

# Technische Grundlagen

**OHM-Kunststoffrohrwerk**  
**Otto H. Meyer GmbH & Co. KG**  
Steller Str. 34  
27755 Delmenhorst

Tel. +49 (0) 4221 / 2890110  
Fax +49 (0) 4221 / 2890117  
[info@ohm-rohre.de](mailto:info@ohm-rohre.de)  
[www.ohm-rohre.de](http://www.ohm-rohre.de)

## Inhalt

1	Werkstoff Polyethylen.....	1
1.1	Aufbau und Leistungsklassen.....	1
1.2	Spezifische Eigenschaften.....	1
1.3	Werkstoffkennwerte.....	2
1.4	Langzeitverhalten.....	2
2	Polyethylen-Druckrohre.....	5
2.1	Zulassungen und Normen.....	5
2.2	Güteüberwachung.....	6
2.3	Physiologische Unbedenklichkeit.....	7
2.4	Beständigkeit.....	7
2.4.1	Nagetieren und Mikroorganismen.....	7
2.4.2	Witterung.....	7
2.4.3	Chemische Stoffe.....	7
2.4.4	Brennbarkeit.....	7
2.5	Belastbarkeit.....	7
2.5.1	Zulässige Betriebsdrücke/Überdruck.....	7
2.5.2	Zulässiger Beuldruck/Unterdruck.....	8
2.5.3	Zulässige Biegeradien.....	9
2.5.4	Zulässige Zugkräfte.....	10
2.6	Druckverlust und Durchflussmenge.....	11
3	Rohrleitungsbau.....	12
3.1	Transport und Lagerung.....	12
3.2	Verlegung und Montage.....	12
3.2.1	Verlegung im Erdreich.....	12
3.2.2	Oberirdische Verlegung.....	13
3.2.3	Verbindungstechnik.....	14
4	Dimensionstabelle.....	16
4.1	PE80, PE100 und PE100 RC.....	16
4.2	PE-LD.....	17
Anhang A.	Chemische Beständigkeit.....	18
Disclaimer	.....	23

# 1 Werkstoff Polyethylen

## 1.1 Aufbau und Leistungsklassen

Polyethylen fällt als Polyolefin unter die Gruppe der thermoplastischen Polymere. Der molekulare Aufbau ist durch vielfach verzweigte Makromoleküle bestehend aus Ethylen  $C_2H_4$  gekennzeichnet. Bei der Herstellung des Polyethylens ordnen sich die Molekülketten nicht nur streng linear an, sondern es bilden insbesondere „gestaltlose“ amorphe Bereiche. In Abbildung 1 sind die Kristall-Lamellen sowie die amorphen Bereiche beispielhaft dargestellt.

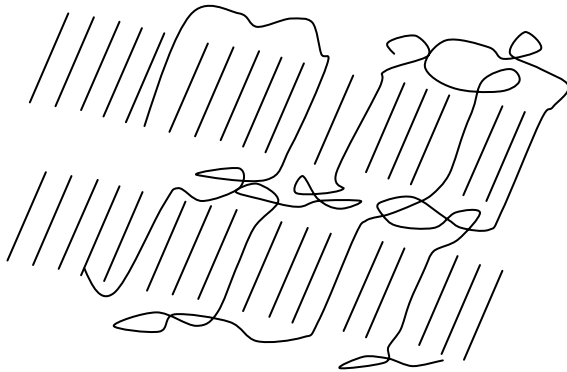


Abbildung 1: Makromoleküle Polyethylen

Die Grundeigenschaften des Polyethylens wird insbesondere durch den Kristallinitätsgrad, Polymerisationsgrad, der mittleren molaren Masse und der Verteilung der molaren Masse bestimmt. Maßgebliche Kennzeichnungsmerkmale der verschiedenen Polyethylen-Typen ist die Dichte als auch die Schmelzfließrate MFR.

In der Druckrohrproduktion werden vornehmlich optimierte und speziell auf den Anwendungsbereich abgestimmte Polyethylene eingesetzt. Das Leistungsniveau des Werkstoffes konnte in der Vergangenheit deutlich gesteigert werden. Sowohl in ihrer Qualität als auch in ihrer Verarbeitbarkeit weisen moderne Rohrwerkstoffe klar verbesserte Materialeigenschaften auf.

Generell werden die verschiedenen Rohrwerkstoffe nach ihrer Leistungsstufe eingeteilt. Neben den Polyethylenen niedriger Dichte (PE-LD) kommen insbesondere Polyethylene hoher Dichte (PE-HD) der Leistungsstufen PE80, PE100 und PE100RC in der heutigen Rohrproduktion zum Einsatz.

Mit dem Werkstoff PE100RC konnte gegenüber dem PE100 und dem PE80 nochmals die Spannungsrissbeständigkeit entscheidend verbessert werden. Der Zusatz RC bedeutet „Resistance to crack“ und weist auf die hohe Spannungsrissbeständigkeit bei punktueller Belastung hin. Mittels einer verbesserten Anordnung Molekülketten des Polyethylens in ihrem amorphen Bereichen kann der Werkstoff selbst höchsten punktuellen Belastung wie sie beispielsweise bei der sandbettfreien und grabenlosen Verlegung auftreten standhalten.

## 1.2 Spezifische Eigenschaften

Der Werkstoff Polyethylen ist nicht ohne Grund aus dem Rohrleitungsbau nicht mehr wegzudenken. Die spezifischen Eigenschaften des Polyethylens weisen gegenüber andern Werkstoffen entscheidende Vorteile auf. PE-Rohre zeichnen sich im Allgemeinen durch ihre hohe Flexibilität und Beständigkeit aus. Mit ihrem geringen Gewicht, der Liefermöglichkeit als quasi Endlosrohr und den diversen Verbindungstechniken, können PE-Rohre einfach und wirtschaftlich verlegt werden.

*Chemische und physikalische Eigenschaften:*

- hohe chemische Beständigkeit: beständig gegen Laugen, Salzlösungen und anorganische Säuren; Quellung durch polare Flüssigkeiten, jedoch bei hohem Kristallinitätsgrad (z.B. PE-HD) auch beständig gegen Alkohol, Öl und Benzin; chemischer Angriff durch stark oxidierende Säuren
- korrosionsbeständig
- physiologisch und toxikologisch unbedenklich
- geringe Wärmeleitfähigkeit
- extrem niedrige Glastemperatur: keine Materialversprödung durch tiefe Temperaturen innerhalb der üblichen Einsatzgrenzen
- geringes Materialgewicht und damit leichteres Handling, geringerer Transportaufwand und hohe Verlegegeschwindigkeiten
- sehr gute Schweißbarkeit (s.a. Verbindungstechniken), stoffschlüssige Verbindungen mit Festigkeitswerten im Bereich des Grundmaterials erzielbar

*Mechanische Eigenschaften:*

- flexibel durch zäh-elastisches Verhalten (s.a. Flexibilität/Steifigkeit von PE-Rohren), Spannungen können durch Verformungsfähigkeit aufgefangen werden
- durch hohe Elastizität frostbeständig
- einfache und wirtschaftliche Verlegung durch auf Trommeln aufgewickelten quasi Endlosrohren sowie diversen Verbindungstechniken

*Elektrische Eigenschaften:*

- sehr gute elektrische Isoliereigenschaften
- hervorragendes Dielektrikum und somit ausgezeichnete Isolierstoff in der Hochfrequenz- und Nachrichtentechnik

*Oberflächenbeschaffenheit:*

- niedriger Reibungskoeffizient und hohe Fließ-eigenschaften durch glatte Oberflächen
- glatte Oberfläche vermindert Bildung von Mikroorganismen und Biofilm
- hohe Abriebfestigkeit

- keine Inkrustationen durch niedrige Wandrauheit, keine Korrosion und minimaler Verschleiß/Abrieb

### 1.3 Werkstoffkennwerte

	Dimension	PE-LD	PE80	PE100	PE100RC
MRS	N/mm <sup>2</sup>	4	8	10	10
Dichte	g/cm <sup>3</sup>	0,915 .. 0,935	0,93 .. 0,96	0,95 .. 0,97	0,95 .. 0,97
Schmelzindex	g/10 Min.	0,25 MFR 190/2,16	0,3 .. 0,9 MFR 190/5	0,2 .. 0,55 MFR 190/5	0,2 .. 0,55 MFR 190/5
Streckspannung	N/mm <sup>2</sup>	8 .. 10	18 .. 22	22 .. 25	22 .. 25
Reißdehnung	%	>400	>600	>600	>600
E-Modul	N/mm <sup>2</sup>	190 .. 220	650 .. 1000	1000 .. 1400	1000 .. 1400

Tabelle 1: Werkstoffkennwerte (Durchschnittswerte)

### 1.4 Langzeitverhalten

Das unterschiedliche Langzeitverhalten thermoplastischer Polymere kann durch deren Beanspruchung in Abhängigkeit der Temperatur und der Zeit beschrieben werden. Aufgrund des mehrachsigen Spannungszustandes bei unter Innendruck stehenden Rohren wird das Langzeitverhalten bei Rohrwerkstoffen anhand von Zeitstandkurven untersucht. Hierzu wird die Zeitstandinnendruckfestigkeit N/mm<sup>2</sup> in Abhängigkeit zur Standzeit h (Beanspruchungsdauer) auf eine logarithmierte Skala aufgetragen. Die nachfolgenden Grafiken geben die Referenzkennlinien der

Zeitstandinnendruckfestigkeit jeweils für Druckrohre des Werkstofftyps PE80 und PE100 wieder. Während auf der Y-Achse die Zeitstandinnendruckfestigkeit in MPa abgebildet ist, wird auf der X-Achse die Standzeit in Stunden (X1) bzw. Jahren (X2) dargestellt. Die Zeitstandinnendruckfestigkeit ist abhängig von der Betriebstemperatur. Bei hohen Temperaturen sinkt die Standzeiten und damit die Beanspruchungsdauer des PE-Rohrs.

