse auf die Festpunktbelastung untersucht werden (siehe Kap. 10 Bsp [7]).

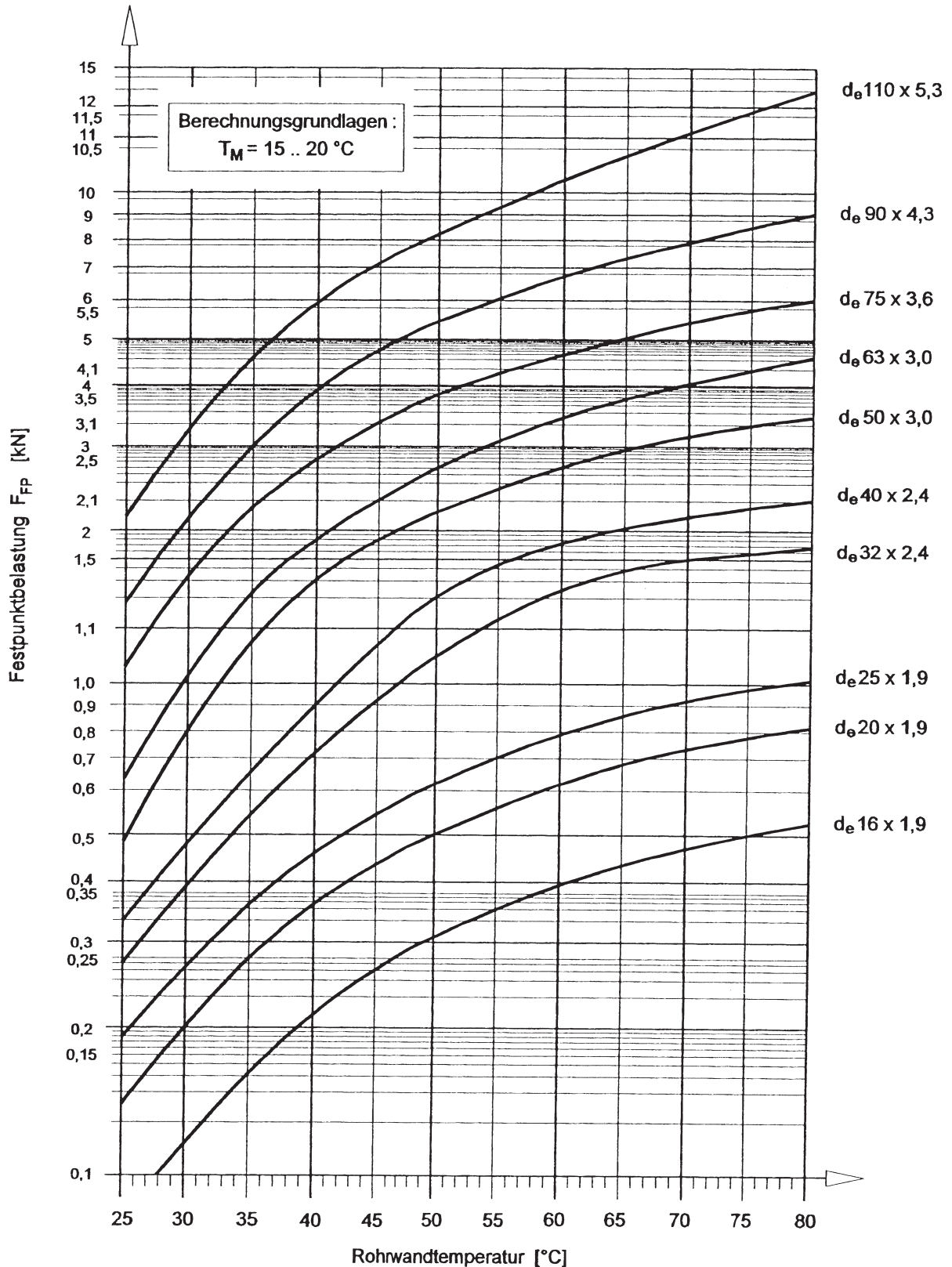
Festpunktkräfte in axial eingespannten Kunststoffrohrleitungen aus PE 80 und PE 100



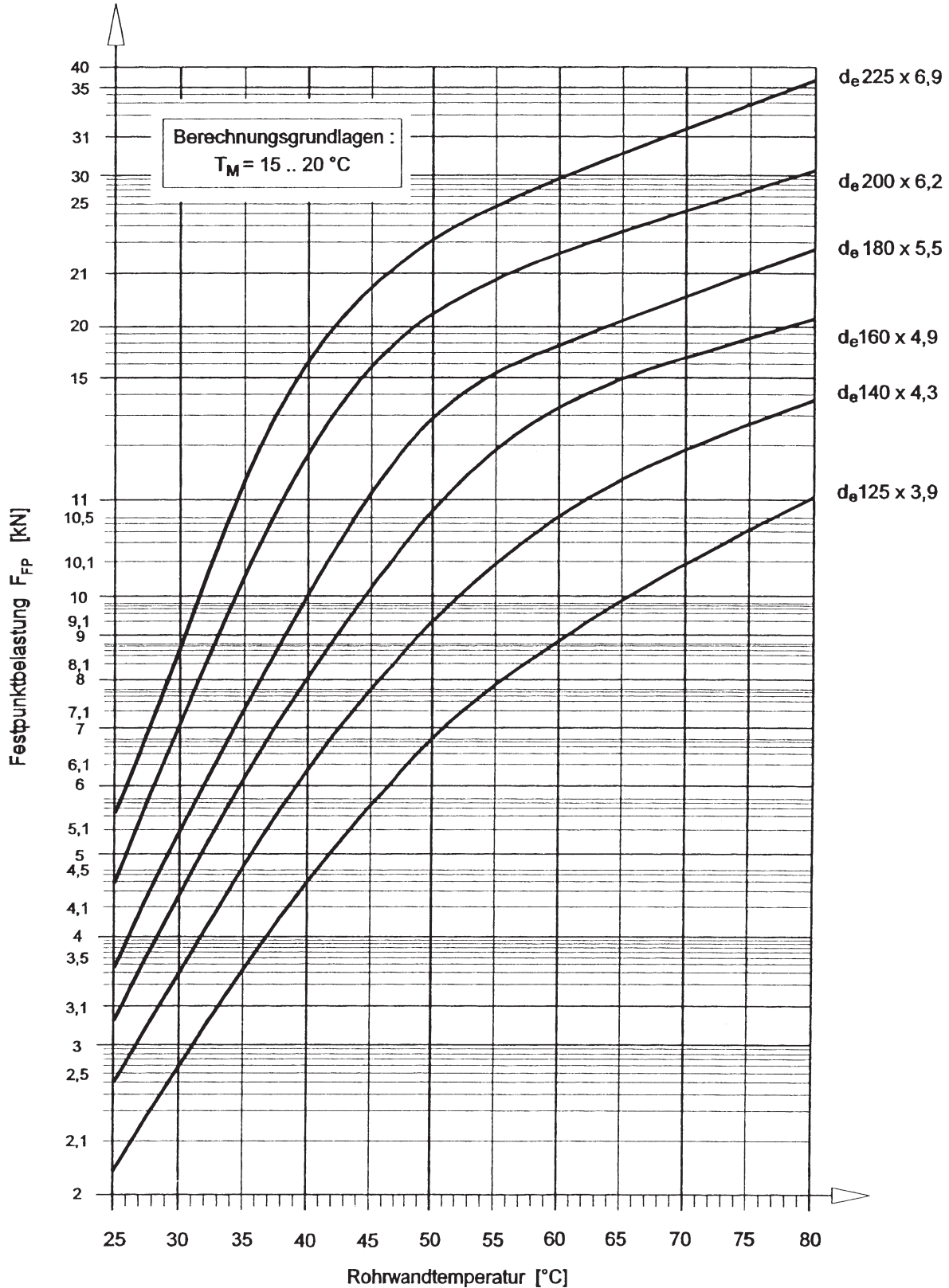
Festpunktkräfte in axial eingespannten Kunststoffrohrleitungen aus PP-H und PP-R



Festpunktkräfte in axial eingespannten Kunststoffrohrleitungen aus PVDF d_e 16 bis 110



Festpunktkräfte in axial eingespannten Kunststoffrohrleitungen
aus PVDF d_e 125 bis 225



5.3.5 Befestigungsabstände

Beim Verlegen von oberirdischen Kunststoffrohrleitungen ist sicherzustellen, dass sich während des Betriebs keine unzulässigen Verschiebungen oder zu großes Durchhängen der Rohrstränge einstellt. Der wesentliche Faktor für das Maß des zulässigen Durchhängens (Durchbiegung) ergibt sich aus der Biegelinie eines durchlaufenden Trägers mit Rohrquerschnitt. Als übliche Größe kann das Verhältnis $f = L/500$ bis $L/750$ angesehen werden.

Die Kurzzeichen bedeuten:

- L = Befestigungs- beziehungsweise Stützabstand
- f = größte Durchbiegung des Rohres zwischen den Befestigungspunkten

Bei der Betrachtung der größten Durchbiegung ist darauf zu achten, dass die zulässigen Werte auf die festgelegte Standzeit der Rohrleitung zu beziehen sind. Übliche Standzeiten für Industrie- und Versorgungsleitungen sind im Abschnitt 4.2.2 aufgeführt.

Neben der zulässigen Durchbiegung, welche die Größe der Stützabstände beeinflusst, ist bei Kunststoffrohrleitungen auch die Gefahr des Ausknickens zu beachten. Der Lastfall „Knicken“ tritt ein, wenn sich ein Rohrstrang aufgrund seiner Befestigung nicht mehr unter Temperatureinfluss unbehindert ausdehnen kann, also als axial fest eingespannt gilt.

Bei großer Druckspannung, ausgelöst durch eine behinderte Längenänderung, kann die kritische Knicklast überschritten werden. Dies führt zu einer Instabilität des als „Stütze“ betrachteten Rohrstranges zwischen zwei Befestigungspunkten. Um das Knicken zu verhindern, muss der Befestigungsabstand = Führungsabstand des Rohrstranges der kritischen Knicklast angepasst werden. Das heißt, je größer die Knicklast wird, desto kleiner muß der Befestigungsabstand werden.

Diesem Verhalten der Kunststoffrohrleitung ist durch die Begrenzung des Stützabstandes entgegenzuwirken, was in den SIMONA Diagrammen berücksichtigt wurde. Die Gefahr des Ausknickens beschränkt sich im Wesentlichen auf Rohrleitungen kleineren Durchmessers, bei denen auch die zulässige Stützweite wegen des Durchhängens klein gehalten werden muss.

Die Überschneidung von zulässiger Stützweite und erforderlichem Führungsabstand ist werkstoff-, temperatur- und durchmesserabhängig. Die Grenzen sind, bezogen auf den Anwendungsbereich der SIMONA Diagramme, der nachfolgenden Tabelle 7 zu entnehmen.

In der Tabelle sind Angaben zu den maßgebenden Befestigungsabständen für Kunststoffrohrleitungen verschiedener Thermoplaste enthalten. Nimmt man die Angaben aus Zeile 1 für PE, so ist für Rohre ab $d_e = 40$ und Betriebstemperaturen $\leq 30^\circ\text{C}$ der

5

Table 7: Stützweite und erforderlicher Führungsabstand

Werkstoff	T _B	maßgebender Abstand		T _B	maßgebender Abstand	
		L _{Stütz}	L _{Führ}		L _{Stütz}	L _{Führ}
PE	≤ 30 °C	d _e > 32	d _e ≤ 32	> 30 °C	d _e > 75	d _e ≤ 75
PP	≤ 40 °C	d _e > 75	d _e ≤ 75	> 40 °C	d _e > 140	d _e ≤ 140
PVDF	≤ 40 °C	d _e > 63	d _e ≤ 63	> 40 °C	d _e > 110	d _e ≤ 110

Stützabstand $L_{\text{Stütz}}$ die maßgebende Größe. Das bedeutet gleichzeitig, alle Rohre $< d_e = 40$ würden bei üblichen Stützabständen ausknicken.

Liegen die Betriebstemperaturen $> 30^\circ\text{C}$, so verschiebt sich die Grenze von $d_e = 32$ mm auf $d_e = 75$ mm, bei der übliche Stützweiten angewendet werden können, ohne dass die Rohrleitung ausknickt. Unter üblichen Stützweiten werden die Angaben in der Richtlinie DVS 2210-1 verstanden.

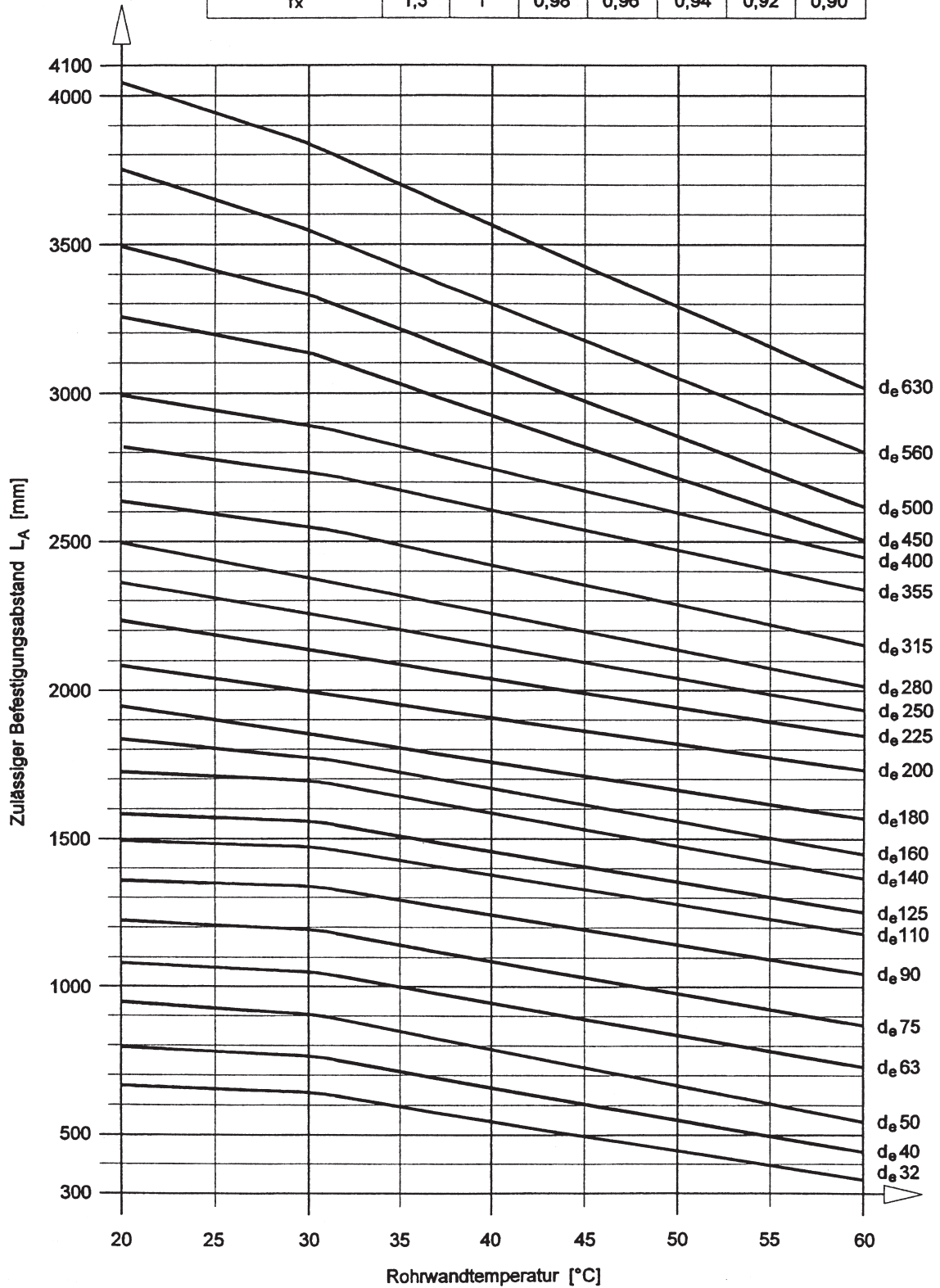
Um eine Differenzierung in der vorgenannten Weise zu umgehen, wurden die SIMONA Diagramme zu den Befestigungsabständen so dargestellt, dass eine Unterscheidung in Stützweite und Führungsabstand nicht mehr erforderlich ist. Damit ist eine sichere Verlegung der Rohrleitung möglich, unabhängig davon, ob sich der jeweilige Rohrstrang axial ausdehnen kann oder durch Festpunkte gehindert ist.

