

Technisches Handbuch

Industrielle Rohrleitungssysteme



Inhalt

We make life flow	8
Einleitung	10
1. Rohrleitungssysteme aus Kunststoff: Physikalische und chemische Eigenschaften von Werkstoffen	20
1.1 Entwicklung, Klassifizierung, Herstellung und Verarbeitung von Kunststoffen	20
1.1.1 Entwicklung von Kunststoffen	20
1.1.2 Aufbau und Eigenschaften	21
1.1.3 Duroplaste, Thermoplaste und Elastomere	22
1.1.4 Ein Überblick über die Eigenschaften von Thermoplasten	27
1.1.5 Vorteile der Verwendung von Kunststoffen gegenüber Metallen	30
1.1.6 Kunststoffe und Umwelt	32
1.1.7 Herstellungs- und Verarbeitungsverfahren	34
1.1.7.1 Polymerisation	34
1.1.7.2 Spritzgießen und Extrusion	35
1.2 Vinyl- und Styrolpolymere	39
1.2.1 Weichmacherfreies Polyvinylchlorid (PVC-U)	39
1.2.2 Chloriertes Polyvinylchlorid (PVC-C)	42
1.2.3 Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS)	44
1.3 Polyolefine und fluorierte Polymere	47
1.3.1 Polypropylen (PP)	47
1.3.2 Polyethylen (PE)	53
1.3.3 Polyvinylidenfluorid (PVDF)	57
1.4 Kautschuk	60
1.4.1 Acrylnitrilbutadien (NBR)	61
1.4.2 Ethylen-Propylen-Dien-Monomer (EPDM)	62
1.4.3 Fluorelastomer (FKM)	63
1.4.4 Perfluorelastomer (FFKM)	64
1.5 Polytetrafluorethylen (PTFE)	66
1.6 Kunstharze, Comboundierung und Zuschlagstoffe	67
1.6.1 Kunstharze	67
1.6.2 Comboundierung	67
1.6.3 Zuschlagstoffe	67
1.7 Werkstoffprüfung	68
1.7.1 Schlagprüfung	68
1.7.2 Schmelzflussprüfung	70
1.7.3 Thermische Prüfung	71
1.8 Kennzeichnung von Rohren und Formstücken	72
1.8.1 Mindestanforderungen für die Kennzeichnung von Rohren	72
1.8.2 Mindestanforderungen für die Kennzeichnung von Formstücken	73
1.8.3 Mindestanforderungen für die Kennzeichnung von Armaturen	73

1.8.3 Mindestanforderungen für die Kennzeichnung von Armaturen	73
1.9 Erforderliche Mindestfestigkeit (Minimum Required Strength, MRS) und Langzeitverhalten	74
1.9.1 Begriffe im Zusammenhang mit Langzeitverhalten	74
1.9.2 Langzeitverhalten von PVC-U	75
1.9.3 Langzeitverhalten von PVC-C	77
1.9.4 Langzeitverhalten von ABS	79
1.9.5 Langzeitverhalten von PP-H, PP-B und PP-R	80
1.9.6 Langzeitverhalten von PE	83
1.9.7 Langzeitverhalten von PVDF	85
1.9.8 Lebensdauer bei aussetzender Last	86
1.10 Kriechmodul	87

2. Konstruktion von Rohrleitungssystemen aus Kunststoff	105
2.1 Symbole, Abkürzungen, Einheiten, Umrechnungstabellen	106
2.1.1 Symbole	106
2.1.2 Abkürzungen	107
2.1.3 Einheiten	109
2.2 Materialauswahl	113
2.3 Chemische Beständigkeit	114
2.4 Dimensionierung und Hydraulik	117
2.4.1 Rohrkonstruktion	117
2.4.1.1 Berechnung der Bemessungsspannung auf Grundlage der MRS-Klassifizierung	117
2.4.1.2 Berechnung des Nenndrucks	118
2.4.1.3 Berechnung des Standardabmessungsverhältnisses	119
2.4.1.4 Berechnung der Serie	119
2.4.1.5 Berechnung der Wanddicke	119
2.4.2 Druck-Temperatur-Diagramm	125
2.4.2.1 Zulässiger Druck – Temperaturdiagramm	126
2.4.2.2 Nenndruck – Temperaturdiagramme	132
2.4.3 Hydraulische Berechnung	137
2.4.3.1 Berechnung des verteilten Druckverlusts	139
2.4.3.2 Berechnung des lokalen Druckverlusts	142
2.4.4 Durchflussregelung und Dimensionierung von Ventilen	147
2.4.5 Druckstoß	151
2.4.5.1 Wasserschlag	151
2.4.5.2 Kavitation	154
2.5 Armaturauswahl und -merkmale	156
2.5.1 Flüssigkeitseigenschaften	156
2.5.2 Mechanische Beanspruchung und Vibrationen	157
2.5.3 Sicherheit	159
2.5.4 Manipulationsschutz	160
2.5.5 Einfache Installation	161

2.5.6 Präzise Regelung	162
2.6 Entlüftung von Rohrleitungen	163
2.6.1 Lufteinschlüsse: Quellen und Ursachen	163
2.6.2 Umgang mit Lufteinschlüssen	164
2.7 Konstruktion von Rohrleitungssystemen für Vakuumbedingungen	165
2.8 Konstruktion von Rohrleitungssystemen für Druckluft	166
2.9 Auswahl des Durchflussmessers	169
2.9.1 Konstruktion des Durchflussmessers	169
2.9.1.1 Durchflusssensoren zum Einsetzen	169
2.9.1.2 Inline-Durchflusssensoren	171
2.9.1.3 Schwebekörper-Durchflussmesser	172
2.9.2 Installation von Durchflussmessern	174
2.9.2.1 Durchflusssensoren zum Einsetzen	174
2.9.2.2 Inline-Durchflusssensoren	176
2.9.2.3 Schwebekörper-Durchflussmesser	176
2.10 Auswahl des pH- und Redox-Sensors	178
2.10.1 Aufbau der pH- und Redox-Sensoren	178
2.10.1.1 pH-Messung	178
2.10.1.2 ORP-Messung	181
2.10.1.3 pH/ORP-Elektroden	182
2.10.2 Installation von pH- und Redox-Sensoren	184
2.10.2.1 Installationsrichtlinien	184
2.10.2.2 Betriebsrichtlinien	185
2.11 Auswahl des Leitfähigkeitssensors	186
2.11.1 Aufbau des Leitfähigkeitssensors	186
2.11.1.1 Leitfähigkeitsmessung	186
2.11.2.1 Leitfähigkeitselektroden	188
2.11.2 Installation des Leitfähigkeitssensors	189
2.11.2.1 Installationsrichtlinien	189
2.11.2.2 Betriebsrichtlinien	190
3. Installationsrichtlinien	193
3.1 Verbindungsmethoden	194
3.1.1 Kleben	195
3.1.1.1 Kleben von Rohrleitungssystemen aus PVC-U	196
3.1.1.2 Kleben von Rohrleitungssystemen aus PVC-C	200
3.1.1.3 Kleben von Rohrleitungssystemen aus ABS	204
3.1.2 Stumpfschweißen	210
3.1.3 Muffenschweißen	217
3.1.4 Heizwendelschweißen	224
3.1.5 Warmgasschweißen	228
3.1.6 Flanschverbindungen	232
3.1.7 Gewindeverbindungen	239
3.1.8 Mechanisches Verbinden von Rohrleitungen mit Straub-Kupplung	243
3.2 Rohrleitungsmontage und Empfehlungen	253
3.2.1 Wärmedehnung und Schrumpfung	253
3.2.1.1 Mechanische Expansionsverbindungen	254

3.2.1.2 Dehnungsausgleich	259
3.2.1.3 Dehnungsbögen und Richtungsänderungen	259
3.2.2 Begleitheizung	261
3.2.3 Verankern von Rohrleitungen	264
3.2.3.1 Rohrleitungsstützen und Rohrhalterungen	265
3.2.3.2 Tabellen und Diagramme	267
3.2.4 Erdeinbau (unterirdisches System)	279
3.3 Rohrleitungsprüfung vor Ort	284
3.4 Lagerung, Transport und Handhabung	288
4. System- und Produktlösungen	291
4.1 Geklebte Systeme PVC-U-Systeme	294
4.2 Geklebte Systeme FIP PVC-C-Systeme	296
4.3 Geklebte Systeme SuperFlo ABS-Systeme	298
4.4 Geschweißte Systeme - FIP PP-Systeme	300
4.5 Geschweißte Systeme - FIP PE-Systeme	302
4.6 Geschweißte Systeme - FIP PVDF-Systeme	304
4.7 Doppelrohrsysteme	306
4.8 Druckluft	308
4.9 Kraftstoffrohrsystem PLX	310
4.10 Vulcathene	311
4.11 Mechanische Straub-Rohrverbinder	312
4.12 Silikonfreies FIP-System	314
4.13 Messtechnik (FLS)	316



We make life flow

Aliaxis ist ein weltweit führendes Unternehmen im Bereich hochmoderner Kunststoffrohrsysteme für Anwendungen in der Industrie, der Gebäudetechnik, der Infrastruktur und der Landwirtschaft. Für jedes dieser Segmente bieten wir ein umfassendes Sortiment an qualitativ hochwertigen Produkten und Lösungen an, die die anspruchsvollen Anforderungen unserer Kunden weltweit erfüllen.

Aliaxis beschäftigt weltweit rund 15.500 Mitarbeiter und ist mit führenden lokalen Marken in über 45 Ländern vertreten, und kombiniert lokale Lösungen mit globalen Innovationen und herausragenden operativen Leistungen. Das Unternehmen befindet sich in Privatbesitz und hat seinen weltweiten Hauptsitz in Brüssel, Belgien.

Gesundheit und Sicherheit an erster Stelle

Die Bereitstellung eines geschützten und sicheren Arbeitsumfelds für alle Mitarbeiter, Auftragnehmer und Besucher ist unsere oberste Priorität. Wir setzen alles daran, unsere allgemeine Sicherheitsleistung zu verbessern und weltweit unser Ziel „Null Unfälle“ zu erreichen. Für die Gesundheits- und Sicherheitsmanager unserer verschiedenen Geschäftsbereiche – unsere globale Sicherheits-Community – hat die Umsetzung und Weitergabe bewährter Verfahren („Best Practices“) höchste Priorität.

Unsere Kunden im Mittelpunkt

Aliaxis beliefert Installateure und Fachhändler weltweit mit Produkten und Lösungen, um Projekte einfach und zuverlässig in Gang zu bringen.

Wir wollen einen Mehrwert für Endverbraucher schaffen: Im privaten Bereich, in der Landwirtschaft, in der Industrie und in der Regierung. Unabhängig von den Herausforderungen in Bezug auf Größe, Volumen oder Höhe, unabhängig von den Einschränkungen auf Baustellen, bei Infrastrukturprojekten oder mit Bewässerungsbedarf auf landwirtschaftlichen Flächen, sind wir stets bestrebt, die entsprechenden Produkte und Lösungen anzubieten.

Betreuung lokaler Gemeinschaften

Die Aliaxis-Unternehmen wurden im Herzen der Regionen gegründet, in denen sie tätig sind. Sie kümmern sich intensiv um diese lokalen Gemeinschaften und reinvestieren durch verschiedene Projekte in ihre Zukunft. In vielen Gemeinden hilft Aliaxis bei der Installation oder Verbesserung der Trinkwasserversorgung, bei der Bereitstellung von sanitären Einrichtungen, bei der Umsetzung von Infrastrukturprojekten zur Sammlung und Speicherung von Regenwasser, bei der Bohrung von Grundwasserbrunnen, aber auch beim Bau von Schulen oder bei der Umsetzung lokaler Bildungsprogramme.



Durch Innovation Werte schaffen

Mit über 50 Jahren Erfahrung in der Kunststoffindustrie sind wir in der Lage, Produkte zu entwickeln, die immer eine Idee voraus sind. In allen unseren Produktionsstandorten und -anlagen auf der ganzen Welt streben die Aliaxis-Teams nach operativer Exzellenz und Effizienz bei der Entwicklung von Produkten und Dienstleistungen. Der Konzern fördert den Austausch von Best Practices und Wissen über alle Länder und Segmente hinweg. Dies optimiert und rationalisiert kontinuierlich interne Prozesse und verbessert die Servicebereitstellung für unsere Kunden.

Unser Engagement für die Umwelt

Lebenszyklusanalysen haben gezeigt, dass Rohrleitungssysteme aus Kunststoff nicht nur umweltfreundlichere Alternativen, sondern auch hygienischer sind als Rohre aus anderen Materialien.

Der Umweltschutz wird bei jedem unserer Geschäftsprozesse berücksichtigt. In unserem Umweltprogramm sind spezifische Kennzahlen zur Überwachung von CO₂-Emissionen, nicht recyceltem Abfall und Wasserverbrauch festgelegt. Dazu zählen auch Initiativen, die auf den Austausch bewährter Verfahren, auf umfassende Schulungen sowie auf die Sensibilisierung unserer Mitarbeiter für die Umwelt setzen.

Einleitung

Bei der Entscheidung, welcher Werkstoff sich am besten für Ihre Bedürfnisse eignet und gleichzeitig eine gute Wahl für die Umwelt darstellt, sollten Sie einmal über Kunststoff nachdenken.

Die Nutzung thermoplastischer Kunststoffe in Industrie und Handel hat sich in den letzten Jahren nur langsam durchgesetzt. Dafür gibt es zwei Hauptgründe: Zum einen hat es die Kunststoffindustrie weitgehend versäumt, die Öffentlichkeit und den Markt ausreichend über die Vorteile und Möglichkeiten von Kunststoffprodukten zu informieren, zum anderen war die Industrie nicht bereit, sich auf neuere und effizientere Rohrleitungsmaterialien einzustellen oder ihre Gewohnheiten zu ändern.

Obwohl Rohrleitungssysteme aus thermoplastischen Kunststoffen im Vergleich zu alternativen Systemen in fast allen industriellen Anwendungen kosteneffizienter sind, werden Kunststoffrohre, -formstücke und -armaturen, die rund 70 % aller industriellen Einsatzbereiche abdecken könnten, heute in nicht einmal 15 % dieser Anwendungen genutzt.

Während in den vergangenen Jahren mangelnder wirtschaftlicher Druck viele Branchen davon abgehalten hat, auf Kunststoffe umzusteigen, wird das heutige wettbewerbsintensive globale Umfeld einen gewissen Wandel erleichtern.

Was in den kommenden hundert Jahren in Sachen Kunststoff zu erwarten ist, lässt sich nur schwer vorhersagen, aber es wird mit Sicherheit unser aller Leben verändern: Die Grafik auf der nächsten Seite zeigt, wie die weltweite Produktion von Kunststoff von 1950 bis 2019 gestiegen ist.

Die Vorteile und der Nutzen von Kunststofflösungen sind beträchtlich und werden schließlich auch entferntere Industriezweige dazu bewegen, sie zu verwenden. Warum Kunststoffrohre in verschiedenen Anwendungen eingesetzt werden, lässt sich in vier Hauptgründen zusammenfassen:

- Haltbarkeit;
- Umweltverträglichkeit;
- Einfache und sichere Installation;
- Kosteneffizienz.

Da ein weiteres viel diskutiertes Thema, das oft mit dem Wort Kunststoff in Verbindung gebracht wird, die Nachhaltigkeit ist, lässt sich aus einer Analyse der vier vorangegangenen Merkmale ableiten, dass Kunststoffrohre die Treibhausgasemissionen in der Umwelt verringern können. Lassen Sie uns erklären, warum:

Der Begriff Haltbarkeit weist auf eine lange Lebensdauer hin. Im Laufe von Dutzenden von Nutzungsjahren verändern sich die physikalischen oder molekularen Eigenschaften von Kunststoffrohren nur geringfügig. Theoretisch ist bei den meisten Anlagen das Ende der Lebensdauer des Rohrleitungssystems nicht bekannt.

Darüber hinaus haben viele Untersuchungen gezeigt, dass die Lebensdauer eines Kunststoffrohrs aufgrund seiner Chemikalien- und Korrosionsbeständigkeit, seiner Abriebfestigkeit, der Unversehrtheit der Verbindungen und der optimalen Fließeigenschaften nicht mit der von Rohrsystemen aus anderen Materialien vergleichbar ist.

Die letztgenannten Eigenschaften stehen auch in direktem Zusammenhang mit dem Thema Umweltverträglichkeit: Die hohe Chemikalien- und Korrosionsbeständigkeit macht Schutzbeschichtungen überflüssig, die bei anderen Rohrleitungsmaterialien erforderlich sein könnten.

Da Kunststoffe an den glatten Innenwänden der Rohre nur geringe Reibungsverluste aufweisen, wird außerdem die zum Transport der Flüssigkeit erforderliche Pumpleistung minimiert.

All diese Besonderheiten wirken sich positiv auf die Energieersparnis aus: Wenn weniger Energie verbraucht wird, sind auch die Emissionen geringer.

Da bei Kunststoffen weniger Bruchstellen auftreten und der Wartungsbedarf geringer ist, ergibt sich daraus auch ein geringerer Bedarf an gas- und elektrobetriebenen Reparaturgeräten. Offensichtlich fallen weniger Bestellungen und Transporte an, so dass die mit dem Transport verbundenen Kosten erheblich gesenkt werden können.



Was die Installation betrifft, sind Kunststoffe einfacher und sicherer zu installieren als jedes andere Rohrmaterial. Sie bieten eine Vielzahl von Verbindungsmethoden und Produktlinien, farbliche Einteilung der Rohrtypen und die Rückverfolgbarkeit durch Barcodes.

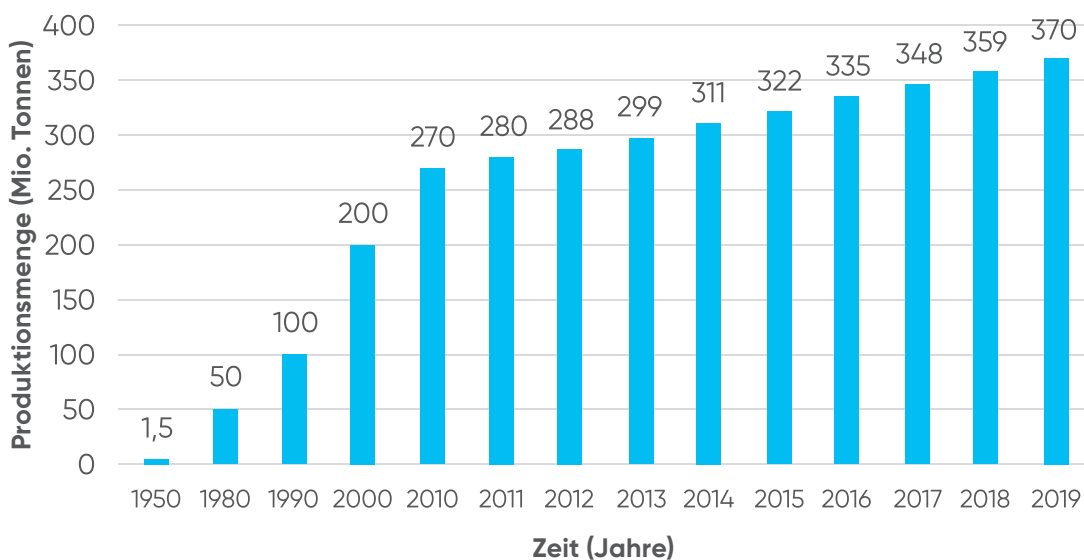
Insbesondere sind Kunststoffrohre für ihr geringes Gewicht bekannt: Dadurch wird der Bedarf an teuren Hebezeugen erheblich verringert und es werden wiederum weniger Emissionen in die Umwelt freigesetzt. Ein weiterer Vorteil leichter Kunststoffe ist die geringere Verletzungsgefahr vor Ort: In den meisten Fällen sind die Werkzeuge und Verfahren zum Verbinden von Kunststoffrohren kostengünstig, einfach zu handhaben und verkürzen die Installationszeit.

Zur Kosteneffizienz lässt sich sagen, dass Kunststoffe in den meisten Fällen weniger kosten als andere Rohrleitungsmaterialien, aber die eigentliche Kostenersparnis hängt mit all den oben genannten Eigenschaften zusammen, z. B. dass Kunststoffrohre einfach zu installieren, zu warten und zu transportieren sind.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass es bei der Bewertung von Rohrleitungsmaterialien besser ist, nicht nur eine Facette des Produkts zu betrachten: Es empfiehlt sich, die gesamte Liste der Merkmale und Vorteile zu berücksichtigen, die langfristig erzielt werden können.

Aus dieser Beobachtung lässt sich leicht ableiten, dass Kunststoffe heutzutage bei den meisten Rohrleitungsprojekten die bevorzugte Wahl sind.

Herstellung von Kunststoff



Marktsegmente

Die folgenden Beispiele geben einen guten Einblick in die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Kunststoffrohren in vielen Branchen und Märkten. Die Produkte von Aliaxis werden hauptsächlich in den folgenden Bereichen eingesetzt.



Wasseraufbereitung

In vielen Teilen der Welt ist Wasser aufgrund des beschleunigten Bevölkerungswachstums bereits heute ein knappes Gut.

Aliaxis ist ein verlässlicher Zulieferer für die wichtigsten kommunalen und industriellen Wasser- und Abwasseraufbereitungsprozesse, bei denen es darauf ankommt, Verunreinigungen aus den verschiedenen Wasserquellen zu entfernen und Abwässer in ein Abwasser umzuwandeln, das wiederverwendet oder mit nur minimaler Umweltbelastung in den Wasserkreislauf zurückgeführt werden kann. Schauen wir uns diese Sektoren im Einzelnen an:

- Kommunale Abwasseraufbereitung:** Ein Schlüsselsektor zur Aufrechterhaltung eines sauberen Wasserkreislaufs. Die Verschmutzung durch kommunale Abfälle ist eine der größten Herausforderungen der Zukunft, da das Bevölkerungswachstum in verschiedenen geografischen Gebieten neue und effizientere Kläranlagen erfordert. Kommunales Abwasser enthält biologische menschliche Abfälle und organischen Müll, Reinigungsmittel, Öle, Papierfasern sowie andere stark verschmutzende Chemikalien, die neutralisiert werden müssen, um den ökologischen Fußabdruck zu minimieren.
- Industrielle Wasseraufbereitung:** Sie hat sich in den letzten zehn Jahren zu einem der wichtigsten Themen in Branchen wie Öl und Gas, Raffinerie und Petrochemie, Zellstoff und Papier, Mikroelektronik, Lebensmittel und Getränke, Stromerzeugung und Bergbau entwickelt. In diesen Branchen stellen die Umkehrosmose und die Ultrafiltration die wichtigsten Technologien zur einfachen Salz Entfernung dar, während Ionenaustausch und Elektrodenionisation vor allem dann eingesetzt werden, wenn ein höherer Grad an Wasserreinheit erforderlich ist, beispielsweise in der Mikroelektronik und der Pharmazie.
- Industrielle Abwasserbehandlung:** Bei allen industriellen Prozessen fallen Abwässer an, die aufbereitet werden müssen, bevor sie wiederverwendet oder in den Wasserkreislauf zurückgeführt werden können. Um die Umwelt zu schützen und Menschen und natürliche Ressourcen zu schonen, müssen Fragen der ökologischen Nachhaltigkeit mit Verantwortungsbewusstsein angegangen werden. Es sind nämlich strenge Vorschriften erforderlich, um neue Grenzwerte für die Einleitung von Abwasser festzulegen, und Industrieanlagen müssen wirksame Maßnahmen ergreifen, um diese neuen Bedingungen und Anforderungen zu erfüllen.
- Trinkwasseraufbereitung:** Trinkwasser ist das Ergebnis vorangegangener Aufbereitungsprozesse, wobei das Rohwasser aus unterschiedlichen Quellen bezogen werden kann: Oberflächenwasser stammt aus Flüssen, Seen und Stauseen, die ein breites chemisches Spektrum mit hohen Mineral- und Metallgehalten, Chloridkonzentrationen und Partikeln aufweisen können, während Meer- und Brackwasser ebenfalls verschiedene spezifische Arten von Mineralien und Salzen enthalten kann, die entfernt werden müssen.
- Schwimmbecken und SPA:** Produkte von Aliaxis, die auch für den Bau von olympischen Sportstätten eingesetzt werden, bieten zahlreiche Möglichkeiten, um eine gleichmäßige Wasserzirkulation zu gewährleisten und das Desinfektionssystem von Schwimmbädern und SPAs zu unterstützen, das für sichere und komfortable Schwimmbecken notwendig ist. Korrosionsfreie Werkstoffe, Armaturen und Filtersysteme vereinen Innovation und Technologie, um einen sicheren und effizienten Transport von Wasser zu gewährleisten.



Chemische Prozessindustrie

Die chemische Industrie stellt eine Vielzahl von Produkten her, die von Grundchemikalien bis hin zu Spezialchemikalien wie Klebstoffen oder Zellstoffzusätzen reichen.

Die marktführenden Kunststoff-Rohrleitungsprodukte von Aliaxis sind die perfekte Lösung für eine Vielzahl verschiedenster Anwendungen. Ganz gleich, ob es sich um die Förderung aggressiver Säuren, um spezielle Entwässerungssysteme oder um Anforderungen an Nebenanlagen handelt, unsere Rohrleitungssysteme können einige der Probleme lösen, die mit herkömmlichen Rohrleitungsmaterialien verbunden sind. Rohrleitungslösungen komplett aus Kunststoff bieten eine überlegene chemische Beständigkeit, eine einfachere Installation, eine längere Lebensdauer der Anlage und verringern die Erstinstallations- und Wartungskosten.

Zu den gängigsten industriellen Verfahren, bei denen Kunststoffrohrleitungen verwendet werden, gehören:

- Chloralkalanlagen: Die Elektrolyse-Membrantechnologie ist die vorherrschende Technologie. Rohrleitungssysteme aus Kunststoff werden für Anolyt, Katholyt, gasförmiges Chlor sowie für Hilfseinrichtungen verwendet.
- Düngemittelfabriken: In den verschiedenen Düngemittelfabriken werden Kunststoffrohre in Anlagen eingesetzt, die auf Diammoniumphosphat und Schwefel basieren.
- Bromanlagen: Thermoplastische Rohrleitungen werden nach dem Hauptreaktor für den Transport der Chemikalien und der Nebenprodukte verwendet.
- Herstellung und Dosierung von Feinchemikalien.
- Produktionsanlagen zur Herstellung von Batterien: Das Spektrum reicht von typischen Anwendungen in der Automobilindustrie bis hin zur Unterhaltungselektronik. Chemikalien werden in den verschiedenen Schritten des Herstellungsprozesses eingesetzt.





Oberflächenbehandlung

Die Oberflächenbehandlung zählt zu den wichtigsten Zwischenschritten bei der Herstellung von Metallfertigerzeugnissen, ist jedoch kein eigenständiger Sektor im eigentlichen Sinne, da sie eine Dienstleistung für eine Vielzahl anderer Industriezweige wie Computer- und Mobiltelefonkomponenten, Automobil- und Flugzeugbau, sowie viele andere darstellt.

Metalle und Kunststoffe werden behandelt, um ihre Oberflächeneigenschaften zu verändern, um sie dekorativer und reflektierender zu gestalten, um ihre Festigkeit und Verschleißfestigkeit zu erhöhen, um Korrosion zu verhindern und um das Haftvermögen für andere Behandlungen wie Lackierungen oder lichtempfindliche Beschichtungen für den Druck zu verbessern.

Rohrleitungssysteme aus Kunststoff behalten ihre charakteristischen Eigenschaften wie chemische Beständigkeit, Isolierung und Flexibilität und eignen sich ideal für den Transport von Chemikalien, die zur Behandlung der Oberfläche entsprechend den Prozessanforderungen verwendet werden.

Zu den wichtigsten Prozessen in diesem Bereich zählen:

- Galvanische Abscheidung: Ziel hierbei ist es, eine dünne, aber gleichmäßige Schicht eines ausgewählten Materials auf dem

zu bearbeitenden Gegenstand abzuscheiden. Diese Schicht kann sowohl auf Metall- als auch auf Kunststoffoberflächen aufgetragen werden. Die Beschichtung erfolgt elektrochemisch, wobei ein elektrisches Feld zur Übertragung der Partikel auf eine leitfähige Oberfläche genutzt wird.

- Galvanisierung: Sie dient dazu, die verarbeitete Oberfläche vor Korrosion zu schützen. Auf Produkte aus Stahl oder Kunststoff wird eine Schicht aufgebracht, die einen langfristigen Korrosionsschutz und Abriebfestigkeit bietet. Das gängigste Galvanisierungsverfahren ist ein Heißmetallbad, bei dem der Gegenstand in geschmolzenes Metall getaucht wird, um eine chemische Schicht aufzubringen.
- Beizlinien: Das Verfahren zielt darauf ab, Verunreinigungen (Flecken oder Oxide, wie z. B. Rost) von der Oberfläche zu entfernen. Es wird typischerweise in der Stahlproduktion eingesetzt.
- Lackierstraßen: Bei der Oberflächenlackierung kommen verschiedene Technologien zum Einsatz. Eine wichtige ist die elektrophoretische Beschichtung, bei der ein Metallteil in eine wässrige Lösung getaucht wird, die eine Lackemulsion enthält.





Bergbau und Hydrometallurgie

Die aggressiven Umgebungsbedingungen im Bergbau stellen eine Herausforderung für Rohrleitungssysteme dar, die in diesem Bereich seit Jahrzehnten zur Förderung von Flüssigkeiten eingesetzt werden.

Bei diesen Anwendungen sind Korrosionsbeständigkeit und eine kosteneffiziente Lösung für die Beförderung einer großen Menge an aggressiven und schlammigen Flüssigkeiten erforderlich.

Aliaxis bietet ein komplettes Sortiment an Lösungen für folgende Anwendungen:

- Bergbau: Sowohl im Tagebau als auch im Untertagebau besteht ein enormer Bedarf an Brauchwasser. Kunststoffrohre sind der ideale Kompromiss zwischen Leistung und einfacher Installation.

- Erzaufbereitung: Dieser Prozess umfasst verschiedene Schritte wie Zerkleinerungskreisläufe mit Primär-, Sekundär- und Tertiärzerkleinerung, Mahlen und Aufkonzentrierung. In jedem dieser Schritte können Kunststoffrohre verwendet werden.
- Hydrometallurgie: Es sind verschiedene Schritte erforderlich, z. B. Kopflaugung, Adsorption, Elution, Elektrolyse, Lösungsmittelextraktion. Bei der Adsorption wird die Verwendung von Doppelrohrsystemen empfohlen.
- Abraumbeseitigung: Dies sind die Abfallstoffe, die nach dem Trennen der wertvollen von der unwirtschaftlichen Fraktion übrig bleiben. Kunststoffrohre stellen eine seit langem bewährte Lösung dar, da Abraum ordnungsgemäß transportiert und entsorgt werden muss.





Anwendungen im Schiffsbereich

Die Notwendigkeit, Menschen und Güter immer schneller und reibungsloser zu transportieren, hat in den letzten Jahren zu einer konsequenten Weiterentwicklung des maritimen Sektors geführt.

Lösungen aus Kunststoff für die Förderung von Flüssigkeiten sind im Vergleich zu herkömmlichen Lösungen aus Metall die ideale Option für den Schiffbau, da Kunststoffe korrosionsbeständig und viel leichter sind und sich zudem schnell und einfach installieren lassen.

Darüber hinaus werden durch strenge Umweltvorschriften Verantwortung für die Kontrolle von Abgasen und Ballastableitungen festgelegt, die effiziente und zuverlässige Lösungen erfordern.

Auch hier bietet Aliaxis robuste und qualitativ hochwertige Systeme aus Kunststoff an: Sie wurden speziell entwickelt, um Gewicht und Lärm an Bord von zivilen und militärischen Schiffen zu reduzieren, indem sie Funktionen wie Brandschutz und die Verringerung des Risikos einer Ausbreitung von Legionellenbakterien aufweisen.

Unsere Produkte verbessern den Komfort und die Sicherheit von Passagieren und Besatzung, gewährleisten eine gleichmäßige und konstante Leistung während der gesamten Nutzungsdauer und ein lokaler technischer Kundendienst steht jederzeit für jede Art von Beratung zur Verfügung.

Die wichtigsten Anwendungsbereiche für unsere Produkte in der Schifffahrt sind:

- Kreuzfahrtschiffe;
- Fähren;
- Mega-Yachten;
- Handelsflotten;
- Militärschiffe;
- Offshore-Plattformen;
- Fischerboote.







1 Rohrleitungssysteme aus Kunststoff: Physikalische und chemische Eigenschaften von Werkstoffen	20
1.1 Entwicklung, Klassifizierung, Herstellung und Verarbeitung von Kunststoffen	20
1.1.1 Entwicklung von Kunststoffen	20
1.1.2 Aufbau und Eigenschaften	21
1.1.3 Duroplaste, Thermoplaste und Elastomere	22
1.1.4 Ein Überblick über die Eigenschaften von Thermoplasten	27
1.1.5 Vorteile der Verwendung von Kunststoffen gegenüber Metallen	30
1.1.6 Kunststoffe und Umwelt	32
1.1.7 Herstellungs- und Verarbeitungsverfahren	34
1.1.7.1 Polymerisation	34
1.1.7.2 Spritzgießen und Extrusion	35
1.2 Vinyl- und Styrolpolymere	39
1.2.1 Weichmacherfreies Polyvinylchlorid (PVC-U)	39
1.2.2 Chloriertes Polyvinylchlorid (PVC-C)	42
1.2.3 Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS)	44
1.3 Polyolefine und fluorierte Polymere	47
1.3.1 Polypropylen (PP)	47
1.3.2 Polyethylen (PE)	53
1.3.3 Polyvinylidenfluorid (PVDF)	57
1.4 Kautschuk	60
1.4.1 Acrylnitrilbutadien (NBR)	61
1.4.2 Ethylen-Propylen-Dien-Monomer (EPDM)	62
1.4.3 Fluorelastomer (FKM)	63
1.4.4 Perfluorelastomer (FFKM)	64
1.5 Polytetrafluorethylen (PTFE)	66
1.6 Kunstharze, Comboudierung und Zuschlagstoffe	67
1.6.1 Kunstharze	67
1.6.2 Comboudierung	67
1.6.3 Zuschlagstoffe	67
1.7 Werkstoffprüfung	68
1.7.1 Schlagprüfung	68
1.7.2 Schmelzflussprüfung	70
1.7.3 Thermische Prüfung	71
1.8 Kennzeichnung von Rohren und Formstücken	72
1.8.1 Mindestanforderungen für die Kennzeichnung von Rohren	72
1.8.2 Mindestanforderungen für die Kennzeichnung von Formstücken	73
1.8.3 Mindestanforderungen für die Kennzeichnung von Armaturen	73
1.9 Erforderliche Mindestfestigkeit (Minimum Required Strength, MRS) und Langzeitverhalten	74
1.9.1 Begriffe im Zusammenhang mit Langzeitverhalten	74
1.9.2 Langzeitverhalten von PVC-U	75
1.9.3 Langzeitverhalten von PVC-C	77
1.9.4 Langzeitverhalten von ABS	79
1.9.5 Langzeitverhalten von PP-H, PP-B und PP-R	80
1.9.6 Langzeitverhalten von PE	83
1.9.7 Langzeitverhalten von PVDF	85
1.9.8 Lebensdauer bei aussetzender Last	86
1.10 Kriechmodul	87

1. Rohrleitungssysteme aus Kunststoff: Physikalische und chemische Eigenschaften von Werkstoffen

1.1 Entwicklung, Klassifizierung, Herstellung und Verarbeitung von Kunststoffen

1.1.1 Entwicklung von Kunststoffen

Die Entwicklung von Kunststoffen hat sich von der Verwendung natürlicher Kunststoffe (Kaugummi, Schellack) über die Verwendung chemisch modifizierter Naturstoffe (Naturkautschuk, Nitrocellulose, Kollagen, Galalit) bis hin zu vollständig synthetischen Molekülen (Bakelit, Epoxy, Polyvinylchlorid) entwickelt. Die ersten Kunststoffe wurden aus biologischen Materialien wie Ei- und Blutproteinen gewonnen, welche organische Polymere sind. Um 1600 v. Chr. verwendeten die Mesoamerikaner Naturkautschuk für Bälle, Bänder und Figuren.

Mit der Entwicklung der industriellen Chemie während der Industriellen Revolution im neunzehnten Jahrhundert wurden viele Materialien entdeckt. Die Entwicklung von Kunststoffen beschleunigte sich auch mit Charles Goodyears Entdeckung der Vulkanisation zu duroplastischen Materialien aus Naturkautschuk.

Parkesin (Nitrocellulose) gilt als der erste von Menschen hergestellte Kunststoff. Das Kunststoffmaterial wurde 1856 von Alexander Parkes in Birmingham, England, patentiert. Parkesin wurde aus Zellulose, dem Hauptbestandteil pflanzlicher Zellwände, hergestellt und mit Salpetersäure als Lösungsmittel behandelt.

Das Ergebnis des Prozesses, das gemeinhin als Cellulosenitrat oder Pyroxylin bekannt ist, konnte in Alkohol aufgelöst und zu einem transparenten und elastischen Material gehärtet werden, das sich bei Erwärmung formen ließ.

In den frühen 1900er Jahren wurde Bakelit, der erste vollsynthetische Duroplast, von dem belgischen Chemiker Leo Baekeland unter Verwendung von Phenol und Formaldehyd hergestellt.

Die Entwicklung von Werkstoffen im Laufe der Jahre und die Vielzahl der Anwendungsmöglichkeiten verschiedener Kunststoffe machen deutlich, dass Kunststoffe in unserem täglichen Leben eine unverzichtbare Rolle spielen.

1.1.2 Aufbau und Eigenschaften

Durch chemische Reaktionen aus Monomereinheiten gebildete Makromolekülketten ergeben Polymere, die Grundstruktur von Kunststoffen. Polyaddition (kontinuierlich oder phasenweise) und Kondensationspolymerisation, Polykondensation genannt, sind gängige Reaktionen für den Aufbau von Ketten.

Diese Ketten bestehen hauptsächlich aus Kohlenstoff und Wasserstoff. Organische Kohlenstoffmoleküle sind die Einheiten von Monomeren. Neben Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen können in der Monomereinheit als Hauptkomponenten Elemente wie Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel, Fluor oder Chlor enthalten sein.

Die Art der Elemente, ihr Anteil und ihre Lage im Monomermolekül bilden die Grundlage für die Herstellung verschiedener Kunststoffe.

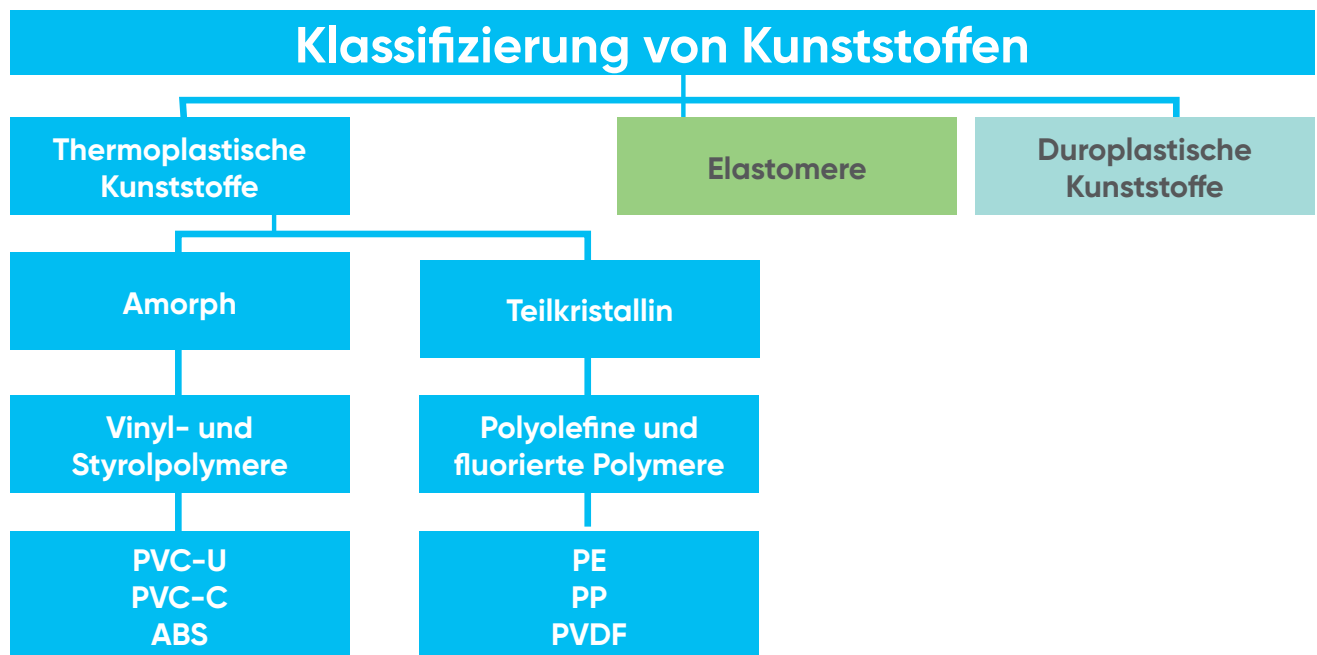
Unterschiedliche Gruppen werden durch die makromolekulare Zusammensetzung und temperaturabhängige physikalische Eigenschaften von Kunststoffmaterialien beschrieben.

Thermoplaste sind im Anwendungsspektrum von starker oder zäher Elastizität und können durch Energierückführung (mechanische, thermische oder Strahlungsenergie) geschmolzen werden.

Elastomere haben eine geringe Elastizität und können nicht unbedingt geschmolzen werden.

Im Anwendungsspektrum sind Duroplaste von harter Elastizität und können ebenfalls nicht geschmolzen werden.

Die folgende Abbildung zeigt eine detaillierte Klassifizierung von Kunststoffen.



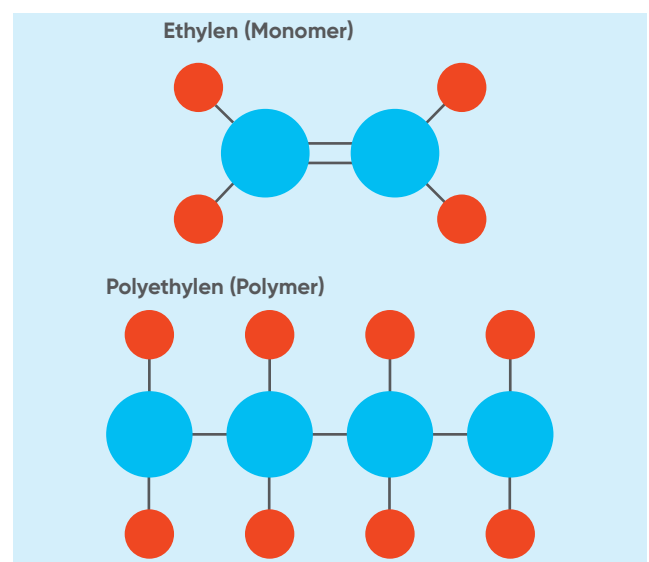
Monomer im Vergleich zu Polymer

Kunststoff ist ein Polymer, also nichts anderes als eine lange Kette kleinerer Einheiten, die miteinander verbunden sind.

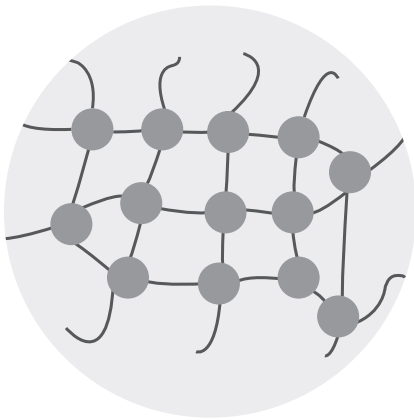
Ein gutes Beispiel für ein Polymer ist Polyethylen.

Ethylen (Ethan) ist das Monomer, und wenn viele dieser Monomere durch eine chemische Reaktion, die die Doppelbindung bricht, zu einer Kette verbunden werden, entsteht ein Polymer.

Monomere werden durch Raffination von Erdöl gewonnen. Sie finden sich meist natürlich in Öl oder lassen sich leicht durch einfache chemische Verfahren herstellen. Es ist wichtig, dass die Monomere rein sind, denn Verunreinigungen verhindern, dass sie zu einer Kette polymerisieren, was dazu führen kann, dass der Kunststoff am Ende schwach oder spröde wird.



1.1.3 Duroplaste, Thermoplaste und Elastomere



Duroplaste

Ein Kunststoff, der, wenn er durch Anwendung von Wärme oder auf chemischem Wege gehärtet wird, zu einem im Wesentlichen unschmelzbaren und nicht recycelbaren Produkt wird. Duroplaste sind Kunstharze mit eng vernetzten Molekülketten.

Am Beispiel des Eies wird das Verhalten von Duroplasten veranschaulicht: Es kann nur einmal verarbeitet werden, wobei sich die grundlegenden Eigenschaften des Materials ändern.

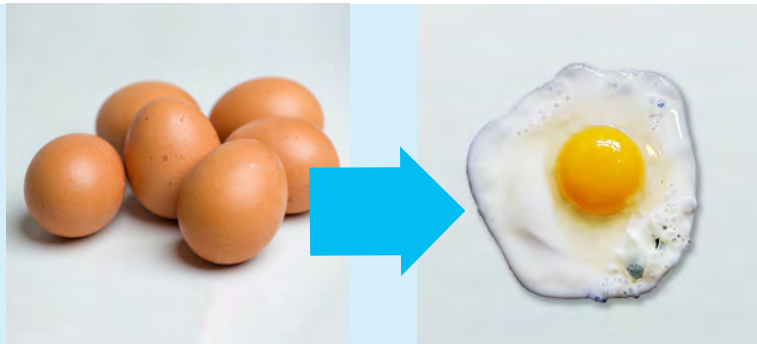
Flüssigkeiten



Mischen/Erhitzen



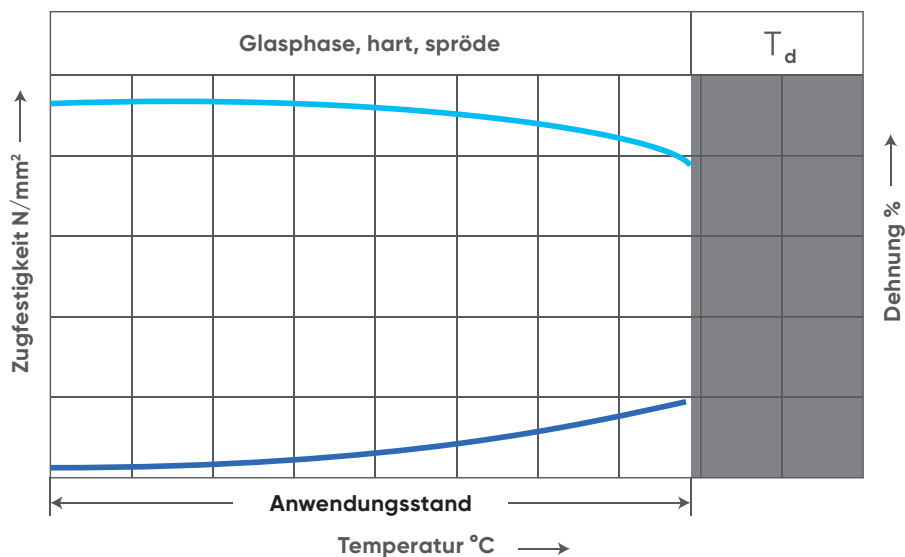
Fest

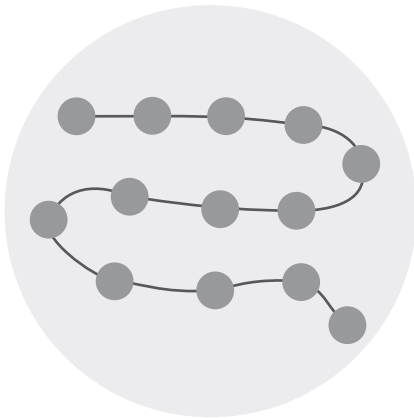


Mechanische Eigenschaften von Duroplasten

Duroplaste sind hart und spröde. Wie bei Thermoplasten oder Elastomeren sind die mechanische Festigkeit und die Elastizität aufgrund der hohen Beständigkeit gegen molekulare Verschiebungen durch Vernetzung nicht temperaturabhängig. Duroplaste können nicht geschmolzen und durch thermische Prozesse wie Schweißen verbunden werden.

Der Stoff würde bei Erreichen der Zersetzungstemperatur (T_d) chemisch zersetzt werden.

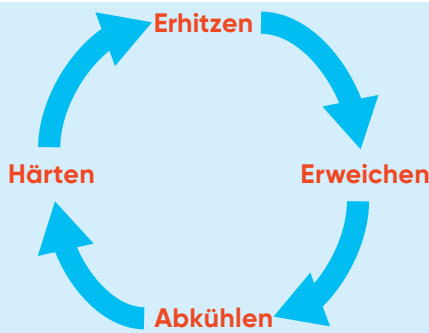




Thermoplastische Kunststoffe

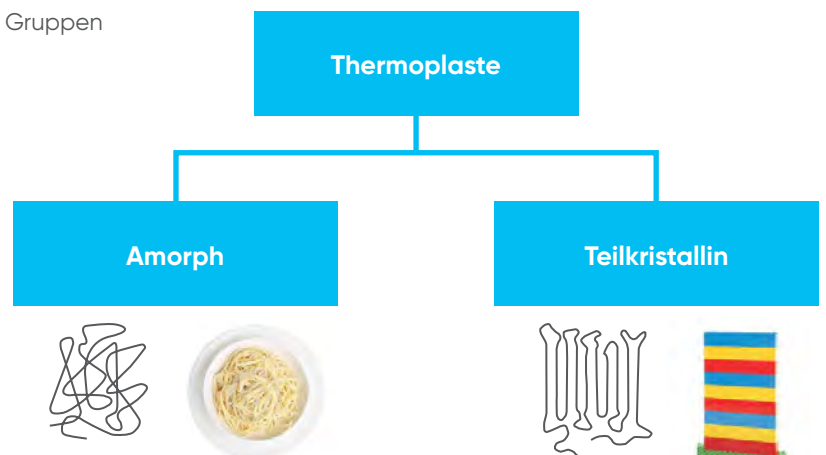
Ein Kunststoff, der wiederholt durch Erhitzen erweicht und durch Abkühlen in einem für den Kunststoff charakteristischen Temperaturbereich gehärtet werden kann und der im erweichten Zustand durch Fließen zu einem Gegenstand geformt werden kann, indem er gegossen oder extrudiert wird. Thermoplaste sind Kunstharze, die aus linearen Molekülketten bestehen.

Das Verhalten thermoplastischer Werkstoffe wird an dem Beispiel der Wasseranalogie verdeutlicht. Das Polymer kann wiederholt erhitzt und abgekühlt werden, ohne dass sich die grundlegenden Eigenschaften des Materials ändern.



Thermoplastische Kunststoffe werden in zwei Gruppen eingeteilt:

- Amorphe Thermoplaste;
- Teilkristalline Thermoplaste.



Amorphe Thermoplaste

Diese Polymere weisen eine zufällig geordnete Molekularstruktur auf, der ein scharfer Schmelzpunkt fehlt. Das Ergebnis ist, dass amorphe Materialien mit zunehmender Temperatur allmählich erweichen. Diese Kunststoffe lösen sich leicht und quellen durch Zugabe von Lösemittel leicht auf. Daher werden sie bei der Verwendung in Rohrleitungen durch lösemittelhaltigen Kleber miteinander verklebt.

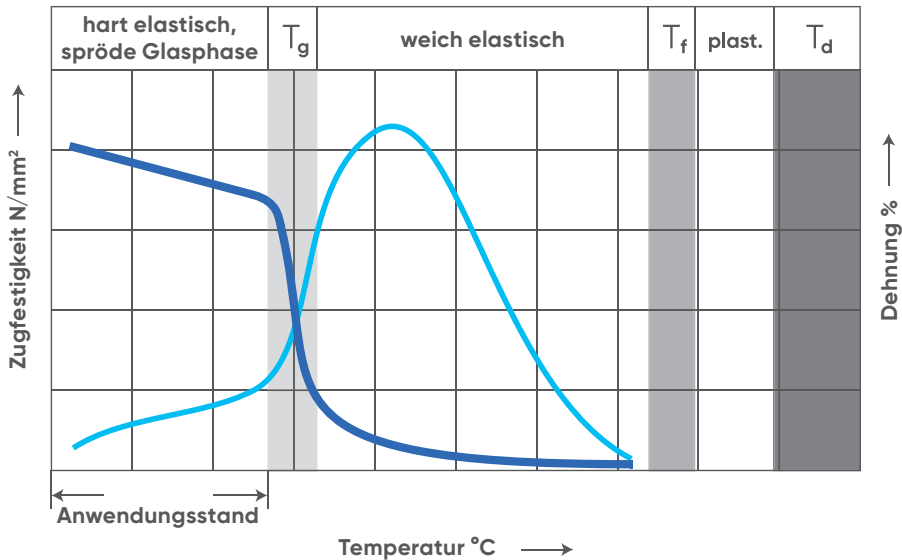
Gängige amorphe Materialien sind in der Regel transparente Kunststoffe.

Beispiele für amorphe Materialien in der Industrie sind:

- Polyvinylchlorid, weichmacherfrei (PVC-U);
- Polyvinylchlorid, chloriert (PVC-C);
- Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS).

Mechanische Eigenschaften von amorphen Thermoplasten

Thermoplastische Kunststoffe sind nicht vernetzte Kunststoffe, die bei niedriger Temperatur eine hohe Formstabilität und Elastizität aufweisen und ab einem bestimmten Temperaturniveau beginnen viskos zu fließen. Neben der Form, der Verarbeitung, dem Prüfverfahren, der Belastungsart beeinflusst die einwirkende Temperatur die mechanischen Eigenschaften maßgeblich. Dabei erweichen amorphe Thermoplaste erst im Bereich ihres Glasübergangs (T_g). Sie verhalten sich dann quasi gummi-elastisch, weil sich die Anzahl der Verhakungspunkte zwischen den Molekülen bis zum viskosen Verhalten beim Anstieg der Temperatur wenig ändern. Damit besitzen amorphe Thermoplaste noch kurz unterhalb ihrer Fließtemperatur (T_f) eine reversible Formbarkeit unter gleichbleibender Belastung. Bei Entlastung geht das Molekül in seine Ausgangslage zurück. Erst beim Fließen des amorphen Kunststoffes kommt es zu irreversiblen Prozessen (T_d).



Teilkristalline Thermoplaste

Im Gegensatz zu den amorphen Thermoplasten besitzen teilkristalline Thermoplaste kristalline und amorphe Bereiche in ihrer Struktur (geordnete und ungeordnete Bereiche). Sie erweichen erst im Schmelzpunkt, wenn dieser oberhalb der Glastemperatur liegt. Hier kommt es dann zur irreversiblen Verformung, wobei der Bereich des Schmelzeabbaus bei weiterer Temperaturzufuhr verhältnismäßig gering ausfällt und bei der Verarbeitung beachtet werden muss. Das Fließverhalten im Schmelzbereich bei teilkristallinen Kunststoffen ermöglicht jedoch eine gute Prozessführung beim Schweißen.

Übliche teilkristalline Materialien sind in der Regel opak.

Beispiele für teilkristalline Materialien in der Industrie sind:

- Polyethylen (PE);
- Polypropylen (PP);
- Polyvinylidenfluorid (PVDF).

Mechanische Eigenschaften von teilkristallinen Thermoplasten

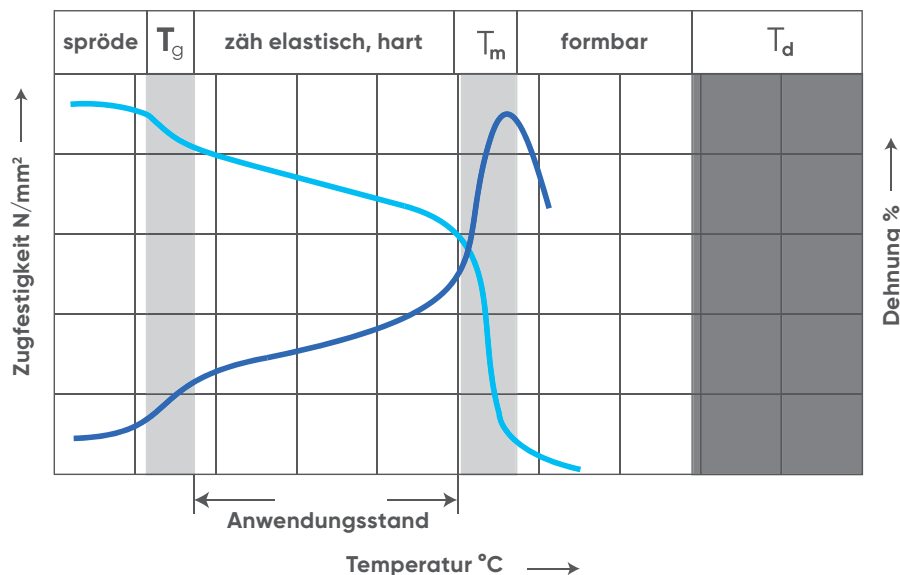
Der Kristallisationsgrad teilkristalliner Thermoplaste hängt von der Regelmäßigkeit der Kettenkonfiguration, dem Molekulargewicht und der Beweglichkeit der Molekülketten ab, die durch Schlingenbildung behindert werden kann.

Der Kristallisationsprozess kann durch die Verarbeitungsbedingungen gesteuert werden. Die schnelle Abkühlung der Schmelze verhindert die Kristallisation. Ein höherer Kristallisationsgrad wird durch langsames Abkühlen oder Anlassen bei der Kristallisationstemperatur erreicht. Teilkristalline Thermoplaste mit niedrigem Kristallisationsgrad und kleinen Kristallitphasen wären optisch lichtdurchlässiger als Produkte mit hohem Kristallisationsgrad und großen Kristallitphasen.

Die amorphe Form teilkristalliner Thermoplaste wird unterhalb der Glasübergangstemperatur (T_g) eingefroren und die Substanz ist spröde. Die amorphe Phase taut auf und die Makromoleküle der amorphen Phase erlangen mehr Stabilität oberhalb der Glasübergangstemperatur. In der kristallinen Phase ist das Material mechanisch stark bis hart elastisch.

Die kristalline Phase neigt auch dazu, oberhalb der Kristallschmelztemperatur (T_m) zu schmelzen und die Substanz wird verformbar. Wie bei amorphen Thermoplasten charakterisiert der Schmelzflussindex (MFI) das Fließvermögen teilkristalliner Thermoplaste in der geschmolzenen Phase.

Wie bei amorphen Thermoplasten kann die Zersetzung teilkristalliner Thermoplaste durch Erhöhung der Zersetzungstemperatur (T_d) bereits in der geschmolzenen Phase beginnen.



Versagensart

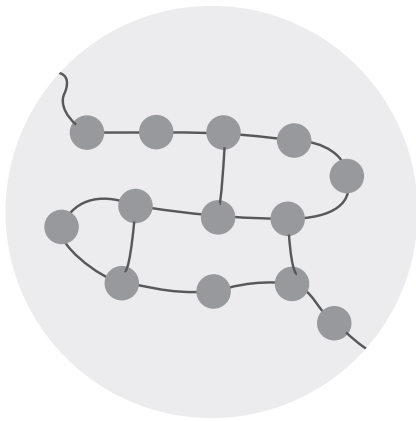
Bei Kunststoffen gibt es zwei Arten von Versagen: Duktile Verformungsbrüche und Sprödbrüche

- Duktile Verformungsbrüche sind nach kurzen Standzeiten bei hohen Innendrücken und gegebenenfalls in der Prüfung durch hohe Temperaturbelastungen an Prüfkörpern sichtbar. Dabei ist der Bruch von der Art, Dichte und Festigkeit des Rohres gekennzeichnet und tritt üblicherweise an der geringsten Wanddicke oder an Fehlstellen in axialer Richtung zur Rohrachse auf. Zur Aussage dieser Bruchmechanik kann von einem bestimmten Festigkeitsverhalten des Werkstoffes ausgegangen werden.
- Sprödbrüche sind längs zur Rohrachse auftretende Risse, deren Indikation, von der inneren Rohrwand ausgehend, zur Leckage führt. Diese treten bei wesentlich geringeren Spannungen als ein Duktilbruch auf, jedoch meist bei langen Standzeiten. Als Folge der Bewertung solcher Brüche kann von einem oxidativen Abbau des Polymers (Additivabbau) auf einen Alterungsprozesse geschlossen werden. Ebenso können Chemikalien diesen Prozess beschleunigen und auf die Oberfläche der Innenwand des Rohres spannungsrisssbildend wirken.

Diese Abbildungen zeigen die duktilen und spröden Versagensarten.

Die Abbildung auf der linken Seite zeigt einen duktilen Verformungsbruch, während die Abbildung auf der rechten Seite ein Sprödbrech zeigt.





Elastomere

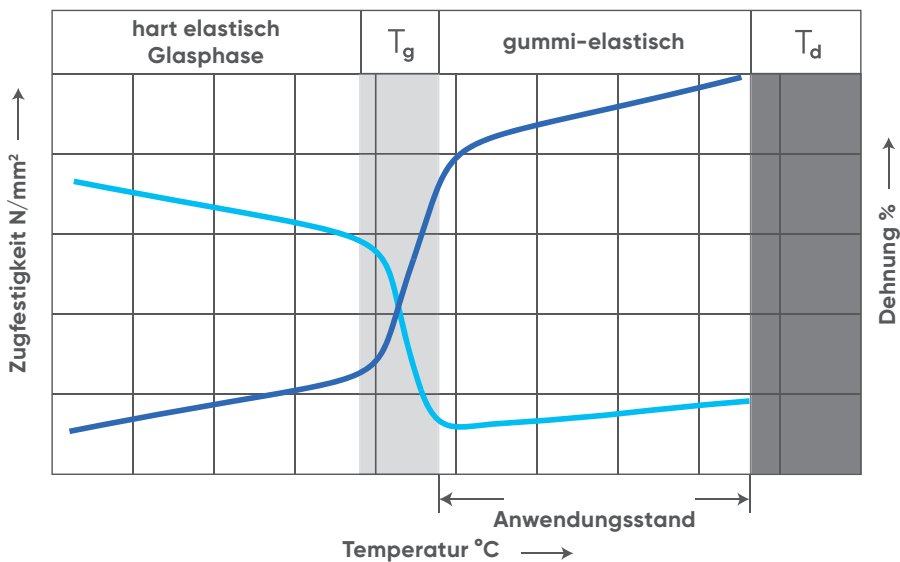
Ein Elastomer ist ein viskoelastisches Polymer und weist im Vergleich zu anderen Materialien sehr schwache intermolekulare Kräfte, im Allgemeinen einen niedrigen Elastizitätsmodul und eine hohe Bruchdehnung auf. Als Elastomere werden Kunststoffe bezeichnet, die eine große netzartige Verknüpfung zwischen den Molekülen aufweisen.

Elastomere sind amorphe Polymere, die oberhalb ihrer Glasübergangstemperatur gehalten werden, wodurch eine beträchtliche molekulare Rekonfirmation möglich ist, ohne dass kovalente Bindungen aufgebrochen werden. Bei Umgebungstemperaturen sind solche Polymere somit relativ nachgiebig ($E \approx 3 \text{ MPa}$) und verformbar. Ihre Hauptanwendungen sind Dichtungen, Klebstoffe und flexible Formteile. Die Anwendungsbereiche für die verschiedenen Elastomertypen sind vielfältig und reichen von Reifen über Schuhsohlen bis hin zu Dämpfungs- und Isolierelementen.

Mechanische Eigenschaften von Elastomeren

Elastomere können nicht geschmolzen werden, ohne dass die Zusammensetzung des Moleküls beeinträchtigt wird. Elastomere sind weiche, elastische Materialien oberhalb der Glasübergangstemperatur (T_g). Sie sind unterhalb der Glasübergangstemperatur (T_g) stark elastisch oder spröde. Der Wert der Glasübergangstemperatur steigt mit zunehmender Anzahl der Vernetzungen.

Eine Verbesserung der Elastizität durch Verringerung der Versteifungseffekte der Vernetzungen und Erhöhung der Stabilität der Molekülketten wird durch den Temperaturanstieg beeinflusst. Die Atombindungen innerhalb und zwischen den Molekülketten werden aufgelöst, wenn die Zersetzungstemperatur (T_d) überschritten wird, und der Stoff wird chemisch zersetzt.



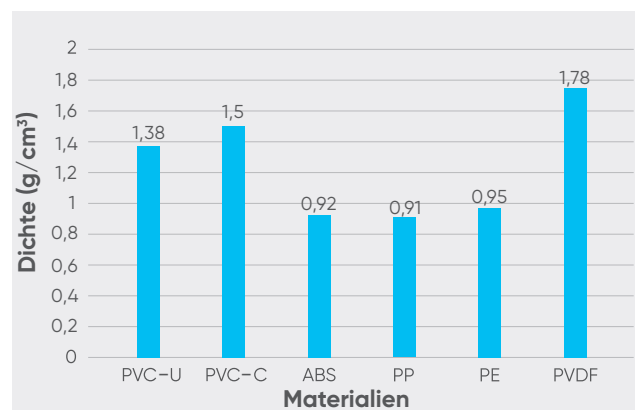
1.1.4 Ein Überblick über die Eigenschaften von Thermoplasten

Die Eigenschaften eines Materials spielen bei der spezifischen Anwendung eine entscheidende Rolle. Thermoplastisches Material bietet ein breites Spektrum an Eigenschaften. Die Thermoplaste können umgeformt und recycelt werden, ohne die physikalischen Eigenschaften des Materials zu beeinträchtigen. Es erweicht bei Erwärmung und wird flüssiger, wenn zusätzliche Wärme zugeführt wird. Der Härtingsprozess ist vollständig reversibel, da keine chemische Bindung stattfindet. Nachfolgend einige Beispiele, die ein Gesamtbild über die Materialeigenschaften verschiedener Thermoplaste ergeben.

Dichte

Die Dichte ist im Wesentlichen ein Maß dafür, wie dicht Materie zusammengepackt ist. Die Dichte eines Materials kann durch Teilen seiner Gesamtmasse durch sein Gesamtvolumen berechnet werden und wird normalerweise in g/cm^3 angegeben.

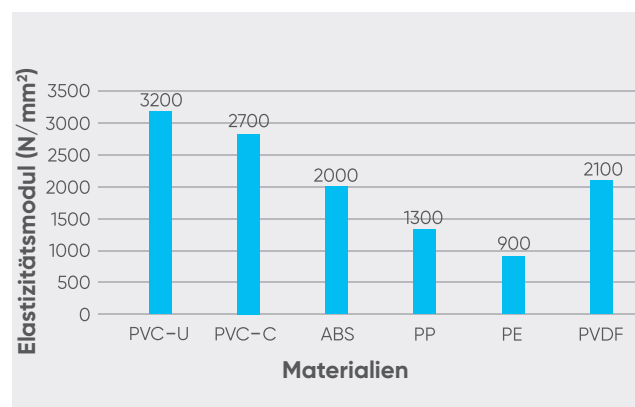
Die Grafik rechts zeigt die Dichte verschiedener Thermoplaste.



Elastizitätsmodul

Der „Elastizitätsmodul“ ist eine mechanische Eigenschaft, die die Zugsteifigkeit eines festen Materials misst. Sie quantifiziert das Verhältnis zwischen Zugspannung und axialer Dehnung im linear elastischen Bereich eines Materials. Sie wird in N/mm^2 oder in MPa angegeben.

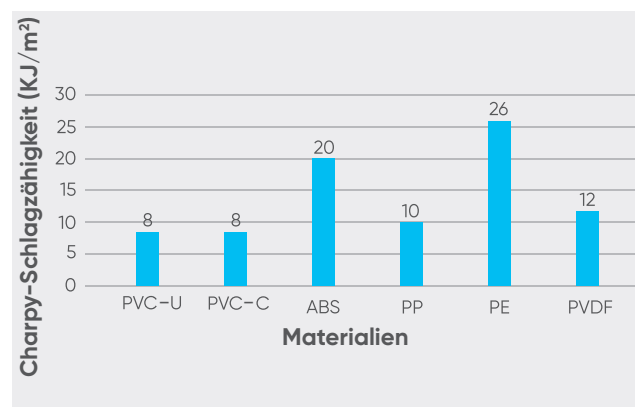
Das Diagramm auf der rechten Seite zeigt die Elastizitätsmodulwerte verschiedener Thermoplaste.



Charpy-Schlagzähigkeit

Die Charpy-Schlagzähigkeit ist eine ASTM-Standardmethode zur Bestimmung der Schlagzähigkeit von Materialien. Das Prüfgerät besteht aus einem beschwerten Pendel, das aus einer bestimmten Höhe fallen gelassen wird, um die Probe zu treffen. Durch Messung der Höhendifferenz des Pendels vor und nach dem Bruch kann die auf die Substanz übertragene Energie berechnet werden. Sie wird in KJ/m^2 angegeben.

Das Diagramm auf der rechten Seite zeigt die Charpy-Schlagzähigkeitswerte verschiedener Thermoplaste.