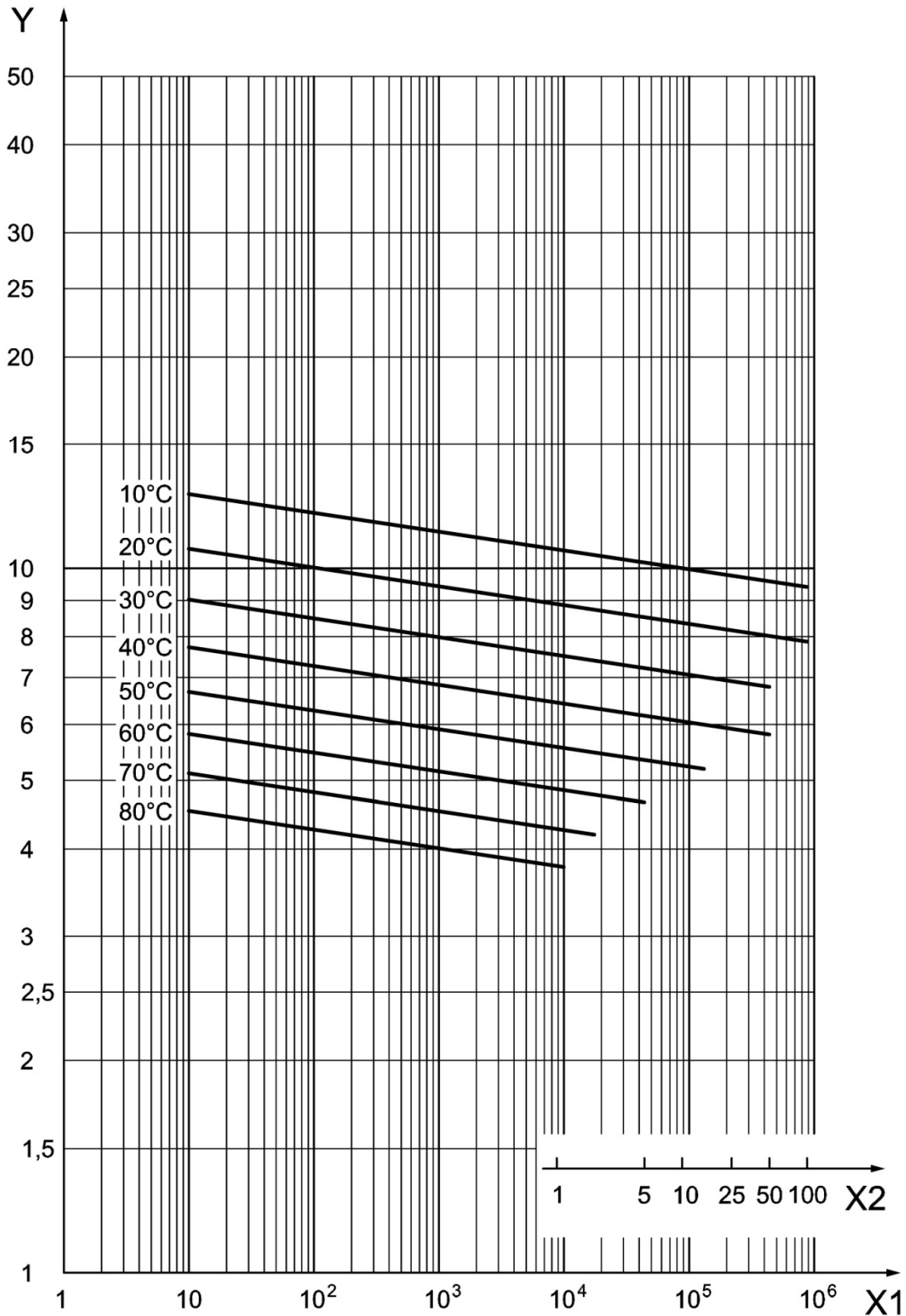


Abbildung 2: Zeitstandinnendruckfestigkeit PE80

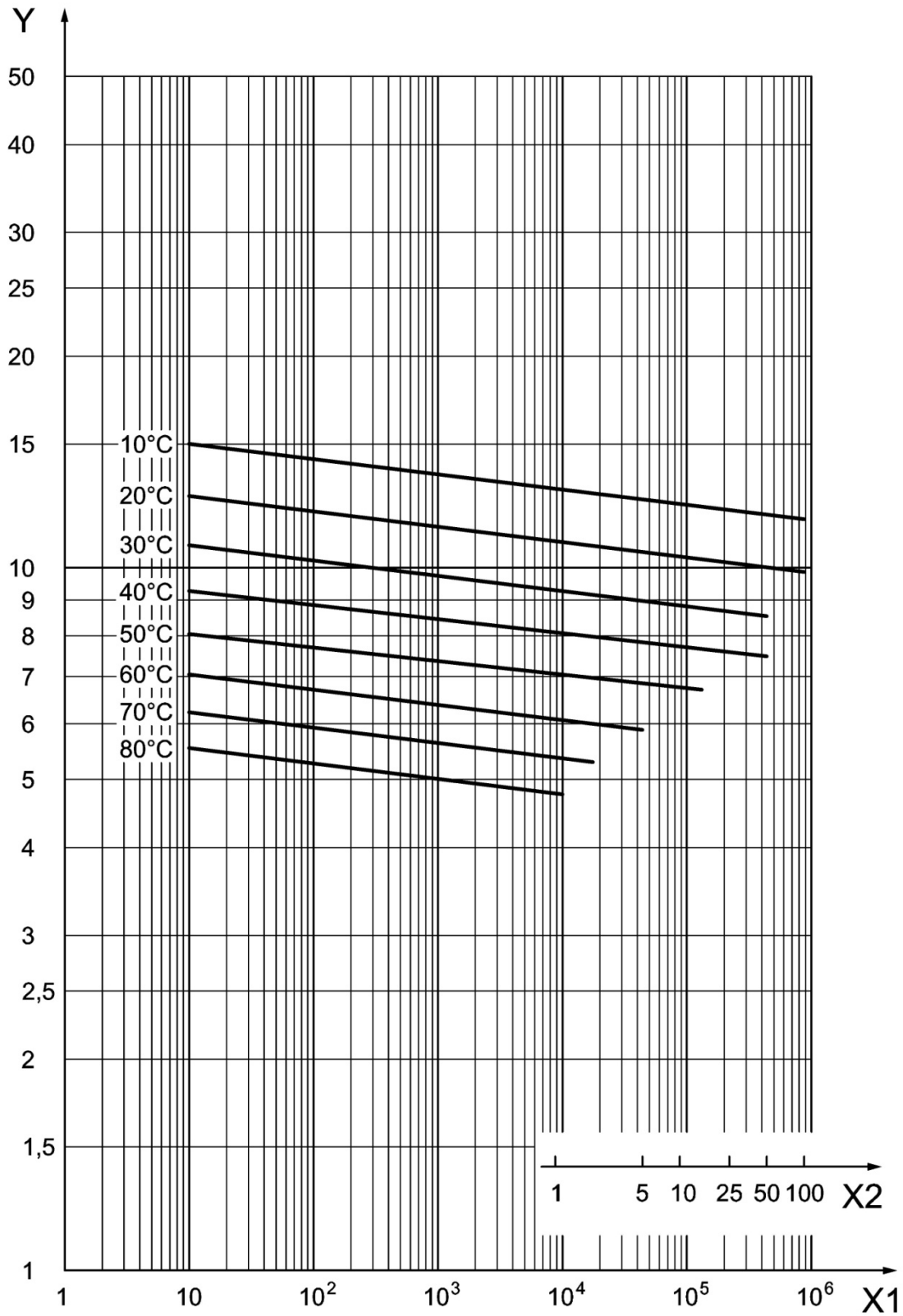


Abbildung 3: Zeitstandinnendruckfestigkeit PE100

## 2 Polyethylen-Druckrohre

### 2.1 Zulassungen und Normen

Nachfolgend werden relevante Normen für PE-Rohre der Ver- und Entsorgung aufgeführt.