Bei der Anwendung der SIMONA Diagramme ist zu beachten, dass die Angaben zu den Befestigungsabständen nur dann zutreffen, wenn die Rohrleitung von Wasser und anderen Stoffen durchströmt wird, welche die Dichte $1,0 \text{ g/cm}^3$ haben und auf die mechanischen Eigenschaften des Rohrwerkstoffes keine Wirkung haben. Die Wirkung bestimmter Durchflusstoffe auf den Rohrwerkstoff kann sich zum Beispiel in Form von Quellung bemerkbar machen, bei der sich die Festigkeitseigenschaften deutlich verringern. Hinweise zu den Durchflusstoffen sind der SIMONA® SIMCHEM zu entnehmen.

Die Anwendung der SIMONA Diagramme zur Bestimmung des zulässigen Befestigungsabstandes von thermoplastischen Kunststoffrohrleitungen soll an einem Beispiel erläutert werden (siehe Kap. 10 Bsp. [8]).

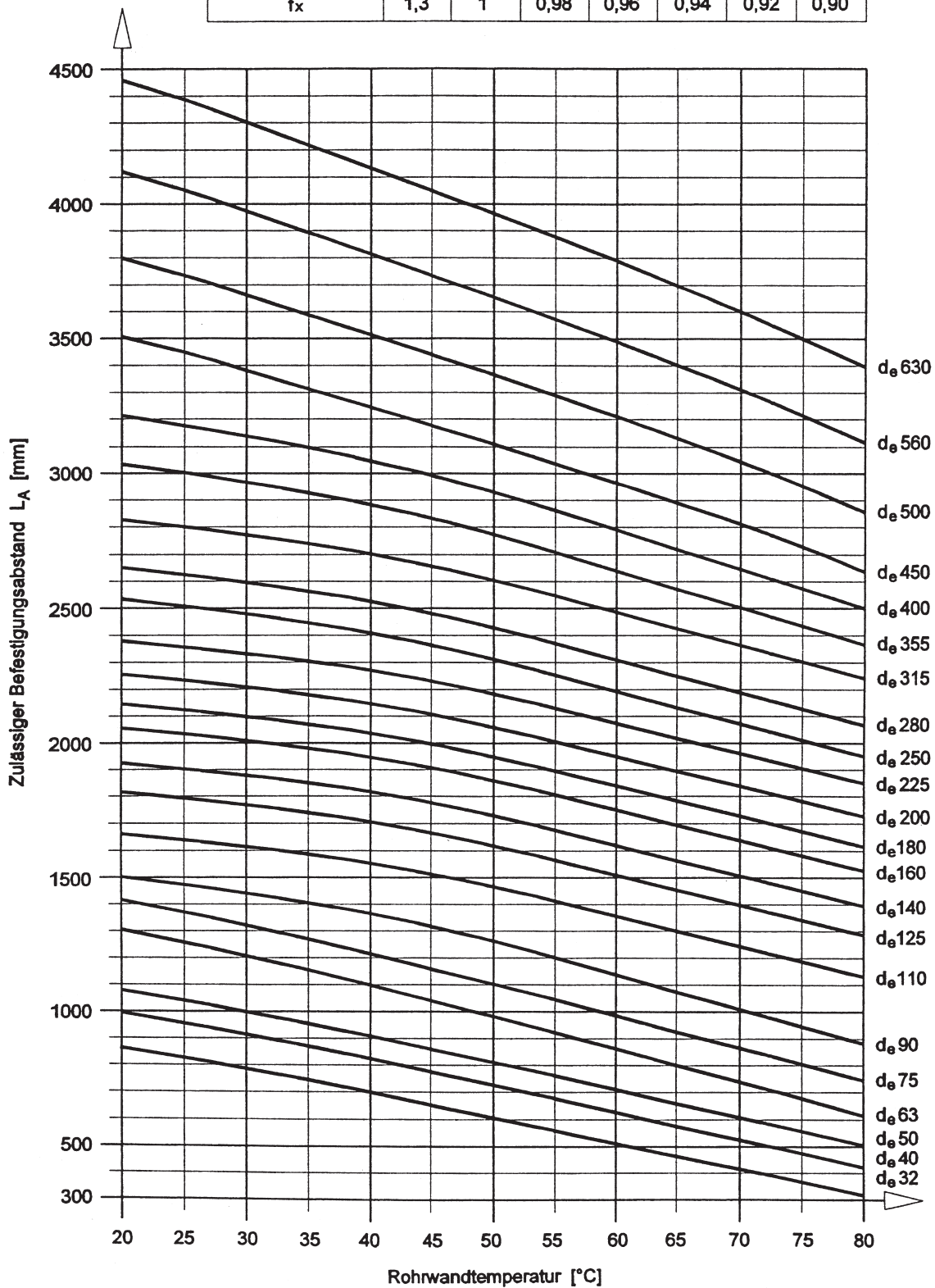
Befestigungsabstände von Kunststoffrohrleitungen aus PE 80/PE 100

		Dichte des Durchflußstoffes [g/cm ³]					
Umrechnungsfaktor	Gase	$\rho = 1,0$	$\rho = 1,1$	$\rho = 1,2$	$\rho = 1,3$	$\rho = 1,4$	$\rho = 1,5$
f_x	1,3	1	0,98	0,96	0,94	0,92	0,90



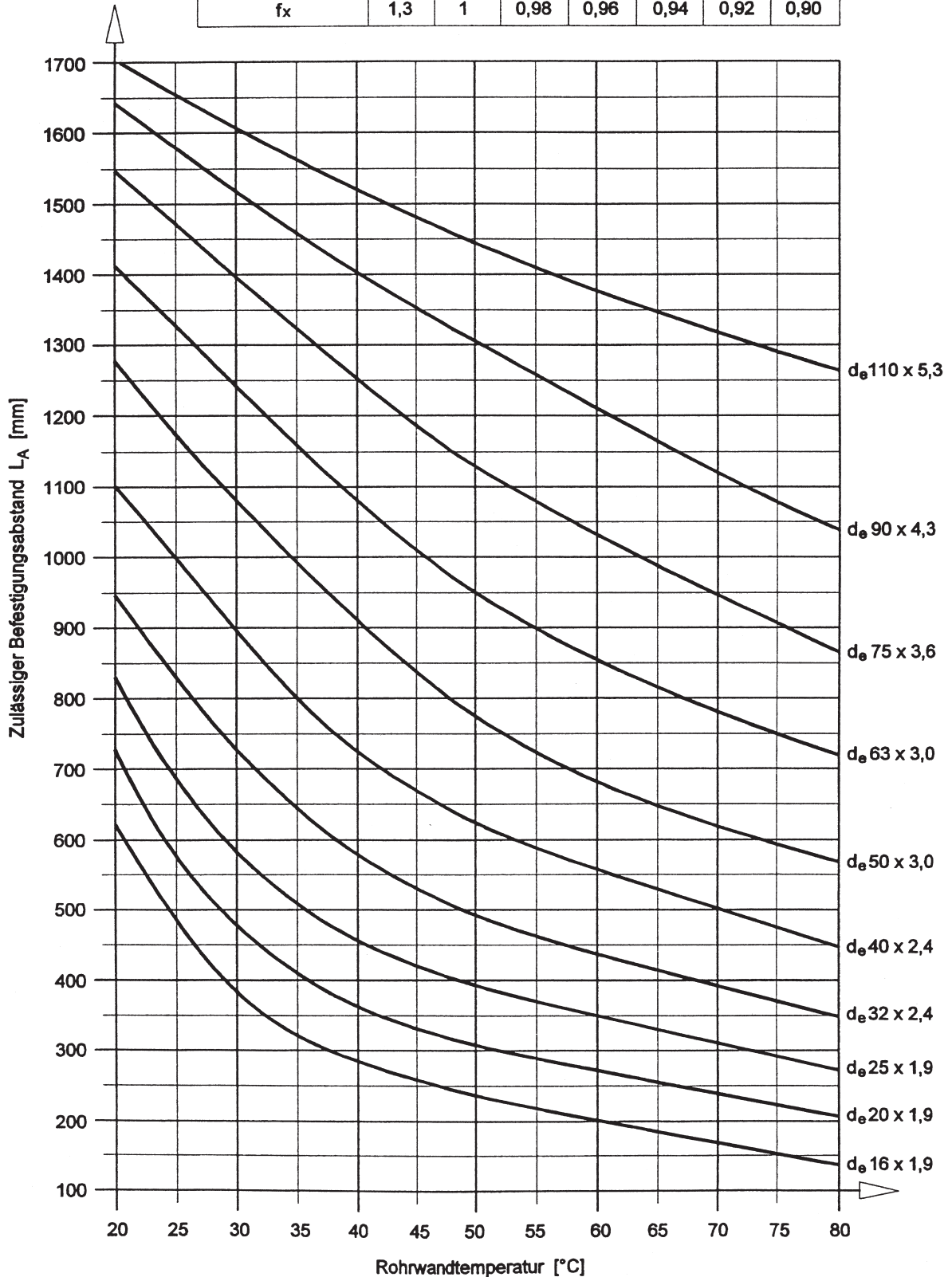
Befestigungsabstände von Kunststoffrohrleitungen aus PP-H/PP-R

Umrechnungsfaktor	Dichte des Durchflußstoffes [g/cm ³]						
	Gase	$\rho = 1,0$	$\rho = 1,1$	$\rho = 1,2$	$\rho = 1,3$	$\rho = 1,4$	$\rho = 1,5$
f_x	1,3	1	0,98	0,96	0,94	0,92	0,90



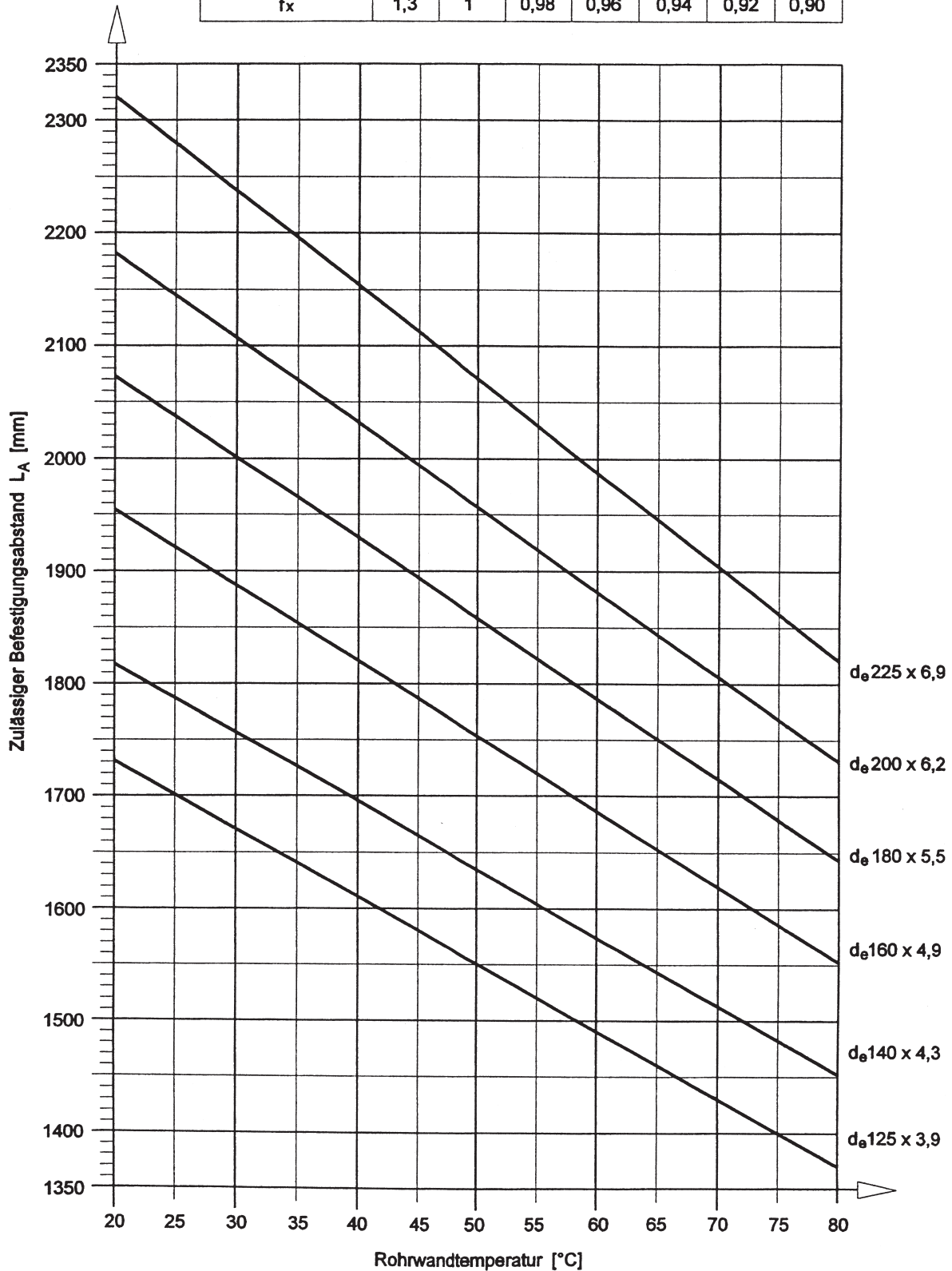
Befestigungsabstände von Kunststoffrohrleitungen aus PVDF Rohr d_e 16 bis 110

Umrechnungsfaktor	Dichte des Durchflußstoffes [g/cm ³]						
	Gase	$\rho = 1,0$	$\rho = 1,1$	$\rho = 1,2$	$\rho = 1,3$	$\rho = 1,4$	$\rho = 1,5$
f_x	1,3	1	0,98	0,96	0,94	0,92	0,90



**Befestigungsabstände von
Kunststoffrohrleitungen aus PVDF
Rohr d_e 125 bis 225**

Umrechnungsfaktor	Dichte des Durchflußstoffes [g/cm ³]						
	Gase	$\rho = 1,0$	$\rho = 1,1$	$\rho = 1,2$	$\rho = 1,3$	$\rho = 1,4$	$\rho = 1,5$
f_x	1,3	1	0,98	0,96	0,94	0,92	0,90



5.4 Prüfungen

Die Prüfungen von oberirdisch installierten beziehungsweise von erdverlegten Kunststoffrohrleitungen hat eigenverantwortlich von dem ausführenden Rohrleitungsbauer (Fachbetrieb) zu erfolgen.

Hierbei sind die allgemein gültigen technischen Regeln Rohrleitungsbau sowie die mitgeltenden Normen und Richtlinien (zum Beispiel DVS-Richtlinien) zu beachten.

5.4.1 Prüfungen bei Kunststoffdruckrohrleitungen

Die Prüfung bei Kunststoffdruckrohrleitungen ist gemäß DVS-Richtlinie DVS 2210-1 und 2 (Industrierohrsysteme), DIN EN 805/DVGW W 400-2 (Wasserversorgungssysteme) anhand einer Innendruckprüfung durchzuführen.

Zerstörende Prüfungen dienen hauptsächlich dem Nachweis von Festigkeitseigenschaften zum Beispiel von Schweißverbindungen. Innendruckprüfungen werden in der Regel am fertig installierten Rohrsystem durchgeführt.

5.4.2 Prüfungen bei drucklos betriebenen Kunststoffrohrleitungen

Bei der Prüfung von drucklos betriebenen Kunststoffrohrleitungen, wie zum Beispiel erdverlegten Abwasserkanälen, sind die Verlege- und Prüfungsanweisungen für Abwasserleitungen und Kanäle nach DIN EN 1610 (alt DIN 4033) zu berücksichtigen.

6 Schweißen

6.1	Schweißen	95
6.1.1	Schweißen von Rohren und Formteilen aus PE-HD, PP und PVDF	95
6.1.2	Heizelementstumpfschweißen (HS)	96
6.1.3	Heizelementmuffenschweißen (HD)	99
6.1.4	Heizwendelschweißen (HM)	101

6.1 Schweißen

6.1.1 Schweißen von Rohren und Formteilen aus PE-HD, PP und PVDF

PE 80, PE 100, PE 100 RC, PE-EL

Unter Beachtung der in der DVS 2207, Teil 1, gegebenen Anweisungen kann von einer Schweiß-eignung innerhalb der Schmelzindexwerte MFR 190/5 (alte Bezeichnung MFI = Melt Flow Index) von 0,3–1,7 g/10 min. ausgegangen werden.

PP-H und PP-R

Die Verschweißbarkeit ist innerhalb der Schmelzindex-werte MFR 190/5 von 0,4–1,0 g/10 min. gegeben. Zu berücksichtigen ist die DVS Richtlinie DVS 2207-11. Grundsätzlich ist nach den gleichen Parametern ebenfalls eine Verschweißung mit PP-H oder PP-R möglich.

PVDF

Verschweißbar innerhalb des MFR 230/5 von 1,0–25 g/min. (vgl. DVS 2207, Teil 15).

Allgemeine Anforderungen

Der Schweißbereich ist vor ungünstigen Witterungs-einflüssen (zum Beispiel Feuchtigkeit, Wind, starker Sonneneinstrahlung und Temperaturen unter +5°C) zu schützen.