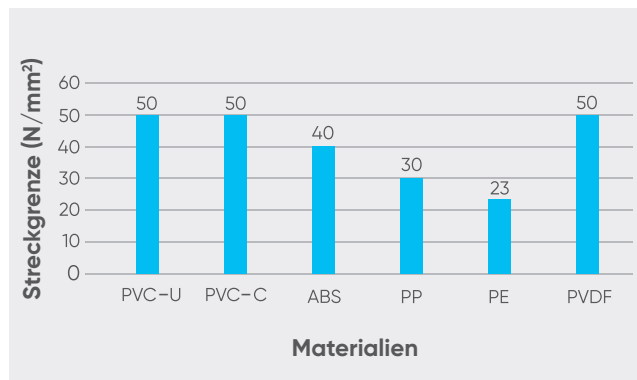


Streckgrenze

Ähnlich wie die Kerbschlagzähigkeit nach Charpy wird auch die Zugfestigkeit, oft auch als „Streckgrenze“ bezeichnet, zur Bestimmung der Schlagenergie eines Werkstoffs verwendet.

Die Streckgrenze ist die Fähigkeit eines Materials, einem Bruch zu widerstehen, nachdem es einer plötzlichen Kraft ausgesetzt war. Sie wird in N/mm^2 angegeben.

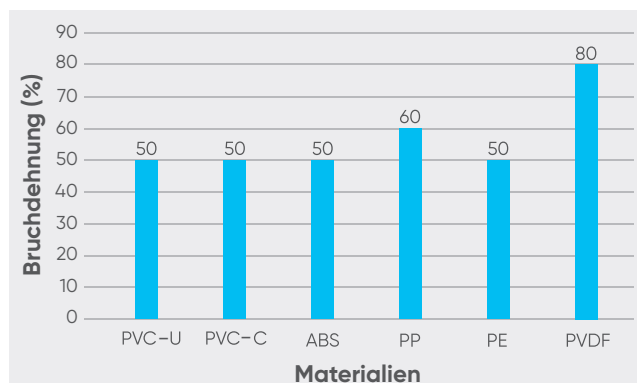
Das Diagramm auf der rechten Seite zeigt die Zugfestigkeitswerte verschiedener Thermoplaste.



Bruchdehnung

Die Bruchdehnung eines technischen Materials ist die prozentuale Längenzunahme, die eintritt, bevor es unter Spannung bricht. Bei Elastomeren und Folien/Verpackungspolyolefinen sind Bruchdehnungswerte von mehreren hundert Prozent üblich. Starre Kunststoffe, insbesondere faserverstärkte, weisen oft Werte unter 5 % auf. Die Kombination aus hoher Zugfestigkeit und hoher Dehnung führt zu Werkstoffen mit hoher Zähigkeit.

Das Diagramm auf der rechten Seite zeigt die Bruchdehnungswerte verschiedener Thermoplaste.



Shore-D-Härte

Die Shore-D-Härte ist eine genormte Prüfung, bei der die Eindringtiefe eines bestimmten Eindringkörpers gemessen wird.

Die zur Messung der Shore-D-Härte verwendeten Prüfverfahren entsprechen den Normen ASTM D2240 und ISO 868.

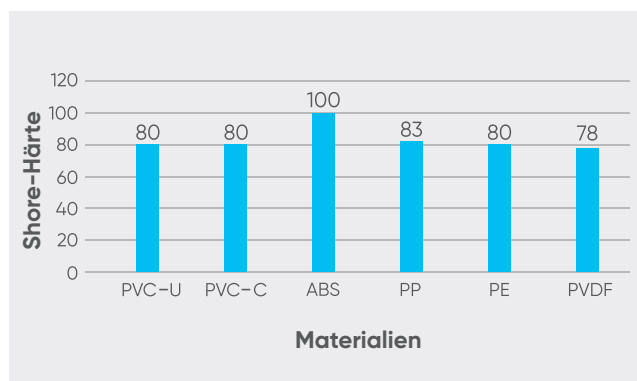
Der Härtewert wird durch das Eindringen des Durometer-Eindringkörpers in die Probe bestimmt.

Die Shore-Härte ist dimensionslos, die Werte liegen zwischen 0 und 100. Je höher die Zahl, desto härter das Material.

Die resultierende Tiefe ist abhängig von:

- Der Härte des Materials;
- Seiner Viskoelastizität;
- Der Form des Eindringkörpers;
- Der Dauer der Prüfung.

Das Diagramm rechts zeigt die Shore-D-Härtewerte verschiedener Thermoplaste.

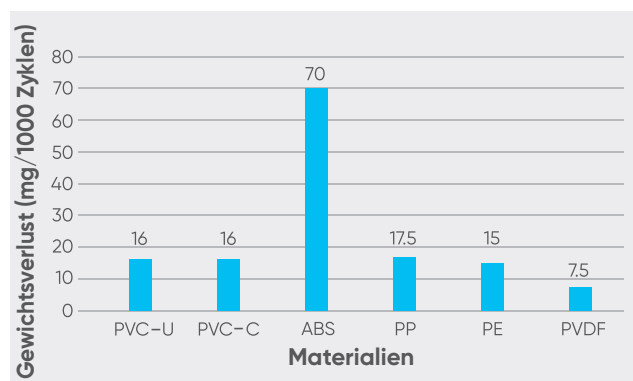


Abriebfestigkeit

Abriebfestigkeit ist eine Eigenschaft, die es einem Material ermöglicht, Verschleiß zu widerstehen. Die Abriebfestigkeit eines Werkstoffs trägt dazu bei, mechanischen Einwirkungen zu widerstehen und schützt ihn vor dem Abtragen von Materialien von seiner Oberfläche. Dadurch behält das Material seine Integrität und seine Form bei.

Die Abriebfestigkeit wird in der Regel in der Gesamtmenge des Gewichtsverlusts (mg/Zyklus) gemessen.

Das Diagramm rechts zeigt die Abriebfestigkeit verschiedener Thermoplaste.



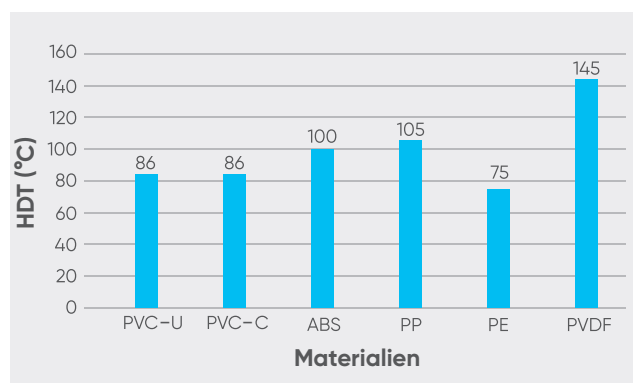
Wärmeformbeständigkeitstemperatur (HDT)

Die Wärmeformbeständigkeitstemperatur oder Wärmeverformungstemperatur (Heat Deflection Temperature oder Heat Distortion Temperature, HDT) ist die Temperatur, bei der sich eine Polymer- oder Kunststoffprobe unter einer bestimmten Belastung verformt.

Die Wärmeformbeständigkeitstemperatur wird nach dem folgenden, in ASTM D648 beschriebenen Prüfverfahren bestimmt.

Der Prüfling wird in Dreipunktbiegung in Kantenrichtung belastet. Die für die Prüfung verwendete äußere Faserspannung beträgt entweder 0,455 MPa oder 1,82 MPa, und die Temperatur wird mit 2 °C/min erhöht, bis sich die Probe um 0,25 mm durchbiegt. Dies entspricht dem in der ISO-Norm 75 definierten Prüfverfahren.

Das Diagramm rechts zeigt die Werte der Wärmeformbeständigkeitstemperatur (HDT) verschiedener Thermoplaste.

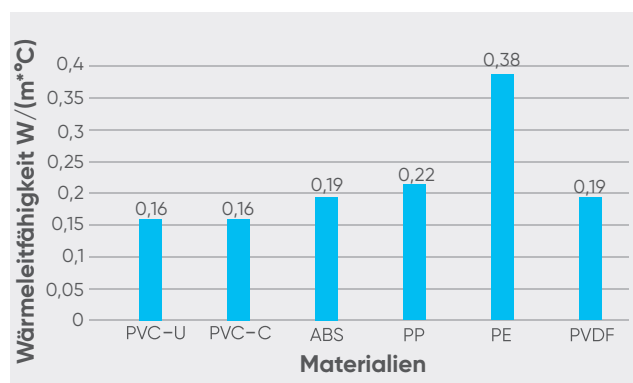


Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit eines Materials ist ein Maß für seine Fähigkeit, Wärme zu leiten.

Sie wird in W/(m*K) oder W/(m*°C) gemessen.

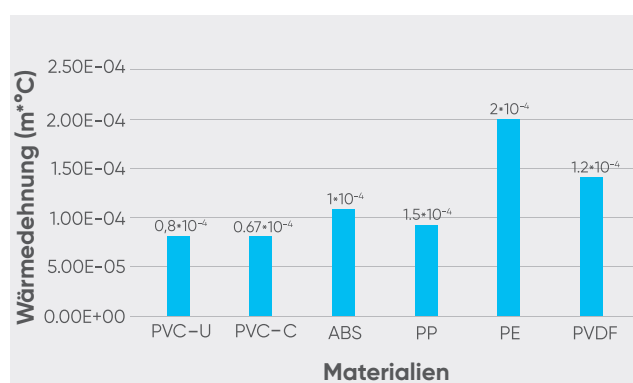
Das Diagramm auf der rechten Seite zeigt die Wärmeleitfähigkeitswerte verschiedener Thermoplaste.



Linearer Wärmeausdehnungskoeffizient

Unter thermischer Ausdehnung oder Wärmedehnung versteht man das Phänomen, dass sich ein Objekt oder ein Körper ausdehnt, wenn er erhitzt wird. Die Wärmeausdehnung ist bei Gasen und Flüssigkeiten am deutlichsten, kann aber auch bei Festkörpern erhebliche Auswirkungen haben. Er wird in m/(m*°C) gemessen.

Das Diagramm rechts zeigt die Werte des linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten verschiedener Thermoplaste.



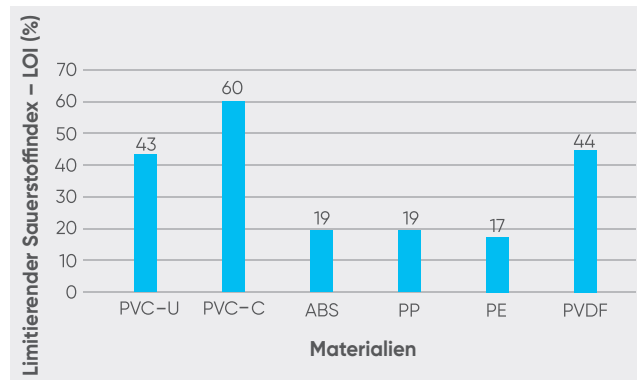
Brennverhalten

Das Brennverhalten eines Materials kann anhand seines Sauerstoffindex bestimmt werden.

Thermoplaste besitzen aufgrund ihrer hohen Flammpunkttemperatur, Selbstentzündungstemperatur oder ihres limitierenden Sauerstoffindex (LOI) etc. gute Verbrennungseigenschaften.

Der limitierende Sauerstoffindex (LOI) ist die in Prozent ausgedrückte Mindestkonzentration an Sauerstoff, die die Verbrennung eines Polymers unterstützt. Materialien mit einem LOI-Wert von weniger als 21 % werden als brennbar eingestuft, während Materialien mit einem LOI-Wert von mehr als 21 als selbstverlöschend bezeichnet werden, da ihre Verbrennung bei Umgebungstemperatur ohne Energiezufuhr von außen nicht aufrechterhalten werden kann. Materialien mit einem hohen LOI-Wert weisen im Allgemeinen eine bessere Brandbeständigkeit auf.

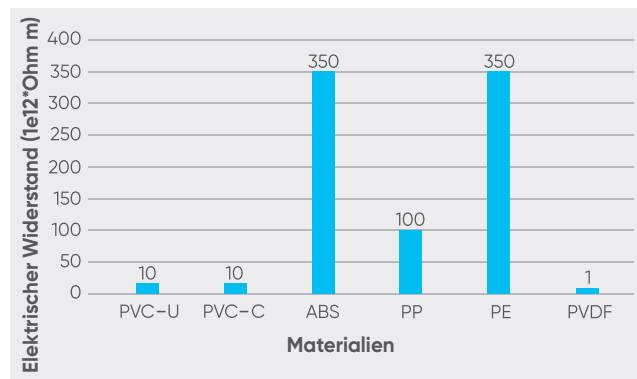
Das Diagramm rechts zeigt das Verbrennungsverhalten verschiedener Thermoplaste.



Elektrischer Widerstand

Thermoplaste eignen sich aufgrund ihrer hervorragenden elektrischen Eigenschaften gut für Kabelisolierungen und andere elektrische Produkte. Der elektrische Widerstand eines Materials wird in $\Omega \cdot m$ gemessen.

Das Diagramm auf der rechten Seite zeigt die elektrischen Widerstandseigenschaften verschiedener Thermoplaste.



1.1.5 Vorteile der Verwendung von Kunststoffen gegenüber Metallen

Der Bereich der Kunststoffharze entwickelt sich ständig weiter. Die wichtigsten Vorteile der Verwendung von Kunststoffen gegenüber Metallen sind Eigenschaften wie geringes Gewicht, Langlebigkeit, Wärmeleitfähigkeit und schnellere Verarbeitung.

Dank seiner hervorragenden chemischen und mechanischen Eigenschaften ist Kunststoff die beste Wahl für den Einsatz in industriellen Bereichen.

Mit der Entwicklung neuer Polymere ersetzen Kunststoffe in zahlreichen Branchen wie der Automobilindustrie, der medizinischen Behandlung, der Viehzucht, der Luft- und Raumfahrt und dem Gastgewerbe rasch ihre Gegenstücke aus Metall.

Die sieben wesentlichen Vorteile der Verwendung von Kunststoffen gegenüber Metallen für verschiedene industrielle Anwendungen sind:

Gestaltungsfreiheit

Kunststoffe werden aus verschiedenen Harzen hergestellt, von denen jedes seine eigenen speziellen Eigenschaften besitzt. Im Allgemeinen bieten aber alle Kunststoffpolymere im Vergleich zu Metallen eine höhere Flexibilität. Für Branchen, die mehr Optionen in Bezug auf Gestaltung, Oberflächenstruktur und Geometrie benötigen, sind Kunststoffe die bessere Wahl.

Ein entscheidender Vorteil von Kunststoffen gegenüber Metallen ist ihre leichte Formbarkeit bei gleichzeitig metallähnlicher Beständigkeit.

Für industriell gefertigte Teile, die komplexe Formen, ästhetisch ansprechende Designs oder ein geringes Gewicht erfordern, bieten sich Kunststoffe anstelle von Metallen an.

Moderne Verfahren wie das Kunststoffspritzgießen ermöglichen die Herstellung von Gussformen und -teilen mit hochkomplexen Geometrien und einer Effizienz, die der von Metallen gleichkommt.

Wirtschaftlichkeit

Kunststoff bietet gegenüber Metallen verschiedene Vorteile. In Anbetracht der langfristigen Vorteile sind Kunststoffe im Vergleich zu ihren Pendanten aus Metall eine budgetfreundliche Option, da sie korrosionsfrei sind und eine größere Widerstandsfähigkeit gegenüber chemischen Einflüssen aufweisen.

Moderne Kunststoffe sind sehr widerstandsfähig, so dass sie während des Transports oder der Verwendung seltener beschädigt werden, was zur Kosteneffizienz beiträgt.

Gewicht

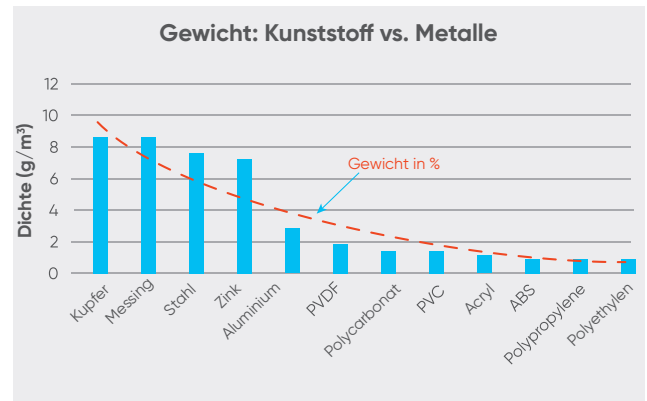
Die Verringerung des Gewichts von Bauteilen ist eines der größten Anliegen verschiedener Branchen wie der Automobil-, Luftfahrt- und Medizintechnik. Die spezifische Dichte der üblicherweise verwendeten Metalle ist wie folgt:

- Aluminium: 2,5-2,8 (g/cm³);
- Messing: 8,4-8,7 (g/cm³);
- Stahl: 7,7 (g/cm³);
- Zink: 6,9-7,2 (g/cm³);
- Kupfer: 8,8 (g/cm³).

Im Vergleich dazu haben Kunstharze eine viel geringere spezifische Dichte, was sie leicht macht:

- Polycarbonat: 1,2-1,4 (g/cm³);
- Polyethylen: 0,92-0,95 (g/cm³);
- Polypropylen: 0,90-1,04 (g/cm³);
- ABS: 1,04-1,12 (g/cm³);
- Acryl: 1,15-1,2 (g/cm³);
- PVC: 1,4 (g/cm³);
- PVDF: 1,78 (g/cm³).

Das geringere Gewicht von Kunststoffen gegenüber Metallen trägt zur Kostenersparnis bei: Kunststoffrohre ermöglichen einen leichteren Transport und folglich eine billigere und einfachere Installation.



Recyclingfähigkeit

Mit den jüngsten technologischen Fortschritten wird das Recycling von Kunststoffen immer beliebter. Fast alle Thermoplaste können wiederverwendet werden. Gebrauchte Kunststoffe können eingeschmolzen und mehrfach wiederverwendet werden, was sie zu einer wirtschaftlicheren Lösung für Industrieunternehmen macht. Der Gesamtanteil der recycelten Kunststoffe variiert je nach Region, wobei die EU weltweit an dritter Stelle steht.

Lebensdauer

Die hohe Widerstandsfähigkeit von Kunststoffen gegenüber Korrosion, chemischen und physikalischen Einflüssen, Witterungs- und Umwelteinflüssen ist einer der Hauptvorteile von Kunststoffen gegenüber Metallen: Metalle sind sehr anfällig für Korrosion, chemische Einflüsse und Witterungseinflüsse, was ihre Gesamtlebensdauer verringert.

Sicherheit

Die Herstellung von Metallteilen erfolgt bei einer höheren Temperatur als die von Kunststoffen: Die Schmelztemperatur des Metalls ist immer höher als die Schmelztemperatur des Kunststoffs. Daher erfordert die Herstellung von Metallen mehr Aufmerksamkeit als die Herstellung von Kunststoffen in Bezug auf den Umgang mit höheren Arbeitstemperaturen.

Schnellere Herstellung

Die Herstellung von Kunststoffen geht schneller als die von Metallen.

Bei der Arbeit mit Kunststoffen können Konstrukteure mehrere Teile in eine einzige Form integrieren, was den gesamten Produktionszyklus verkürzt und zur Kosteneffizienz beiträgt.



1.1.6 Kunststoffe und Umwelt

Die Lebenszyklusanalysen (LCAs) von Aliaxis gewährleisten unser Engagement für den Umweltschutz.

Da immer mehr öffentliche Einrichtungen und Kunden die nachhaltigen Eigenschaften der von ihnen gekauften Produkte genau kennen möchten und wir analysieren wollen, wie wir unsere Produkte weiter verbessern können, haben wir ein LCA-Paket entwickelt, das es unseren Unternehmen ermöglicht, von allen von uns durchgeführten LCAs zu profitieren. Wir wollen Entscheidungsträgern und Architekten Informationspakete zu all unseren Produkten zur Verfügung stellen, damit sie Entscheidungen für eine nachhaltige Zukunft treffen können.

Diese Analysen bestätigen, dass unsere Rohrleitungssysteme aus Kunststoff umweltfreundlichere und bessere Alternativen zu Rohren aus anderen Materialien sind.

Darüber hinaus führt Aliaxis in Zusammenarbeit mit spezialisierten Unternehmen und Kunden Pilotprojekte in Europa und Australien durch, um Abfallmaterialien zu sammeln, zu recyceln und diese recycelten Materialien in der Produktion wiederzuverwenden, um ein Recyclingsystem mit geschlossenem Kreislauf zu erzielen. Damit reagieren wir auf die wachsenden Erwartungen der Kunden und der Gesellschaft in Bezug auf die Umwelteigenschaften unseres Produktangebots.

Energieeinsparung

Neben den bekannten technologischen Vorteilen, wie z. B. der Korrosionsbeständigkeit, sind auch die ökologischen Vorteile von Kunststoffen von Bedeutung. Kunststoffe eignen sich aufgrund ihres geringen Gewichts und ihrer isolierenden Eigenschaften ideal für eine Vielzahl energieeffizienter Anwendungen in Autos, Verpackungen, Isolierungen und Rohrleitungssystemen.

In einer Studie hat Plastics Europe quantifiziert, wie sich Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen auf Kunststoffprodukte auswirken, indem sie diese durch andere Materialien ersetzen.

Ergebnisse der Studie von Plastics Europe

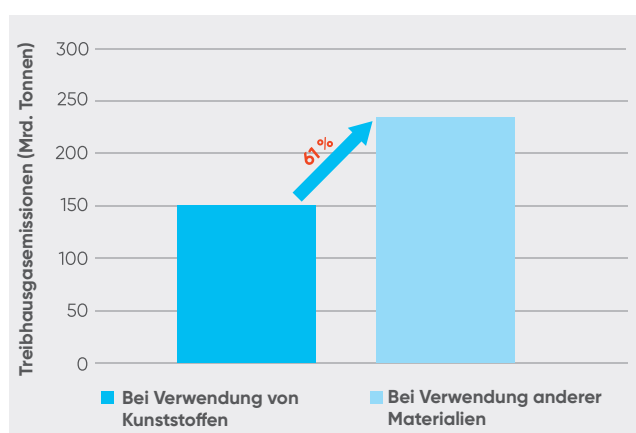
Weniger Treibhausgasemissionen bei der Herstellung

Die Herstellung von Kunststoffprodukten erfordert in der Regel weniger Energie als die von alternativen Materialien, insbesondere in Bereichen wie Verkehr, Bauwesen, Verpackung und elektronische Geräte. Würden Kunststoffe durch alternative Materialien ersetzt, würde der Energieverbrauch über den gesamten Lebenszyklus um etwa 57 % steigen, und die Treibhausgasemissionen würden um 61 % zunehmen.

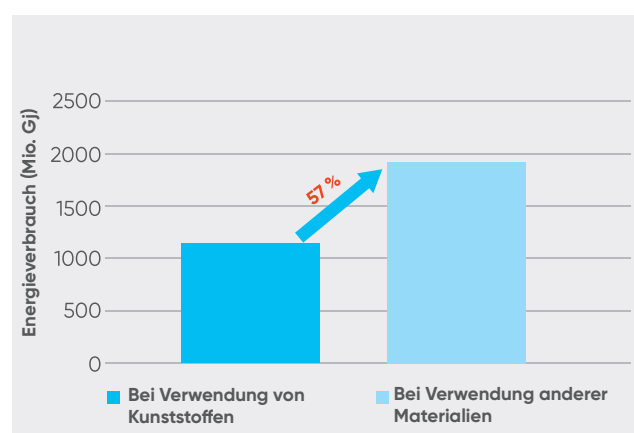
Die nachstehenden Diagramme können als Referenz verwendet werden, um den Anstieg der Treibhausgasemissionen und des Energieverbrauchs bei der Verwendung anderer Materialien im Vergleich zu Kunststoffen zu veranschaulichen.

Hinweis: Die Werte der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen (150 Milliarden Tonnen) und des Energieverbrauchs (1200 Millionen GJ) bei der Verwendung von Kunststoffen wurden grob geschätzt, um zu zeigen, wie sich der Anstieg dieser Werte bei der Verwendung der anderen Materialien auswirkt.

Treibhausgasemissionen



Energieverbrauch



Kunststoff spart Energie im Verkehr

Die energieeffizientesten Autos könnten heute nicht funktionieren und werden auch in Zukunft nicht ohne Kunststoffe auskommen. Im Einklang mit dem Ziel, die CO₂-Emissionen im Verkehr bis 2050 um 60 % zu senken, tragen Kunststoffe nicht nur zur Reduzierung des Gesamtgewichts des Fahrzeugs bei, was zu einem geringeren Kraftstoffverbrauch führt, sondern liefern der Automobilindustrie auch Hochleistungswerkstoffe, die bei der Entwicklung von kohlenstoffarmen Lösungen wie Hybrid-, Elektro- und Wasserstoffautos eine entscheidende Rolle spielen. Ein moderner Mittelklassewagen enthält bis zu 15 % Kunststoffmaterialien, von Karosserieteilen bis zu Innenverkleidungen, Airbags, Teppichen und Reifen. Kunststoffe haben sich auch als Konstruktionswerkstoff für Busse und Bahnen durchgesetzt, was Energie-, Investitions- und Wartungskosten spart.

Kunststoffe sparen Energie beim Bauen und Konstruieren

Gebäude machen etwa 40 % des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen in der EU aus. Kunststoffe können dazu beitragen, diesen Energieverbrauch zu senken.

9 von 10 aktuell genutzten Gebäuden werden im Jahr 2050 noch stehen und bewohnt sein. Daher sind sowohl die Renovierung vorhandener Gebäude als auch der Bau energieeffizienter neuer Gebäude notwendig, um die EU-Ziele in diesem Bereich zu erreichen. Kunststoffe können dabei eine Schlüsselrolle spielen, da sie eine einzigartige Kombination aus Umweltfreundlichkeit, Kosteneffizienz und langfristiger Zuverlässigkeit bieten.

Effiziente Isolierung

In Gebäuden sorgen Kunststoffe für eine effektive Isolierung gegen Kälte und Hitze und verhindern Luftleckagen. Isoliermaterialien aus Kunststoff verbrauchen etwa 16 % weniger Energie und stoßen 9 % weniger Treibhausgase aus als alternative Materialien. Über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg sparen Dämmplatten aus Kunststoff das 150-fache der Energie ein, die für ihre Herstellung benötigt wird.

Erneuerbare Energien

Rotorblätter und Photovoltaikmodule von Windkraftanlagen enthalten große Mengen an Kunststoffen, die so zur effizienten Erzeugung erneuerbarer Energien beitragen. In diesen beiden Anwendungen sparen Kunststoffe das 140- bzw. 340-fache der bei ihrer Herstellung entstehenden Emissionen ein.

1.1.7 Herstellungs- und Verarbeitungsverfahren

1.1.7.1 Polymerisation

Kunststoffe werden aus rohen, organischen Produkten wie Zellulose, Stahl, Erdgas, Salz und natürlich Erdöl hergestellt.

Die Herstellung von Kunststoffen beginnt in einer Erdölraffinerie mit der Destillation des Rohöls: Durch die Destillation wird das schwere Rohöl in Gruppen von leichteren Bestandteilen, den so genannten Fraktionen, aufgeteilt. Jede Fraktion ist ein Gemisch aus Kohlenwasserstoffketten, die sich in ihrer molekularen Größe und Struktur unterscheiden.

Die Schlüsselverbindung für die Herstellung von Kunststoffen ist eine dieser Fraktionen, Naphtha. Naphtha wird in einem thermischen Crackverfahren aufgebrochen und in Ethylen, Propylen, Butylen und andere Kohlenwasserstoffverbindungen überführt.

Die meisten der dafür verwendeten Rohstoffe stammen aus der Erdölraffination, in einigen Fällen werden aber auch Rohstoffe aus erneuerbaren Quellen verwendet. Nur etwa 4 % der Rohölerzeugnisse aus der Raffinerie gehen an den Kunststoffmarkt, was im Gegensatz zu den Schätzungen steht.

Kunststoffe entstehen, indem viele verwandte Grundbausteine, die so genannten Monomere, durch eine chemische Bindung miteinander verbunden werden.

Die Reaktion, bei der sich diese Monomere zu langen Ketten oder dreidimensionalen Netzwerken verbinden, wird als Polymerisation bezeichnet.

Die Polymerisation kann in zwei Kategorien eingeteilt werden:

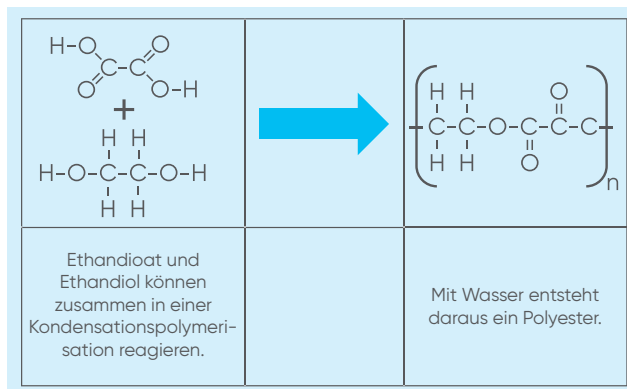
- Stufenwachstums- oder Kondensationspolymerisation;
- Kettenwachstums- oder Additionspolymerisation.

Stufenwachstums- oder Kondensationspolymerisation

Wenn Monomermoleküle bei der Wachstumspolymerisation reagieren, um eine Bindung zu bilden, ersetzen sie einige andere, die als Nebenprodukt der Reaktion angesehen werden.

Die Art der Polymere, die aus einer Kondensationspolymerisation resultieren, hängt von den Monomeren ab: Wenn das Monomer nur eine reaktive Gruppe hat, haben die Polymere ein niedriges Molekulargewicht, wenn Monomere zwei reaktive Endgruppen haben, erhalten wir lineare Polymere. Monomere mit mehr als zwei reaktiven Gruppen ergeben ein Polymer mit einem dreidimensionalen Netzwerk.

Polyester und Nylon sind zwei gängige Kondensationspolymere, aber auch Proteine und Kohlenhydrate sind das Ergebnis einer Kondensationspolymerisation.

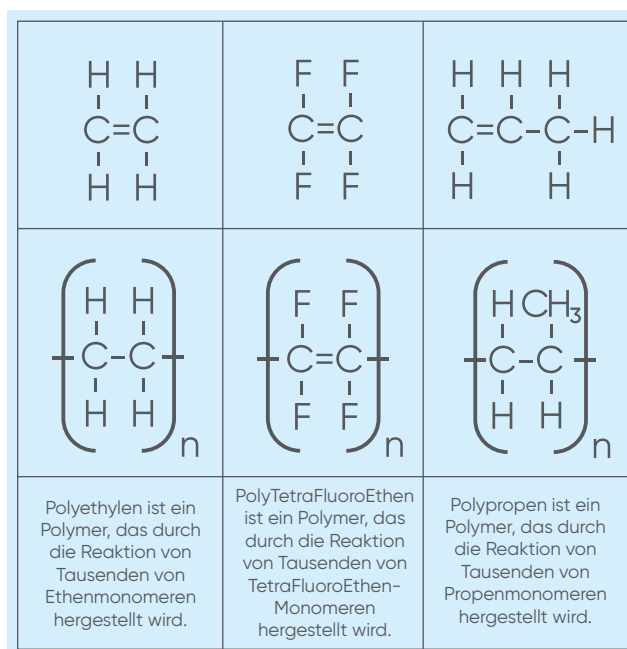


Kettenwachstums- oder Additionspolymerisation

Bei der Additionspolymerisation ordnen sich die sich wiederholenden Monomere je nach Art des Monomers neu an und bilden eine neue lineare oder verzweigte Struktur, ohne dass ein Atom oder ein Molekül verloren geht.

Es gibt vier Arten von Additionspolymerisationen:

- Radikalische Polymerisation: Das Polymer wird durch sukzessive Zugabe von radikalischen Bausteinen gebildet. Sie verbinden sich bei der radikalischen Polymerisation zu einer aufeinander folgenden Kette;
- Kationische Polymerisation: Ein kationischer Initiator überträgt Ladung auf ein Monomer, das dann reaktiv wird. Dieses reaktive Monomer reagiert in ähnlicher Weise mit anderen Monomeren und bildet ein Polymer;
- Anionische Vinylpolymerisation: Sie beinhaltet die Polymerisation von insbesondere Vinylpolymeren mit einer starken elektronegativen Gruppe zur Bildung einer Kettenreaktion;
- Koordinationspolymerisation: Sie wurde von den beiden Wissenschaftlern Ziegler und Natta entdeckt, die für ihre Arbeit einen Nobelpreis erhielten. Sie entwickelten einen Katalysator, mit dem sich die radikalische Polymerisation kontrollieren lässt. Dabei entsteht ein Polymer, das eine höhere Dichte und Festigkeit aufweist.



1.1.7.2 Spritzgießen und Extrusion

Die Verarbeitung von Kunststoffen erfolgt mit Hilfe verschiedener Kunststoffverarbeitungsmaschinen, die Rohkunststoff, meist in Granulatform, in Halfertigprodukte umwandeln.

Im folgenden Abschnitt werden die wichtigsten Kunststoffbearbeitungsmaschinen kurz skizziert und ihre Funktionen und Anwendungen in einfachen Worten erläutert.

Für Rohrleitungssysteme von Aliaxis werden verschiedene Kunststoff-Herstellungungsverfahren verwendet.

Man unterscheidet zwischen Spritzgießen und Extrusion: Für die Herstellung von Formstücken und Armaturen wird das Spritzgießverfahren verwendet, für Rohre das Extrusionsverfahren.

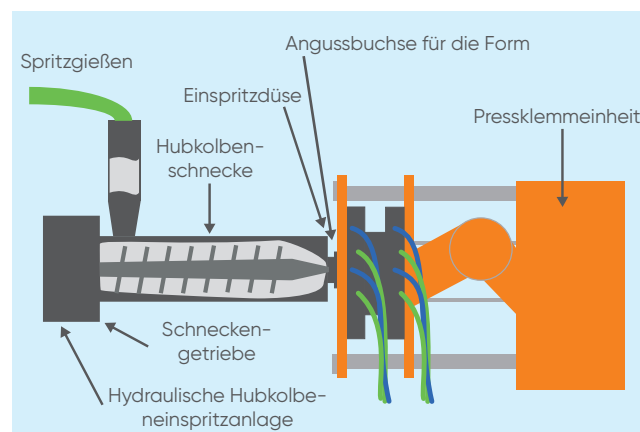
Spritzgießen

Das Spritzgießen ist eines der gängigsten Verfahren zur Herstellung von Kunststoffen, die aus Thermoplasten bestehen. Es basiert auf dem Verfahren des Flüssigdruckgusses und besteht aus der Schließeinheit und der Spritzeinheit.

Der Prozess

Das Kunststoffharz wird in den Trichter gegeben, der dann die Kunststoffpellets aus dem Zuführungsabschnitt in den Verdichtungsabschnitt befördert, wo die Reibungswärme erzeugt wird. Der Kunststoff wird mit Hilfe eines Schneckenkolbens durch eine lange Kammer gedrückt. Der geschmolzene flüssigkeitsartige Kunststoff, die so genannte Schmelze, wird durch die Düse in eine geschlossene, gekühlte/ heiße Form gepresst. Die Schmelze lässt sich leicht in die gewünschte Form und Größe der Form bringen.

Beim Füllen und Druckbeaufschlagung der Form wird hier ein Teil des Kühlvorgangs durchgeführt. Schließlich wird durch den Auswerferzylinder bzw. die Auswerferstifte die Form geöffnet und das Teil aus der Form auf ein Förderband geschoben.



Vorteile

Die Vorteile dieses Verfahrens sind:

- Dieses Verfahren wird insbesondere zur Herstellung von dreidimensionalen Objekten verwendet;
- Minimierung von Abfällen und Wiederverwertung von Material;
- Detaillierte Merkmale und komplexe Geometrien können erstellt werden;
- Die Festigkeit des Teils nach dem Gießen wird erhöht.

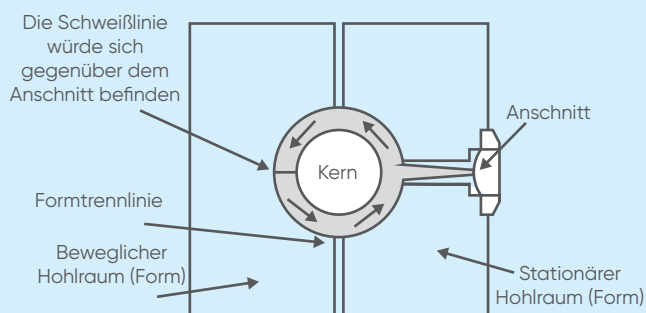
Verbindungsnahtlinie

Beim Spritzgießen bleibt oft eine Naht- oder Schweißlinie zurück, an der die Formteile zusammengefügt werden.

Anders ausgedrückt handelt es sich bei einer Naht- oder Schweißlinie um eine sichtbare Linie an einem Formteil, sowohl innen als auch außen, an der das Kunststoffmaterial während des Spritzgießvorgangs verschmilzt.

Eine solche Naht- oder Schweißlinie ist nicht zu verwechseln mit der Formtrennlinie, die ebenfalls auf einem Formteil zu sehen ist: Die Trennlinie wird von den beiden Hälften eines zusammenpassenden Formhohlraums gebildet. Trennlinien sind in der Regel deutlich sichtbarer als Schweißlinien.

In der Regel hat diese Linie keinen Einfluss auf die Gesamtform oder -größe des Bauteils, kann aber je nach Gussform, Materialform, Materialfarbe und Verarbeitungsbedingungen in unterschiedlichem Maße visuell wahrnehmbar sein. Es gibt viele Möglichkeiten, diese Linie auf dem geformten Bauteil weniger sichtbar zu machen, aber da das Spritzgießen auf einer zweiteiligen Form beruht, kann sie nie ganz beseitigt werden.



Extrusion

Bei dieser Technik werden Materialien durch eine Matrize extrudiert oder gepresst, um Formen mit konstantem Querschnitt wie Fensterausschnitte, Trinkhalme, Rohre und Dichtungen herzustellen.

Der Prozess

Das zu schmelzende Material wird dem Extruder zugeführt, in der Regel in Granulatform. In standardisierten Einschneckenextrudern werden häufig dreiteilige Schnecken zusammen mit Barrierschnecken eingesetzt.

Das plastifizierte Material wird durch die Düse gepresst und in einer Schlicht- und Kühlstrecke abgekühlt.

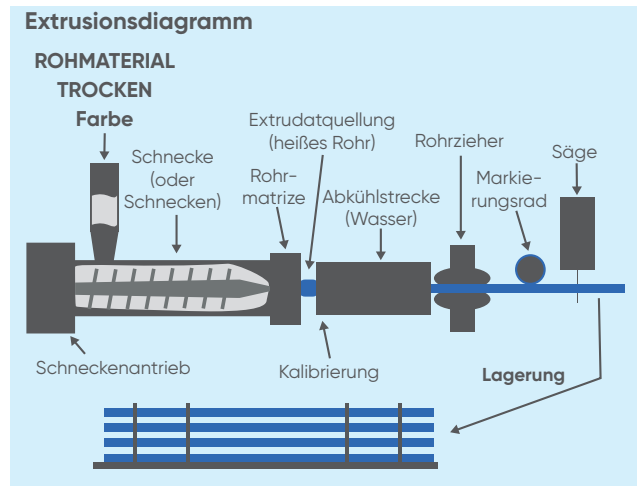
Durch diesen Vorgang wird der Kunststoff, insbesondere die Makromolekülketten, in eine Anordnung und Ausrichtung gezwungen. Dieser Vorgang wird fachsprachlich als „Orientierung“ bezeichnet. Die Extrusion erfolgt kontinuierlich, ohne Unterbrechung, es sei denn, die Maschine wird abgeschaltet oder mit neuem Material versorgt.

Vorteile

Einige der Vorteile des Extrusionsverfahrens sind:

- Formen von harten und spröden Materialien;
- Gut für die Erzeugung von atypischen Querschnitten geeignet;
- Gewährleistet eine glatte Oberfläche des Endprodukts;
- Änderungen am Produkt, nachdem es aus dem Extruder entfernt wurde;
- Komplexe Formen können mit unterschiedlicher Dicke, Texturen und Farben hergestellt werden.

Neben dem Spritzgießen und Extrudieren stehen auch noch weitere Verfahren zur Verarbeitung von Kunststoffen zur Verfügung. Dazu zählen beispielsweise der 3D-Druck und das Formpressen.



3D-Druck

Der 3D-Druck wird manchmal auch als additive Fertigung bezeichnet. Der 3D-Druck kann bei der Herstellung von Prototypen eines Modells nützlich sein und ist eine sich entwickelnde Technologie, die verschiedene Vorteile bietet. Einer der Hauptvorteile des 3D-Drucks ist die Möglichkeit, sehr komplexe Formen oder Geometrien herzustellen, deren manuelle Fertigung kompliziert oder nicht kosteneffizient wäre, z. B. durch das Formen von Hohlkörpern oder Teilen mit internen Fachwerkstrukturen zur Gewichtsreduzierung.

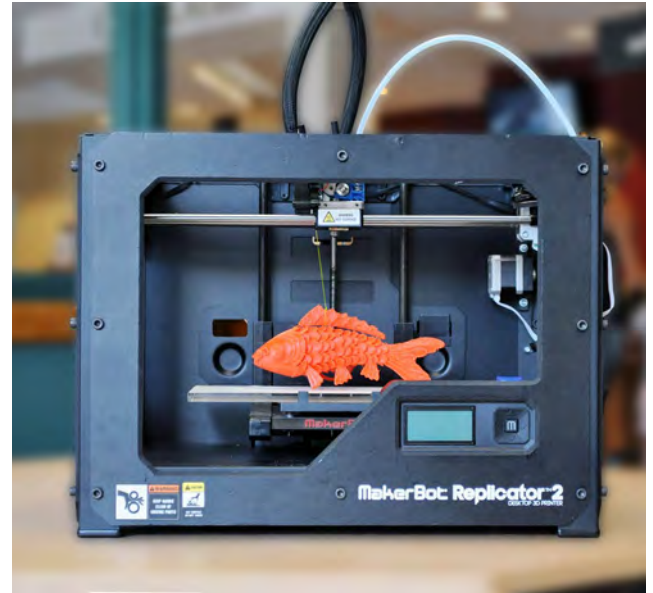
Der Prozess

Eine Software erstellt einen Objektentwurf, während der 3D-Drucker das Objekt herstellt, indem er Schicht für Schicht Material hinzufügt, bis die Form des Objekts entstanden ist.

Fused Deposition Modeling (FDM) ist das heute am häufigsten verwendete 3D-Druckverfahren.



Die Abbildung links zeigt ein Beispiel für ein Produkt, das mit Hilfe eines 3D-Druckers hergestellt wurde: Das schwarze Gitter hinter der gelben Position des linearen FIP-Endschalters.



Vorteile

Einige der Vorteile des 3D-Druckverfahrens sind:

- Sehr nützlich für Produkttests, da ein realistisches Bild des Prototyps vermittelt wird, um ihn physisch zu testen und Fehler in der Konstruktion zu erkennen;
- Produkte mit komplexen Formen und Geometrien können problemlos im 3D-Druck hergestellt werden;
- Weniger Abfall;
- Kostengünstig, wenn dieses Verfahren für hohe Stückzahlen eingesetzt wird;
- Umweltfreundlich: reduzierter CO₂-Fußabdruck
- Billiger als jede andere Fertigungslösung.

Formpressen

Das Formpressen ist ein gängiges Verfahren, das sowohl für thermoplastische als auch für duroplastische Materialien verwendet wird. Dieses Verfahren wird jedoch hauptsächlich für duroplastische Materialien in der Industrie eingesetzt. Typischerweise werden duroplastische Verbindungen wie Polyester, Phenolharze, Melamine und andere Harzsysteme unter Verwendung abwechselnder Schichten aus verschiedenen Verstärkungsmaterialien zu einem Endprodukt verpresst.

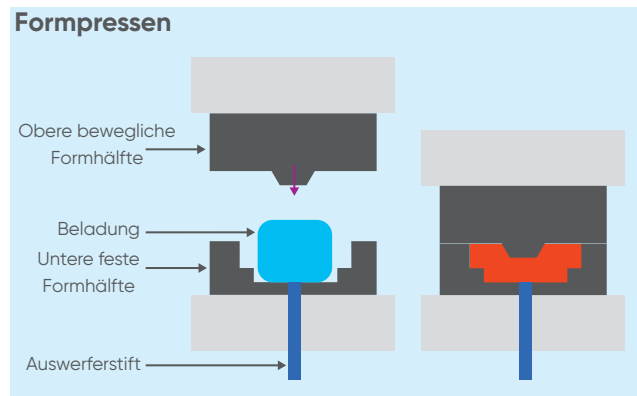
Der Prozess

Beim Formpressen wird das Kunststoffmaterial (in Form von Granulat oder Pellets) in einen Formhohlraum eingebracht, in dem es durch Hitze und Druck geformt wird. Durch die Hitze und den Druck werden die Materialien in alle Bereiche der Form gepresst. Der Hitze- und Druckzyklus des Prozesses härtet das Material aus, so dass es anschließend entfernt werden kann.

Vorteile

Einige der Vorteile des Formpressverfahrens sind:

- Es entstehen nur sehr geringe oder gar keine Restspannungen;
- Große Teile können wirtschaftlich hergestellt werden;
- Die Werkzeugkosten sind relativ gering;
- Besser geeignet für die Verarbeitung von Duroplasten.



1.2 Vinyl- und Styrolpolymere

1.2.1 Weichmacherfreies Polyvinylchlorid (PVC-U)

PVC (Polyvinylchlorid)

PVC ist das weltweit am dritthäufigsten hergestellte synthetische Kunststoffpolymer (nach Polyethylen und Polypropylen). Jährlich werden etwa 40 Millionen Tonnen PVC produziert. Reines Polyvinylchlorid ist ein weißer, spröder Feststoff. Es ist unlöslich in Alkohol, aber leicht löslich in Tetrahydrofuran.

PVC wurde 1872 von dem deutschen Chemiker Eugen Baumann nach umfangreichen Untersuchungen und Experimenten synthetisiert. Das Polymer erschien als weißer Feststoff in einem Fläschchen mit Vinylchlorid, das vier Wochen lang in einem vor Sonnenlicht geschützten Regal gestanden hatte. Anfang des 20. Jahrhunderts versuchten der russische Chemiker Iwan Ostromislenski und Fritz Klatte vom deutschen Chemieunternehmen Griesheim-Elektron, PVC in kommerziellen Produkten zu verwenden. Schwierigkeiten bei der Verarbeitung des harten, manchmal spröden Polymers machten ihre Bemühungen jedoch zunichte. Waldo Semon und die B.F. Goodrich Company entwickelten 1926 ein Verfahren zur Plastifizierung von PVC durch Vermischung mit verschiedenen Zusatzstoffen. Das Ergebnis war ein flexibleres und leichter zu verarbeitendes Material, das schon bald eine breite kommerzielle Verwendung fand.

Im Allgemeinen enthält PVC etwa 56 % Chlor. Abhängig von der Zugabe bestimmter Inhaltsstoffe entstehen verschiedene Arten von PVC: Bei Aliaxis bieten wir PVC-U (weichmacherfreies PVC) und PVC-C (chloriertes PVC) in hoher Qualität an, um den Wünschen unserer Kunden gerecht zu werden.

Die verschiedenen Formulierungen, die durch die Zugabe von geeigneten Additiven und Stabilisatoren erreicht werden, machen PVC-U zum vielseitigsten aller Kunststoffe, der für viele Anwendungen mit unter Druck stehenden Flüssigkeiten eingesetzt werden kann.








PVC-U ist eine der wirtschaftlichsten Lösungen im Bereich der thermoplastischen und metallischen Werkstoffe zur Lösung von Problemen beim Transport korrosiver chemischer Flüssigkeiten und bei der Verteilung und Aufbereitung von Wasser im Allgemeinen.



1954 war FIP das erste Unternehmen, das PVC-U-Kunststoffarmaturen herstellte.

Eigenschaften von PVC-U

Dichte	
Prüfverfahren	ISO 1183 – ASTM D792
Maßeinheit	g/cm ³
Wert	1,38
Elastizitätsmodul	
Prüfverfahren	ISO 527
Maßeinheit	MPa = N/mm ²
Wert	3200
Charpy-Schlagzähigkeit bei 23 °C	
Prüfverfahren	ASTM D256
Maßeinheit	KJ/m ²
Wert	5-8
Bruchdehnung	
Prüfverfahren	ISO 527
Maßeinheit	%
Wert	50
Shore-Härte	
Prüfverfahren	ISO 868
Maßeinheit	Shore D
Wert	80
Zugfestigkeit	
Prüfverfahren	ISO 527
Maßeinheit	MPa = N/mm ²
Wert	50
VICAT Erweichungspunkt (B/50)	
Prüfverfahren	ISO 306
Maßeinheit	°C
Wert	76
Wärmeformbeständigkeitstemperatur HDT (0,46 N/mm²)	
Prüfverfahren	ASTM D648
Maßeinheit	°C
Wert	86
Wärmeleitfähigkeit bei 23 °C	
Prüfverfahren	DIN 52612-1 – ASTM C177
Maßeinheit	W/(m °C)
Wert	0,16
Linearer Wärmeausdehnungskoeffizient	
Prüfverfahren	DIN 53752 – ASTM D696
Maßeinheit	m/(m °C)
Wert	8 x 10 ⁻⁵
Limitierender Sauerstoffindex	
Prüfverfahren	ISO 4859-1 – ASTM D2863
Maßeinheit	%
Wert	43

Eigenschaften	Vorteile
UV- und Wetterbeständigkeit	 <p>PVC-U besitzt eine sehr gute Witterungsbeständigkeit. Stärkere Sonneneinstrahlung, Wind und Regen schaden dem Material kaum. In kritischen Anwendungen sollte das Material jedoch vor übermäßiger Sonneneinstrahlung geschützt werden. Für geeignete Sicherheitsmaßnahmen wenden Sie sich bitte an Ihre Kontaktperson bei Aliaxis Deutschland.</p>
Chemische Beständigkeit	 <p>PVC-U-Kunststoffe besitzen eine ausgezeichnete chemische Beständigkeit gegen die meisten Säuren und Laugen, Paraffin/aliphatische Kohlenwasserstoffe und Salzlösungen. Es wird nicht empfohlen für den Transport polarer organischer Verbindungen, einschließlich einiger Arten chlorierter und aromatischer Lösemittel. PVC-U-Kunststoffe sind auch vollständig kompatibel mit dem Transport von Lebensmitteln, entmineralisiertem Wasser, Trinkwasser und unbehandeltem Wasser, wie es die geltenden nationalen und internationalen Normen vorsehen. Für spezielle Anwendungen gibt Ihnen der Aliaxis-Leitfaden zur chemischen Beständigkeit auf unserer Homepage weitere Auskunft.</p>
Gute thermische und mechanische Eigenschaften	 <p>PVC-U-Kunststoffe weisen eine gute thermische Stabilität in einem Temperaturbereich zwischen 0 °C und 60 °C auf und werden typischerweise in der Industrie und in der Wasserversorgung eingesetzt, wobei sie eine ausgezeichnete mechanische Festigkeit, eine für den Zweck ausreichende Steifigkeit, einen geringen Wärmeausdehnungskoeffizienten und hohe Sicherheitsfaktoren im Betrieb gewährleisten.</p> <p>PVC-U-Kunststoffe zeichnen sich durch eine geringe Sauerstoffdurchlässigkeit und eine verminderte Wasseraufnahme (0,1 % bei 23°C) aus. Die thermische Stabilität des Materials führt zu einer guten Schlagzähigkeit und der Fähigkeit, je nach spezifischer Produktdruckstufe Betriebsdrücken von 4 bar, 6 bar, 10 bar und 16 bar bei 20 °C standzuhalten.</p>
Alterungsbeständigkeit	 <p>PVC-U-Kunststoffe weisen eine hohe Bruchfestigkeit in Umfangsrichtung auf (Erforderliche Mindestfestigkeit MRS ≥ 25,0 MPa bei 20 °C) und ermöglichen eine lange Lebensdauer der Installation, ohne Anzeichen einer signifikanten physikalisch-mechanischen Verschlechterung zu zeigen.</p>
Abriebfestigkeit	 <p>Die Mischung von PVC-U-Kunststoffen, Gleitmitteln, Modifikatoren und zahlreichen Additiven in den heutigen Formmassen führt in Verbindung mit neuen Extrusionsverfahren zu einem widerstandsfähigen Rohrleitungsprodukt mit hervorragender Abriebfestigkeit. Als Rohrleitungsmaterial für die Förderung von abrasiven Medien wird häufig PVC-U gewählt. Im Vergleich zu anderen Materialien ermöglicht die natürliche Abriebfestigkeit von Vinyl eine deutliche Verbesserung der Lebenserwartung.</p> <p>Bei der Förderung von Bergbau- und Sandschlämmen führte die Installation von Vinylrohren beispielsweise zu einem wesentlich geringeren Abrieb, einer drastischen Verringerung des Wartungsaufwands und einer verbesserten Langlebigkeit der Geräte im Vergleich zu herkömmlichen metall- oder gummibeschichteten Stahlrohren.</p>
Brennverhalten	 <p>PVC-U-Verbindungen sind auch bei einer Flamm punktttemperatur von 399 °C feuerbeständig. Eine günstige Verbrennungsaktivität ist auf den hohen Chlorgehalt von PVC-U zurückzuführen. Die Selbstentzündung erfolgt erst bei 450 °C durch Temperatureinflüsse.</p> <p>Bei offener Flamme brennt PVC-U, erlischt aber unmittelbar nach dem Entflammen. Der Sauerstoffindex (LOI) liegt bei 43 %. Bekanntlich ist ein Kunststoffgehalt mit einem Sauerstoffindex unter 21 % brennbar. Da bei der Verbrennung von PVC-U Chlorwasserstoff entsteht, der in Verbindung mit Wasser eine korrosive Säure bildet, ist nach einer Verbrennung eine sofortige Reinigung von korrosionsanfälligen Bereichen erforderlich. Dank des geringeren Wärmeleitkoeffizienten ($\lambda = 0,15 \text{ W}/(\text{m } ^\circ\text{C})$) reduziert die Verwendung von PVC-U-Kunststoff für den Transport heißer Flüssigkeiten den Wärmeverlust und schließt Kondensationsprobleme praktisch aus.</p> <p>Die Gefahr, die für Arbeitnehmer durch Salzsäure (HCl) besteht, ist vernachlässigbar, da ihr stechender Geruch eine frühzeitige Flucht vor giftigen Verbrennungsgasen ermöglicht, die hauptsächlich aus geruchlosem Kohlenmonoxid bestehen.</p>
Elektrische Eigenschaften	 <p>PVC-U besitzt einen spezifischen Volumenwiderstand von mehr als $10^{13} \Omega \cdot \text{mm}$ und gute Isoliereigenschaften.</p>

1.2.2 Chloriertes Polyvinylchlorid (PVC-C)







1986 war FIP das erste europäische Unternehmen, das ein integriertes System aus Armaturen, Fittings und Rohren mit dem Namen TemperFIP100® herstellte. Daraus entstand eine vollständige Reihe von Produkten für Industrieanlagen. Heute werden für die Herstellung der TemperFIP-Linie aus extrudierten und spritzgegossenen Rohren, Formstücken und Armaturen PVC-C CORZAN™-Kunststoffe verwendet, die speziell für industrielle Anwendungen entwickelt wurden.

PVC-C-Kunststoffe sind vollständig für den Transport von Wasser zu Aufbereitungsanlagen sowie für die Beförderung von demineralisiertem Wasser und Thermalwasser geeignet.

Das System PVC-C TemperFIP100® stellt eine der wirtschaftlichsten Lösungen im Bereich der thermoplastischen Werkstoffe dar und ist in der Lage, Probleme zu lösen, die in Prozess- und Versorgungsleitungen für den Transport heißer korrosiver Flüssigkeiten in der Industrie sowie bei Warm- und Kaltwasserverteilungssystemen im Haushalt auftreten.

Eigenschaften von PVC-C

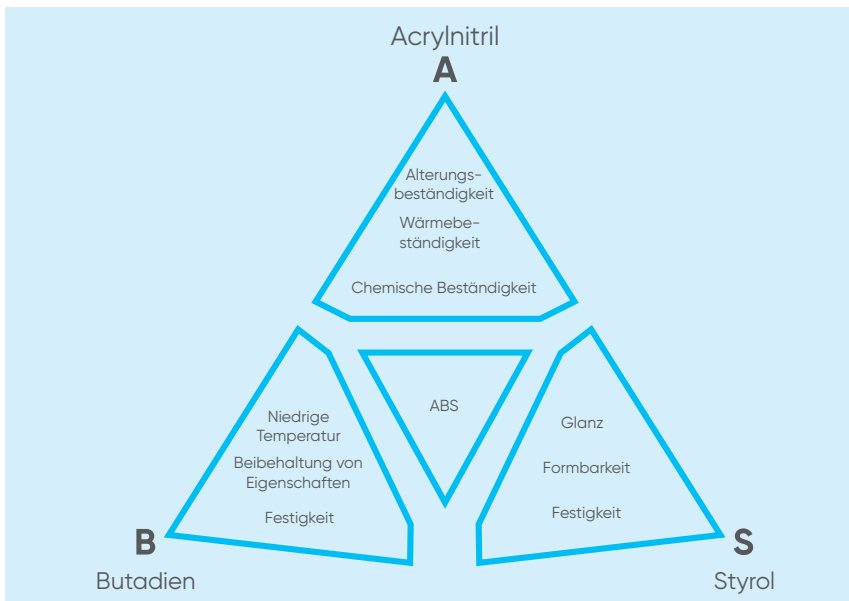
Dichte	
Prüfverfahren	ISO 1183 – ASTM D792
Maßeinheit	g/cm ³
Wert	1,50
Elastizitätsmodul	
Prüfverfahren	ISO 527
Maßeinheit	MPa = N/mm ²
Wert	2700
Charpy-Schlagzähigkeit bei 23 °C	
Prüfverfahren	ASTM D256
Maßeinheit	KJ/m ²
Wert	8
Bruchdehnung	
Prüfverfahren	ISO 527
Maßeinheit	%
Wert	50
Shore-Härte	
Prüfverfahren	ISO 868
Maßeinheit	Shore D
Wert	80
Zugfestigkeit	
Prüfverfahren	ISO 527
Maßeinheit	MPa = N/mm ²
Wert	50
VICAT Erweichungspunkt (B/50)	
Prüfverfahren	ISO 306
Maßeinheit	°C
Wert	76
Wärmeformbeständigkeitstemperatur HDT (0,46 N/mm²)	
Prüfverfahren	ASTM D648
Maßeinheit	°C
Wert	86
Wärmeleitfähigkeit bei 23 °C	
Prüfverfahren	DIN 52612-1 – ASTM C177
Maßeinheit	W/(m °C)
Wert	0,16
Linearer Wärmeausdehnungskoeffizient	
Prüfverfahren	DIN 53752 – ASTM D696
Maßeinheit	m/(m °C)
Wert	6,7 x 10 ⁻⁵
Limitierender Sauerstoffindex	
Prüfverfahren	ISO 4859-1 – ASTM D2863
Maßeinheit	%
Wert	60

Eigenschaften		Vorteile
UV- und Wetterbeständigkeit		PVC-C besitzt eine sehr gute Wetterbeständigkeit. Stärkere Sonneneinstrahlung, Wind und Regen schaden dem Material kaum. In kritischen Anwendungen sollte das Material jedoch vor übermäßiger Sonneneinstrahlung geschützt werden. Für geeignete Sicherheitsmaßnahmen wenden Sie sich bitte an Ihre Kontaktperson bei Aliaxis Deutschland.
Chemische Beständigkeit		Die Verwendung von CORZAN™-Kunststoff, das durch die Chlorierung von homopolymerem PVC gewonnen wird, garantiert eine hohe chemische Beständigkeit gegen starke anorganische Säuren, Salz- und Laugenlösungen und Paraffinkohlenwasserstoffe. Außerdem besitzt es eine überlegene Chlorbeständigkeit bei erhöhten Temperaturen. Es wird nicht empfohlen für den Transport polarer organischer Verbindungen, einschließlich einiger Arten chlorierter und aromatischer Lösemittel. Seine elektrochemische Korrosionsbeständigkeit garantiert eine hervorragende Zuverlässigkeit für die Förderung von Brauchwarmwasser in konventionellen und Solar-Panel-Systemen.
Optimale thermische und mechanische Eigenschaften		TemperFIP100® PVC-C wird typischerweise bei Temperaturen zwischen 0 °C und 85 °C eingesetzt und hat extrem niedrige Wärmeausdehnungskoeffizienten, wodurch eine hervorragende mechanische Festigkeit gewährleistet wird, die Betriebsdrücken von etwa 10-16 bar bei 20 °C standhält. Seine ausgezeichnete thermische Stabilität (VICAT-Wert nach EN ISO 15493) und sein optimales Kriechverhalten ermöglichen den Einsatz bei Temperaturen bis ca. 95 °C für spezielle Anwendungen und erfüllen besondere Leistungsanforderungen. Der reduzierte Wärmeleitwert ($T\eta\lambda = 0,16 \text{ W}/(\text{m } ^\circ\text{C})$ nach DIN 52612-1 oder ASTM C177) beseitigt praktisch Kondensationsprobleme und reduziert den Wärmeverlust beim Transport von heißen Flüssigkeiten.
Alterungsbeständigkeit		PVC-C-Kunststoffe zeichnen sich durch eine geringe Sauerstoffdurchlässigkeit und eine verminderte Wasseraufnahme (0,07 % bei 23°C) aus. Die physikalischen Eigenschaften des Materials machen es dank des Vorhandenseins von Titandioxid in der Verbindung sehr widerstandsfähig gegen Alterung und Angriffe durch Witterungseinflüsse (UV-Strahlung). Einmal richtig für die Anwendung ausgewählt und korrekt installiert, bieten PVC-C-Produkte über Jahre hinweg einen wartungsfreien Betrieb. An unseren Materialien tritt kein Rost, Lochfraß, Kalk oder Korrosion auf, weder innen, noch außen. Tatsächlich werden thermoplastische Rohrleitungssysteme in einer Vielzahl von anspruchsvollen industriellen Anwendungen seit über 45 Jahren erfolgreich eingesetzt.
Abriebfestigkeit		Die Mischung von PVC-C-Kunststoffen, Gleitmitteln, Modifikatoren und zahlreichen Additiven in den heutigen Formmassen führt in Verbindung mit neuen Extrusionsverfahren zu einem widerstandsfähigen Rohrleitungsprodukt mit hervorragender Abriebfestigkeit. Als Rohrleitungsmaterial für die Förderung von abrasiven Medien werden häufig PVC und PVC-C gewählt. Im Vergleich zu anderen Materialien ermöglicht die natürliche Abriebfestigkeit von Vinyl eine deutliche Verbesserung der Lebenserwartung. Auf vielen Gebieten ist Vinyl anderen Materialien, wie z. B. Stahl, überlegen. Bei der Förderung von Bergbau- und Sandschlämmen führte die Installation von Vinylrohren beispielsweise zu einem wesentlich geringeren Abrieb, einer drastischen Verringerung des Wartungsaufwands und einer verbesserten Langlebigkeit der Geräte im Vergleich zu herkömmlichen metall- oder gummibeschichteten Stahlrohren.
Brennverhalten		PVC-C zeigt durch seinen hohen Chlorgehalt ein bemerkenswert gutes Brennverhalten ohne den Zusatz von Flammenschutzmitteln. Bei Temperaturen über 400 °C entzündet sich PVC-C selbst. Bei offener Flamme brennt PVC-C, erlischt aber sofort, wenn die Flamme entfernt wird. Der Sauerstoffindex beträgt 60 % (Kunststoff ist bekanntlich mit weniger als 21 % Sauerstoff entflammbar). Da bei der Verbrennung von PVC-C Chlorwasserstoff entsteht, der in Verbindung mit Wasser eine ätzende Säure bildet, ist nach einem Brand eine sofortige Reinigung der Bereiche, die für Korrosion durch reinigungsmittelhaltiges Wasser anfällig sind, wichtig. Die Gefährdung von Arbeitnehmern durch Salzsäure ist gering, da ihr stechender Geruch bereits bei niedrigsten Konzentrationen (1 ppm bis 5 ppm) eine Identifizierung erfordert, so dass schädliche Verbrennungsgase, vor allem das geruchlose Kohlenmonoxid, frühzeitig entweichen können. Wasser, Kohlendioxid oder Schaum sind die bevorzugten Mittel zur Brandbekämpfung.
Elektrische Eigenschaften		PVC-C ist wie alle unmodifizierten Thermoplaste nicht leitfähig. Bei Systemen aus PVC-C deutet dies darauf hin, dass keine elektrochemische Korrosion stattfindet. PVC-C besitzt einen spezifischen Volumenwiderstand von mehr als $10^{13} \Omega \cdot \text{m}$ und gute Isoliereigenschaften.

1.2.3 Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS)

Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) ist ein gängiges thermoplastisches Polymer. Seine Glasübergangstemperatur liegt bei etwa 105 °C. ABS ist amorph und hat daher keinen echten Schmelzpunkt.








ABS leitet sich von Acrylnitril, Butadien und Styrol ab. Acrylnitril ist ein synthetisches Monomer, das aus Propylen und Ammoniak hergestellt wird. Butadien ist ein Erdölkohlenwasserstoff, der aus der C4-Fraktion des Steamcrackings gewonnen wird. Styrolmonomer wird durch Dehydrierung von Ethylbenzol hergestellt – einem Kohlenwasserstoff, der durch die Reaktion von Ethylen und Benzol entsteht.



Die Mengenverhältnisse können zwischen 15% und 35 % Acrylnitril, 5% bis 30 % Butadien und 40% bis 60 % Styrol variieren. Da die Nitrilgruppen benachbarter Ketten polar sind, ziehen sie sich gegenseitig an und verbinden die Ketten miteinander, wodurch ABS fester ist als reines Polystyrol. Das Styrol verleiht dem Kunststoff eine glänzende, undurchlässige Oberfläche. Das Polybutadien, eine kautschukartige Substanz, sorgt auch bei niedrigen Temperaturen für Zähigkeit. Für die meisten Anwendungen kann ABS zwischen -40 °C und 60 °C verwendet werden, da seine mechanischen Eigenschaften je nach Temperatur variieren. Die Eigenschaften entstehen durch die Zähigkeit des Gummis, bei der feine Elastomerpartikel in der starren Matrix verteilt werden.

Eigenschaften von ABS

Dichte	
Prüfverfahren	EN ISO 1183-1
Maßeinheit	g/cm ³
Wert	0,925
Elastizitätsmodul	
Prüfverfahren	ISO 527, ASTM D638
Maßeinheit	MPa = N/mm ²
Wert	2000
Charpy-Schlagzähigkeit bei 23 °C	
Prüfverfahren	ISO 179/1eA, ISO 180/1A – ASTM D256
Maßeinheit	KJ/m ²
Wert	20
Bruchdehnung	
Prüfverfahren	ISO 527
Maßeinheit	%
Wert	50
Shore-Härte	
Prüfverfahren	ISO 868
Maßeinheit	Shore D
Wert	100
Zugfestigkeit	
Prüfverfahren	ISO 527, ASTM D638
Maßeinheit	MPa = N/mm ²
Wert	40
VICAT Erweichungspunkt (B/50)	
Prüfverfahren	ISO 306
Maßeinheit	°C
Wert	≥87
Wärmeformbeständigkeitstemperatur HDT (0,46 N/mm²)	
Prüfverfahren	ISO 75, ASTM D648
Maßeinheit	°C
Wert	100
Wärmeleitfähigkeit bei 23 °C	
Prüfverfahren	DIN 52612-1 – ASTM C177
Maßeinheit	W/(m °C)
Wert	0,19
Linearer Wärmeausdehnungskoeffizient	
Prüfverfahren	DIN 53752 – ASTM D696
Maßeinheit	m/(m °C)
Wert	10 x 10 ⁻⁵
Limitierender Sauerstoffindex	
Prüfverfahren	ISO 4859-1 – ASTM D2863
Maßeinheit	%
Wert	19

Eigenschaften		Vorteile
UV- und Wetterbeständigkeit		Wenn ein Rohrleitungssystem aus ABS über einen längeren Zeitraum direktem Sonnenlicht ausgesetzt ist, verliert die Oberfläche ihren Glanz und die Farbe verändert sich ins Hellgraue. Der daraus resultierende Zähigkeitsverlust bereitet in gemäßigten Klimazonen aufgrund der sehr hohen Schlagzähigkeit von ABS im Allgemeinen keine Probleme. Dennoch empfehlen wir, die Oberfläche bei extremen Wetterbedingungen oder sehr hohen Belastungen des Rohrleitungssystems vor direkter Sonneneinstrahlung zu schützen.
Chemische Beständigkeit		ABS weist eine gute Beständigkeit gegen chemischen Abbau auf, entweder durch alkalische oder saure Mittel. Die chemische Stabilität von ABS ist auf die starke chemische Bindung zurückzuführen, die sich in seiner Struktur zeigt: die polare Anziehung zwischen den Nitrilgruppen, den aromatischen Ketten der Styrolgruppe und dem Kohlenwasserstoffgerüst. Die starken chemischen Bindungen verleihen dem Kunststoff auch eine gewisse thermische Stabilität, so dass er selbst bei hohen Temperaturen nicht zerfällt. Für die meisten Anwendungen kann ABS zwischen -40 °C und 60 °C eingesetzt werden.
Optimale thermische und mechanische Eigenschaften		Die thermischen Eigenschaften in Kaltwasser- und Sekundärkreislauf-Kälteanlagen sind für die Effizienz eines Systems sehr wichtig. Traditionelle Materialien wie Kupfer oder Stahl sind sehr gute Leiter und besitzen eine Wärmeleitfähigkeit von $413\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ bzw. $54\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Diese inhärente Materialeigenschaft führt dazu, dass sie sehr effektiv Wärme leiten, was den Wirkungsgrad eines Kühlsystems verringert. Ein weiteres häufiges Problem bei der Verwendung leitfähiger Materialien für Kühlanwendungen ist die Notwendigkeit einer Ummantelung, um das Schwitzen der Rohre zu verhindern. ABS ist ein nicht leitendes Material und wirkt als Isolator mit einer Wärmeleitfähigkeit von $0,25\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Diese Materialeigenschaft ermöglicht eine höhere Prozesseffizienz bei der Verwendung in einem Kühlsystem und macht häufig eine Ummantelung überflüssig, um das Schwitzen der Rohre zu verhindern. Bei einem großen Temperaturunterschied zwischen der Kühlflüssigkeit und der Außentemperatur und/oder bei hoher relativer Luftfeuchtigkeit kann auch bei ABS eine Ummantelung erforderlich sein.
Abriebfestigkeit		Neben der hervorragenden Schlagzähigkeit zeigen die Komponenten des Butadienkautschuks in ABS eine hervorragende Abriebfestigkeit. Rohrsysteme aus ABS werden aufgrund dieser Eigenschaft seit langem für Feststoffe und Schlämme, wie sie im Bergbau vorkommen, eingesetzt. Im Vergleich zu Metallen bieten ABS für viele dieser Anwendungen wichtige Vorteile.
Versagensart		ABS ist ein duktiler Werkstoff mit einer Versagensart, die an Weichkupfer erinnert. Das Versagen erfolgt durch duktile Verformung und Rissbildung und ist lokal begrenzt, was den Verlust des Rohrinhalts minimiert. Im Gegensatz dazu geht das Versagen eines starren Materials mit einer schnellen Rissausbreitung und einer gefährlichen Materialzersplitterung einher. Abhängig von den jeweiligen Bedingungen kann diese Art der schnellen Zersplitterung viele Rohre, einschließlich Armaturen und Fittings, zerreißen. Diese Art des Versagens kann durch ungünstige Bedingungen wie Wasserschlag, längere Sonneneinstrahlung, kalte Inhalte oder tiefe Umgebungstemperaturen und Unverträglichkeit des Rohres mit seinem Inhalt (z. B. Druckluft, Gase oder ungeeignete Chemikalien) verstärkt werden.
Brennverhalten		Bei Temperaturen über 450 °C entzündet sich ABS selbst. Wenn es einer offenen Flamme ausgesetzt wird, brennt ABS, und das Material brennt auch nach Entfernen der Flamme weiter. Der Sauerstoffindex liegt bei 19 %. Bei der Verbrennung von ABS entstehen Kohlenmonoxid und Wasser, hauptsächlich Kohlendioxid. Versuche haben gezeigt, dass die relative Toxizität von Verbrennungsprodukten mit der von Naturprodukten wie Holz, Baumwolle und Wolle vergleichbar oder sogar geringer ist. Verbrennungsgase von ABS sind nicht korrosiv. Bei der Verbrennung entsteht jedoch Ruß. Geeignete Brandbekämpfungsmittel sind Wasser, Schaum und Kohlendioxid.
Elektrische Eigenschaften		ABS ist nicht leitfähig, wie die meisten Thermoplaste. Bei Systemen aus ABS bedeutet dies, dass keine elektrochemische Korrosion stattfindet. ABS bietet gute elektrische Isolationseigenschaften. Der spezifische Volumenwiderstand beträgt $3,5 \cdot 10^{14}\ \Omega \cdot \text{m}$.