Norm	Themenbereich	Inhalt
DIN 8074	PE80, PE100	Rohre aus PE80, PE100: Maße
DIN 8075	PE80, PE100	Rohre aus PE80, PE100: Allg. Güteanforderungen, Prüfungen
DIN EN 12201	TW / AW	Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung und für Entwässerungs- und Abwasserdruckleitungen aus PE
DIN EN 1555	GAS	Kunststoffrohrleitungssysteme für die Gasversorgung
DVGW GW 335	TW / GAS	Kunststoff-Rohrleitungssysteme in der Gas- und Wasserverteilung; Anforderungen und Prüfungen
DVGW GW 320-1	TW / GAS	Rehabilitation von Gas- und Wasserrohrleitungen durch PE-Relining mit Ringraum
DVGW GW 320-2	TW / GAS	Rehabilitation von Gas- und Wasserrohrleitungen durch PE-Relining ohne Ringraum
DVGW GW 321	TW / GAS	Steuerbare horizontale Spülbohrverfahren für Gas- und Wasserrohrleitungen
DVGW G 472	GAS	Gasleitungen bis 10 bar Betriebsdruck aus Polyethylen

**Tabelle 2: Zulassungen und Normen**

## 2.2 Güteüberwachung

PE-Rohre von OHM unterliegen einer laufenden Qualitätsüberwachung. Sowohl interne Prüfungen in unserem hauseigenen Labor als auch die Überwachung durch externe Materialprüfanstalten und Zertifizierer stellen das hohe Qualitätsniveau nachhaltig sicher.

PE-Rohre der Gas- und Trinkwasserversorgung erfüllen die strengen Prüfaufgaben des DVGW. Einen Überblick über die laufenden Prüfungen am Werkstoff sowie am produzierten Rohr gemäß den Normierungen bzw. DVGW-Vorgaben liefert nachfolgende Übersicht.

Prüfung	Anforderungen	Überwachungsintervall
<b>Werkstoff</b>		
Schmelzindex	gemäß Werkstoffliste	je Charge
Trockenverlust	<0,1%	je Charge
Homogenität	≤ Grad 3	je Charge
Dichte	≥ 930 kg/m <sup>3</sup>	je Charge
Farbe	Einfärbung gemäß DVGW GW 335 Teil A2	regelmäßig
Witterungsbeständigkeit	Zeitstand-Innendruckprüfung und Bruchdehnungsversuch bei blauen und gelben Rohr nach Bewitterung	regelmäßig
Thermische Stabilität	bei 200 C° >30 Min.	je Charge
Langsames Risswachstum	>500 h im Zeitstand	1x jährlich
Schnelles Risswachstum	gemäß DVGW GW 335 Teil A2 bzw. DIN EN 12201-1 und 1555-1	1x jährlich
Gasbeständigkeit	Beständigkeit gegen Gas	Zulassung
Hygiene	Positivliste der KTW-Empfehlung	Zulassung
Geruch und Geschmack	Keine geruchliche und geschmackliche Beeinträchtigung	je Charge
Mikrobiologie	DVGW W 270 (A)	Zulassung
<b>Produkt</b>		
Kennzeichnung	fortlaufende Markierung gemäß DVGW GW 335 Teil A2	regelmäßig, mind. täglich
Beschaffenheit	gemäß DVGW GW 335 Teil A2	Regelmäßig, mind. alle 2h
Oberflächenbeschaffenheit	gemäß DVGW GW 335 Teil A2	regelmäßig, mind. alle 2h
Farbe	gemäß DVGW GW 335 Teil A2	regelmäßig, mind. alle 2h
Maße	Maße und Grenzabmaße gemäß DIN EN 12201-1 und 1555-1	regelmäßig, mind. alle 2h
Warmlagerung	≤ 3% der ursprünglichen Beschaffenheit	1x wöchentlich
Homogenität	≤ Grad 3	1x wöchentlich
Zeitstand-Innendruckversuch	gemäß DVGW GW 335 Teil A2 bzw. DIN EN 12201-1 und 1555-1	1x wöchentlich
Schmelzindex	Veränderung des MFR ≤ 20%	1x wöchentlich
Reißdehnung	≥ 350%	Baumusterprüfung
Hygiene	hygienische Unbedenklichkeit nach KTW-Empfehlungen	1x jährlich



**Tabelle 3: Güteüberwachung**

## 2.3 Physiologische Unbedenklichkeit

In seinen Leitlinien zur hygienischen Beurteilung organischer Werkstoffe im Kontakt mit Trinkwasser (KTW-Empfehlung) konkretisiert das Umweltbundesamt unter anderem Tests zur hygienischen Untersuchung verschiedener Kunststoffe. Auf Basis neuester wissenschaftlicher und technischer Kenntnisse werden Empfehlungen abgegeben, um im Sinne der Trinkwasserverordnung Anlagen und Komponenten der Netzinfrastruktur auf ihre physiologische Unbedenklichkeit zu testen. Nach der Trinkwasserverordnung dürfen „nur Werkstoffe und Materialien verwendet werden, die in Kontakt mit Wasser Stoffe nicht in solchen Konzentrationen abgeben, die höher sind als nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik unvermeidbar, oder den nach dieser Verordnung vorgesehenen Schutz der menschlichen Gesundheit unmittelbar oder mittelbar mindern, oder den Geruch oder Geschmack des Wassers verändern;...“ (§ 17 Abs. 1 TrinkwV 2001).

Alle für die Trinkwasserversorgung zugelassenen PE-Rohre von OHM erfüllen den hohen Ansprüche an die Trinkwassergüte gemäß der TrinkwV. PE-Trinkwasserrohre sind werden durch eine DVGW-Zertifizierung und einen TW Aufdruck gekennzeichnet.

## 2.4 Beständigkeit

### 2.4.1 Nagetieren und Mikroorganismen

Aufgrund der sehr glatten Oberfläche von PE-Rohren, sind Beschädigungen durch Nagetiere bisher nicht bekannt. PE-Rohre werden zudem von Mikroorganismen nicht angegriffen.

### 2.4.2 Witterung

Polyethylen ist gegenüber Witterungseinflüssen, speziell gegenüber kurzweiliger UV-Strahlung unter Beteiligung des Luftsauerstoffes nur bedingt beständig. Sowohl der Farbton als auch die mechanischen Eigenschaften werden beeinträchtigt. Deshalb werden PE-Rohre von OHM unter Zusatz von UV-Stabilisatoren hergestellt, sodass eine Außenlagerung von mindestens zwei Jahren gewährleistet werden kann. Fernerhin kann unter Zugabe bestimmter Rußtypen die Außenlagerung deutlich verbessert werden. Schwarze PE-Rohre von OHM weisen damit auch bei direkter Sonneneinstrahlung (Mitteleuropa) eine ausgezeichnete Witterungsstabilität von mindestens 15 Jahren auf, ohne dass es zu einer Beeinträchtigung der mechanischen Eigenschaften kommt. Tests aus Wissenschaft und Praxis unterstreichen diese hervorragende Witterungsstabilität von uv-stabilisierten PE-Rohren.

### 2.4.3 Chemische Stoffe

PE-Rohre nehmen aufgrund ihrer ausgezeichneten Eigenschaften auch im industriellen Anlagenbau einen hohen Stellenwert ein. Die chemische Widerstandsfähigkeit und das Permeationsverhalten sind diesbezüglich zu berücksichtigen. Die chemische Widerstandsfähigkeit ist eine Anforderung, die das Verhalten eines Rohres gegenüber einem Durchflussmedium beschreibt. Sie ist nur bedingt mit Dichtheit gleichzusetzen. Stoffe können sehr wohl die Rohrwand durchdringen, ohne diese durch quellende, spannungsrisssfördernde oder oxidierende Wirkung zu schädigen. Dies trifft insbesondere für Gase, flüchtige Kohlenwasserstoffe oder Chlorkohlenwasserstoffe zu.

Empfehlungen für die chemische Widerstandsfähigkeit von Rohren aus Polyethylen sind in der ISO/TR 10358 aufgeführt. Dort findet sich eine Übersicht über die Beständigkeit von Polyethylen gegenüber organischen und anorganischen Stoffen. Siehe auch Anhang A. Ferner gibt das Deutschen Institut für Bautechnik (DIBT) oder der Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V. (DVS) Anhaltswerte für die Einsatzmöglichkeiten von PE-Rohren aus. Dort wird unter anderem in Abhängigkeit der Konzentration und der Temperatur ein Abminderungsfaktor vorgegeben, um die sich die zu erwartende Lebensdauer bei dauerhaftem Medienkontakt reduzieren wird. Auch die DIN 16889 führt ein Abminderungsfaktor an.

### 2.4.4 Brennbarkeit

Wie alle Polyolefine brennt Polyethylen wachsartig. Während die Entzündungstemperatur 340 °C beträgt, tritt eine Selbstentzündung bei 350 °C ein. Polyethylen fällt nach DIN 4102 unter die Baustoffklasse B2, d. h. es ist normal entflammbar. Umweltgefährdende Schadstoffe entstehen beim Verbrennen von Polyethylen nicht.

## 2.5 Belastbarkeit

### 2.5.1 Zulässige Betriebsdrücke/Überdruck

Die geplanten Betriebsbedingungen sind für die Dimensionierung von PE-Rohren von entscheidender Bedeutung. Das Zeitstandverhalten, d.h. die zu erwartende Lebensdauer von PE-Rohren, wird neben der auf das Rohr einwirkenden Temperatur maßgeblich durch den Spannungszustand bestimmt, welcher durch den Rohrinnendruck erzeugt wird. In der Praxis wird dieser dreiachsige Spannungszustand durch die Vergleichsspannung rechnerisch zusammengefasst. Entsprechend stellt die Vergleichsspannung auch die Grundlage für die Wahl des richtig dimensionierten PE-Rohres bei gegebenem Innendruck dar.