Wenn durch geeignete Maßnahmen sichergestellt wird, dass eine zum Schweißen ausreichende und gleich-mäßige Rohrwandtemperatur eingehalten werden kann, darf bei beliebiger Außentemperatur gearbeitet werden. Geeignete Maßnahmen sind:

- Vorwärmen,
- Einzelten,
- Beheizen.

Bei Sonneneinstrahlung ist die Rohrwandtemperatur ungleichmäßig erwärmter Rohre durch rechtzeitiges Abdecken im Bereich der Schweißstelle auszugleichen. Um eine Abkühlung durch starken Wind im Rohr während des Schweißvorgangs zu vermeiden, sind die der Schweißstelle entgegengesetzten Rohrenden zu verschließen.

Schweißverfahren

Für die unlösbare Verbindung von SIMONA® Rohren und Formteilen empfehlen wir die in der Praxis bewährten Verfahren

- Hezelementstumpfschweißen,
- Hezelementmuffenschweißen und
- Heizwendelschweißen.

6.1.2 Heizelementstumpfschweißen (HS)

Vor dem Heizelementstumpfschweißen werden die Stirnseiten der Rohre mittels Heizelement auf Schweißtemperatur gebracht und die so plastifizierten Flächen – nach Entfernen des Heizelements – unter Druck zusammengefügt.

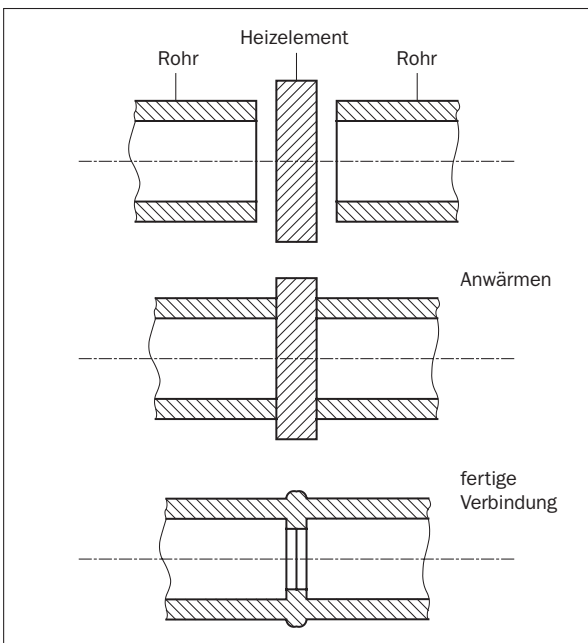


Abbildung 2: Heizelementstumpfschweißen

Schweißnahtvorbereitung

Die Rohrleitungsteile sind vor dem Einspannen in die Schweißmaschine axial auszurichten. Die Längsbeweglichkeit des anzuschweißenden Teils ist durch geeignete Maßnahmen, zum Beispiel verstellbare Rollenblöcke, sicherzustellen.

Die zu verbindenden Flächen sind im eingespannten Zustand mit einem Planhobel spangebend zu bearbeiten. Eventuell in das Rohr gefallene Späne sind mit Hilfe eines sauberen Werkzeugs zu entfernen. Keinesfalls dürfen die bearbeiteten Schweißflächen mit den Händen berührt werden.

Nach dem Bearbeiten ist die Planparallelität zu kontrollieren. Der verbleibende Spalt darf den Wert aus Tabelle 9 nicht überschreiten. Gleichzeitig ist zu prüfen, ob der Versatz der Rohrenden kleiner als 10% der Rohrwanddicke ist. Gegebenenfalls sind die Wanddicken im Schweißnahtbereich spangebend anzugleichen.

Tabelle 9: Maximale Spaltbreite vor dem Schweißen

Rohr d	max. Spaltbreite
≤ 355	0,5
400 to < 630	1,0
630 to < 800	1,3
800 to ≤ 1000	1,5

Schweißvorgang

Das auf Schweißtemperatur erwärmte Heizelement wird zwischen die zu schweißenden Teile gebracht und die Verbindungsflächen mit dem richtigen Angleichdruck am Heizelement beidseitig angepresst.

Die Temperaturkontrolle erfolgt mit einem schnellanzigenden Oberflächen-Temperatur-Messgerät.

Die zum Angleichen beziehungsweise Fügen erforderliche Kraft kann aus der Schweißfläche und dem spezifischen Druck errechnet werden. Üblicherweise führen die Schweißmaschinenhersteller die Werte in Tabellenform auf, da die meisten Geräte nicht mit Kraftmessung, sondern über eine Hydraulik arbeiten. Zu diesem angegebenen Druck ist der Werkstückbewegungsdruck hinzuzurechnen. Letzteres wird beeinflusst durch die Reibung der Maschinenteile und Gewichte der zu schweißenden Rohre und Formteile.

Das Angleichen ist erst abgeschlossen, wenn sich am gesamten Umfang beider zu verschweißenden Teile ein Wulst entsprechend den Tabellen 10 bis 12 gebildet hat. Während der jetzt beginnenden Anwärmzeit wird der Anpressdruck nahe Null reduziert.

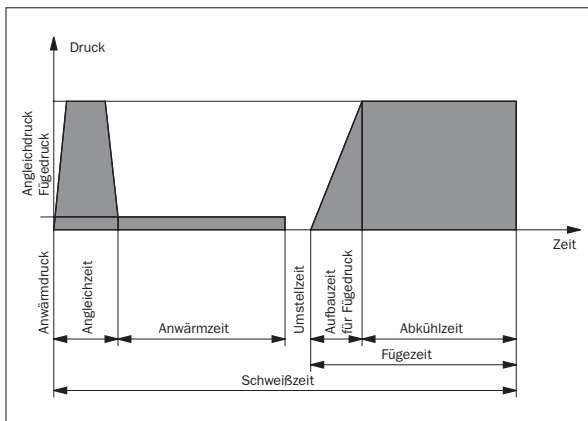


Abbildung 3: Verfahrensschritte beim Heizelementstumpfschweißen

Nach dem Anwärmen sind die Fügeflächen ohne Beschädigung und Verschmutzung vom Heizelement zu lösen. Die Zeit für das Lösen der Fügeflächen, das Herausnehmen des Heizelements und die Berührung der Fügeflächen miteinander wird als Umstellzeit bezeichnet und soll so klein wie möglich gehalten werden.

Die zu schweißenden Flächen sollen bei Berührung mit einer Geschwindigkeit nahe Null zusammentreffen. Dann ist der Druck langsam zu steigern (Zeiten siehe Tabellen 10 bis 12) und bis zur vollständigen Abkühlung aufrecht zu erhalten.

Schroffes Abkühlen des Schweißbereichs beziehungsweise die Anwendung von Kühlmitteln ist unzulässig. Bei größeren Rohrwanddicken (etwa ab 20 mm) kann durch Abdecken des Schweißbereichs während der Abkühlzeit eine gleichmäßige Abkühlung erreicht und damit die Schweißnahtgüte beeinflusst werden. Nach dem Fügen muss auf dem gesamten Umfang ein Doppelwulst (siehe Abb. 4) vorhanden sein.

Sollte das Abarbeiten des Schweißwulstes gefordert sein, so ist dieses bevorzugt vor der vollständigen Abkühlung vorzunehmen. Bei der spangebenden Nachbearbeitung des kalten Wulstes besteht die Gefahr, dass Kerben eingebracht werden. Bei spröden Werkstoffen wie zum Beispiel PVDF kann es zu Materialausbrüchen führen.

6

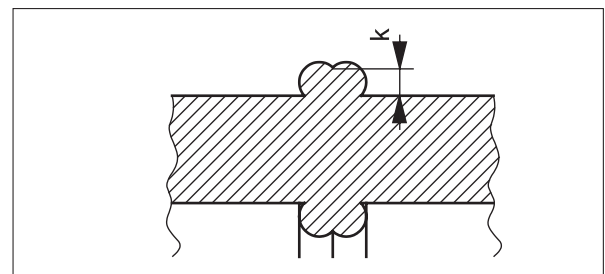


Abbildung 4: Wulstausbildung beim Heizelementstumpfschweißen

Tabelle 10: Richtwerte für das Heizelementstumpfschweißen von Rohren und Formteilen aus PE 80/PE 100/PE 100 RC/PE-EL^①

Wanddicke mm	Angleichen ^②	Anwärmen ^③	Umstellen	Schweißen ^④	
	Beginn der Anwärmzeit mm	Anwärmzeit s	Umstellzeit s (Maximalzeit)	Fügedruck- aufbauzeit s	Abkühlzeit min (Mindestwerte)
bis 4,5	0,5	45	5	5	6
4,5–7	1,0	45–70	5–6	5–6	6–10
7–12	1,5	70–120	6–8	6–8	10–16
12–19	2,0	120–190	8–10	8–11	16–24
19–26	2,5	190–260	10–12	11–14	24–32
26–37	3,0	260–370	12–16	14–19	32–45
37–50	3,5	370–500	16–20	19–25	45–60
50–70	4,0	500–700	20–25	25–35	60–80

- ① Bei einer Außentemperatur von etwa 20 °C und mäßiger Luftbewegung
- ② Wulsthöhe am Heizelement am Ende der Angleichzeit (Angleichen unter 0,15 N/mm²)
- ③ Heizelementtemperatur 210 ± 10 °C, Anwärmzeit = 10x Wanddicke (Anwärmen ≤ 0,02 N/mm²)
- ④ Abkühlzeit unter Fügedruck (p = 0,15 N/mm² ± 0,01)

Tabelle 11: Richtwerte für das Heizelementstumpfschweißen von Rohren und Formteilen aus PP-H/PP-R^①

Wanddicke mm	Angleichen ^②	Anwärmen ^③	Umstellen	Schweißen ^④	
	Beginn der Anwärmzeit mm	Anwärmzeit s	Umstellzeit s (Maximalzeit)	Fügedruck- aufbauzeit s	Abkühlzeit min (Mindestwerte)
bis 4,5	0,5	up to 135	5	6	6
4,5–7	0,5	135–175	5–6	6–7	6–12
7–12	1,0	175–245	6–7	7–11	12–20
12–19	1,0	245–330	7–9	11–17	20–30
19–26	1,5	330–400	9–11	17–22	30–40
26–37	2,0	400–485	11–14	22–32	40–55
37–50	2,5	485–560	14–17	32–43	55–70

- ① In Abhängigkeit von Maschine und Arbeitsbedingungen kann eine Variation der Richtwerte, insbesondere der Anwärmzeiten, notwendig sein. Dazu sind Arbeitsproben anzufertigen und zu prüfen.
- ② Heizelementtemperatur 210 ± 10 °C, Wulsthöhe am Heizelement am Ende der Angleichzeit (Angleichen unter 0,10 N/mm²)
- ③ Anwärmen ≤ 0,02 N/mm²
- ④ Abkühlzeit unter Fügedruck (p = 0,10 N/mm² ± 0,01)

Tabelle 12: Richtwerte für das Heizelementstumpfschweißen von Rohren und Formteilen aus PVDF^①

Wanddicke mm	Angleichen ^②	Anwärmen ^③	Umstellen	Schweißen ^④	
	Beginn der Anwärmzeit mm	Anwärmzeit s	Umstellzeit s (Maximalzeit)	Fügedruck- aufbauzeit s	Abkühlzeit min (Mindestwerte)
1,9–3,5	0,5	59–75	3	3–4	5–6
3,5–5,5	0,5	75–95	3	4–5	6–8,5
5,5–10,0	0,5–1,0	95–140	4	5–7	8,5–14
10,0–15,0	1,0–1,3	140–190	4	7–9	14–19
15,0–20,0	1,3–1,7	190–240	5	9–11	19–25
20,0–25,0	1,7–2,0	240–290	5	11–13	25–32

- ① In Abhängigkeit von Maschine und Arbeitsbedingungen kann eine Variation der Richtwerte, insbesondere der Anwärmzeiten, notwendig sein. Dazu sind Arbeitsproben anzufertigen und zu prüfen.
- ② Wulsthöhe am Heizelement am Ende der Angleichzeit (Angleichen unter 0,10 N/mm²)
- ③ Anwärmen = 10 x Wanddicke + 40 s (Anwärmen = 0,01 N/mm²)
- ④ Abkühlzeit unter Fügedruck (p = 0,10 N/mm² ± 0,01), Abkühlzeit = 1,2 x Wanddicke + 2 min.

6.1.3 Heizelementmuffenschweißen (HD)

Bei der Heizelementmuffenschweißung werden Rohr- und Rohrleitungsteil überlappend geschweißt. Mit Hilfe eines muffen- beziehungsweise stutzenförmigen Heizelements werden beide Flächen auf Schweißtemperatur erwärmt und anschließend verbunden. Rohrende, Heizelement und Muffe sind maßlich so aufeinander abgestimmt, dass sich beim Fügen ein Fügedruck aufbaut.

Bei Rohrdurchmessern von

- > 63 mm PE 80, PE 100 und PP
- > 50 mm PVDF

ist eine geeignete Schweißvorrichtung zu verwenden.

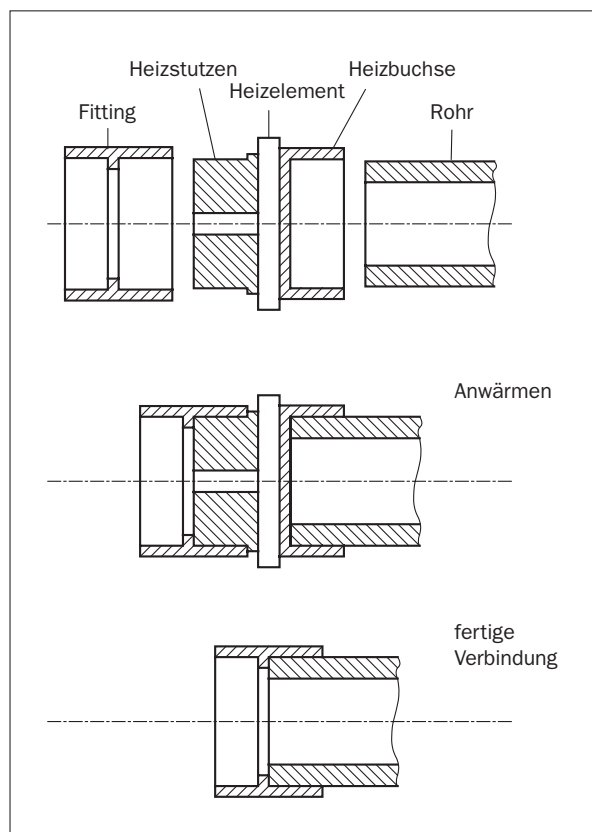


Abbildung 5: Heizelementmuffenschweißen

Schweißnahtvorbereitung

Die Verbindungsfläche des Rohres ist mit einem Schälwerkzeug oder einer Ziehklinge spangebend zu bearbeiten. Der Fitting ist innen mit einem Reinigungsmittel (zum Beispiel Spiritus) und saugfähigem, nicht faserndem Papier gründlich zu säubern.

Das Rohrende ist außen circa 15° auf

- 2 mm Breite bei Durchmessern bis 50 mm
- 3 mm Breite bei größeren Durchmessern anzuschragen.

Danach ist eine Markierung für die Einstecktiefe in das Heizwerkzeug anzubringen.

Schweißvorgang

Die Schweißwerkzeuge werden auf $260 \pm 10^\circ\text{C}$ beheizt. Die Temperaturkontrolle erfolgt mit einem schnellanzeigenden Oberflächen-Temperatur-Messgerät. Zum Anwärmen wird zunächst der Fitting bis zum Anschlag und dann das Rohr bis zur Markierung auf- beziehungsweise eingeschoben. Die zu verschweißenden Teile sind gemäß den Zeitangaben in den Tabellen 13 und 14 zu erwärmen.

Nach Ablauf der Anwärmzeit sind Fitting und Rohr vom Heizelement ruckartig abzuziehen und ohne Verdrehen bis zur Markierung beziehungsweise zum Anschlag zusammenzuschieben. Die gefügten Teile müssen noch etwa für die gleiche Zeitspanne wie die genannten Anwärmzeiten fixiert werden.