1.3 Polyolefine und fluorierte Polymere

Polyolefin

Ein Polyolefin ist ein Polymertyp, der aus einem einfachen Olefin als Monomer hergestellt wird. Polyethylen beispielsweise ist ein Polyolefin, das durch Polymerisation des Olefins Ethylen hergestellt wird. Polypropylen ist ein weiteres gängiges Polyolefin, das aus dem Olefin Propylen hergestellt wird.

Die meisten im technischen Maßstab hergestellten Polyolefine werden durch Polymerisation unter Verwendung von Katalysatoren hergestellt. Es gibt vier Haupttypen von Polyolefin-Katalysatoren: Katalysatoren auf Chrombasis, Ziegler-Natta-Katalysatoren, Metallocen-Single-Site-Katalysatoren (SSC) und Post-Metallocen-SSC.

Alle vier Kategorien sind für Polyethylen von Bedeutung, aber die letzten drei Katalysatorkategorien sind für Polypropylene weitaus wichtiger.

Fluorierte Polymere

Hinsichtlich ihrer chemischen, thermischen und elektrischen Stabilität weisen fluorierte Polymere sehr faszinierende Eigenschaften auf. Ihre Inertheit gegenüber Säuren, Basen, Lösungsmitteln und Ölen, ihre niedrigen konstanten und refraktiven Dielektrizitätsindizes, ihre hohe Alterungs- und Oxidationsbeständigkeit und ihre niedrige Oberflächenspannung, die sie in der Natur sehr hydrophob macht. Außerdem sind sie in der Regel nicht brennbar, was ein besonders faszinierender Aspekt ist. Da fluorierte Polymere eine breite Palette von thermoplastischen und elastomeren Materialien enthalten, die von halbkristallin bis vollständig amorph reichen, werden sie in verschiedenen Anwendungen eingesetzt.

1.3.1 Polypropylen (PP)

Polypropylen ist ein thermoplastischer und teilkristalliner Kunststoff aus der Familie der Polyolefine.

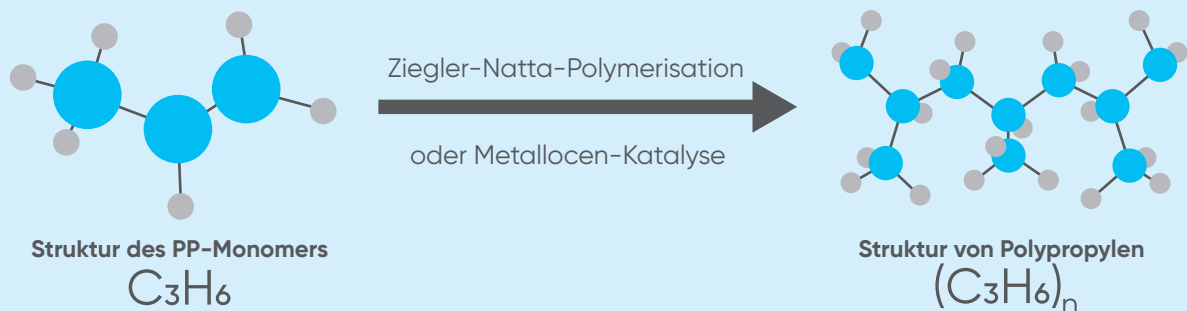
PP wird durch Kettenwachstumspolymerisation von Propylen (C_3H_6) mithilfe von Katalysatoren gewonnen.

Für den Einsatz in Rohrleitungssystemen bietet die neueste Variante des Polypropylen-Homopolymers (PP-H) eine hervorragende Leistung bei Arbeitstemperaturen von bis zu 80 °C und eine hohe Chemikalienbeständigkeit aufgrund der hervorragenden physikalischen und thermischen Eigenschaften des Kunststoffes.

Polypropylen ist nach Polyethylen der am zweithäufigsten hergestellte Massenkunststoff.

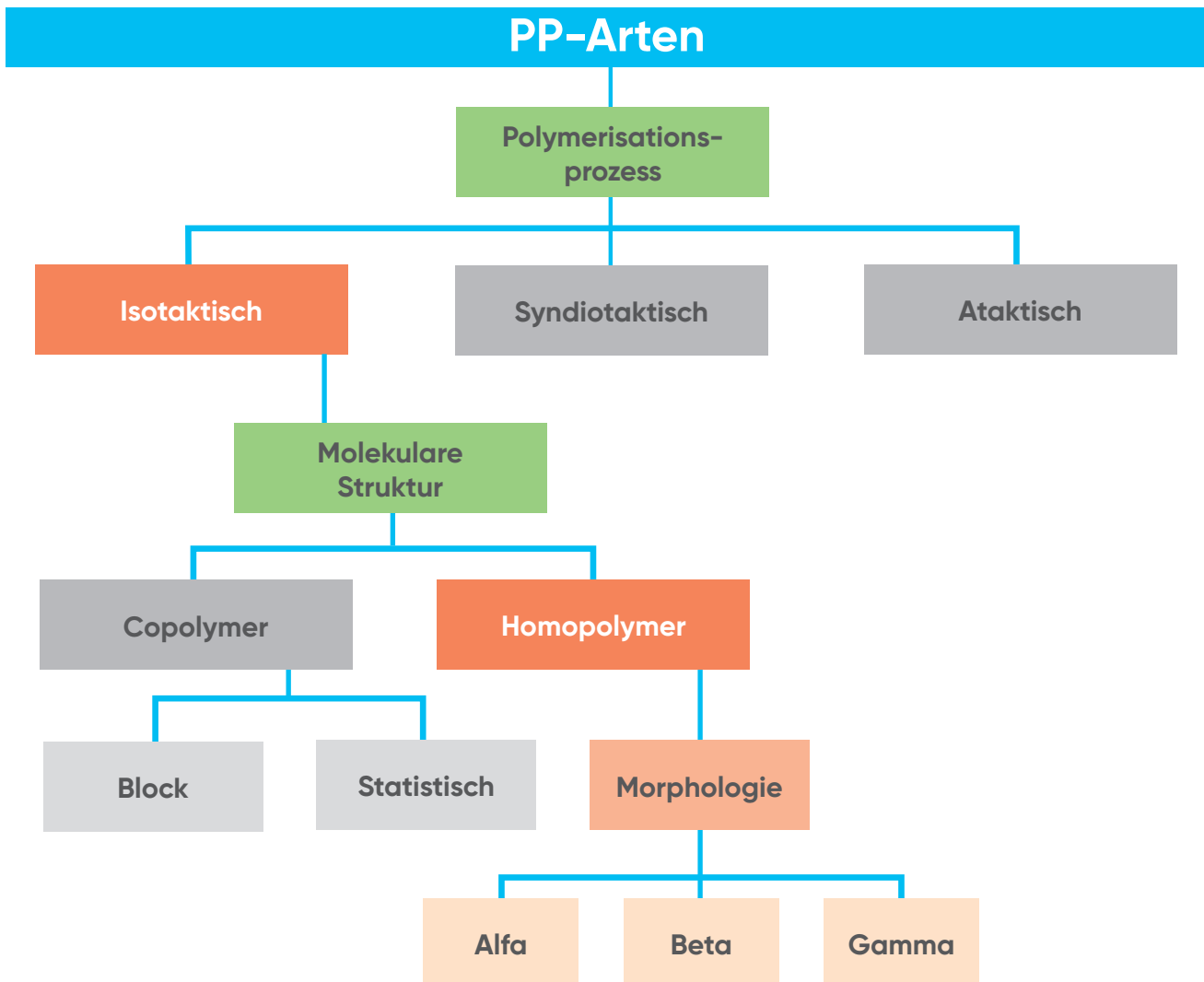
Die chemische Formel von Polypropylen ist $(C_3H_6)_n$, es wird durch Polymerisation von Propylenmonomer gewonnen:

- Ziegler-Natta-Polymerisation;
- Katalytische Metallocenpolymerisation.



Auf Grundlage des Polymerisationsverfahrens und der Molekularstruktur kann Polypropylen in viele Gruppen eingeteilt werden.

Der nachstehende Polypropylen-Baum ist hilfreich, um die verschiedenen Arten von Polypropylen zu verstehen.



Die Position der Methylgruppe in der Grundstruktur von Polypropylen entscheidet über die Gruppenzugehörigkeit:

- Ataktisches Polypropylen (aPP);
- Syndiotaktisches Polypropylen (sPP);
- Isotaktisches Polypropylen (iPP).

Die Methylgruppe ($-\text{CH}_3$) ist bei ataktischem Polypropylen zufällig angeordnet, bei syndiotaktischem Polypropylen alternierend und bei isotaktischem Polypropylen gleichmäßig.

Isotaktisches Polypropylen hat einen hohen Kristallinitätsgrad, der bei Konsumgütern 30–60 % beträgt.

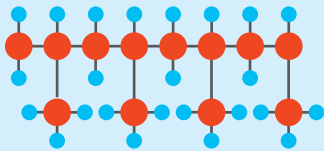
Syndiotaktisches Polypropylen ist wesentlich weniger kristallin, während ataktisches Polypropylen zur Familie der amorphen (nicht kristallinen) Materialien gehört.

Ataktisches PP zählt zur Familie der amorphen Materialien und weist die mechanischen Eigenschaften eines nicht vulkanisierten Kautschuks auf. Es wird in der Industrie häufig für die Beschichtung von Teppichböden, als Schmelzklebstoff und als Dichtungsmasse verwendet.

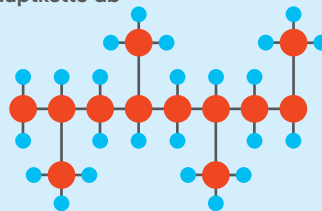
Syndiotaktisches PP ist isotaktischem PP unterlegen und wird aufgrund seiner schwierigen Herstellung nicht in industriellem Maßstab produziert.

Isotaktisches PP weist aufgrund seiner Helixstruktur eine hohe Kristallinität auf. Es wird in großem Umfang für den Bau von technischen Geräten verwendet.

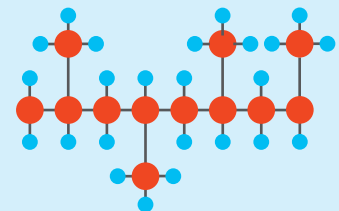
Isotaktisches PP: CH_3 -Gruppen auf der gleichen Seite der Hauptkette



Syndiotaktisches PP: CH_3 -Gruppen wechseln sich streng auf gegenüberliegenden Seiten der Hauptkette ab



Ataktisches PP: Statistische Verteilung der CH_3 -Gruppen um die Hauptkette



Die Abbildung zeigt deutlich den Unterschied zwischen ataktischem, syndiotaktischem und isotaktischem PP.

Aufgrund der Kristallinität kann isotaktisches PP in drei Kategorien unterteilt werden.

Beim Abkühlen aus der Schmelze beginnen sich die Moleküle des isotaktischen PP am Schmelzpunkt zu Kristallen zu organisieren. Für isotaktisches PP-H sind drei Kristallsymmetrien bekannt:

- α (monoklin): ohne Zusatz von Keimbildnern;
- β (pseudoesagonal): mit Zusatz von Keimbildnern;
- γ (triklin): Symmetrie kann bei PP mit niedrigem Molekulargewicht bei hohen Temperaturen auftreten und ist für praktische Anwendungen in Rohrleitungssystemen nicht von Interesse.

Die verschiedenen kristallinen Formen werden durch Zugabe spezieller Keimbildner zu den PP-H-Formmassen erzeugt.

Basierend auf der Propylen- und Ethylen-Propylen-Einheit in der PP-Matrix kann sie in drei verschiedene Kategorien unterteilt werden:

- Homopolymer (PP-H);
- Statistisches Copolymer (PP-R)
- Blockcopolymer (PP-B).

Homopolymer (PP-H)



Statistisches Copolymer (PP-R)



Blockcopolymer (PP-B)



PP-H Matrix Propylen











Ethylen-Propylen-Kautschuk-Ethylen-Einheit



Die Abbildung kann zum Verständnis der PP-Matrix und ihrer Propylen-, Ethylen-Propylen-Einheit in verschiedenen PP-Arten beitragen.

Eigenschaften von Polypropylen (PP)

Dichte	
Prüfverfahren	DIN EN 1183
Maßeinheit	g/cm ³
Wert	0,91
Elastizitätsmodul	
Prüfverfahren	ISO 527
Maßeinheit	MPa = N/mm ²
Wert	1300
Charpy-Schlagzähigkeit bei 23 °C	
Prüfverfahren	DIN EN ISO 179, ASTM D256
Maßeinheit	kJ/m ²
Wert	7
Bruchdehnung	
Prüfverfahren	ISO 527
Maßeinheit	%
Wert	60
Shore-Härte	
Prüfverfahren	ISO 868
Maßeinheit	Shore D
Wert	83
Zugfestigkeit	
Prüfverfahren	ISO 527
Maßeinheit	MPa = N/mm ²
Wert	30
VICAT Erweichungspunkt (B/50)	
Prüfverfahren	ISO 306
Maßeinheit	°C
Wert	152
Wärmeformbeständigkeitstemperatur HDT (0,46 N/mm²)	
Prüfverfahren	ASTM D648
Maßeinheit	°C
Wert	95-105
Wärmeleitfähigkeit bei 23 °C	
Prüfverfahren	DE 12664
Maßeinheit	W/(m °C)
Wert	0,22
Linearer Wärmeausdehnungskoeffizient	
Prüfverfahren	DIN 53752 - ASTM D696
Maßeinheit	m/(m °C)
Wert	1,5 x 10 ⁻⁴
Limitierender Sauerstoffindex	
Prüfverfahren	ISO 4589-1 - ASTM D2863
Maßeinheit	%
Wert	17,5

Eigenschaften		Vorteile
UV- und Wetterbeständigkeit		Alle Polyolefine sind einer Zersetzung durch ultraviolette Strahlung unterworfen. PP ist in erster Linie nicht für länger wirkende UV-Strahlung geeignet und muss bei allen Anwendungen entsprechend geschützt werden. Bei Rohrleitungen mit stoßartigen Innendruckbelastungen sollte die Wandtemperatur nicht unter 5 °C fallen. Für geeignete Sicherheitsmaßnahmen wenden Sie sich bitte an Ihre Kontaktperson bei Aliaxis Deutschland.
Chemische Beständigkeit		Polyethylen weist eine vergleichbare chemische Zusammensetzung wie Polyethylen PE-HD auf. Aufgrund seiner unpolaren Eigenschaft besitzt es bei erhöhten Betriebstemperaturen eine besonders gute Beständigkeit gegen Wasser, Salzlösungen, Säuren, Alkalien, Alkohole und viele organische Lösemittel. Außerdem ist es gegenüber aromatischen Verbindungen nur begrenzt beständig und kann nicht mit starken Oxidationsmitteln verwendet werden. PP quillt in aliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffen. Die chemische Beständigkeit hängt von vielen Faktoren ab. Die wichtigsten Einflüsse auf die chemische Beständigkeit sind die Betriebstemperatur, die Expositionsdauer sowie die Konzentration und Zusammensetzung von Gemischen. Bitte kontaktieren Sie uns bezüglich der Materialbeständigkeit gegen spezifische Chemikalien oder chemische Gemische.
Optimale thermische und mechanische Eigenschaften		PP-H und PP-R können im Hinblick auf Anwendungen im Kunststoffrohrleitungsbau in einem weiten Temperaturbereich eingesetzt werden. In solchen Fällen sollte der Dauer der Temperatureinwirkung die größte Bedeutung beigemessen werden. Bei einer Einsatztemperatur zwischen 0 °C und 95 °C wird eine längere Lebensdauer erzielt. Zur Innendruckbelastbarkeit von Rohren, Formstücken und Armaturen unter gleichzeitigem Temperatureinfluss siehe die PN-Diagramme des jeweiligen Materials.
Alterungsbeständigkeit		PP-H- und PP-R-Kunststoffe weisen eine hohe Bruchfestigkeit in Umfangsrichtung auf (Erforderliche Mindestfestigkeit MRS ≥ 10,0 MPa bei 20 °C) und ermöglichen eine lange Nutzungsdauer ohne Anzeichen einer signifikanten physikalisch-mechanischen Verschlechterung.
Abriebfestigkeit		PP weist eine sehr gute Abriebfestigkeit auf. Es besitzt eine hohe Abriebfestigkeit gegenüber mechanischen Beanspruchungen, insbesondere gegenüber Reibung. PP ist in freiliegenden und erdverlegten Rohren weniger korrosionsanfällig. So gewährleistet es durch seine lange Lebensdauer extrem niedrige Betriebskosten.
Versagensart		Polypropylen ist für seine hohe Duktilität und Schlagzähigkeit bekannt. Aufgrund seiner hohen Duktilität versagt PP in den meisten Fällen duktil. Bei höheren Temperaturen kann es jedoch zu einem Quasi-Sprödbbruch kommen.
Brennverhalten		Polypropylen ist ein brennbarer Kunststoff. Wenn es einer offenen Flamme ausgesetzt wird, brennt es, und das Material brennt nach Entfernen der Flamme rußfrei weiter. Der Sauerstoffindex liegt bei 19 %. (Materialien, die weniger als 21 % des Luftsauerstoffs verbrennen, gelten als brennbar). Bei der Verbrennung entstehen Kohlenmonoxid und Wasser, hauptsächlich Kohlendioxid.
Elektrische Eigenschaften		PP ist ein unpolares Kohlenwasserstoffpolymer mit ausgezeichneten Isolationseigenschaften. Da die elektrischen Ladungen jedoch nicht abgeleitet werden können, neigt PP auch zur elektrostatischen Aufladung. Aus diesem Grund darf PP nicht oder nur unter bestimmten Bedingungen für Anwendungen verwendet werden, bei denen Entzündungs- und/oder Explosionsgefahr besteht. PP besitzt einen spezifischen Volumenwiderstand von 10 ¹⁴ µm.

Polypropylen-Homopolymer (PP-H)

Der am häufigsten verwendete Allzwecktyp ist das Polypropylen-Homopolymer. In einer halbkristallinen, stabilen Form besteht es nur aus Propylenmonomer. Die wichtigsten Einsatzgebiete sind Verpackungen, Textilien, Gesundheitspflege, Rohrleitungen, Kraftfahrzeuge und elektrische Anwendungen.

Die neueste Generation von Polypropylen, das Polypropylen-Homopolymer, besteht aus einer umfassenden Palette von Rohren, Formstücken und Armaturen für den Bau von Prozess- und Versorgungsleitungen zum Transport von unter Druck stehenden Industrie-Flüssigkeiten und für maximale Betriebstemperaturen von bis zu 95° C.

Die Herstellung des PP-H erfolgt nach höchsten Qualitätsstandards und unter vollständiger Einhaltung der Umweltauflagen, die in den geltenden Gesetzen und gemäß ISO 14001 festgelegt sind.

Alle Produkte werden in Übereinstimmung mit dem Qualitätssicherungssystem nach ISO 9001 hergestellt.

Die Copolymer-Familie des Polypropylens wird weiter unterteilt in statistische Copolymere und Block-Copolymere, die durch Polymerisation von Propen und Ethan gebildet werden.

Polypropylen-Random-Copolymer (PP-R)

Polypropylen-Random-Copolymer (PP-R) wird durch gemeinsame Polymerisation von Ethen und Propen hergestellt. Es enthält Ethen-Einheiten, die zufällig in die Polypropylenketten eingefügt sind, typischerweise bis zu 7 % der Masse.

PP-R eignet sich hauptsächlich für Thermoschockanwendungen, bei denen die Temperatur zwischen heiß und kalt schwankt. PP-R ist beispielsweise ideal für den Einsatz in Warm- und Kaltwasseranwendungen geeignet. Darüber hinaus bietet PP-R eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit und stellt somit eine ideale Alternative zu Kupfer- und Stahlrohren dar.

Polypropylen-Blockcopolymer (PP-B)

Polypropylen-Blockcopolymer (PP-B) enthält einen höheren Ethenanteil (zwischen 5 % und 15 %). Es besitzt Comonomer-Einheiten, die in einer regelmäßigen Abfolge gruppiert sind. Daher macht das übliche Muster den Thermoplast härter und weniger porös als das spontane Copolymer. Diese Polymere eignen sich für Anwendungen mit hohen Festigkeitsanforderungen, wie beispielsweise im Fahrzeugbau.

Elektrisch leitfähiges Polypropylen (PP-EL)

PP-EL bietet aufgrund seiner geringen Entflammbarkeit mehr Sicherheit. Um Polypropylen für elektrisch leitfähige Anwendungen zu verwenden, wird dem Polypropylen-Basiskunststoff außerdem Graphit zugesetzt. Damit wird die Eignung von Polypropylenmaterial für den Einsatz in elektrisch leitfähigen Anwendungen gewährleistet.

Bei offenen Flammen bietet PP-EL in Verbindung mit der elektrischen Leitfähigkeit den optimalen Brandschutz.

Die nachstehende Tabelle kann zum Verständnis der Unterschiede zwischen PP-H, PP-R und PP-B hilfreich sein.

Eigenschaften	Materialien		
	PP-H	PP-R	PP-B
Dichte (g/cm ³)	0,905 bis 0,915	0,900 bis 0,910	0,900 bis 0,910
Erforderliche Mindestfestigkeit - MRS (N/mm ²)	≥10	≥8	≥8
Elastizitätsmodul (N/mm ²)	1300	1100	900
Schlagzähigkeit bei 23 °C (KJ/m ²)	65	52	31
Shore-D-Härte	72	67	62
VICAT Erweichungstemperatur (°C)	93	70	69
Schmelzflussrate – MFR (g/10min)	0,3 ≤MFR ≤1	0,3 ≤MFR ≤1	0,3 ≤MFR ≤1

1.3.2 Polyethylen (PE)

Polyethylen oder Polyäthylen ist ein teilkristalliner thermoplastischer Kunststoff, der zur Gruppe der Polyolefine gehört.

Polyethylen (PE) ist der heute am häufigsten verwendete Kunststoff. Seit 2017 werden jährlich über 100 Millionen Tonnen Polyethylenharze hergestellt, was 34 % des weltweiten Bedarfs an Kunststoffen entspricht.

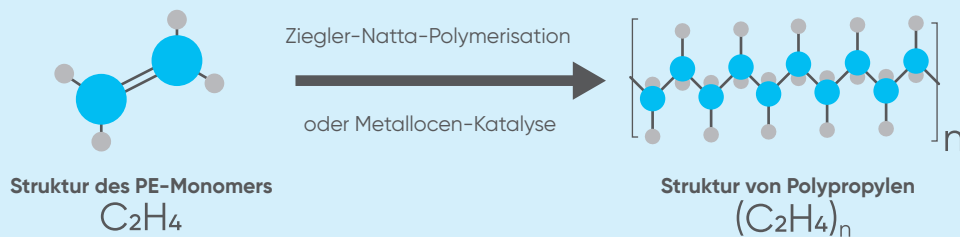
Aliaxis Druckrohre aus PE-HD sind ideal für Anwendungen in allen Bereichen des industriellen Anlagenbaus. Weitere Hauptanwendungsgebiete sind der Transport von industriellen und häuslichen Abwässern, die Abwasserreinigung und Wasseraufbereitung in Kläranlagen sowie verschiedene Anwendungen in Schwimmbädern.

Darüber hinaus sind die mechanischen Eigenschaften von Polyethylen im Wesentlichen von der Dichte, dem Kristallisationsgrad und dem Herstellungsverfahren abhängig, was sich in der Typenvielfalt widerspiegelt. Polyethylen mit niedriger Dichte wird unter hohem Druck und bei hoher Temperatur extrudiert, während Polyethylen mit hoher Dichte unter niedrigem Druck und bei niedriger Temperatur extrudiert wird. Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal besteht in den Hauptgruppen:

- Polyethylen hoher Dichte, PE-HD (Dichte: 0,94 – 0,965 g/cm³);
- Polyethylen mittlerer Dichte, PE-MD (Dichte: 0,93 – 0,94 g/cm³);
- Polyethylen niedriger Dichte, PE-LD (Dichte: 0,9 – 0,91 g/cm³);
- Vernetztes Polyethylen, PEX.

Es sind viele Arten von Polyethylen bekannt, wobei die meisten die chemische Formel (C₂H₄)_n haben. PE ist in der Regel ein Gemisch aus identischen Ethylenpolymeren mit unterschiedlichen Werten von n.









Polyethylen wird durch Additions- oder Radikalpolymerisation von Ethylen(olefin)monomeren hergestellt. Die Polymerisation von Polyethylen erfolgt durch Ziegler-Natta und Metallocen-Katalysatoren.



Die Abbildung veranschaulicht, wie Polyethylen durch den Polymerisationsprozess aus seinem Grundmolekül Ethylen gebildet wird.

Eigenschaften von Polyethylen (PE)

Dichte	
Prüfverfahren	DIN EN 1183
Maßeinheit	g/cm ³
Wert	0,95
Elastizitätsmodul	
Prüfverfahren	ISO 527, ASTM D 790
Maßeinheit	MPa = N/mm ²
Wert	900
Charpy-Schlagzähigkeit bei 23 °C	
Prüfverfahren	ASTM D256
Maßeinheit	KJ/m ²
Wert	16-26
Bruchdehnung	
Prüfverfahren	ISO 527
Maßeinheit	%
Wert	50
Shore-Härte	
Prüfverfahren	ISO 868
Maßeinheit	Shore D
Wert	80
Zugfestigkeit	
Prüfverfahren	ISO 527
Maßeinheit	MPa = N/mm ²
Wert	23
VICAT Erweichungspunkt (B/50)	
Prüfverfahren	ISO 306
Maßeinheit	°C
Wert	127
Wärmeformbeständigkeitstemperatur HDT (0,46 N/mm²)	
Prüfverfahren	ASTM D648
Maßeinheit	°C
Wert	75
Wärmeleitfähigkeit bei 23 °C	
Prüfverfahren	DE 12664
Maßeinheit	W/(m °C)
Wert	0,38
Linearer Wärmeausdehnungskoeffizient	
Prüfverfahren	DIN 53752 - ASTM D696
Maßeinheit	m/(m °C)
Wert	20 x 10 ⁻⁵
Limitierender Sauerstoffindex	
Prüfverfahren	ISO 4589-1 - ASTM D2863
Maßeinheit	%
Wert	17

Eigenschaften		Vorteile
UV- und Wetterbeständigkeit		Insbesondere schwarz eingefärbte PE-HD-Rohre sind für den langfristigen Einsatz im Freien geeignet. Durch die Verwendung von Rußzusätzen werden die Auswirkungen einer längeren Exposition gegenüber intensivem UV-Licht vermieden. Dies gewährleistet die Eignung von PE für den Einsatz im Freien.
Chemische Beständigkeit		PE-HD weist eine umfassende chemische Beständigkeit auf. Aufgrund seines unpolaren Charakters ist PE-HD selbst bei hohen Betriebstemperaturen gut beständig gegen Wasser, Salzlösungen, Säuren, Laugen, Alkohole und viele organische Lösemittel. Eine bedingte Beständigkeit liegt bei Aromaten vor, PE-HD kann nicht mit starken Oxidationsmitteln verwendet werden. Die chemische Beständigkeit hängt von vielen Faktoren ab: Die wichtigsten Einflüsse sind die Betriebstemperatur, die Dauer der Exposition sowie die Konzentration und Zusammensetzung der Gemische. Bitte kontaktieren Sie uns bezüglich der Materialbeständigkeit gegen spezifische Chemikalien oder chemische Gemische.
Optimale thermische und mechanische Eigenschaften		Laut Literatur kann PE-HD im Temperaturbereich von - 40 °C bis +60 °C eingesetzt werden, wodurch das Material in einer Vielzahl von Anwendungen hervorragende mechanische Eigenschaften aufweist. Die Innendruckbelastbarkeit von Rohren, Formstücken und Armaturen unter gleichzeitigem Temperatureinfluss ist den PN-Diagrammen des jeweiligen Werkstoffs zu entnehmen.
Alterungsbeständigkeit		PE-100-Kunststoffe weisen eine hohe Bruchfestigkeit in Umfangsrichtung auf (Erforderliche Mindestfestigkeit MRS $\geq 10,0$ MPa bei 20 °C) und ermöglichen eine lange Nutzungsdauer ohne Anzeichen einer signifikanten physikalisch-mechanischen Verschlechterung. Neue, nach DIN 8075 und DIN 16892 zertifizierte Rohre aus PE-HD weisen eine Betriebsdauer von mindestens 100 Jahren auf.
Abriebfestigkeit		PE weist eine sehr gute Abriebfestigkeit auf. Es besitzt eine hohe Abriebfestigkeit gegenüber mechanischen Beanspruchungen, insbesondere gegenüber Reibung. PE ist in freiliegenden und erdverlegten Rohren weniger korrosionsanfällig. So gewährleistet es durch seine lange Lebensdauer extrem niedrige Betriebskosten.
Versagensart		Im Allgemeinen versagt PE spröde durch langsames Risswachstum (SCG) in der Rohrwand. Diese Risse können an mikroskopisch kleinen, spannungserhöhenden Fehlern entstehen, die dem Grundprodukt des Rohres inhärent sind oder, was wahrscheinlicher ist, durch Defekte verursacht werden. Im Laufe der Jahre hat sich PE jedoch weiterentwickelt und bietet nun eine starke Kombination aus Festigkeit, Steifigkeit, Zuverlässigkeit und Langlebigkeit, die den langfristigen Anforderungen an den Gas- und Wasserdruck, die Bodenbelastung und die Betriebsumgebung gerecht wird. Wird dieses Material schnell auseinandergezogen, bricht es spröde. Wenn das Material jedoch allmählich auseinandergezogen wird, verhält es sich duktil und kann nahezu unbegrenzt gedehnt werden. In den letzten 50 Jahren hat bei PE eine bemerkenswerte Materialentwicklung stattgefunden. Ein gutes Beispiel dafür ist PE-RC. Es weist eine erhebliche Beständigkeit gegen langsames Risswachstum auf und ist eine sehr gute Materialoption für langfristige Anwendungen.
Brennverhalten		Polyethylen ist ein entflammbarer Kunststoff. Wenn es einer offenen Flamme ausgesetzt wird, verbrennt PE, und das Material brennt nach Entfernen der Flamme rußfrei weiter. Der Sauerstoffindex liegt bei 17 %. (Materialien, die weniger als 21 % des Luftsauerstoffs verbrennen, gelten als brennbar). Bei der Verbrennung von PE entstehen Kohlenmonoxid und Wasser, hauptsächlich Kohlendioxid.
Elektrische Eigenschaften		PE-HD ist ein unpolares Kohlenwasserstoffpolymer mit ausgezeichneten Isolationseigenschaften. Es besitzt einen spezifischen Volumenwiderstand von $3,5 \cdot 10^{14}$ $\Omega \cdot m$. Da die elektrischen Ladungen jedoch nicht abgeleitet werden können, neigt PE-HD auch zu einer elektrostatischen Aufladung. Aus diesem Grund darf PE-HD nicht oder nur unter bestimmten Bedingungen für Anwendungen verwendet werden, bei denen Entzündungs- und/oder Explosionsgefahr besteht. Für weitere Einzelheiten siehe DVS-Richtlinien 2210-1.

Die verschiedenen Bezeichnungen von Polyethylen

Die ständige Weiterentwicklung und Verbesserung von Kunststoffen beeinflusst auch seine mechanischen Eigenschaften und Variablen. Diese werden aufgrund jahrelanger praktischer Erfahrung sowie der Arbeiten in den Forschungsabteilungen der Rohrhersteller um die Verbesserung der Fähigkeiten von Kunststoffen kontinuierlich optimiert.

Verbesserungen der mechanischen Eigenschaften des im Kunststoffrohrbau verwendeten Polyolefins betreffen in erster Linie PE-Verbindungen.

Mit Änderungen der Materialeigenschaften sind entsprechende Änderungen der Materialbezeichnungen verbunden. Im Kunststoffrohrbau spricht man daher nicht mehr von PE-HD, sondern von den PE-Typen PE 63, PE 80 und PE 100.

Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass in diesem Bereich nur PE 100 in großem Umfang eingesetzt wird. Die Ziffern geben die Langzeitstabilität des Materials an, eine gängige Praxis bei der Kennzeichnung von Metallwerkstoffen. Die Langzeitstabilität für PE 100 wird wie folgt berechnet: $\text{ref} = 100/10 = 10 \text{ MPa} = 10 \text{ N/mm}^2$ und gilt für Situationen, in denen das Strömungsmedium Wasser bei 20 °C ist und die Belastungsdauer 50 Jahre beträgt. Der MRS-Wert wird durch Analyse von Langzeit-Rohrversuchen nach ISO 9080 bestimmt und dann nach ISO 12162 kategorisiert.

- PE 63 \geq MRS. 6,3;
- PE 80 \geq MRS. 8,0;
- PE 100 \geq MRS 10,0.

Da PE 63 eine geringere Kriechfestigkeit als PE 80 und PE 100 aufweist, kann es in Druckrohrsystemen nur begrenzt eingesetzt werden. PE 80 entspricht hinsichtlich der Festigkeitswerte weitgehend PE-HD mit teilweisen Verbesserungen der Materialeigenschaften.

Polyethylen 100 (PE 100)

Im Rohrleitungsbau wird PE 100 aufgrund seiner höheren Festigkeit immer häufiger eingesetzt, vor allem in Bereichen mit hohen Drücken. Anfängliche Bedenken hinsichtlich der Schweißbarkeit wurden ausgeräumt, so dass Hersteller und Verarbeiter die Vorteile von PE 100 umfassend nutzen können.

Die Normen und Anwendungsrichtlinien wurden so aktualisiert, dass die darin enthaltenen Hindernisse nun nicht mehr bestehen. Die neuen bimodularen Typen PE 80 und PE 100 zeigen neben Verbesserungen der Festigkeitseigenschaften eine höhere Widerstandsfähigkeit als PE-HD, eine Qualitätsverbesserung, die folgende Vorteile bietet:

- Höhere Kriechfestigkeit bei höheren Temperaturen;
- Höhere Beständigkeit gegen schnelles Risswachstum;
- Verminderte Kerbneigung.

Für die Lebensdauer der bimodularen Typen spricht die in der ISO 9080 spezifizierte Standard-Extrapolationsmethode, die von 100 Jahren ausgeht.

Ein weiterer wichtiger Faktor bei der weiteren Verwendung von PE 100 ist, dass es ohne Einschränkung geschweißt werden kann. Auch das Verschweißen von PE 100 mit PE 80-Bauteilen ist uneingeschränkt möglich. Bei der Verwendung von geschweißten Formstücken ist eine reduzierte Druckbelastung aus dem Rohr zu berücksichtigen.

Rissbeständigkeit von Polyethylen (PE-RC)

PE 100-RC ist ein modernes Harz und „RC“ steht für „Rissbeständigkeit“.

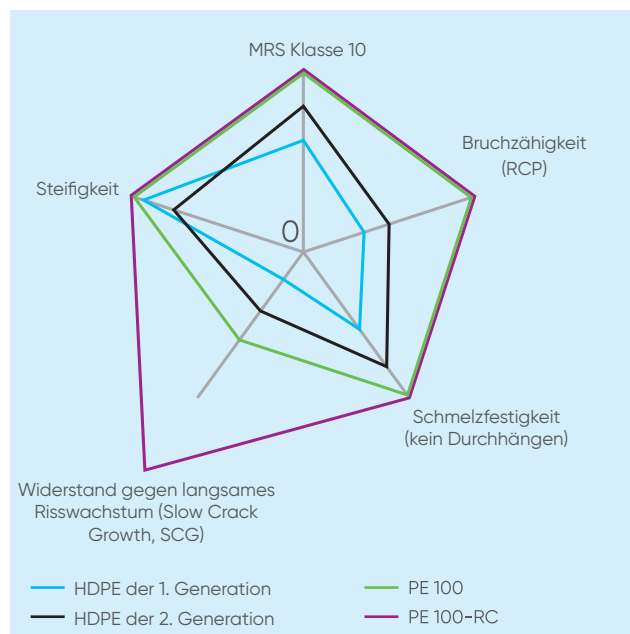
Das heißt, PE 100-RC ist beständig gegen langsame Rissausbreitung und Punktbelastung. Die folgende Abbildung zeigt eine deutliche Diskrepanz zwischen PE 100-RC und anderen PE-Kunststoffen.

PE 100-RC hat auch die bekannten und vorteilhaften Eigenschaften von PE 100 und es können die gleichen Installationsschemata verwendet werden. Die wesentlichen Merkmale von PE-Kunststoffen zeigen sich in der entsprechenden Ausführung.

Der erhöhte Widerstand von PE 100-RC ist in vielerlei Hinsicht vorteilhaft. Nachfolgend sind einige Beispiele aufgeführt, bei denen PE 100-RC anderen PE-Sorten überlegen ist.

- Anwendungsbereiche, die anspruchsvolle Installationstechniken erfordern: Offener Graben ohne Sandbettung zur Kostenreduzierung, Horizontal Directional Drilling (HDD), Relining, Rohrberstung usw. sind einige der Anwendungsbereiche, in denen der Einsatz von PE 100-RC eine ideale Option darstellt;
- Anwendungsbereiche, die bestimmte Beschränkungen für Rohre mit sich bringen: Kratzeinwirkungen von außen, Steinschlag (Punktlast), Rohre unter Spannung usw. sind einige der Anwendungsbereiche, in denen PE 100-RC eine ideale Option darstellt.

Die Verwendung von PE 100-RC birgt nicht nur das Potenzial für Kosteneinsparungen, sondern bringt auch Vorteile in Bezug auf Umwelt und Nachhaltigkeit mit sich.



1.3.3 Polyvinylidenfluorid (PVDF)

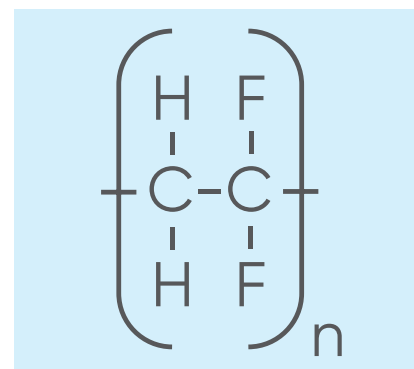
PVDF (Polyvinylidendifluorid) ist ein fluoriertes und teilkristallines Technopolymer, das 59 % seines Gewichts an Fluor enthält. Dieser Stoff wird durch die Polymerisation von Vinylidenfluorid gewonnen und entspricht der folgenden chemischen Formel: $(C_2H_2F_2)_n$.

Es zeichnet sich durch eine außergewöhnliche mechanische, physikalische und chemische Beständigkeit aus und garantiert eine hervorragende thermische Stabilität bis 140 °C.

Dank seiner hohen Reinheit und außergewöhnlichen Leistung ist PVDF die beste Alternative zu metallischen Werkstoffen und wird in großem Umfang in industriellen Anwendungen (Chemie, Öl, Pharma, Zellstoff und Papier, Elektronik, usw.) eingesetzt.






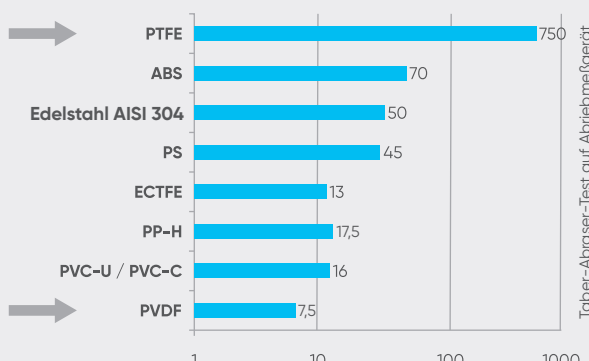



PVDF-Kunststoff ist ein extrem reines Polymer, das keine Stabilisatoren, Weichmacher, Gleitmittel oder Flammschutzmittel enthält. Daher ist es das ideale Material für den Transport von Reinstwasser und Chemikalien, da es die Kontaminationsfreiheit der geförderten Flüssigkeit gewährleistet. Da es physiologisch nicht toxisch ist, eignet es sich zur Förderung von Flüssigkeiten und Lebensmitteln.

Zu den wichtigsten Eigenschaften und Vorteilen von PVDF zählen insbesondere die folgenden.



Eigenschaften von PVDF

Dichte	
Prüfverfahren	ISO 1183 – ASTM D792
Maßeinheit	g/cm ³
Wert	1,78
Elastizitätsmodul	
Prüfverfahren	ISO 527, ASTM D 790
Maßeinheit	MPa = N/mm ²
Wert	2100
Charpy-Schlagzähigkeit bei 23 °C	
Prüfverfahren	ASTM D256
Maßeinheit	kJ/m ²
Wert	12
Bruchdehnung	
Prüfverfahren	ISO 527
Maßeinheit	%
Wert	80
Shore-Härte	
Prüfverfahren	ISO 868
Maßeinheit	Shore D
Wert	78
Zugfestigkeit	
Prüfverfahren	ISO 527
Maßeinheit	MPa = N/mm ²
Wert	50
VICAT Erweichungspunkt (B/50)	
Prüfverfahren	ISO 306
Maßeinheit	°C
Wert	138
Wärmeformbeständigkeitstemperatur HDT (0,46 N/mm²)	
Prüfverfahren	ASTM D648
Maßeinheit	°C
Wert	145
Wärmeleitfähigkeit bei 23 °C	
Prüfverfahren	DIN 52612-1 – ASTM C177
Maßeinheit	W/(m °C)
Wert	0,19
Linearer Wärmeausdehnungskoeffizient	
Prüfverfahren	DIN 53752 – ASTM D696
Maßeinheit	m/(m °C)
Wert	12 x 10 ⁻⁵
Limitierender Sauerstoffindex	
Prüfverfahren	ISO 4859-1 – ASTM D2863
Maßeinheit	%
Wert	44

Eigenschaften	Vorteile																		
<p>UV- und Wetterbeständigkeit</p> 	<p>Polyvinylidenfluorid (PVDF) weist intrinsische Beständigkeitseigenschaften auf, insbesondere gegen Ozon-Oxidationsreaktionen und UV-Zersetzung. Zu dieser Beständigkeit führt die chemische Stabilität von PVDF-Kohlenstoff und -Fluorid sowie die polymere Wechselwirkung von PVDF bei seiner Herstellung. Insbesondere das von uns verwendete PVDF-Material bietet eine ausgezeichnete Eigenbeständigkeit gegen natürliche Alterung und benötigt keine Anti-UV-Additive.</p>																		
<p>Chemische Beständigkeit</p> 	<p>Die Verwendung von PVDF-Kunststoff, einem Vinylidenfluoridpolymer, gewährleistet eine ausgezeichnete Korrosions- und Abriebfestigkeit bei der Förderung hochaggressiver Chemikalien. PVDF ist gegenüber den meisten anorganischen Säuren, organischen Säuren, aromatischen und aliphatischen Kohlenwasserstoffen, Alkoholen und halogenierten Lösungsmitteln grundsätzlich inert. Von der Verwendung mit Aminen, Ketonen, starken Alkalien (z. B. Natronlauge) und Oleum (Schwefelsäure mit Schwefeltrioxid) wird jedoch generell abgeraten. Bitte kontaktieren Sie uns bezüglich der Materialbeständigkeit gegen spezifische Chemikalien oder chemische Gemische.</p>																		
<p>Optimale thermische und mechanische Eigenschaften</p> 	<p>PVDF behält seine Eigenschaften in einem Temperaturbereich zwischen -40 °C und +140 °C unverändert bei. PVDF-Rohre eignen sich besonders für alle Anwendungen, die hohe Betriebstemperaturen, einen sehr geringen Verschmutzungsgrad der Flüssigkeit und eine hohe Alterungsbeständigkeit gegenüber Witterungseinflüssen und UV-Strahlung erfordern. Die hervorragenden mechanischen Eigenschaften des Materials bleiben auch bei hohen Temperaturen erhalten.</p>																		
<p>Alterungsbeständigkeit</p> 	<p>PVDF-Kunststoffe weisen eine hohe Bruchfestigkeit in Umfangsrichtung auf (Erforderliche Mindestfestigkeit MRS ≥ 25 MPa bei 20 °C) und ermöglichen eine lange Nutzungsdauer ohne Anzeichen einer signifikanten physikalisch-mechanischen Verschlechterung. Außerdem weisen Fluorpolymere im Allgemeinen eine höhere thermische Stabilität auf als ihre Kohlenwasserstoff-Gegenstücke. Diese Stabilität ist auf die hohe Elektronegativität des Fluoratoms und damit auf die hohe Dissoziationsenergie der C-F-Bindung zurückzuführen. PVDF bietet eine ausgezeichnete Beständigkeit gegen thermische Langzeitalterung bis zu einer Temperatur von 150 °C.</p>																		
<p>Abriebfestigkeit</p> 	<p>Nach dem Taber Abraser Test (Prüfung des Abriebwiderstandes, bei dem der Gewichtsverlust eines Materials gemessen wird, nachdem es 1000 Zyklen lang einer Schleifscheibe ausgesetzt wurde) ist PVDF der widerstandsfähigste thermoplastische Kunststoff (CS-10 Last 1 kg – Gewichtsverlust / 1000 Zyklen = 5-10 mg). Die folgende Abbildung zeigt deutlich die hohe Abriebfestigkeit von PVDF gegenüber anderen Materialien. PVDF weist bei 1000 Zyklen einen Materialverlust von nur 7,5 mg auf, während alle anderen Materialien großen Materialschäden unterliegen.</p> <div data-bbox="861 1052 1484 1478"> <p style="text-align: center;">Kunststoff vs Metall – Abriebfestigkeit</p>  <table border="1"> <caption>Kunststoff vs Metall – Abriebfestigkeit</caption> <thead> <tr> <th>Material</th> <th>Gewichtsverlust in mg/1000 Zyklen</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PTFE</td> <td>750</td> </tr> <tr> <td>ABS</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td>Edelstahl AISI 304</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>PS</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>ECTFE</td> <td>13</td> </tr> <tr> <td>PP-H</td> <td>17,5</td> </tr> <tr> <td>PVC-U / PVC-C</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>PVDF</td> <td>7,5</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right; font-size: small;">Taber-Abraser-Test auf Abrießmeßgerät CS-10.</p> </div>	Material	Gewichtsverlust in mg/1000 Zyklen	PTFE	750	ABS	70	Edelstahl AISI 304	50	PS	45	ECTFE	13	PP-H	17,5	PVC-U / PVC-C	16	PVDF	7,5
Material	Gewichtsverlust in mg/1000 Zyklen																		
PTFE	750																		
ABS	70																		
Edelstahl AISI 304	50																		
PS	45																		
ECTFE	13																		
PP-H	17,5																		
PVC-U / PVC-C	16																		
PVDF	7,5																		
<p>Versagensart</p> 	<p>Bei PVDF-Rohren, die bei hoher Temperatur unter konstantem Druck stehen, sind zwei verschiedene Versagensarten zu beobachten. Aufgrund der lokalen Verformung und der Entwicklung einer Blase versagen die Rohre duktil, wenn die durchschnittliche Umfangsspannung einen kritischen Wert (σ_c) übersteigt. PVDF zeigt ein anderes Versagensverhalten, wenn die durchschnittliche Umfangsspannung kleiner als ein kritischer Wert (σ_c) ist. Dieser Zustand ist durch die allmähliche und örtlich begrenzte Ausbreitung eines sehr kleinen Risses in der Rohrwand gekennzeichnet. Er wird oft als „spröde“ bezeichnet, da keine makroskopische plastische Verformung in der Nähe der Bruchzone festgestellt werden kann.</p>																		
<p>Brennverhalten</p> 	<p>PVDF-Kunststoffe garantieren eine ausgezeichnete Feuerbeständigkeit, ohne dass Flammschutzmittel erforderlich sind. Sein Sauerstoffindexwert liegt bei 44 % (Limiting Oxygen Index, LOI = 44 %). Da normale Luft etwa 21 % Sauerstoff enthält, gilt ein Material, dessen Sauerstoffindex deutlich über 21 liegt, als schwer entflammbar, da es nur in einer mit Sauerstoff angereicherten Atmosphäre brennt. Bei einer Verbrennung treten nur geringe Rauchemissionen auf. PVDF-Kunststoffe sind nach UL-94, Klasse V-O, klassifiziert.</p>																		
<p>Elektrische Eigenschaften</p> 	<p>PVDF ist ein Material, das wie alle anderen unmodifizierten Thermoplaste nicht leitend ist. Bei Systemen aus PVDF deutet dies darauf hin, dass keine elektrochemische Korrosion stattfindet. Dieses nicht leitende Verhalten kann jedoch zur Ausbildung elektrostatischer Ladungen führen. In Umgebungen, in denen explosive Gase auftreten können, muss dieser Tatsache besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Außerdem besitzt PVDF einen spezifischen Volumenwiderstandswert, der größer als $10^{12} \Omega \cdot m$ ist. Bitte kontaktieren Sie uns, wenn Sie Hilfe bei der Auswahl des richtigen Materials für ihre Rohrleitungsinstallation benötigen.</p>																		

1.4 Kautschuk

Kautschuk ist ein organisches (typischerweise cis-1,4-Polyisopren) Polymer von Isopren. Es ist ein Kohlenwasserstoffpolymer, das im Saft verschiedener Pflanzen vorkommt und auch synthetisch als Milchlatex hergestellt werden kann.

Je nach Herstellungs- bzw. Gewinnungsmethode lassen sich Kautschuke in zwei Typen einteilen:

- Naturkautschuk;
- Synthetischer Kautschuk.

Naturkautschuk

Naturkautschuk ist ein Elastomer und ein Thermoplast. Nach dem Vulkanisieren ist der Kautschuk ein Duroplast. Der meiste Gummi, der im Alltag verwendet wird, ist so weit vulkanisiert, dass er die Eigenschaften beider Materialien vereint.

Naturkautschuk wird aus dem Latexsaft von Bäumen gewonnen und ist ein elastisches Material. Die Kautschukmoleküle in diesen Latexschläuchen bestehen aus 5 Kohlenstoff- und 8 Wasserstoffatomen. Diese Kautschukmoleküle sind miteinander verbunden und bilden eine lange, kettenartige Struktur. Diese Kette von Kautschukmolekülen wird als Polymere bezeichnet, die dem Kautschuk seine Eigenschaft der Elastizität verleihen.

Naturkautschuk enthält auch einen geringen Anteil (ca. 5 %) an anderen Bestandteilen wie Fetten, Fettsäuren, Harzen und anorganischen Produkten (Salzen).

Die endgültigen Eigenschaften eines Kautschukartikels hängen nicht nur vom Polymer ab, sondern auch von Modifikatoren und Füllstoffen wie Ruß, Faktis, Kreide und anderen.

Synthetischer Kautschuk

Synthetischer Kautschuk ist ein Kautschuk, der künstlich hergestellt werden kann. Ein Elastomer lässt sich als ein Stoff beschreiben, der die Eigenschaft der Elastizität besitzt. Synthetischer Kautschuk ist also die Art von Kautschuk, die aus Chemikalien hergestellt wird, um als Ersatz für Naturkautschuk zu dienen. Es gibt verschiedene Arten von Polymeren, die zur Herstellung von synthetischem Kautschuk verwendet werden. Dadurch weisen verschiedene Typen von synthetischen Kautschuken unterschiedliche Eigenschaften auf, die an die Bedürfnisse der Kautschukproduktbereiche angepasst sind.

Im Folgenden sind einige der gängigen Arten von synthetischem Kautschuk aufgeführt, die in verschiedenen Branchen verwendet werden:

- Polychloropren (CR);
- Styrol-Butadien (SBR);
- Ethylen-Propylen-Dien-Monomer (EPDM);
- Acrylnitrilbutadien (NBR);
- Polysiloxan (SI);
- Fluorelastomer (FKM);
- Perfluorelastomer (FFKM);
- Chlorsulfoniertes Polyethylen (CSM).

Bei Aliaxis verwenden wir hauptsächlich die folgenden zwei Arten von Kautschuk:

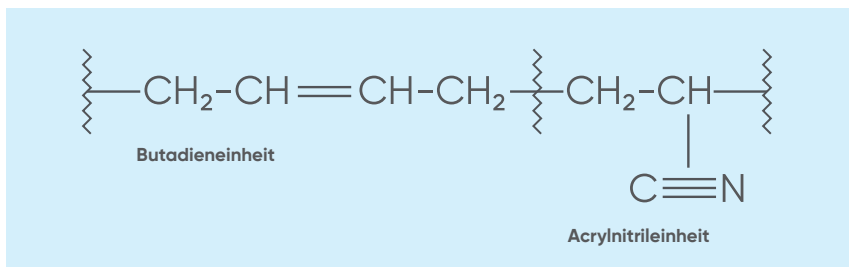
- Ethylen-Propylen-Dien-Monomer (EPDM);
- Fluorelastomer (FKM).

Darüber hinaus bieten wir auch Perfluorelastomer (FFKM) an, das auf Anfrage für unsere Industriearmaturen erhältlich ist, um spezifische industrielle Prozessanforderungen zu erfüllen. In einigen der von uns angebotenen STRAUB-Kupplungen wird Acrylnitril-Butadien (NBR) als Dichtungsmaterial verwendet.

1.4.1 Acrylnitrilbutadien (NBR)

Acrylnitril-Butadien-Kautschuk ist ein synthetischer Kautschuk, der sich von Acrylnitril (ACN) und Butadien ableitet. NBR enthält polare Nitril-Seitengruppen auf dem Polymergerüst. Diese gehen keine Wechselwirkungen mit unpolaren Flüssigkeiten wie Benzin, Öl und Schmierstoffen ein, so dass das Material in diesen Medien nicht aufquellen kann. Acrylnitril-Butadien-Kautschuk unterscheidet sich daher von anderen Kautschuken durch seine Medienbeständigkeit. Je mehr Acrylnitril der Kautschuk enthält, desto besser ist seine Beständigkeit gegen Chemikalien wie Mineralöle und Kraftstoffe und gegen heißes Wasser. Weitere Vorteile von NBR sind das gute mechanische Leistungsprofil und die geringe Gasdurchlässigkeit.

Nitrilkautschuk ist wegen seiner geringen statischen Aufladung funkenfrei und wird daher häufig für Hydraulikschläuche, Kraftstoffleitungen, Dichtungen und O-Ringe in ölgeschmierten Maschinen verwendet. Ein weiterer wichtiger Einsatzbereich ist die Öl- und Gasexploration. NBR wird hauptsächlich als Dichtungsmaterial in industriellen Anwendungen verwendet.



Die Abbildung zeigt die chemische Struktur von NBR.

Vorteile von NBR

- Bietet gute chemische Beständigkeit gegen Mineralöle, Kraftstoffe, Schmierstoffe, Alkohole sowie pflanzliche und tierische Fette und Öle;
- Thermischer Anwendungsbereich, abhängig von der Zusammensetzung: -50 bis +100 °C;
- Gute mechanische Eigenschaften;
- Gute elektrische Leitfähigkeit aufgrund seiner Polarität.

Anwendungen von NBR

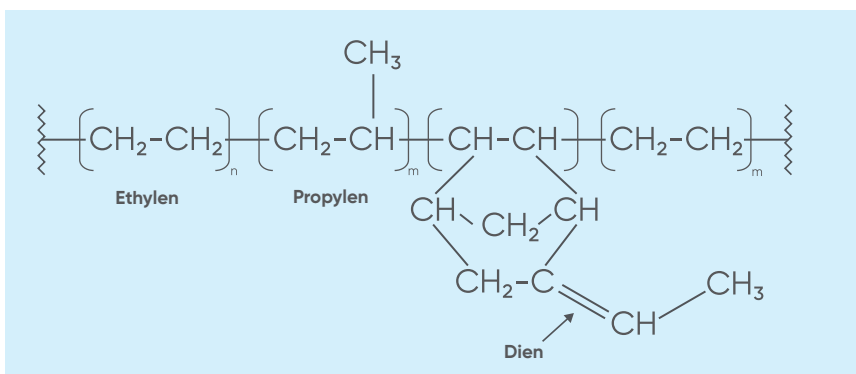
- Dichtungen und O-Ringe;
- Flachdichtungen;
- Automobilindustrie;
- NBR wird als Basismaterial für Labor- und Operationshandschuhe sowie für die chemische Abdichtung von Textilien verwendet.

1.4.2 Ethylen-Propylen-Dien-Monomer (EPDM)

EPDM-Kautschuk oder Ethylen-Propylen-Dien-Monomer-Kautschuk ist eine der beliebtesten Arten von synthetischem Kautschuk. EPDM-Kautschuk ist ein Elastomer, ein Kautschuk mit hoher Dichte, der vielseitig einsetzbar und sehr haltbar ist. Er besteht aus Ethylen, Propylen und einem Dien-Comonomer, das die Vernetzung durch Schwefelvulkanisation ermöglicht.

Es handelt sich um ein teilkristallines Material mit ethylenartigen Kristallstrukturen bei höheren Ethylengehalten, das bei Ethylengehalten von annähernd 50 Gewichtsprozent im Wesentlichen amorph wird.

Dieser Kautschuk weist einige Eigenschaften auf, die ihn besonders für elektrische Isolierungen, Dichtungen und Laminierungen geeignet machen. Die heutigen Polymerisations- und Katalysatortechnologien bieten die Möglichkeit, EPDM-Kautschuk zu entwickeln, der präzise und anspruchsvolle Kriterien für die Herstellung und Verarbeitung erfüllt.



Vorteile von EPDM-Kautschuk

- EPDM-Kautschuk weist eine hervorragende Beständigkeit gegen atmosphärische Oxidation auf, so dass er gegen Sonneneinstrahlung, Ozon und Temperatur beständig ist;
- Er besitzt eine hohe Beständigkeit gegen die meisten Chemikalien auf Wasserbasis und alkalische Flüssigkeiten;
- Auch die Toleranz von EPDM-Kautschuk gegenüber Schleifmitteln und Reißen ist gut;
- Er besitzt einen guten elektrischen Widerstand;
- EPDM-Kautschuk ist auch gegen polare Lösungsmittel wie Wasser, Säuren, Laugen und Phosphatester beständig;
- Bei hohen und niedrigen Temperaturen ist er außergewöhnlich flexibel. Je nach Aushärtungssystem liegt der Temperaturbereich von EPDM bei -50 °C bis $+120/150\text{ °C}$.

Anwendungen von EPDM

Da EPDM-Kautschuk im Freien nicht reißt, wird er häufig in Gebäuden und in der Automobilindustrie für Dichtungen verwendet. Zu den weiteren Anwendungen zählen Dampfschläuche, hochtemperaturbeständige Dichtungen und Walzenbezüge. Die heutigen Polymerisations- und Katalysatortechnologien bieten die Möglichkeit, EPDM-Kautschuk zu entwickeln, der präzise und anspruchsvolle Kriterien für die Herstellung und Verarbeitung erfüllt.

Dies hat dazu beigetragen, dass EPDM-Kautschuk in den folgenden Bereichen in großem Umfang verwendet wird:

- O-Ring und Membran zur Ventilabdichtung;
- Flansch- und Stutzendichtungen;
- Dichtungsringe und Dichtungen für Kraftfahrzeuge;
- Schläuche;
- Elektrische Isolierung;
- Dachabdichtung;
- Mechanische Gummiwaren.

1.4.3 Fluorelastomer (FKM)

FKM (Fluorkohlenstoff) ist ein synthetischer Kautschuk, der zur Familie der Fluorelastomere gehört. Alle FKMs enthalten Vinylidenfluorid als Monomer.

Fluorelastomere sind teurer als Kautschukelastomere aus Neopren oder Nitril, bieten aber zusätzliche Wärme- und Chemikalienbeständigkeit. Nach ihrer chemischen Struktur, ihrem Fluorgehalt oder ihrem Vernetzungsmechanismus können FKMs in verschiedene Gruppen eingeteilt werden:

FKMs vom Typ 1 bestehen aus Vinylidenfluorid (VDF) und Hexafluorpropylen (HFP). Die typische Kategorie der FKMs mit guter Gesamteffizienz sind Copolymere. Der Fluorgehalt beträgt etwa 66 Gewichtsprozent.

FKMs vom Typ 2 bestehen aus VDF, HFP und Tetrafluorethylen (TFE). Im Vergleich zu Copolymeren weisen Terpolymere einen höheren Fluorgehalt auf (typischerweise zwischen 68 und 69 Gewichtsprozent Fluor), was zu einer höheren chemischen und thermischen Toleranz führt. Der Kompressionsbereich und die Vielseitigkeit bei niedrigen Temperaturen können dadurch beeinträchtigt werden.

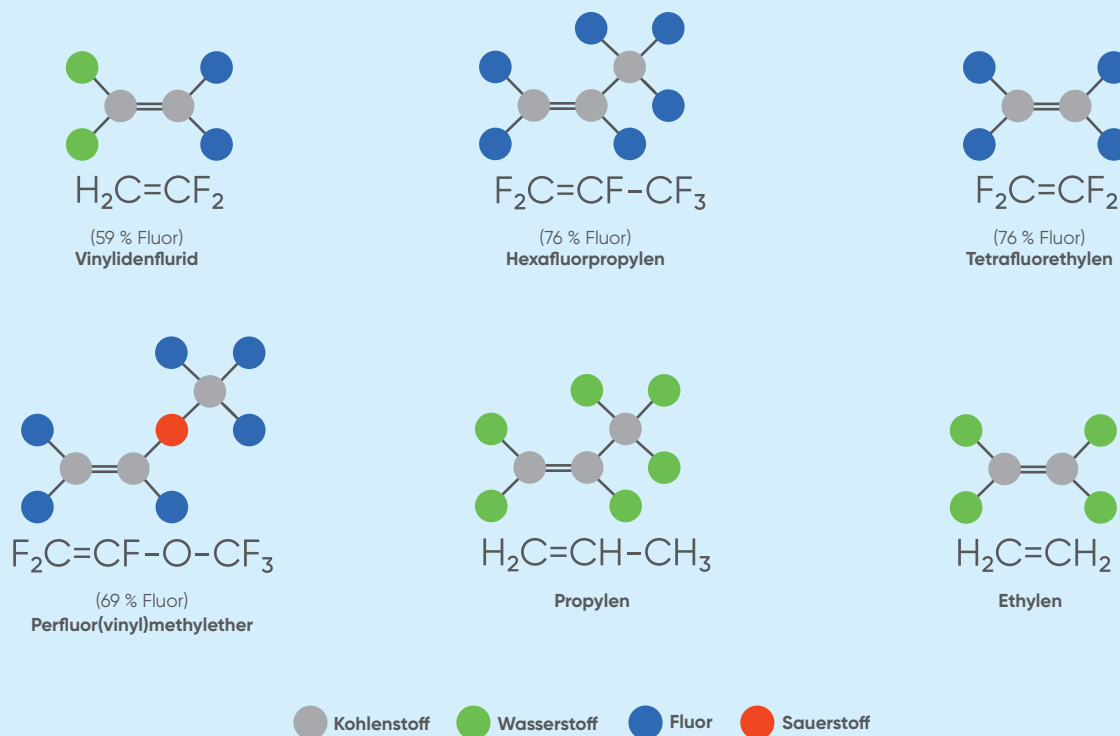
FKMs vom Typ 3 bestehen aus VDF, TFE und Perfluormethylvinylether (PMVE). Im Vergleich zu Copolymeren und Terpolymeren bietet der Zusatz von PMVE eine höhere Stabilität bei niedrigen Temperaturen. Der Fluorgehalt von FKMs des Typs 3 liegt üblicherweise in einem Bereich von 62 bis 68 Gewichtsprozent.

FKMs vom Typ 4 bestehen aus Propylen, TFE und VDF. Bei FKMs des Typs 4 wird zwar die Basenbeständigkeit verbessert, ihre Quelleigenschaften werden jedoch insbesondere bei Kohlenwasserstoffen verstärkt. Sie weisen üblicherweise einen Fluorgehalt von etwa 67 Gewichtsprozent auf.

FKMs vom Typ 5 bestehen aus VDF, HFP, TFE, PMVE und Ethylen. FKMs des Typs 5 sind für ihre Basenbeständigkeit und Schwefelwasserstoffbeständigkeit bei hohen Temperaturen bekannt.

Das von uns verwendete FKM hat einen Fluorgehalt von etwa 70 %.

Wie oben erwähnt, wird die chemische Struktur von FKM hauptsächlich durch die Menge des vorhandenen Fluorgehalts definiert.



Die Abbildung zeigt ein Beispiel für die chemische Struktur verschiedener FKM-Typen.

Vorteile von FKM

- Die Widerstandsfähigkeit von Fluorelastomeren gegenüber chemischen Angriffen durch Oxidation, Säuren und Kraftstoffe ist ausgezeichnet;
- Ihre Beständigkeit gegenüber Dampf, Methanol und anderen stark polaren Flüssigkeiten ist minimal;
- Das hohe Verhältnis von Fluor zu Wasserstoff, die Festigkeit der Kohlenstoff-Fluor-Bindung und die fehlende Ungesättigtheit sind die Gründe für die außergewöhnliche Wärmestabilität und die ausgezeichnete Ölbeständigkeit;
- Sie widerstehen nicht nur aromatischen Kohlenwasserstoffen, Kraftstoffen, Säuren und Dampf, sondern auch schweren Basen und Ketonen;
- Peroxidbehandelte Fluorelastomere weisen von Natur aus eine höhere Beständigkeit gegenüber Wasser, Wasserdampf und Säure auf.

Anwendungen von FKM

Selbst unter extremen Bedingungen bietet FKM Qualität und langfristige Zuverlässigkeit. Nachfolgend finden Sie eine Liste der Anwendungen:

- O-Ring und Membran zur Ventilabdichtung;
- Flansch- und Stutzendichtungen;
- Verteilerdichtungen;
- Kraftstofftankblasen;
- Dichtungen von Feuerschutzwänden;
- Siphonschlauch für Motoröl und Dichtungen im Kraftstoffsystem.

Bei Aliaxis verwenden wir ein mittelviskoses, hochfluoriertes (70 %) peroxidhärtbares Fluorelastomer. Unser FKM weist eine hervorragende Beständigkeit gegen eine Vielzahl von Chemikalien auf, gepaart mit ausgezeichneter Verarbeitbarkeit und optimalem Druckverformungsrest. FKM hat je nach Sorte einen Temperaturbereich von -10 °C bis +205/230 °C.

1.4.4 Perfluorelastomer (FFKM)

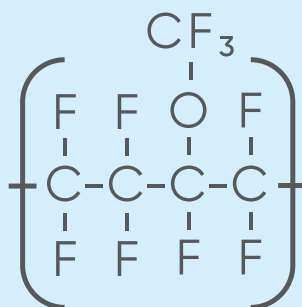
Bauteile aus Perfluorelastomer (FFKM/FFPM) widerstehen über 1.800 verschiedenen Chemikalien, darunter konzentrierte Salpetersäure, Natriumhydroxid, Ethylendiamin und Dampf, und bieten gleichzeitig die hohe Temperaturbeständigkeit von PTFE (327 °C).