Der zulässige Nenndruck PN einer PE-Rohrleitung lässt sich über nachfolgende Formel ableiten:

$$PN = \frac{20\sigma_s}{SDR - 1}$$

mit:

- PN* -zulässiger Nenndruck  
*SDR* -Durchmesser-Wanddicken-Verhältnis  
 $\sigma_s$  - Auslegungsspannung, welche definiert ist als

$$\sigma_s = \frac{MRS}{C}$$

mit:

- MRS* -Minimum Required Strength  
*C* - Mindestgesamtbetriebskoeffizient

Für das materialspezifischen Leistungsvermögen von Rohrwerkstoffen wurde ein Klassifizierungssystem entwickelt, welches die erforderlichen Mindestfestigkeiten bei thermoplastischen Rohren (MRS: Minimum Required Strength) für eine Lebensdauer von mindestens 50 Jahren bei einer Anwendungstemperatur von 20 °C beschreibt. Dieser Wert ist oben der Tabelle Werkstoffkennwerte zu entnehmen ( 1.3 Werkstoffkennwerte). Während dieser beispielsweise bei PE80 8 beträgt, ist der MRS-Wert bei PE100 und PE100RC mit 10 definiert. Der als Sicherheitskoeffizient dienende Mindestgesamtbetriebskoeffizient ist individuell in Abhängigkeit vom vorgesehenen Anwendungsgebiet anzusetzen. Die EN-Systemstandards sehen einen Gesamtbetriebskoeffizient von mindestens 1,25 für Trinkwasser vor. Bei Gasleitungen ist dieser mit einem Wert von 2 vorgegeben. Das Durchmesser-Wanddicken-Verhältnis SDR lässt sich wiederum aus dem Quotienten des Rohraußendurchmessers OD und der Wanddicke s ermitteln.

Die Angaben zum zulässigen Betriebsdruck basieren auf einer Anwendungstemperatur von 20 °C mit Wasser als Medium. Liegt die Anwendungstemperatur über 20 °C hat dies c. p. eine Verminderung der Lebensdauer der Rohrleitung zur Folge. Eine Verminderung des Betriebsdruckes bzw. eine Erhöhung der Nenndruckstufe des Rohres wirkt diesem Effekt entgegen. Gleiches gilt für den als Sicherheitskoeffizient dienenden Mindestgesamtbetriebskoeffizient. Ist eine Erhöhung des Mindestgesamtbetriebskoeffizient C nötig, kann entweder der zulässige Nenndruck PN unter Anwendung oben stehender Formel neu berechnet werden. Alternativ ist auch die Verwendung einer höheren Nenndruckstufe denkbar, d. h. eines Rohres mit einem kleineren SDR-Wert.

## 2.5.2 Zulässiger Beuldruck/Unterdruck

Wirkt ein äußerer Überdruck bzw. ein innerer Unterdruck auf das Rohr ein, kann dies zu plastischen Verformungen

des Rohrkörpers führen. Die Verformung ist temperatur- und zeitabhängig. Die Beulfestigkeit des Rohres muss höher sein als der maximale äußere Überdruck bzw. innere Unterdruck.

Für ungebettet, kreisrunde PE-Rohre beträgt der rechnerische kritische Beuldruck  $p_k$  näherungsweise:

$$p_k = \frac{E_R}{4(1 - \mu^2)} \left( \frac{s}{r_m} \right)^3$$

mit:

- $E_R$  - Elastizitätsmodul in N/mm<sup>2</sup>  
 $\mu$  - Querkontraktionszahl (bei Thermoplasten 0,4)  
*s* -Rohrwanddicke in mm  
 $r_m$  -mittlerer Rohrradius in mm

Für PE-Rohre des Materialtyps PE100 kann bei 20°C von einem Langzeit-Elastizitätsmodul von 200 N/mm<sup>2</sup> ausgegangen werden. Für PE80 ist ein Wert von 150 N/mm<sup>2</sup> anzusetzen. Das Kurzzeit-Elastizitätsmodul beträgt für PE100 bei 20 °C 1100 N/mm<sup>2</sup> und für PE80 800 N/mm<sup>2</sup>.

### 2.5.3 Zulässige Biegeradien

Die hohe Flexibilität von PE-Rohren ermöglicht eine einfache Verlegung selbst bei schwieriger Trassenführung. Nachfolgende Biegeradien für PE80, PE100 und PE100RC Rohre sollten hierbei nicht unterschritten werden. Bei kleineren Biegeradien sind entsprechende Rohrbögen oder Formteile einzusetzen.

Verlege-temperatur	SDR 17	SDR 11	SDR 7,4
0 °C	50 x OD	50 x OD	50 x OD
10 °C	35 x OD	35 x OD	35 x OD
20 °C	20 x OD	20 x OD	20 x OD

Tabelle 4: Zulässige Biegeradien

Soll die Länge einer Baugrube beim Einziehen eines PE-Rohrstranges unter Berücksichtigung der zulässigen Biegeradien berechnet werden, kann auf folgende Formel zurückgegriffen werden.

$$L = \sqrt{H(4R - H)}$$

mit:

- $L$  - Länge Einziehbaugrube in m
- $H$  - Rohrsohlentiefe in m
- $R$  - zulässiger Biegeradius in m

Durch anheben des PE-Rohres wie in Abbildung 4 abgebildet, kann die Einbringungsbaugrube gemäß nachfolgender Formel reduziert werden.

$$L = \sqrt{H(2R - H)}$$

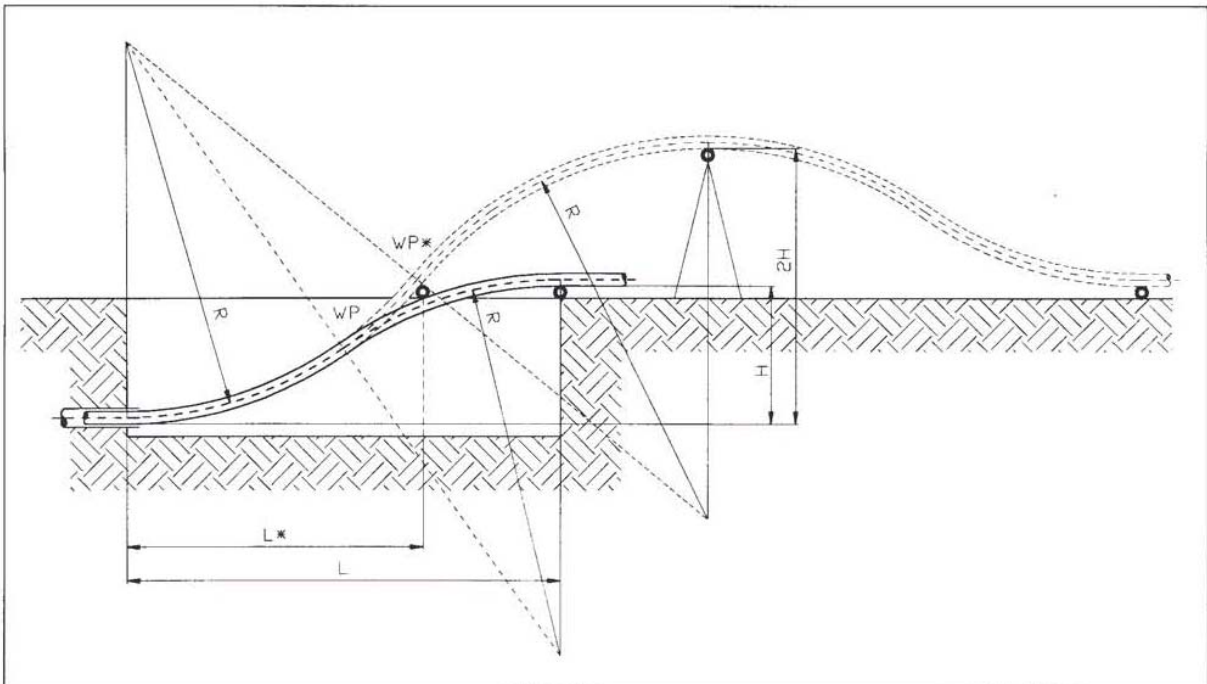


Abbildung 4: Berechnung der Länge einer Baugrube (Quelle: DVGW-Arbeitsblatt GW 320-2)

## 2.5.4 Zulässige Zugkräfte

Insbesondere beim Einziehen von PE-Rohren kann es zu hohen Spannungen am Produktrohr kommen, die es im Vorfeld zu berücksichtigen gilt. Der DVGW hat hierzu mit Blick auf das Reliningverfahren die zulässigen Zugkräfte beim Einziehen definiert. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle für eine Rohrwandtemperatur von 20°C bzw. in Klammern für 40 °C aufgeführt.