SCHWEISSEN

Tabelle 13: Richtwerte für das Heizelementmuffenschweißen von Rohren und Formteilen aus PE-HD und PP^①

Rohr d mm	Anwärmzeit		Umstellzeit	Abkühlzeit	
	Rohr PN 10 ^② s	Rohr PN 6 ^③ s	max. zulässige s	eingespannt s	gesamt min
16	5		4	6	2
20	5		4	6	2
25	7	②	4	10	2
32	8	②	6	10	4
40	12	②	6	20	4
50	12	②	6	20	4
63	24	12 ^③	8	30	6
75	30	15	8	30	6
90	40	22	8	40	6
110	50	30	10	50	8
125	60	35	10	60	8

① Bei einer Außentemperatur von circa 20 °C und mäßiger Luftbewegung

② Gilt für PP; für PE-HD nicht empfehlenswert

③ Infolge zu geringer Wanddicke nicht empfehlenswert

Tabelle 14: Richtwerte für das Heizelementmuffenschweißen von Rohren und Formteilen aus PVDF

Rohr d mm	Anwärmzeit s	Umstellzeit max. zulässige s	Abkühlzeit	
			eingespannt s	gesamt min
16	4	4	6	2
20	6	4	6	2
25	8	4	6	2
32	10	4	12	4
40	12	4	12	4
50	18	4	12	4
63	20	6	18	6
75	22	6	18	6
90	25	6	18	6
110	30	6	24	8

6.1.4 Heizwendelschweißen (HM)

Die Verbindungsflächen, das heißt Rohroberfläche und Muffeninnenseite, werden mit Hilfe in die Muffe eingebetteter Widerstandsdrähte (Heizwendel) durch elektrischen Strom auf Schweißtemperatur erwärmt und geschweißt.

Schweißnahtvorbereitung

Für ein einwandfreies Schweißen im Heizwendelschweißverfahren sind saubere Oberflächen von entscheidender Bedeutung. Die Oberfläche der Rohre muss im Bereich der Schweißzone mit einer Ziehklänge bearbeitet werden. Die Innenkante ist zu entgraten und die Außenkante gemäß Abbildung 7 abzurunden. Der Fitting ist innen mit einem geeigneten Reinigungsmittel und saugfähigem, nicht faserndem Papier gründlich zu säubern.

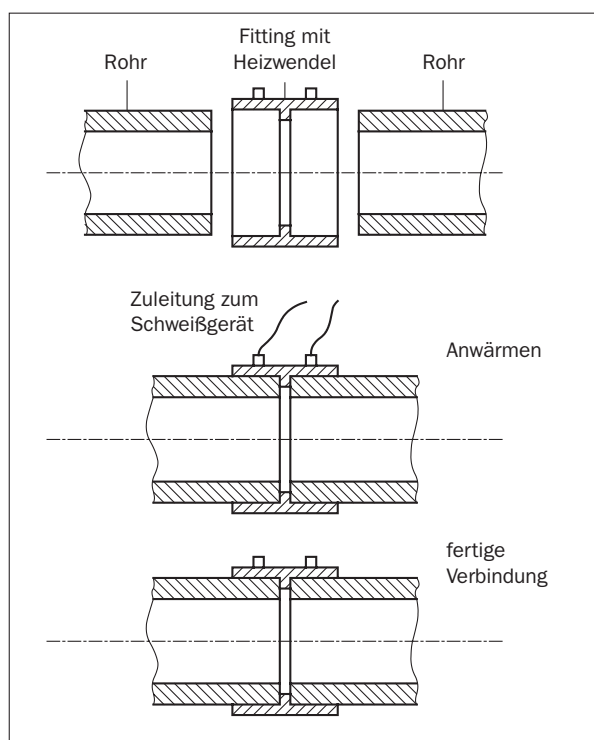


Abbildung 6: Heizwendelschweißen

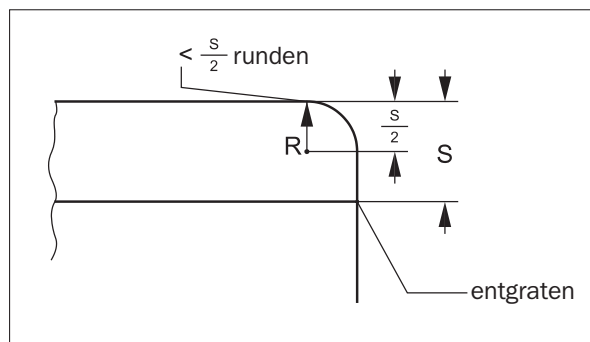


Abbildung 7: Vorbereitung der Rohrenden

Die Unrundheit des Rohres darf im Schweißbereich 1,5% des Außendurchmessers nicht überschreiten. Sonst sind entsprechende Runddrückklemmen zu verwenden.

Beim Aufschieben des Fittings ist darauf zu achten, dass die Teile weder verkantet noch gewaltsam eingefügt werden, da sonst die Heizwendel verschoben oder beschädigt werden können.

Schweißvorgang

Es darf nur ein auf den verwendeten Fitting abgestimmtes Schweißgerät verwendet werden. Die Werte werden vor dem Schweißen entsprechend Durchmesser und Nenndruck des Rohres am Schweißgerät eingestellt. Mittels Schweißkabel werden Gerät und Fitting verbunden. Der Schweißvorgang selbst läuft automatisch ab. Die Rohrverbindung kann erst nach vollständigem Abkühlen bewegt werden.

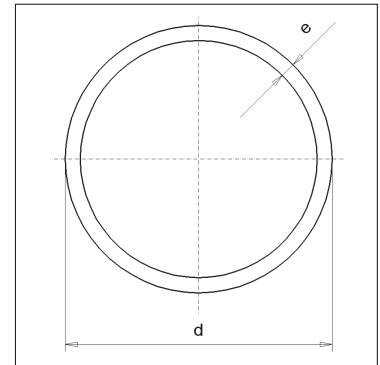
Für die vorgenannten Schweißverfahren sind ebenfalls die entsprechenden DVS-Richtlinien zu beachten.

7 Nennweitenzuordnung

7.1	Nennweitenzuordnung für PE-HD und PP	103
7.2	Zusammenhang zwischen SDR und PN	104

7.1 Nennweitenzuordnung für PE-HD und PP

Nennweite	Rohr	SDR 41 PN 2,5	SDR 33 PN 3,2	SDR 26 PN 4	SDR 17 [Ⓞ] PN 6	SDR 11 PN 10	SDR 9 PN 12,5 [Ⓞ]	SDR 7,4 PN 16 [Ⓞ]
DN	d mm	e mm	e mm	e mm	e mm	e mm	e mm	e mm
6	10							1,8
8	12							2,0
10	16						1,8	2,2
15	20					1,9	2,3	2,8
20	25					2,3	2,8	
20	32							4,4
25	32				1,8	2,9	3,6	
32	40			1,8	2,3	3,7	4,5	
32	50							6,9
40	50			2,0	2,9	4,6	5,6	
40	63							8,6
50	63	1,8	2,0	2,5	3,6	5,8	7,1	
50	75	1,9						10,3
65	75	1,9	2,3	2,9	4,3	6,8		
65	90						10,1	12,3
80	90	2,2	2,8	3,5	5,1	8,2		
80	110						12,3	15,1
100	110	2,7	3,4	4,2	6,3			
100	125					11,4	14,9	
100	140							19,2
125	125	3,1	3,9	4,8				
125	140	3,5	4,3	5,4	8,0			
125	160					14,6	17,8	
125	180							24,6
150	160	4,0	4,9	6,2				
150	180				10,2	16,4		
150	200						22,3	27,4
200	200	4,9	6,2					
200	225		6,9	8,6	12,8			
200	250					22,7	27,9	
200	280							38,3
250	250	6,2	7,7					
250	280		8,6	10,7	15,9			
250	315					28,6	35,2	
250	355							48,5
300	315	7,7	9,7	12,2				
300	355				20,1	32,2		
300	400						44,7	
350	355	8,7	10,9					
350	400			15,3	22,7			
350	450					40,9	50,3	
400	400	9,8						
400	450		13,8	17,2	25,5			
400	500					45,4		
450	450	11,0						
450	500		15,3	19,1	28,4	45,4		
500	500	12,2						
500	560		17,2	21,4	31,7			
500	630				35,7			
600	630	15,4	19,3	24,1				
600	710			27,2	40,2			
700	710	17,4	21,8					
800	800		24,5	30,6	45,3			
900	900		27,6	34,4				
1000	1000		30,6	38,2				



Die Aufstellung beinhaltet alle theoretischen Zuordnungsmöglichkeiten, die sich aus den Maßnormen ergeben. Die Tabelle ist nicht in allen Maßkombinationen mit unserem Lieferprogramm identisch. Bei der Auswahl der Nennweiten sind gegebenenfalls Flanschanschlussmaße zu berücksichtigen.

7

Ⓞ Auch SDR 17,6

Ⓞ In den Maßformen beziehungsweise

DIN 8077 ist keine Maßreihe für PN 12,5 (SDR 9) enthalten.

7.2 Zusammenhang zwischen SDR und PN

	PE 80	PE 100	PE 80	PP-H AlphaPlus®	PP-R	PVDF	E-CTFE
Sicherheitsfaktor SF	1,25	1,25	1,6	1,6	1,25	2,0	2,5
SDR	PN ^①						
51	2,5	3,2					
41	3,2	4,0	2,5	3,1	3,9		
33	4,0	5,0	3,2	3,9	4,9	10,0	
26	5,0	6,3	4,0	5,0	6,2		
22	6,0	~ 7,6					
21	6,3	8,0	5,0			16,0	10,0
17,6	~ 7,6	~ 9,7	6,0	7,5	9,3		
17	8,0	10,0	6,3				
13,6	10,0	12,5	8,0				
11	12,5	16,0	10,0	12,5	15,5		
9	~ 16,0	20,0	12,5				
7,4	20,0	25,0	~ 16,0	19,8	24,5		
6	25,0						

① PN gilt für Wasser bei 20 °C und einer rechnerischen Betriebsdauer von 50 Jahren.

Bei geschweißten Formteilen aus Rohr können sich je nach Art Verschwächungsbeiwerte ergeben.

Hinweis

Bei Formteilen in PE 100 finden Sie teilweise die SDR-Angabe SDR 17/17,6. Bei diesen Produkten erfolgt eine Fertigung im überschneidenden Toleranzbereich von SDR 17 und SDR 17,6. Diese Formteile können daher sowohl mit Heizelementstumpfschweißung als auch bei Eignung für Heizwendelschweißung (mit langen Schweißenden) mit Bauteilen in SDR 17 oder SDR 17,6 verbunden werden.

8 Toleranzen

8.1	Toleranzen für Rohre aus PE-HD (PE 80, PE 100) und PP	107
8.1.1	Grenzabmaße der Wanddicken	107
8.1.2	Grenzabmaße des mittleren Außendurchmessers	108
8.1.3	Grenzabmaße der Längen	108
8.1.4	Grenzabmaße der Ovalitäten	109

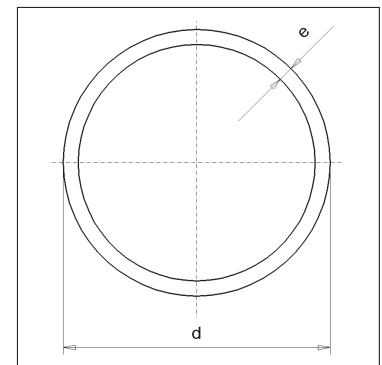
8.2	Toleranzen für Rohre aus PVDF	110
8.2.1	Grenzabmaße der Wanddicken	110
8.2.2	Grenzabmaße des mittleren Außendurchmessers	110
8.2.3	Grenzabmaße der Längen	110

8.1 Toleranzen für Rohre aus PE-HD (PE 80, PE 100) und PP

8.1.1 Grenzabmaße der Wanddicken

Grenzabmaße der Wanddicken	
Wanddicke	Grenzmaß ^①
e mm	+... 0
≤ 2	0,4
> 2 ≤ 3	0,5
> 3 ≤ 4	0,6
> 4 ≤ 5	0,7
> 5 ≤ 6	0,8
> 6 ≤ 7	0,9
> 7 ≤ 8	1,0
> 8 ≤ 9	1,1
> 9 ≤ 10	1,2
> 10 ≤ 11	1,3
> 11 ≤ 12	1,4
> 12 ≤ 13	1,5
> 13 ≤ 14	1,6
> 14 ≤ 15	1,7
> 15 ≤ 16	1,8
> 16 ≤ 17	1,9
> 17 ≤ 18	2,0
> 18 ≤ 19	2,1
> 19 ≤ 20	2,2
> 20 ≤ 21	2,3
> 21 ≤ 22	2,4
> 22 ≤ 23	2,5
> 23 ≤ 24	2,6
> 24 ≤ 25	2,7
> 25 ≤ 26	2,8
> 26 ≤ 27	2,9
> 27 ≤ 28	3,0
> 28 ≤ 29	3,1
> 29 ≤ 30	3,2
> 30 ≤ 31	3,3
> 31 ≤ 32	3,4
> 32 ≤ 33	3,5
> 33 ≤ 34	3,6
> 34 ≤ 35	3,7
> 35 ≤ 36	3,8
> 36 ≤ 37	3,9
> 37 ≤ 38	4,0
> 38 ≤ 39	4,1
> 39 ≤ 40	4,2

Grenzabmaße der Wanddicken	
Wanddicke	Grenzmaß ^①
e mm	+... 0
> 40 ≤ 41	4,3
> 41 ≤ 42	4,4
> 42 ≤ 43	4,5
> 43 ≤ 44	4,6
> 44 ≤ 45	4,7
> 45 ≤ 46	4,8
> 46 ≤ 47	4,9
> 47 ≤ 48	5,0
> 48 ≤ 49	5,1
> 49 ≤ 50	5,2
> 50 ≤ 51	5,3
> 51 ≤ 52	5,4
> 52 ≤ 53	5,5
> 53 ≤ 54	5,6
> 54 ≤ 55	5,7
> 55 ≤ 56	5,8
> 56 ≤ 57	5,9
> 57 ≤ 58	6,0
> 58 ≤ 59	6,1
> 59 ≤ 60	6,2
> 60 ≤ 61	6,3
> 61 ≤ 62	6,4
> 62 ≤ 63	6,5
> 63 ≤ 64	6,6
> 64 ≤ 65	6,7
> 65 ≤ 66	6,8
> 66 ≤ 67	6,9
> 67 ≤ 68	7,0
> 68 ≤ 69	7,1
> 69 ≤ 70	7,2



① Die angegebenen Werte sind errechnet nach der Gleichung: Grenzabmaße der Wanddicke = 0,1 e + 0,2 mm; auf 0,1 mm aufgerundet. Einzelne Überschreitungen der Wanddicke dürfen bei e ≤ 10 mm, +0,2 e und bei e > 10 mm, +0,15 e betragen. Der gemessene Mittelwert muß innerhalb des Grenzmaßes liegen.

TOLERANZEN

8.1.2 Grenzabmaße des mittleren Außendurchmessers

Grenzabmaße des mittleren Außendurchmessers	
Außen-durchmesser	Grenzabmaß ^{①②}
d_n mm	+... 0
10–32	0,3 (0,3)
40	0,4 (0,3)
50	0,5 (0,3)
63	0,6 (0,4)
75	0,7 (0,5)
90	0,9 (0,6)
110	1,0 (0,7)
125	1,2 (0,8)
140	1,3 (0,9)
160	1,5 (1,0)
180	1,7 (1,1)
200	1,8 (1,2)
225	2,1 (1,4)
250	2,3 (1,5)
280	2,6 (1,7)
315	2,9 (1,9)
355	3,2 (2,2)
400	3,6 (2,4)
450	3,8 (2,7)
500	4,0 (3,0)
560	4,3 (3,4)
630	4,6 (3,8)
710	4,9
800	5,0
1000	5,0

- ① Die angegebenen Werte sind errechnet nach der Gleichung: Grenzabmaß des mittleren Außendurchmessers
- für $d \leq 400$ mm: $+0,009 d$ auf 0,1 mm aufgerundet; mindestens 0,3 mm
 - $d = 450$ bis 710 mm: $+0,004 d + 2$ mm auf 0,1 mm aufgerundet
 - $d = 800$ bis 1.000 mm: $+5,0$ mm
 - $d = 1.200$ bis 1.600 mm: $+6,0$ mm
- ② Die Klammermaße sind eingeschränkte Grenzabmaße für den mittleren Außendurchmesser für die Heizwendelschweißung: $+0,006 d$ auf 0,1 mm aufgerundet; mindestens 0,3 mm

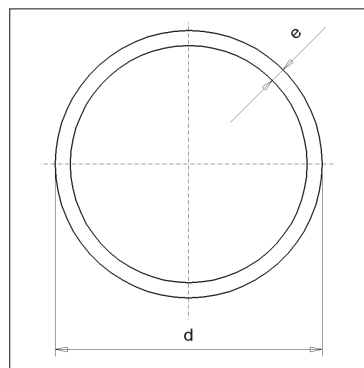
8.1.3 Grenzmaße der Längen

Grenzabmaße der Längen	
Länge	zulässige Abweichungen
Ringbunde	+ 1 % 0 %
≤ 12 m	± 10 mm

8.1.4 Grenzmaße der Ovalitäten

Außendurchmesser Grenzabmaße ^①

d mm	Stangen- rohre	Ringbund- rohre
10	1,1	1,0
12	1,1	1,0
16	1,2	1,0
20	1,2	1,2
25	1,2	1,5
32	1,3	2,0
40	1,4	2,4
50	1,4	3,0
63	1,6	3,8
75	1,6	
90	1,8	
110	2,2	
125	2,5	
140	2,8	
160	3,2	
180	3,6	
200	4,0	
225	4,5	
250	5,0	
280	9,8	
315	11,1	
355	12,5	
400	14,0	
450	15,8	
500	17,5	
560	19,6	
630	22,1	
710	24,9	
800	28,0	
1000	25,0	



- ① Die angegebenen Werte sind errechnet nach der Gleichung: Grenzabmaß der Ovalität für Rohre mit einem SDR = 17,6
- Stangenrohre: $d \leq 75$ mm: $0,008 \times d + 1$ mm auf 0,1 mm aufgerundet
 - $d \geq 90$ mm ≤ 250 mm: $0,02 \times d$ auf 0,1 mm aufgerundet
 - $d > 250$ mm: $0,035 \times d$ auf 0,1 mm aufgerundet
 - Ringbundrohre mit $d \leq 63$ mm: $0,06 \times d$ auf 0,1 mm aufgerundet, mindestens 1,0 mm
 - Ringbundrohre mit $d \geq 75$ mm: Anforderungen sind in den Lieferbedingungen zu vereinbaren (Angaben nach DIN 8074/8077)

8.2 Toleranzen für Rohre aus PVDF (in Anlehnung an ISO 10931-2)

8.2.1 Grenzabmaße der Wanddicken

Grenzabmaße der Wanddicken

Wanddicke	Grenzabmaß ^①
e mm	+... 0
1,5–2,0	0,4
2,0–3,0	0,5
3,1–4,0	0,6
4,0–5,0	0,7
5,1–6,0	0,8
6,1–7,0	0,9

① Die angegebenen Werte sind errechnet nach der Gleichung: Zulässige Abweichung der Wanddicke = $0,1 e + 0,2$ mm; auf 0,1 mm aufgerundet. Einzelne Überschreitungen der Wanddicke dürfen bei $e \leq 10$ mm, $+0,2 e$ und bei $e > 10$ mm, $+0,15 e$ betragen. Der Mittelwert muß innerhalb der Abweichung liegen.