FFKM-Bauteile werden in der chemischen Verarbeitung, bei der Herstellung von Halbleiterwafern, in der Pharmazie, bei der Öl- und Gasförderung sowie in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt.

Die langfristige, bewährte Leistung von FFKM-Bauteilen kann dazu beitragen, dass Dichtungen weniger häufig gewechselt, repariert und überprüft werden müssen, was die Betriebszeit von Prozessen und Anlagen erhöht und damit die Produktivität und den Ertrag steigert.

Bei Aliaxis verwenden wir FFKM-Produkte, wenn unsere Kunden besondere Anforderungen an die Verarbeitung stellen.

Die konstantere Leistung unserer FFKM-Produkte bedeutet, dass Dichtungswechsel, Reparaturen und Inspektionen seltener erforderlich sind und die Betriebszeit von Prozessen und Anlagen verlängert wird, wodurch Produktivität und Ertrag maximiert werden.



Perfluorelastomer (FFKM)

Die Abbildung zeigt die chemische Struktur von FFKM.

Vorteile von FFKM

- Beständig gegen mehr als 1800 verschiedene Chemikalien;
- Hohe Temperaturbeständigkeit bis 327 °C;
- Erhält die Integrität der Dichtung;
- Geringere Betriebs- und Wartungskosten;
- Lange Lebensdauer der Dichtung;
- Erfüllt die Sicherheitsstandards der pharmazeutischen Industrie und der Lebensmittelverarbeitung;
- Erhältlich in Standard- und Sondermischungen für kundenspezifische Anwendungen.

Anwendungen von FFKM

- Dichtungen und O-Ringe in Ventilen, Pumpen, Reaktoren und Flanschverbindungen;
- Ventilschaft-Packungssysteme;
- Hochleistungs-Bauteile für die Luft- und Raumfahrt, die Öl- und Gasindustrie, das Transportwesen und die chemische Verarbeitung.

1.5 Polytetrafluorethylen (PTFE)

Polytetrafluorethylen (PTFE) ist ein Fluorit-Polymer, das sich durch ein hohes Molekulargewicht und eine nahezu vollständige chemische Beständigkeit gegenüber Reagenzien und Lösungsmitteln auszeichnet.

PTFE ist ein schwer entflammbares Material mit einer extrem hohen thermischen Stabilität, das auch bei niedrigen Temperaturen eine hohe außergewöhnliche Festigkeit und Flexibilität aufweist.

Dank ihrer selbstschmierenden und stoßfesten Eigenschaften werden Polytetrafluorethylen-Polymere unter den Handelsnamen Teflon®, Fluon®, Argoflon® oder anderen seit vielen Jahren erfolgreich in industriellen Anwendungen zur Herstellung von Dichtungselementen, Lagern, Sicherungsringen und Getrieben eingesetzt.

Unter den thermoplastischen Harzen ermöglicht PTFE die höchsten Arbeitstemperaturen, da es in der Regel bei Arbeitstemperaturen von 250 °C bis 260 °C verwendet werden kann.

Aufgrund ihrer außergewöhnlichen chemischen Trägheit werden PTFE-Polymere und -Copolymere auch in großem Umfang als Auskleidung von Rohrleitungen, Tanks und Prozessanlagen in der chemischen Industrie eingesetzt.

PTFE besteht aus einer Reihe von Kohlenstoffatomen, die durch zwei Fluoratome an jeden Kohlenstoff gebunden sind. Die Kohlenstoffkette ist von diesen Fluoratomen umgeben, die ein dickes Molekül mit sehr engen Kohlenstoff-Fluor-Bindungen und einer Polymerstruktur bilden, die die meisten Chemikalien gegenüber PTFE inert macht.



Eigenschaften von PTFE

- PTFE ist nicht reaktiv, was zum Teil auf die Stärke der Kohlenstoff-Fluor-Bindungen zurückzuführen ist. Daher wird es auch für reaktive und korrosive Chemikalien in Behältern und Rohrleitungen verwendet;
- Wenn PTFE als Schmiermittel verwendet wird, beseitigt es Reibung, Verschleiß und Energieverbrauch. Bei chirurgischen Eingriffen wird es häufig als Transplantationsmedium verwendet;
- PTFE wird aufgrund seiner hervorragenden chemischen und thermischen Eigenschaften auch als Dichtungsmaterial in Branchen verwendet, die eine Beständigkeit gegen aggressive Chemikalien benötigen, wie z. B. in der pharmazeutischen oder chemischen Industrie;
- PTFE besitzt eine ausgezeichnete elektrische Isolierfähigkeit;
- Es ist nicht klebend und wasserbeständig;
- Es besitzt eine breite Temperaturbeständigkeit (-30 °C bis +260 °C);
- Es weist den niedrigsten Reibungskoeffizienten aller Feststoffe auf.

Anwendungen von PTFE

Da PTFE ein chemisch inertes Material ist und eine hohe Betriebstemperatur zulässt, ist es eine gute Alternative für viele industrielle Anwendungen. Im Folgenden sind einige Anwendungsbereiche von PTFE aufgeführt:

- Ventilmembranen oder Kugelsitze;
- Dichtband für Gewindeverbindungen;
- Beschichtung von Komponenten für chemische Verarbeitungsanlagen (Pumpen, Armaturen, Antriebe);
- Innenauskleidung von Rohrleitungen;
- Dichtungen.

1.6 Kunstharze, Compoundierung und Zuschlagstoffe

1.6.1 Kunstharze

Der Begriff „Kunstharz“ bezieht sich auf jedes Polymer, das als Grundstoff für einen Kunststoff dient und in der Regel eine Mischung aus organischen Verbindungen ist.

Kunstharze entstehen durch Cracken: Bei diesem Vorgang werden die Kohlenwasserstoffe durch Hitze gecrackt.

Es liegt auf der Hand, dass die beim Cracken verwendete Temperatur weitgehend für die endgültige Menge und die Art der Kohlenwasserstoffe verantwortlich ist.

Nach Beendigung des Crackens werden die verschiedenen entstandenen Verbindungen zu einer Kette, dem Polymer, zusammengefügt. Die Erzeugung verschiedener Ketten und Polymere ermöglicht es, Kunststoffe mit unterschiedlichen Eigenschaften zu erhalten, die in verschiedenen Anwendungen eingesetzt werden können.



1.6.2 Compoundierung

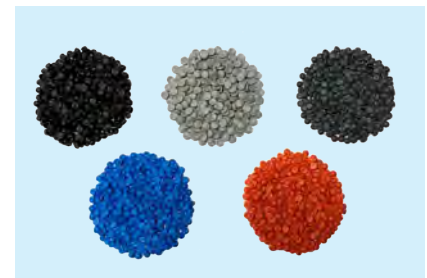
Compoundierung (auch Aufbereitung) bezeichnet die Mischung aus einem thermoplastischen Polymer mit anderen Zuschlagstoffen.

Damit aus einem Polymer das entsteht, was wir als Kunststoffendprodukt kennen, muss es zunächst compoundiert werden. Der Begriff Compoundierung suggeriert, dass es sich um die Kombination von Zuschlagstoffen mit einem Polymer handelt, um die Eigenschaften des Polymers zu verbessern.

Das Polymer liegt im Allgemeinen zu Beginn der Compoundier-Phase in Pulver, Gries oder grobstückiger Feststoff vor, kann aber auch eine Lösung, Schmelze oder Suspension sein. Die Umwandlung der Schmelze in Granulate ist die letzte Stufe des Verfahrens.

Der Prozess der Compoundierung erfolgt in drei Phasen:

- Mischen: Zusammenführen der verschiedenen Inhaltsstoffe;
- Compoundieren: Eine grobe Mischung von Materialien wird sorgfältig gemischt und zu einer möglichst homogenen Paste oder Schmelze verarbeitet;
- Granulieren: Das gemischte Material wird so geformt, dass es in Granulat geschnitten werden kann.



1.6.3 Zuschlagstoffe

Ohne das Einmischen von Zuschlagstoffen in das Polymer kann keine Compoundierung hergestellt werden. Um die Eigenschaften des Materials zu verändern, ist ein Zuschlagstoff erforderlich, der es stärker, haltbarer oder billiger macht oder dazu dient, den Polymerabbau zu verhindern.

Es gibt zwei Klassen von Zuschlagstoffen, die hier aufgelistet werden können: modifizierende Zuschlagstoffe und defensive Zuschlagstoffe.

Wie der Name schon vermuten lässt, verändern modifizierende Zuschlagstoffe die physikalischen Eigenschaften des Polymers. Modifizierende Zuschlagstoffe sind:

- Weichmacher;
- Füllstoffe;
- Streckmittel;
- Chemikalien (Vernetzungsmittel, Schlagzähigkeitsmodifikatoren, Treibmittel);
- Pigmente.

Bei defensive Zuschlagstoffen, werden Schutzadditive verwendet, um das Polymer vor Abbau zu schützen. Zu den Schutzadditiven gehören:

- Antioxidantien;
- Wärmestabilisatoren;
- UV-Stabilisatoren;
- Gleitmittel (innen und außen);
- Verarbeitungshilfsstoffe.

1.7 Werkstoffprüfung

Im Lebenszyklus eines Polymers, vom Rohstoff über die Compoundierung bis hin zum halbfertigen und fertigen Bauteil, spielen Prüfungen eine entscheidende Rolle. Anhand von Prüfungen lässt sich feststellen, ob das Material in Bezug auf seine allgemeinen Materialeigenschaften ausreichend ist, so dass wir es auf seinem Weg zum Endprodukt an die nächste Phase weitergeben können. Das Ergebnis des Prozesses und des Materials ist die Qualität. Wenn das Material, aus dem das Produkt besteht, einen Mangel aufweist, kann das ganze Produkt mangelhaft sein. Um sicherzustellen, dass jedes Produkt von Aliaxis eine hervorragende Qualität aufweist, führen wir verschiedene Qualitätsprüfungen durch. Nachfolgend sind die typischen Prüfverfahren aufgelistet, die wir an den Rohstoffen unserer industriellen Produktpalette durchführen.

1.7.1 Schlagprüfung

Schlagprüfungen werden zur Untersuchung der Zähigkeit von Materialien eingesetzt. Die Zähigkeit eines Materials ist ein Maß für seine Fähigkeit, bei plastischer Verformung Energie zu absorbieren. Spröde Materialien haben eine geringe Zähigkeit, da sie nur einer sehr geringen plastischen Verformung standhalten können. Der Schlagwert eines Materials kann sich auch mit der Temperatur ändern. Bei niedrigeren Temperaturen ist die Schlagenergie eines Materials im Allgemeinen geringer.

Prüfungsarten

Es gibt grundsätzlich zwei Arten von Schlagprüfungen: Pendel- und Fallgewichtsversuche. Das Pendelprüfverfahren eignet sich für die Schlagprüfung von Kunststoffmaterialien, während das Fallgewicht für Stähle bestimmt ist.

Die Schlagprüfung nach Charpy und Izod und die Zugfestigkeitsprüfung sind die gängigsten Pendelprüfungen. Sie sind häufig angewandte Methoden zur Bewertung der Kerbschlagzähigkeit oder Zähigkeit eines Materials. Mit anderen Worten: Mit diesen Prüfverfahren wird die Gesamtmenge der Energie bestimmt, die ein Material absorbieren kann. Diese Energieabsorption steht in engem Zusammenhang mit der Sprödigkeit des Materials. Spröde Materialien haben tendenziell schlechtere Absorptionswerte als duktile Materialien.

Es ist wichtig, die Energieabsorptionseigenschaften eines Materials zu berücksichtigen, da es vorhersagt, wie viel plastische Verformung das Material vor einem katastrophalen Versagen ertragen kann. Auch die Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen diesen beiden gängigen Schlagprüfverfahren müssen berücksichtigt werden.

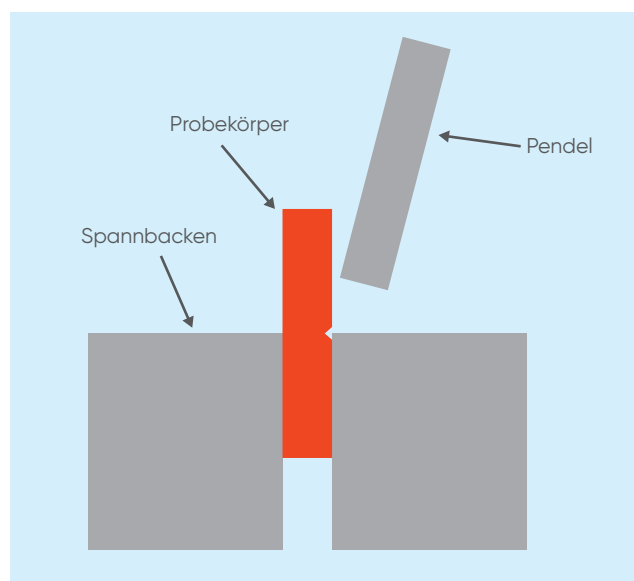
Pendelprüfverfahren

Schlagprüfung nach Izod

Der Test ist nach Edwin Gilbert Izod (1876–1946), einem englischen Ingenieur, benannt, der die Testmethode 1903 beschrieb. Die Schlagprüfung nach Izod ist eine ASTM-Standardmethode zur Bestimmung der Schlagzähigkeit von Werkstoffen. Ein schwenkbarer Arm wird auf eine bestimmte Höhe angehoben (konstante potenzielle Energie) und dann losgelassen. Der Arm schwenkt nach unten und trifft auf eine gekerbte Probe und bricht die Probe. Die von der Probe absorbierte Energie wird anhand der Höhe berechnet, auf die der Arm nach dem Auftreffen auf die Probe schwingt. Zur Beurteilung der Aufprallenergie und Kerbempfindlichkeit wird üblicherweise eine Kerbprobe verwendet.

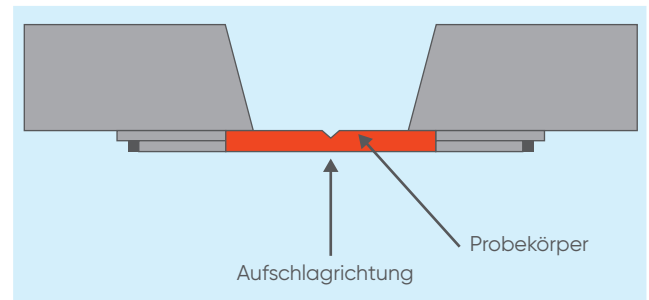
Der Aufbau der Prüfvorrichtung und des Probekörpers ist dem des Schlagversuchs nach Charpy sehr ähnlich, mit einigen deutlichen Abweichungen, einschließlich der Ausrichtung des Probekörpers, der vertikal in die Vorrichtung eingespannt wird, wobei die Kerbe dem Pendel zugewandt ist. In einem bestimmten Bereich oberhalb der Kerbe trifft das Pendel dann auf die Probe.

Einer der wichtigsten Unterschiede zur Schlagprüfung nach Charpy, dass die Schlagprüfung nach Izod sowohl an Kunststoff- als auch an Metallproben durchgeführt werden kann.



Schlagprüfung nach Charpy

Die Schlagprüfung nach Charpy wurde von S.B. Russell und Georges Charpy zu Beginn des 20. Jahrhunderts entwickelt. Dank der technologischen Beiträge und der Normungsbemühungen von Charpy wurde der Test in den frühen 1900er Jahren als Charpy-Prüfung bekannt. Da die Herstellung der Proben und die Erfassung der Ergebnisse relativ einfach sind, ist diese Methode bis heute eine der beliebtesten Schlagprüfungen überhaupt. Die Prüfvorrichtung besteht aus einem beschwerten Pendel, das aus einer bestimmten Höhe fallen gelassen wird, um auf die Probe zu treffen. Durch Messung des Höhenunterschieds des Pendels vor und nach dem Bruch kann die auf das Material übertragene Energie berechnet werden.



Ein Charpy-Probekörper, bei dem in einer seiner Flächen eine Kerbe eingearbeitet ist, wird horizontal in die Vorrichtung eingespannt. Diese V- oder U-förmige Kerbe weist vom Pendel weg und trägt dazu bei, die Spannung zu konzentrieren und den Bruch zu erleichtern. Die Prüfungen können sowohl bei Umgebungstemperatur als auch bei reduzierten Temperaturen durchgeführt werden.

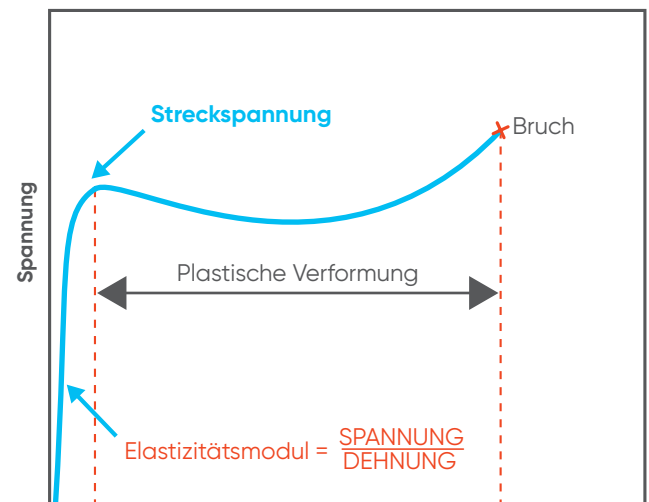
Die Schlagprüfung nach Charpy wird meist an Metallen durchgeführt. Für Kunststoffe und Polymere wird eine Reihe von Prüfnormen angewendet, darunter ASTM D6110 und ISO 179.

Zugfestigkeitsprüfung

Eine der einfachsten und gängigsten Arten der mechanischen Prüfung ist eine Zugfestigkeitsprüfung. Bei einem Zugversuch wird eine Zugkraft auf ein Material ausgeübt und die Reaktion der Probe auf die aufgebrachte Spannung gemessen. Auf diese Weise lässt sich feststellen, wie widerstandsfähig ein Material ist und wie sehr es gedehnt werden kann. In der Regel werden Zugversuche auf elektromechanischen oder Universal-Prüfmaschinen (UTM) durchgeführt.

Wenn das Material während des Ziehens geprüft wird, ergibt sich ein vollständiges Profil der Zugeigenschaften. Diese Daten ergeben eine Spannungs-/Dehnungskurve, die in einem Diagramm dargestellt wird und anzeigt, wie das Material auf die einwirkenden Kräfte reagiert. Dabei ist die Bruch- oder Versagensphase von großem Interesse, aber auch der Elastizitätsmodul, die Streckgrenze und die Dehnung sind wichtige Merkmale.

Im Folgenden sind die wichtigsten Begriffe im Zusammenhang mit der Zugfestigkeitsprüfung aufgeführt.



Zugfestigkeit

Eine der wichtigsten Eigenschaften, die wir über ein Material bestimmen können, ist seine Zugfestigkeit (UTS). Dies ist die maximale Beanspruchung, der eine Probe bei der Prüfung ausgesetzt ist.

Hookesches Gesetz

Das Hookesche Gesetz zeigt eine lineare Beziehung zwischen der aufgebrachten Kraft oder Last und der Dehnung der Probe. Mit anderen Worten: Das Hookesche Gesetz ist ein Gesetz, bei dem das Verhältnis von Spannung und Dehnung eine Konstante ist, $E = \sigma_0 / \epsilon_0$. Dabei ist E der „Elastizitätsmodul“, σ die beaufschlagte Spannung/Last und ϵ die am Material beobachtete Dehnung bei der beaufschlagten Last.

Elastizitätsmodul

Der Elastizitätsmodul ist ein Maß für die Steifigkeit des Materials, das nur im linearen Anfangsbereich der Kurve auftritt. Dieser Bereich wird als „elastischer Bereich“ bezeichnet, was bedeutet, dass das Material innerhalb dieses Bereichs nach dem Wegfall der beaufschlagten Last wieder seine ursprüngliche Form annimmt.

Die Tabelle zeigt den Elastizitätsmodul verschiedener Kunststoffe gemäß ISO 527-1.

Material	Wert (MPa, 23 °C)
PVC-U	2.700
PVC-C	2.700
ABS	2.000
PP-H	1.300
PE 100	1.000
PVDF	1.900

Streckspannung (Streckgrenze)

Die Streckgrenze eines Materials ist definiert als die auf das Material ausgeübte Spannung, bei der es sich plastisch (dauerhaft) zu verformen beginnt. Der Bereich, in dem dieses Verhalten auftritt, wird als „Bereich der plastischen Verformung“ bezeichnet. Das bedeutet, dass das Material nach Erreichen dieses Bereichs seine Fähigkeit verliert, seine ursprüngliche Form wiederzuerlangen, auch wenn die aufgebrachte Last entfernt wird. Die Tabelle zeigt die Streckgrenze verschiedener Kunststoffe gemäß ISO 527-1.

Material	Wert (MPa, 23 °C)
PVC-U	54
PVC-C	53
ABS	40
PP-H	33
PE 100	23
PVDF	50

1.7.2 Schmelzflussprüfung

Bei Messungen des Schmelzflusses werden die Schmelzflussrate (MFR) und die Schmelzvolumenrate (MVR) eines geschmolzenen Polymers untersucht. Bei einer bestimmten Temperatur und einer bestimmten zugegebenen Masse werden die Werte auf Grundlage des Materials ermittelt.

Der Schmelzflussprüfkörper besteht aus:

- einem heißen Zylinder, der an einem Ende mit einer abnehmbaren Düse ausgestattet ist;
- einer Temperaturregelung des Zylinders;
- einem Kolben, der in den Zylinder passt.

Schmelzflussrate (MFR)

Sie beschreibt die Extrusionsgeschwindigkeit eines geschmolzenen Kunststoffes durch eine Düse bestimmter Länge und bestimmten Durchmessers unter vorgeschriebenen Bedingungen (Temperatur, Last und Kolbenstellung) im Zylinder eines Schmelzflussprüfgeräts (Extrusionsplastometer), wobei die Geschwindigkeit als die in einer bestimmten Zeit extrudierte Masse bestimmt wird. Die MFR wird in Einheiten von Gramm pro 10 Minuten (g/10 min) angegeben.

Schmelzvolumenrate (MVR)

Sie beschreibt die Extrusionsgeschwindigkeit eines geschmolzenen Kunststoffes durch eine Düse bestimmter Länge und bestimmten Durchmessers unter vorgeschriebenen Bedingungen (Temperatur, Last und Kolbenstellung) im Zylinder eines Schmelzflussprüfgeräts (Extrusionsplastometer), wobei die Geschwindigkeit als das über eine vorgegebene Zeit extrudierte Volumen bestimmt wird. Die MVR wird in Kubikzentimetern pro 10 Minuten (cm³/10 min) angegeben.



1.7.3 Thermische Prüfung

Thermische Prüfungen werden hauptsächlich durchgeführt, um zwei wichtige Materialeigenschaften der Kunststoffe zu bestimmen, nämlich die Wärmeformbeständigkeitstemperatur (HDT) und die VICAT-Erweichungstemperatur.

Wärmeformbeständigkeitstemperatur (HDT)

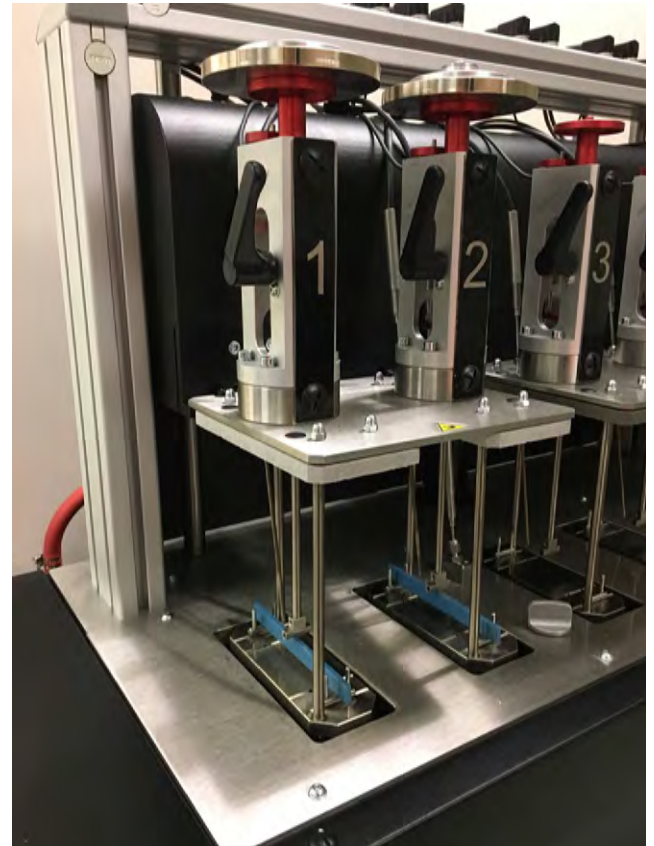
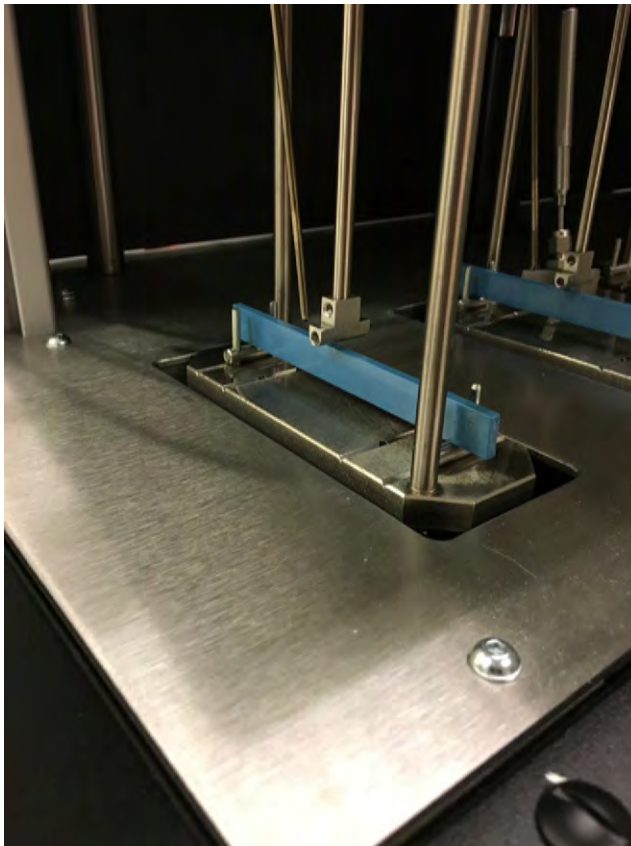
Die Wärmeformbeständigkeitstemperatur oder Wärmeverformungstemperatur (Heat Deflection Temperature oder Heat Distortion Temperature, HDT) ist die Temperatur, bei der sich eine Polymer- oder Kunststoffprobe unter Biegebelastung verformt. Diese Eigenschaft bestimmter Kunststoffe wird in vielen Bereichen des Produktdesigns, der Konstruktion und der Herstellung von Produkten mit thermoplastischen Komponenten genutzt.

Die Wärmeformbeständigkeitstemperatur wird nach dem folgenden, in ISO 75-2 (ASTM D648) beschriebenen Prüfverfahren bestimmt. Der Prüfling wird in Dreipunktbiegung in Kantenrichtung belastet. Die für die Prüfung verwendete äußere Faserspannung beträgt entweder 0,45 MPa oder 1,80 MPa, und die Temperatur wird mit 2 °C/min erhöht, bis sich die Probe um 0,25 mm durchbiegt.

Die folgende Tabelle zeigt die Werte der Wärmeformbeständigkeitstemperatur (HDT) verschiedener Kunststoffe gemäß ISO 75-2 (ASTM D648).

Die Werte mit dem Buchstaben B beziehen sich auf 0,45 MPa, die mit dem Buchstaben A auf 1,8 MPa.

Material	Wert (°C)	Max. Betriebstemperatur des Rohrleitungssystems (°C)
PVC-U	74 (A)	60
PVC-C	103 (A)	95
ABS	78 (A)	60
PP-H	95-105 (B)	95
PE 100	75 (B)	60
PVDF	110 (A), 145 (B)	140



VICAT Erweichungstemperatur

Die Vicat-Erweichungstemperatur oder Vicat-Härte ist die Bestimmung des Erweichungspunktes für Materialien, die keinen bestimmten Schmelzpunkt aufweisen, wie z. B. Kunststoffe. Sie ist die Temperatur, bei der eine Flachnadel mit einem kreisförmigen oder quadratischen Querschnitt von 1 mm² bis zu einer Tiefe von 1 mm in die Probe eindringt.

Normen zur Bestimmung des Vicat-Erweichungspunktes sind ISO 306 und ASTM D 1525.

1.8 Kennzeichnung von Rohren und Rohrformstücken

Jedes Bauteil erhält vor der Auslieferung an den Kunden eine Kennzeichnung. Die Kennzeichnung erfolgt zum besseren Verständnis wichtiger Details des Bauteils auf eine möglichst einfache Weise. Im Allgemeinen werden bei der Kennzeichnung die wichtigsten Informationen wie Materialart, Name des Herstellers, Druckstufe, Dimension, Norm und Herstellungsdatum aufgedruckt.

Die Kennzeichnungselemente sind direkt auf das Bauteil zu drucken, aufzubringen oder auf ein Etikett zu drucken. Und zwar so, dass die Lesbarkeit durch Lagerung, Witterungseinflüsse, Handhabung oder Einbau nicht beeinträchtigt wird.

HINWEIS: Der Hersteller übernimmt keine Haftung, wenn die Beschriftung eines Bauteils durch Einwirkungen während der Installation und des Gebrauchs unleserlich wird, z. B. durch Anstreichen, Zerkratzen, Abdecken oder durch die Verwendung von Reinigungsmitteln usw., es sei denn, dies ist mit dem Hersteller so vereinbart oder von ihm vorgeschrieben.

Die Kennzeichnung darf nicht zu Rissen oder sonstigen Mängeln führen, die die Leistungsfähigkeit des Bauteils beeinträchtigen.

Die Farbe der aufgedruckten Informationen muss eine andere sein als die Grundfarbe des Bauteils. Die Kennzeichnung muss so groß sein, dass sie auch ohne Vergrößerung lesbar ist.

Unterschied zwischen Kennzeichnung und Etikettierung

Die Kennzeichnung wird direkt auf das Bauteil geformt oder gedruckt, während die Etikettierung durch separaten Druck des Etiketts erfolgt und das gedruckte Etikett dann auf das Bauteil geklebt wird.

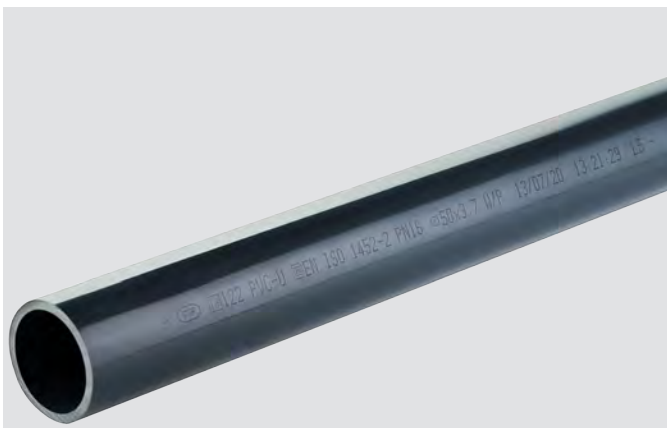
1.8.1 Mindestanforderungen für die Kennzeichnung von Rohren

Die Rohre müssen in Abständen von höchstens 1 m, mindestens einmal pro Rohr gekennzeichnet werden. Die nachstehende Tabelle zeigt beispielhaft die minimal erforderliche Kennzeichnung der nach ISO 15493 hergestellten Rohre.

Information	Kennzeichnung oder Symbol
Nummer dieser internationalen Norm	ISO 15493
Name und/oder Marke des Herstellers	Name oder Symbol
Nenn-Außendurchmesser	z. B. 110
Nennwandstärke	z. B. 5,3
Rohrserie S oder Standardabmessungsverhältnis SDR	z. B. S 10 oder SDR 21
Nenndruck PN	z. B. PN 10
Material	z. B. PVC-U
Angaben des Herstellers	ª

ª Zur Gewährleistung der Rückverfolgbarkeit sind folgende Angaben zu machen:

- Produktionszeitraum (Jahr und Monat), in Zahlen oder in Form eines Codes;
- Name oder Code des Produktionsstandorts, wenn der Hersteller an verschiedenen Standorten produziert.



Diese Abbildung zeigt die Kennzeichnung auf einem PVC-U-Rohr und welche Informationen darauf zu finden sind. Im Allgemeinen entspricht die Kennzeichnung auf einem Rohrmaterial der Norm EN ISO 12201.

1.8.2 Mindestanforderungen für die Kennzeichnung von Formstücken

In der nachstehenden Tabelle sind die Mindestanforderungen an die Kennzeichnung der nach ISO 15493 hergestellten Formstücke aufgeführt.

Information	Kennzeichnung oder Symbol
Nummer dieser internationalen Norm ^a	ISO 15493
Name und/oder Marke des Herstellers	Name oder Symbol
Nenn-Außendurchmesser	z. B. 63-32-63
Nennwandstärke	z. B. 5,8
Rohrserie S oder Standardabmessungsverhältnis SDR	z. B. S 10 oder SDR 21
Nenndruck PN	z. B. PN 10
Nenngröße DN ^b	z. B. DN 50
Material	z. B. PVC-U
Herstellerinformationen	^c

^a Diese Angaben müssen mindestens auf der Verpackung angegeben werden.

^b Gilt nur für Flansche.

^c Für Formstücke mit $d > 32$ mm sind folgende Angaben zur Rückverfolgbarkeit zu machen:

- Produktionszeitraum (Jahr und Monat), in Zahlen oder in Form eines Codes;
- Name oder Code des Produktionsstandorts, wenn der Hersteller an verschiedenen Standorten produziert.



Diese Abbildung zeigt eine Kennzeichnung auf einem PVC-U-Formstück.

1.8.3 Mindestanforderungen für die Kennzeichnung von Armaturen

Je nach Art der Armatur müssen Armaturen gemäß den Anforderungen von ISO 16135, ISO 16136, ISO 16137, ISO 16138, ISO 16139 oder ISO 21787 gekennzeichnet sein.

1.9 Erforderliche Mindestfestigkeit (Minimum Required Strength, MRS) und Langzeitverhalten

Die praktische Lebensdauer eines unter Innendruck stehenden Rohres ist einer der wichtigsten Aspekte bei Kunststoffrohren. Dieses Attribut wird als Langzeitverhalten bezeichnet. Temperatur und Strömungsmedium spielen bei der Beurteilung des Langzeitverhaltens eine wichtige Rolle.

In Europa wird die hydrostatische Langzeitfestigkeit von Kunststoffrohren, die so genannte „Erforderliche Mindestfestigkeit“ (Minimum Required Strength, MRS), zur Bestimmung der Druckbelastung von Kunststoffrohren verwendet.

Der MRS-Wert wird durch die Auswertung von Langzeit-Rohrversuchen nach folgenden Normen bestimmt:

- EN ISO 15493 (PVC-U, PVC-C und ABS).
- EN ISO 15494 (PE, PP).
- EN ISO 10931 (PVDF).

Die MRS-Werte (Minimum Required Strength) für thermoplastische Kunststoffe, die beim Bau von industriellen Rohrleitungssystemen verwendet werden, sind in der nebenstehenden Tabelle aufgeführt.

Material	MRS-Wert (MPa) Wasser, 20 °C, 50 Jahre
PVC-U	25
PVC-C (Rohr)	25
PVC-C (Formstück)	20
ABS	14
PP-H	10
PE 100	10
PE 80	8
PVDF	25

1.9.1 Begriffe im Zusammenhang mit Langzeitverhalten

Kriechen: Alle thermoplastischen Werkstoffe weisen die Eigenschaft des Kriechens auf, d. h. sie verformen sich über einen gewissen Zeitraum, selbst bei Raumtemperatur und relativ geringer Belastung. Nach Wegfall der Beanspruchung nimmt ein Material je nach Dauer und Stärke der Beanspruchung seine ursprüngliche Form wieder an.

Die Verformung, bei der das Material seine ursprüngliche Form wieder annehmen kann, wird als elastische Verformung bezeichnet. Im Gegensatz dazu wird die Verformung, bei der das Material die Eigenschaft verliert, seine ursprüngliche Form wieder anzunehmen, plastische Verformung genannt.

Langzeit-Materialprüfung: Die Werte der mechanischen Eigenschaften des Kunststoffs hängen in den meisten Fällen von den folgenden drei Parametern ab.

- Zeit;
- Temperatur;
- Spannung.

Die mechanischen Eigenschaften eines Materials bei einer bestimmten Temperatur über einen langen Zeitraum können durch eine Langzeit-Materialprüfung ermittelt werden. Die Langzeit-Materialprüfung ist ein Test, bei dem das Versagensverhalten des Materials durch Simulation mit Druck und Temperatur für eine längere Prüfzeit berechnet werden kann, die in ISO 1167 für verschiedene Materialien festgelegt ist.

97,5 % Lower Predictable Limit (LPL): Das bedeutet, dass mindestens 97,5 % der Datenpunkte auf oder über den Referenzkurven der jeweiligen Materialien liegen müssen.

1.9.2 Langzeitverhalten von PVC-U

Das Langzeitverhalten von PVC-U geht aus dem folgenden Umfangsspannungsdiagramm hervor. Für Temperaturen von +20 °C bis +60 °C sind Bruchlinien dargestellt. Diese werden als LPL-Kurven (Lower Predictable Limit) bezeichnet, was bedeutet, dass 97,5 % aller Bruchpunkte auf oder oberhalb der entsprechenden Kurve liegen.

Unter Verwendung der Standard-Extrapolationsmethode (SCM) nach EN ISO 9080 wurde das Langzeitverhalten berechnet. Die folgende Formel hilft uns, verschiedene Parameter wie Spannung, Temperatur oder Zeit bis zum Versagen für den Temperaturbereich von +20 °C bis +60 °C zu bestimmen.

Formel:

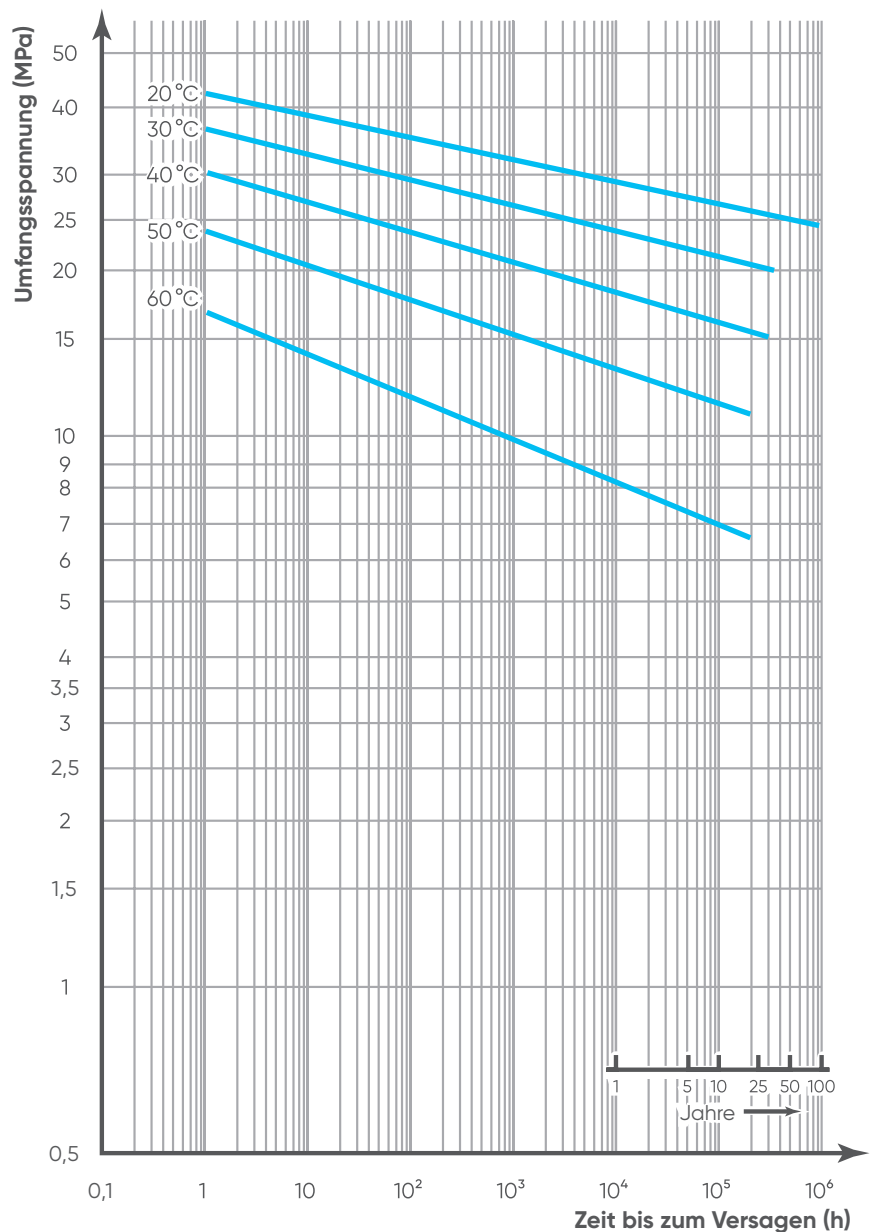
$$\log t = -164,461 - 29349,493 \times \frac{\log \sigma}{T} + 60126,534 \times \frac{1}{T} + 75,079 \times \log \sigma$$

wobei:

t_f = Zeit bis zum Versagen (in Stunden);

T = Temperatur des strömenden Mediums (in °C);

σ = Umfangsspannung (in MPa) (1 MPa = 1 N/mm²).



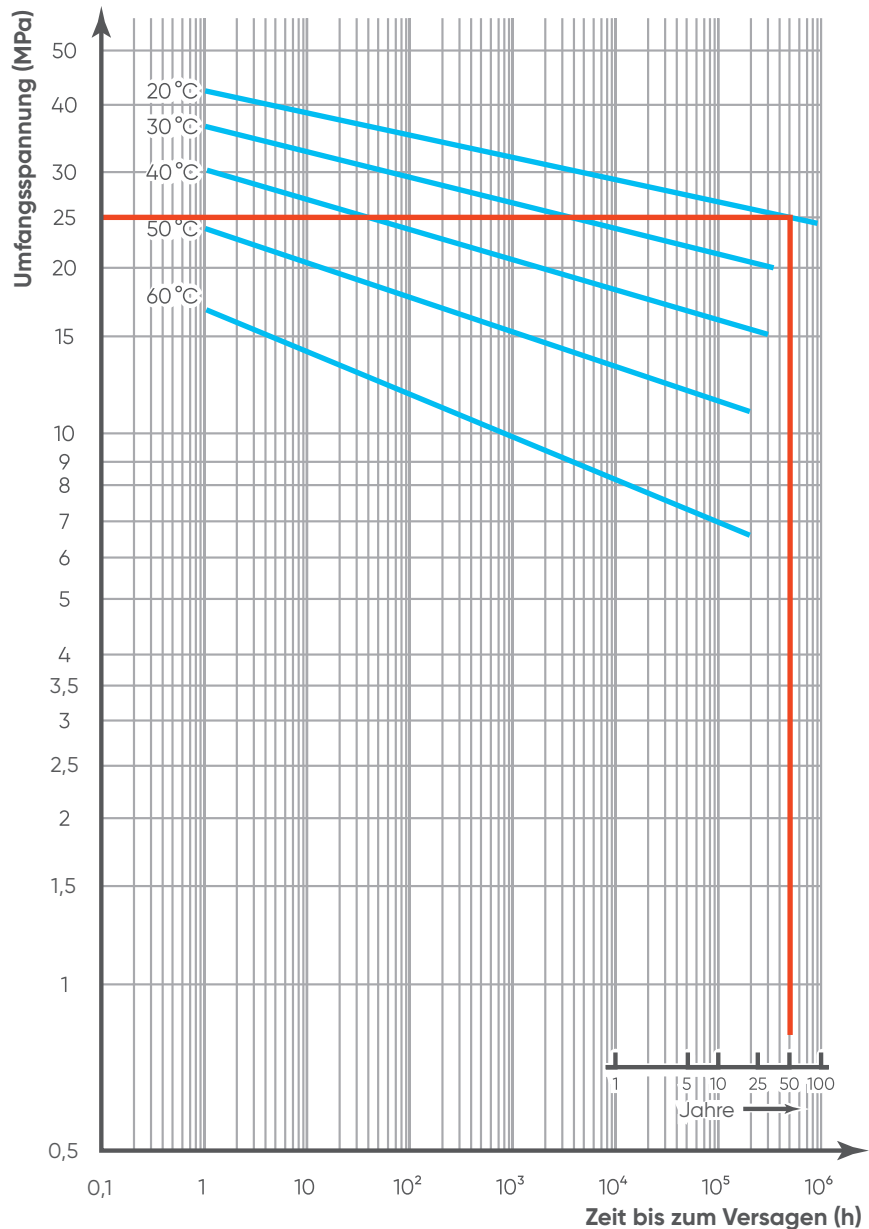
Kurven der erforderlichen hydrostatischen Mindestfestigkeit für PVC-U.

Praktisches Beispiel für das Lesen des MRS-Diagramms:

1) Wie hoch ist der MRS-Wert eines PVC-U-Rohrs, das Wasser bei 20 °C über eine Lebensdauer von 50 Jahren transportiert?

Betrachtet man die hydrostatische Festigkeitskurve für PVC-U bei 20 °C und 50 Jahren Lebensdauer, so beträgt der MRS-Wert 25 MPa, wie in der nebenstehenden Abbildung grafisch dargestellt.

Kurven der erforderlichen hydrostatischen Mindestfestigkeit für PVC-U.



1.9.3 Langzeitverhalten von PVC-C

Das Langzeitverhalten von PVC-C geht aus dem folgenden Umfangsspannungsdiagramm hervor. Für Temperaturen von +10 °C bis +95 °C und +10 °C bis +90 °C sind Bruchlinien für Rohr- bzw. Formstückmaterial dargestellt. Diese werden als LPL-Kurven (Lower Predictable Limit) bezeichnet, was bedeutet, dass 97,5 % aller Bruchpunkte auf oder oberhalb der entsprechenden Kurve liegen.

Unter Verwendung der Standard-Extrapolationsmethode (SCM) nach EN ISO 9080 wurde das Langzeitverhalten berechnet. Die folgende Formel hilft uns, verschiedene Parameter wie Spannung, Temperatur oder Zeit bis zum Versagen für Rohr- und Formstückmaterial in dem Temperaturbereich von +10 °C bis +95 °C bzw. +10 °C bis +90 °C zu bestimmen.

Formel für ein Rohr aus PVC-C (10 °C bis 95 °C)

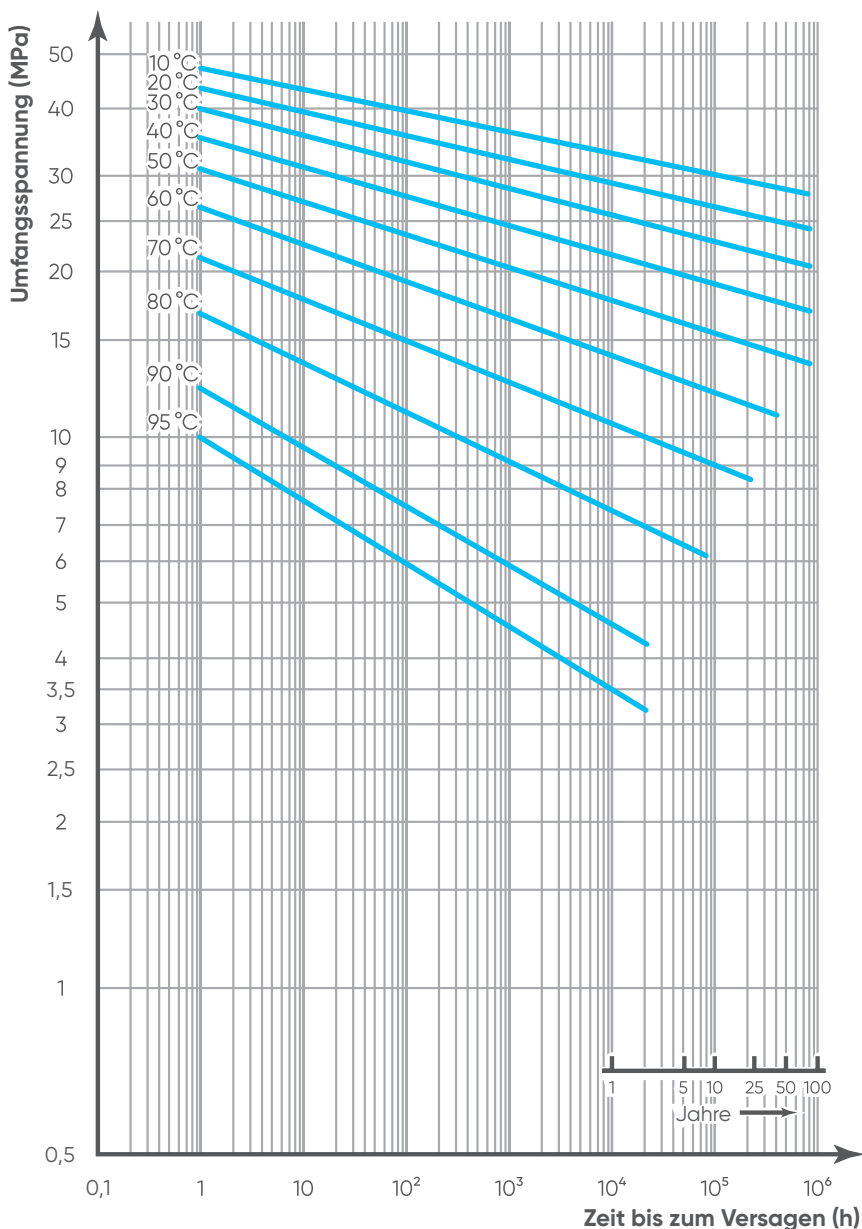
$$\log t = -109,95 - 21897,4 \times \frac{\log \sigma}{T} + 43702,87 \times \frac{1}{T} + 50,74202 \times \log \sigma$$

wobei:

t_f = Zeit bis zum Versagen (in Stunden);

T = Temperatur des strömenden Mediums (in °C);

σ = Umfangsspannung (in MPa) (1 MPa = 1 N/mm²).



Kurven der erforderlichen hydrostatischen Mindestfestigkeit für PVC-C-Rohrmaterial.

Formel für ein Formstück aus PVC-C (10 °C bis 95 °C)

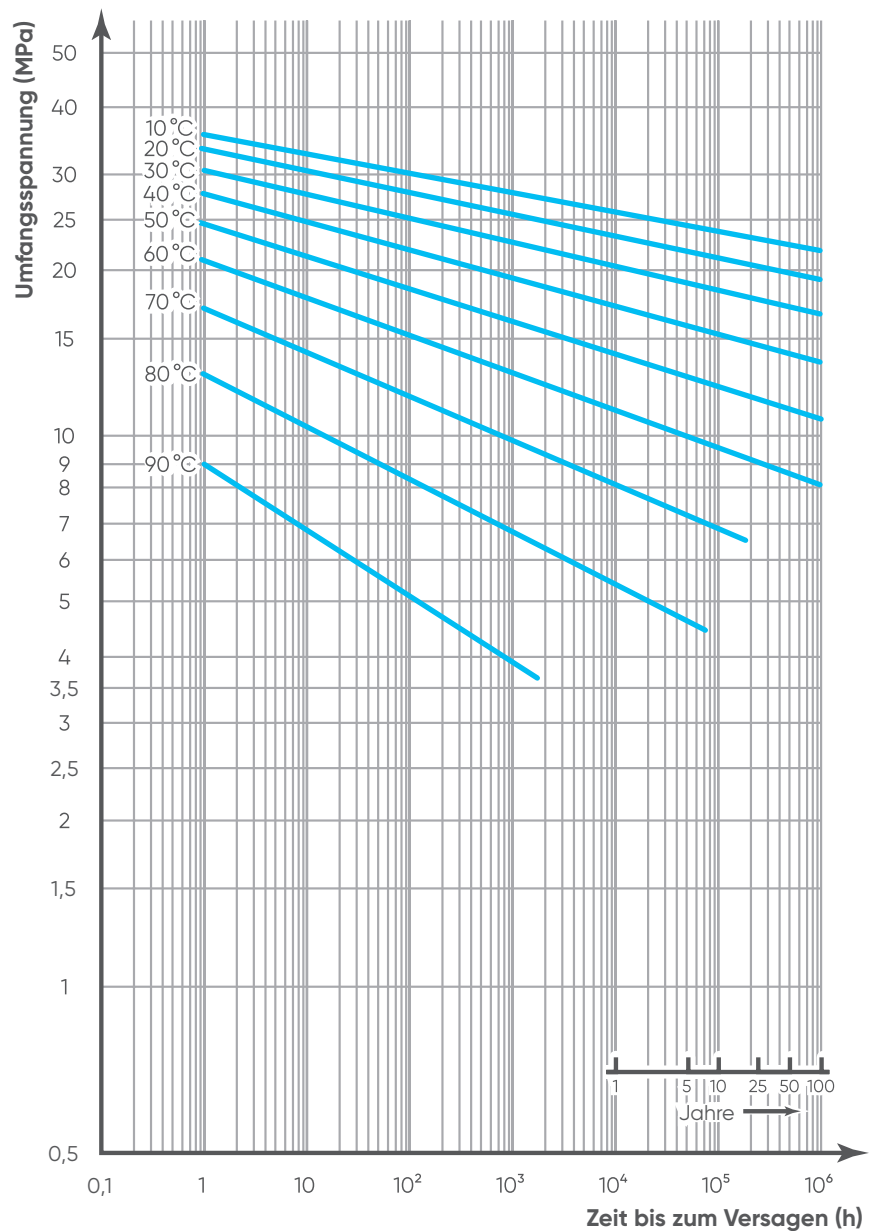
$$\log t = -121,699 - 25985 \times \frac{\log \sigma}{T} + 47143,18 \times \frac{1}{T} + 63,03511 \times \log \sigma$$

wobei:

t_f = Zeit bis zum Versagen (in Stunden);

T = Temperatur des strömenden Mediums (in °C);

σ = Umfangsspannung (in MPa) (1 MPa = 1 N/mm²).



Kurven der erforderlichen hydrostatischen Mindestfestigkeit für PVC-C-Formstückmaterial.

1.9.4 Langzeitverhalten von ABS

Das Langzeitverhalten von ABS geht aus dem folgenden Umfangsspannungsdiagramm hervor. Für Temperaturen von +10 °C bis +60 °C sind Bruchlinien dargestellt. Diese werden als LPL-Kurven (Lower Predictable Limit) bezeichnet, was bedeutet, dass 97,5 % aller Bruchpunkte auf oder oberhalb der entsprechenden Kurve liegen.

Unter Verwendung der Standard-Extrapolationsmethode (SCM) nach EN ISO 9080 wurde das Langzeitverhalten berechnet. Die folgende Formel hilft uns, verschiedene Parameter wie Spannung, Temperatur oder Zeit bis zum Versagen für den Temperaturbereich von +10 °C bis +60 °C zu bestimmen.

Formel:

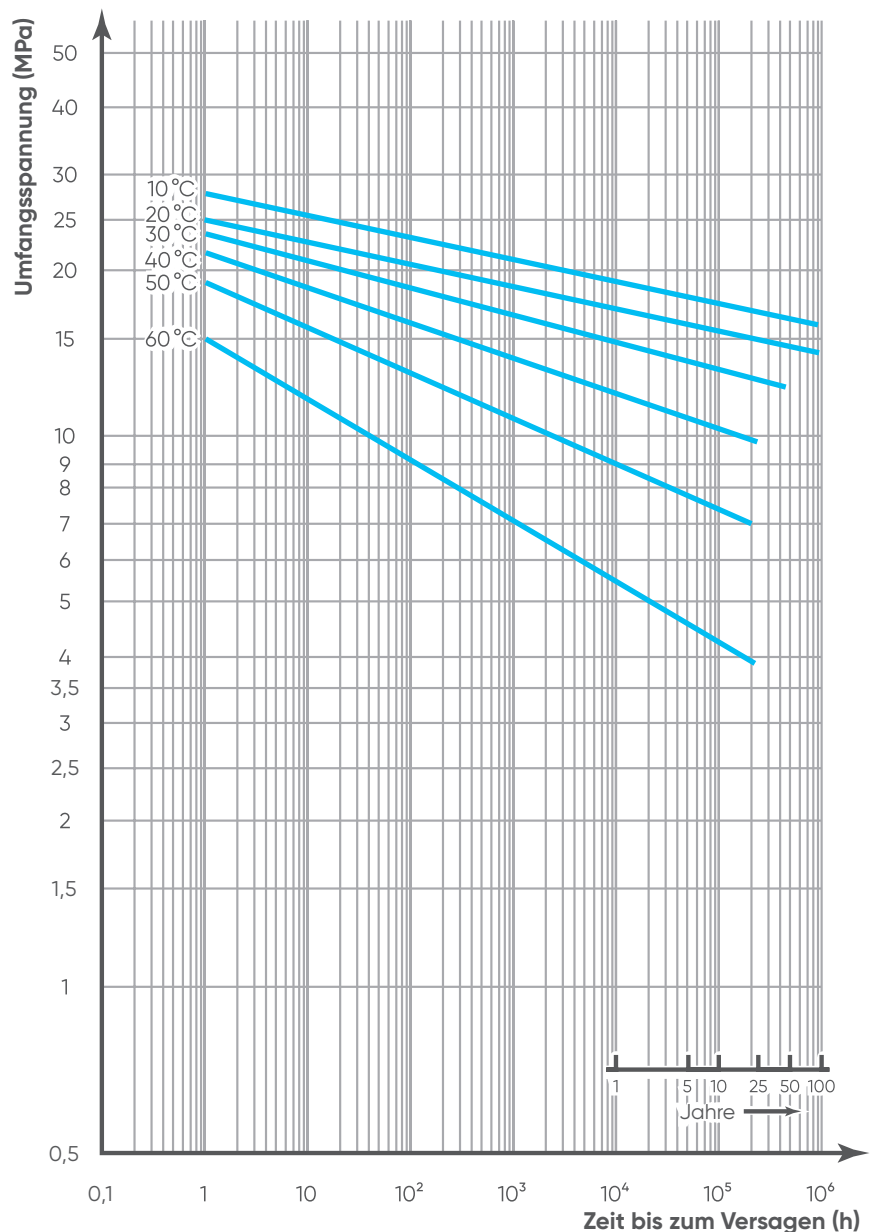
$$\log t = -154,8961 - 35935,57 \times \frac{\log \sigma}{T} + 55180,34 \times \frac{1}{T} + 98,73749 \times \log \sigma$$

wobei:

t_f = Zeit bis zum Versagen (in Stunden);

T = Temperatur des strömenden Mediums (in °C);

σ = Umfangsspannung (in MPa) (1 MPa = 1 N/mm²).



Kurven der erforderlichen hydrostatischen Mindestfestigkeit für ABS.

1.9.5 Langzeitverhalten von PP-H, PP-B und PP-R

Das Langzeitverhalten von PP-H, PP-B und PP-R ergibt sich aus dem folgenden Umfangsspannungsdiagramm. Für Temperaturen von +10 °C bis +110 °C sind Bruchlinien dargestellt. Diese werden als LPL-Kurven (Lower Predictable Limit) bezeichnet, was bedeutet, dass 97,5 % aller Bruchpunkte auf oder oberhalb der entsprechenden Kurve liegen. Unter Verwendung der Standard-Extrapolationsmethode (SCM) nach EN ISO 9080 wurde das Langzeitverhalten berechnet. Die folgende Formel hilft uns, verschiedene Parameter wie Spannung, Temperatur oder Zeit bis zum Versagen für den Temperaturbereich von +10 °C bis +80 °C zu bestimmen. Werden Messungen mit längeren Messzeiträumen bei 85 °C, 90 °C, 95 °C und 110 °C durchgeführt, so gelten die gestrichelten Linien der Referenzkurven. Die längere Prüfdauer ergibt sich aus den in ISO 9080 festgelegten Extrapolationszeitgrenzen.

Hinweis: Unter Verwendung von Wasser innen und Luft außen wird die 110 °C-Kurve getrennt gemessen. Sie kann nicht anhand der nachstehenden Formeln bestimmt werden.

PP-H-Formel:

Erste Verzweigung: (gilt für den Temperaturbereich +10 °C bis +80 °C)

$$\log t = -46,364 - 9601,1 \times \frac{\log \sigma}{T} + 20381,5 \times \frac{1}{T} + 15,24 \times \log \sigma$$

Zweite Verzweigung: (gilt für den Temperaturbereich von +80 °C bis +110 °C)

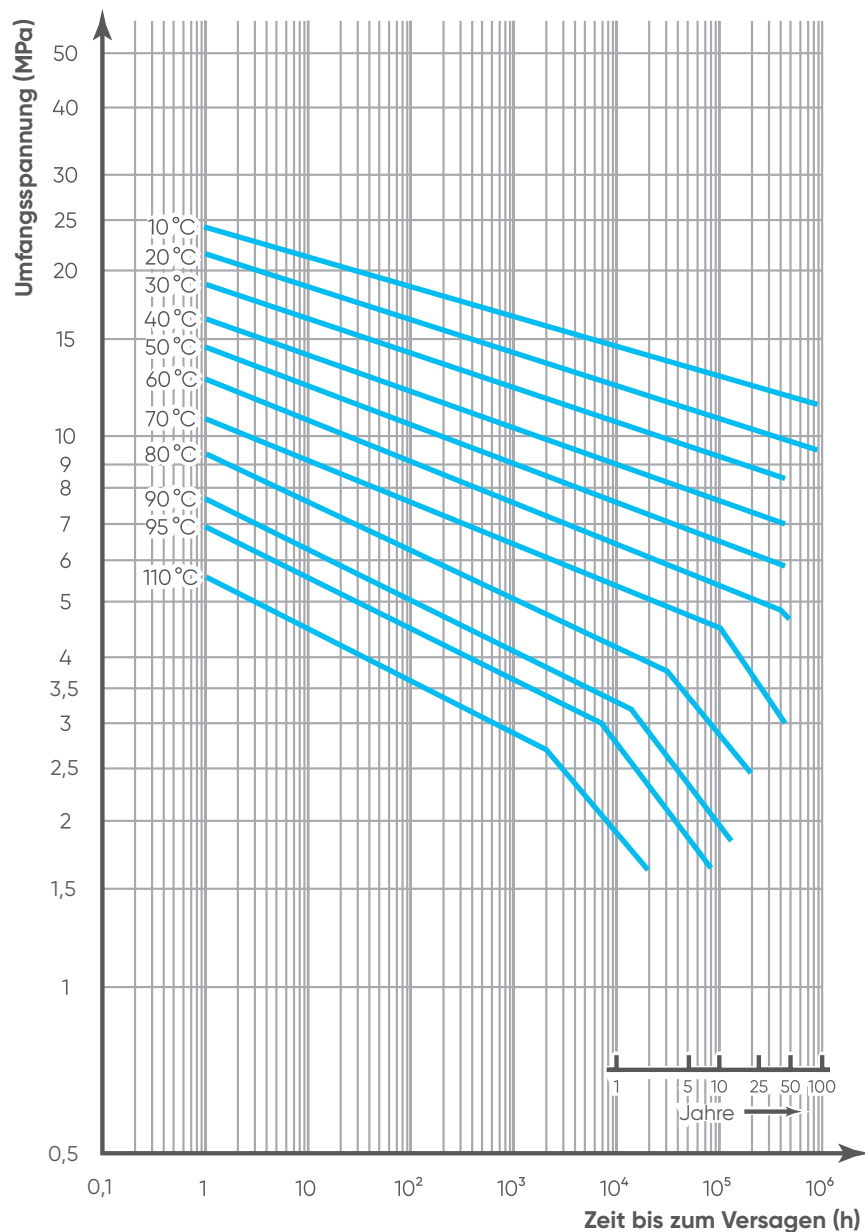
$$\log t = -18,387 - 8918,5 \times \frac{1}{T} - 4,1 \times \log \sigma$$

wobei:

t_f = Zeit bis zum Versagen (in Stunden);

T = Temperatur des strömenden Mediums (in °C);

σ = Umfangsspannung (in MPa) (1 MPa = 1 N/mm²).



Kurven der erforderlichen hydrostatischen Mindestfestigkeit für PP-H.

PP-B-Formel:

Erste Verzweigung: (gilt für den Temperaturbereich +10 °C bis +80 °C)

$$\log t = - 56,086 - 10157,8 \times \frac{\log \sigma}{T} + 23971,7 \times \frac{1}{T} + 13,32 \times \log \sigma$$

Zweite Verzweigung: (gilt für den Temperaturbereich von +80 °C bis +110 °C)

$$\log t = - 13,699 - 6970,3 \times \frac{1}{T} - 3,82 \times \log \sigma$$

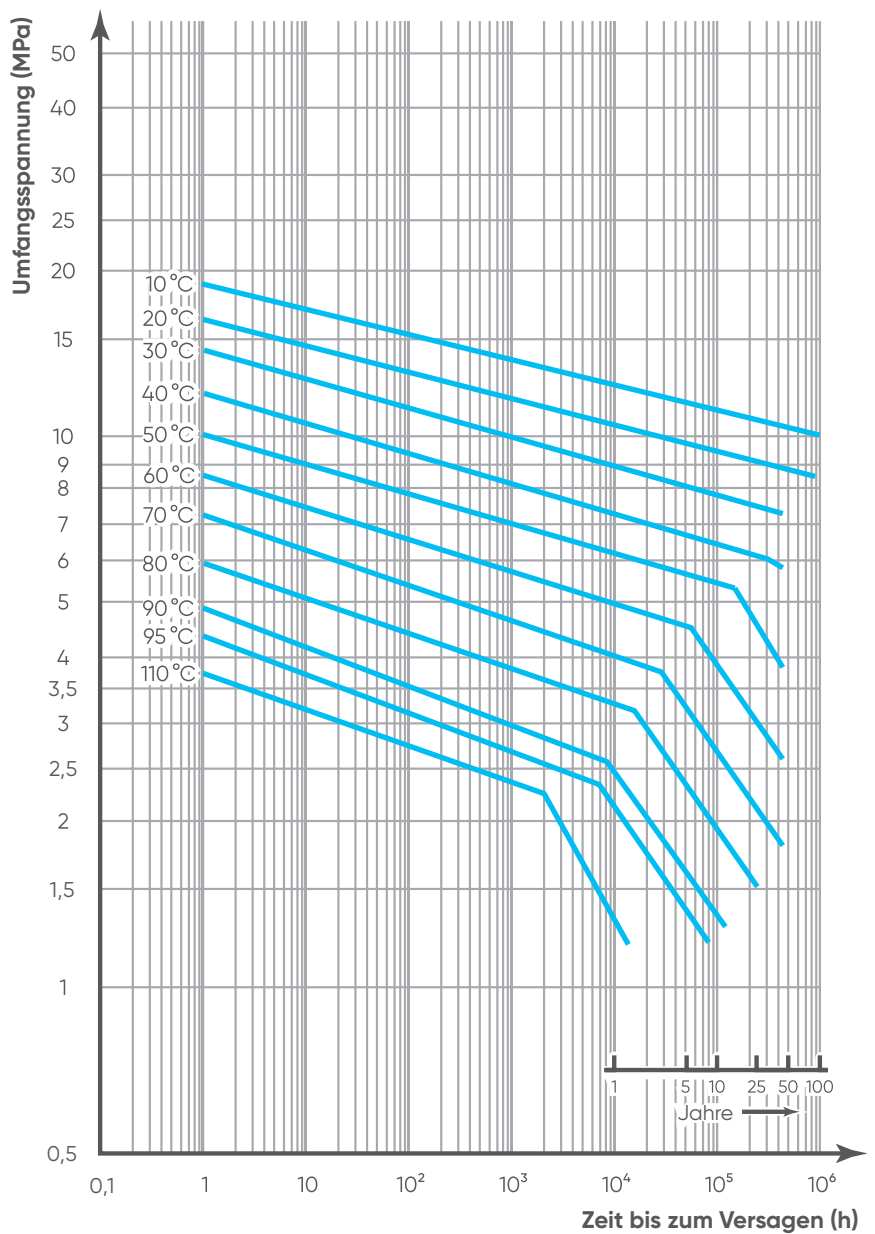
wobei:

t_f = Zeit bis zum Versagen (in Stunden);

T = Temperatur des strömenden Mediums (in °C);

σ = Umfangsspannung (in MPa) (1 MPa = 1 N/mm²).

Kurven der erforderlichen hydrostatischen Mindestfestigkeit für PP-B.