Bei einer Einziehdauer von mehr als 10 Stunden sind die zulässigen Kräfte um 10% und bei einer Einziehdauer von mehr als 20 Stunden um 25% zu verringern. Beim Einziehen von Rohrsträngen sind darüber hinaus die zulässigen Biegeradien zu berücksichtigen (siehe 0).

in kN	PE 80			PE 100		
	SDR 17,6	SDR 11	SDR 7,4	SDR 17	SDR 11	SDR 7,4
20	-	0,8 (0,6)	1,2 (0,8)	-	1,0 (0,7)	1,5 (1,0)
25	-	1,3 (0,9)	1,8 (1,3)	-	1,6 (1,1)	2,3 (1,6)
32	-	2,1 (1,5)	3,0 (2,1)	-	2,7 (1,9)	3,8 (2,6)
40	-	3,3 (2,3)	4,7 (3,3)	-	4,2 (2,9)	5,9 (4,1)
50	-	5,2 (3,6)	7,3 (5,1)	-	6,5 (4,5)	9,2 (6,4)
63	5 (3)	8 (5)	12 (7)	6 (4)	10 (7)	14 (10)
75	7 (5)	12 (8)	17 (11)	9 (6)	15 (11)	20 (14)
90	11 (7)	17 (11)	24 (15)	14 (10)	21 (15)	29 (20)
110	16 (10)	25 (16)	36 (23)	21 (15)	31 (22)	44 (31)
125	21 (13)	33 (21)	47 (29)	27 (19)	41 (29)	57 (40)
140	26 (16)	41 (26)	59 (37)	34 (24)	51 (36)	72 (50)
160	34 (21)	53 (33)	77 (48)	44 (31)	66 (46)	94 (66)
180	43 (27)	67 (42)	97 (61)	56 (39)	83 (59)	119 (83)
200	54 (34)	83 (52)	120 (75)	69 (48)	103 (73)	147 (103)
225	68 (43)	105 (66)	151 (94)	88 (62)	131 (92)	186 (130)
250	84 (53)	130 (81)	187 (117)	109 (76)	162 (114)	229 (160)

Tabelle 5: Zulässige Zugkräfte in Anlehnung an DVGW GW 320-2 bei 20 °C (bzw. 40 °C) Rohrwandtemperatur

## 2.6 Druckverlust und Durchflussmenge

Bei der Durchleitung von Medien durch PE-Rohrleitungen kommt es aufgrund von Reibungskräften und Einzelwiderständen zu einem Druckabfall. Allgemein lässt sich der Druckabfall in einem Rohrleitungssystem mittels der Gleichgewichtsbedingung zwischen Reibungsverlust und Druckabfall beschreiben:

$$\Delta p = \frac{\lambda \cdot L \cdot v^2 \cdot \rho \cdot 10^{-5}}{2 \cdot d_i}$$

mit:

- $\Delta p$  - Druckverlust in bar
- $\lambda$  - Rohrreibungszahl
- $L$  - Länge der Rohrleitung in m
- $v$  - mittlere Strömungsgeschwindigkeit in m/s
- $\rho$  - Dichte des durchfließenden Mediums in kg/m<sup>3</sup>
- $d_i$  - Innendurchmesser des Rohres in m

Die Rohrreibungszahl kann mit der Formel von C. F. Colebrook durch Iteration bestimmt werden, um das Strömungsverhalten in Kunststoffrohren innerhalb des Übergangsbereiches zwischen laminarer und turbulenter Strömung miteinzubeziehen.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left( \frac{k}{3,71 \cdot d_i} + \frac{2,51 \cdot v}{v \cdot d_i \sqrt{\lambda}} \right)$$

mit:

- $\lambda$  - Rohrreibungszahl
- $v$  - kinematische Zähigkeit
- $d_i$  - Innendurchmesser des Rohres in m
- $k$  - Rohrwandrauigkeit in mm

Druckverluste und Durchflussmengen können heutzutage bequem mittels entsprechender Softwareprogramme ermittelt werden. Alternativ kann auch auf Druckverlusttabellen zurückgegriffen bzw. für eine grobe Richtwertermittlung auf Nomogramme abgestellt werden. Das Arbeitsblatt des DVGW GW 303-1 führt die hydraulischen Grundlagen, die Netzmodellierung und dessen Berechnung im Hinblick auf das Gas- und Wasserrohrnetz an. Dort finden sich auch entsprechende Druckverlust-Tafeln. Für weitergehende Fragen steht Ihnen gerne unsere Technik zur Verfügung.

## 3 Rohrleitungsbau

### 3.1 Transport und Lagerung

Sowohl beim Transport als auch beim Be- und Entladen sind PE-Rohre vor Beschädigungen zu schützen. Die Rohre sind insbesondere vor Beschädigungen durch die Gabelzinken des Staplers zu schützen. Gleiches gilt für scharfkantige Gegenstände, die die Rohre beschädigen können. Palettierte Stangen sind gegebenenfalls mit einer Längguttraverse am Gabelstapler zu bewegen. Beim Einsatz von Ladekränen sind möglichst breite Gurte zu verwenden.

Die Lagerfläche sollte frei von Steinen oder anderen spitzen Gegenständen sein. Zur Vermeidung von Kratzern und Riefen ist eine Lagerung auf Gummi- bzw. Filzmatten empfehlenswert. Das Rohr darf nicht über den Boden geschliffen werden. Palettierte Stangen können übereinander gestapelt werden, soweit der Palettierrahmen die Last aufnimmt. Die Stapelhöhe sollte 1,5m nicht überschreiten. Achtung: Kippgefahr!

Das Rohr ist vor dem Kontakt mit Treibstoffen, Lösungsmitteln, Ölen, Fetten oder ähnlichem zu schützen. Es ist ebenso fern von Wärme- und Hitzequellen zu lagern.

Eine Freilagerung der Rohre ist grundsätzlich zulässig. PE-Rohre von OHM werden unter Verwendung von UV-Stabilisatoren produziert. Königsblaue PE-Rohre können grundsätzlich bis zu 2 Jahre unbedenklich im Freien gelagert werden. Schwarz eingerußte PE-Rohre von OHM können sogar deutlich länger im Freien gelagert werden. Dennoch empfiehlt es sich die Rohre vor direkter Sonneneinstrahlung für längere Zeit zu schützen.

### 3.2 Verlegung und Montage

#### 3.2.1 Verlegung im Erdreich

##### 3.2.1.1 Offene Bauweise

Bei der offenen Verlegung im Sandbett wird das drucktragende Medienrohr durch die Einbettung in Sand oder Feinkies optimal vor äußeren Beschädigungen geschützt. Der Kerbeintrag und die Punktlast auf das Druckrohr wird auf ein Minimum beschränkt. Die DIN 4124 regelt die Ausführung von geböschten und verbauten Baugruben und Gräben. Der DVGW regelt wiederum in seinen technischen Regeln für Wasserverteilungsanlagen DVGW W 400 im ersten Teil die Mindestüberdeckungshöhen. Im zweiten Teil regelt der DVGW den Bau und die Prüfung von Trinkwasserleitungen. Danach sind Trinkwasserleitungen in Sand oder Feinkies mit einer maximalen Korngrößenverteilung von 20mm einzubetten bzw. 11mm bei Brechsand-Splitt-Gemischen.

Für eine wirtschaftliche Verlegung des Medienrohres kann bei ausreichend verdichtungsfähigem Bodenaushub auch eine offene Verlegung ohne Sandbett erfolgen. Der Bodenaushub wird hierbei als Verfüllmaterial für den

Rohrgraben wiederverwendet. Eine Bettung in Sand oder Feinkies erfolgt nicht. Gemeinhin ist das Medienrohr bei der offenen Verlegung ohne Sandbett erhöhten Punktlasten bzw. einem erhöhten Kerbeintrag ausgesetzt. Zum Schutz vor Beschädigungen empfiehlt sich daher der Einsatz von Rohren mit besonderen Schutzzeigenschaften.

##### 3.2.1.2 Grabenlose Bauweise

Bei der grabenlosen Neuverlegung von Rohrleitungen wird ein Eingriff in die Umwelt und eine Beschädigung der bestehenden Infrastruktur auf ein Minimum beschränkt. Anders als bei der offenen Bauweise müssen die Leitungsgräben nicht auf der gesamten Rohrleitungstrasse offengelegt werden. Moderne grabenlose Verlegetechniken warten zudem durch Zeitersparnis und Kosteneinsparungen über das Gesamtprojekt auf. Zu den häufig eingesetzten grabenlosen Verlegetechniken zählen das Horizontal-Spülbohrverfahren (HDD) und das Pflugverfahren. Aufgrund des erhöhten Risikos von Beschädigungen am eingezogenen Rohr empfiehlt sich der Einsatz von Rohren mit besonderen Schutzzeigenschaften (siehe auch DVGW GW 321).

##### 3.2.1.3 Rehabilitation / Erneuerung

Alte Medienrohrleitungen können durch mehrere Verfahren erneuert bzw. rehabilitiert werden. Hierzu zählt insbesondere das Rohrstrang-Lining mit Ringraum sowie das Reduktionsverfahren welches auch unter dem Namen Close-Fit-Verfahren bekannt ist. Während bei ersterem das Neurohr einen geringeren Außendurchmesser aufweist als der Innendurchmesser des Altrohres und der entstehende Ringraum zwischen Alt- und Neurohr verfüllt werden muss, legt sich bei letzterem das Rohr ohne Ringraum an das Altrohr an.