8.2.2 Grenzabmaße des mittleren Außendurchmessers

Grenzabmaße des mittleren Außendurchmessers

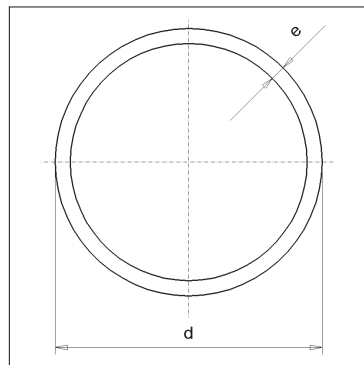
Außen-durchmesser	Grenzabmaß ^{①②}
d_n mm	+... 0
5–50	0,3
63–90	0,4
110	0,5
125	0,6
140	0,8
160	1,0
180	1,1
200	1,2
225	1,4
250	1,6
280	1,8
315	2,0

② Die Werte sind der ISO 10931-2 entnommen.

8.2.3 Grenzabmaße der Längen

Grenzabmaße der Längen

Länge	zulässige Abweichungen
Ringbunde	+1% 0%
bis 6 m	± 10 mm



9 Basiseinheiten des Internationalen Einheitensystems (SI)

9.1	Basiseinheiten des Internationalen Einheitensystems (SI)	113
9.2	Maßeinheiten	114
9.3	Gegenüberstellung anglo-amerikanischer und metrischer Einheiten	116

9.1 Basiseinheiten des Internationalen Einheitensystems (SI)

In der folgenden Tabelle haben wir Ihnen die international gültigen Basiseinheiten zusammengestellt. Dazu haben wir parallel noch zulässige Bezeichnungen genannt und die Umrechnungen zu den bisherigen, heute nicht mehr zulässigen Einheiten aufgeführt.

Aus Gründen der Anschaulichkeit ist es zweckmäßig, dezimale Vielfache und dezimale Teile der Einheiten anzuwenden. Dieses wird durch Vorsätze gebildet. Der Vorsatz wird der Dimension hinzugefügt. Weiterhin enthalten ist eine Gegenüberstellung von anglo-amerikanischen zu metrischen Einheiten.

Basiseinheiten des Internationalen Einheitensystems (SI)

Größe	Gesetzliche Einheit = SI-Einheit	Noch zulässige Einheit	Bisherige Einheit Umrechnung
Masse			
Längenbezogen	kg/m		
Flächenbezogen	kg/m ²		
Volumenbezogen	kg/m ³	1 g/cm ³ = 10 ³ kg/m ³	
Zeit			
Geschwindigkeit	m/s	1 km/h = $\frac{1}{3,6}$ m/s	
Volumendurchfluss	m ³ /s	1 m ³ /s = 3600 m ³ /h	
Massendurchfluss	kg/s	1 kg/s = 3,6 t/h	
Kraft, Energie, Leistung			
Kraft	N	1 N = 1 kg m/s ²	1 kp = 9,8 N ≈ 10 N
Druck	N/m ² Pa	1 N/mm ² = 10 ⁶ N/m ²	1 kp/cm ² ~ 0,1 N/mm ²
		1 Pa = 1 N/m ²	
		1 bar = 10 ⁵ N/m ²	1 bar = 1,02 at
		= 0,1 N/mm ²	= 0,987 atm
		= 10 ⁵ Pa	= 750 Torr
		= 10 ³ mbar	= 1,02 kp/cm ²
			= 10 m WS
			1 mbar = 10 mm WS
Spannung	N/m ²	1 N/mm ² = 1 MPa = 10 ⁶ N/m ²	
Energie, Arbeit	J	1 J = 1 Nm	1 kpcm = 10,2 J
		= 1 Ws	1 kcal = 4,184 KJ
		1 kWh = 3,6 MJ	
Leistung	W	1 W = 1 J/s	1 PS = 0,7353 kW
		= 1 Nm/s	1 kpm/s = 9,8 W
		= 1 VA	1 cal/s = 4,184 W
Schlagarbeit	Nm		1 kpcm ~ 0,1 Nm ~ 100 Nmm
Schlagzähigkeit	J/m ²	1 kJ/m ² = $\frac{Nmm}{mm^2}$	1 kpcm/cm ² ~ 1 kJ/m ²
Wärme			
Temperatur	K	1 K = °C - 273,15	
Längenausdehnungskoeffizient	1/K	1/K = 1/°C	$1 \frac{kcal}{m \cdot h \cdot ^\circ C} = 1,163 \frac{W}{K \cdot m}$
Wärmeleitfähigkeit	$\frac{W}{K \cdot m}$		$1 \frac{kcal}{m \cdot h \cdot ^\circ C} = 1,163 \frac{W}{K \cdot m}$
Wärmeübergang	$\frac{W}{K \cdot m^2}$		
Strahlung			
Energiedosis	J/kg		1 rd = 0,01 J/kg 1 Mrad = 10 ⁶ rd = 10 ⁴ J/kg

9.2 Maßeinheiten

Bezeichnung von dezimalen Vielfachen und Teilen einer Einheit

Vielfaches	10er Potenz	Vorsatz	Zeichen	Dezimalteil	10er Potenz	Vorsatz	Zeichen
10	10^1	Deka-	da	1 : 10	10^{-1}	Dezi-	d
100	10^2	Hekto-	h	1 : 100	10^{-2}	Zenti-	c
1000	10^3	Kilo-	k	1 : 1000 = 0,001	10^{-3}	Milli-	m
1 Million	10^6	Mega-	M	1 : 1 Million	10^{-6}	Mikro-	μ
1 Milliarde	10^9	Giga-	G	1 : 1 Milliarde	10^{-9}	Nano-	n
1 Billion	10^{12}	Tera-	T	1 : 1 Billion	10^{-12}	Pico-	p
1 Billiarde	10^{15}	Peta-	P	1 : 1 Billiarde	10^{-15}	Femto-	f
1 Trillion	10^{18}	Exa-	E	1 : 1 Trillion	10^{-18}	Atto-	a

Längen-Einheiten

	m	μm	mm	cm	dm	km
1 m	1	10^6	10^3	10^2	10	10^{-3}
1 μm	10^{-6}	1	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-9}
1 mm	10^{-3}	10^3	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-6}
1 cm	10^{-2}	10^4	10	1	10^{-1}	10^{-5}
1 dm	10^{-1}	10^5	10^2	10	1	10^{-4}
1 km	10^3	10^9	10^6	10^5	10^4	1

Längen-Einheiten

	mm	μm	nm	[Å]	pm	[mÅ]
1 mm	1	10^3	10^6	10^7	10^9	10^{10}
1 μm	10^{-3}	1	10^3	10^4	10^6	10^7
1 nm	10^{-6}	10^{-3}	1	10	10^3	10^4
[1 Å]	10^{-7}	10^{-4}	10^{-1}	1	10^2	10^3
1 pm	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^{-2}	1	10
[1 mÅ]	10^{-10}	10^{-7}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-1}	1

Å = Ångström; 1 mÅ = 1 XE = 1 X-Einheit

Flächen-Einheiten

	m^2	μm^2	mm^2	cm^2	dm^2	km^2
1 m^2	1	10^{12}	10^6	10^4	10^2	10^{-6}
1 μm^2	10^{-12}	1	10^{-6}	10^{-8}	10^{-10}	10^{-18}
1 mm^2	10^{-6}	10^6	1	10^{-2}	10^{-4}	10^{-12}
1 cm^2	10^{-4}	10^8	10^2	1	10^{-2}	10^{-10}
1 dm^2	10^{-2}	10^{10}	10^4	10^2	1	10^{-8}
1 km^2	10^6	10^{18}	10^{12}	10^{10}	10^8	1

Volumen-Einheiten

	m³	mm³	cm³	dm³ ①	km³
1 m³	1	10 ⁹	10 ⁶	10 ³	10 ³
1 mm³	10 ⁻⁹	1	10 ⁻³	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶
1 cm³	10 ⁻⁶	10 ³	1	10 ⁻³	10 ⁻³
1 dm³	10 ⁻³	10 ⁶	10 ³	1	10 ⁻¹²
1 km³	10 ⁹	10 ¹⁸	10 ¹⁵	10 ¹²	1

① 1 dm³ = 1 l = 1 Liter

Masse-Einheiten

	kg	mg	g	dt	t = Mg
1 kg	1	10 ⁶	10 ³	10 ⁻²	10 ⁻³
1 mg	10 ⁻⁶	1	10 ⁻³	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
1 g	10 ⁻³	10 ³	1	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶
1 dt	10 ²	10 ⁸	10 ⁵	1	10 ⁻¹
1 t = 1 Mg	10 ³	10 ⁹	10 ⁶	10	1

Kraft-(Gewichtskraft)-Einheiten

	N ①	kN	MN	[kp]	[dyn]
1 N	1	10 ⁻³	10 ⁻⁶	0,102	10
1 kN	10 ³	1	10 ⁻³	0,102 · 10 ³	10 ⁸
1 MN	10 ⁶	10 ³	1	0,102 · 10 ⁶	10 ¹¹

① 1 N = 1 kg m/s² = 1 Newton

Druck-Einheiten

	Pa	N/mm²	bar	[kp/cm²]	[Torr]
1 Pa = 1 N/m²	1	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	1,02 · 10	0,0075
1 N/mm²	10 ⁶	1	10	10,2	7,5 · 10 ³
1 bar	10 ⁵	0,1	1	1,02	750
[1 kp/cm² = 1 at]	98.100	9,81 · 10 ⁻²	0,981	1	736
[1 Torr] ¹⁾	133	0,133 · 10 ⁻³	1,33 · 10 ⁻³	1,36 · 10	1

Temperatureinheiten (Umwandlung Kelvin, Rankine, Celsius, Fahrenheit)

$$T = \left(\frac{t}{^{\circ}\text{C}} + 273,15 \right) \text{K} = \frac{5}{9} \cdot \frac{T_{\text{R}}}{\text{Rank}} \text{K}$$

T = Temperatur Kelvin

$$T_{\text{R}} = \left(\frac{t_{\text{F}}}{^{\circ}\text{F}} + 459,67 \right) \text{Rank} = \frac{9}{5} \cdot \frac{T}{\text{K}} \text{Rank}$$

T_R = Temperatur Rankine

$$t = \frac{5}{9} \left(\frac{t_{\text{F}}}{^{\circ}\text{F}} - 32 \right) ^{\circ}\text{C} = \left(\frac{T}{\text{K}} - 273,15 \right) ^{\circ}\text{C}$$

t = Temperatur Celsius

$$t_{\text{F}} = \left(\frac{9}{5} \cdot \frac{t}{^{\circ}\text{C}} + 32 \right) ^{\circ}\text{F} = \left(\frac{T_{\text{R}}}{\text{Rank}} - 459,67 \right) ^{\circ}\text{F}$$

t_F = Temperatur Fahrenheit

9.3 Gegenüberstellung anglo-amerikanischer und metrischer Einheiten

Längen-Einheiten

	in	ft	yd	mm	m	km
1 in	1	0,08333	0,02778	25,4	0,0254	–
1 ft	12	1	0,3333	304,8	0,3048	–
1 yd	36	3	1	914,4	0,9144	–
1 mm	0,03937	$3,281 \cdot 10^{-6}$	$1,094 \cdot 10^{-6}$	1	0,001	10^{-6}
1 m	39,37	3,281	1,094	1.000	1	0,001
1 km	39.370	3.281	1.094	10^6	1.000	1

Flächen-Einheiten

	sq in	sq ft	sq yd	cm ²	dm ²	m ²
1 sq in	1	$6,944 \cdot 10^{-3}$	$0,772 \cdot 10^{-3}$	6,452	0,06452	$64,5 \cdot 10^{-5}$
1 sq ft	144	1	0,1111	929	9,29	0,0929
1 sq yd	1 296	9	1	8.361	83,61	0,8361
1 cm ²	0,155	$1,076 \cdot 10^{-3}$	$1,197 \cdot 10^{-4}$	1	0,01	0,0001
1 dm ²	15,5	0,1076	0,01196	100	1	0,01
1 m ²	1.550	10,76	1,196	10.000	100	1

Volumen-Einheiten

	cu in	cu ft	cu yd	cm ³	dm ³	m ³
1 cu in	1	$5,786 \cdot 10^{-4}$	$2,144 \cdot 10^{-5}$	16,39	0,01639	$1,64 \cdot 10^{-5}$
1 cu ft	1.728	1	0,037	28.316	28,32	0,0283
1 cu yd	46.656	27	1	764.555	764,55	0,7646
1 cm ³	0,06102	$3,532 \cdot 10^{-8}$	$1,31 \cdot 10^{-6}$	1	0,001	10^{-6}
1 dm ³	61,02	0,03532	0,00131	1.000	1	0,001
1 m ³	61.023	35,32	1,307	10^6	1.000	1

Masse-Einheiten

	dram	oz	lb	g	kg	Mg
1 dram	1	0,0625	0,003906	1,772	0,00177	$1,77 \cdot 10^{-6}$
1 oz	16	1	0,0625	28,35	0,02832	$28,3 \cdot 10^{-6}$
1 lb	256	16	1	453,6	0,4531	$4,53 \cdot 10^{-4}$
1 g	0,5643	0,03527	0,002205	1	0,001	10^{-6}
1 kg	564,3	35,27	2,205	1.000	1	0,001
1 Mg	$564,4 \cdot 10^3$	35.270	2.205	10^6	1.000	1

Sonstige Einheiten

1 mil = 10^{-3} in	= 0,0254 mm
1 sq mil = 10^{-6} sq in	= 645,2 μm^2
1 englische Meile	= 1609 m
1 internationale Seemeile	= 1852 m
1 geographische Meile	= 7420 m
1 rod, pole oder perch = 5,5 yd	= 5,092 m
1 sq chain = 16 sq rods	= 404,7 m^2
1 Imp. gallon (Imperial gallon)	= 4,546 dm^3
1 US. gallon (United States gallon)	= 3,785 dm^3
1 stone (GB) = 14 lb	= 6,35 kg
1 short quarter (US)	= 11,34 kg
1 long quarter (GB, US)	= 12,70 kg
1 short cwt (US) = 4 short quarter	= 45,36 kg
1 long cwt (GB, US) = 4 long quarter	= 50,80 kg
1 short ton (US)	= 0,9072 Mg
1 Btu/cu ft	= 9,547 kcal/m^3 = 39.964 N m/m^3
1 Btu/lb	= 0,556 kcal/kg = 2.327 N m/kg
1 lb/sq ft	= 4,882 kp/m^2 = 47,8924 N/m^2
1 lb/sq in (= 1 psi)	= 0,0703 kp/cm^2 = 0,6896 N/cm^2

10 Erläuterungen

[1]	Bestimmen des zulässigen Elastizitäts- bzw. Kriechmoduls	119
[2]	Bestimmung der zulässigen Spannung	119
[3]	Belastungsfall: Innerer Überdruck	120
[4]	Belastungsfall: Innerer Unterdruck beziehungsweise äußerer Überdruck	121
[5]	Kontrolle des zulässigen Betriebsüberdrucks p_b für einen L-Bogen aus PE 80	124
[6]	Ermittlung der Festpunktkräfte in axial eingespannten Kunststoffrohrleitungen	125
[7]	Wirkung der Innendruckprüfungen	126
[8]	Bestimmung des zulässigen Befestigungsabstandes von thermoplastischen Kunststoffrohrleitungen	128

[1] Bestimmen des zulässigen Elastizitäts- bzw. Kriechmoduls

Die sachgerechte Anwendung der Gleichung wird in Zusammenhang mit dem nachfolgenden Beispiel erläutert.