PP-R-Formel:**Erste Verzweigung: (gilt für den Temperaturbereich +10 °C bis +80 °C)**

$$\log t = -55,725 - 9484,1 \times \frac{\log \sigma}{T} + 22502,2 \times \frac{1}{T} + 6,39 \times \log \sigma$$

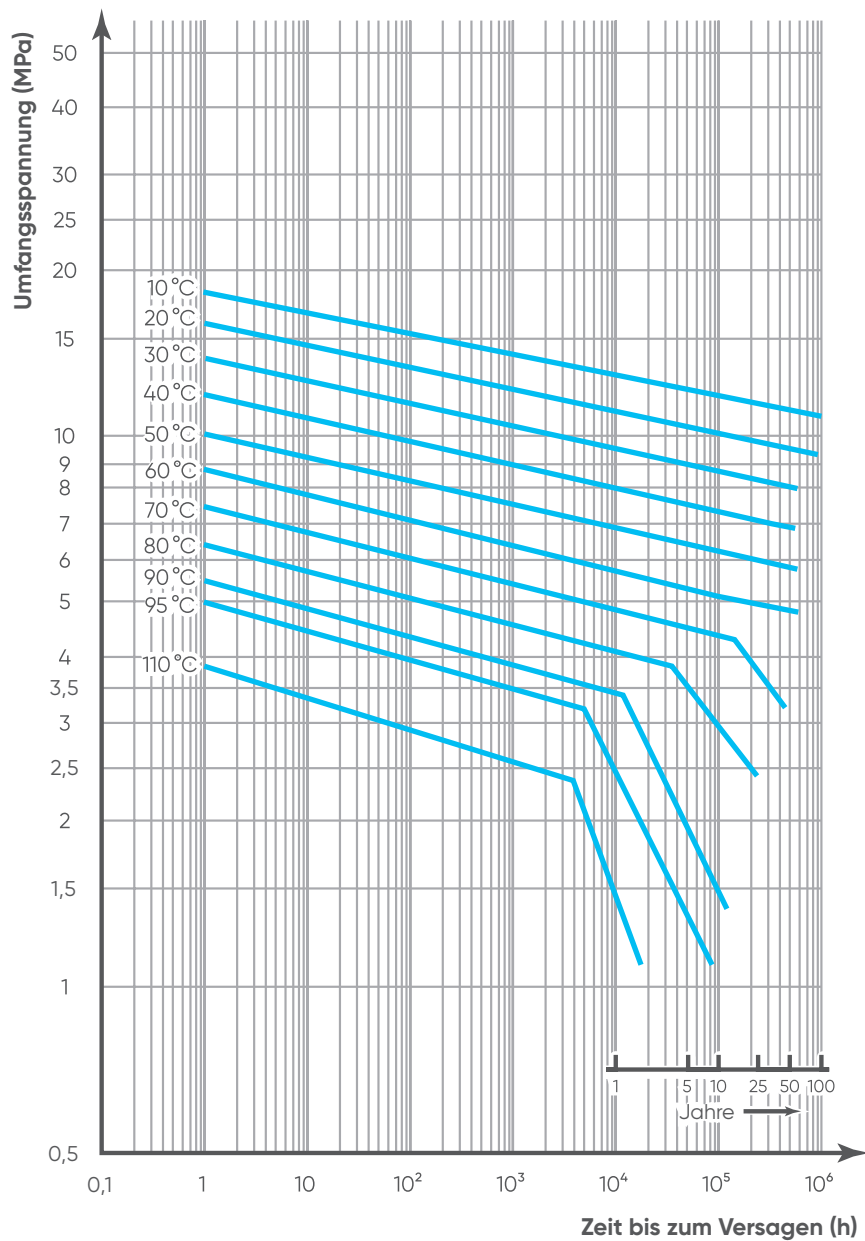
Zweite Verzweigung: (gilt für den Temperaturbereich von +80 °C bis +110 °C)

$$\log t = -19,98 + 9507 \times \frac{1}{T} - 4,11 \times \log \sigma$$

wobei:

 t_f = Zeit bis zum Versagen (in Stunden);

T = Temperatur des strömenden Mediums (in °C);

 σ = Umfangsspannung (in MPa) (1 MPa = 1 N/mm²).

1.9.6 Langzeitverhalten von PE

Das Langzeitverhalten von PE-100 und PE-80 ergibt sich aus dem folgenden Umfangsspannungsdiagramm. Für Temperaturen von +10 °C bis +80 °C sind Bruchlinien dargestellt. Diese werden als LPL-Kurven (Lower Predictable Limit) bezeichnet, was bedeutet, dass 97,5 % aller Bruchpunkte auf oder oberhalb der entsprechenden Kurve liegen.

Unter Verwendung der Standard-Extrapolationsmethode (SCM) nach EN ISO 9080 wurde das Langzeitverhalten berechnet. Die folgende Formel hilft uns, verschiedene Parameter wie Spannung, Temperatur oder Zeit bis zum Versagen zu bestimmen und die Kurve zu zeichnen, um das Langzeitverhalten von PE 100 und PE 80 für den Temperaturbereich von +10 °C bis +80 °C zu zeigen. 80 °C ist jedoch nur für Kurzzeitanwendungen geeignet.

PE-80-Formel

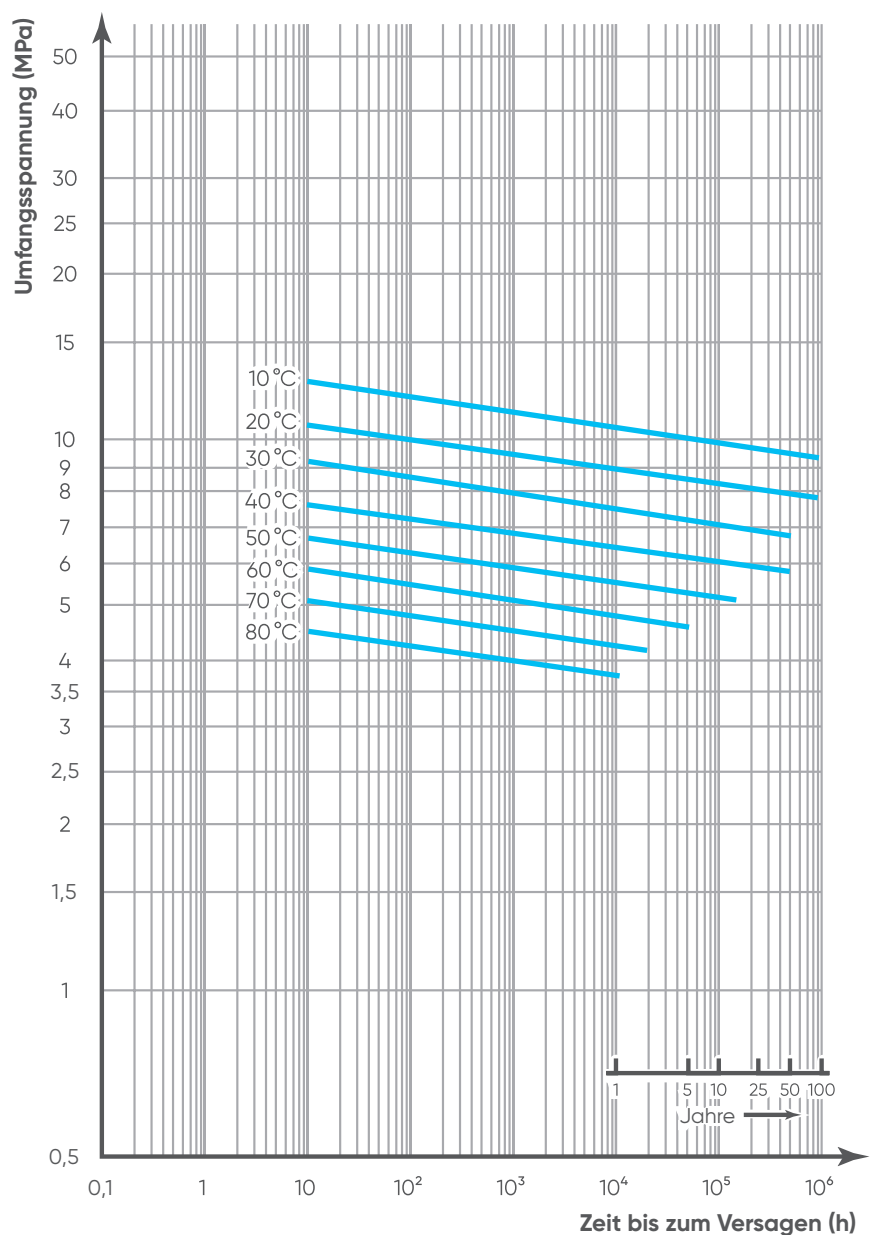
$$\log t = -42,5488 + 24074,8254 \times \frac{1}{T} - 37,5758 \times \log \sigma$$

wobei:

t_f = Zeit bis zum Versagen (in Stunden);

T = Temperatur des strömenden Mediums (in °C);

σ = Umfangsspannung (in MPa) (1 MPa = 1 N/mm²).



Kurven der erforderlichen hydrostatischen Mindestfestigkeit für PE 80.

PE-100-Formel

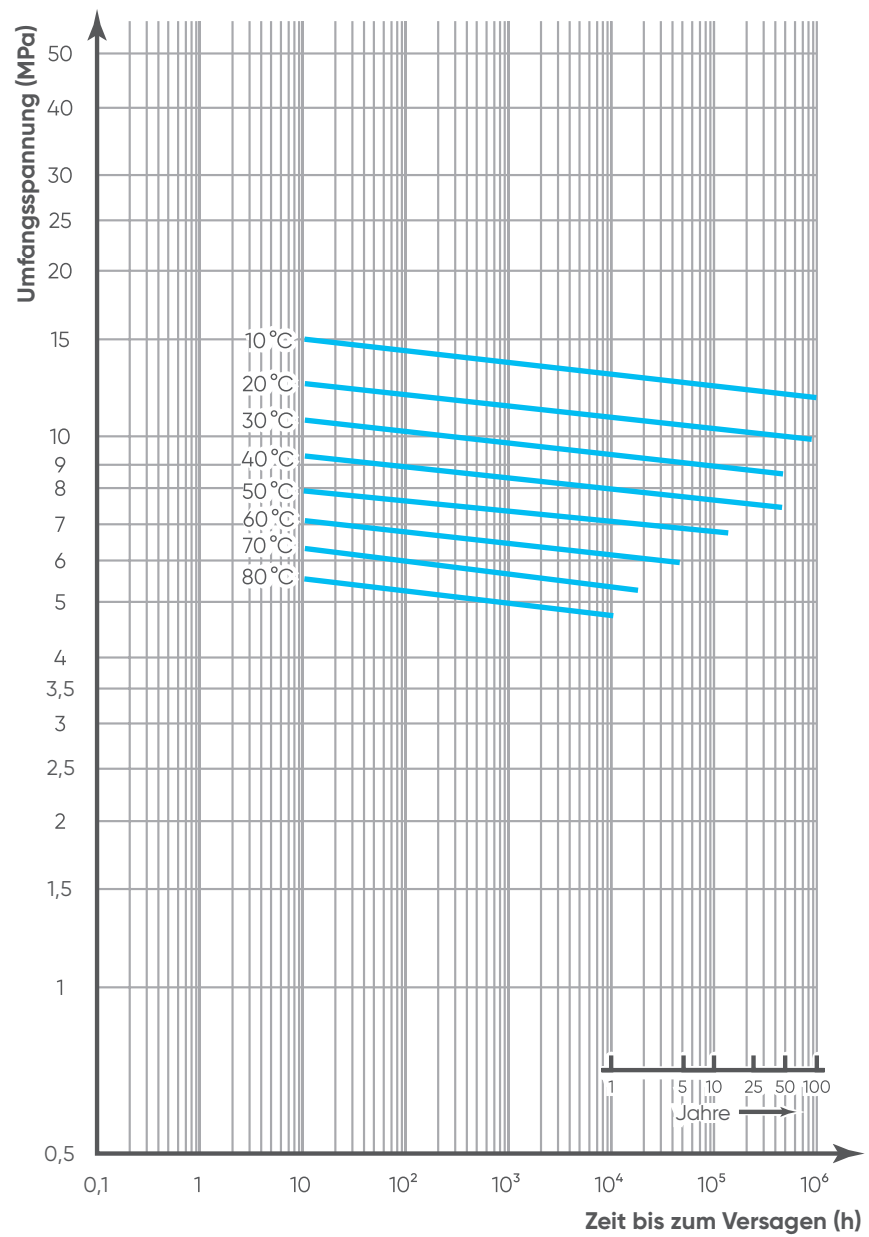
$$\log t = -45,4008 + \frac{28444,7345}{T} - 45,9891 \times \log \sigma$$

wobei:

t_f = Zeit bis zum Versagen (in Stunden);

T = Temperatur des strömenden Mediums (in °C);

σ = Umfangsspannung (in MPa) (1 MPa = 1 N/mm²).



Kurven der erforderlichen hydrostatischen Mindestfestigkeit für PE 100.

1.9.7 Langzeitverhalten von PVDF

Das Langzeitverhalten von PVDF geht aus dem folgenden Umfangsspannungsdiagramm hervor. Für Temperaturen von +20 °C bis +140 °C sind Bruchlinien dargestellt. Diese werden als LPL-Kurven (Lower Predictable Limit) bezeichnet, was bedeutet, dass 97,5 % aller Bruchpunkte auf oder oberhalb der entsprechenden Kurve liegen.

Unter Verwendung der Standard-Extrapolationsmethode (SCM) nach EN ISO 9080 wurde das Langzeitverhalten berechnet. Die folgende Formel hilft uns, verschiedene Parameter wie Spannung, Temperatur oder Zeit bis zum Versagen zu bestimmen und die Kurve zu zeichnen, um das Langzeitverhalten von PVDF für den Temperaturbereich von +20 °C bis +140 °C zu zeigen.

Formel:

Erste Verzweigung: (gilt für den Temperaturbereich +20 °C bis +90 °C)

$$\log t = -165,4958 - 36518,7 \times \frac{\log \sigma}{T} + 78465,65 \times \frac{1}{T} + 57,0467 \times \log \sigma$$

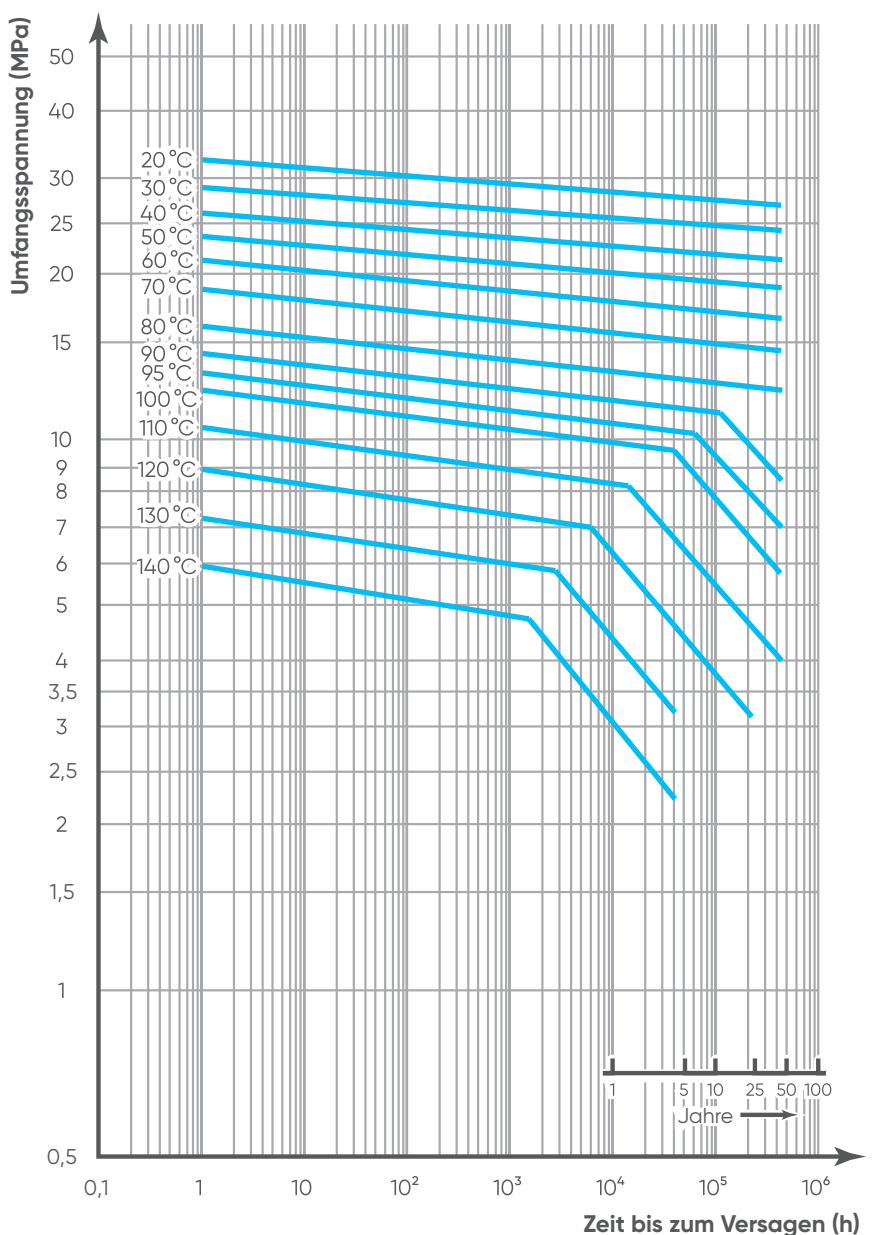
Zweite Verzweigung: (gilt für den Temperaturbereich +95 °C bis +140 °C)

$$\log t = -23,19426 - 1611,69 \times \frac{\log \sigma}{T} + 12100 \times \frac{1}{T} - 0,40473 \times \log \sigma$$

wobei, t_f = Zeit bis zum Versagen (in Stunden);

T = Temperatur des strömenden Mediums (in °C);

σ = Umfangsspannung (in MPa) (1 MPa = 1 N/mm²).



Kurven der erforderlichen hydrostatischen Mindestfestigkeit für PVDF.

1.9.8 Lebensdauer bei aussetzender Last

Bei Anwendungen mit regelmäßig auftretenden Wechselbelastungen kann die Theorie der linearen Schadensakkumulation, auch Miner'sche Regel genannt, verwendet werden, um die ungefähren Betriebszeiten für Anwendungen mit wechselnden Bedingungen während ihrer erwarteten Lebensdauer zu bestimmen.

Gemäß DVS 2205 wird die zu erwartende Lebensdauer (t_m) durch Addition der Schadensraten für die intermittierenden Betriebsbedingungen bestimmt.

Nach dieser Regel gilt für die mechanische Belastung:

$$\sum \frac{(a_i * t_m)}{(100 * t_i)} = 1$$

Für zwei Lasten gilt daher:

$$t_m = \frac{(100 * tm_1 * tm_2)}{(a_1 * tm_2 + 2 * tm_1)}$$

Da die zulässige Lebensdauer von Bauteilen nicht nur von der mechanischen Belastung, sondern auch von der Wärmealterung abhängt, muss der Alterungseinfluss (t_a) durch folgende Gleichung bestimmt werden:

$$\sum \frac{(a_i * t_a)}{(100 * t_i)} = 1$$

wobei:

i = Anzahl der Teillasten

a_1, a_2, \dots, a_n = Anteil der Teillastzeiten, die die Gesamtlastzeit in Prozent ausmachen

tm_1, tm_2, \dots, tm_n = Lebensdauer unter den einzelnen Betriebsbedingungen

ta_1, ta_2, \dots, ta_n = Alterungszeiten bei den jeweiligen Temperaturen

t_m = berechnet die Lebensdauer unter mechanischer Belastung

t_a = berechnete Lebensdauer unter dem Einfluss der Alterung

PRAXISBEISPIEL

In der folgenden Tabelle sind die Betriebsbedingungen und Schadensanteile für PP-H beschrieben:

Teilspannungen	Spannungen	Temperatur	Zeitanteil (α)	Rechnerische Lebensdauer mit Teilspannungen (t_m)	Schadensanteil in %
1	6 N/mm ²	50 °C	75 %	33,3 Jahre	82
2	2 N/mm ²	80 °C	25 %	50,25 Jahre	18

Nach der vorstehenden Gleichung ist aufgrund der mechanischen Beanspruchung mit folgender Lebensdauer zu rechnen:

$$t_m = \frac{(100 * 33,3 * 50,25)}{(75 * 50,25 + 25 * 33,3)} = 36,4 \text{ Jahre}$$

Dann ist es möglich, auch die Alterungs- und Schadensanteile zu berücksichtigen:

Teilspannungen	Temperatur	Zeitanteil (α)	Beginn der Wärmealterung t_A	Schadensanteil in %
1	50 °C	75 %	91,23 Jahre	35,7
2	80 °C	25 %	16,9 Jahre	64,3

Die auf Grundlage der Alterung zu erwartende Lebensdauer wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$t_a = \frac{(100 * 91,23 * 16,9)}{(75 * 16,9 + 25 * 91,23)} = 43,45 \text{ Jahre}$$

1.10 Kriechmodul

Die lastbeaufschlagten polymeren Werkstoffe können Kriechphänomene aufweisen, d. h. eine zeitabhängige Verformung eines Materials, das einer konstanten Beanspruchung ausgesetzt ist.

Daher nimmt diese Verformung bei einer konstanten Belastung bei konstanter Temperatur im Laufe der Zeit zu.

Der Kriechmodul ist abhängig von Zeit, Spannung und Temperatur und kann auch vom Medium abhängen, insbesondere bei quellenden Stoffen.

Für die verwendeten Werkstoffe lässt sich der Kriechmodul in Abhängigkeit von den genannten Parametern aus den Kriechmodulkurven ermitteln.

Er wird verwendet:

- bei Stabilitätsberechnungen mit der folgenden Gleichung:

$$E_{c(A)St} = \frac{E_c}{A_{2E} * S}$$

wobei:

$E_{c(A)St}$ = Zulässiger Kriechmodul bei der Auslegungsbedingung für Stabilität (Temperatur, Spannung, Zeit, Medium, Sicherheitsfaktor) (N/mm²)

E_c = Kriechmodul bei der Auslegungsbedingung (Temperatur, Spannung, Zeit) (N/mm²)

A_{2E} = Reduktionsfaktor unter Berücksichtigung des Einflusses des umgebenden Mediums auf den Elastizitätsmodul

S = Sicherheitsfaktor

- zur Bestimmung von Verformungen mit der folgenden Gleichung:

$$E_{c(A)D} = \frac{E_c}{A_{2E}}$$

wobei:

$E_{c(A)D}$ = Zulässiger Kriechmodul bei der Auslegungsbedingung für Verformung (Temperatur, Spannung, Zeit, Medium) (Temperatur, Spannung, Zeit, Medium, Sicherheitsfaktor) (N/mm²)

E_c = Kriechmodul bei der Auslegungsbedingung (Temperatur, Spannung, Zeit) (N/mm²)

A_{2E} = Reduktionsfaktor unter Berücksichtigung des Einflusses des umgebenden Mediums auf den Elastizitätsmodul

Der Reduktionsfaktor A_{2E} beträgt außer bei quellenden Medien $A_{2E} = 1$.

Bei quellenden Medien muss A_{2E} durch geeignete Tests bestimmt werden.

Bezüglich des Sicherheitsfaktors S bedeutet dies, dass bei bestimmungsgemäßer Verwendung des Bauteils zu jedem Zeitpunkt seiner Lebensdauer dieser Sicherheitsspielraum hinsichtlich der Kriechfestigkeit des Materials gewährleistet ist. Der Sicherheitsfaktor berücksichtigt daher auch Vereinfachungen bei Lastannahmen und bei der Konstruktionsbewertung oder der experimentellen Festigkeitsüberprüfung.

Die Sicherheitsfaktoren in der folgenden Tabelle sind für zwei Belastungsfälle in Abhängigkeit von der potenziellen Gefahr angegeben. In jedem Einzelfall muss entschieden werden, welche Klassifizierung für das zu konstruierende Bauteil geeignet ist.

Gegebenenfalls können Zwischenwerte angemessen sein.

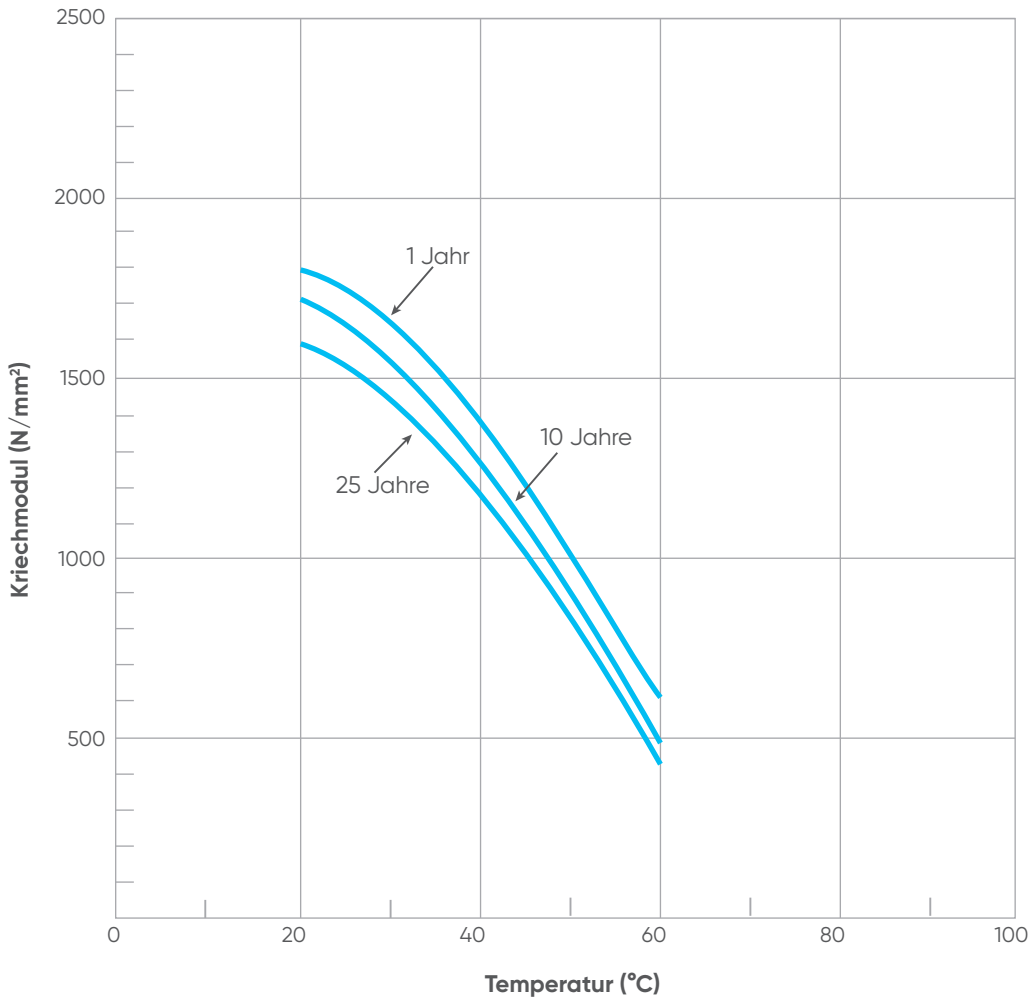
Art der Belastung	S
Belastungsfall 1 Statische Belastung bei Raumtemperatur und konstanten Bedingungen. Bei Versagen keine mögliche Gefahr für Personen, Gegenstände und Umwelt	1,3
Belastungsfall 2 Belastung unter wechselnden Bedingungen (z.B. Temperatur, Füllstand). Bei Versagen mögliche Gefahr für Personen, Gegenstände und Umwelt	2,0

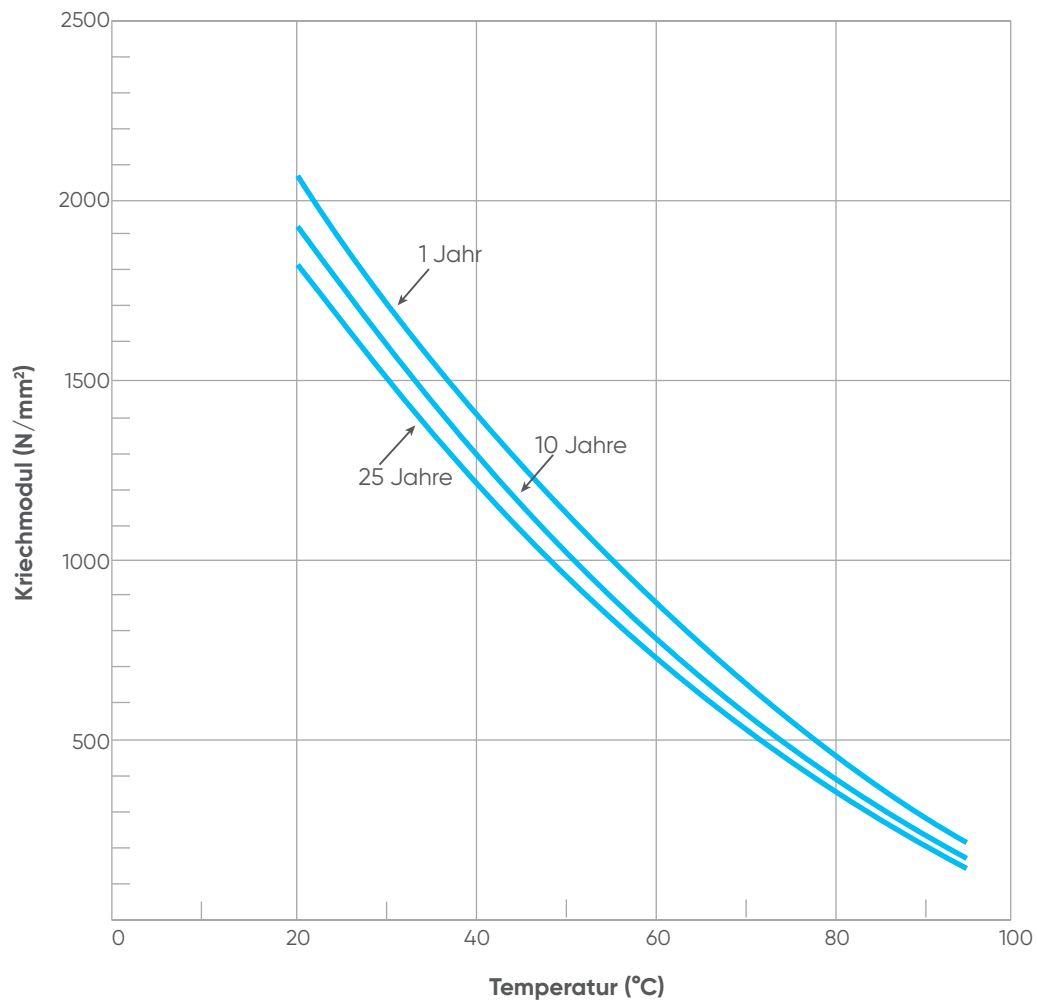
Für Stabilitätsberechnungen ist ein Sicherheitsfaktor von mindestens 2 zu verwenden.

Die Auswirkungen von Exzentrizität und Unrundheit sind getrennt zu berücksichtigen.

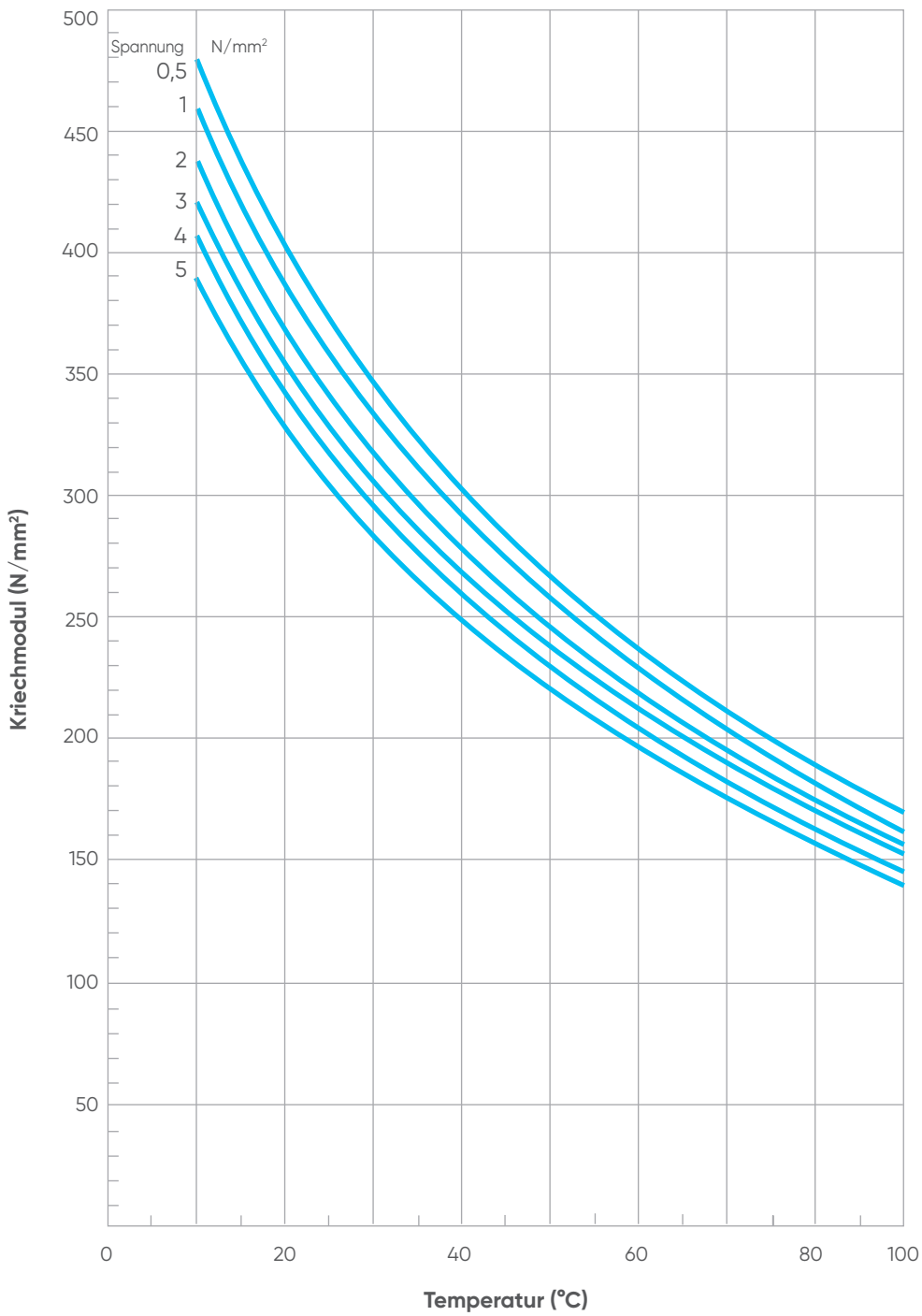
Die folgenden Diagramme sind die Kriechmodulkurven von Thermoplasten nach unterschiedlichen Spannungsniveaus, Jahren und Temperaturen. Sie entsprechen den Normen EN 1778 und DVS 2205-1.