##### 3.2.1.4 Materialauswahl

Der eingesetzte Rohrtyp ist mit den Anforderungen der Verlegungsmethode abzustimmen. Eine offene Verlegung im Sandbett reduziert den Kerbeintrag und die Punktlast auf ein Minimum. Alternative Verlegungsmethoden erfordern hingegen größere Sicherheitszuschläge bzw. den Einsatz von Rohren mit besonderen Schutzzeigenschaften. Im Allgemeinen empfehlen wir den Einsatz entsprechend nachfolgender Produktmatrix. Der Einsatz des jeweiligen Rohrtyps richtet sich im Einzelfall auch nach der vorzufindenden Bodenklasse. Die Einsatzmöglichkeit ist deshalb einzelfallabhängig zu klären.

	OHM PE-LD	OHM PE80	OHM PE100	OHM 2S	OHMtec 2S RC
<b>Offene Bauweise</b>					
<b>im Sandbett</b>	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Ohne Sandbett</b>	✗	✗	✗	✗	✓
<b>Geschlossene Bauweise</b>					
<b>Horizontal-Spülbohrverfahren (HDD)</b>	✗	✗	✗	✗	✓
<b>Pflugverfahren</b>	✗	✗	✗	✗	✓
<b>Fräsverfahren</b>	✗	✗	✗	✗	✓
<b>Erdrakete</b>	✗	✗	✗	✗	✓
<b>Rehabilitation / Erneuerung</b>					
<b>Rohrstrang-Lining</b>	✗	✗	✗	✗	✓
<b>Close-Fit-Verfahren</b>	✗	✗	✗	✗	✓

Tabelle 6: Produktmatrix mit Verlegemöglichkeiten

### 3.2.1.5 Rohrstatik

Bei erdverlegten PE-Rohren sind im Allgemeinen die in der DIN EN 1295-1 festgelegten Anforderungen zur Statik zu berücksichtigen. Dort werden statische Berechnungen von erdverlegten Rohrleitungen unter verschiedenen Belastungsbedingungen aufgezeigt.

Bei Abwasserleitungen sind ferner die Vorgaben der DIN EN 1610 zu berücksichtigen. Dort werden unter anderem Anforderungen zur Sicherstellung der Lastaufnahme festgelegt. In den ATV-DVWK-A-127 sind darüber hinaus Richtlinien zur statischen Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen hinterlegt, welche sich in der Praxis vielfach bewährt haben.

Gerne stehen wir Ihnen bei der Berechnung der Rohrstatik beratend zu Seite.

### 3.2.2 Oberirdische Verlegung

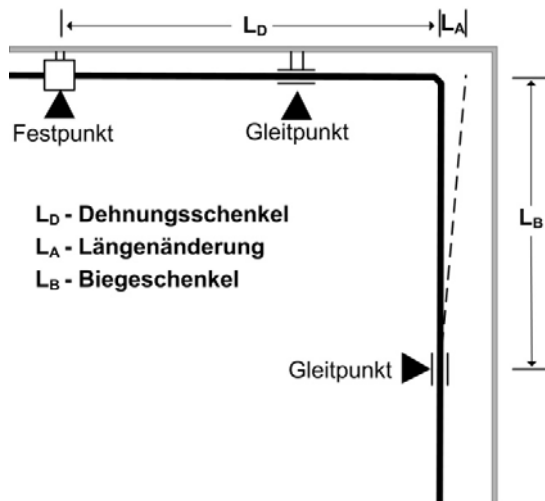
Bei der oberirdischen Verlegung von PE-Rohren ist auf deren Witterungsbeständigkeit zu achten. Mit Rußpartikeln schwarz eingefärbte PE-Rohre von OHM können im Allgemeinen für die oberirdische Verlegung eingesetzt werden. Königsblaue bzw. gelb-orange eingefärbte Rohre sind hingegen nicht für die oberirdische Verlegung konzipiert.

Oberirdisch verlegte PE-Rohre werden regelmäßig mittels Tragkonstruktionen und Befestigungselementen verlegt. Insbesondere bei der Verlegung an einer Dachkonstruktion ist vorab die Statik zu prüfen.

Die temperaturbedingten Längenänderungen von PE-Rohren sind bereits bei der Planung ins Kalkül einzu-

beziehen, um Schäden an der Rohrleitung bzw. an Bauteilen zu vermeiden. Sollen Längenausdehnungen ausgeglichen werden ist der Einsatz von Biegeschenkeln, Dehnungsmuffen oder eine Kombination aus beidem denkbar. Wird kein Längenausgleich eingeplant und die Rohrleitung mit Festpunkten fixiert, werden die Längenausdehnungskräfte auf den Festpunkt bzw. das Gebäude übertragen.

Bei der Verlegung von PE-Rohren über längere Strecken können U- bzw. Z-Dehnungsbögen eingeplant werden. Bei häufigen Richtungsänderungen kann die Längendehnung auch durch einen einfachen L-Bogen ausgeglichen werden. Wichtig ist hier die korrekte Anordnung der Fest- und Gleitschellen, sodass sich ein sogenannter Biegeschenkel wie in Abbildung 5 bei Längendehnungen ausbilden kann. Mithilfe der Festpunkte wird die Rohrleitung in mehrere Abschnitte unterteilt. Die Festpunkte dienen letztlich dazu, die Längenänderungen in Richtung der Dehnungsbögen zu lenken. Zwischen den Festpunkten wird das Rohr an sogenannten Gleitpunkten befestigt, welche das Rohr führen.



**Abbildung 5: Längenänderung und Biegeschenkel**

Die Längenänderung infolge von Temperaturänderungen beträgt für PE:

$$\Delta L_A = L_D \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

mit:

- $\Delta L_A$  - Längenänderung in mm
- $L_D$  - Länge der Rohrstrecke in mm
- $\alpha$  - thermischer Längenänderungskoeffizient
- $\Delta T$  - Temperaturdifferenz in Kelvin

Der thermische Längenänderungskoeffizient beträgt für PE80 und PE100 Rohre näherungsweise  $0,2 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ .

Die Länge des Biegeschenkels lässt sich wie folgt ermitteln.

$$L_B = K \cdot \sqrt{D_B \cdot \Delta L}$$

mit:

- $L_B$  - Länge des Biegeschenkels in mm
- $K$  - Materialkonstante
- $D_B$  - Außendurchmesser des Rohres in mm
- $\Delta L$  - Längenänderung des Rohres in mm

Die Materialkonstante K beträgt näherungsweise für PE80 und PE100 Rohre 28.

Aufgrund der hohen Komplexität bei größeren Rohrleitungssystemen werden in der Praxis häufig Softwareprogramme zur Berechnung und Planung des nötigen Biegeschenkelsystems eingesetzt.

### 3.2.3 Verbindungstechnik

#### 3.2.3.1 Klemmschraubverbindung

Für die Verbindung von PE-Rohren steht eine Vielzahl an unterschiedlichen Verfahren zur Verfügung. Eine insbesondere bei kleineren Dimension häufig vorzufinden Verbindungsform ist die Klemmschraubverbindung. Das PE-Rohr wird hierbei mit einem Klemmring mechanisch eingeklemmt. Ein Dichtring sorgt wiederum für die Dichtigkeit der Verbindung.

#### 3.2.3.2 Flanschverbindung

Mittels Flanschverbindungen werden Rohrabschnitte fest, aber lösbar miteinander verbunden. So können auch an das PE-Rohr angeflanschte Bauteile wie Armaturen oder Hydranten nachträglich wieder gelöst und ausgewechselt werden. Ein weiteres, oft vorzutreffendes Anwendungsfeld von Flanschen besteht in der Verbindung einer PE-Rohrleitung mit metallischen Rohrleitungen. Im DVS Merkblatt 2205-4 sind detaillierte Ausführungen zu Flanschverbindungen im Behälter- und Apparatebau zu finden.

#### 3.2.3.3 Heizwendelschweißen

Beim Heizwendelschweißen wird das PE-Rohr mittels eines Fittings längskraftschlüssig verbunden. Die im Fitting integrierten Widerstandsdrähte (Heizwendeln) werden während des Schweißvorganges durch Strom erhitzt, sodass sich das Rohr und das Formstück miteinander verschweißen. In der DVS Richtlinie 2207-1 werden die notwendigen Arbeitsschritte definiert und beschrieben.

Die Vorteile des Heizwendelschweißens liegt vor allem in dessen einfachen Handhabung und der damit einhergehenden sicheren und schnellen Verbindung von PE-Rohren. Durch im Schweißautomaten hinterlegte Schweißparameter, welche auf das einzelne Fitting abgestimmt sind, wird ein vollautomatischer Schweißprozess angestoßen und eine hohe Verfahrenssicherheit erzielt.

#### 3.2.3.4 Heizelementstumpfschweißen

Das Heizelementstumpfschweißen ist gekennzeichnet durch einer unmittelbare Verschweißung zweier Rohrenden. Die Stirnseiten der jeweiligen Enden werden durch ein Heizelement (Schweißspiegel) bis zur Plastifizierung erwärmt, sodass sich eine Wulst bildet. Anschließend werden die beiden erwärmten Rohrenden unter Druck zusammengefügt. Nach abkühlen der Schweißverbindung sind die Rohre längskraftschlüssig homogen miteinander verbunden. Die DVS Richtlinie 2207-1 beschreibt neben dem Heizwendelschweißen auch das Verfahren des Heizelementstumpfschweißens näher.