Gegeben: Rohrleitung aus PP-H

Betriebstemperatur: $T_b = 50\text{ °C}$

Rechnerische Standzeit: $L_D = 25\text{ a}$

Durchflusstoff: Abwasser, ohne wasser-gefährdende Stoffe

Abminderungsfaktor für den Durchflusstoff:

$A_2 = 1,0$ (zum Beispiel aus SIMONA® SIMCHEM)

Sicherheitsfaktor: $SF = 1,1$

Mit den vorstehenden Angaben kann nun der für die angegebene Standzeit zulässige Kriechmodul ermittelt werden, wobei wie folgt vorzugehen ist:

Aus SIMONA Diagramm Kap. 3.2 erhält man für eine Standzeit von 25 Jahren und eine Betriebstemperatur $T_b = 50\text{ °C}$ den Kriechmodulwert $E_c = 210\text{ N/mm}^2$. Daraus errechnet sich der für die weitere Dimensionierung zulässige Kriechmodul (Langzeit-Elastizitätsmodul) mit:

$$\text{zul } E_{c(LZ)} = \frac{210}{1,0 \cdot 1,1} = 191\text{ N/mm}^2$$

Der ermittelte Kriechmodul dient ausschließlich der Berechnung von **Langzeitverformungen**, wie sie zum Beispiel in Form von Durchbiegungen von Rohrleitungen zwischen Auflagestellen auftreten.

[2] Bestimmung der zulässigen Spannung

Die Anwendung der Gleichungen in Verbindung mit den Zeitstandkurven soll an einem Beispiel erläutert werden.

Gegeben: Rohrleitung aus PP-H

Fügeverfahren: Heizelementstumpfschweißen

Betriebstemperatur: $T_b = 20\text{ °C}$ bis 50 °C

Durchflusstoff: Abwasser, ohne wasser-gefährdende Stoffe

Abminderungsfaktor für den Durchflusstoff:

$A_2 = 1,0$ (DVS 2205-1, Tabelle 10.4)

Werkstoffzähigkeit: $A_4 = 1,0$ (DVS 2205-1, Tabelle 2)

Langzeit-Fügefaktor: $f_s = 0,8$ (DVS 2205-1, Tabelle 3)

Sicherheitsfaktor: $SF = 1,6$ (DIN 8077, Tabelle 2 beziehungsweise DVS 2205-1, Tabelle 4)

① Für die thermisch wechselbeanspruchte Rohrleitung, deren Durchflusstoffe nicht wassergefährdend sind, wird der Sicherheitsfaktor mit $SF = 1,6$ gewählt. Bei einer konstanten Betriebstemperatur von $T_b = 50\text{ °C}$ kann nach DIN 8077 $SF = 1,4$ eingesetzt werden.

Mit den vorstehenden Angaben können nun die zulässige Umfangs- und Längsspannungen ermittelt werden, wobei wie folgt vorzugehen ist:

Aus SIMONA Diagramm Kap. 2.3 erhält man für eine Mindeststandzeit von 25 Jahren und eine Betriebstemperatur $T_b = 50\text{ °C}$ den Vergleichsspannungswert $\sigma_v = 6,10\text{ N/mm}^2$.

Daraus folgt die zulässige Umfangsspannung mit:

$$\sigma_{\text{zul}(u)} = \frac{6,10}{1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,6} = 3,81\text{ N/mm}^2$$

Die zulässige Längsspannung ist um den Fügefaktor geringer, so dass hier gilt:

$$\sigma_{zul(u)} = \frac{6,10 \cdot 0,8}{1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,6} = 3,05 \text{ N/mm}^2$$

Mit den beiden Spannungswerten lassen sich alle Festigkeitsberechnungen an der im Beispiel genannten Rohrleitung durchführen. Für den Fall, dass eine andere Rohrleitung mit gleichen Voraussetzungen betrieben werden soll, sich jedoch die Betriebstemperatur ändert, müssen die zulässigen Spannungen für die entsprechende Temperatur erneut ermittelt werden. Die Anwendung der Spannungen im Rahmen der Rohrdimensionierung unter Innendruckbeanspruchung wird im Abschnitt 4.2.3 behandelt.

Angaben über zulässige Innendruckbeanspruchungen in Abhängigkeit zur Temperaturbelastung und Belastungsdauer finden sich in DIN 8074 für Rohre aus PE-HD und in DIN 8077 für Rohre aus PP. Als Ergänzung dazu dienen die SIMONA Diagramme im Abschnitt 4.2.3, welche den Verlauf des zulässigen Innendruckes über der Betriebstemperatur für eine übliche Belastungsdauer von 25 Jahren veranschaulichen.

[3] Belastungsfall: Innerer Überdruck

Die Anwendung der SIMONA Diagramme zur Überdruckbelastbarkeit von thermoplastischen Kunststoffrohrleitungen soll an einem Beispiel erläutert werden.

Gegeben: Rohrleitung aus PP-H

Rohrabbmessung: $d_e = 280 \text{ mm}$, $e = 16,6 \text{ mm}$

Minimale Betriebstemperatur: $\min T_B = 20^\circ\text{C}$

Maximale Betriebstemperatur: $\max T_B = 50^\circ\text{C}$

Betriebsüberdruck: $\max p_i = 4 \text{ bar}$

Durchflussstoff: Abwasser, ohne wasser-gefährdende Stoffe; $A_2 = 1,0$

Betriebsicherheit: Aufgrund der Tatsache, dass es sich um eine thermisch beanspruchte Abwasserleitung handelt, welche jedoch keine wassergefährdenden Stoffe enthält, wird der Sicherheitsfaktor mit $SF = 1,25$ angenommen.

Aufgabenstellung: Es soll geprüft werden, ob die Rohrleitung unter den gegebenen Bedingungen sicher betrieben werden kann.

Rohrwerkstoff: Wegen der höheren Festigkeit bei höheren Betriebstemperaturen wird PP-H gewählt. Das SIMONA Diagramm für PP-H enthält Kurven für Sicherheitsfaktoren $SF = 1,6$; $1,4$ und $1,25$. Die Rohrgrundnorm DIN 8078 differenziert in Bezug auf Sicherheitsfaktoren. Die Differenzierung berücksichtigt die geringere Zähigkeit von PP-H bei Temperaturen $< 40^\circ\text{C}$ gegenüber PP-R.

Hieraus ergibt sich eine Staffelung der zulässigen Innendruckbelastung für

$T_B = 10^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C}$, $T_B = > 40^\circ\text{C} - 60^\circ\text{C}$ und

$T_B = 60^\circ\text{C} - 80^\circ\text{C}$. Für den gewählten Anwendungsfall beträgt $SF = 1,4$. Die Annahme mit $SF = 1,25$ muss dementsprechend korrigiert werden.

SDR-Klasse: Das SIMONA Diagramm muss in Abhängigkeit zum SDR-Klasse angewendet werden. Der SDR-Klasse stellt das Durchmesser-Wanddicken-Verhältnis dar. Je dicker die Rohrwand ist, desto kleiner ist der SDR-Klasse, was auch umgekehrt gilt. Im vorliegenden Fall ist der SDR-Klasse = 17 wobei die zulässige Überdruckbelastbarkeit die Rohre mit SDR 17,6 einschließt.

Nenndruck: Das Rohr mit SDR 17 entspricht etwa der früheren Nenndruckstufe PN 6. Allerdings soll der SDR-Klasse die bisher übliche Bezeichnung des Nenndruckes PN ersetzen. Da der Nenndruck als kennzeichnende Größe im Rohrleitungsbau eingeführt ist, werden die Angaben zur Nenndruckstufe, sofern es hilfreich ist, begleitend erwähnt.

a) Grafische Ermittlung des zulässigen Überdruckes:

Aus dem SIMONA Diagramm wird für das Rohr SDR 17 ein zulässiger Betriebsüberdruck von $zul\ p_{\bar{u}} = 5,2$ bar für eine Betriebstemperatur $T_B = 50^\circ\text{C}$ und eine Standzeit = 25 Jahre abgelesen.

Ergebnis: Die genannten Betriebsbedingungen mit $p_{\bar{u}} = 4$ bar werden damit erfüllt.

b) Rechnerische Ermittlung des zulässigen Überdruckes:

Die Dimensionierung eines Rohres unter innerem Überdruck folgt der allgemein gültigen Beziehung:

$$e = \frac{p_{\bar{u}} \cdot d_e}{20 \cdot \sigma_{zul} + p_{\bar{u}}}$$

Wird die Beziehung nach p umgestellt, erhält man folgende Gleichung:

$$zul\ p_{\bar{u}} = \frac{20 \cdot \sigma_{zul} \cdot e}{d_e - e}$$

In die vorstehenden Gleichungen sind die Größen wie folgt einzusetzen:

$p_{\bar{u}}$	= innerer Überdruck	[bar]
σ_{zul}	= zulässige Umfangsspannung	[N/mm ²]
e	= Rohrwanddicke	[mm]
d_e	= Rohraußendurchmesser	[mm]

Die zulässige Umfangsspannung errechnet sich gemäß Abschnitt 4.2.2 wie folgt:

$$zul\ \sigma_u = \frac{6,10}{1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,4} = 4,36\ \text{N/mm}^2$$

Unter Verwendung der zulässigen Umfangsspannung kommt man zu folgendem Ergebnis:

$$zul\ p_{\bar{u}} = \frac{20 \cdot 4,36 \cdot 16,6}{280 - 16,6} = 5,16\ \text{bar}$$

Das rechnerische Ergebnis bestätigt die Ablesung aus dem SIMONA Diagramm.

Hinweis: Die bislang vorgenommene Betrachtung umfasst ausschließlich Belastungen aus innerem Überdruck. Die in einer Rohrleitung entstehenden Zug-, Druck- und Biegespannungen aus Wärmedehnung können sich mit den aus Innendruck ausgelösten Längsspannungen überlagern. Dieser Umstand ist immer dann zu berücksichtigen, wenn es um den rechnerischen Nachweis einer Rohrleitung geht, welcher nicht durch die Anwendung der SIMONA Diagramme ersetzt werden kann.

Die Vorgehensweise bei Erstellung eines Spannungsnachweises ist dem Abschnitt 4.2.3 zu entnehmen.

[4] Belastungsfall: Innerer Unterdruck beziehungsweise äußerer Überdruck

Gegeben: Rohrleitung aus PP-H

Rohrabmessung: $d_e = 280$ mm $e = 16,6$ mm

Maximale Betriebstemperatur: $\max\ T_B = 50^\circ\text{C}$
(nach DVS 2205-1, Tabelle 2 wird $A_4 = 1,0$)

Minimale Betriebstemperatur: $\min T_B = 20^\circ\text{C}$

Mögliche Unterdruckbelastung: $p_u = 0,5 \text{ bar}$

Durchflusstoff: Abwasser mit $A_2 = 1,0$

Stützweite: $L_A = 2500 \text{ mm}$

Rohrwerkstoff: Wegen des höheren Elastizitätsmoduls bei höheren Betriebstemperaturen wird PP-H gewählt. Insbesondere bei einer Unterdruckbeanspruchung ist zu beachten, dass der zulässige Unterdruck um so größer sein darf, desto höher der Kurzzeit-Elastizitätsmodul des jeweiligen Kunststoffes ist.

SDR-Klasse: Die SIMONA Diagramme sind in Abhängigkeit zum SDR-Klasse anzuwenden. Der SDR-Klasse stellt das Durchmesser-Wanddicken-Verhältnis dar. Je dicker die Rohrwand bei gleichem Rohraußendurchmesser ist, desto kleiner ist der SDR-Klasse, was auch umgekehrt gilt. Im vorliegenden Fall entspricht das Rohr SDR 17, wobei die SIMONA Diagramme auch Rohre mit SDR 17,6 einschließen.

Unterdruckbelastbarkeit einer axial eingespannten

Rohrstrecke: Um sicherzustellen, dass bei axial eingespannter Rohrstrecke kein Beulen eintritt, muss gemäß SIMONA Diagramm auf S. 44 ff der innere Unterdruck auf $p_u \leq 585 \text{ mbar} = 0,585 \text{ bar}$ begrenzt werden.

Hinweis: PP-H Rohre mit SDR 11 beziehungsweise SDR 7,4 sind gegenüber den in den SIMONA Diagrammen angegebenen Rohrwandtemperaturen beul-sicher, das heißt sie können mit einem Unterdruck von 1,0 bar (= Vakuum) betrieben werden, so dass sich eine Darstellung des Kurvenverlaufs erübrigt.

Untersuchung der Druckspannungen: Für den Fall, dass für eine Anwendung mit axialer Einspannung der Rohrstrecken die Druckspannungen aus veränderter Wärmedehnung zu untersuchen sind, wird auf Abschnitt 4.2.4 verwiesen.

Untersuchung der Axialstabilität: Bei dünnwandigen Rohren mit axialer Einspannung ist nicht auszuschließen, daß es aufgrund zu hoher Druckspannungen zur Instabilität kommt. Die kritische Beulspannung in Rohrlängsachse läßt sich wie folgt bestimmen:

$$\sigma_{k(a)} = \alpha_k \cdot 0,62 \cdot E_{kz} \cdot \frac{e}{r_m}$$

In der vorstehenden Gleichung bedeuten:

- $\sigma_{k(a)}$ = kritische Beulspannung in Längsachse [N/mm²]
- α_k = zeitabhängiger Berechnungsbeiwert [-]
- E_{kz} = Kurzzeit-E-Modul [N/mm²]
- e = Rohrwanddicke [mm]
- r_m = mittlerer Radius des Rohrquerschnittes [mm]

Mit $\alpha_k = 0,33$ für eine rechnerische Standzeit von 25 Jahren, kann die kritische Beulspannung in einfache Beziehung überführt werden.

$$\sigma_{k(a)} = 0,205 \cdot E_{kz} \cdot \frac{e}{r_m}$$

Untersuchung der Beulsicherheit: Zu untersuchen ist, ob die Rohrleitung bei der Belastung aus Axial- und Radialdruck die Interaktionsbedingung erfüllt. Die zur Berechnung erforderlichen Gleichungen sind dem jeweils genannten Abschnitt entnommen. Die Druckspannungen werden durch das Minuszeichen (-) kenntlich gemacht.

Der Interaktionsnachweis hat folgende Form:

$$\eta = \left(\frac{\text{vorh } \sigma_\delta}{\text{zul } \sigma_\delta} \right)^{1,25} + \left(\frac{\text{vorh } p_{n,e}}{\text{zul } p_{n,e}} \right)^{1,25} \leq 1,0$$

In der vorstehenden Gleichung bedeuten:

- vorh σ_δ = Summe der vorhandenen Druckspannungen in Längsrichtung
- zul σ_δ = Wert der zulässigen Druckspannung in Längsrichtung

vorh $p_{u,a}$ = Wert des maximal auftretenden Unterdruckes p_u bzw. äußeren Überdruckes p_a
 zul $p_{u,a}$ = Wert des zulässigen Radialdruckes

Für den vorliegenden Anwendungsfall ist einzusetzen:

Diagramm Abschnitt 2.3

KZ-Festigkeit (50 °C) $\sigma_{v(10h)}^{①} = 12 \text{ N/mm}^2$

Diagramm Abschnitt 3.2

KZ-Elastizitätsmodul (50 °C) $E_{KZ} = 620 \text{ N/mm}^2$

① Es wurde eine Belastungsdauer von 10 h für die maximale Druckspannung angenommen. Danach ist mit einer Relaxation auf etwa 60 % des Maximalwertes auszugehen.