Kriechmodul von PVC-U für den Spannungsbereich $\sigma = 2,5$ bis 10 N/mm^2

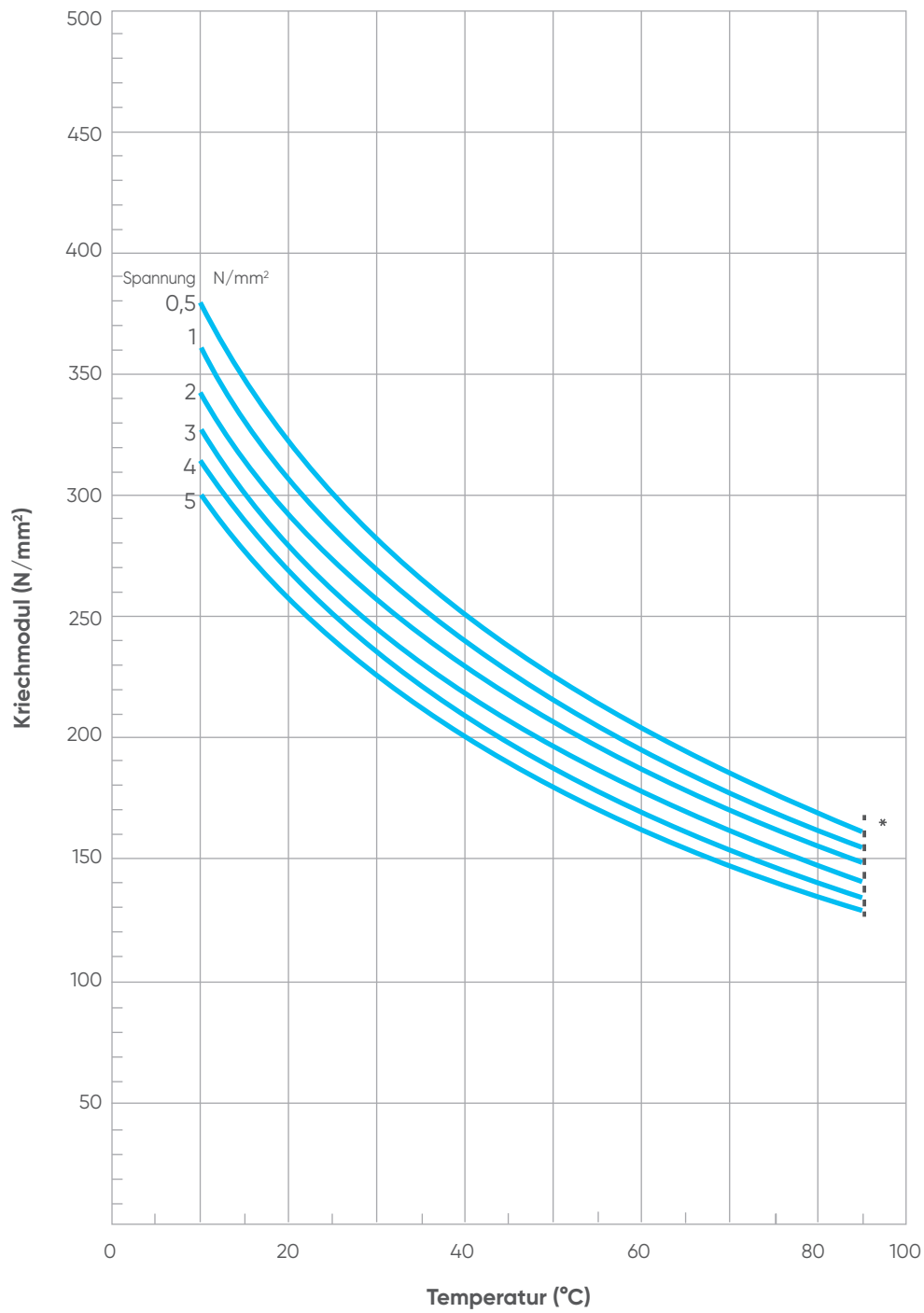


Kriechmodul von PVC-C für den Spannungsbereich $\sigma = 5$ bis 20 N/mm^2 

Kriechmodul von PP-H für 1 Jahr

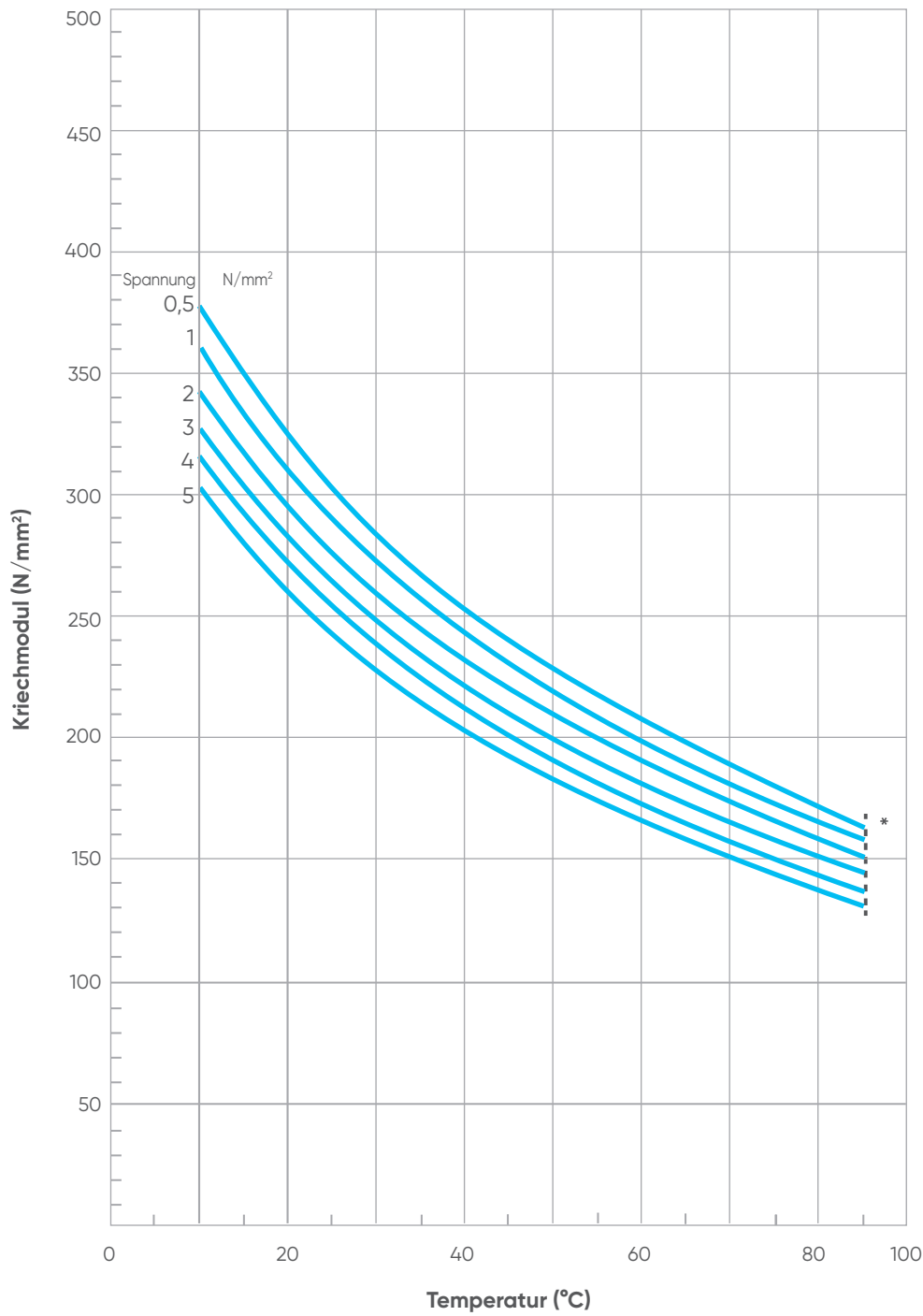


Kriechmodul von PP-H für 10 Jahre



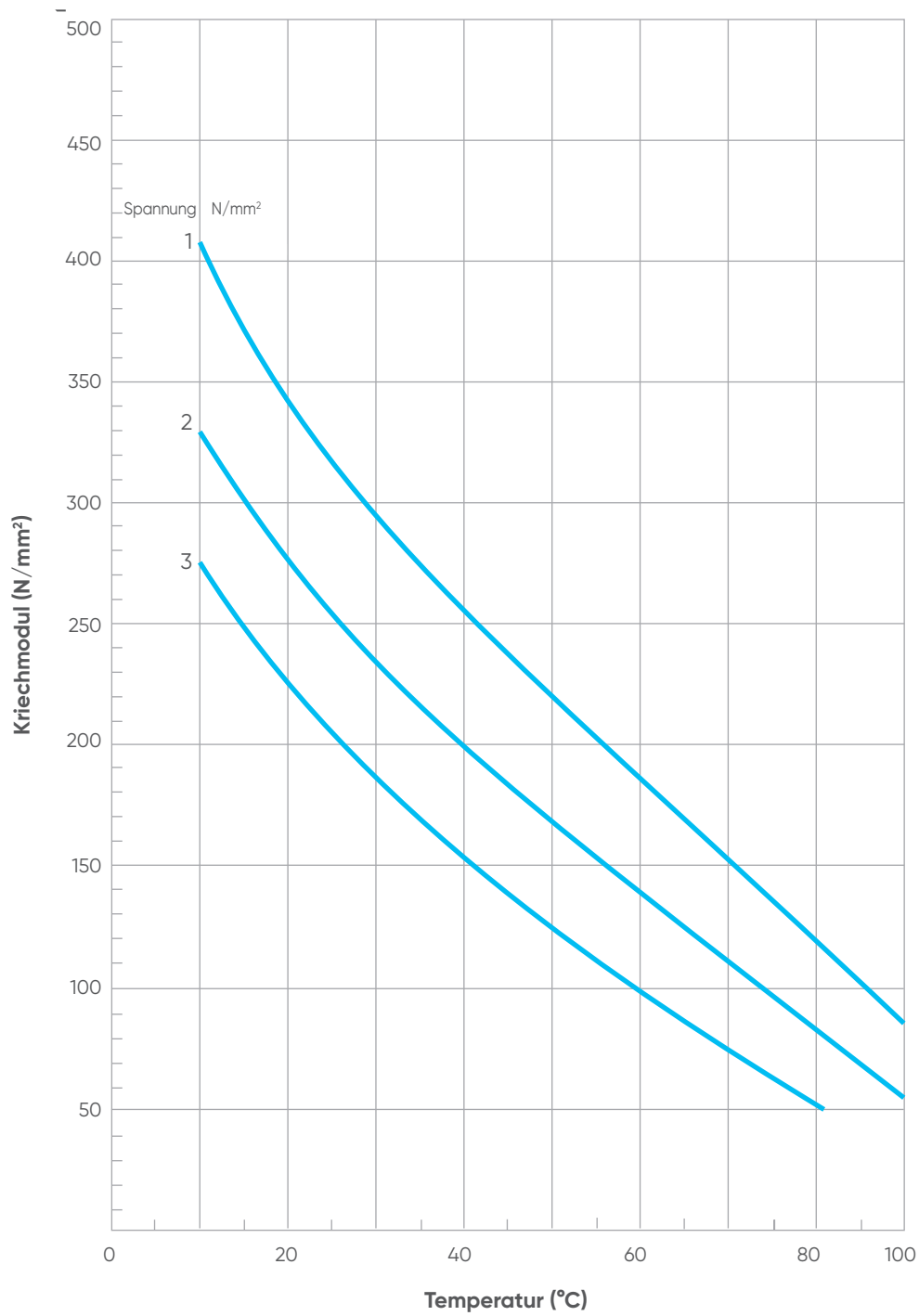
* Beginn der Alterung

Kriechmodul von PP-H für 25 Jahre

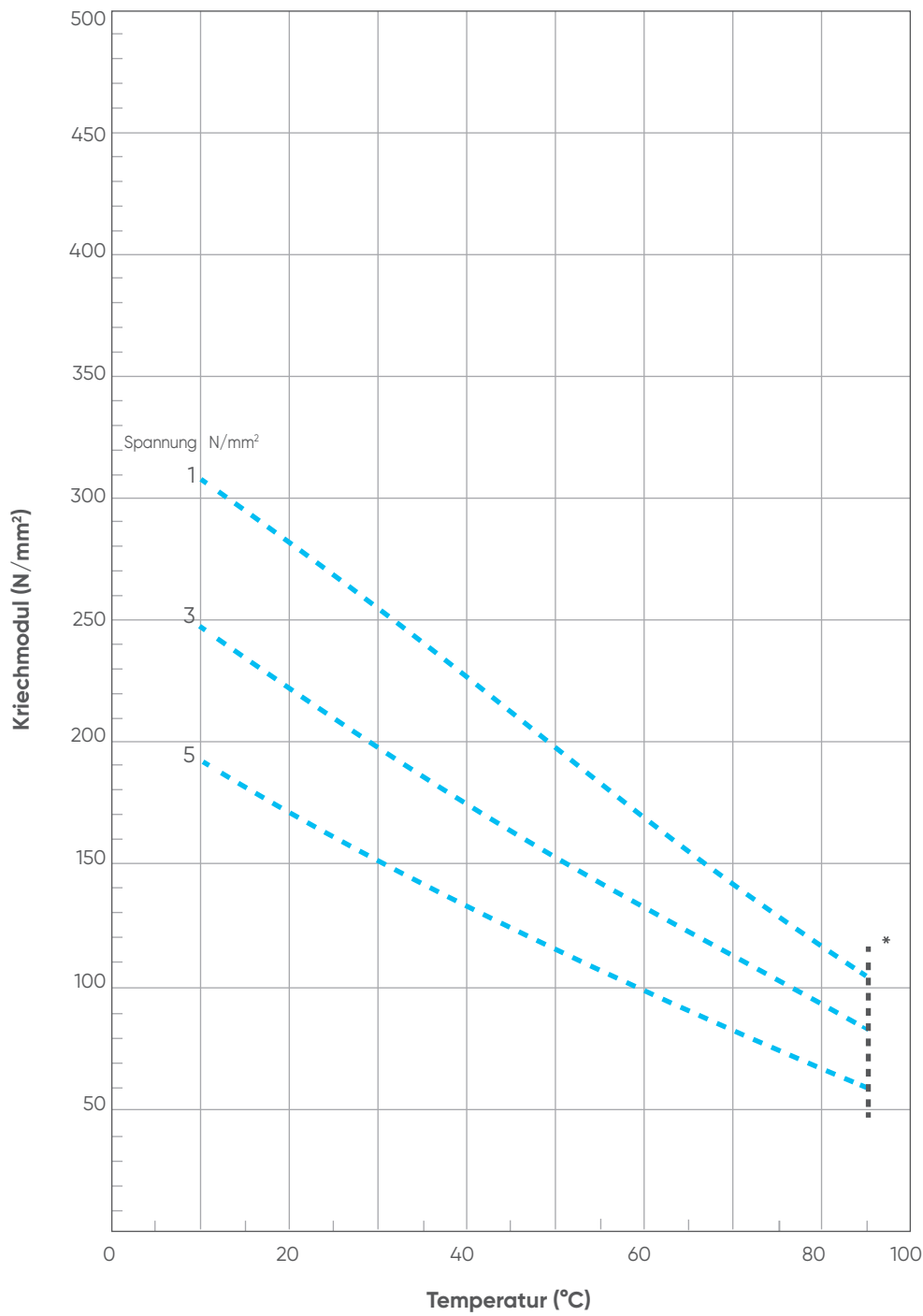


* Beginn der Alterung

Kriechmodul von PP-B für 1 Jahr

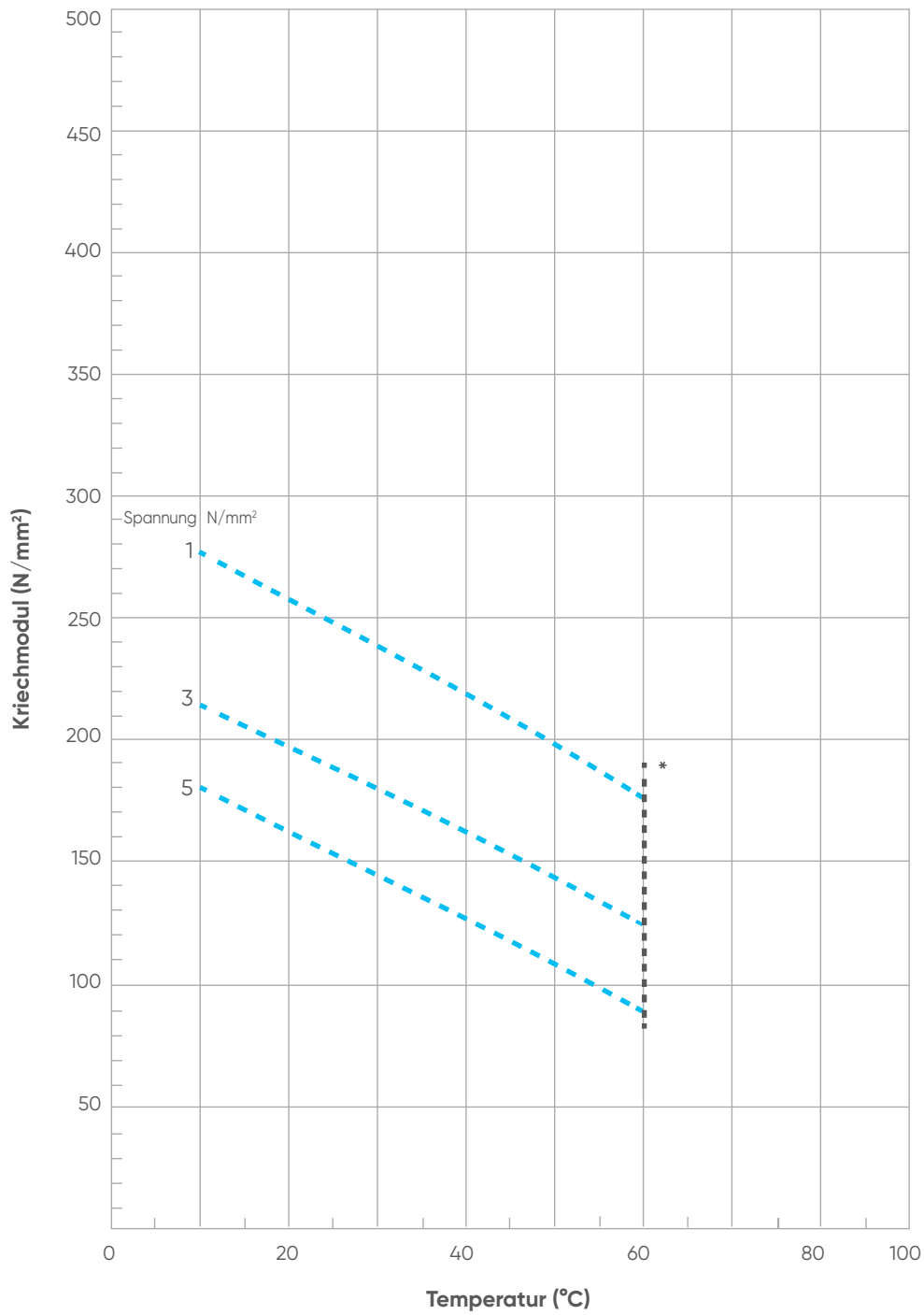


Kriechmodul von PP-B für 10 Jahre



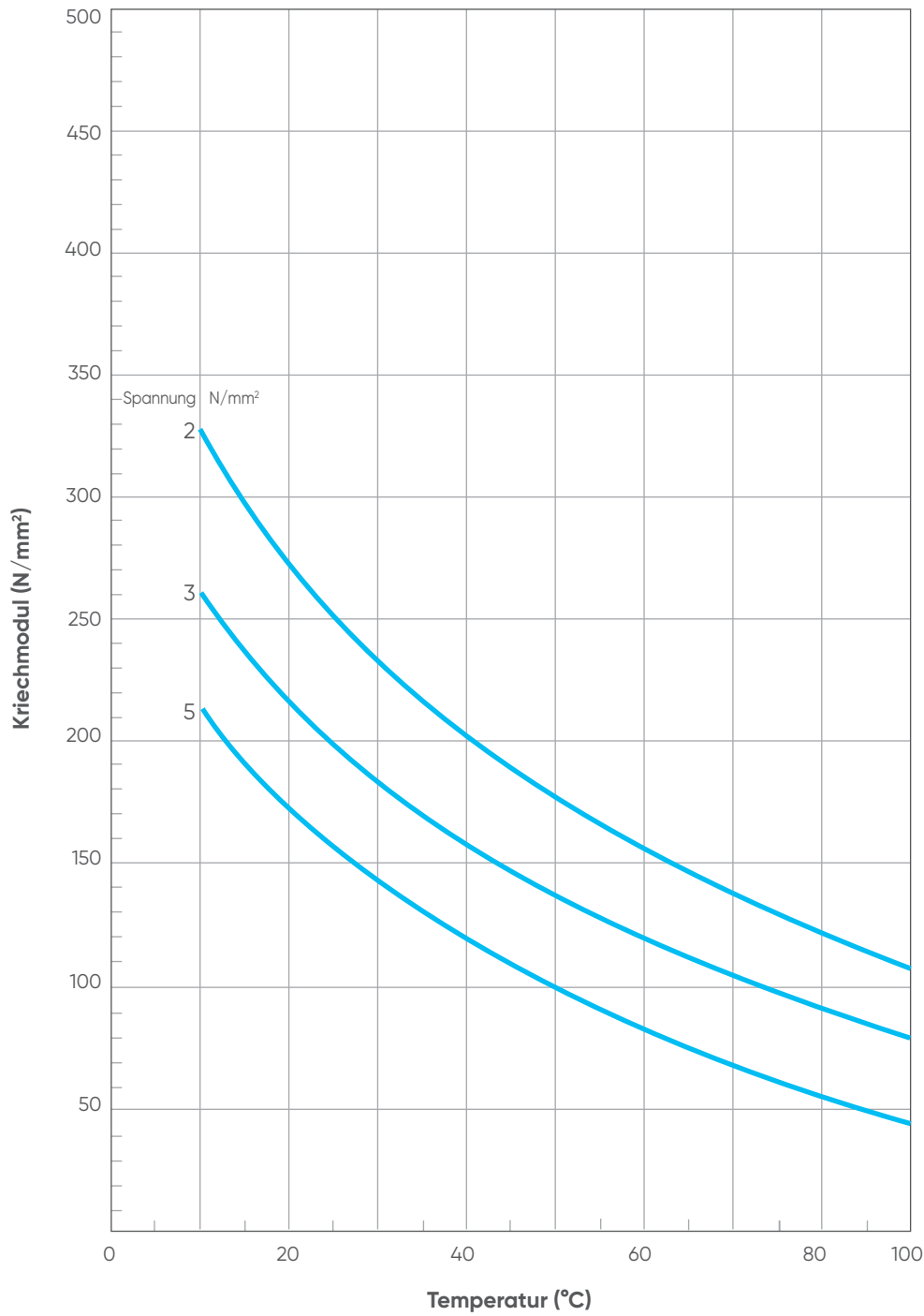
* Beginn der Alterung

Kriechmodul von PP-B für 25 Jahre

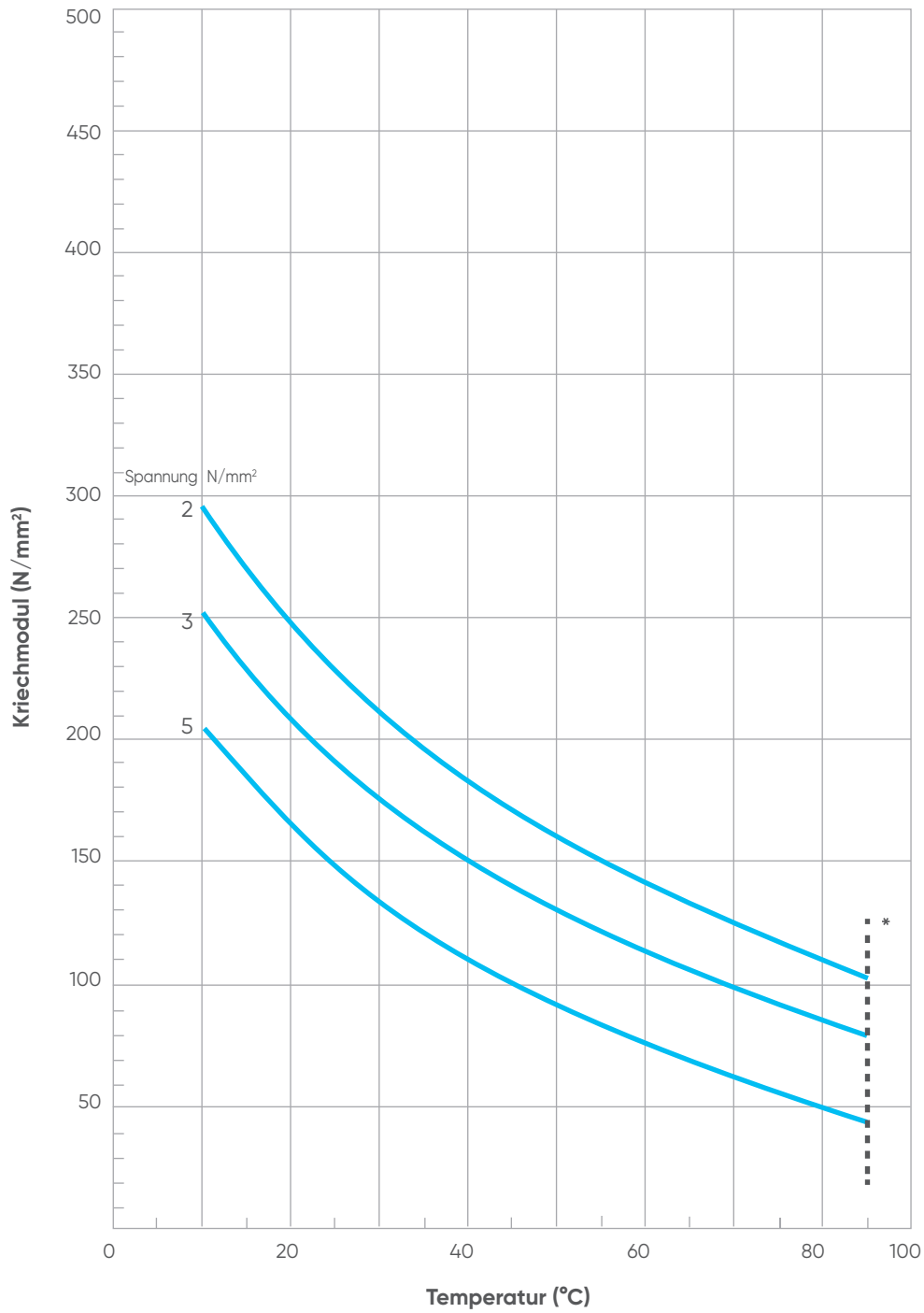


* Beginn der Alterung

Kriechmodul von PP-R für 1 Jahr

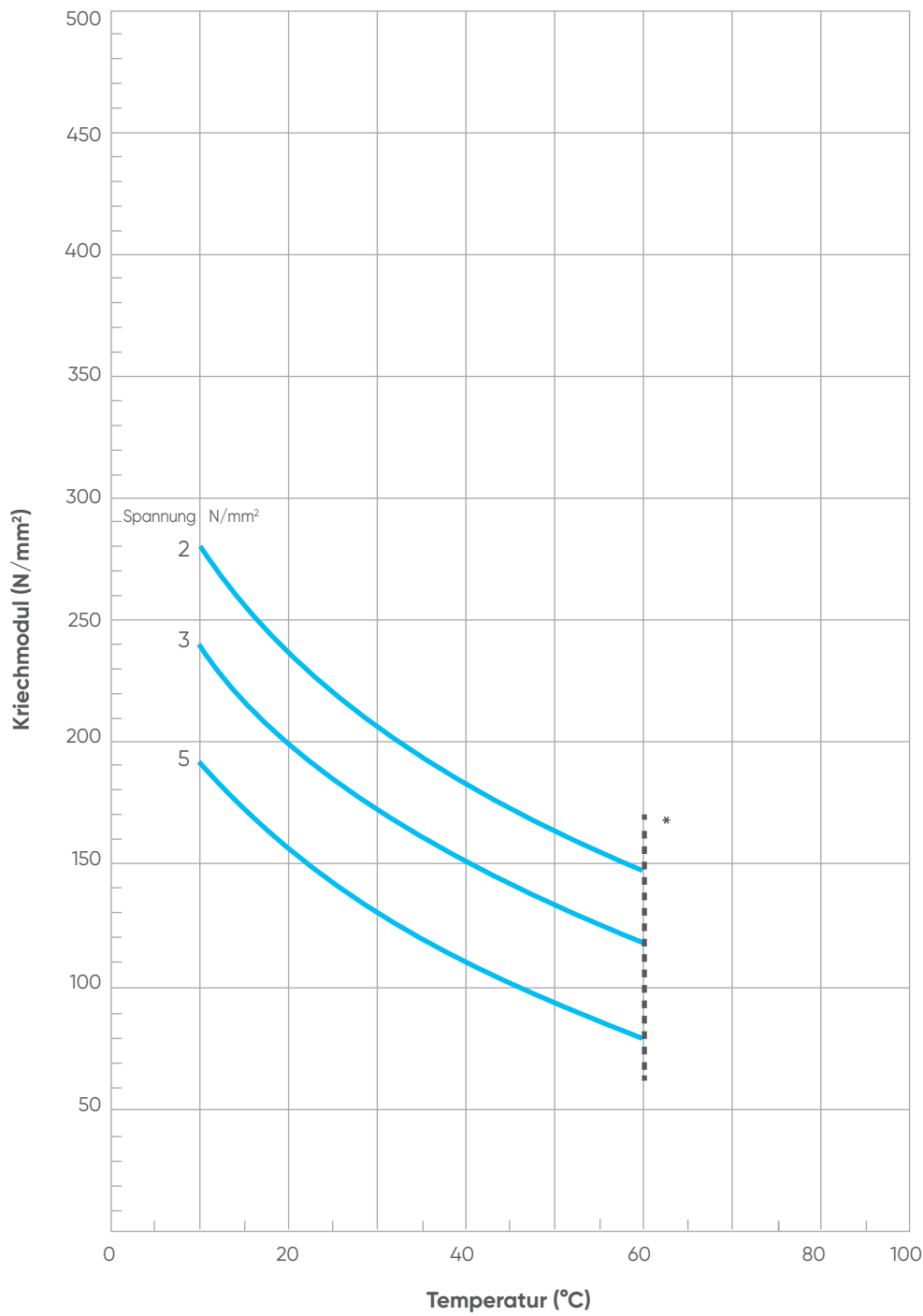


Kriechmodul von PP-R für 10 Jahre



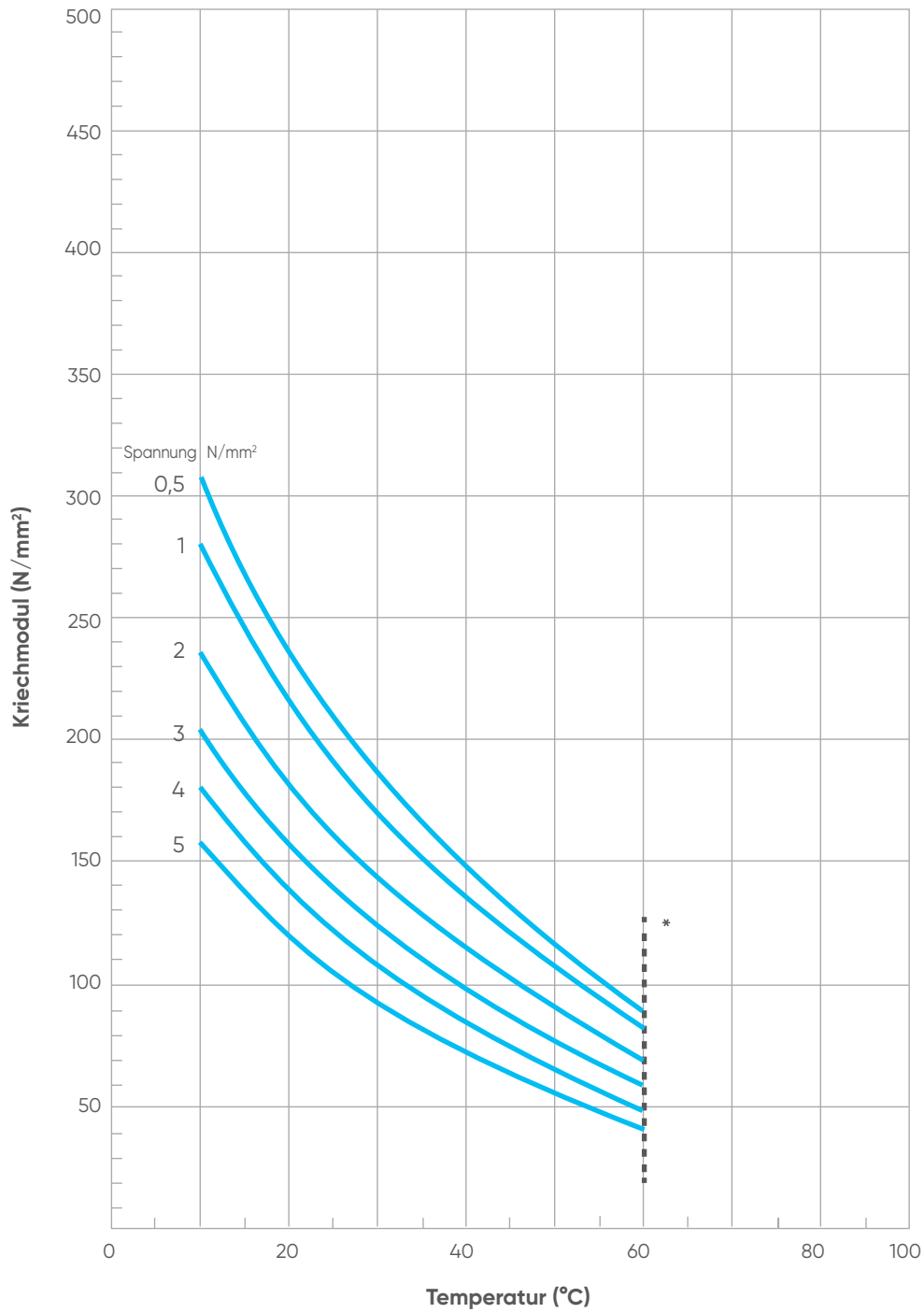
* Beginn der Alterung

Kriechmodul von PP-R für 25 Jahre



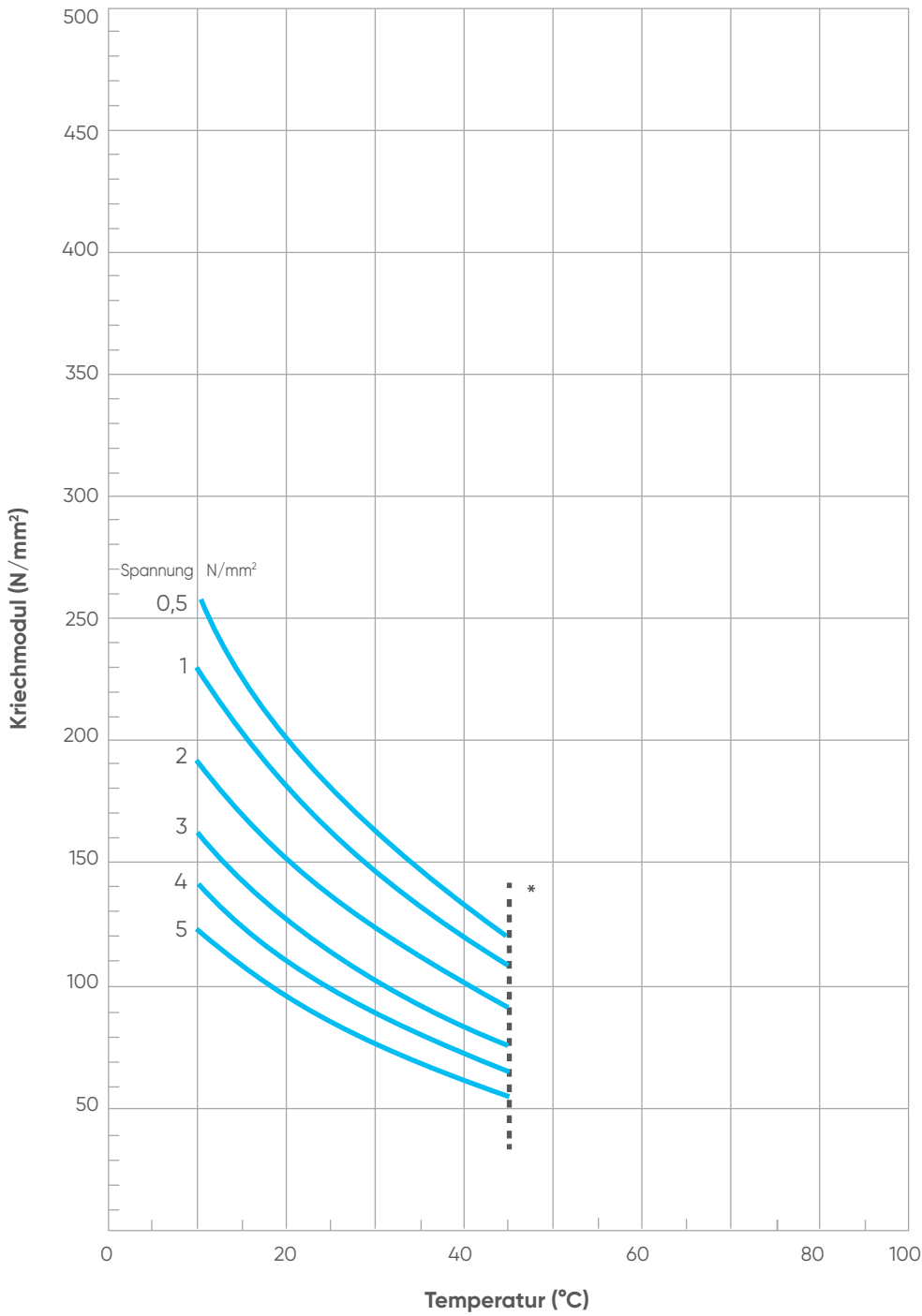
* Beginn der Alterung

Kriechmodul von PE-HD für 1 Jahr



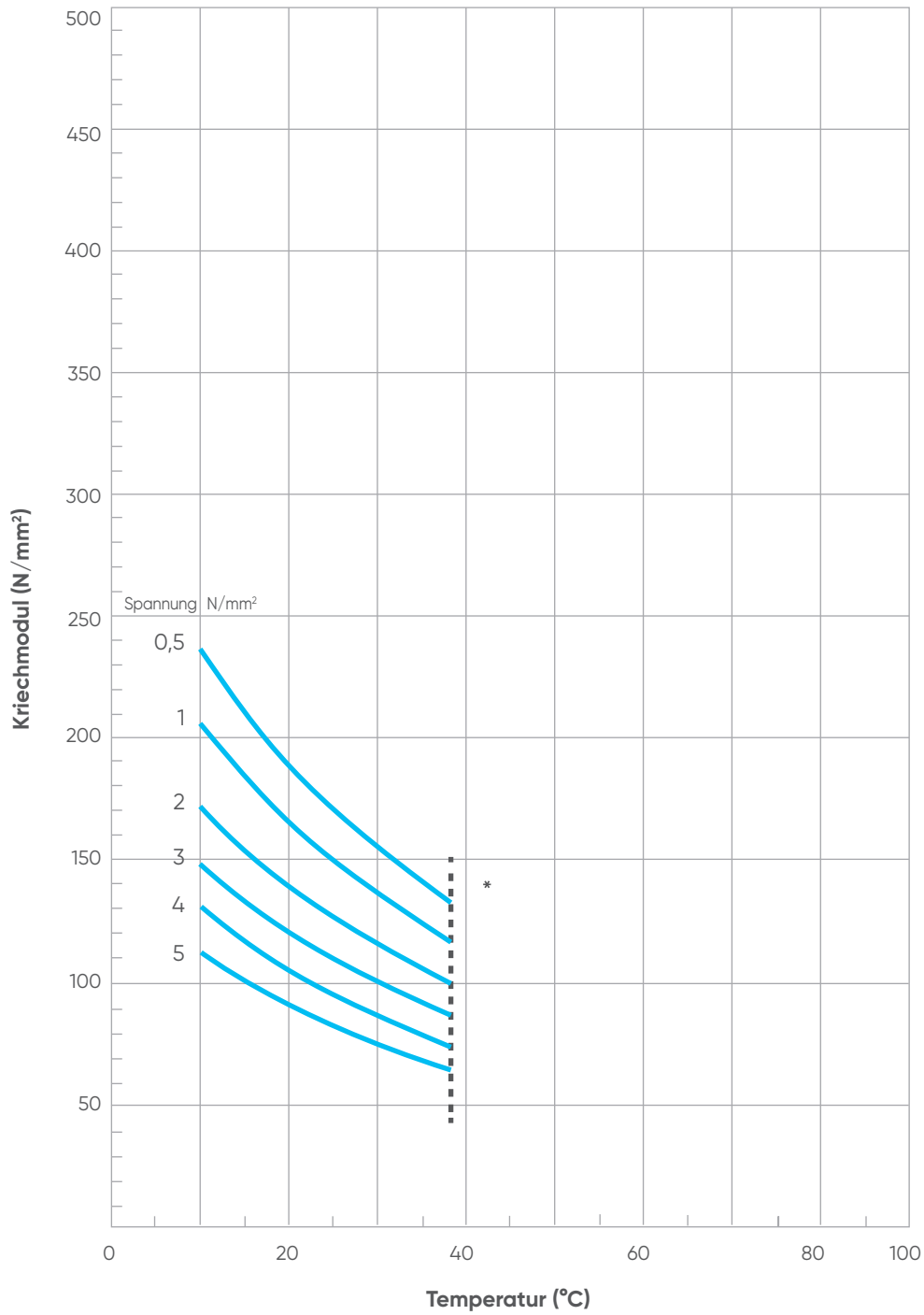
* Beginn der Alterung

Kriechmodul von PE-HD für 10 Jahre



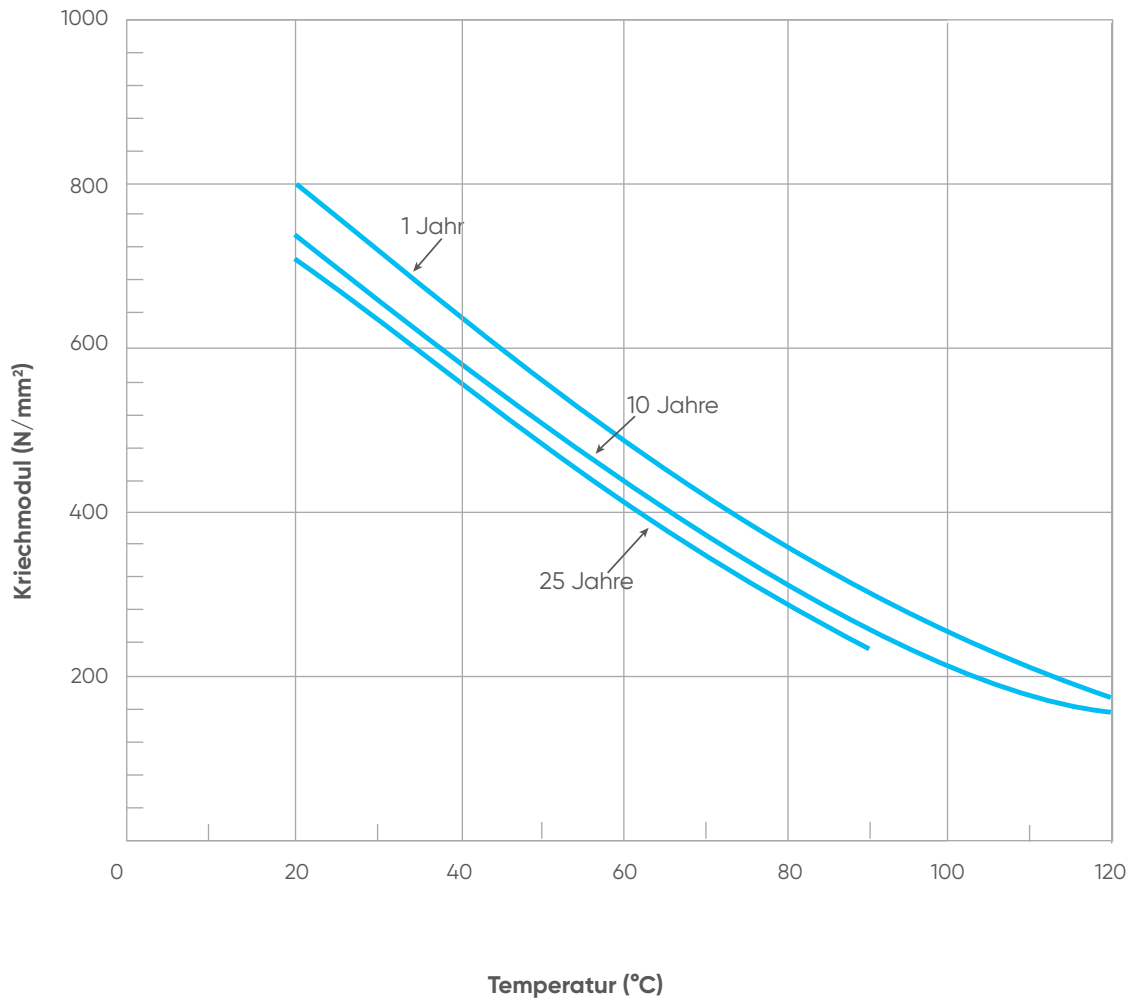
* Beginn der Alterung

Kriechmodul von PE-HD für 25 Jahre



* Beginn der Alterung

Kriechmodul von PVDF
























2. Konstruktion von Rohrleitungssystemen aus Kunststoff	106
2.1 Symbole, Abkürzungen, Einheiten, Umrechnungstabellen	106
2.1.1 Symbole	106
2.1.2 Abkürzungen	107
2.1.3 Einheiten	109
2.2 Materialauswahl	113
2.3 Chemische Beständigkeit	114
2.4 Dimensionierung und Hydraulik	117
2.4.1 Rohrkonstruktion	117
2.4.1.1 Berechnung der Bemessungsspannung auf Grundlage der MRS-Klassifizierung	117
2.4.1.2 Berechnung des Nenndrucks	118
2.4.1.3 Berechnung des Standardabmessungsverhältnisses	119
2.4.1.4 Berechnung der Serie	119
2.4.1.5 Berechnung der Wanddicke	119
2.4.2 Druck-Temperatur-Diagramm	125
2.4.2.1 Zulässiger Druck – Temperaturdiagramm	126
2.4.2.2 Nenndruck – Temperaturdiagramm	132
2.4.3 Hydraulische Berechnung	137
2.4.3.1 Berechnung des verteilten Druckverlusts	139
2.4.3.2 Berechnung des lokalen Druckverlusts	142
2.4.4 Durchflussregelung und Dimensionierung von Armaturen	147
2.4.5 Druckstoß	151
2.4.5.1 Wasserschlag	151
2.4.5.2 Kavitation	154
2.5 Armaturauswahl und -merkmale	156
2.5.1 Flüssigkeitseigenschaften	156
2.5.2 Mechanische Beanspruchung und Vibrationen	157
2.5.3 Sicherheit	159
2.5.4 Manipulationsschutz	160
2.5.5 Einfache Installation	161
2.5.6 Präzise Regelung	162
2.6 Entlüftung von Rohrleitungen	163
2.6.1 Lufteinschlüsse: Quellen und Ursachen	163
2.6.2 Umgang mit Lufteinschlüssen	164
2.7 Konstruktion von Rohrleitungssystemen für Vakuumbedingungen	165
2.8 Konstruktion von Rohrleitungssystemen für Druckluft	166
2.9 Auswahl des Durchflussmessers	169
2.9.1 Konstruktion des Durchflussmessers	169
2.9.1.1 Durchflusssensoren zum Einsetzen	169
2.9.1.2 Inline-Durchflusssensoren	171
2.9.1.3 Schwebekörper-Durchflussmesser	172
2.9.2 Installation von Durchflussmessern	174
2.9.2.1 Durchflusssensoren zum Einsetzen	174
2.9.2.2 Inline-Durchflusssensoren	176
2.9.2.3 Schwebekörper-Durchflussmesser	176
2.10 Auswahl des pH- und Redox-Sensors	178
2.10.1 Aufbau der pH- und Redox-Sensoren	178
2.10.1.1 pH-Messung	178
2.10.1.2 ORP-Messung	181
2.10.1.3 pH/ORP-Elektroden	182
2.10.2 Installation von pH- und Redox-Sensoren	184
2.10.2.1 Installationsrichtlinien	184
2.10.2.2 Betriebsrichtlinien	185
2.11 Auswahl des Leitfähigkeitssensors	186
2.11.1 Aufbau des Leitfähigkeitssensors	186
2.11.1.1 Leitfähigkeitsmessung	186
2.11.1.2 Leitfähigkeits Elektroden	188
2.11.2 Installation des Leitfähigkeitssensors	189
2.11.2.1 Installationsrichtlinien	189
2.11.2.2 Betriebsrichtlinien	190

2. Konstruktion von Rohrleitungssystemen aus Kunststoff

2.1 Symbole, Abkürzungen, Einheiten, Umrechnungstabellen

2.1.1 Symbole

Die folgende Tabelle zeigt die wichtigsten Symbole, die zur Darstellung von Verbindungen und Ventilen in üblichen Konstruktionsunterlagen wie R&I-Fließschemata oder allgemeinen Zeichnungen verwendet werden.

Symbole	Verbindung	Symbole	Armaturen
	Rohr		Armatur, allgemein
	Rohr, isoliert		Kugelhahn
	Kreuzung ohne Verbindung		Membranventil
	T-Stück		Rückschlagklappe
	Flanschverbindung		Pumpe
	Schlauch		Armatur, geflanscht
	Gefälle		Absperrklappe
	Verbindung		Rückschlagventil
	Reduzierung		Stellglied
	Behälter, geflanscht		

2.1.2 Abkürzungen

Materialabkürzung	Materialbezeichnung
PVC-U	Weichmacherfreies Polyvinylchlorid
PVC-C	Postchloriertes Polyvinylchlorid
ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol
PP	Polypropylen
PP-H	Polypropylenhomopolymer
PP-B	Polypropylen-Blockcopolymer
PP-R	Polypropylen Random Copolymer
PP-EL	Elektrisch leitfähiges Polypropylen
PE	Polyethylen
PE-RC	PE mit höherem Widerstand gegenüber langsamem Rissfortschritt (Resistant to Crack)
PVDF	Polyvinylidenfluorid
PA	Polyamid
PB	Polybutadien
PE-X	Vernetztes Polyethylen
EPDM	Ethylen-Propylen-Dien-Monomer-Kautschuk
FKM	Fluorelastomer
FFKM	Perfluorelastomer
PTFE	Polytetrafluorethylen

NBR	Nitrilkautschuk
Abkürzung	Bezeichnung
MRS	Erforderliche Mindestfestigkeit
σ	Bemessungsspannung
C	Gesamtbetriebs-(berechnungs-)Koeffizient
C_{min}	Mindestbetriebs-(berechnungs-)Koeffizient
F_j	Langzeit-Schweißnahtfaktor
F_c	Chemischer Faktor
F_t	Zähigkeitsfaktor
PN	Nenndruck
DN	Nenndurchmesser
D_i	Innendurchmesser
D_e	Außendurchmesser
SDR	Standard-Abmessungs-Verhältnis (Standard Dimension Ratio)
T	Temperatur
t	Wanddicke
r	Rohrradius
t_m	Lebensdauer bei mechanischer Belastung
t_a	Lebensdauer unter Alterungseinfluss
Q	Durchflussmenge
V	Durchflussgeschwindigkeit
V_a	Durchschnittliche Geschwindigkeit
V_m	Maximale Geschwindigkeit
Re	Reynoldszahl
μ	Dynamische Viskosität
v	Kinematische Viskosität
h	Druckverlust
g	Erdbeschleunigung
A_p	Reibungskoeffizient
A	Rohrabschnitt
Chw	Hazen-Williams Durchflusskoeffizient
Δp_{RF}	Druckverlust in Formstücken
Δp_{RV}	Druckverlust an Rohrverbindungen
Δp_{geod}	Druckunterschied aufgrund der Höhenlage
Δp_{valv}	Druckverlust in einer Armatur
ϵ_{RF}	Widerstandsbeiwert der Formstücke
ϵ_{RV}	Widerstandsbeiwert der Verbindungen
Δh_{geod}	Höhenunterschied der Rohrleitung
K_v	Standarddurchflusskoeffizient
t_c	Ausbreitungszeit der Störung durch Wasserschlag
V_{pw}	Geschwindigkeit der Druckwelle
P_k	Beuldruck
σ_k	Beulspannung
E_c	Kriechmodul
f	Frequenz

E_p	Potenzial zwischen zwei Elektroden
E_0	Standardpotential
Abkürzung	Bezeichnung
n	Ionenladung
F	Faraday-Konstante
R	Widerstand
K	Zellkonstante
d	Elektrodenabstand
S	Elektrodenoberfläche
S_m	Fasnlänge
κ	Leitfähigkeit
E	Elastizitätsmodul
ε	Dehnung
t_f	Zeit bis zum Ausfall
α	Winkelablenkung
f_m	Maximaler Durchhang
L	Abstand zwischen den Stützen
L_p	Schällänge
L_i	Einführungslänge
M	Grabentiefe
m	Minimale Grabenbreite
I	Trägheitsmoment
k	Koeffizient der elastischen Verformung
W	Statische Lasten
P_p	Rohrgewicht
P_f	Gewicht der geförderten Flüssigkeit
s	Spezifisches Gewicht der Flüssigkeit unter den Betriebsbedingungen
L_A	Spannweite der Rohrstützen
T_B	Betriebstemperatur
T_R	Raumtemperatur
R_p	Abstand zwischen Rohrenden
X	Unrundheitswert des Rohrs

2.1.3 Einheiten

In der folgenden Tabelle ist das Internationale Einheitensystem aufgeführt.

Bezeichnung der Basisgröße	Zeichen	Bezeichnung der SI-Basiseinheit	Zeichen
Länge	l	Meter	m
Masse	m	Kilogramm	kg
Zeit	t	Sekunde	s
Elektrischer Strom	I	Ampere	A
Thermodynamische Temperatur	T	Kelvin	K
Stoffmenge	n	Mol	mol
Lichtstärke	I_n	Candela	cd

Die folgende Tabelle zeigt die international definierten Präfixe.

Bedeutung	Präfix	Zeichen	Faktor als Zehnerpotenz	Dezimalzahl
Trillion	Exa	E	10^{18}	= 1 000 000 000 000 000 000
Billiarde	Peta	P	10^{15}	= 1 000 000 000 000 000
Billion	Tera	T	10^{12}	= 1 000 000 000 000
Milliarde	Giga	G	10^9	= 1 000 000 000
Million	Mega	M	10^6	= 1 000 000
Tausend	Kilo	k	10^3	= 1 000
Hundert	Hekto	h	10^2	= 100
Zehn	Deka	da	10^1	= 10
Zehntel	Dezi	d	10^{-1}	= 0,1
Hundertstel	Zenti	c	10^{-2}	= 0,01
Tausendstel	Milli	m	10^{-3}	= 0,001
Millionstel	Mikro	μ	10^{-6}	= 0,000 001
Milliardstel	Nano	n	10^{-9}	= 0,000 000 001
Billionstel	Pico	p	10^{-12}	= 0,000 000 000 001
Billiardstel	Femto	f	10^{-15}	= 0,000 000 000 000 001
Trillionstel	Atto	a	10^{-18}	= 0,000 000 000 000 000 001

Die folgende Tabelle zeigt verschiedene Größen mit ihren SI-Einheiten und Umrechnungen.

Größe	SI-Einheit	Zulässige Einheiten außerhalb des Internationalen Einheitensystems (SI)	Umrechnung in die entsprechende SI-Einheit und Beziehungen	Andere Einheiten und Umrechnungen außerhalb des SI
Länge	m			1 Zoll = 0,0254 m 1 Sm = 1852 m
Fläche	m ²			1 b = 10^{-28} m ² 1 Sm = 1852 m 1 a = 10^2 m ² 1 ha = 10^4 m ²
Volumen	m ³	l	1 l = 10^{-3} m ³	
Raumwinkel	SR		1 sr = 1 m ² /m ²	1° = $3,046 \cdot 10^{-4}$ sr 1 g = $2,467 \cdot 10^{-4}$ sr
Zeit	s	min h d	1 min = 60 s 1 h = 3600 s 1 d = 86 400 s	
Frequenz	Hz		1 Hz = 1/s	
Drehzahl, Drehfrequenz	s ⁻¹	min ⁻¹ U/min	1 min ⁻¹ (1/60) s ⁻¹ 1 U/min = 1 (1/min)	
Geschwindigkeit	m/s	km/h	1 km/h = (1/3,6) m/s	
Beschleunigung	m/s ²			1 Gal = 10^{-2} m/s ²
Masse	kg	t	1 t = 10^3 kg	1 q = 50 kg
Dichte	kg/m ³	t/m ³ kg/l	1 t/m ³ = 1000 kg/m ³ 1 kg/l = 1000 kg/m ³	
Trägheitsmoment	kg · m ²			1 kp · ms ² = 9,81 kg · m ²
Kraft	N		1 N = 1 kg · m/s ²	1 dyn = 10^{-5} N 1 p = $9,80665 \cdot 10^{-3}$ N 1 kp = 9,80665 N

Größe	SI-Einheit	Zulässige Einheiten außerhalb des Internationalen Einheitensystems (SI)	Umrechnung in die entsprechende SI-Einheit und Beziehungen	Andere Einheiten und Umrechnungen außerhalb des SI
Drehmoment	N · m			1 kpm = 9,80665 Nm 1 Nm = 0.7375 lb-ft
Druck	Pa	Bar	1 Pa = 1 N/m ² 1 bar = 105 Pa	1 atm = 1,01325 bar 1 at = 0,980665 bar 1 Torr = 1,333224 · 10 ⁻³ bar 1 m WS = 98,0665 · 10 ⁻³ bar 1 mm Hg = 1,333224 · 10 ⁻³ bar
Spannung	N/m ² Pa		1 N/m ² = 1 Pa	1 kp/m ² = 9,80665 N/m ² 1 kp/cm ² = 98,0665 · 10 ⁻³ N/m ² 1 kp/mm ² = 9,80665 · 10 ⁻⁶ N/m ²
Dynamische Viskosität	Pa · s		1 Pa · s = 1 N · s/m ²	1 P (Poise) = 10 ⁻¹ Pa · s
Kinematische Viskosität	m ² /s		1 m ² /s = 1 Pa · s · m ³ /kg	1 St (Stokes) = 10 ⁻⁴ m ² /s
Arbeit, Energie	J	eV W · h	1 J = 1 Nm = 1 WS 1 W · h = 3,6 KJ	1 cal = 4,1868 J 1 kpm = 9,80665 J 1 erg = 10 ⁻⁷ J
Elektrische Ladung	C		1 C = 1 A · s	
Elektrische Spannung	V		1 V = 1 W/A	
Elektrischer Strom	A			
Elektrischer Widerstand	Ω		1 Ω = 1 V/A	1 Ω abs = 1 Ω
Leistung	W		1 W = 1 J/s = 1 Nm/s 1 W = 1 V · A	1 PS = 735,498 W 1 kcal/h = 1,163 W 1 kpm/s = 10 W
Elektrische Kapazität	F		1 F = 1 C/V	
Magnetfeldstärke	A/m			1 Oe = 79,5775 A/m
Magnetfluss	Wb		1 Wb = 1 V · s	1 Mx = 10 ⁻⁸ Wb
Magnetflussdichte	T		1 T = 1 Wb/m ²	1 G = 10 ⁻⁴ T
Induktivität	H		1 H = 1 Wb/A	
Elektrischer Leitwert	S		1 S = 1/Ω	
Thermodynamische Temperatur	K		Δ 1 °C = Δ 1 K	0 °C = 273,15 K
Celsius, Temperatur	°C		Δ 1 °C = Δ 1 K 0 K = -273,15 °C	
Wärmekapazität	J/K			1 kcl/grad = 4,1868 · 10 ⁻³ J/K

Die folgende Tabelle zeigt Umrechnungen zur Durchflussmenge.

m ³ /h	l/min	l/s	m ³ /s	Imp. gal/min	US gal/min	cu ft/h	cu ft/s
1,0	16,67	0,278	2.78·10 ⁻⁴	3,667	4,404	35,311	9.81 · 10 ⁻³
0,06	1,0	0,017	1.67 · 10 ⁻⁵	0,220	0,264	2,119	5.89 · 10 ⁻⁴
3,6	60	1,0	1.00 · 10 ⁻³	13,20	15,853	127,12	3.53 · 10 ⁻²
3.600	60.000	1000	1,0	13.200	15.838	127.118	35,311
0,2727	4,55	0,076	7.58 · 10 ⁻⁵	1,0	1,201	9,629	2.67 · 10 ⁻³
0,2272	3,79	0,063	6.31 · 10 ⁻⁵	0,833	1,0	8,0238	2.23 · 10 ⁻³
0,0283	0,47	0,008	7.86 · 10 ⁻⁶	0,104	0,125	1,0	2.78 · 10 ⁻⁴
101,94	1.699	28,32	2.83 · 10 ⁻²	373,77	448,8	3.600	1,0

Die folgende Tabelle zeigt Umrechnungen zum Druck.

Bar	kg/cm ²	lbf/in ²	ATM	ft H ₂ O	m H ₂ O	mm Hg	in Hg	kPa
1,0	1,0197	14,504	0,9869	33,455	10,197	750,06	29,530	100
0,9807	1,0	14,223	0,9878	32,808	10	735,56	28,959	98,07
0,0689	0,0703	1,0	0,0609	2,3067	0,7031	51,715	2,036	6,89
1,0133	1,0332	14,696	1,0	33,889	10,332	760,0	29,921	101,3
0,0299	0,0305	0,4335	0,0295	1,0	0,3048	22,420	0,8827	2,99
0,0981	0,10	1,422	0,0968	3,2808	1,0	73,356	2,896	9,81
13.3 · 10 ⁻⁴	0,0014	0,0193	13.2 · 10 ⁻⁴	0,0446	0,0136	1,0	0,0394	0,133
0,0339	0,0345	0,4912	0,0334	1,1329	0,3453	25,40	1,0	3,39
1.0 · 10 ⁻⁵	10.2 · 10 ⁻⁶	14.5 · 10 ⁻⁵	9.87 · 10 ⁻⁶	3.34 · 10 ⁻⁴	10.2 · 10 ⁻⁵	75.0 · 10 ⁻⁴	29.5 · 10 ⁻⁵	1,0

2.2 Materialauswahl

Die Auswahl des Kunststoffmaterials ist für eine effektive und erfolgreiche Konstruktion von entscheidender Bedeutung, da so die gewünschte Funktionalität, Sicherheit und vorgegebene Mindestlebensdauer des Systems erreicht werden können.

Die Auswahl eines Rohrleitungsmaterials erfolgt nach den üblichen Verfahrensweisen und Einflussfaktoren, die sich mit dem Wort „STAMP“ zusammenfassen lassen: Size (Größe), Temperature (Temperatur), Application (Anwendung), Media (Medium) und Pressure (Druck).



Um das richtige Material für die korrekte Verwendung auszuwählen, ist es wichtig, einige Fragen zu beantworten, wie zum Beispiel:

- Für welche Anwendung wird das Material eingesetzt?
- Welche Medien sollen transportiert werden? In welcher Konzentration?
- Welche Größe bzw. Durchflussmenge ist erforderlich?
- Wie hoch ist der Betriebsdruck?
- Bei welcher Betriebstemperatur?
- Handelt es sich um eine oberirdische oder unterirdische Anwendung?
- Sind Normen und Standards vorhanden, die die Verwendung von Kunststoffen erlauben oder einschränken?

Um diese Fragen richtig zu beantworten, müssen einige Faktoren berücksichtigt werden, vor allem die Zusammensetzung der Flüssigkeit, die durch das Rohr fließt. Dabei müssen insbesondere ihre chemischen Eigenschaften untersucht und unerwünschte Schwankungen der Zusammensetzung berücksichtigt werden, um die richtige Lösung zu wählen.

Es kann sinnvoll sein, sich zunächst mit der chemischen Beständigkeit des gewünschten Rohrleitungsmaterials zu befassen: Im Allgemeinen zeichnen sich thermoplastische Kunststoffe durch eine hohe Beständigkeit gegenüber einer Vielzahl von Flüssigkeiten aus, doch kann sich dies je nach chemischem Wirkstoff, Temperaturschwankungen oder Belastung ändern, so dass es wichtig ist, alle Faktoren zu berücksichtigen, die die endgültige Wahl beeinflussen können.

Anschließend sollten die mit dem Prozessfluss verbundenen Parameter überprüft werden. Auf diese Weise kann die erforderliche Durchflussmenge entsprechend der gewünschten Geschwindigkeit und dem minimalen und maximalen Betriebsdruck festgelegt werden.

Dabei müssen auch eventuelle Druckschwankungen berücksichtigt werden, die sich auf die Dimensionierung des gesamten Systems auswirken können.

Was Druckverluste betrifft, so können diese in den Rohren oder im Inneren von Formstücken, Verbindungen oder Ventilen auftreten.

Andererseits kann es zu einem Druckanstieg, dem sogenannten Wasserschlag, kommen, wenn der Durchfluss abrupt gestoppt wird. Auch in diesem Fall müssen die Auswirkungen im Voraus bewertet werden, um die richtige Größe des Systems zu ermitteln.

Ein weiterer wichtiger Faktor, der den Prozess beeinflussen kann, ist die räumliche Anordnung und die Umgebung. Je nachdem, ob das System erdverlegt, oberirdisch oder hängend angeordnet ist, müssen unterschiedliche Materialien verwendet werden.

Auch die Außentemperatur sollte wegen möglicher Schwankungen berücksichtigt werden. Der Wechsel von einem extrem heißen zu einem kalten Klima kann verschiedene Auswirkungen auf das Kunststoffmaterial haben, wie z. B. Ausdehnung oder Schrumpfung, die in die Projektplanung mit einbezogen werden müssen.

Hinsichtlich der Installation sollte genügend Platz vorhanden sein. Die Rohre dürfen keine Hindernisse darstellen, die den Zugang von Personen oder den Verkehr behindern und die Zugänglichkeit anderer Ausrüstungsgegenstände für Wartungszwecke beeinträchtigen. Natürlich sollten bei der Lagerung potentiell brandgefährdete Bereiche vermieden werden.

Und zu guter Letzt muss auch das Budget betrachtet werden. Bei allen zuvor besprochenen Faktoren müssen die Kosten für Material, Installation und Wartung berücksichtigt werden.

Unter Berücksichtigung all dieser Parameter ist bei einer guten Auswahl und Verwendung des Materials eine extrem hohe Lebenserwartung gewährleistet.

2.3 Chemische Beständigkeit

Anhand der chemischen Beständigkeit lässt sich jedes Kunststoffmaterial klassifizieren und sein Verhalten gegenüber verschiedenen chemischen Substanzen nachvollziehen.

Thermoplastische Kunststoffe zeichnen sich je nach ihrer Molekularstruktur durch eine hohe Beständigkeit gegenüber einer Vielzahl von Flüssigkeiten aus. Diese Eigenschaft wird jedoch in erheblichem Maße von den Betriebsbedingungen beeinflusst, denen das thermoplastische Material ausgesetzt ist, wie z. B. Schwankungen in der Zusammensetzung des chemischen Wirkstoffs, Temperatur, statische und dynamische Belastungen, die zu Zersetzungserscheinungen führen und die Lebensdauer des Materials verringern können.

Da die chemische Beständigkeit eines Materials wie bereits erwähnt leicht von der Temperatur beeinflusst werden kann, kann es sinnvoll sein, die Beziehung zwischen der Geschwindigkeit einer chemischen Reaktion und ihrer Temperatur zu erörtern.

Dieses Thema lässt sich in einer einzigen Formel, der Arrhenius-Gleichung, zusammenfassen. Sie beschreibt, wie die Geschwindigkeitskonstante oder kinetische Konstante mit zunehmender Temperatur exponentiell ansteigt.

Die Arrhenius-Gleichung kann wie folgt geschrieben werden:

$$k = k_0 * e^{\left(\frac{-E_a}{R*T}\right)}$$

wobei

k = Geschwindigkeitskonstante (Häufigkeit der zu einer Reaktion führenden Zusammenstöße), die zur Berechnung der Reaktionsgeschwindigkeit verwendet wird

k_0 = Präexponentialfaktor, eine Konstante für jede chemische Reaktion

E_a = Aktivierungsenergie für die Reaktion (J/mol)

R = universelle Gaskonstante (J/mol*K)

T = Temperatur (K)

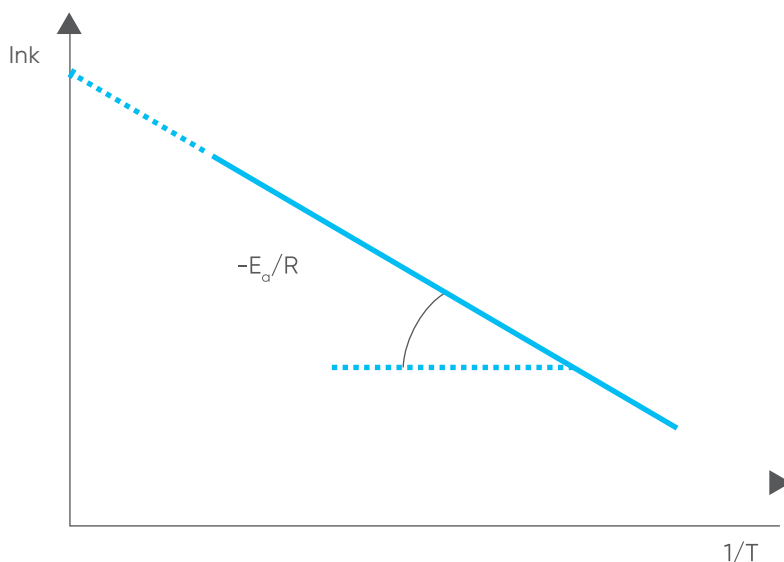
Um dies besser zu erklären, muss man sich vor Augen halten, dass für eine chemische Reaktion die Moleküle der Reaktanten mit einer ausreichend hohen Energie zusammenstoßen müssen, um die so genannte Aktivierungsenergie zu überwinden, d. h. die Mindestenergie, die ein System benötigt, um eine Reaktion einzuleiten.

Bei einer bestimmten Temperatur verfügen nicht alle Moleküle über genügend kinetische Energie, um den Wert der Aktivierungsenergie zu überschreiten, aber mit steigender Temperatur nimmt der Anteil der Moleküle mit einer kinetischen Energie über der Aktivierungsenergie zu.

Andererseits kann die Arrhenius-Gleichung wie folgt geschrieben werden:

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_a}{R*T}$$

Dabei ist festzustellen, dass mit steigender Temperatur $\ln k$ abnimmt, wie in der folgenden Grafik zu sehen ist.



Um eine genaue Auswahl des am besten geeigneten Materials treffen zu können, muss das Verhalten thermoplastischer Materialien gegenüber chemischen Verbindungen bekannt sein.

Durch die Zusammenfassung der Angaben zu jedem einzelnen Kunststoffmaterial kann festgestellt werden, dass z. B. PVC für die meisten starken Säuren, Alkalien, wässrigen Lösungen, aliphatischen Kohlenwasserstoffe und Fluoride geeignet ist, jedoch bei Estern, Ketonen, Ethern und aromatischen oder chlorierten Kohlenwasserstoffen im Allgemeinen nicht empfohlen wird.

Unter den Kunststoffmaterialien weist PVC-C die interessantesten Eigenschaften auf, da es gegen korrosive Chemikalien beständig ist. Solche Chemikalien, die verschiedene Metalle zersetzen und deren Lebensdauer verkürzen können, wie z. B. Schwefel- und Salzsäure, Sulfate und Hydroxide.

Darüber hinaus ist PVC-C nicht pH-begrenzt, sondern kann große Schwankungen des pH-Werts von Flüssigkeiten, die es transportiert, verkraften.

Es wird daher in einer Vielzahl von industriellen Verfahren eingesetzt, z. B. in der Metallbeschichtung, in der Chloralkaliindustrie oder bei der Abwasserbehandlung.

Polyolefine sind beständig gegen wässrige Lösungen von Salzen, verdünnten Säuren, Alkalien und elektrochemische Prozesse, die zu Korrosion in Metallen führen können.

Nur starke Oxidationsmittel wie hochkonzentrierte Peroxide und Säuren oder Halogene greifen das Material über einen längeren Zeitraum an.

PVDF verträgt die meisten anorganischen Säuren und Salze, organische Säuren, aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe, Rohöl und Brennstoffe, Alkohole und Ether, Halogene, ausgenommen Fluor.

ABS ist beständig gegen wässrige Säuren, Alkalien, konzentrierte Salz- und Phosphorsäuren, kann aber durch konzentrierte Schwefel- und Salpetersäuren angegriffen werden. Es ist löslich in Estern, Ketonen und Ethylendichlorid.

FKM und FFKM sind fluorierte Elastomere, die hinsichtlich der chemischen Beständigkeit absolute Referenz für Gummidichtungen sind. Sie werden in Hightech-Anwendungen eingesetzt, z. B. in der Luft- und Raumfahrt, im militärischen Bereich, bei der Herstellung von polymeren optischen Fasern oder in Rohrleitungssystemen für besonders aggressive Umgebungen, wie Sauerstoff-, Fluor-, Wasserstoff-, Schwefelwasserstoff- und Säureatmosphären.

Im Vergleich zu herkömmlichen Kautschuken weisen sie eine hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber chemischen Stoffen, ultravioletten Strahlen und Oxidationsmitteln auf.

Ein weiteres Elastomer, das zu den beliebtesten synthetischen Kautschuktypen gehört, ist EPDM, das eine sehr gute Beständigkeit gegen atmosphärische Oxidation, also gegen Ozon, gegen Chemikalien auf Wasserbasis sowie gegen Säuren und Alkalien aufweist.

Auch wenn es auf den ersten Blick trivial erscheinen mag, den Werkstoff nach der chemischen Beständigkeit gegenüber der zu beförderten Flüssigkeit auszuwählen, handelt es sich in Wirklichkeit um ein sehr kompliziertes und selektives Verfahren, da es schwierig ist, einen Werkstoff zu finden, der sich an mehr Flüssigkeiten anpassen kann.

Da die Temperatur die chemische Beständigkeit eines Materials stark beeinflusst, sollte die folgende Tabelle nur als generisches, unspezifisches Beispiel betrachtet werden.

Um eine detaillierte und sichere Analyse zu erhalten, ist es ratsam, die Datenbank der chemischen Beständigkeit auf der Aliaxis-Website zu verwenden.

Chemikalie	PVC-U	PVC-C	ABS	PE	PP	PVDF	EPDM	FKM
Chlorgas, rein (trocken)	Bedingt	Bedingt	X	X	X	Bedingt	X	√
Chlorgas (nass)	Bedingt	Bedingt	X	X	X	Bedingt	X	Bedingt
Chlorwasser, gesättigt	√	√	X	Bedingt	X	Bedingt	√	√
Flüssiges Chlor (Gas)	X	X	X	X	X	Bedingt	X	√
Natriumhypochlorit (12,5 %)	√	√	X	Bedingt	Bedingt	Bedingt	Bedingt	√
Chloriertes Wasser	√	√	X	Bedingt	√	√	√	√
Chlordioxid, gesättigt	√	√	X	X	Bedingt	Bedingt	X	√
Ozon (wässrig)	√	√	X	Bedingt	Bedingt	√	√	√
Ozon (Gas)	Bedingt	Bedingt	X	X	X	Bedingt	√	√

√ = beständig

X = nicht beständig

Um sich einen Überblick über das Thema zu verschaffen und eine genauere Liste der Chemikalien zu erhalten, mit denen Kunststoffe interagieren können, empfiehlt es sich, den Leitfaden zur chemischen Beständigkeit anzusehen. Dieser ist auf der Aliaxis-Website oder unter Services leicht zugänglich. In diesen Tabellen sind die chemischen Beständigkeitsklassen der thermoplastischen und elastomeren Werkstoffe aufgeführt, die am häufigsten für die Herstellung von Armaturen und Formstücken für den Transport von Industrieflüssigkeiten verwendet werden.

Die aufgeführten Daten beruhen auf Erfahrungswerten aus der Industrie und Ergebnissen von Tauchversuchen im Labor.

Weitere maßgebliche Quellen für die chemische Beständigkeit sind zwei allgemein anerkannte Normen:

- ISO 10358;
- DIBt Medienliste 40.

Wie bereits erwähnt, können Schwankungen in der Zusammensetzung der chemischen Verbindungen oder in den Betriebsbedingungen, wie Druck und Temperatur sowie mechanische Beanspruchung, die tatsächliche chemische Beständigkeit der Materialien erheblich verändern. Bei den Labortests wurde ein reines Medium verwendet, aber es ist zu bedenken, dass die chemische Beständigkeit beeinträchtigt und häufig verringert wird, wenn mehrere Chemikalien oder Verbindungen mit Verunreinigungen verwendet werden.

Daher ist es bei spezifischen Anwendungen oft sinnvoll, Tests mit der tatsächlichen Mischflüssigkeit durchzuführen, die im Betrieb verwendet werden soll.

Gemäß dem Leitfaden für die chemische Beständigkeit werden üblicherweise drei verschiedene Klassen von chemischen Beständigkeitsgraden verwendet:

- Klasse 1: Hochbeständige Materialien: Die Werkstoffe dieser Klasse sind unter den angegebenen Betriebsbedingungen vollständig gegen das Fördermedium beständig;
- Klasse 2: Begrenzt beständige Materialien: Die Werkstoffe dieser Klasse werden durch die geförderte chemische Verbindung teilweise angegriffen. Die durchschnittliche Lebensdauer des Materials ist daher kürzer und es ist ratsam, einen höheren Sicherheitsfaktor als bei Materialien der Klasse 1 zu verwenden;
- Klasse 3: Nicht beständige Materialien: Alle Materialien dieser Klasse unterliegen der Korrosion durch das Fördermedium und sollten daher nicht verwendet werden.

Auf diese Weise ist es möglich, allein durch die Suche nach dem Kunststoffmaterial und der gewünschten Industrieflüssigkeit zu verstehen, ob die Beständigkeit gut ist oder nicht.

Um das Thema chemische Beständigkeit abzuschließen, muss neben den chemischen und mechanischen Eigenschaften von Rohren und Formstücken auch die Unversehrtheit der Verbindung berücksichtigt werden, die in der Regel der schwächste Punkt in einem industriellen Rohrleitungssystem ist.

Tatsächlich haben sich Rohrverbindungen als sehr widerstandsfähig erwiesen, wenn Anwendungen wie Stumpf- und Heizwendelschweißen oder Kleben verwendet werden, die homogene Verbindungen schaffen.

Insbesondere das Kleben ist ein Installationsverfahren, bei dem lösemittelhaltige Kleber verwendet werden, um Rohr und Formstück chemisch miteinander zu verbinden.

Bei der Anwendung erweicht und löst der lösemittelhaltige Kleber die oberste Schicht des Rohr- und Formstückmaterials auf, indem es ihre Molekularstruktur auflockert und ein durchgehendes Stück thermoplastisches Material bildet.

In diesem Fall behalten die mit dem Kleber hergestellten Verbindungen die gleiche chemische Beständigkeit wie der Kunststoff, da es sich um dasselbe Material handelt und nicht um einen Klebstoff oder einen Fremdkörper, der dem Teil hinzugefügt wurde. Da der Kleber außerdem alle weiteren in der Verbindungsfuge möglicherweise noch vorhandenen Hohlräume ausfüllt, ist die chemische Beständigkeit oft hoch.



Die Abbildungen zeigen chemische Reaktionen nach langer Standzeit, die auftreten, wenn ein thermoplastischer Werkstoff gewählt wurde, der nicht für die beförderte Flüssigkeit geeignet ist.

2.4 Dimensionierung und Hydraulik

Dieser Abschnitt enthält einige technische Anforderungen für die sichere Konstruktion von Rohren aus verschiedenen Materialien wie PVC-U, PVC-C, PVDF, ABS, PP-H, PE 100 fest, die Wasser oder nicht gefährliche Flüssigkeiten transportieren.

2.4.1 Rohrkonstruktion

Der erste Schritt bei der Planung und Konstruktion eines Rohrleitungssystems besteht darin, zu entscheiden, welche Durchmessergrößen verwendet werden sollen.

Zu diesem Zweck müssen mehrere Faktoren, von denen einige direkt mit dem Druck zusammenhängen, verstanden und untersucht werden:

- Bemessungsspannung;
- Nenndruck;
- Standardabmessungsverhältnis (SDR);
- Serie;
- Wanddicke.

2.4.1.1 Berechnung der Bemessungsspannung auf Grundlage der MRS-Klassifizierung

Die größte Spannung in einem druckbeaufschlagten Rohrleitungssystem ist die Umfangsspannung, definiert als die Kraft, die in Umfangsrichtung, senkrecht zur Achse und zum Radius des Objekts, in beiden Richtungen auf jedes Teilchen in der Zylinderwand ausgeübt wird.

Dies ist der maßgebliche Faktor für die Bestimmung des Drucks, dem ein Rohrabschnitt standhalten kann, und wird in der Regel als Bemessungsspannung bezeichnet, angegeben durch σ .

Sie kann nach folgender Gleichung berechnet werden:

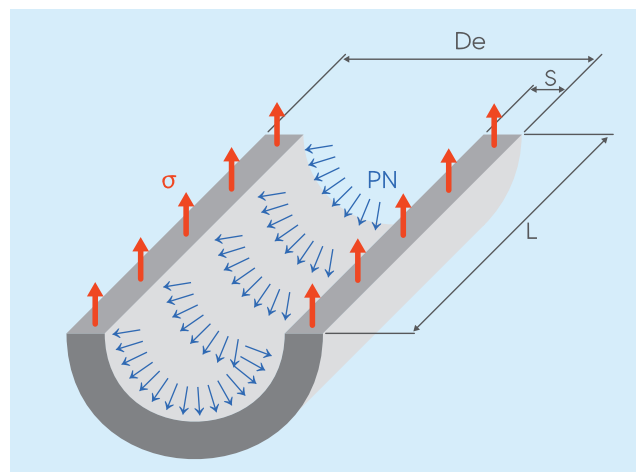
$$\sigma = \frac{MRS}{C}$$

wobei

σ = Bemessungsspannung (MPa)

MRS = erforderliche Mindestspannung (MPa), d.h. der garantierte Mindestwert der Bruchlast des Materials bei einer Temperatur von 20 °C und einer Betriebsdauer von 50 Jahren.

C = Sicherheitsfaktor (-)



In einigen Fällen müssen ggf. weitere Faktoren berücksichtigt werden, die in der Regel von der Chemikalie, dem Material und der Temperatur oder dem Verbindungsverfahren abhängig sind, wie in der folgenden Tabelle aus DVS 2205 beschrieben.

Material	Chemischer Faktor	Zähigkeitsfaktor	Langzeit-Schweißnahtfaktor
PVC-U	Von der Chemikalie abhängig	Material- und temperaturabhängig	Von der Verbindungsmethode abhängig
PVC-C (Rohr)			
PVC-C (Formstück)			
ABS			
PP-H			
PE 100			
PVDF			

Auf diese Weise ändert sich die vorherige Gleichung der Bemessungsspannung in eine neue:

$$\sigma = \frac{MRS * F_j}{(C * F_c * F_t)}$$

wobei

σ = Bemessungsspannung (MPa)

MRS = Erforderliche Mindestspannung (MPa)

C = Sicherheitsfaktor (-)

F_j = Langzeit-Schweißnahtfaktor (-)

F_c = Chemischer Faktor (-)

F_t = Zähigkeitsfaktor (-)

Anhand der in ISO 15494, ISO 15493 und ISO 10931 beschriebenen Festigkeitskurven kann der Wert der Umfangsspannung für jedes Material bei unterschiedlichem Druck und unterschiedlichen Betriebsjahren ermittelt werden.

Hinsichtlich des Sicherheitsfaktors werden unterschiedliche Werte verwendet, je nachdem, aus welchem Material das Rohr besteht und auf welche Norm Sie sich beziehen. Die folgende Tabelle zeigt verschiedene Mindestwerte für den Sicherheitsfaktor (C_{\min}), die in der DIN-Norm, der DIBt-Zulassung und der EN ISO 12162 aufgeführt sind.

Während insbesondere DIN eine nationale und EN eine europäische Norm ist, wird die DIBt-Zulassung vom DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik) erteilt.

Hierbei handelt es sich um eine deutsche Regierungsbehörde, die bestätigt, dass die betreffenden Produkte den deutschen Sicherheits- und Gesetzesvorschriften entsprechen.

Material	DIN-Normen	DIBt-Zulassung	ISO 12162
PVC-U	2-2,5	2	1,6
PVC-C	-	2	1,6
ABS	-	2	1,6
PP-H	1,6 (10-40 °C) 1,4 (40-60 °C) 1,25 (<60 °C)	2	1,6
PE 100	1,25 -1,6 -2	2	1,25
PVDF	-	2	1,6

Insbesondere die Norm EN ISO 12162 basiert auf Prüfungen, die an rohrförmigen Bauteilen durchgeführt wurden und gibt Werte für C_{\min} an, die für die Berechnung des zulässigen Drucks, der in dem System angewendet werden kann, nützlich sind.

Andererseits muss der Nenndruck, also der Betriebsdruck, unter Verwendung eines von jedem Hersteller vorgeschlagenen Industrie- und Herstellerkoeffizienten (C) berechnet werden.

Da diese Industriekoeffizienten C aus Sicherheitsgründen höher sind als C_{\min} gemäß EN ISO 12162, ist der Betriebsdruck immer etwas niedriger als der zulässige.

2.4.1.2 Berechnung des Nenndrucks

Bei Rohrleitungssystemen aus Kunststoff, die zum Transport von Wasser bestimmt sind, beschreibt der Nenndruck den maximalen Arbeitsdruck in bar bei einer Temperatur von 20 °C und einer Lebensdauer von 50 Jahren.

Bei Rohren, die andere Industrieﬂüssigkeiten transportieren, bezieht sich der Nenndruck laut Normen und Standards auf eine Lebensdauer von 25 Jahren.

Er kann wie folgt ausgedrückt werden:

$$PN = 20 * \frac{\sigma}{(SDR - 1)}$$

wobei

PN = Nenndruck (bar)

σ = Bemessungsspannung (MPa)

SDR = Standardabmessungsverhältnis (-), wie unten beschrieben

Wie bereits erwähnt muss berücksichtigt werden, dass die Bemessungsspannung σ für den Nenndruck mit dem von unserem Unternehmen angegebenen industriellen Bemessungskoeffizienten C berechnet wird, der in der Regel in der industriellen Anwendung verwendet wird.

2.4.1.3 Berechnung des Standardabmessungsverhältnisses

Die Druckbelastbarkeit von Rohren und Formstücken wird als SDR-Wert (Standard Dimension Ratio, Standardabmessungsverhältnis) angegeben.

Sie kann als Verhältnis zwischen dem Rohraußendurchmesser und der Wanddicke des Rohrs ausgedrückt werden.

$$SDR = \frac{De}{t}$$

wobei:

SDR = Standardabmessungsverhältnis (-)

De = Außendurchmesser (mm)

T = Wanddicke (mm)

Gemäß dem Nenndruck kann das SDR auch wie folgt berechnet werden:

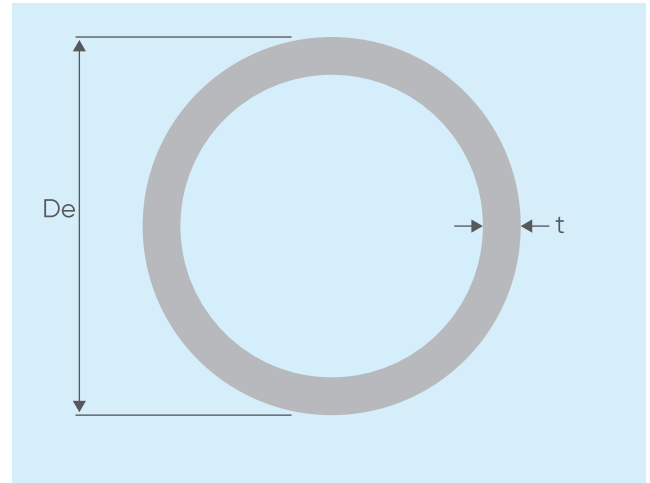
$$SDR = \frac{(20 * \sigma)}{PN + 1}$$

wobei:

SDR = Standardabmessungsverhältnis (-)

σ = Bemessungsspannung (MPa)

PN = Nenndruck (bar)



PRAKTISCHES BEISPIEL

Berechnen des SDR-Wertes, wenn De = 110 mm und t = 10 mm

$$SDR = \frac{De}{t} = \frac{110}{10} = 11$$

2.4.1.4 Berechnung der Serie

Die ISO 4065 klassifiziert Rohre nach Serien entsprechend der Druckstufe, so dass Rohre mit der gleichen Seriennummer die gleiche Druckstufe haben.

Rohrserien werden mit dem Buchstaben S bezeichnet und können mit der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$S = \frac{(SDR-1)}{2}$$

wobei:

SDR = Standardabmessungsverhältnis (-)

S = Rohrserie (-)

PRAKTISCHES BEISPIEL

Berechnen der Serie für SDR 11

$$S = \frac{(11-1)}{2} = 5$$

2.4.1.5 Berechnung der Wanddicke

Die Dimensionierung eines Rohres aus thermoplastischem Kunststoff, hängt von den Festigkeitsanforderungen ab, das einem Innendruck ausgesetzt ist.

Alle in den Normen enthaltenen Rohrgrößen basieren auf dieser Formel:

$$t = \frac{(De * PN)}{(20 * \sigma + PN)}$$

wobei:

t = Dicke der Wand (mm)

De = Außendurchmesser des Rohres (mm)

σ = Bemessungsspannung (MPa)

PN = Nenndruck (bar)

In den folgenden Tabellen ist die Wanddicke jedes Materials nach Außendurchmessern und SDR-Werten dargestellt.

PVC-U							
S	20	16	12,5	10	8	6,3	5
SDR	41	33	26	21	17	13,6	11
De (mm)	t (mm)						
12	-	-	-	-	-	-	1,5
16	-	-	-	-	-	-	1,5
20	-	-	-	-	-	1,5	1,9
25	-	-	-	-	1,5	1,9	2,3
32	-	-	1,5	1,6	1,9	2,4	2,9
40	-	1,5	1,6	1,9	2,4	3	3,7
50	-	1,6	2	2,4	3	3,7	4,6
63	-	2	2,5	3	3,8	4,7	5,8
75	-	2,3	2,9	3,6	4,5	5,6	6,8
90	-	2,8	3,5	4,3	5,4	6,7	8,2
110	2,7	3,4	4,2	5,3	6,6	8,1	10
125	3,1	3,9	4,8	6	7,4	9,2	11,4
140	3,5	4,3	5,4	6,7	8,3	10,3	12,7
160	4	4,9	6,2	7,7	9,5	11,8	14,6
180	4,4	5,5	6,9	8,6	10,7	13,3	16,4
200	4,9	6,2	7,7	9,6	11,9	14,7	18,2
225	5,5	6,9	8,6	10,8	13,4	16,6	-
250	6,2	7,7	9,6	11,9	14,8	18,4	-
280	6,9	8,6	10,7	13,4	16,6	20,6	-
315	7,7	9,7	12,1	15	18,7	23,2	-
355	8,7	10,9	13,6	16,9	21,1	26,1	-
400	9,8	12,3	15,3	19,1	23,7	29,4	-

PVC-C				
S	10	6,3	5	4
SDR	21	13,6	11	9
De (mm)	t (mm)			
12	-	1,4	1,4	1,4
16	-	1,4	1,5	1,8
20	-	1,5	1,9	2,3
25	-	1,9	2,3	2,8
32	1,6	2,4	2,9	3,6
40	1,9	3	3,7	4,5
50	2,4	3,7	4,6	5,6
63	3	4,7	5,8	7,1
75	3,6	5,6	6,8	8,4
90	4,3	6,7	8,2	10,1
110	5,3	8,1	10	12,3
125	6	9,2	11,4	14
140	6,7	10,3	12,7	15,7
160	7,7	11,8	14,6	17,9
180	8,6	13,3	-	-
200	9,6	14,7	-	-
225	10,8	16,6	-	-

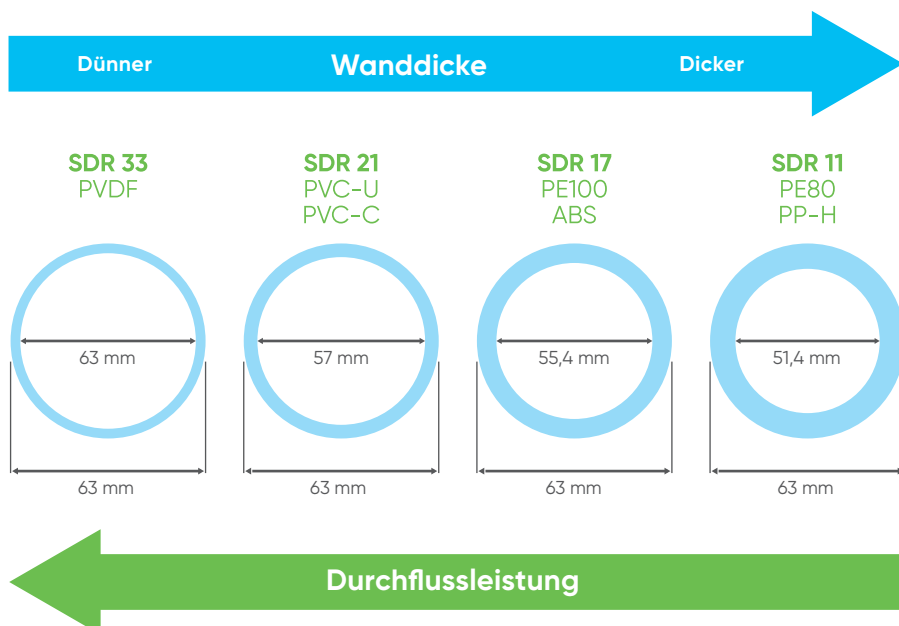
ABS								
S	20	16	12,5	10	8	6,3	5	4
SDR	41	33	26	21	17	13,6	11	9
De (mm)	t (mm)							
12	-	-	-	-	-	-	1,5	1,5
16	-	-	-	-	-	1,5	1,5	1,8
20	-	-	-	-	-	1,5	1,9	2,3
25	-	-	-	-	1,5	1,9	2,3	2,8
32	-	-	-	1,6	1,9	2,4	2,9	3,6
40	-	-	1,6	1,9	2,4	3	3,7	4,5
50	-	1,6	2	2,4	3	3,7	4,6	5,6
63	1,6	2	2,5	3	3,8	4,7	5,8	7,1
75	1,9	2,3	2,9	3,6	4,5	5,6	6,8	8,4
90	2,2	2,8	3,5	4,3	5,4	6,7	8,2	10,1
110	2,7	3,4	4,2	5,3	6,6	8,1	10	12,3
125	3,1	3,9	4,8	6	7,4	9,2	11,4	14
140	3,5	4,3	5,4	6,7	8,3	10,3	12,7	15,7
160	4	4,9	6,2	7,7	9,5	11,8	14,6	17,9
180	4,4	5,5	6,9	8,6	10,7	13,3	16,4	20,1
200	4,9	6,2	7,7	9,6	11,9	14,7	18,2	22,4
225	5,5	6,9	8,6	10,8	13,4	16,6	20,5	25,2
250	6,2	7,7	9,6	11,9	14,8	18,4	22,7	27,9
280	6,9	8,6	10,7	13,4	16,6	20,6	25,4	31,3
315	7,7	9,7	12,1	15	18,7	23,2	28,6	35,2
355	8,7	10,9	13,6	16,9	21,1	26,1	32,2	39,7
400	9,8	12,3	15,3	19,1	23,7	29,4	36,3	44,7

PP-H							
S	20	16	12,5	8,3	5	3,2	2,5
SDR	41	33	26	17,6	11	7,4	6
De (mm)	t (mm)						
12	-	-	-	-	1,8	1,8	2
16	-	-	-	-	1,8	2,2	2,7
20	-	-	-	1,8	1,9	2,8	3,4
25	-	-	-	1,8	2,3	3,5	4,2
32	-	-	-	1,9	2,9	4,4	5,4
40	-	-	1,8	2,3	3,7	5,5	6,7
50	1,8	1,8	2	2,9	4,6	6,9	8,3
63	1,8	2	2,5	3,6	5,8	8,6	10,5
75	1,9	2,3	2,9	4,3	6,8	10,3	12,5
90	2,2	2,8	3,5	5,1	8,2	12,3	15
110	2,7	3,4	4,2	6,3	10	15,1	18,3
125	3,1	3,9	4,8	7,1	11,4	17,1	20,8
140	3,5	4,3	5,4	8	12,7	19,2	23,3
160	4	4,9	6,2	9,1	14,6	21,9	26,6
180	4,4	5,5	6,9	10,2	16,4	24,6	29,9
200	4,9	6,2	7,7	11,4	18,2	27,4	33,2
225	5,5	6,9	8,6	12,8	20,5	30,8	37,4
250	6,2	7,7	9,6	14,2	22,7	34,2	-
280	6,9	8,6	10,7	15,9	25,4	38,3	-
315	7,7	9,7	12,1	17,9	28,6	43,1	-
355	8,7	10,9	13,6	20,1	32,2	48,5	-
400	9,8	12,3	15,3	22,7	36,3	54,7	-
450	11	13,8	17,2	25,5	40,9	-	-
500	12,3	15,3	19,1	28,3	45,4	-	-
560	13,7	17,2	21,4	31,7	50,8	-	-
630	15,4	19,3	24,1	35,7	-	-	-
710	17,4	21,8	27,2	40,2	-	-	-
800	19,6	24,5	30,6	45,3	-	-	-
900	22	27,6	34,4	51	-	-	-
1000	24,5	30,6	38,2	-	-	-	-
1200	29,4	36,7	45,9	-	-	-	-
1400	34,3	42,9	53,5	-	-	-	-
1600	39,2	49	61,2	-	-	-	-

PE 100							
S	20	16	12,5	8	5	3,2	2,5
SDR	41	33	26	17	11	7,4	6
De (mm)	t (mm)						
16	-	-	-	-	1,8	2,2	2,7
20	-	-	-	1,8	1,9	2,8	3,4
25	-	-	-	1,8	2,3	3,5	4,2
32	-	-	-	1,9	2,9	4,4	5,4
40	-	-	1,8	2,4	3,7	5,5	6,7
50	1,8	1,8	2	3	4,6	6,9	8,3
63	1,8	2	2,5	3,8	5,8	8,6	10,5
75	1,9	2,3	2,9	4,5	6,8	10,3	12,5
90	2,2	2,8	3,5	5,4	8,2	12,3	15
110	2,7	3,4	4,2	6,6	10	15,1	18,3
125	3,1	3,9	4,8	7,4	11,4	17,1	20,8
140	3,5	4,3	5,4	8,3	12,7	19,2	23,3
160	4	4,9	6,2	9,5	14,6	21,9	26,6
180	4,4	5,5	6,9	10,7	16,4	24,6	29,9
200	4,9	6,2	7,7	11,9	18,2	27,4	33,2
225	5,5	6,9	8,6	13,4	20,5	30,8	37,4
250	6,2	7,7	9,6	14,8	22,7	34,2	41,5
280	6,9	8,6	10,7	16,6	25,4	38,3	46,5
315	7,7	9,7	12,1	18,7	28,6	43,1	52,3
355	8,7	10,9	13,6	21,1	32,2	48,5	59
400	9,8	12,3	15,3	23,7	36,3	54,7	-
450	11	13,8	17,2	26,7	40,9	61,5	-
500	12,3	15,3	19,1	29,7	45,4	-	-
560	13,7	17,2	21,4	33,2	50,8	-	-
630	15,4	19,3	24,1	37,4	57,2	-	-
710	17,4	21,8	27,2	42,1	64,5	-	-
800	19,6	24,5	30,6	47,4	72,6	-	-
900	22	27,6	34,4	53,3	81,7	-	-
1000	24,5	30,6	38,2	59,3	90,8	-	-
1200	29,4	36,7	45,9	71,1	-	-	-
1400	34,3	42,9	53,5	83	-	-	-
1600	39,2	49	61,2	94,8	-	-	-
1800	44	55,1	68,8	106,6	-	-	-
2000	48,9	61,2	76,4	118,5	-	-	-
2250	55	68,9	86	-	-	-	-
2500	61,2	76,5	95,5	-	-	-	-

PVDF		
S	16	10
SDR	33	21
De (mm)	t (mm)	
8	-	-
10	-	-
12	-	-
16	-	-
20	-	-
25	-	-
32	-	-
40	-	-
50	-	-
63	2	3
75	2,3	3,6
90	2,8	4,3
110	3,4	5,3
125	3,9	6
140	4,3	6,7
160	4,9	7,7
180	5,5	8,6
200	6,2	9,6
225	6,9	10,8
250	7,7	11,9
280	8,6	13,4
315	9,7	-
355	10,9	-
400	12,3	-

Es ist zu bedenken, dass unter Berücksichtigung desselben Nenndrucks bei 20 °C und einer Lebensdauer von 50 Jahren bei niedrigerem SDR eine dickere Wand und bei höherem SDR eine dünnere Wand verwendet werden kann.



PRAKTISCHES BEISPIEL

Wie hoch ist der zulässige Druck von SDR 17 PE 100-Rohren, die Wasser bei 20°C transportieren?

Betrachtet man die Festigkeitskurve für PE 100 bei 20 °C und 50 Jahren Lebensdauer, so beträgt der MRS-Wert 10 MPa, wie in der nebenstehenden Abbildung grafisch dargestellt.

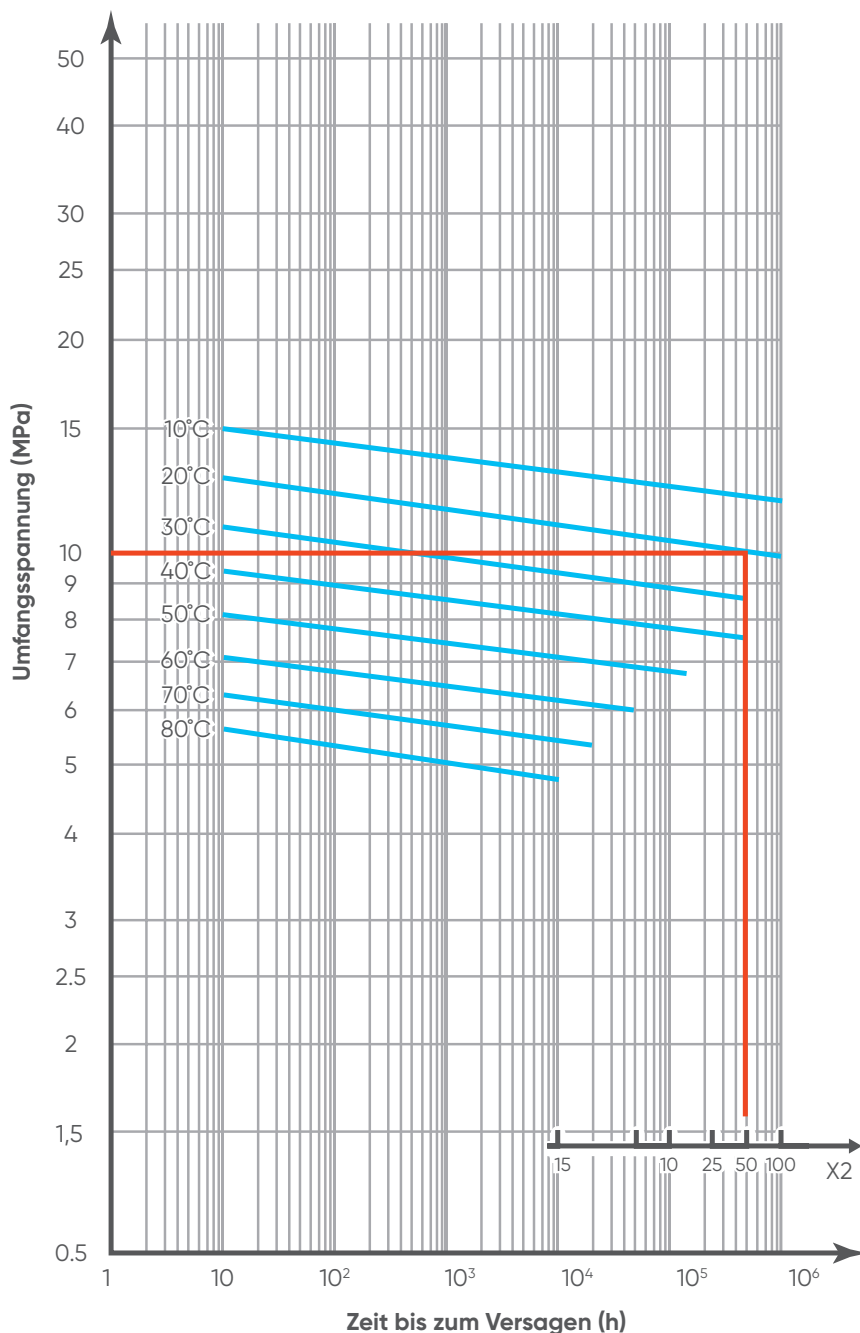
Nach ISO 12162 beträgt C_{min} für PE 100 1,25.