Im Gegensatz zum Heizwendelschweißen werden beim Heizelementstumpfschweißen keine Fittings benötigt. Vor allem bei größeren Rohren ergeben sich hieraus Kostenvorteile. Auch bietet sich das Verfahren speziell bei bestimmten Verfahren der alternativen Verlegung von Rohrleitungen an. So wird beispielsweise beim Relining hauptsächlich auf das Heizelementstumpfschweißen zurück-



gegriffen. Gleichwohl handelt es sich um ein zeitintensives Verfahren, welches bei beengten Platzverhältnissen seine Grenzen aufzeigt und bei Rohren unterschiedlicher Wanddicken nicht eingesetzt werden kann.

## 4 Dimensionstabelle

### 4.1 PE80, PE100 und PE100 RC

	SDR 7,4	SDR 9	SDR 11		SDR 17		SDR 17,6
OHM PE80	PN 20	PN 16	PN 12,5		PN 8		PN 7,5
OHM PE100 / OHM 2S	PN 25	PN 20	PN 16		PN 10		-
OHMtec RC 2S	PN 25	PN 20	PN 16		PN 10		-
OHM 2S GAS	-	-	PN10		PN 4		-
OHMtec RC 2S GAS	-	-	PN10		PN 4		-
Außendurchmesser	Wanddicke						
16	2,3	2,0	-		-		-
20	3,0	2,3	2,0	3,0*	-		-
25	3,5	3,0	2,3	3,0*	-		-
32	4,4	3,6	3,0		2,0	2,3*	1,8
40	5,5	4,5	3,7		2,4		2,3
50	6,9	5,6	4,6		3,0		2,9
63	8,6	7,1	5,8		3,8		3,6
75	10,3	8,4	6,8		4,5		4,3
90	12,3	10,1	8,2		5,4		5,1
110	15,1	12,3	10,0		6,6		6,3
125	17,1	14,0	11,4		7,4		7,1
140	19,2	15,7	12,7		8,3		8,0
160	21,9	17,9	14,6		9,5		9,1
180	24,6	20,1	16,4		10,7		10,2
200	27,4	22,4	18,2		11,9		11,4
225	30,8	25,2	20,5		13,4		12,8
250	34,2	27,9	22,7		14,8		14,2

\* Mindestwanddicken für Gasrohre gemäß DIN EN 1555-2 für SDR 11 3,0mm und SDR 17 2,3mm.

## 4.2 PE-LD

	SDR 6	SDR 9
PE-LD	PN 10	PN 6
Außendurchmesser	Wanddicke	
20	3,4	2,2
25	4,2	2,7
32	5,4	3,5
40	6,7	4,3
50	8,4	5,4
63	10,5	6,8

ISO-Norm	
Außendurchmesser	Wanddicke
20	2,0
25	2,3
32	2,9
40	3,6
50	4,5
63	5,7

## Anhang A. Chemische Beständigkeit

Die nachfolgende Tabelle gibt einen allgemeinen Überblick über die Beständigkeit von Polyethylen gegenüber verschiedenen chemischen Stoffen. Die bei der Beurteilung im Einzelfall zu berücksichtigenden Faktoren, die die Beständigkeit beeinflussen, sind insbesondere die Temperatur, die Kontaktzeit von Medium und Rohr, der Druck und die Wanddicke des Rohres. Eine zusammengefasste Klassifikationstafel für chemische Beständigkeit ist ferner der ISO/TR 10358 zu entnehmen.

Legende:

- ++ kein Effekt
- + unter Einschränkungen geeignet
- o Eignung zweifelhaft
- ungeeignet
- V ungeeignet aufgrund entflammbarer, giftiger oder unangenehmer Dämpfe

Chemische Substanz	Beständigkeit chemischer Angriff		Beständigkeit mechanischer Angriff	Permeation		Empfehlung
	+20 °C	+60 °C		+40 °C	+60 °C	
Aniline dyes dry, -oilsoluble	++	++	+	+	+	
Aniline dyes dry, -watersoluble	++	++	++	+	+	
Aniline salts	++	++	+	+	+	
Aniseed oil	++	++	+	-	-	V
Anisole	++	++	o	o	-	V
Anthraquinone	++	++	+	++	++	
Antifreeze	++	++	+	++	++	
Antimony	++	++	++	++	++	
Antimony compounds						
Aqua regia	-	-	o	++	++	ungeeignet
Arsenic	++	++	++	++	++	
Arsenic trioxide	++	++	++	++	++	
Aspirin	++	++	++	++	++	
Atropine and its salts	++	++	++	++	++	
Barium hydroxide	++	++	+	++	++	durchlässig für CO2
Barium salts						
Barium sulphide	++	++	++	+	++	
Battery acid	++	++	++	++	++	
Beer	++	++	++	+	+	durchlässig für CO2
Benzaldehyde	++	++	o	o	-	V
Benzene (benzole)	++	++	+	-	-	V
Benzene hexachloride	++	++	+	+	+	V
Benzene sulphonic acid	++	++	o	++	++	
Benzoic acid	++	++	+	++	++	
Benzyl acetate	++	++	+	-	-	V
Benzyl Alcohol	++	++	o	+	+	V
Bicarbonate soda	++	++	++	++	++	
Bichromate sulphuric acid	o	-	+	++	++	
Bicycle oil	++	++	+	o	o	
Bismuth compounds						
Bismuth trichloride	++	++	o	+	+	
Bitumen	++	++	+	o	o	V
Blankite	++	++	++	++	++	durchlässig für O2, CO2
Bleaching liquor	+	-	++	++	++	
Bleaching lye	+	-	++	++	++	
Bleaching powder	++	+	++	++	++	
Blue ashes	++	++	++	++	++	
Borax	++	++	++	++	++	
Boric acid	++	++	++	++	++	
Boric acid solution	++	++	++	++	++	
Braking fluids	++	++	o	+	+	
Brass polish	++	++	+	++	++	
Brillantine	++	++	+	+	o	
Brine	++	++	++	++	++	
Bromine	-	-	-	-	-	
Bromobenzene(-benzole)	++	++	+	-	-	
Bromophorm	++	++	+	-	-	
Butane diol	++	++	+	++	++	
Butanol	++	++	+	+	+	V

Butter	++	++	+	+	o	durchlässig für CO2
Butyl acetate	++	++	o	-	-	V
Butyl alcohol	++	++	+	+	+	V
Butyl chloride	++	++	+	-	-	
Butyl phenol	++	++	o	+	o	
Butylaldehyde	++	++	o	o	o	
Butyric acid	++	++	o	+	+	V
<b>Cadmium salts</b>						
<b>Cadmium sulphide</b>	++	++	++	++	++	
<b>Caffeine and its salts</b>	++	++	++	++	++	
<b>Calcium hydroxide</b>	++	++	++	++	++	CO2
<b>Calcium hypochlorite</b>	++	+	++	++	++	
<b>Calcium salts</b>						
<b>Californian mixture</b>	++	++	++	++	++	CO2
<b>Calomel</b>	++	++	++	++	++	
<b>Camphor</b>	++	++	o	o	o	V
<b>Camphor oil</b>	++	++	+	o	o	V
<b>Caprolactam</b>	++	++	+	++	++	
<b>Carbazole</b>	++	++	++	+	o	V
<b>Carbolineum</b>	++	++	o	o	-	V
<b>Carbon black</b>	++	++	++	++	++	
<b>Carbon disulphide</b>	++	++	+	-	-	
<b>Carbon tetrachloride</b>	++	++	+	-	-	
<b>Carnauba wax</b>	++	++	+	+	+	
<b>Castor oil</b>	++	++	o	+	o	
<b>Cattle feed</b>	++	++	++	++	++	
<b>Caustic potash</b>	++	++	+	++	++	CO2
<b>Caustic soda</b>	++	++	+	++	++	CO2
<b>Cellosolve</b>	++	++	+	+	o	
<b>Cellulose varnish</b>	++	++	o	-	-	
<b>Cetyl alcohol</b>	++	++	+	+	+	
<b>Chloral (+chloral hydrate)</b>	++	++	o	o	o	V
<b>Chloro-acetic acids</b>	++	++	o	++	++	V
<b>Chloroamine</b>	++	++	++	++	++	
<b>Chlorobenzene (-benzole)</b>	++	++	+	-	-	
<b>Chloroform</b>	++	++	+	-	-	
<b>Chloronitrobenzene – liquid</b>	++	++	o	o		V
<b>Chloronitrobenzene – solid</b>	++	++	+	+		V
<b>Chlorophenol (mono, etc.)</b>	++	++	+	o	-	V
<b>Chloropropionic acid</b>	++	++	o	++		
<b>Chlorosulphonic acid</b>						nicht empfohlen
<b>Chromate yellow</b>	++	++	++	++	++	
<b>Chromatic acid</b>	+	-	+	++	++	
<b>Chromium salts</b>						
<b>Cinnamon</b>	++	++	++	+	+	V
<b>Cinnamon oil</b>	++	++	+	-	-	
<b>Citric acid</b>	++	++	++	++	++	
<b>Citronel oil</b>	++	++	+	-	-	
<b>Clove oil</b>	++	++	+	o	o	V
<b>Cloves</b>	++	++	+	+	+	V
<b>Cobalt salts</b>						
<b>Coconut fat</b>	++	++	+	++	++	
<b>Coconut oil</b>	++	++	+	+	+	
<b>Codliver oil</b>	++	++	+	+	+	CO2
<b>Coffee</b>	++	++	++	o	o	V
<b>Colophonium(resin)</b>	++	++	++	++	++	
<b>Copper green</b>	++	++	++	++	++	