Zulässige Druckspannung entsprechend Abschnitt 4.2.2:

$$\text{zul } \sigma_{\delta} = \frac{\sigma_v}{A_2 \cdot A_4 \cdot SF}$$

$$\text{zul } \sigma_{\delta} = \frac{12,0}{1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,4} = 8,57 \text{ N/mm}^2$$

KZ-Druckspannung aus verbotener Wärmedehnung entsprechend Abschnitt 4.2.4:

$$\sigma_{i(dT)} = -\alpha \cdot \Delta T \cdot E_{(KZ)}$$

$$\sigma_{i(dT)} = -0,00016 \cdot 30 \cdot 620 = -2,98 \text{ N/mm}^2$$

KZ-Druckspannung aus innerem Unterdruck entsprechend Abschnitt 4.2.4:

$$\sigma_{i(pu,pa)} = -\frac{p_u}{10} \cdot \frac{(d_e/d_i)^2}{(d_e/d_i)^2 - 1}$$

$$\sigma_{i(pu,pa)} = -\frac{0,5}{10} \cdot \frac{(280/248,2)^2}{(280/248,2)^2 - 1} = -0,23 \text{ N/mm}^2$$

LZ-Biegedruckspannung aus Rohrdurchbiegung entsprechend Abschnitt 4.2.4:

$$\sigma_{i(b)} = -\frac{q \cdot L_A^2}{8 \cdot W_R}$$

$$\sigma_{i(b)} = -\frac{0,615 \cdot 2500^2}{8 \cdot 8,7 \cdot 10^5} = -0,56 \text{ N/mm}^2$$

Kritischer Beuldruck der Rohrstrecke bei 50 °C (Radialrichtung):

$$p_k = \frac{2 \cdot 620}{1 - 0,38^2} \cdot \frac{16,6^3}{280^3} = 0,302 \text{ N/mm}^2 \cdot 10 = 3,02 \text{ bar}$$

Zulässige Radialbelastung: Die zulässige Belastung aus Unterdruck p_u beziehungsweise äußerem Überdruck p_a ergibt sich mit einer Beulsicherheit von $S_{beul} = 2,0$ wie folgt:

$$\text{zul } p_{u,a} = p_k / S_{beul} = 3,02 / 2,0 = 1,51 \text{ bar}^{②}$$

② Der nach SIMONA Diagramm zulässige Unterdruck von $p_u = 0,585 \text{ bar}$ berücksichtigt sowohl die axiale Einspannung als auch Imperfektionen, wie sie in Form des gebogenen Rohres auftreten können. Die Durchbiegung des Rohres erzeugt Biegedruckspannungen, die sich den übrigen Druckspannungen überlagern. Insofern können die Diagramme lediglich Grenzwerte für den ungünstigsten Fall liefern, welcher individuell durch Rechnung zu optimieren sind.

Beanspruchung in Achsrichtung: Die vorhandene Axialdruckbeanspruchung bei Unterdruck beträgt:

$$\text{vorh } \sigma_{\delta} = \sigma_{dT} + \sigma_{pu} + \sigma_b$$

$$\text{vorh } \sigma_{\delta} = (-2,98) + (-0,23) + (-0,56) = -3,77 \text{ N/mm}^2$$

Kritische Beulspannung in Achsrichtung:

$$\sigma_{k(a)} = 0,205 \cdot 620 \cdot 16,6 / [0,5 \cdot (280 - 16,6)] = 16,02 \text{ N/mm}^2$$

Wie festzustellen ist, liegt die kritische Beulspannung dickwandiger Rohre deutlich über der zulässigen Druckspannung. Es wird deshalb vorgeschlagen, den Interaktionsnachweis für axial eingespannte Rohrleitungen mit dem Verhältnis (vorh σ_v / zul σ_v) zu führen.

Interaktionsnachweis:

$$\eta = \left(\frac{3,77}{8,57} \right)^{1,25} + \left(\frac{0,5}{1,06} \right)^{1,25} = 0,75$$

Ergebnis der Untersuchung: Es wird die Forderung auf einen ausreichenden Sicherheitsabstand gegenüber Beulen erfüllt.

[5] Kontrolle des zulässigen Betriebsüberdrucks p_B für einen L-Bogen aus PE 80

Gegeben:

- Rohrabmessung:** $d_e = 280 \text{ mm}$
- Betriebsdruck:** $p_B = 5,0 \text{ bar}$
- minimale Betriebstemperatur:** $\min T_B = 20^\circ\text{C}$
- maximale Betriebstemperatur:** $\max T_B = 40^\circ\text{C}$
- Abminderung aus Durchflußstoff:** $A_2 = 1,0$
- Sicherheitsfaktor:** $SF = 1,25$
- LZ-Schweissfaktor:** $f_{LZ} = 0,8$
- Rechnerische Standzeit:** 25 Jahre
- Systemlänge des L-Bogens:** ges $L_1 = 9500 \text{ mm}$

Zulässiger Betriebsüberdruck nach SIMONA

Diagramme im Abschnitt 3.1:

zulässiger Betriebsüberdruck für Biegeschenkel: entsprechend zu p_u für die gerade Rohrstrecke

Erforderliche Rohrwanddicke bzw. zulässiger Betriebsdruck des Rohres:

Aus SIMONA Diagramm Seite 61 ergibt sich für PE 80 sowie die angegebenen Betriebsbelastungen bei $SF = 1,25$ ein Rohr mit $SDR = 17$ bzw. einer Wanddicke $e = 16,6 \text{ mm}$. Die Überdruckbelastbarkeit des Rohres wird mit zul. $p_u = 5,6 \text{ bar}$ abgelesen.

Ergebnis: Mit zul. $p_u = 5,6 \text{ bar}$ für die Rohrstrecke und den Dehnungsbogen wird die Forderung aus $p_B = 5,0 \text{ bar}$ erfüllt.

Hinweis: Die Vorgehensweise bei Z- und U-Bogen sowie bei anderen Werkstoffen und Betriebsbedingungen ist sinngemäß einzuhalten.

Berechnung der Biegeschenkelabmessungen:

Rohrinnendurchmesser:	
$d_i = 280 - 2 \cdot 16,6$	= 246,8 mm
aus Diagramm Abschnitt 2.2:	
$E_{(minTB)}$	= 235 N/mm ²
$E_{(maxTB)}$	= 120 N/mm ²
mittlerer Kriechmodul:	
$E_{cm} = (0,5 \cdot (235 + 120)) / 1,0$	= 177,5 N/mm ²
aus Diagramm Abschnitt 2.1:	
σ_v für max T_B	= 5,8 N/mm ²
nach Abschnitt 2.3:	
$\sigma_{zu(l)} = 5,8 \cdot 0,8 / (1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,25)$	= 3,71 N/mm ²
nach Abschnitt 3.3:	
$\sigma_{l(p)} = 5,0 / 10 \cdot 1 \cdot ((280 / 246,8)^2 - 1)$	= 1,74 N/mm ²
nach Abschnitt 3.3:	
zul $\sigma_{l(b)} = 3,71 - 1,74$	= 1,97 N/mm ²
Temperaturdifferenz:	
$dT = \max T_B - \min T_B$	= 20 K

Mit den vorgenannten Eingabedaten wird der Mindestbiegeschenkel $\min L_{B1}$ errechnet:

$$\text{erf } L_{B1} = \sqrt{\frac{3 \cdot 280 \cdot 9500 \cdot 20 \cdot 0,00018 \cdot 177,5}{1,74}} = 1712 \text{ mm}$$

Für den Biegeschenkel min L_{B2} ist zu berücksichtigen:

$$\text{erf } L_{B2} = \sqrt{\frac{3 \cdot 280 \cdot 1712 \cdot 20 \cdot 0,00018 \cdot 177,5}{1,74}} = 727 \text{ mm}$$

Gemäß dem Beispiel ergibt sich unter Verwendung von SIMONA Diagramm auf Seite 61 eine Biegeschenkellänge von $L_{B1} = 1730 \text{ mm}$ und $L_{B2} = \text{ca. } 720 \text{ mm}$. Es ist festzustellen, dass sich die grafisch ermittelten Biegeschenkelabmessungen mit den berechneten in praktikabler Übereinstimmung befinden.

Die Abmessungen der Z- und U-Dehnungsbogen sind in gleicher Weise zu bestimmen.

[6] Ermittlung der Festpunktkräfte in axial eingespannten Kunststoffrohrleitungen

Gegeben: Rohrleitung aus PE 100

Rohrabmessung: $d_e = 280 \text{ mm}$; $e = 16,6 \text{ mm}$

minimale Betriebstemperatur: $\min T_B = 20^\circ\text{C}$

maximale Betriebstemperatur: $\max T_B = 40^\circ\text{C}$

Montagetemperatur: $\min T_M = 20^\circ\text{C}$

Durchflussstoff: Abwasser

Aufgabenstellung: Es soll ermittelt werden, mit welchen Festpunktkräften zu rechnen ist, wenn die Rohrleitung unter den gegebenen Betriebsbedingungen axial eingespannt wird.

Rohrwerkstoff: Wegen der höheren Festigkeit gegenüber der Innendruckbelastung bei höherer Betriebstemperatur wird PE 100 statt PE 80 gewählt. In Bezug auf die Festpunktkräfte der Rohrleitung hat diese Entscheidung keinen Einfluss, da der Elastizitätsmodul als werkstoffspezifische Einflussgröße bei beiden Kunststoffen ähnlich ist.

SDR-Klasse: Das SIMONA Diagramm zur Bestimmung der maximalen Festpunktkräfte muss in Abhängigkeit zum SDR-Klasse angewendet werden.

Die Rohrwanddicke beeinflusst die Festpunktkräfte, das heißt je dicker die Rohrwand ist, desto höher wird die Festpunktbelastung. Dabei hat die Rohrlänge keinen Einfluss.

Rohrwandtemperatur: Als Rohrwandtemperatur ist die maximale Betriebstemperatur anzunehmen. In diesem Zustand erreicht auch die Festpunktbelastung ihr Maximum.

Festpunktbelastung aus veränderter

Wärmedehnung:

Für das Rohr $d_e \cdot e = 280 \cdot 16,6 \text{ mm}$ (SDR 17) ergibt sich nach SIMONA Diagramm (Seite 83) die maximale Festpunktbelastung aus veränderter Wärmedehnung mit $F_{FP} = 23 \text{ kN}$.

Das Ergebnis ist gültig für eine Temperaturdifferenz von 20 K. Die Temperaturdifferenz errechnet sich aus der Montagetemperatur zum Maximum der Betriebstemperatur $\Delta T = \max T_B - \min T_M$. Ist die minimale Betriebstemperatur geringer als die Montagetemperatur, so ist für $\Delta T = \max T_B - \min T_B$ einzusetzen. Kann die Rohrleitung außer Betrieb genommen werden, so kann die minimale Rohrwandtemperatur auf Umgebungstemperatur sinken. Für die im Freien ver-

legten Rohrleitungen können somit extreme Temperaturunterschiede auftreten, bei der die Festpunktbelastung rechnerisch ermittelt werden muss.

Die rechnerische Ermittlung der Festpunktbelastung aus veränderter Wärmedehnung ist wie folgt vorzunehmen:

$$F_{FP} = \alpha \cdot \Delta T \cdot A_R \cdot E_{cm(100min)}$$

In der vorstehenden Gleichung bedeuten:

- α = thermischer Längenausdehnungskoeffizient [1/K]
- ΔT = Temperaturdifferenz [K]
- A_R = Rohrwandringfläche [mm²]
- $E_{cm(100min)}$ = mittlerer Kriechmodul für t = 100 min [N/mm²]

Angaben zum Kriechmodul sind dem SIMONA Diagramm für PE im Abschnitt 3.1 zu entnehmen. Die Mittelwerte für α finden sich in der Tabelle unter Abschnitt 5.3.2.

Unter Verwendung der vorstehend genannten Werte ergibt sich folgender Berechnungsgang:

$$E_{cm(100min)} = 0,5 \cdot (E_{c20^\circ C} + E_{c40^\circ C}) = 0,5 \cdot (595 + 325) = 460 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{FP} = 1,8 \cdot 10^4 \cdot 20 \cdot 13736 \cdot 460 = 22,8 \text{ kN}$$

Das rechnerische Ergebnis befindet sich in guter Übereinstimmung mit der Ablesung nach SIMONA Diagramm.

Hinweis: Die unter Verwendung der SIMONA Diagramme ermittelten Festpunktkräfte zeigen die Belastung auf die Befestigungsstruktur. Die in der Rohrleitung auftretenden Druck- beziehungsweise Zugspannungen müssen im Rahmen einer Spannungsuntersuchung gesondert betrachtet werden (siehe dazu Abschnitt 4.2.4).

[7] Wirkung der Innendruckprüfungen

Bei der Innendruckprüfung geht es darum, die Rohrleitung zum Nachweis ihrer Betriebssicherheit einem erhöhten Prüfdruck auszusetzen. Der Prüfdruck kann mit dem 1,5-fachen Nenndruck der Rohrleitung durchgeführt werden. Im vorliegenden Fall handelt es sich um Rohre und Formstücke mit SDR 17 \approx PN 6, so dass der Prüfdruck mit $p = 1,5 \cdot 6 = 9$ bar angesetzt wird. Welche Wirkungen hat der Prüfdruck auf die Festpunktbelastung einer thermoplastischen Kunststoffrohrleitung?

Festpunktbelastung bei Prüfung: Bei der Festpunktbelastung aus Prüfdruck wird davon ausgegangen, dass sich im Rohrstrang Zugspannungen ergeben, die eine Längsdehnung zur Folge haben. Sofern die Längsdehnung verhindert wird, entstehen an den Festpunkten Kräfte, die wie folgt ermittelt werden können:

$$F_{\text{prüf}} = \frac{0,1 \cdot p \cdot (1 - 2\mu)}{(d_e/d_i)^2 - 1} \cdot A_{\text{Rohr}}$$

In der vorstehenden Gleichung bedeuten:

- p = Prüfdruck [bar]
- μ = Querkontraktionszahl = 0,38 für Thermoplaste [-]
- d_e = Rohraußendurchmesser [mm]
- d_i = Rohrinne Durchmesser [mm]
- A_{Rohr} = Rohrwandringfläche [mm²]

Werden die Größen gemäß Beispiel eingesetzt, kommt man zu folgendem Ergebnis:

$$F_{\text{prüf}} = \frac{0,1 \cdot 9 \cdot (1 - 2 \cdot 0,38)}{[(280/246,8)^2 - 1]} \cdot 13736 = 10,4 \text{ kN}$$

Die Festpunktbelastung bei der Innendruckprüfung ist in diesem Fall geringer als die aus veränderter Wärmedehnung.

Reibung bei den Rohraufgaben: Dehnt sich ein Rohrstrang in Längsrichtung aus, so entstehen an den Rohraufgaben Reibungskräfte. Die Reibungskräfte behindern die Längenänderung, so dass sich gegenüber der rechnerisch ermittelten Längenänderung in Wirklichkeit geringere Werte ergeben.

Festpunktbelastung aus Reibung: Bezüglich der Festpunktbelastung ist die Addition der Reibkräfte an einem Rohrstrang bestimmter Länge zu ermitteln. Die spezifische Reibkraft pro lfm Rohrleitung läßt sich wie folgt bestimmen:

$$F_R = (q_R + q_F + q_Z) \cdot \mu_R$$

In der vorstehenden Gleichung bedeuten:

q_R	= Rohreigengewicht	[N/m]
q_F	= Füllgewicht	[N/m]
q_Z	= Zusatzgewicht	[N/m]
μ_R	= Reibungsbeiwert = 0,3 bis 0,5	[-]

Ergänzt wird das Beispiel um die Angaben:

Bewegliche Rohrstrecke = 50 m

ges q = Rohrgewicht samt Füllung = 615 N/m

$\mu_R = 0,3$

Damit ergibt sich die gesamte Reibkraft = Festpunktbelastung zu:

$$F_R = (615 \text{ N/m}) \cdot 0,3 \cdot 50 \text{ m} = 9225 \text{ N} = 9,23 \text{ kN}$$

Hinweis: Die Festpunktbelastung aus Reibung an den Rohraufgaben ist abhängig vom Rohrleitungssegmentgewicht, dem Reibungsbeiwert und der verschiebbaren Rohrleitungslänge. Im vorliegenden Fall ist die Belastung deutlich geringer als die aus verhin- derter Wärmedehnung.

Festpunktbelastung aus Innendruck: Die Festpunktbelastung beim Einbau von Kompensatoren orientiert sich ausschließlich am Innendruck der Rohrleitung. Dabei ist die Wirkung des Innendruckes auf die

Kompensatorfläche zu ermitteln. Die vom Innendruck ausgehende Festpunktbelastung läßt sich wie folgt bestimmen:

$$F_p = A_K \cdot 0,1 \cdot p_{\bar{u}}$$

In der vorstehenden Gleichung bedeuten:

$p_{\bar{u}}$	= innerer Überdruck	[bar]
A_K	= druckbeaufschlagte Fläche des Kompensators	[mm ²]

Setzt man in die Gleichung die nachstehenden Werte ein

d_K = druckbeaufschlagter Kompensatordurchmesser = 300 mm

max $p_{\bar{u}} = 9$ bar

so ergibt sich eine Festpunktbelastung bei Kompensatoreinbau von

$$F_p = 300^2 \cdot \pi/4 \cdot 0,1 \cdot 9 = 63617 \text{ N} = 63,6 \text{ kN}$$

Dies wäre mit Abstand die größte Festpunktbelastung.