Um den zulässigen Druck zu ermitteln, muss wie folgt gerechnet werden:

$$\sigma = \frac{MRS}{C_{min}} = 8 \text{ MPa}$$

Somit beträgt der zulässige Druck:

$$20 * \frac{\sigma}{(SDR-1)} = 10 \text{ Bar}$$

**2.4.2 Druck-Temperatur-Diagramm**

Wie aus der Festigkeitskurve hervorgeht, ist die Beständigkeit des thermoplastischen Materials temperaturabhängig.

Da die Standarddruckwerte bei einer Umgebungstemperatur von 20 °C ermittelt werden, ist für höhere oder niedrigere Druckänderungen die Beziehung zwischen Nenndruck und Temperatur und zulässigem Druck und Temperatur in den folgenden Diagrammen für jeweils ein Material dargestellt.

Es ist zu beachten, dass sie für Wasser oder ungefährliche Flüssigkeiten vorgesehen sind, gegen die das Material als chemisch beständig gilt. In anderen Fällen ist eine entsprechende Verringerung des Drucks erforderlich.

Aliaxis empfiehlt, unterhalb der folgenden Kurven zu bleiben, nicht auf oder über ihnen.

2.4.2.1 Zulässiger Druck – Temperaturdiagramm

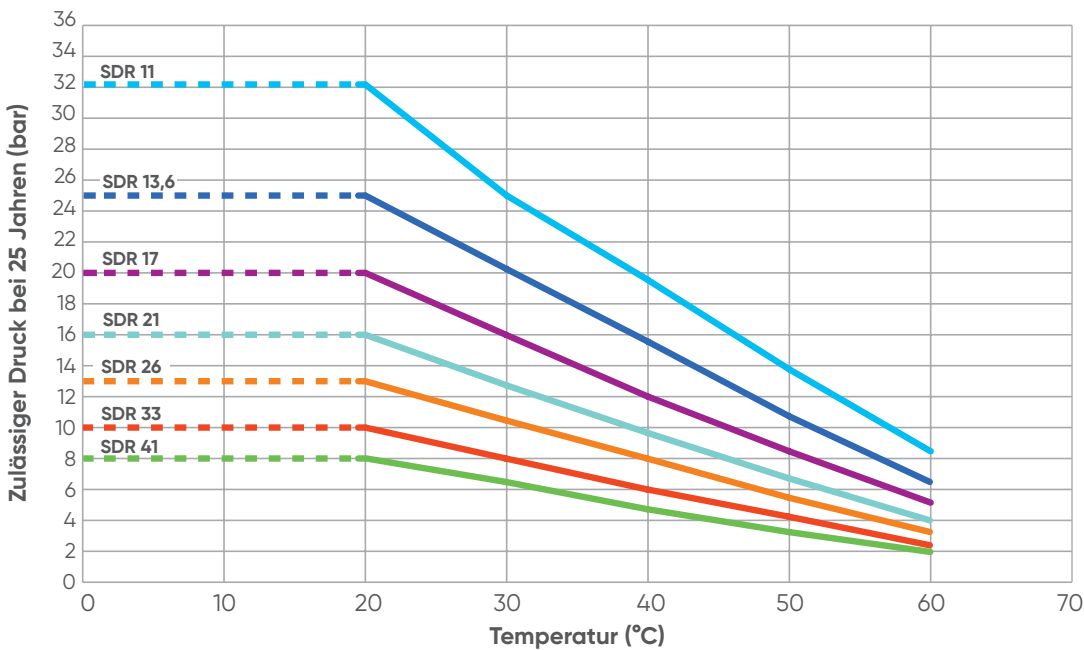
Im vorangegangenen Kapitel wurde der Unterschied zwischen dem Nenndruck und dem zulässigen Druck, also dem maximal zulässigen Druck, erläutert.

Da gemäß ISO 12162 der Sicherheitsfaktor (C_{min}) verwendet werden können, kann unter bestimmten Bedingungen ein höherer theoretischer Druck als der Nenndruck angewendet werden.

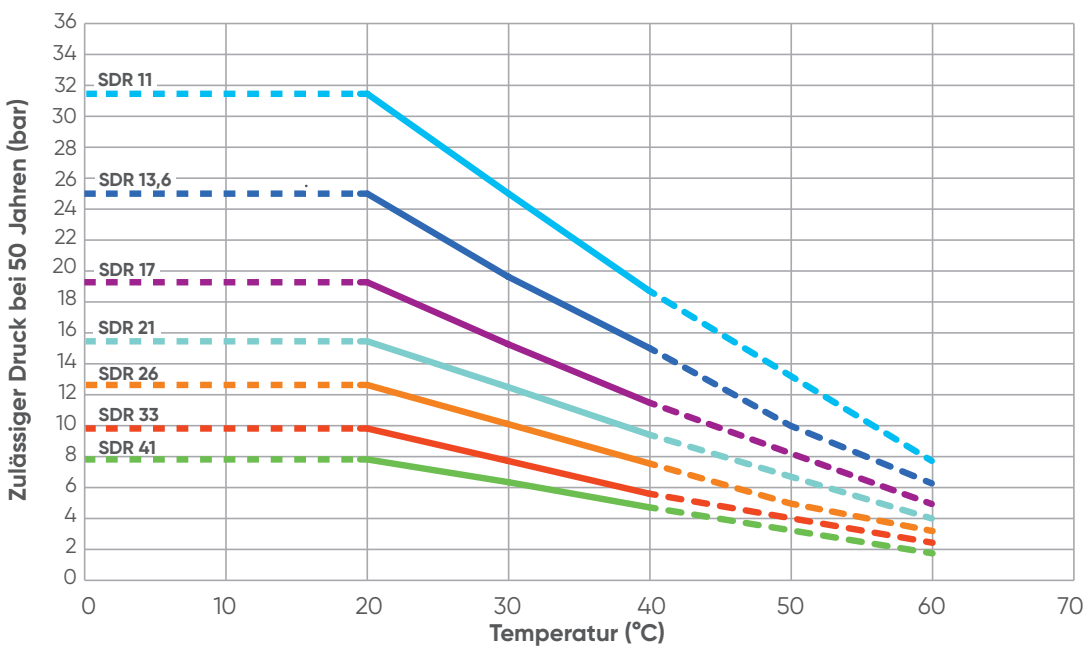
Die folgenden Diagramme zeigen den zulässigen Druckwert in Abhängigkeit von der Temperatur gemäß SDR, Sicherheitsfaktor (C_{min}) und Lebensdauer.

Für Industrieanwendungen ist es immer empfehlenswert, den Nenndruck (PN) anstelle des zulässigen Drucks zu verwenden.

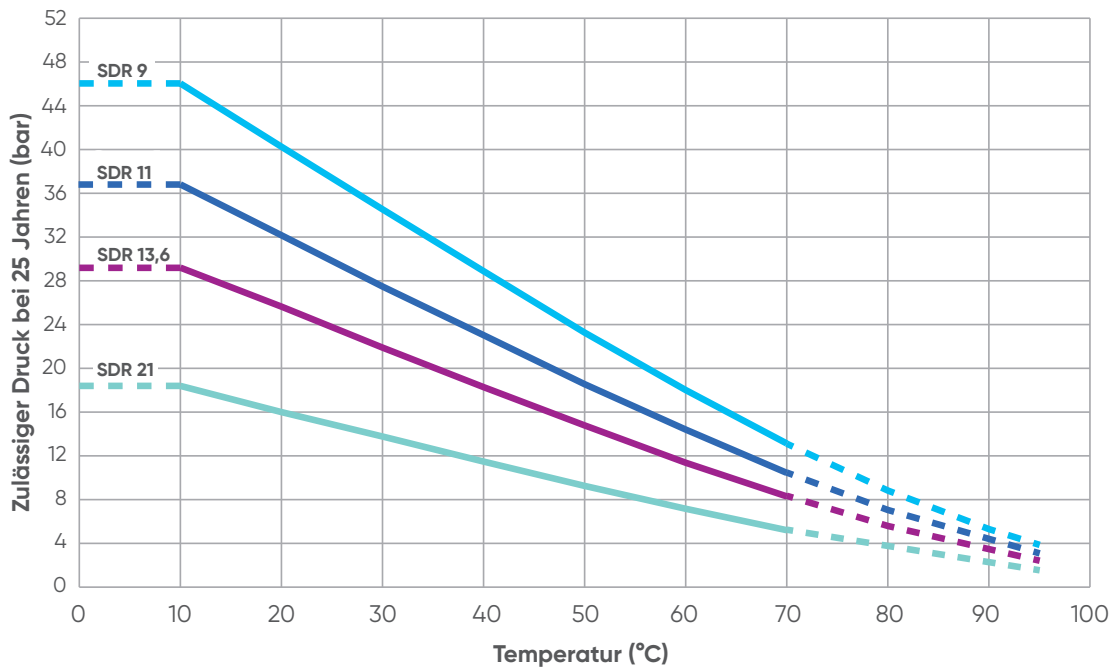
Zulässiger Druck – Temperaturdiagramm für PVC-U (25 Jahre)



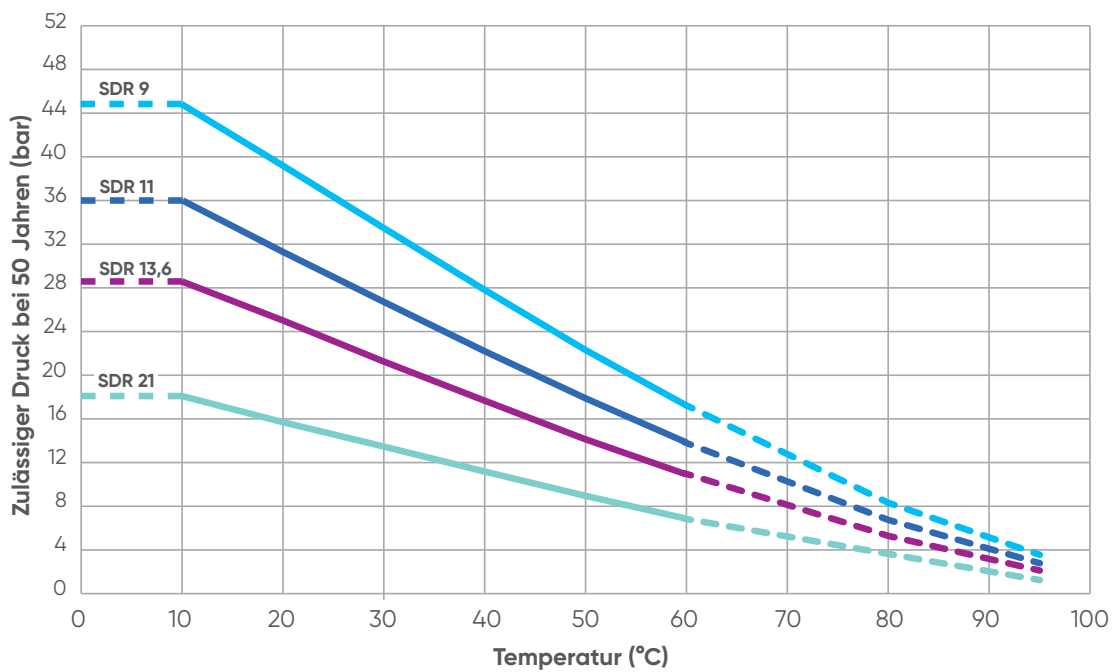
Zulässiger Druck – Temperaturdiagramm für PVC-U (50 Jahre)



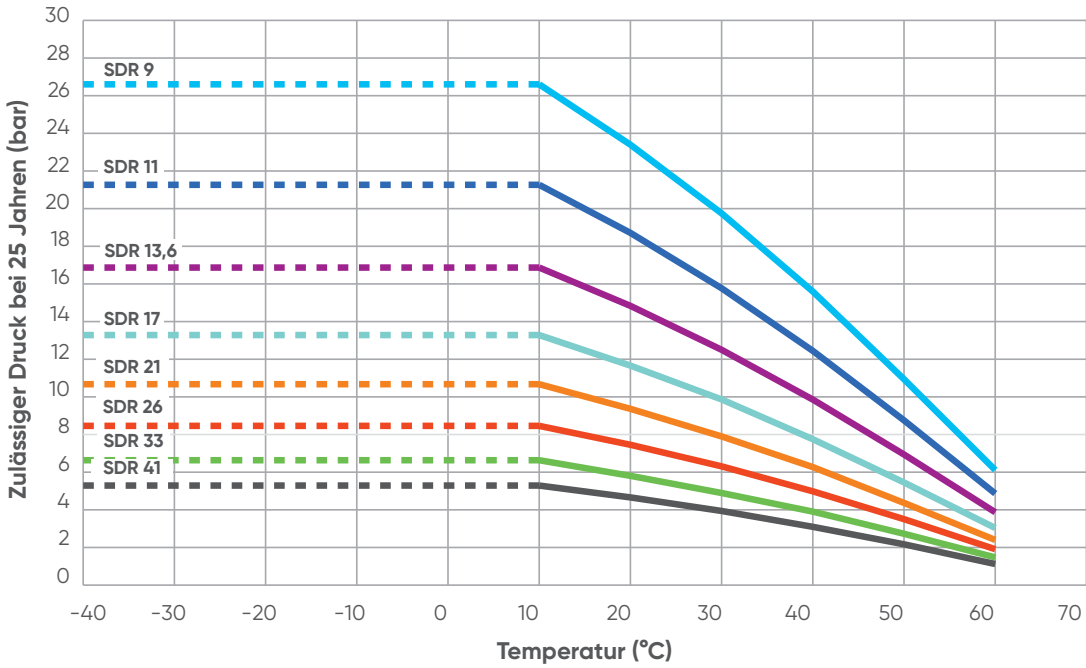
Zulässiger Druck – Temperaturdiagramm für PVC-C (25 Jahre)



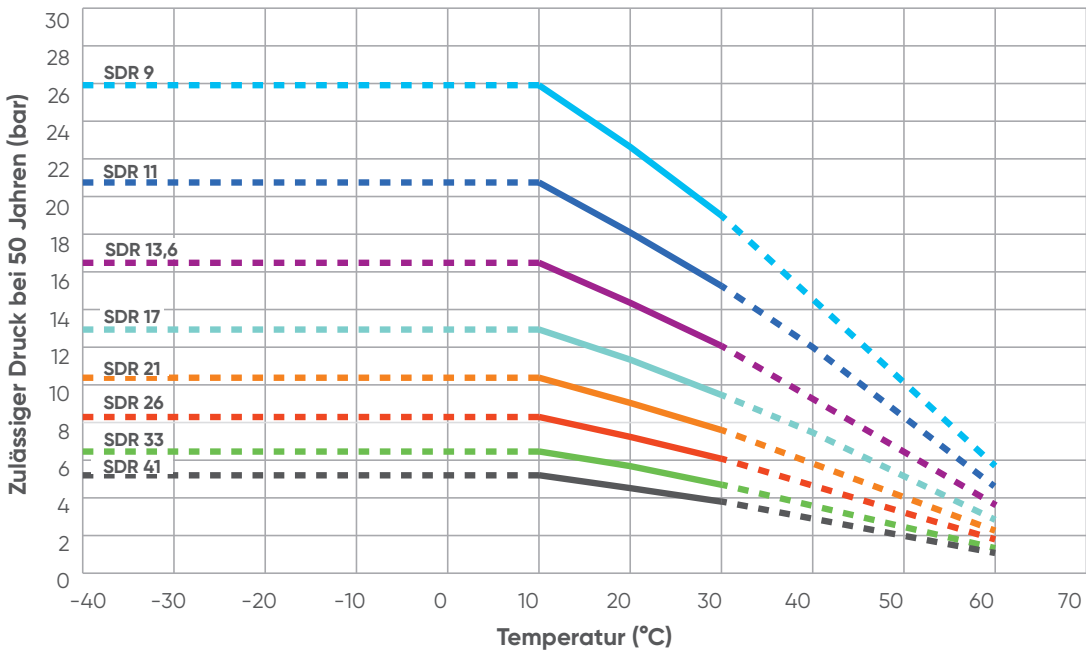
Zulässiger Druck – Temperaturdiagramm für PVC-C (50 Jahre)



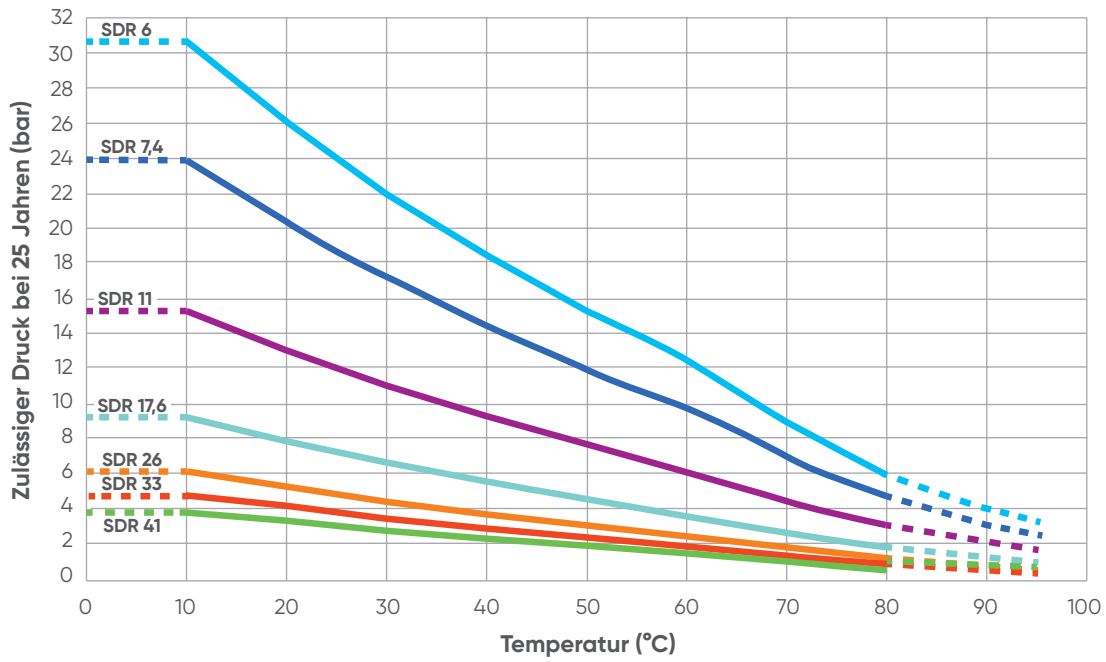
Zulässiger Druck – Temperaturdiagramm für ABS (25 Jahre)



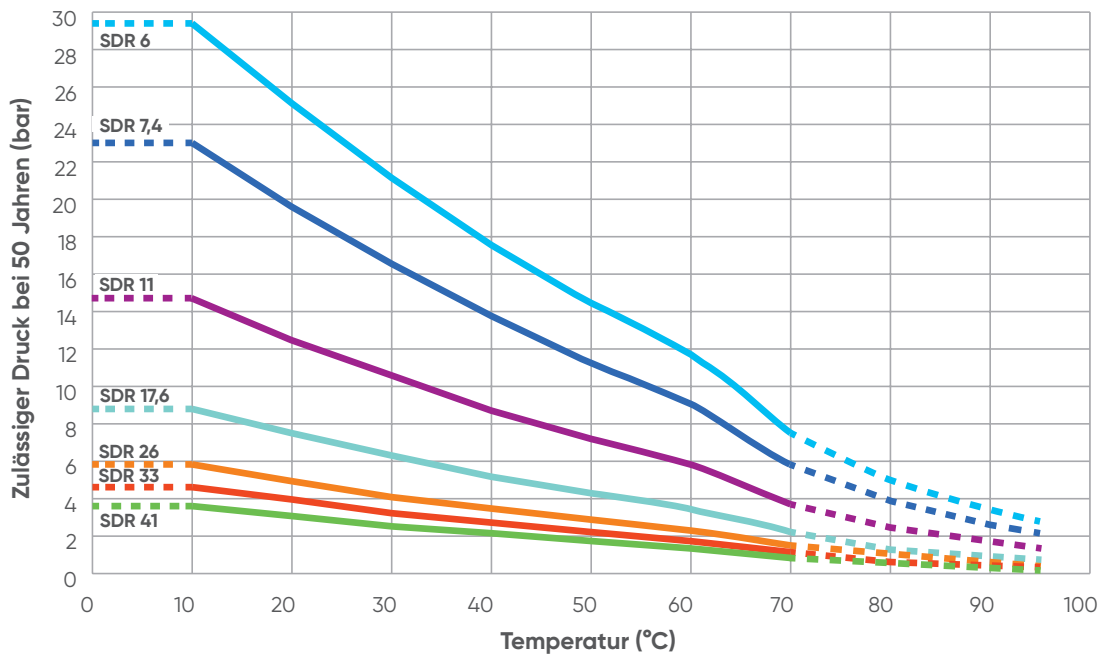
Zulässiger Druck – Temperaturdiagramm für ABS (50 Jahre)



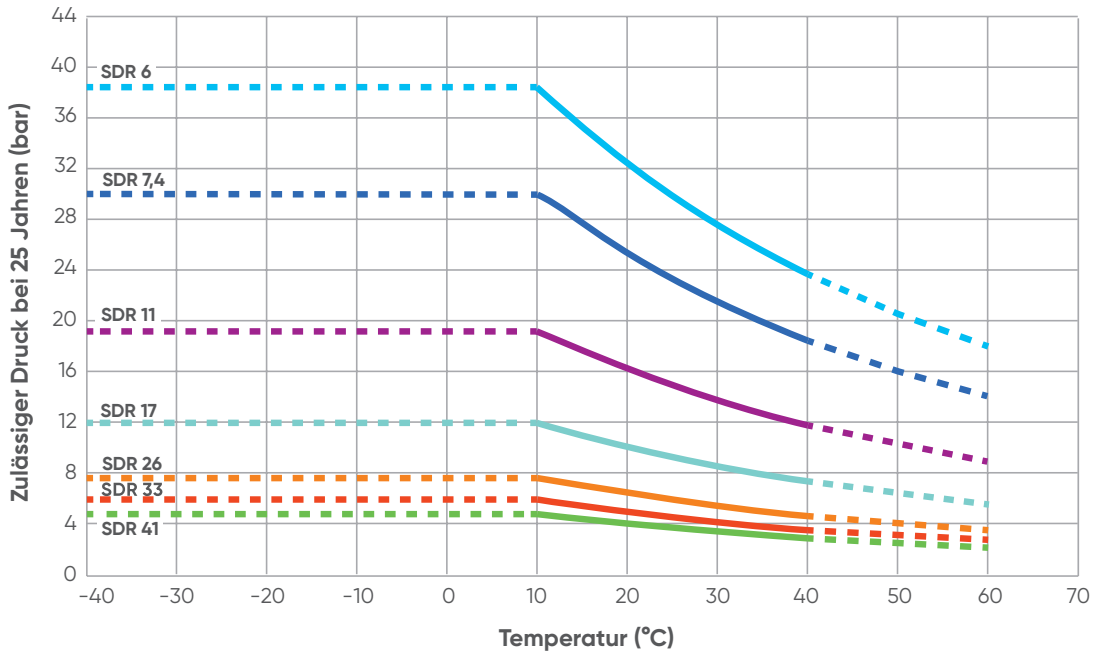
Zulässiger Druck – Temperaturdiagramm für PP-H (25 Jahre)



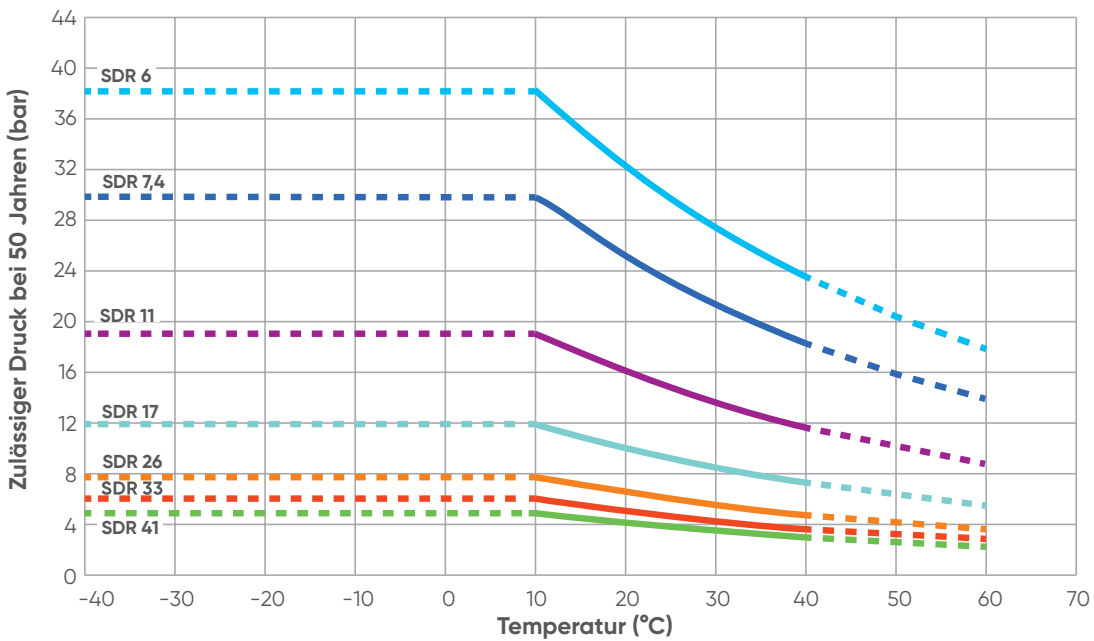
Zulässiger Druck – Temperaturdiagramm für PP-H (50 Jahre)



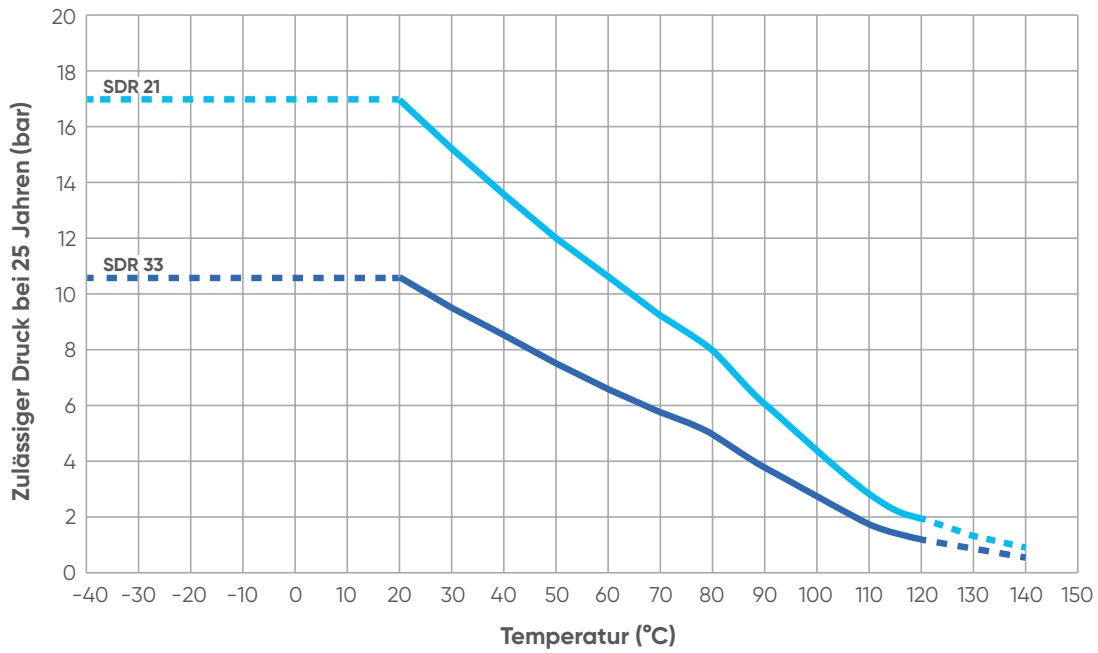
Zulässiger Druck – Temperaturdiagramm für PE 100 (25 Jahre)



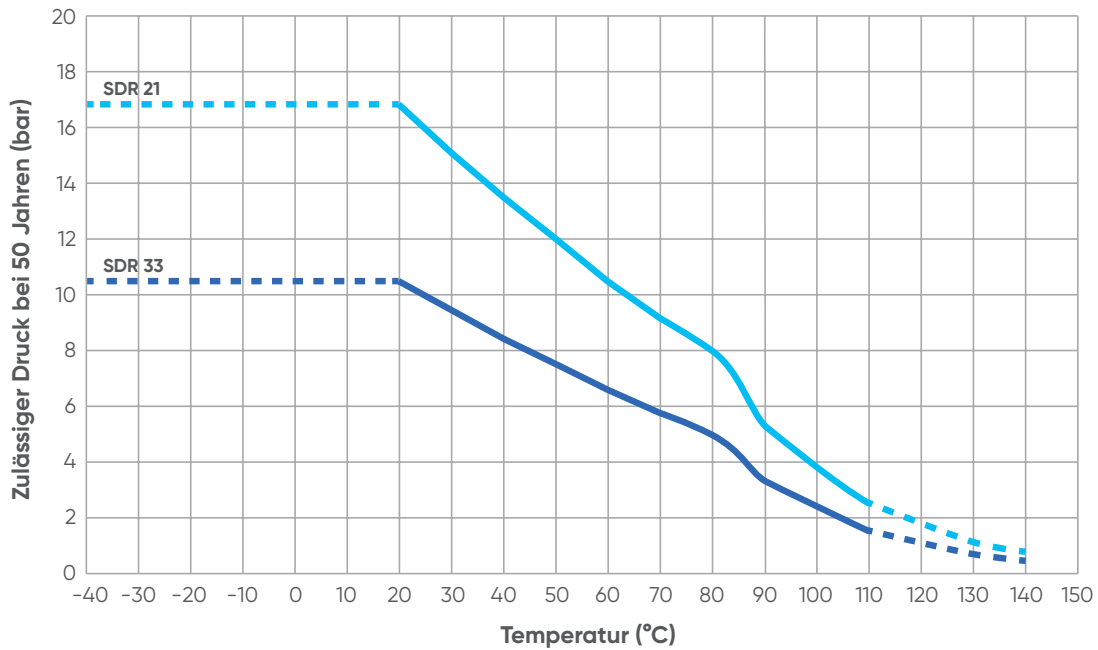
Zulässiger Druck – Temperaturdiagramm für PE 100 (50 Jahre)



Zulässiger Druck – Temperaturdiagramm für PVDF (25 Jahre)



Zulässiger Druck – Temperaturdiagramm für PVDF (50 Jahre)



2.4.2.2 Nenndruck – Temperaturdiagramme

Es zeigt sich, dass bei einem Temperaturanstieg über 20 °C die Umfangsfestigkeit und der Druck abnehmen, da sich die MRS-Werte in den Festigkeitskurven in Abhängigkeit von der Temperatur ändern.

Bei Betriebstemperaturen unter 20 °C hingegen bleibt der Nenndruck konstant.

Wie bereits beschrieben, wird der Nenndruck anhand von Industriekoeffizienten C berechnet, die von unserem Industrieunternehmen vorgeschlagen werden.

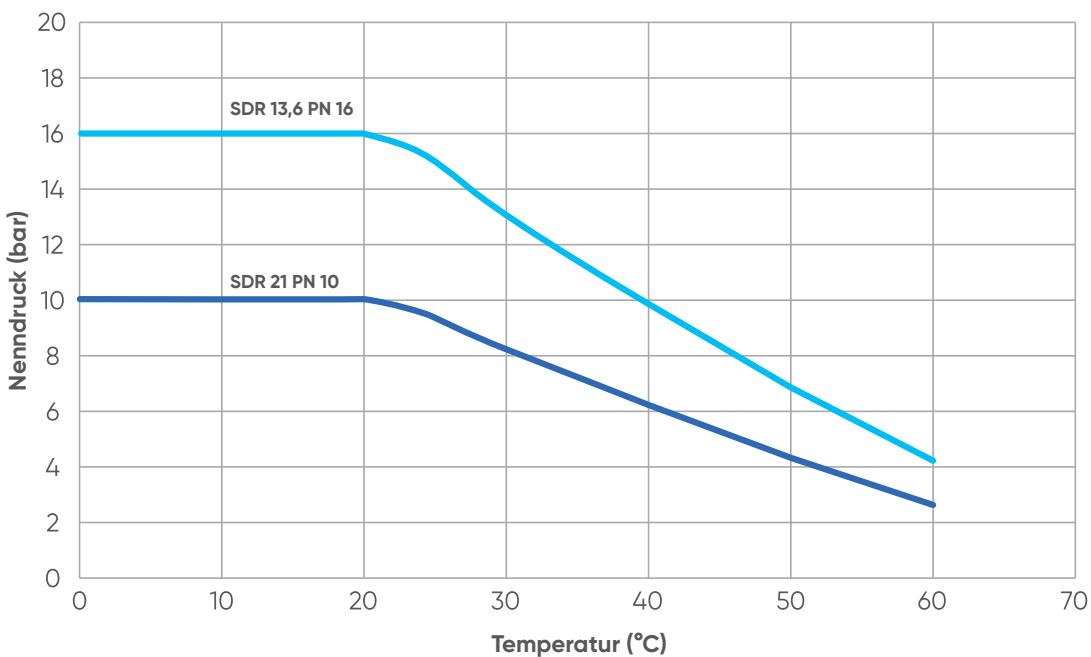
Da diese Koeffizienten aus Sicherheitsgründen höher sind als der in der EN ISO 12162 angegebene C_{\min} -Wert, ist der Nennbetriebsdruck immer etwas niedriger als der zulässige Wert.

Die folgenden Diagramme zu Nenndruck – Temperatur sollten für Wasser und ungefährliche Flüssigkeiten verwendet werden, für die das Material als chemisch beständig eingestuft ist (Lebenserwartung 25 Jahre). In anderen Fällen ist eine Verringerung des Nenndrucks erforderlich.

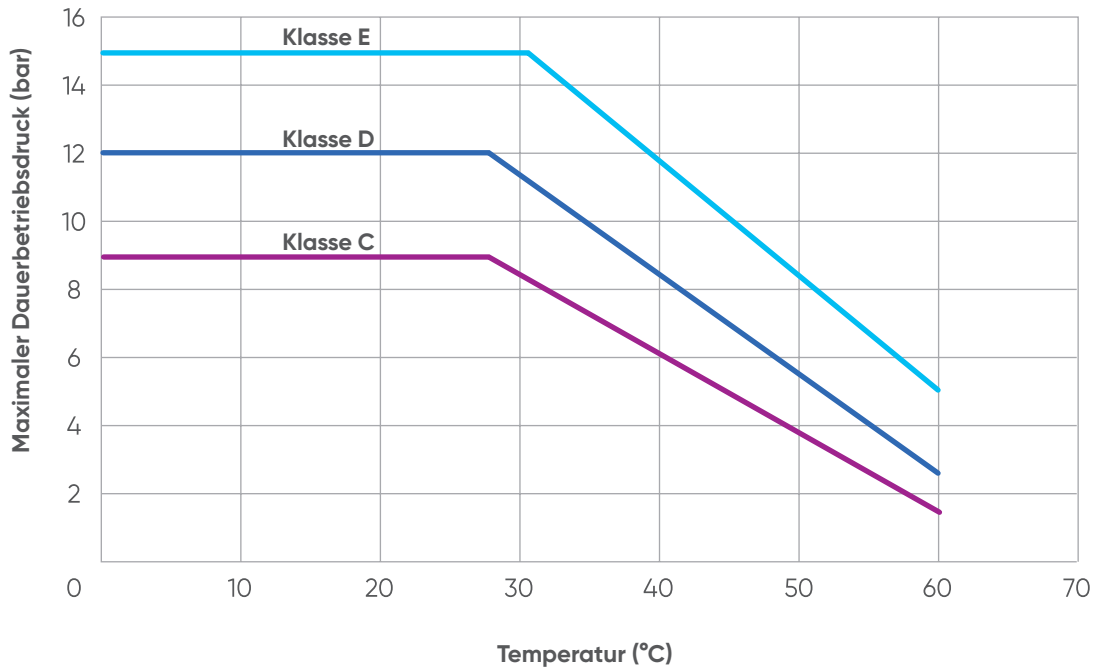
Bei Industrieanwendungen beziehen sich die Diagramme auf den Nenndruck, wie unten dargestellt.

Nenndruck-Temperatur-Diagramm für PVC-U 25 Jahre

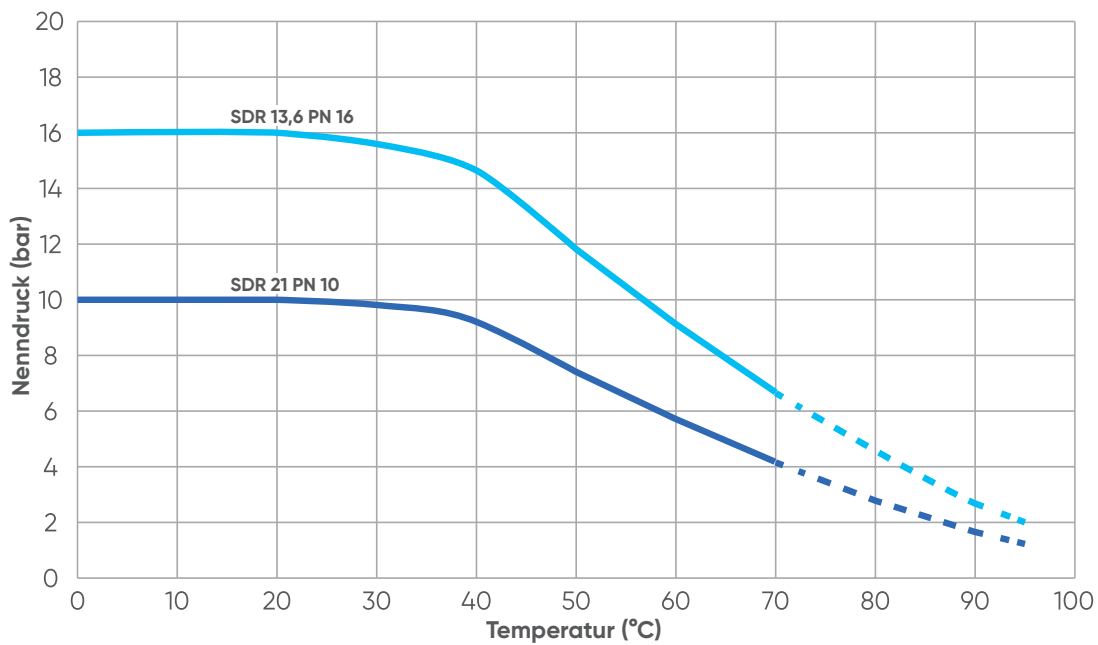
Das nachstehende Diagramm zeigt die Beziehung zwischen Nenndruck und Temperatur auf Grundlage des metrischen Systems gemäß EN ISO 15493.



Das folgende Diagramm zeigt die Beziehung zwischen Druck und Temperatur nach dem britischen System gemäß BS EN ISO 1452-2.

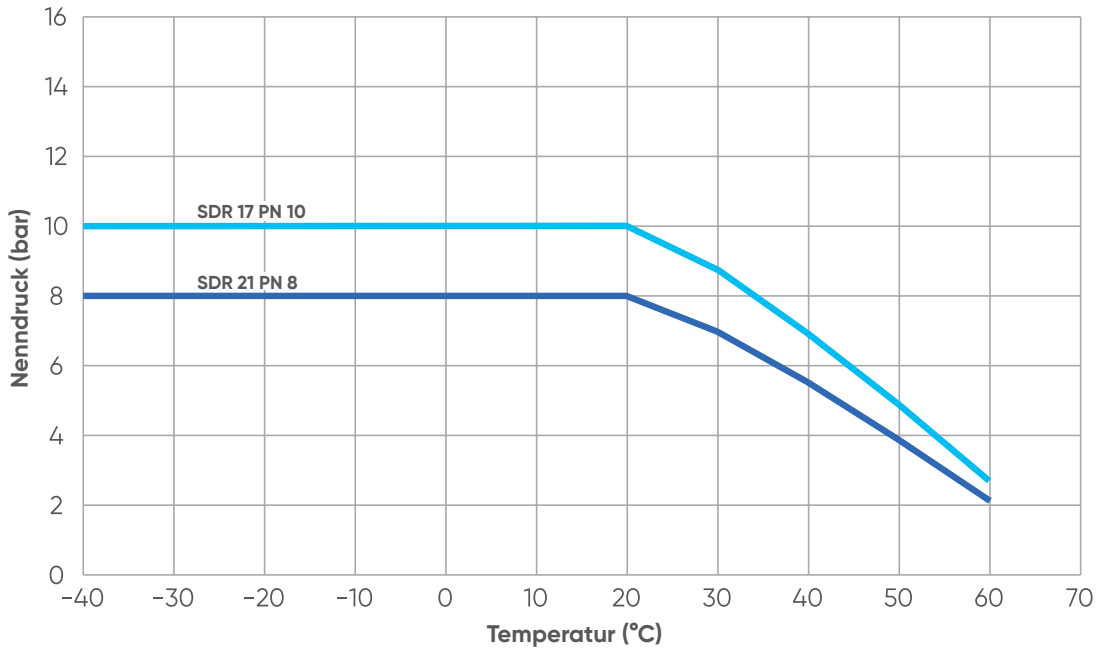


Nenndruck-Temperatur-Diagramm für PVC-C 25 Jahre

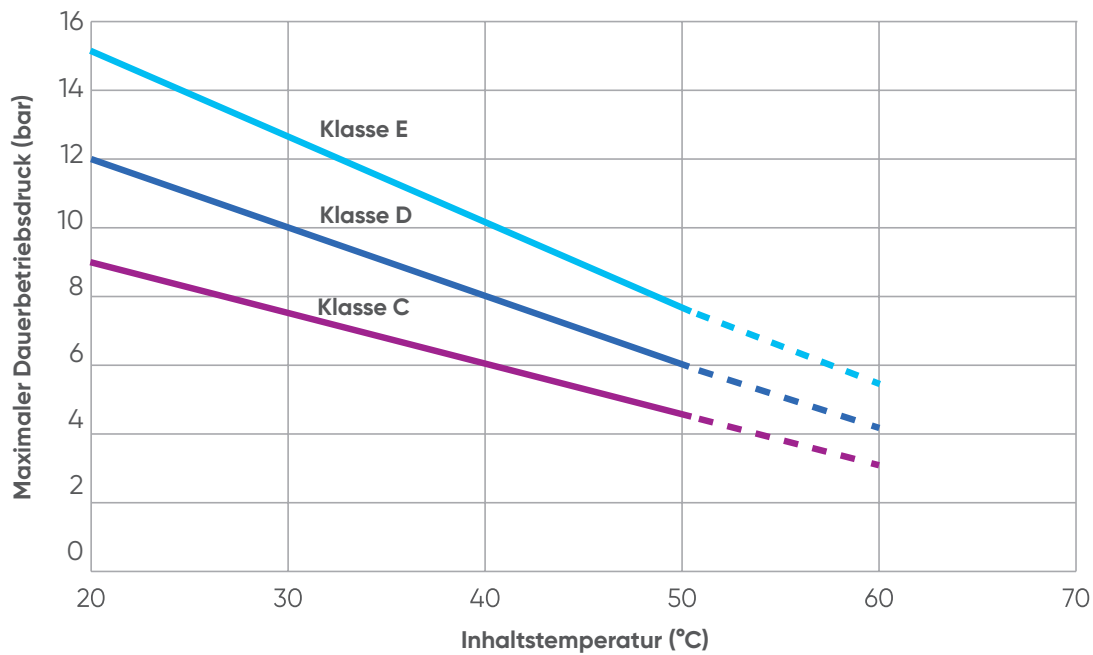


Nenndruck-Temperatur-Diagramm für ABS 25 Jahre

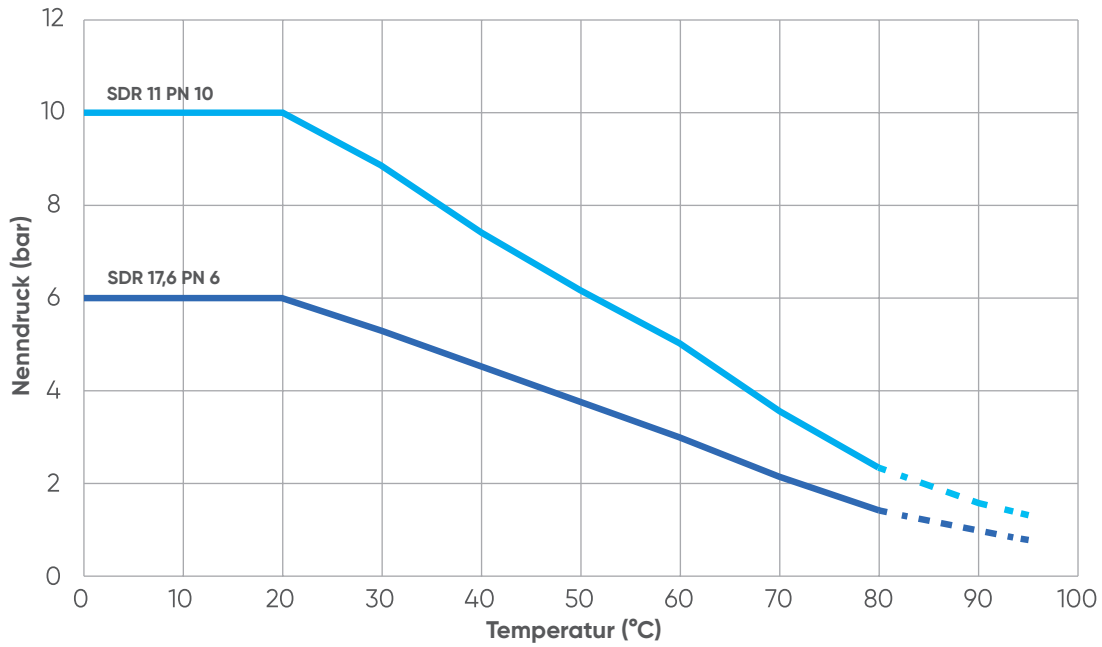
Das nachstehende Diagramm zeigt die Beziehung zwischen Nenndruck und Temperatur auf Grundlage des metrischen Systems gemäß EN ISO 15493.



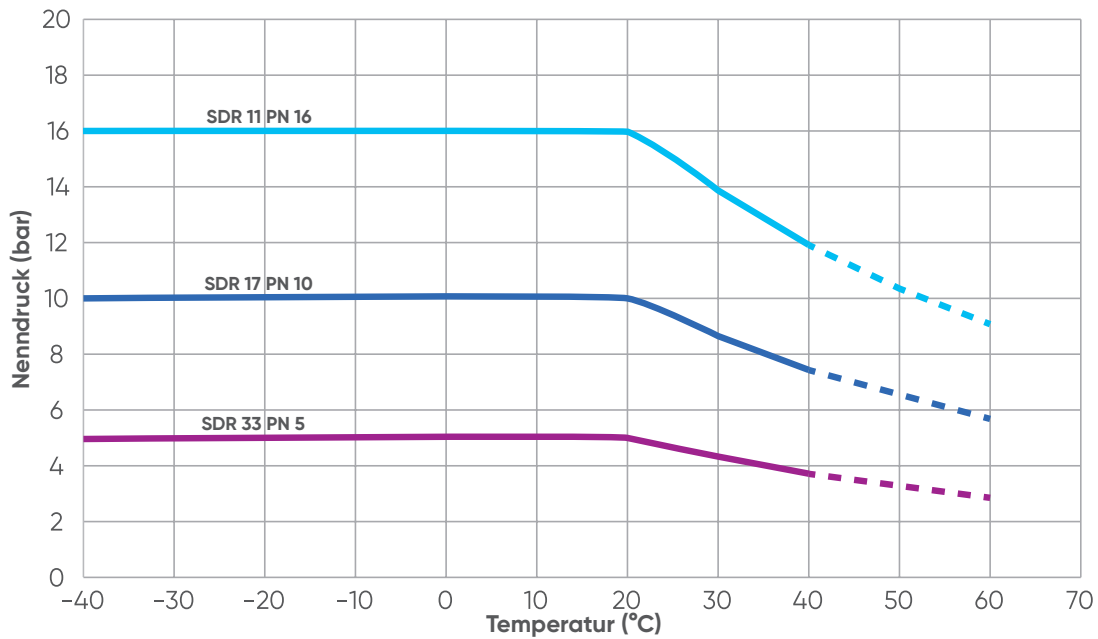
Das folgende Diagramm zeigt die Beziehung zwischen Druck und Temperatur nach dem britischen System gemäß BS 5391-1.



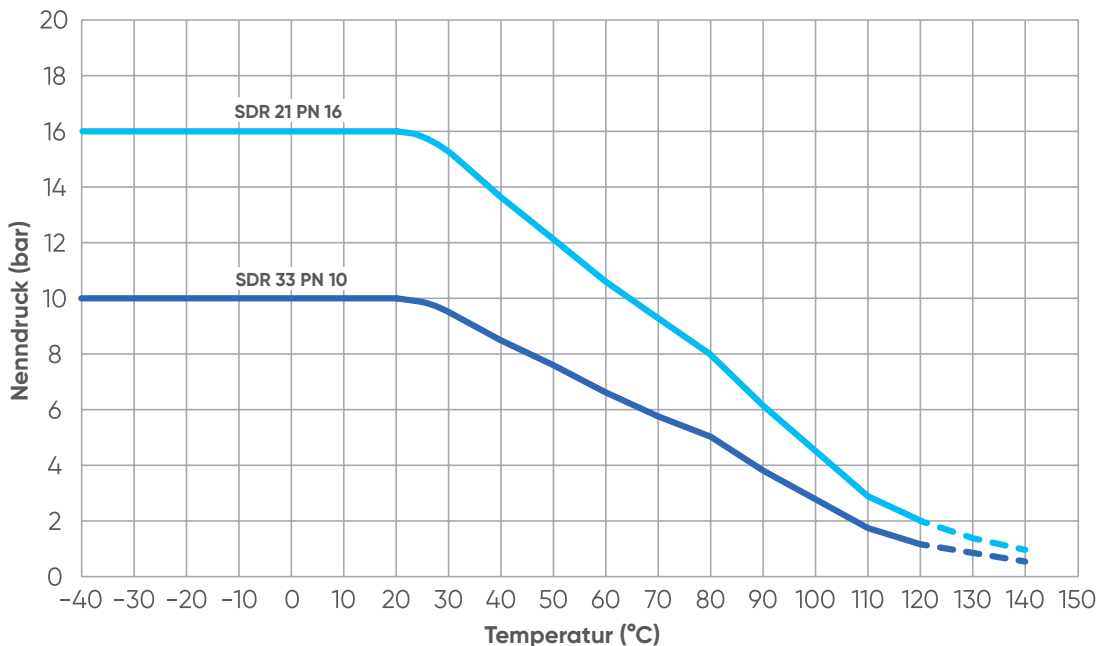
Nenndruck-Temperatur-Diagramm für PP-H 25 Jahre



Nenndruck-Temperatur-Diagramm für PE 100 25 Jahre



Nenndruck-Temperatur-Diagramm für PVDF 25 Jahre



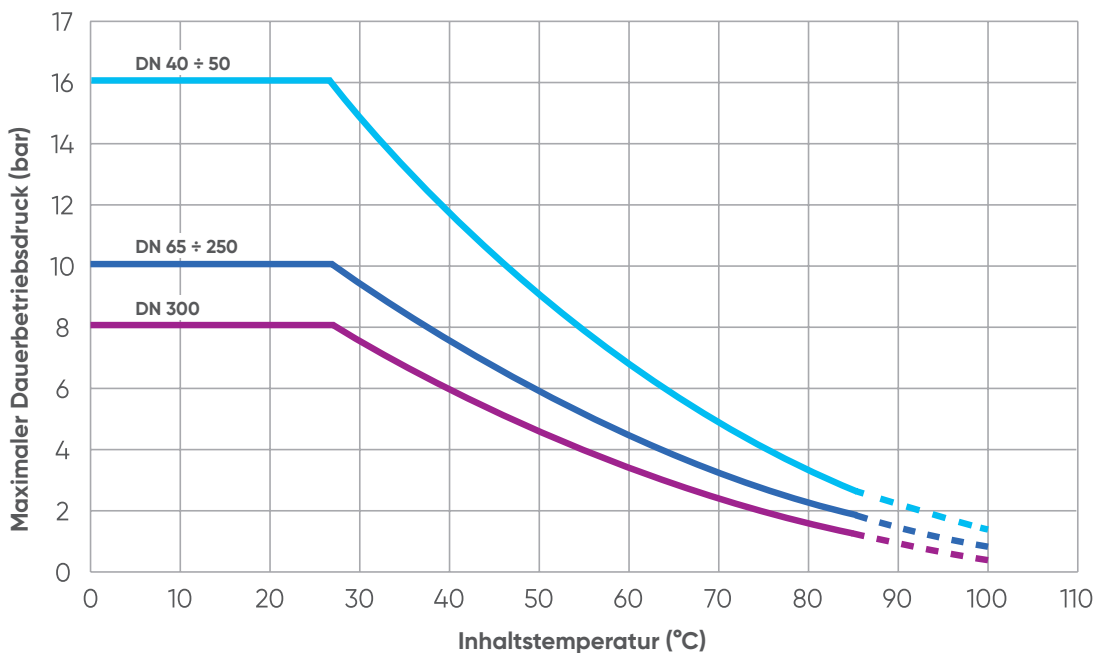
Nenndruck-Temperatur-Diagramm für Ventile und Formstücke

Für spezifische Produkte, wie z. B. Ventile und Formstücke aus Spritzguss, wird empfohlen, die Druck-Temperatur-Diagramme für jedes einzelne Produkt zu berücksichtigen, da der Nenndruck durch typische Konstruktionsmerkmale beeinflusst wird.

Beispielsweise weist die aus PVC-C hergestellte FK-Absperrklappe je nach Nenndruck unterschiedliche Nenndurchmesser auf. Für die Ausführung als Zwischenflanschklappe:

- DN 40 ÷ 50: PN 16 mit Wasser bei 20 °C;
- DN 65 ÷ 250: PN 10 mit Wasser bei 20 °C;
- DN 300: PN 8 Wasser bei 20 °C.

Auf diese Weise ist es möglich, auf dem T-P-Diagramm drei verschiedene Linien entsprechend den Durchmessern und der Konstruktion des Ventils, wie oben erwähnt, darzustellen.



2.4.3 Hydraulische Berechnung

Die zur Herstellung von Rohren und Formstücken aus thermoplastischen Kunststoffen angewandten Verfahren ermöglichen es, extrem glatte Innenoberflächen zu erzielen, die sich durch niedrige Oberflächenrauigkeitskoeffizienten auszeichnen.

Daher ist das hydraulische Verhalten der in thermoplastischen Rohren transportierten Flüssigkeit vergleichbar mit der Bewegung von Flüssigkeiten in glatten Rohren und bleibt im Laufe der Zeit praktisch unverändert, da die hohe Glätte der Innenwände das Entstehen von Korrosion und Verkrustungen nicht zulässt. Was die biologische Beständigkeit anbelangt, so sind Rohrleitungssysteme aus PVC-U und PVC-C in der Tat resistent gegen Pilz- und Bakterienwachstum, insbesondere gegen solche, die normalerweise Korrosion in metallischen Rohrleitungssystemen verursachen.

Im Übrigen unterliegt ein Rohr im Allgemeinen der Wirkung einer Kraft, die entgegen der Bewegungsrichtung einen Energieverlust durch die Flüssigkeit selbst verursacht.

Diese Verlustleistung, die in einem Druckabfall bewertet werden kann, wird gewöhnlich als Reibungsverlust oder Druckverlust bezeichnet.

Im Allgemeinen treten in industriellen Rohrleitungen zwei Arten von Druckverlusten auf:

- Verteilte Druckverluste: Sie treten auf, wenn der Energieverlust durch die Oberflächenreibung zwischen der Flüssigkeit und den Rohrwänden entsteht, sie sind also überall in den Rohren vorhanden und verteilt. Die Reibung ist eine Funktion der Rauheit des Rohrs, seiner Größe, der physikalischen Eigenschaften der transportierten Flüssigkeit, ihrer Dichte und Viskosität sowie der Geschwindigkeit der transportierten Flüssigkeit;
- Lokale Druckverluste: In diesem Fall entsteht der Energieverlust durch die Formreibung, da sich die Richtung der Flüssigkeit bei Vorhandensein von Ventilen und Formstücken wie Bögen, Winkeln, T-Stücken u. ä. ändert.

Die gesamten Druckverluste in einem System lassen sich offenkundig durch die Addition aller verteilten und lokalen Druckverluste ermitteln.

Im Allgemeinen können die verteilten Verluste je nach Anwendung größer oder kleiner als die lokalen Verluste sein. Wenn es sich beispielsweise um ein langes gerades Rohr mit nur wenigen anderen Hindernissen handelt, die einen Energieverlust verursachen können, wird der größte Teil der Druckverluste auf verteilte Druckverluste zurückzuführen sein.

Handelt es sich jedoch beispielsweise um ein kompaktes System, bei dem hauptsächlich Ventile und Bögen vorhanden sind und nur wenige gerade Rohrabschnitte erforderlich sind, überwiegen die lokalen Druckverluste.

Wenn die physikalischen Eigenschaften der Flüssigkeit, die Abmessungen des Rohrs und der hydraulische Fluss bekannt sind, gibt es verschiedene mathematische Korrelationen, die eine Bewertung der Druckverluste ermöglichen, die durch eine Flüssigkeit in den Kunststoffrohren verursacht wird.

Diese drei Parameter sind miteinander verknüpft. Ihre Beziehung wird durch die folgenden Gleichungen ausgedrückt.

Die Durchflussmenge kann wie folgt berechnet werden:

$$Q = A * V$$

wobei:

Q = Durchflussmenge (m³/s)

A = Rohrquerschnitt (m²)

V = Geschwindigkeit (m/s)

Die Geschwindigkeit kann wie folgt berechnet werden:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{4 * Q}{\pi * Di^2}$$

wobei:

Di = Innendurchmesser

Im Allgemeinen kann eine Flüssigkeit, die sich in einer Rohrleitung bewegt, eine laminare Bewegung aufweisen, wenn die Massenelemente der Flüssigkeit Geschwindigkeiten parallel zur Bewegungsrichtung haben und keine radialen Komponenten aufweisen.

Wenn hingegen die Elemente der Flüssigkeit zusätzlich zu den Geschwindigkeiten parallel zur Bewegungsrichtung auch eine radiale Komponente aufweisen, handelt es sich um eine turbulente Bewegung.

Um festzustellen, ob der Fluss durch die Rohre laminar oder turbulent ist, wird die Reynoldszahl, angegeben durch Re, verwendet.

Dies ist eine dimensionslose Zahl, die in der Thermodynamik verwendet wird. Ihr Wert unterscheidet die beiden Zustände je nach der Form des Körpers, in dem die Flüssigkeit transportiert wird, sowie den Eigenschaften der Flüssigkeit.

Zum Beispiel im Falle einer Flüssigkeit in einem Rohr:

- Bei Werten von $Re < 2500$ weist das System eine laminare Strömung auf;
- Bei Werten von $2500 < Re < 4000$ wird der Übergangsbereich überschritten;
- Bei Werten von $Re > 4000$ ist eine turbulente Strömung vorhanden.

Die Reynoldszahl kann nach den folgenden Gleichungen berechnet werden:

$$Re = \frac{V * Di}{\nu} \quad Re = \frac{\rho * V * Di}{\mu}$$

wobei:

Re = Reynoldszahl (-)

V = Durchflussgeschwindigkeit (m/s)

Di = Innendurchmesser (m)

ν = Kinematische Viskosität (m^2/s)

ρ = Dichte der Flüssigkeit (kg/m^3)

μ = Dynamische Viskosität ($kg/(m*s)$)

Um das Thema Geschwindigkeit abzuschließen, ist es wichtig, sich zusätzlich zu der oben beschriebenen Formel daran zu erinnern, wie die Geschwindigkeit der Flüssigkeit in der Rohrleitung gemessen werden kann. Dies geschieht mit Hilfe von Durchflusssensoren, die in den nächsten Kapiteln beschrieben werden und die die lokale Geschwindigkeit des Durchflusses (V_m) messen, um dann die mittlere Geschwindigkeit (V_a) und den volumetrischen Durchfluss berechnen zu können.

Für den Messpunkt der Durchflussgeschwindigkeit in einem Rohr sind zwei verschiedene Stellen geeignet:

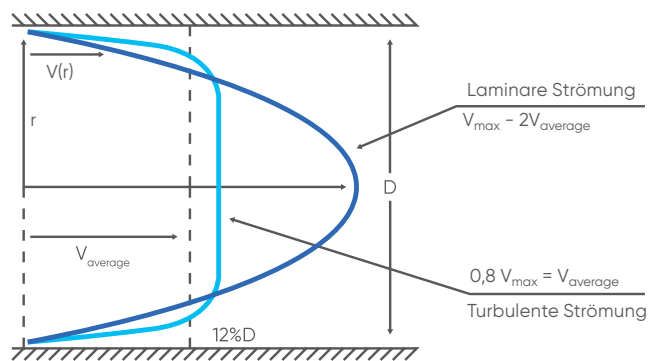
- Kritische Stelle: Der Geschwindigkeitssensor wird dort platziert, wo die lokale Geschwindigkeit der mittleren Geschwindigkeit entspricht, was in der Regel bei 12 % des Innendurchmessers der Fall ist. In diesem Fall entspricht die mittlere Geschwindigkeit der gemessenen lokalen Geschwindigkeit, also $V_a = V_m$;
- Zentrale Stelle: Der Geschwindigkeitssensor befindet sich in der Mitte des Rohrquerschnitts. Die lokale Geschwindigkeit entspricht der Maximalgeschwindigkeit: $V_m = V_{max}$

Auf diese Weise ist es möglich zu verstehen, wie die Geschwindigkeit die Tatsache beeinflusst, dass die Bewegung laminar oder turbulent ist, da Geschwindigkeit in der Formel zur Berechnung der Reynoldszahl vorhanden ist.

Das Geschwindigkeitsprofil einer laminaren Bewegung ist parabolisch, mit einem Höchstwert auf der Rohrachse, wobei $V_{max} = 2 * V_{average}$, und einer allmählich abnehmenden Geschwindigkeit in der Nähe der Wand, d. h. neben dem Rohr, ist die Geschwindigkeit gleich Null.

Andererseits ist das Geschwindigkeitsprofil der turbulenten Bewegung flacher als das parabolische Profil. Die Geschwindigkeit liegt selbst in der Nähe des Rohrs nahe dem Maximalwert, aber in der Nähe der Wand ist die Geschwindigkeit gleich Null.

Die Geschwindigkeitsprofile der laminaren Bewegung (dunkelblau) und der turbulenten Bewegung (hellblau) sind in der Abbildung dargestellt.



2.4.3.1 Berechnung des verteilten Druckverlusts

Wenn eine Flüssigkeit durch ein Rohrleitungssystem fließt, tritt ein Druckverlust auf, der unter anderem von der Flüssigkeitsgeschwindigkeit, der Glattheit der Rohrwand und der Rohrinnefläche abhängt.

Es gibt mehrere Methoden zur Berechnung des Druckverlusts in einem Rohrleitungssystem, die beiden gängigsten sind die Darcy-Weisbach-Methode und die Hazen- und Williams-Methode.

Die Methode von Hazen und Williams ist die am häufigsten verwendete Methode zur Berechnung des Druckabfalls in Kunststoffrohren, während die Darcy-Weisbach-Methode die am weitesten verbreitete Methode ist, da sie für Rohre aus allen Materialien gilt.

Darcy-Weisbach-Methode

Die Darcy-Weisbach-Formel wird zur Berechnung der Druckverluste in einem Rohr verwendet und stellt eine der Säulen der heutigen Strömungslehre dar.

Sie gilt für laminare und turbulente Strömungen, je nachdem, welcher Wert dem Reibungskoeffizienten λ gegeben wird.

Dies wird in der folgenden Gleichung beschrieben:

$$h = \frac{\lambda * V^2}{2 * g * Di}$$

wobei:

h = Druckverlust (m/m)

V = Geschwindigkeit (m/s)

g = Erdbeschleunigung (m/s²) = 9,81 m/s²

Di = Innendurchmesser (m)

λ = Reibungskoeffizient des Rohrs (-)

Der Reibungskoeffizient, schwankt bei Polymeren normalerweise zwischen 0 und 0,02.

Sein Wert kann übrigens auch dem Moody's-Diagramm entnommen werden.

Hierbei handelt es sich um ein bilogarithmisches Diagramm, das zur Berechnung des Rohrreibungskoeffizienten verwendet wird, wenn die relative Rauheit und die Reynoldszahl der durchströmenden Flüssigkeit bekannt sind. Ist der Koeffizient einmal berechnet, genügt es, die bekannten Gesetze der Strömungsmechanik anzuwenden, um den Druckabfall auf einfache Weise zu bestimmen.

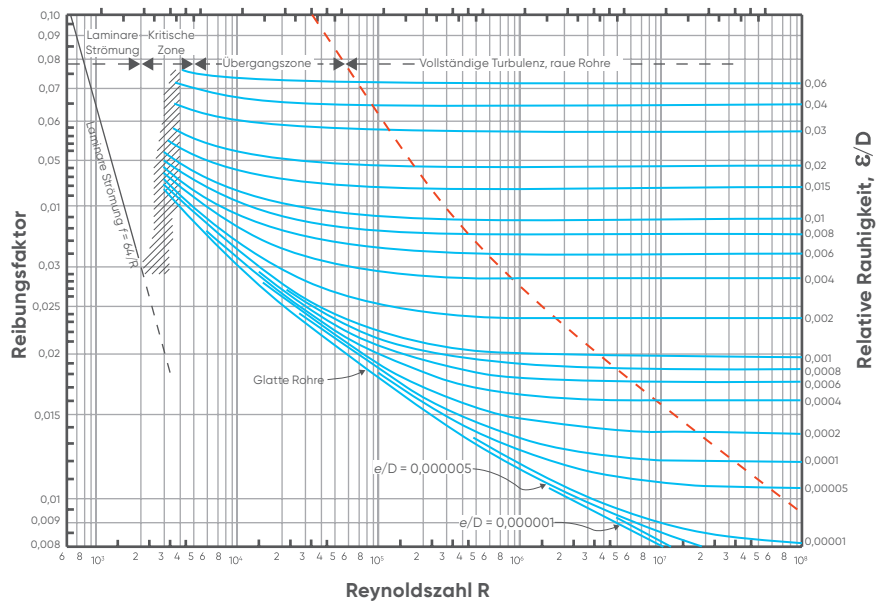
Heute ist der Koeffizient vor allem aus didaktischen Gründen von Bedeutung, da die numerische Lösung leicht auf einem Computer implementiert werden kann. Ohne Rechner ist er jedoch der einzige gangbare Weg, da es keine allgemeine analytische Lösung der Korrelation gibt.

Im linken Teil zeigt das Diagramm eine einzige gerade Linie, die den Reibungsfaktor bei laminarer Bewegung darstellt, beschrieben durch niedrige Werte der Reynoldszahl.

Im rechten Teil des Moody-Diagramms befindet sich ein Bündel von Kurven: Sie stellen die verschiedenen Werte der relativen Rauheit dar. Sobald die Reynoldszahl in Bezug auf die Bewegung bekannt ist, kann in Abhängigkeit von diesem Wert der Wert von λ ermittelt werden.

Dieser Bereich, der die turbulenten Bedingungen darstellt, ist wiederum in zwei weitere Teile unterteilt:

- In einen ersten, weiter links gelegenen Bereich, in dem die Strömung eine turbulente Übergangsbewegung aufweist.
- Sowie in einen zweiten, weiter rechts gelegenen Bereich, in dem die Kurven dazu neigen, sich parallel zur Abszissenachse anzuordnen, was einer Situation mit turbulenter Bewegung entspricht.