Copper oxide	++	++	++	++	++	
Copper oxychloride	++	++	++	++	++	
Copper salts						
Cotton-seed oil	++	++	+	+	0	
Cream (face , hands)	++	++	+	+	+	
Creolin	++	++	0	0	-	V
Creosote	++	++	0	0	-	V
Cresol (ortho,meta,para)	++	++	0	0	0	V
Crude oils (minerals)	++	++	0	0	0	V
Cyanamide	++	++	++	++	++	
Cyclohexane	++	++	0	0	-	V
Cyclohexanol	++	++	0	+	+	V
Cyclohexanone	++	++	0	0	0	V
DDT (powder)	++	++	+	++	++	
Decalin	++	++	+	-	-	
Detergents (liquid)	++	++	0	++	++	
Detergents (powder)	++	++	+	++	++	
Developer (phot.)	++	++	++	++	++	
Dextrin	++	++	++	++	++	
Dibutyl phthalate	++	++	0	+	++	
Dichlorobenzene (-benzole)	++	+	+	-	-	
Dichloroethylene	++	++	+	-	-	
Dichloromethane	++	++	+	-	-	
Diesel oil	++	++	+	0	0	V
Diethanol amine	++	++	+	++	++	CO2
Diethyl ether	++	++	++	-	-	
Diethyl Ketone	++	++	0	0	-	
Diethylene glycoleter	++	++	0	+	+	V
Dimethyl formamide	++	++	+	+	+	
Diocetyl phthalate	++	++	+	+	+	
Dioxane	++	++	0	0	0	V
Diphenyl amine	++	++	+	+	+	V
Diphenyl ether	++	++	+	0	-	V
Diphenyl oxide	++	++	+	0	-	V
Dolomite	++	++	++	++	++	
Eau de cologne	++	++	+	0	0	V
Eau de Javelle	+	-	++	++	++	
Emulsion paint	++	++	++	++	++	
Engine oil	++	++	+	0	0	
Epsom salt	++	++	++	++	++	
Ether	++	++	0	-	-	V
Etheric oil	++	++	+	-	-	
Ethyl acetate	++	++	0	0	-	V
Ethyl alcohol	++	++	+	+	+	
Ethyl aniline	++	++	+	0	0	V
Ethyl benzene (-benzole)	++	++	+	-	-	
Ethyl benzoate	++	++	0	0	0	V
Ethyl chloride	++	++	+	-	-	
Ethylene chloride (mono,di)	++	++	+	-	-	
Ethylene chlorohydrine	++	++	+	-	-	
Ethylene diamine	++	++	+	+	+	V, CO2
Ethylene glycol	++	++	+	++	++	
Ethylene salicylate	++	++	+	0	0	V
Ferric salts						
Ferrous salts						
Fertilizer	++	++	++	++	++	
Fir-needle oil	++	++	+	-	-	V

Fixative (phot)	++	++	++	++	++	
Floor wax	++	++	0	0	0	
Formaldehyde 40%	++	++	+	+	+	V
Formaline	++	++	+	+	+	V
Formamide	++	++	+	+	+	
Formic acid	++	++	+	++	++	V
Freon	++	++	+	-	-	
Frigen	++	++	+	-	-	
Fruit juice	++	++	++	++	++	
Fuel oil	++	++	+	0	0	V
Fuel oil (domestic use)	++	++	+	0	0	V
fungicides	++	++	++	++	++	
Furfural	++	++	+	0	0	V
Furfuryl alcohol	++	++	0	-	-	
Gallic acid (tannic acid)	++	++	+	++	++	
Galvanizing liquor	++	++	++	++	++	
gas liquor	++	++	+	+	+	
gasoline	++	++	+	0	-	V
Glacial-acetic acid	++	++	0	0	0	V
Glauber salt	++	++	++	++	++	
Glucose	++	++	++	++	++	
Glue (fish,bone)	++	++	++	++	++	
Glycerine (glycerol)	++	++	++	++	++	
Glycol	++	++	+	++	++	
Gypsum	++	++	++	++	++	
Heptane	++	++	+	-	-	
Hexachlorocyclohexane	++	++	+	+	+	V
Hexane	++	++	+	-	-	
Hexanol	++	++	+	+	+	V
Hexylalcohol	++	++	+	+	+	V
Honey	++	++	++	++	++	
Hydrobromic acid	++	++	++	++	++	
Hydrochloric acid	++	++	++	++	+	
Hydrochloric acid (chem.pure)	++	++	++	++	++	
Hydrocyanic acid	++	++	+	0	0	V, CO2
Hydrofluoric acid	++	++	+	+	+	V, CO2
Hydrogen peroxide (sol.)	+	+	++	++	0	
Hydroquinone	++	++	++	++	++	
Hypo	++	++	++	++	++	
Ink (printing ink)	++	++	+	+	0	
Ink (writing ink)	++	++	++	++	++	
Insecticides (oilsolution)	++	++	0	-	-	
Insecticides (powder)	++	++	+	+	+	
Insecticides(aqueous dispersion)	++	++	+	++	++	
Iodine	++	++	+	0	0	
Iodine tincture	++	++	+	+	0	
Iron salts						
Isobutanol	++	++	+	+	+	V
Isobutyl alcohol	++	++	+	+	+	V
Iso-Octane	++	++	+	0	-	V
Isopropyl acetate	++	++	+	0	0	V
Isopropyl ether	++	++	+	-	-	
Jam	++	++	++	++	++	
Kerosene	++	++	+	0	-	V
Ketchup	++	++	++	++	++	
Lactic acid	++	++	+	++	++	
Lanolin	++	++	+	+	+	

Lard	++	++	+	+	0	
Latex	++	++	+	++	++	
Lauryl alcohol	++	++	+	+	+	
Lauryl sulphate	++	++	0	+	+	
Lead acetate	++	++	++	++	++	
Lead oxide	++	++	++	++	++	
Lead salts						
Lemon oil	++	++	+	-	-	
Lime milk	++	++	+	++	++	
Lime salts						
Lime, slaked	++	++	++	++	++	
Lime, unslaked	++	++	++	++	++	
Lindane powder	++	++	+	+	+	
Linseed oil	++	++	+	+	0	
Lithium salts						
Lotion (hair, shaving)	++	++	+	+	0	
Lubricating oil	++	++	+	0	0	
Magnesia	++	++	+	++	++	
Magnesium oxide	++	++	+	++	++	
Magnesium salts						
Maleic acid	++	++	+	++	++	
Manganese salts						
Margarine	++	++	+	+	0	
Mayonnaise	++	++	+	++	0	
Menthol	++	++	+	+	0	V
Mercuric salts						
Mercurochrome	++	++	++	++	++	
Mercurous salts						
Mercury (metal)	++	++	++	++	++	
Mercury oxide	++	++	++	++	++	
Mercury salts						
Methanol	++	++	0	+	+	
Methyl acetate	++	++	0	0	0	V
Methyl alcohol	++	++	0	+	+	
Methyl salicylate	++	++	+	0	0	V
Methylene chloride	++	++	+	-	-	
Methylethylene ketone	++	++	0	0	-	
Milk	++	++	++	++	++	
Mineral oil	++	++	+	+	0	
Minerals	++	++	++	++	++	
Mohr's salt	++	++	++	++	++	
Monochlorobenzene(-benzole)	++	++	+	-	-	
Morpholine	++	++	0	+	+	V
Mustard	++	++	++	++	++	
Nail varnish	++	++	0	0	-	
Naphthalene	++	++	+	0	0	V
nickel oxide	++	++	++	++	++	
Nickel salts						
Nicotine	++	++	+	+	+	
Nitric acid (<=50%)	+	++	++			
Nitric acid (>50%)	-	-	0	+	+	
Nitrobenzene (-benzole)	++	++	0	0	0	V
Nitrocresole	++	++	+	0	0	
Nitroglycerine	++	++	+	0	0	
Nonyl alcohol	++	++	+	0	0	V
Nutmeg	++	++	++	0	0	V
Nutmeg oil	++	++	+	-	-	
Ochre	++	++	++	++	++	



<b>Octane</b>	++	++	+	o	-	V
<b>Octanol</b>	++	++	+	o	o	
<b>Octyl alcohol</b>						
<b>Phosphoric acid (conc.)</b>	++	++	+	+	+	

## Disclaimer

Irrtümer und Änderungen vorbehalten. Soweit wir technische Auskünfte geben oder beratend tätig werden und diese Auskünfte oder Beratung nicht zu dem von uns geschuldeten vertraglich vereinbarten Leistungsumfang gehören, geschieht dies unentgeltlich und unter Ausschluss jeglicher Haftung.