Hinweis: Anhand der Beispielrechnungen soll gezeigt werden, wie vielfältig Festpunktberechnungen und die Belastungen sein können. Nicht behandelt wird die Festpunktbelastung bei Quellung der Kunststoffrohrleitung unter Lösemittelinwirkung. Dieser Betriebszustand stellt einen Sonderfall dar, welcher im Zusammenhang mit einer Projektbearbeitung untersucht werden muß und nicht verallgemeinert werden kann.

Zur Dimensionierung der Festpunktstruktur muss der ungünstigste Lastfall untersucht werden. Unter Umständen kommt es zu einer Überlagerung gleichzeitig ablaufender Betriebszustände, so dass dann die gleichgerichteten Einzelbelastungen addiert werden müssen, um zur maximalen Festpunktbelastung zu kommen.

[8] Bestimmung des zulässigen Befestigungsabstandes von thermoplastischen Kunststoffrohrleitungen

Gegeben: Rohrleitung aus PE 100

Rohrabbmessung: $d_e = 63 \text{ mm}$ $e = 5,8 \text{ mm}$ (SDR 11)

Minimale Betriebstemperatur: $\min T_B = 20^\circ\text{C}$

Maximale Betriebstemperatur: $\max T_B = 40^\circ\text{C}$

Durchflusstoff: Abwasser, ohne wassergefährdende Stoffe und $A_2 = 1,0$

Dichte des Durchflusstoffes: $\rho = 1,1 \text{ g/cm}^3$

Aufgabenstellung: Es soll geprüft werden, mit welchem Befestigungsabstand die Rohrleitung unter den gegebenen Betriebsbedingungen verlegt werden darf.

Rohrwerkstoff: Wegen der höheren Festigkeit gegenüber der Innendruckbelastung bei höherer Betriebstemperatur wird PE 100 statt PE 80 gewählt. In Bezug auf das Durchhängen der Rohrleitung hat diese Entscheidung keinen Einfluss, da der Elastizitätsmodul als werkstoffspezifische Einflußgröße bei beiden Kunststoffen ähnlich ist.

SDR-Klasse: Das SIMONA Diagramm zur Bestimmung zulässiger Befestigungsabstände kann unabhängig zur SDR-Klasse angewendet werden. Bei der Berechnung wurde das Rohrgewicht zusammen mit dem Gewicht der Füllung mit $\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$ eingesetzt. Bei Änderung der Rohrwanddicke beziehungsweise Zunahme des spezifischen Gewichtes beim Werkstoff (zum Beispiel PVDF) kommt es nur zu einer unbedeutenden Abweichung gegenüber der rechnerisch ermittelten Durchbiegung.

Berücksichtigung des Durchflusstoffes: Auf jeden Fall zu berücksichtigen sind die spezifischen Gewichte der Durchflusstoffe, da die Zunahme von $\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$ eine größere Durchbiegung bei Bei-

haltung der Befestigungsabstände nach SIMONA Diagramm bewirkt. Der Umrechnungsfaktor f_x für die Änderung der Befestigungsabstände in Abhängigkeit zur Dichte des Durchflusstoffes kann der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

Die Anwendung gleicher Umrechnungsfaktoren für alle Werkstoffe hat nur unwesentlichen Einfluß auf die tatsächliche Durchbiegung, so dass auf eine Differenzierung verzichtet werden kann.

Einfluss des Durchflusstoffes auf den Befestigungsabstand: Siehe untenstehende Tabelle.

Zulässiger Befestigungsabstand: Aus dem SIMONA Diagramm für PE 80/PE 100 Rohre wird für die Größe $d_e = 63 \text{ mm}$ ein Befestigungsabstand von $L_A = 950 \text{ mm}$ bei einer Betriebstemperatur $T_B = 40^\circ\text{C}$ abgelesen. Da der Durchflusstoff eine Dichte von $1,1 \text{ g/cm}^3$ aufweist, ergibt sich der zulässige Befestigungsabstand mit $L_A = 0,98 \cdot 950 = 930 \text{ mm}$. Für diesen Anwendungsfall also kein unwesentlicher Unterschied.

Hinweis: Die mit SIMONA Diagramm vorgenommene Ermittlung des Befestigungsabstandes erfasst die wesentlichen Einflüsse auf die Kunststoffrohrleitung. Die in der Rohrleitung auftretenden Biegespannungen $\sigma_{(b)}$ liegen dabei deutlich unter $1,0 \text{ N/mm}^2$, was im Rahmen einer Spannungsbetrachtung geringe Auswirkungen hat.

Dichte des Durchflusstoffes [g/cm^3]

Umrechnungsfaktor	Gase	$\rho = 1,1$	$\rho = 1,2$	$\rho = 1,3$	$\rho = 1,4$	$\rho = 1,5$
f_x	1,3	0,98	0,96	0,94	0,92	0,90



11 Services

Als Kunde stehen Sie im Mittelpunkt unserer Aktivitäten:
Von der Entwicklung des Projektes über den Einkauf
der Rohstoffe, die Produktion bis zur Projektierung vor Ort
stehen wir als beratender Partner an Ihrer Seite.

Nutzen Sie unser langjähriges Know-how für Ihre Projekte.

Beratungs- und Informationsservice



Wir beschäftigen uns intensiv mit den Anwendungen unserer Produkte. Gerne geben wir unser Wissen weiter. Weltweit bieten wir einen Beratungsservice durch unsere Mitarbeiter im Technical Sales Support sowie im Außendienst: umfassend von der Planung des Projektes über die Werkstoffauswahl bis zur anwendungstechnischen Beratung bei der Projektierung vor Ort.

Projektplanung

Wir beraten Planer und Auftraggeber sowohl technisch als auch kaufmännisch bei der Produkt- und Werkstoffauswahl sowie bei der Wahl der wirtschaftlichsten Verlegeverfahren. Gerne unterstützen wir Sie in allen technischen Fragen rund um Ihr Projekt, wie z. B. Installation, Festigkeitsberechnungen, Verbindungstechniken.

BERATUNG

+49 (0) 67 52 14-254
pipingsystems@simona.de



Beratung vor Ort

Wir unterstützen Sie während des Projektes. Unsere Ingenieure betreuen alle Projektphasen Ihrer Baumaßnahme vor Ort und stehen Ihnen auch nach Beendigung der Maßnahme für alle Fragen zur Verfügung.

Schulung

Wir führen die anwendungstechnische Schulung Ihrer Mitarbeiter vor Ort oder in unserem Technikum in Kirn durch.

Termintreue und Flexibilität

Wir halten für Sie in unseren Zentrallagern und Auslieferungslagern weltweit unsere Standardartikel vor, um Sie schnell und flexibel bedienen zu können.

Ausschreibungsservice

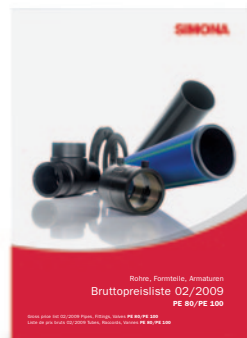
Detaillierte Ausschreibungstexte unserer Produkte finden Sie auf der CD-ROM SIMONA® SIMCAT – Ihre Planungshilfe in der Rohr- und Formteilprojektierung – oder unter www.simona.de.

Informationsservice

Weitere Informationen zu unseren Produkten erhalten Sie in Form von

- Broschüren
- Produktinformationen
- CD-ROMs.

Das ausführliche Lieferprogramm Rohre, Formteile und Armaturen inklusive Bruttopreisen finden Sie in unseren gedruckten Bruttopreislisten oder unter www.simona.de



INFO

+49 (0) 67 52 14-383
marketing@simona.de

Technische Services

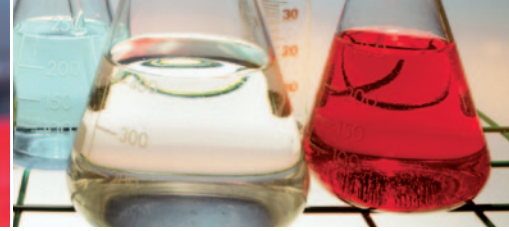


Wir unterziehen unsere Produkte regelmäßigen Prüfungen und Langzeittests. In unserem hauseigenen Labor werden Werkstoffkennwerte und Langzeiteigenschaften permanent geprüft.

Gerne geben wir unser Wissen weiter und führen Untersuchungen in Ihrem Auftrag durch.

Materialprüfungen

- Einlagerungsversuche nach DIN 16888 Teil 1–2 und ISO 4433 Teil 1–4
- Abschätzung der Abminderungsfaktoren durch Immersionsversuche oder die Ermittlung durch Zeitstandsinnendruckversuche
- Prüfung des Potenzials einer Flüssigkeit hinsichtlich der Auslösung von Spannungsrissen
- Beurteilung der Permeation bei Einsatz im Verbundbau und in der Auskleidungstechnik mit entsprechender Materialempfehlung



Zubehörservice

Für die fachgerechte Verarbeitung und Verschweißung unserer Rohre und Formteile bieten wir Ihnen entsprechende Maschinen und Zubehörteile, wie Schweißgeräte und -maschinen für Heizwendel- und Heizelementstumpfschweißen, Spannwerkzeuge oder Bearbeitungsgeräte, zur Miete oder zum Kauf an.

Statische Berechnungen

Wir führen statische Berechnungen für

- erdverlegte Rohre
- Lüftungsleitungen
- Schachtsysteme und
- Lining Maßnahmen durch.

Beratungsservice ATEX

- Auswahl des Werkstoffes
- Informationen zu Normen und Richtlinien
- Hinweise zur Verarbeitung von EL-Produkten

Individuelle Rohre und Formteile

Über unser Standardangebot hinaus bieten wir Ihnen ein spezielles Leistungspaket:

- Rohre in unterschiedlichen Längen und Füge-techniken
- Sonderabmessungen unserer Rohre, die den Standard-nennweiten anderer Werkstoffe angepasst sind
- Rohre mit speziellen Einstellungen wie elektrischer Ableitfähigkeit oder Schwerentflammbarkeit
- individuell konstruierte Sonderformteile als Systemkomponenten für Ihre Anwendungen

SIMCHEM 6.0 – CD-ROM zur chemischen Widerstands- fähigkeit

Die SIMCHEM 6.0 ist Ihr kompetenter und umfassender Ratgeber bei allen Fragen zur chemischen Widerstandsfähigkeit unserer Werkstoffe.

Mehr als 3.000 Medien und Handelsprodukte sind hier gelistet. Darüber hinaus finden Sie wertvolle Informationen zu unseren Werkstoffen, unseren Produkten und über SIMONA.



SIMCHEM – die Datenbank zur chemischen Widerstandsfähigkeit der SIMONA® Werkstoffe mit mehr als 3.000 gelisteten Medien.

Die 6. Auflage der SIMCHEM wurde vollständig überarbeitet und soll Ihnen wichtige Orientierungshilfen bei Ihrer täglichen Arbeit geben. Bitte beachten Sie, dass alle Angaben in dieser Auflage den heutigen Erkenntnissen entsprechen. Die aktuelle Version der SIMCHEM basiert auf Ergebnissen aus Immersionsversuchen, bei denen die Probekörper im Medium frei von äußeren Spannungen unterschiedlichen Temperaturen ausgesetzt wurden.

Ergänzt werden die Versuchsergebnisse durch Erfahrungsberichte aus dem praktischen Einsatz, Empfehlungen der Rohstoffhersteller sowie durch umfangreiche Angaben zu Normen, Richtlinien und Empfehlungen.

BESTELLUNG SIMCHEM 6.0

+49 (0) 67 52 14-383
marketing@simona.de

SIMONA weltweit

SIMONA AG

Teichweg 16 D-55606 Kirn

Phone +49 (0) 67 52 14-0
Fax +49 (0) 67 52 14-211
mail@simona.de
www.simona.de

Business Unit Industrie, Werbung & Hochbau

Phone +49 (0) 67 52 14-0
Fax +49 (0) 67 52 14-211
industry@simona.de

Business Unit Rohrleitungsbau

Phone +49 (0) 67 52 14-0
Fax +49 (0) 67 52 14-741
pipingsystems@simona.de

Business Unit Maschinenbau & Transporttechnik

Phone +49 (0) 67 52 14-0
Fax +49 (0) 67 52 14-211
engineering@simona.de

Business Unit Mobilität, Life Sciences & Umwelttechnik

Phone +49 (0) 67 52 14-0
Fax +49 (0) 67 52 14-211
mobility@simona.de

PRODUKTIONSSTANDORTE

Werk I und II

Teichweg 16
D-55606 Kirn
Deutschland
Phone +49 (0) 67 52 14-0
Fax +49 (0) 67 52 14-211

Werk III

Gewerbestraße 1-2
D-77975 Ringsheim
Deutschland
Phone +49 (0) 78 22 436-0
Fax +49 (0) 78 22 436-124

SIMONA Plast-Technik s.r.o.

U Autodílen 23
CZ-43603 Litvínov-Chudeřín
Tschechien

SIMONA AMERICA Inc.

64 N. Conahan Drive
Hazleton, PA 18201
USA

SIMONA ENGINEERING PLASTICS (Guangdong) Co. Ltd.

No. 368 Jinou Road
High & New Technology Industrial
Development Zone
Jiangmen, Guangdong
China 529000

VERTRIEBSSTANDORTE

SIMONA S.A. Paris

Z.I. 1, rue du Plant Loger
F-95335 Domont Cedex
Phone +33 (0) 1 39 35 49 49
Fax +33 (0) 1 39 91 05 58
domont@simona-fr.com

SIMONA UK LIMITED

Telford Drive
Brookmead Industrial Park
GB-Stafford ST16 3ST
Phone +44 (0) 1785 22 24 44
Fax +44 (0) 1785 22 20 80
mail@simona-uk.com

SIMONA AG SCHWEIZ

Industriezone
Bäumlimattstraße 16
CH-4313 Möhlin
Phone +41 (0) 61 8 55 90 70
Fax +41 (0) 61 8 55 90 75
mail@simona-ch.com

SIMONA S.r.l. ITALIA

Via Padana
Superiore 19/B
I-20090 Vimodrone (MI)
Phone +39 02 25 08 51
Fax +39 02 25 08 520
mail@simona-it.com

SIMONA IBERICA SEMIELABORADOS S.L.

Doctor Josep Castells, 26-30
Polígono Industrial Fonollar
E-08830 Sant Boi de Llobregat
Phone +34 93 635 41 03
Fax +34 93 630 88 90
mail@simona-es.com
www.simona-es.com

SIMONA-PLASTICS CZ, s.r.o.

Zděbradská ul. 70
CZ-25101 Říčany-Jažlovice
Phone +420 323 63 78 3-7/-8/-9
Fax +420 323 63 78 48
mail@simona-cz.com
www.simona-cz.com

SIMONA POLSKA Sp. z o.o.

ul. H. Kamieńskiego 201-219
PL-51-126 Wrocław
Phone +48 (0) 71 3 52 80 20
Fax +48 (0) 71 3 52 81 40
mail@simona-pl.com
www.simona-pl.com

SIMONA FAR EAST LIMITED

Room 501, 5/F
CCT Telecom Building
11 Wo Shing Street
Fo Tan
Hongkong
Phone +852 29 47 01 93
Fax +852 29 47 01 98
sales@simona.com.hk

SIMONA ENGINEERING PLASTICS TRADING (Shanghai) Co. Ltd.

Room C, 19/F, Block A
Jia Fa Mansion
129 Da Tian Road, Jing An District
Shanghai
China 200041
Phone +86 21 6267 0881
Fax +86 21 6267 0885
shanghai@simona.com.cn

SIMONA AMERICA Inc.

64 N. Conahan Drive
Hazleton, PA 18201
USA
Phone +1 866 501 2992
Fax +1 800 522 4857
mail@simona-america.com
www.simona-america.com

Mit Erscheinen dieses Drucks verlieren sämtliche frühere Ausgaben ihre Gültigkeit. Maßgebliche Änderungen dieser Ausgabe finden Sie auf unserer Website www.simona.de. Alle Angaben in diesem Prospekt entsprechen dem aktuellen Stand unserer Kenntnisse zum Erscheinungsdatum. Irrtum und Druckfehler sind vorbehalten. Die getätigten Angaben haben nicht die Bedeutung, bestimmte Eigenschaften der Produkte oder deren Eignung für einen konkreten Einsatzzweck rechtlich verbindlich zuzusichern. Für Anwendung, Verwendung, Verarbeitung oder sonstigen Gebrauch dieser Informationen oder unserer Produkte sowie für die sich daraus ergebenden Folgen übernehmen wir keine Haftung. Der Käufer ist verpflichtet, die Qualität sowie die Eigenschaften der Produkte zu kontrollieren. Er übernimmt die volle Verantwortung für Auswahl, Anwendung, Verwendung und Verarbeitung der Produkte. Die einwandfreie Qualität unserer Produkte gewährleisten wir im Rahmen unserer Allgemeinen Verkaufsbedingungen.



SIMONA AG

Teichweg 16

D-55606 Kirn

Phone +49 (0) 67 52 14-0

Fax +49 (0) 67 52 14-211

mail@simona.de

www.simona.de