Wenn der Durchfluss laminar ist ($Re < 2500$), kann der Reibungsfaktor als $\lambda = \alpha (Re)$ betrachtet werden, genauer gesagt:

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

Ist der Durchfluss turbulent ($Re > 4000$), wie in Kunststoffrohren üblich, hängt die Reibung nicht nur von der Reynoldszahl, sondern auch vom relativen Oberflächenrauheitskoeffizienten (ϵ/D_i) ab:

$$\lambda = \alpha \left(Re * \frac{\epsilon}{D_i} \right)$$

Daher kann für einen turbulenten Durchfluss der Reibungskoeffizient λ nach der Colebrook and White-Gleichung berechnet werden:

$$\frac{1}{\lambda^{(1/2)}} = -2 \log \left(\frac{(\epsilon/D_i)}{3.71} + \frac{2.51}{\left(Re * \lambda^{(1/2)} \right)} \right)$$

wobei:

λ = Reibungskoeffizient

ϵ = absoluter Rauheitskoeffizient (mm)

ϵ/D_i = Relativer Oberflächenrauheitskoeffizient (-)

Re = Reynoldszahl

Darüber hinaus kann es aus praktischer Sicht nützlich sein, diese vereinfachte Formel in Betracht zu ziehen, bei der die Rauheit nicht berücksichtigt wird:

$$\lambda = 0,079 * Re^{-0,25}$$

Hazen-Williams-Methode

Die Hazen-Williams-Formel gilt für turbulente Strömungen und ist wie folgt beschrieben:

$$h = 10,666 * C_{hw}^{(-1,85)} * D_i^{(-4,87)} * Q^{(1,85)}$$

wobei:

h = Druckverlust (m/m)

Q = Volumenstrom (m^3/s)

C_{hw} = Durchflusskoeffizient (-)

D_i = Innendurchmesser (m)

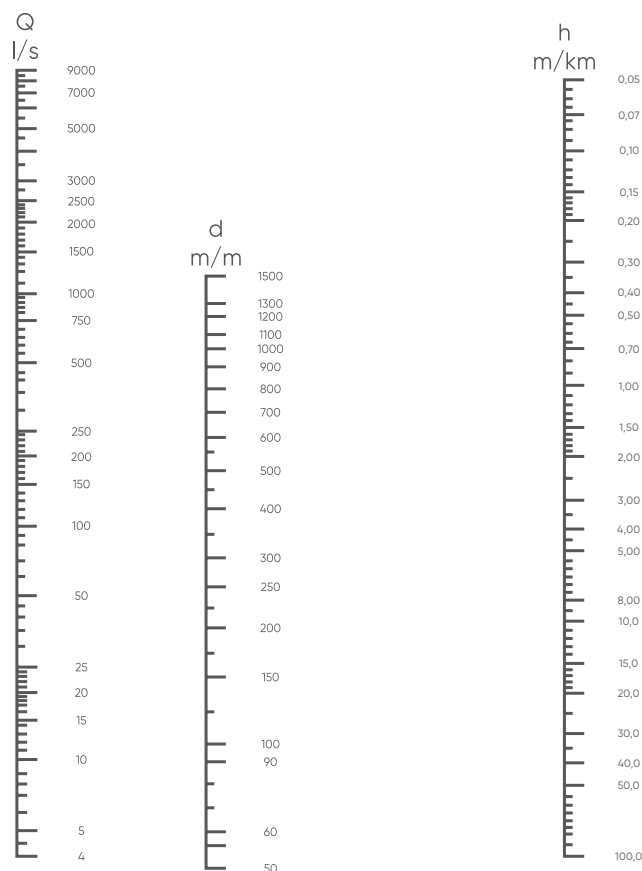
Diese Korrelation gilt nur für die Berechnung von wasserführenden Rohren und wird für Durchmesser von mehr als 50 mm empfohlen.

Der Durchflusskoeffizient ist eine Funktion des Konstruktionsmaterials und wird durch experimentelle Tests ermittelt. In der folgenden Tabelle sind die Werte des Durchflusskoeffizienten für verschiedene Konstruktionsmaterialien angegeben.

Rohrart	Wert von C_{hw}	
Gusseisen- oder Stahlrohr mit glatter Innenfläche	120	Neu
	110	10 Jahre alt
	90	20 Jahre alt
	70	50 Jahre alt
PVC-U	145-160	
PP-H und PE 100-Rohre	140-150	

Um Berechnungen zu vermeiden, ist das Nomogramm von Hazen und William mit dem Durchflusskoeffizienten $C_{hw} = 100$ dargestellt. Dadurch reicht es aus, eine Verbindungslinie zwischen den beiden bekannten Koeffizienten zu ziehen, um den unbekanntem zu erhalten.

Sind beispielsweise die Durchflussmenge und der Rohrdurchmesser bekannt, so kann der Druckverlust ermittelt werden.



Hat C_{hw} einen anderen Wert, müssen die aus dem Nomogramm ermittelten Werte für den Volumenstrom (Q) und den Druckverlust (h) mit den in der Tabelle beschriebenen relativen Konstruktionskoeffizienten M_q und M_h multipliziert werden.

Umrechnungsfaktor für C_{hw} abweichend von 100

C_{hw}	M_q	M_h
70	0,70	1,93
90	0,90	1,22
100	1,00	1,00
110	1,10	0,84
120	1,20	0,71
130	1,30	0,62
140	1,40	0,54
150	1,50	0,47
160	1,60	0,42

Nach all diesen Berechnungen kann festgestellt werden, dass es eine schnelle Bemessungsmethode gibt: Wie aus der Gleichung von Hazen und William hervorgeht, ist der Druckverlust umgekehrt proportional zur fünften Potenz des Innendurchmessers.

Nach der Berechnung des Druckabfalls für einen Durchmesser ist es daher möglich, die anderen Durchmesser durch das Verhältnis der fünften Potenzen zu berechnen. Die folgende Beziehung wird verwendet:

$$h_2 = \frac{h_1 * D_1^5}{D_2^5}$$

wobei

h_1 = Druckabfall des bekannten Durchmessers

h_2 = Druckabfall für den neuen Durchmesser

D_1 = Bekannter Innendurchmesser (m)

D_2 = Neuer Innendurchmesser (m)

PRAKTISCHES BEISPIEL

Berechnen Sie den Druckverlust eines wasserführenden Rohrs mit kreisförmigem Querschnitt, einem Durchmesser von $D_i = 50$ mm und einem Durchfluss von $Q = 1$ l/s. Gehen Sie von $\lambda = 0,02$ aus.

Um den Druckverlust nach der Darcy-Weisbach-Gleichung zu berechnen, muss der Geschwindigkeitswert ermittelt werden.

$$V = \frac{Q}{A} = \left(\pi * \left(\frac{D_i}{2} \right)^2 \right) = 5 \text{ m/s}$$

Durch Anwendung der Darcy-Weisbach-Gleichung lässt sich nun der Druckabfall berechnen:

$$h = \frac{(\lambda * V^2)}{(2 * g * D_i)} = 051 \text{ m/m}$$

2.4.3.2 Berechnung des lokalen Druckverlusts

Verteilte Druckverluste sind nicht die einzigen Ursachen für Druckabfälle in Hydraulikleitungen. Es treten auch so genannte konzentrierte oder lokale Druckverluste auf. Sie entstehen durch Hindernisse, die eine plötzliche Druckveränderung im System verursachen kann, wie beispielsweise Bögen, Abzweigungen und Ventile.

Um den gesamten lokalen Druckverlust im System zu berechnen, können die einzelnen Werte addiert werden:

$$\Sigma \Delta p_{localized} = \Delta p_{RF} + \Delta p_{RV} + \Delta p_{geod} + \Delta p_{valv}$$

wobei:

Δp_{RF} = Druckverlust in Formstücken

Δp_{RV} = Druckverlust an Rohrverbindungen

Δp_{geod} = Druckunterschied aufgrund der Höhenlage

Δp_{valv} = Druckverlust in einer Armatur

Druckverlust in Formteilen

Zahlreiche experimentelle Untersuchungen haben gezeigt, dass die durch Formstücke verursachten Druckverluste proportional zur hohen Fließgeschwindigkeit sind, bei einem konstanten Exponenten zwischen 1,8 und 2,1.

Für übliche hydraulische Berechnungen kann davon ausgegangen werden, dass der Druckverlust, der durch den Durchfluss einer Flüssigkeit in einem Formstück entsteht, proportional zum Quadrat der mittleren Geschwindigkeit ist, wie in der DVS 2210 beschrieben:

$$\Delta p_{RF} = \frac{\xi_{RF} * \rho}{(2 * 10^5) * V^2}$$

wobei:


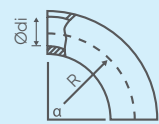
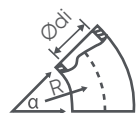
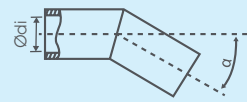
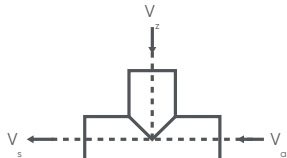
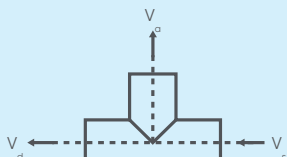
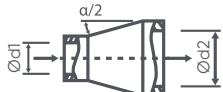
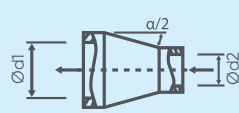
Δp_{RF} = Druckverlust (bar)

ξ_{RF} = Widerstandsbeiwert des Formstücks (-)

ρ = Dichte des beförderten Stoffes (kg/m³)

V = Geschwindigkeit (m/s)

Der Koeffizient ξ ist charakteristisch für die Art und Größe der gebräuchlichsten Formstücke und kann in der DVS 2210 leicht ermittelt werden.

Art des Formstücks	Parameter	Widerstands- koeffizient ξ			Zeichnung  = Durchflussrichtung
Bögen $\alpha = 90^\circ$	$R = 1,0 \times d_a$	0,51			
	$1,5 \times d_a$	0,41			
	$2,0 \times d_a$	0,34			
	$4,0 \times d_a$	0,23			
Bögen $\alpha = 45^\circ$	$R = 1,0 \times d_a$	0,34			
	$1,5 \times d_a$	0,27			
	$2,0 \times d_a$	0,20			
	$4,0 \times d_a$	0,15			
Winkelstücke*	$\alpha = 45^\circ$	0,30			
	30°	0,14			
	20°	0,05			
	15°	0,05			
	10°	0,04			
T-Stücke (90° Rohrverzweigungen Fluss zusammenführend) $V_s = V_a + V_z$	$V_z/V_s = 0,0$	$\xi_z = -1,20$	$\xi_d = 0,06$		
	0,2	-0,40	0,20		
	0,4	0,10	0,30		
	0,6	0,50	0,40		
	0,8	0,70	0,50		
T-Stücke (90° Rohrverzweigungen Fluss trennend) $V_s = V_a + V_d$	$V_a/V_s = 0,0$	$\xi_z = 0,97$	$\xi_d = 0,10$		
	0,2	0,90	-0,10		
	0,4	0,90	-0,05		
	0,6	0,97	0,10		
	0,8	1,10	0,20		
Reduzierstücke, konzentrisch (Rohrerweiterung) ξ - Werte für $\lambda_R = 0,025$	Winkel α	4...8°	16°	24°	
	$d_2/d_1 = 1,2$	0,10	0,15	0,20	
	1,4	0,20	0,30	0,50	
	1,6	0,50	0,80	1,50	
	1,8	1,20	1,80	3,00	
	2,0	1,90	3,10	5,30	
Reduzierstücke, konzentrisch (Rohrverengung) ξ - Werte für $\lambda_R = 0,025$	Winkel α	4°	8°	20°	
	$d_2/d_1 = 1,2$	0,046	0,023	0,010	
	1,4	0,067	0,033	0,013	
	1,6	0,076	0,038	0,015	
	1,8	0,031	0,041	0,016	
	2,0	0,034	0,042	0,017	

* Für Bögen mit $\alpha=90^\circ$ wird empfohlen, einen Widerstandsbeiwert von $\xi = 0,60$ zu berücksichtigen,

Zusätzlich zu den folgenden Ausführungen ist es üblich, die Druckverluste der Armaturen durch das Verhältnis der äquivalenten Rohrlänge (L/D_i) zu den Rohren darzustellen. Dieses Verhältnis L/D_i ist die äquivalente Länge in Durchmessern eines geraden Rohrs, das unter den gleichen Strömungsbedingungen den gleichen Druckabfall verursacht wie das Formstück.

Druckverlust an Rohrverbindungen

Über Druckverluste an den Rohrverbindungen können keine genauen Angaben gemacht werden, da die geometrischen Abmessungen (z. B. Schweißraupen) nicht konstant sind.

Es wird empfohlen, bei der Berechnung des Druckverlustes einen Widerstandsbeiwert von $\xi_{RV} = 0,1$ für jede Verbindung im Kunststoffrohrsystem, wie z. B. Stumpf- und Muffenschweißverbindungen sowie für Flansche, zugrunde zu legen. Auf dieser Grundlage wird in der DVS 2210 die folgende Gleichung vorgeschlagen:

$$\Delta p_{RV} = \frac{\xi_{RV} * \rho}{(2 * 10^5) * V^2}$$

wobei:

Δp_{RV} = Druckverlust (bar)

ξ_{RV} = Widerstandsbeiwert der Verbindungen (-)

ρ = Dichte des beförderten Stoffes (kg/m³)

V = Geschwindigkeit (m/s)

Um den ungefähren Druckverlust an den Verbindungsstellen einer Rohrleitung zu ermitteln, genügt es außerdem, von einer Zunahme um etwa 15 % gegenüber dem Druckverlust der Formstücke Δp_{RF} auszugehen.

Druckunterschied aufgrund der Höhenlage

Dieser Beitrag muss berücksichtigt werden, wenn ein Höhenunterschied zwischen dem unteren und dem oberen Ende der Rohrleitung vorhanden ist.

$$\Delta p_{geod} = \Delta h_{geod} * \rho * 10^{(-4)}$$

wobei:

Δp_{geod} = Geodätischer Druckunterschied (bar)

Δh_{geod} = Höhenunterschied der Rohrleitung (m)

ρ = Dichte des Mediums (kg/m³)

Druckverlust in Armaturen

Für die Bewertung der Druckverluste, die durch den Durchfluss einer Flüssigkeit durch eine Armatur verursacht werden, ist es üblich, sich auf einen spezifischen Kapazitätskoeffizienten zu beziehen, der üblicherweise als Durchflusskoeffizient K_v bezeichnet wird.

Insbesondere ist es möglich, den Druckverlust im Inneren eines Ventils nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$\Delta p_{valv} = \rho \left(\frac{Q}{K_v} \right)^2$$

wobei:

Δp_{valv} = Druckabfall innerhalb eines Ventils (bar)

Q = Durchflussmenge (m³/h)

ρ = Spezifische Masse der Flüssigkeit im Vergleich zur spezifischen Masse von Wasser bei 15 °C (-)

K_v = Durchflusskoeffizient (m³/h)

Der wichtigste Parameter zur Berechnung des Druckabfalls in einer Armatur ist K_v .

Dies ist die Durchflussmenge, die bei einem bestimmten Druckabfall durch eine Armatur fließt. Diese kann mit Hilfe der folgenden Gleichung bestimmt werden:

$$K_v = Q * \left(\frac{\rho}{\Delta P} \right)^{\left(\frac{1}{2} \right)}$$

wobei:

K_v = Durchflusskoeffizient (m³/h)

Q = Durchflussmenge (m³/h)

ΔP = Druckabfall (bar)

ρ = Spezifische Masse der Flüssigkeit im Vergleich zur spezifischen Masse von Wasser bei 15 °C (-)

Anhand des Durchflusskoeffizienten K_v ist es möglich:

- Eine Armatur zu dimensionieren: Wenn der Druckverlust und der Durchflusskoeffizient bekannt sind, kann der am besten geeignete Ventildurchmesser ermittelt werden;
- Die Durchflussmenge durch die Armatur in Abhängigkeit von der Druckdifferenz und dem Durchflusskoeffizienten zu berechnen;
- Den konzentrierten Druckverlust des Ventils zu berechnen: Wenn der Durchfluss und der Durchflusskoeffizient bekannt sind, wird Δp bestimmt.

Nenndurchflusskoeffizient K_{v100}

Es ist wichtig zu beachten, dass sich der Begriff Nenndurchflusskoeffizient, angegeben durch K_{v100} (l/min), auf den maximal möglichen Durchflusskoeffizienten bezieht, also bei vollständig geöffneter Armatur bei einer Temperatur von 20 °C mit einem Druckabfall $\Delta p = 1$ bar.

Er hängt im Wesentlichen ab von:

- Dem Nenndurchmesser des Ventils, da größere Ventile höhere Durchflusskoeffizienten ergeben;
- Der Art des Ventils.

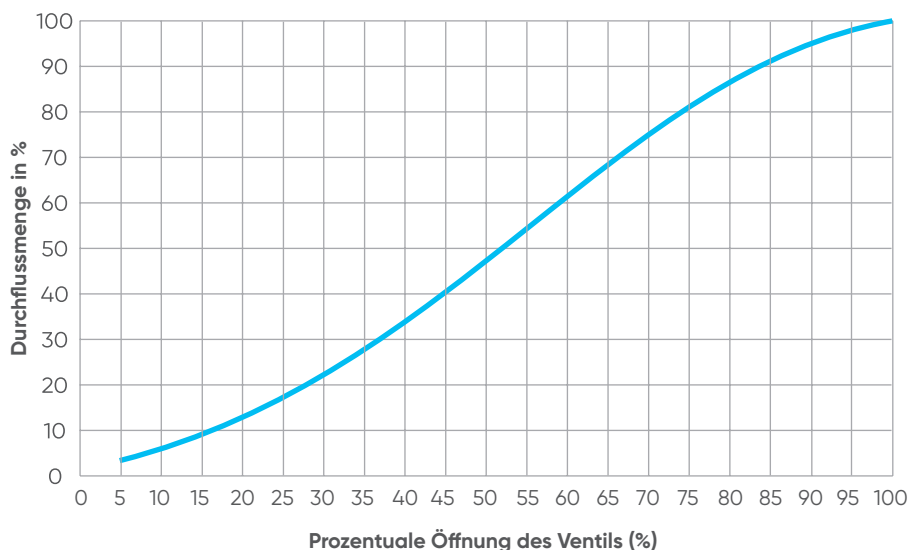
Die folgende Tabelle kann zum Vergleich der K_{v100} -Werte (l/min) der in der Industrie eingesetzten Hauptventile (Modelle VKR, VKD, DK, FK) mit Nenndurchmessern zwischen 10 und 100 mm hilfreich sein.

Armatur	DN									
	10	15	20	25	32	40	50	65	80	100
VKR	83	88	135	256	478	592	1068	-	-	-
VKD	80	200	385	770	1100	1750	3400	5250	7100	9500
DK	-	112	261	445	550	1648	1087	1600	-	-
FK	-	-	-	-	-	1000	1285	1700	3550	5900

Häufig wird anstelle des Nenndurchflusskoeffizienten der relative Durchflusskoeffizient verwendet, der offensichtlich einen geringeren Wert aufweist.

Insbesondere wird auf den relativen K_v -Wert verwiesen, wenn die Klappe nicht vollständig geöffnet ist oder wenn ein anderes Arbeitsmedium als Wasser verwendet wird (z. B. eine Chemikalie, die andere Durchflusskoeffizienten als die nominalen, auf Wasser bezogenen, aufweist).

Der Nennwert wird vom Hersteller angegeben, der im Produktdatenblatt die Einstellcharakteristik oder den Verlauf des Faktors mit Nenndurchmesser und Öffnung angibt, meist in grafischer Form (in der Abszisse der Hub eines Kolbens oder die Drehung der Kugel, in der Ordinate der Durchflusskoeffizient), wie in der Abbildung für das Membranventil DK rechts zu sehen ist.



Beziehung zwischen K_v und C_v

Wie bereits beschrieben, misst die europäische Gesetzgebung den volumetrischen Durchfluss in m^3/h , den Druck in bar und bezieht sich auf den Durchflusskoeffizienten K_v .

In angelsächsischen Ländern hingegen wird auf einen Durchflusskoeffizienten mit der Abkürzung C_v verwiesen, der einer Durchflussmenge von Wasser, ausgedrückt in GPM, bei einer Temperatur von 60 °F und einem Druckabfall von 1 psi entspricht.

Die beiden Koeffizienten sind durch die folgende Beziehung miteinander verbunden:

$$K_v = 0,865 C_v$$

Reihen- oder Parallelschaltung

Soll in der Praxis die spezifische Kapazität einer Gruppe von mehreren in Reihe geschalteten Ventilen bewertet werden, von denen jedes seinen eigenen K_v -Wert hat, lässt sich die resultierende Gesamtkapazität aus der folgenden Beziehung ableiten:

$$\frac{1}{(K_{vtot})} = \frac{1}{K_{v1}} + \frac{1}{K_{v2}} + \dots + \frac{1}{K_{vn}}$$

Aus der vorangegangenen mathematischen Korrelation geht hervor, dass die gesamte spezifische Kapazität mehrerer in Reihe geschalteter Elemente geringer ist als die kleinste spezifische Kapazität, die für ein Element in dieser Reihe charakteristisch ist.

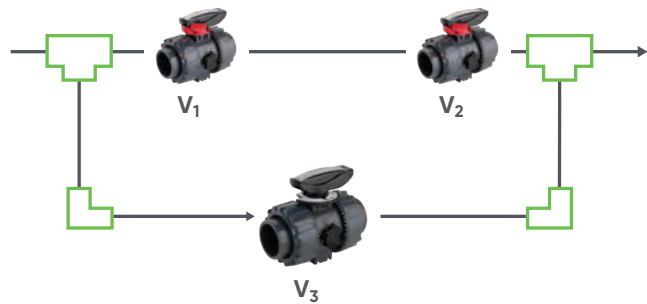
Sind die Ventile parallel angeordnet, wird die resultierende Gesamtkapazität von der folgenden Beziehung abgezogen:

$$K_{vtot} = K_{v1} + K_{v2} + \dots + K_{vn}$$

Daher ist die gesamte spezifische Kapazität mehrerer parallel angeordneter Elemente die arithmetische Summe der spezifischen Kapazitäten der einzelnen Elemente.

PRAKTISCHE BEISPIELE

- Berechnung der gesamten spezifischen Kapazitäten der Gruppe von Ventilen, die zum Kreislauf in PVC-U gehören, unter der Annahme eines vernachlässigbaren verteilten Druckverlustes.
 - Für die an einem 32 mm Rohr in Reihe angeordneten Ventile (V_1, V_2);
 - Für die gesamte Gruppe aus drei Ventilen, wobei V_3 an einem 50 mm Rohr platziert wird.



Der Energieverlust hängt mit dem Vorhandensein der Ventile zusammen, da es eine große Anzahl von ihnen gibt. Aus diesem Grund wird vorgeschlagen, sich auf die lokalen Druckverluste zu konzentrieren, die von den Ventilen verursacht werden.

Dazu ist es notwendig, sich auf K_{v100} jedes einzelnen Ventils entsprechend dem Nenndurchmesser des Rohres zu beziehen, wie in der folgenden Tabelle dargestellt.

Ventilbezeichnung	Ventiltyp	DN	K_{v100} (l/min)
V₁	VKD	32	1100
V₂	VKD	32	1100
V₃	VKR	50	1068

An diesem Punkt können die Druckverluste in Reihe oder parallel für den gesamten Kreislauf berechnet werden:

- Serie:

$$\frac{1}{K_{vtot}} = \frac{1}{K_{v1}} + \frac{1}{K_{v2}} = 0,0018 \text{ min/l} \quad K_{vseries} = \frac{1}{0,0018} = 555,5 \text{ l/min}$$

- Parallel:

$$K_{vtot} = K_{vseries} + K_{v3} = 1623,5 \text{ l/min}$$

- Bei einem Durchfluss von $13,2 \text{ m}^3/\text{h}$ und der Prognose eines Druckabfalls von $0,4 \text{ bar}$ beträgt der K_v :

$$K_v = \frac{13,2}{(0,4)^{0,5}} = 20,87 \text{ m}^3/\text{h}$$

Es muss ein Ventil mit einem K_v -Wert von $20,87$ gefunden werden. Ausgehend von diesen Projektdaten ist es also möglich, das am besten geeignete Ventil aus dem Katalog zu finden.

- Wie hoch ist bei einem Durchfluss von $Q = 2,2 \text{ m}^3/\text{h}$ und einem $K_v = 2,5$ der Druckabfall?

$$\Delta P = \left(\frac{2,2}{2,5}\right)^2 = 0,77 \text{ bar}$$

2.4.4 Durchflussregelung und Dimensionierung von Armaturen

Die Auswahl einer Armatur richtet sich nach ihrem Einsatzzweck, d.h. welche Funktion sie für den Medientransport einnehmen soll und welche Bedingungen das Medium an die Bauart im Vergleich zu den Kosten stellt. Dabei wird in drei Funktionen unterschieden: Absperrn, Regeln, Rückflussverhinderung bzw. -entlüftung.

Grundsätzlich kann man Armaturen in vier Gruppen ihrer aufbauspezifischen Merkmale gliedern. Sie sind entweder konstruktionsbedingt ausschließlich oder wahlweise, durch die Betriebsbedingungen gekennzeichnet, in folgenden Hauptkomponenten einzuteilen:

- Betätigungsmechanismus: Die Vorrichtung, die die Bewegung des Schafts und des Schließers bewirkt. Je nach Art der Armatur z. B. ein Griff, Handrad, Hebel oder Antrieb;
- Klappe: Das bewegliche Bauteil, das den Querschnitt des Flüssigkeitsdurchlasses so verändert, dass er vollständig geschlossen oder geöffnet wird. Je nach Ventil kann es sich dabei um eine Kugel, eine Scheibe oder eine Membran handeln;
- Armaturenkörper: Die Hauptstruktur der Armatur, in der sich die für das Fließen des Mediums vorgesehenen Durchgänge befinden;
- Dichtung: Sie kann aus verschiedenen Materialien wie EPDM, FKM, PTFE hergestellt werden, um gegenüber verschiedenen Medien beständig zu sein.

Die Auswahl eines Ventils richtet sich nach seiner Funktion und der Art und Weise, wie es im System betrieben wird. Im Allgemeinen werden Ventile verwendet, um mindestens eine von drei Funktionen auszuführen:

- Absperrn: Für den Auf-Zu-Betrieb werden meist Kugelhähne und Absperrklappen verwendet;
- Drosseln: Zum Drosseln oder Regeln des Durchflusses werden meist Membranventile, Absperrklappen oder unser FIP VKR-Regelkugelhahn eingesetzt;
- Rückflussverhinderung: Zur Verhinderung einer Umkehrung oder eines Rückflusses werden meist Rückschlagventile in Rückschlag-, Kugel-, Feder- oder Rückschlagklappe eingesetzt.

Da für eine bestimmte Funktion mehrere Auswahlmöglichkeiten vorhanden sein können, kann der Auswahlprozess durch Berücksichtigung spezifischer Prozessanforderungen verfeinert werden.

Diese umfassen:

- Das Fließmedium: Es ist wichtig zu wissen, ob die Flüssigkeit aufgrund ihrer Haupteigenschaften wie Korrosivität, Abrasivität, Viskosität, Temperatur, Druck und ob es sich um eine saubere oder schmutzige Flüssigkeit handelt, Probleme für die benetzten Materialien des Ventils verursachen kann;
- Die Kompatibilität der Steuerelemente des Ventils mit dem Fließmedium;
- Den Platzbedarf: Gewichtsbeschränkungen und betriebliche Anforderungen müssen analysiert werden. Manuell betätigte Ventile bieten je nach Größe eine Auswahl an Hebeln, Getriebegehäusen und anderen Griffen, während ferngesteuerte Ventile elektrisch oder pneumatisch betätigt werden können.

Lassen Sie uns nach dieser Einführung über Ventilmerkmale näher auf die Dimensionierung eingehen.

Die Dimensionierung eines Ventils hängt im Wesentlichen von zwei Faktoren ab:

- Den Prozessparametern;
- Die Wahl des Ventiltyps.

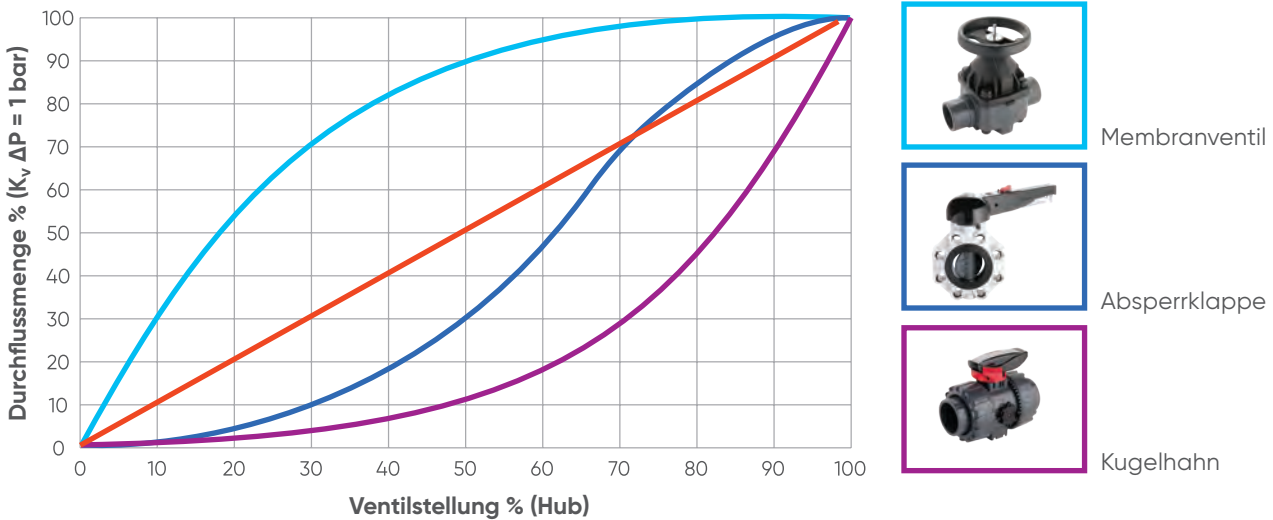
Hinsichtlich der Prozessparameter müssen die Durchflussmenge und der Eingangs-/Ausgangsdruck wie zuvor beschrieben berücksichtigt werden.

Die Wahl des Ventils hängt direkt mit den Kennlinien zusammen.

Diese Kennlinien sind für jede Art von Armatur unterschiedlich und beschreiben den Verlauf der Durchflussmenge in Abhängigkeit vom Hub der Schließkomponente. Sie ergeben sich durch die Gestaltung der Geometrie der Schließkomponente, der in verschiedenen Ausführungen gewählt werden kann: Schließkomponenten mit schneller, linearer oder gleichprozentiger Öffnung.

Wie die nachstehende Abbildung zeigt, zeichnen sich Membranventile im Allgemeinen durch ein schnelles Öffnen der Schließkomponente aus: Der Anstieg der Durchflussmenge erfolgt fast ausschließlich im ersten Abschnitt der Schließöffnung. Danach führen weitere Erhöhungen des Hubs nur zu geringen Steigerungen der Durchflussmenge.

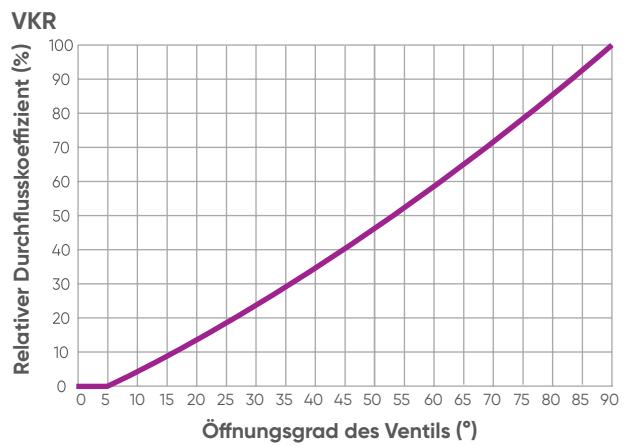
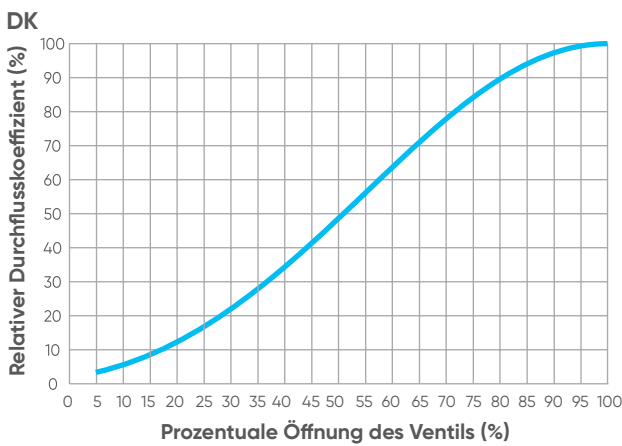
Der Kugelhahn hingegen hat eine gleichmäßige prozentuale Öffnung, so dass bei dieser Schließkomponente eine gleichmäßige Erhöhung des Öffnungshubs einer konstanten prozentualen Erhöhung des Durchflusses bei gleichem Differenzdruck entspricht. Die Absperrklappe liefert im allgemeinen den größten Teil des Durchflusses im letzten Öffnungsabschnitt.



Mit dem FIP-Membranventil DK und dem Regelkugelhahn FIP VKR ist es möglich, eine nahezu lineare Regelung zwischen Ventilöffnung und Durchfluss zu erreichen.

Linear geregelte Ventile sind unerlässlich, wenn es darum geht, den Prozess präzise zu regeln und dabei Schwankungen Durchflussmenge zu begrenzen.

In den folgenden beiden Abbildungen sind die Kennlinien des FIP-Membranventils DK und des Kugelhahns VKR dargestellt, um deren linearen Verlauf deutlich zu machen.



Um die Kennlinien der einzelnen Ventile kennen zu lernen, empfiehlt sich ein Blick in die Aliaxis-Datenblätter.

Zusätzlich zu den manuell betätigten Armaturen werden sehr häufig auch automatisch betätigte Armaturen eingesetzt, weil dies eine hohe Effizienz, eine bessere Genauigkeit der Betätigungszyklen und das Ausschließen menschlicher Fehlerursachen ermöglicht.

Die Nachfrage nach elektrisch und pneumatisch betätigten Ventilen ist aufgrund der immer höheren Arbeitskosten für handbetätigte Ventile, insbesondere an abgelegenen Standorten, stetig gestiegen.

Die betrieblichen Vorteile der Verwendung einer Automatikarmatur sind:

- Es lässt sich leicht und wirtschaftlich auf eine voll modulierende Regelung umstellen;
- Es ermöglicht eine automatische Ablaufsteuerung des Ventilbetriebs in mehrstufigen oder gemischten Systemen, die manuell nur schwer oder gar nicht zu koordinieren sind;
- Es bietet eine Vielzahl von kosten- und arbeitssparenden Optionen, die den Prozessanforderungen und industriellen Umgebungen besser entsprechen;
- Es bietet ausfallsichere Betriebsarten und macht es überflüssig, dass Arbeiter eine Armatur mit gefährlichen Flüssigkeiten manuell bedienen müssen.

Die Wahl des Antriebs sollte nicht nur von den Eigenschaften oder dem Preis beeinflusst werden. Zu berücksichtigen sind auch die Kosten für die Bereitstellung der Antriebsenergie, die Installation und Wartung, die Lebensdauer und ein möglicher künftiger Austausch.

Es gibt zwei grundlegende Arten von (Stell-) Antrieben: elektrische und pneumatische. Wenn Strom und Luft vorhanden sind, ist die erste Überlegung die Art der gewünschten Leistung. Einerseits sind pneumatische Stellantriebe in der Regel preiswerter, andererseits ist der elektrische Stellantrieb bei kleineren Baugrößen aufgrund seines geringeren Gewichts und der einfacheren Installation für viele Anwendungen ideal.

Auch die Drehzahlregelung von elektrischen und pneumatischen Antrieben sollte berücksichtigt werden. Das zu schnelle Schließen eines Ventils bei strömender Flüssigkeit kann zu Wasserschlägen und damit zu Schäden an der Armatur und den zugehörigen Rohrleitungen führen. Die Drehzahl elektrischer und pneumatischer Stellantriebe ist unterschiedlich, außerdem können einige pneumatische Stellantriebe inline durch Einwirkung auf Luftdruck und Luftdurchsatz eingestellt werden, um die richtige Zykluszeit für eine bestimmte Anwendung zu erhalten.



Diese Abbildung zeigt den FIP-Kugelhahn VKD mit elektrischem Antrieb.



Diese Abbildung zeigt das FIP-Membranventil DK mit linearem pneumatischem Antrieb.

PRAKTISCHE BEISPIELE

- Wenn die Betriebsbedingungen des Prozesses bekannt sind, besteht das Ziel darin, den Bereich der Durchflussraten zu verstehen, der von der gewählten Armatur bewältigt werden kann.

Betrachten wir eine VKR DN 50 Armatur, in die Wasser fließt, mit einem Eingangsdruck von 6 bar und einem Ausgangsdruck von 3 bar.

Anhand der Tabelle in den Katalogen kann für jeden DN der K_{V100} -Wert ermittelt werden, d. h. der Durchfluss in l/min, der bei vollständig geöffneter Armatur einen Druckabfall von 1 bar erzeugt.

DN	10	15	20	25	32	40	50
K_{V100} (l/min)	83	88	135	256	478	592	1068

In diesem Fall ergibt sich für eine DN 50 ein $K_v 100 = 1.068$ l/min.

Da bekannt ist, dass $P_{inlet} = 6$ bar und $P_{outlet} = 3$ bar, kann $\Delta P = P_{inlet} - P_{outlet} = 3$ bar berechnet werden.

Aus dem Wert von K_{V100} und dem Druckabfall lässt sich die Durchflussmenge nach folgender Formel berechnen:

$$Q_{fullyopen} = K_{V100} * \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}}$$

Um diese Berechnung zu vermeiden, können Sie alternativ auch den Rechner auf der Aliaxis-Website verwenden.

Bei der Durchführung der Berechnungen ergibt sich: $Q_{fullyopen} = 1849,8$ l/min, was 110,9 m³/h entspricht.

Es ist unbedingt zu beachten, dass diese Durchflussmenge mit einer vollständig geöffneten VKR DN50 Armatur erreicht werden kann.

Um die Durchflussmengenänderung in Abhängigkeit vom Ventilöffnungsgrad zu analysieren, empfiehlt es sich, das folgende Diagramm zu betrachten, wobei die horizontale Achse die Ventilöffnungsgrade und die vertikale Achse den relativen Durchflusskoeffizienten ($K_{V\%}$) darstellt.

Wenn wir zum Beispiel annehmen, dass die Armatur um 60 Grad geöffnet werden soll, haben wir einen $K_{V\%}$ von 60 % und erhalten den folgenden Durchfluss:

$$Q_{final} = K_{V\%} * Q_{fullyopen} = 0,60 * 110,9 = 66,54 \text{ m}^3/\text{h}$$

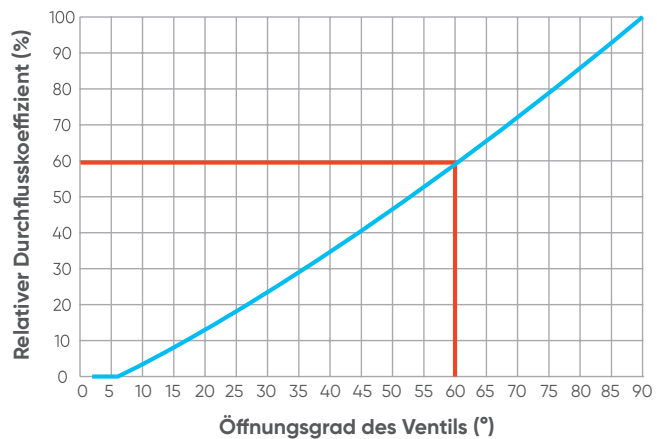
Daher kann diese Armatur für einen Durchfluss zwischen ca. 20° und 80° Öffnungsgrad empfohlen werden. Für eine optimale Regelung ist es ratsam, die Ventile so zu dimensionieren, dass der gewünschte Durchfluss innerhalb des mittleren Bereichs der Regelkurven liegt.

Für 20 Grad haben wir zum Beispiel einen $K_{V\%}$ von 13 %:

$$Q_{final} = K_{V\%} * Q_{fullyopen} = 0,13 * 110,9 = 14,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

Für 80 Grad haben wir einen $K_{V\%}$ von 87 %:

$$Q_{final} = K_{V\%} * Q_{fullyopen} = 0,87 * 110,9 = 96,5 \text{ m}^3/\text{h}$$



- Sind die Durchflussmenge und der Druckabfall bekannt, lässt sich ermitteln, welche Größe und welchen Öffnungsgrad die Armatur haben muss, um diese Volumenmenge zu bewältigen.

Betrachten wir einen Eingangsstrom von $Q=300 \text{ l/min}$ und eine VKR-Armatur mit einem Eingangsdruck von 6 bar und einem Ausgangsdruck von 3 bar.

Da bekannt ist, dass $P_{inlet} = 6 \text{ bar}$ und $P_{outlet} = 3 \text{ bar}$, kann $\Delta P = P_{inlet} - P_{outlet} = 3 \text{ bar}$ berechnet werden.

Da es sich bei der transportierten Flüssigkeit um Wasser handelt, kann an dieser Stelle der K_{V100} , der Durchfluss in l/min , der bei vollständig geöffneter Armatur einen Druckabfall von 1 bar erzeugt, anhand der folgenden Formel berechnet werden:

$$K_{V100} = Q * \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p}}$$

Man erhält $K_{V100} = 173,20 \text{ l/min}$.

Um diese Berechnung zu vermeiden, können Sie alternativ auch den Rechner auf der Aliaxis-Website verwenden.

Anhand der Tabelle in den Katalogen ist es möglich, den DN nach dem berechneten K_{V100} zu ermitteln. Natürlich ist es immer notwendig, einen DN zu wählen, dessen K_{V100} höher ist als der berechnete Wert, um in der Mitte der Regelkurve zu liegen.

Zum Beispiel wird in diesem Fall bei einem $K_{V100} = 173,20 \text{ l/min}$ empfohlen, mindestens einen DN25 zu verwenden.

Wie aus der Tabelle ersichtlich, entspricht DN25 einem $K_{V100} = 256 \text{ l/min}$.

DN	10	15	20	25	32	40	50
$K_{V100}/\text{l/min}$	83	88	135	256	478	592	1068

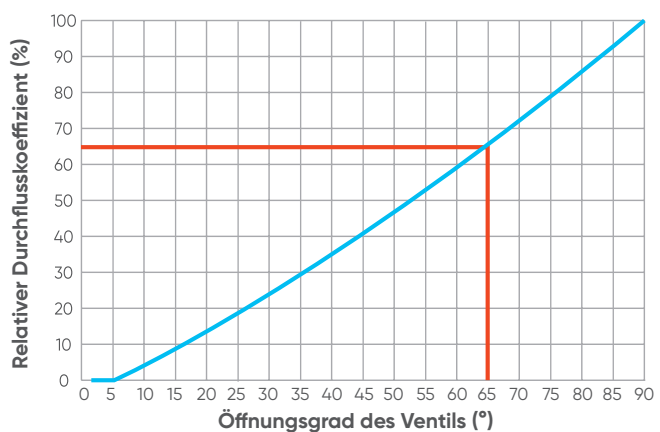
Der nächste Schritt besteht darin, den $K_{V\%}$ -Wert zu ermitteln, indem einfach das Verhältnis zwischen dem berechneten K_{V100} und dem Wert, der DN 25 entspricht, gebildet wird.

$$K_{V\%} = 173,20/256 = 0,676 = 67,6 \%$$

An diesem Punkt kann der Öffnungsgrad des Ventils, der dem Prozentsatz von $K_V = 67,6 \%$ entspricht, anhand des folgenden Diagramms ermittelt werden, das den Öffnungsgrad des Ventils auf der horizontalen Achse und den relativen Durchflusskoeffizienten ($K_{V\%}$) auf der vertikalen Achse darstellt.

Beim Kreuzen der Kurve für einen $K_{V\%} = 67,6 \%$ ergibt sich ein Öffnungsgrad des Ventils von etwa 65°.

Es ist wichtig zu beachten, dass diese Werte im mittleren Bereich der Regelkurve liegen, so dass Sie Spielraum haben, um die Durchflussmenge zu erhöhen oder zu verringern.



2.4.5 Druckstoß

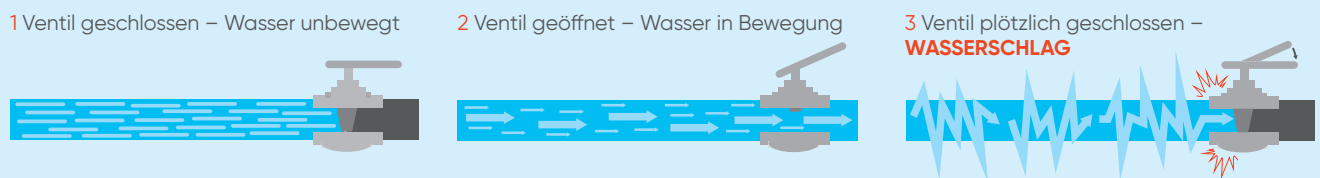
2.4.5.1 Wasserschlag

Als Wasserschlag bezeichnet man in der Hydraulik den kurzzeitigen Druckanstieg in einem Rohr, wenn der Durchfluss schnell gestoppt oder gestartet wird. Wenn nämlich ein schneller Handgriff ausgeführt wird, der darauf abzielt, den Durchfluss einer Flüssigkeit zu verringern oder zu erhöhen, wird eine Störung in Form einer Druckwelle erzeugt, die sich entlang der Rohrleitung ausbreitet und die Wände derselben bis zu ihrer progressiven Dämpfung dynamisch belastet.

Es muss auch betont werden, dass der Wasserschlag nicht nur ein Systemproblem, sondern auch ein Sicherheitsproblem ist, da er neben den üblichen Fällen von Rohrbrüchen und -unterbrechungen auch einige katastrophale Ereignisse verursacht hat.

Die häufigsten Ursachen für das Phänomen, das zu erheblichen Schäden an Verbindungen, Ventilen, Messgeräten und Pumpen führen kann, sind in der Regel folgende:

- Schnelles Schließen der Abfangventile;
- Abrupte Unterbrechung der Stromzufuhr zu den Leitungen;
- Beginn des Pumpens.



Die Abbildung zeigt eine grafische Darstellung des Wasserschlags, der durch das plötzliche Schließen eines Ventils und die anschließende Bildung einer Druckwelle entsteht, die sich in der Rohrleitung ausbreitet.

Um die Möglichkeit einer Beschädigung durch hydraulische Stöße zu minimieren, muss die Konstruktion daher gut durchdacht sein. Die folgenden Vorschläge können helfen, Probleme zu vermeiden:

- In jedem Rohrleitungssystem, auch in solchen aus thermoplastischen Kunststoffen, verringert eine Flüssigkeitsgeschwindigkeit von nicht mehr als 1,5 m/s die Auswirkungen von hydraulischen Stößen, selbst bei schnell schließenden Ventilen;
- Die Verwendung von Automatikarmaturen mit einer bestimmten Schließzeit verringert die Möglichkeit eines unbeabsichtigten zu schnellen Öffnens oder Schließens eines Ventils;
- Bewerten Sie den Durchfluss beim Anlaufen der Pumpe und während des Auslaufens und stellen Sie fest, wie viel Luft, wenn überhaupt, beim Anlaufen der Pumpe zugeführt wird;
- Wenn möglich sollten Sie beim Starten einer Pumpe die Armatur in der Druckleitung teilweise schließen, um die Flüssigkeitsmenge, die schnell durch das System beschleunigt wird, zu minimieren. Sobald die Pumpe ihre volle Leistung erreicht hat und die Leitung vollständig gefüllt ist, kann die Armatur geöffnet werden;
- Setzen Sie Druckstoßausgleichsvorrichtungen und Standrohre sinnvoll ein, um den Durchfluss bei einem Druckstoß zu speichern und ein Abreißen der Wassersäule zu minimieren. In der Nähe von Pumpen können Rückschlagventile eingesetzt werden, um die Leitungen gefüllt zu halten;
- Verwenden Sie richtig bemessene Überdruckventile, um die Luftmenge zu kontrollieren, die in das System ein- oder ausströmt.

Zur Bewertung der Auswirkungen des Wasserschlags wird ein mathematisches Modell verwendet, das auf der Theorie der Ausbreitung der Schallwelle in einem flüssigen Medium beruht und sowohl die mechanischen Eigenschaften des Rohrs als auch die physikalischen Eigenschaften der sich bewegenden Flüssigkeit berücksichtigt.

Wie aus der folgenden Formel hervorgeht, ist die Geschwindigkeit der Druckwelle, die durch einen plötzlichen Abriss des Durchflusses verursacht wird, eine Funktion des Elastizitätsmoduls sowohl der Flüssigkeit als auch des Rohrleitungsmaterials und des Verhältnisses zwischen Dicke und Innendurchmesser.

$$V_{pw} = \left(\frac{K}{\left(\rho * \left(1 + \frac{K + Di}{t * E} \right) \right)} \right)^{\left(\frac{1}{2} \right)}$$

wobei:

V_{pw} = Geschwindigkeit der Druckwelle (m/s)

K = Elastizitätsmodul der Flüssigkeit (Pa)

ρ = Dichte der Flüssigkeit (kg/m³)

E = Elastizitätsmodul der Rohrwand (Pa)

Di = Innendurchmesser (mm)

t = Wanddicke (mm)

Da nun die Geschwindigkeit der Druckwelle bekannt ist, muss geklärt werden, ob das System in der Lage ist, einem möglichen Wasserschlag standzuhalten.

Die maximale Druckänderung, die das System mit einem genauen V_{pw} erfahren könnte, wird mit der folgenden Formel berechnet:

$$\Delta p = V_{pw} * (V_1 - V_2) * \frac{\rho}{1000}$$

wobei:

Δp = maximale Druckänderung (bar)

ρ = Dichte der Flüssigkeit (kg/m³)

V_{pw} = Geschwindigkeit der Druckwelle (m/s)

V_1 = Geschwindigkeit der Flüssigkeit vor der Änderung (m/s)

V_2 = Geschwindigkeit der Flüssigkeit nach der Änderung (m/s)

Dementsprechend werden der maximale und der minimale Druck im System berechnet:

$$p_{max} = p + \Delta p$$

$$p_{min} = p - \Delta p$$

wobei:

p_{max} = Maximaler Druck (bar)

p_{min} = Minimaler Druck (bar)

p = Erwarteter Betriebsdruck (bar)

Δp = Änderung des Drucks nach dem Wasserschlag (bar)

Es ist wichtig zu betonen, dass verschiedene Konstruktionsmaterialien für eine bestimmte Flüssigkeit zu unterschiedlichen Druckanstiegen führen. Bei konstantem SDR-Wert verursachen thermoplastische Materialien, die sich durch einen niedrigen Elastizitätsmodul auszeichnen, geringere Druckanstiege als herkömmliche Konstruktionsmaterialien, wie aus der Tabelle ersichtlich ist.

	PVC-U	PP-H	Gusseisen	Kohlenstoffstahl
DN (mm)	100	100	60	100
Di (mm)	93,6	90	48	94,3
D_p (m.c.a)	73	57	201	207

Wenn der maximale Druck, den das System erreichen kann, bekannt ist, wird empfohlen, den maximalen Sicherheitsfaktor (C_{max}) zu berechnen und ihn mit dem minimalen Sicherheitsfaktor (C_{min}) jedes in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Materials zu vergleichen.

Die folgende Formel ist die Umkehrung der zur Berechnung des Drucks in einem System verwendeten Formel, daher:

$$C_{max} = \frac{(20 * \sigma)}{(p_{max} * (SDR - 1))}$$

wobei:

C_{max} = Maximaler Sicherheitsfaktor

σ = Umfangsspannung (N/mm²)

p_{max} = Maximaler Druck (bar)

SDR = Standardabmessungsverhältnis (-)

Hinsichtlich des C-Faktors können bei nicht häufig auftretenden Wasserschlägen die Mindestsicherheitsfaktoren der einzelnen Werkstoffe wie oben erwähnt angewandt werden. Tritt das Phänomen jedoch regelmäßig auf, muss C_{\max} mit $C_{\min} = 3$ verglichen werden.

Die Rohrleitung ist für nicht häufige Wasserschläge geeignet, wenn der berechnete C_{\max} größer als C_{\min} ist.

Wenn außerdem C_{\max} größer als $C_{\min} = 3$ ist, kann sie auch für periodische Wasserschläge geeignet sein.

Wenn der Sicherheitsfaktor C keinem dieser Sicherheitskriterien entspricht, muss die Dimensionierung des Systems geändert werden.

Die Störungszeit ist für die Berechnung des Wasserschlags von grundlegender Bedeutung, denn der maximale Überdruck entsteht, wenn die Zeit, in der die Bewegung gestoppt wird, z. B. das Schließen eines Ventils, kleiner oder gleich der Ausbreitungszeit der Störung (t_c) ist, die nach der folgenden Beziehung berechnet werden kann:

$$t_c = \frac{(2 * L)}{V_{pw}}$$

wobei:

t_c = Ausbreitungszeit der Störung (s)

L = Rohrlänge (m)

V_{pw} = Geschwindigkeit der Druckwelle (m/s)

Die Schließzeiten von mechanischen Vorrichtungen, bei denen $t \leq t_c$ ist, werden als „plötzliches Manöver“ bezeichnet und führen zu einem Wasserschlag in der Rohrleitung mit Überdruck bei maximaler Intensität.

Eine Schließzeit $t > t_c$ wird dagegen als "langsameres Manöver" bezeichnet und verursacht einen Wasserschlag mit geringem, wenn nicht gar vernachlässigbarem Überdruck.

Abschließend sei gesagt, dass, wenn nicht alle in den vorherigen Formeln enthaltenen Variablen zur Verfügung stehen, in der Praxis die folgende Formel verwendet werden kann, um den durch den Wasserschlag verursachten Überdruck sofort zu berechnen:

$$\Delta p = \frac{2 * V * L}{g * t_c} * 0.1$$

wobei:

Δp = Maximale Druckänderung (bar)

V = Geschwindigkeit des Wassers zu Beginn des Schließens (m/s)

L = Rohrlänge (m)

g = Erdbeschleunigung (= 9,81 m/s²)

t_c = Ausbreitungszeit der Störung (s)

Daher kann der Maximaldruck wie folgt berechnet werden:

$$p_{max} = p_i + \Delta p = p_i + \frac{2 * V * L}{g * t_c} * 0.1$$

wobei:

p_{max} = Maximaler Druck (bar)

p_i = Eingangsdruck (bar)

Δp = Maximale Druckänderung (bar)

V = Geschwindigkeit des Wassers zu Beginn des Schließens (m/s)

L = Rohrlänge (m)

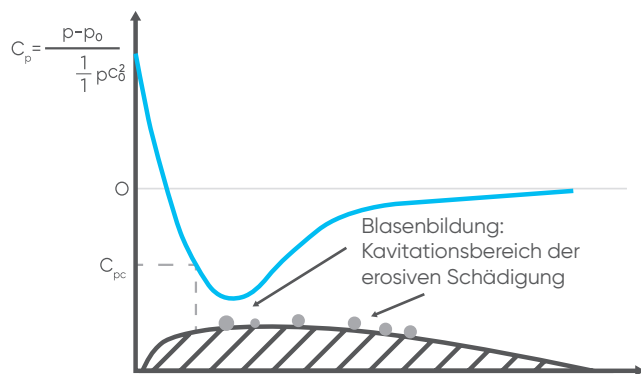
g = Erdbeschleunigung (= 9,81 m/s²)

t_c = Ausbreitungszeit der Störung (s)

2.4.5.2 Kavitation

Der Begriff Kavitation leitet sich von dem Vorhandensein makroskopischer Hohlräume („Kavitäten“) in einer nicht komprimierbaren, sich bewegenden Flüssigkeit ab.

Das Phänomen der Kavitation tritt in einer Flüssigkeit auf, wenn der lokale Druck aus dynamischen Gründen unter den entsprechenden Wert des Dampfdrucks der Flüssigkeit und der in ihr gelösten Gase fällt, so dass die Flüssigkeit verdampft und sich Dampf- und Gasblasen bilden.



Erschwerend kommt hinzu, dass in Wasser gelöste Luft besonders sauerstoffreich ist und daher eine starke Oxidationskraft und eine außergewöhnliche Virulenz beim Angriff auf die ihr ausgesetzten Oberflächen besitzt.

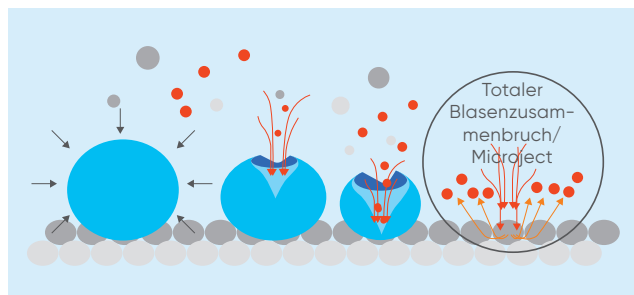
Die Bildung von Hohlräumen nimmt mit abnehmendem Druck immer weiter zu, so dass der für den Durchfluss der Flüssigkeit verfügbare Querschnitt immer kleiner wird. Außerdem nimmt die Geschwindigkeit der Flüssigkeit zu, was zu einem weiteren Druckabfall führt und somit die Verstärkung des ursprünglichen Phänomens begünstigt. Daher lässt sich sagen, dass Kavitation selbstverstärkend ist.

Im Allgemeinen kann Kavitation aus zwei verschiedenen Gründen entstehen:

- Das Profil eines in die Strömung eingetauchten Festkörpers bewirkt eine Druckabsenkung;
- Ein Druckabfall aufgrund einer plötzlichen Unterbrechung und der daraus resultierenden heftigen Blasenbildung.

Die Größe der gasförmigen Kerne, die die Niederdruckzone durchqueren, nimmt zu und die von der Strömung mitgerissenen Blasen erreichen die Zonen mit höherem Druck, wo sie komprimiert werden. Die Wirkung des höheren Außendrucks führt zu einer Konvergenz der Blasenwände zur Mitte hin, so dass die Blase implodiert.

Diese schnelle Kontraktionsbewegung kann eine hohe Energie in Form einer Stoßwelle oder kinetischer Energie in der Flüssigkeit freisetzen, so dass, wenn das Phänomen in der Nähe einer Wand auftritt, ein Erosionseffekt folgt, der beeindruckende Ausmaße annehmen kann.



Kavitation kann daher z. B. an den Enden der Schaufeln von Wasserturbinen oder Pumpen oder in einem Rohr mit einer Verengung auftreten, in dem nach dem Satz von Bernoulli eine Zunahme der Geschwindigkeit mit einer Abnahme des Drucks einhergeht.

In diesem Fall kann das Kavitationsphänomen zahlreiche Vibrationen und Stöße verursachen, die die Wände einer starken Ermüdungsbeanspruchung aussetzen und eine Korrosion oder Verformung des Materials verursachen.

Generell ist jedoch zu beachten, dass sich die Korrosion an Kunststoffen stark von der Korrosion an metallischen Werkstoffen unterscheidet.

Der Hauptunterschied liegt in der Oberfläche der Produkte. Metalle mit einer unregelmäßigen und rauen Oberfläche halten äußere Verunreinigungen leichter fest und erhöhen folglich das Korrosionsrisiko des Produkts.

Ein Beispiel für lokal begrenzte Korrosion, die in Metall leicht auftritt, ist die Lochfraßkorrosion. Sie besteht in der Bildung lokaler anodischer Bereiche, die zu sehr tiefen Hohlräumen führen, die das Material in konischer Form durchdringen oder sehr große Kavernen bilden.

Die Oberfläche thermoplastischer Werkstoffe hingegen, die sehr glatt ist und keine Hohlräume aufweist, in denen eine lokal begrenzte Korrosion auftreten kann, begünstigt ähnliche Phänomene nicht. Polymere, die in einem chemischen Umfeld beansprucht werden, bilden Kriechgänge an der Oberfläche und die Risse breiten sich folglich im Inneren des Materials aus.

Der Abbauprozess von Kunststoffen besteht daher hauptsächlich in einer Veränderung der Eigenschaften, wie z. B. Zugfestigkeit oder Farbe und Form, unter dem Einfluss eines oder mehrerer Umweltfaktoren wie Wärme, Licht, Salz, Säuren oder alkalische Chemikalien.

Tatsächlich ist Kavitation auch bei Ventilen ein weit verbreitetes Phänomen, da diese je nach Stellung des Schließers mehr oder weniger ausgeprägte Engstellen in den Systemen verursachen. Wenn die Flüssigkeit die Engstelle passiert, nimmt die Geschwindigkeit zu, während der Druck abnimmt.

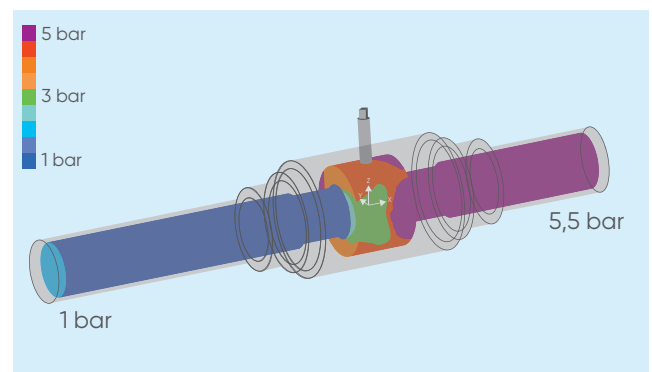
Wenn der Druck an der Stelle des minimalen Querschnitts niedriger ist als der Dampfdruck, bilden sich Blasen und es kann zu einer erosiven Schädigung sowohl des Schließers als auch des Sitzes kommen. Außerdem nimmt die Durchflussmenge aufgrund der vielen Blasen nicht zu und es entsteht eine Art Verstopfung.

Nach diesem Punkt nimmt die Geschwindigkeit ab, während Querschnitt und Druck zunehmen.

Steigt der Druck, wie oben beschrieben, so weit an, dass der Dampfdruck überschritten wird, implodieren die Blasen. Bleibt dagegen der Ausgangsdruck immer noch niedriger als der Dampfdruck, so ist das Flüssigkeits-Dampf-Gemisch auch hinter der Armatur noch vorhanden.

Typischerweise sind Ventile, die Kavitation ausgesetzt waren, durch eine sehr unregelmäßige, raue und löchrige Oberfläche gekennzeichnet.

In der Abbildung lässt sich der Druckunterschied innerhalb eines Ventils unter bestimmten simulierten Bedingungen erkennen, die Kavitationserscheinungen hervorrufen können (hohe Strömungsgeschwindigkeit und geringe Öffnung des Ventils).



Um diesem Phänomen vorzubeugen, ist eine sorgfältige Planung des Systems unter Berücksichtigung mehrerer Faktoren erforderlich:

- Dampfdruck der Prozessflüssigkeit: Auf diese Weise wird eine Armatur gewählt, bei der der Druck auch im kleinsten Abschnitt größer ist als der Dampfdruck;
- Stellung des Ventils: Je weiter die Armatur stromaufwärts platziert wird, desto geringer ist die Gefahr, dass der Druck unter den Dampfdruck fällt;
- Undichtigkeiten bei geschlossenem Ventil: Es muss vermieden werden, dass bei geschlossener Armatur Undichtigkeiten auftreten, da die Flüssigkeit in diesem Fall schnell von einem Hochdruck- in einen Niederdruckbereich übergeht und dabei Kavitation entstehen kann;
- Durchflussmenge und Material: Kavitationsprobleme nehmen mit der Durchflussmenge zu und die Beschädigung des Ventils hängt von der Beständigkeit des Materials ab.

Wenn Sie Unterstützung oder eine Beurteilung benötigen, wenden Sie sich bitte an Ihre bekannte Kontaktperson bei Aliaxis.

2.5 Armaturauswahl und -merkmale

Wie im vorherigen Kapitel beschrieben haben Ventile die Aufgabe, den Durchfluss von Flüssigkeiten in Rohrleitungen zu unterbrechen oder zu regeln.

Ventile werden aus verschiedenen Kunststoffen hergestellt und sind je nach Art der Anwendung, in der sie zum Einsatz kommen, in verschiedenen Ausführungen erhältlich. Daher ist es äußerst wichtig, die am besten geeignete Armatur in Bezug auf die Betriebseigenschaften auszuwählen.

In diesem Kapitel versuchen wir, Ihnen bei der Auswahl des richtigen Ventils zu helfen, je nach Art des Mediums, der mechanischen Beanspruchung, die im System auftreten kann (wie z. B. Vibrationen und Wärmedehnung), den Sicherheitsanforderungen, oder je nachdem, ob Sie eine einfache Installation oder eine sehr präzise Regelung benötigen.

2.5.1 Flüssigkeitseigenschaften

Eigenschaften und Zustand der Prozessflüssigkeit sollten sorgfältig definiert werden, um den richtigen Ventiltyp auszuwählen, denn saubere Flüssigkeiten erlauben im Allgemeinen eine große Auswahl an Ventiltypen, während die Auswahl bei verunreinigten Flüssigkeiten eingeschränkt ist.

Unter sauberen Flüssigkeiten versteht man insbesondere Flüssigkeiten, die frei von Feststoffen oder Verunreinigungen sind, wie z. B. Luft, Stickstoff und andere industriell erzeugte Gase, Trink- und demineralisiertes Wasser, Dampf, Schmieröl, Dieselöl, Methanol und die meisten Dosier- und Einspritzchemikalien. Diese Flüssigkeiten sind im Allgemeinen weniger schädlich für die Ventile, was zu einer langfristigen Leistung und Zuverlässigkeit führt.

Als schmutzig werden Flüssigkeiten mit suspendierten Feststoffen bezeichnet, die die Leistung von Ventilen ernsthaft beeinträchtigen können, wenn nicht der richtige Typ gewählt wird. Sie können außerdem als allgemein abrasiv oder sandig klassifiziert werden.

Der Begriff Abrasiv weist auf das Vorhandensein von abrasiven Partikeln in Rohrleitungssystemen hin, wie z. B. Rohrrost, Zunder, Schweißschlacke, Sand, Katalysatorfeinstäube und Splitt.

Abrasivere Bedingungen treten häufig bei Bau-, Spül- und Leitungsräumarbeiten auf.

Als sandiger Betrieb werden schwere abrasive und erosive Bedingungen bezeichnet, die bei der Öl- und Gasförderung auftreten, wenn Formationssand aus dem Bohrloch mitgerissen wird.

Bei hohem Druckabfall und hoher Geschwindigkeit kann es zu einer starken Erosion von Ventilverkleidungen und -körpern kommen.

An dieser Stelle sei daran erinnert, dass Kugelhähne nur für saubere Medien empfohlen werden, während sie für schmutzige Medien ungeeignet sind, da sonst die Ansammlung von Feststoffen um die Kugel herum zur Erosion des Materials führt.

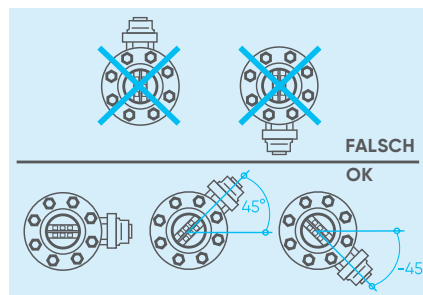
Dagegen sind Membranventile für korrosive, erosive und schmutzige Medien ideal geeignet.

Verschiedene Arten von Membranen aus EPDM, FKM oder PTFE können je nach Endanwendung eingesetzt werden, z. B. in chemischen Anlagen zur Behandlung von Schlämmen, viskosen oder chemisch aggressiven Flüssigkeiten.

Natürlich weisen diese Ventile Verschleißteile auf, die einer Abnutzung und Ermüdung unterliegen, so dass bei regelmäßigem Gebrauch eine Wartung erforderlich sein kann.

Absperrklappen können je nach Stellung der Klappe sowohl für saubere als auch für verschmutzte Medien eingesetzt werden, beispielsweise:

- Kann die Klappe zur Förderung sauberer Flüssigkeiten ohne Risiko mit dem Schaft senkrecht zur Rohrauflageebene positioniert werden;
- Bei der Förderung von verschmutzten oder mit Sedimenten belasteten Flüssigkeiten wird empfohlen, die Armatur so zu positionieren, dass der Schaft parallel zur Rohrauflageebene liegt, um die Ansammlung von Sedimenten an der Basis des Tellers zu vermeiden, oder den Schaft in einem Winkel von 45° zu neigen, wie in der nebenstehenden Abbildung dargestellt.



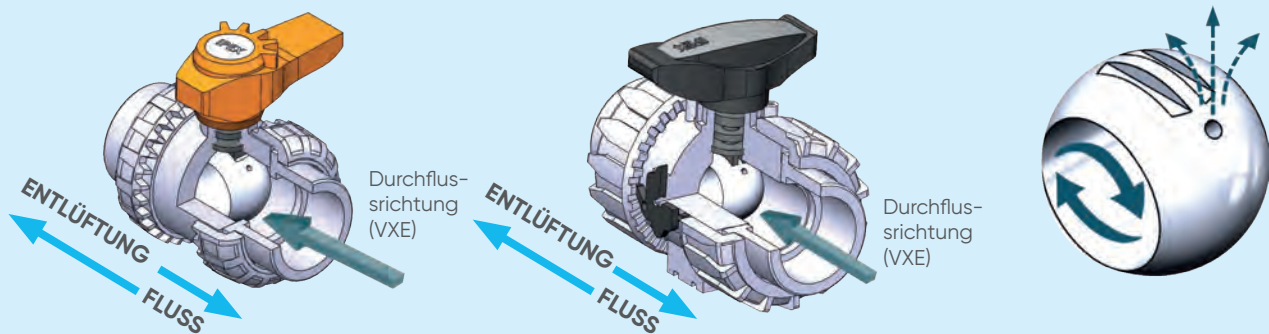
Um den Durchgang von Feststoffpartikeln in der Flüssigkeit zu begrenzen, ist es außerdem ratsam, den Schmutzfänger FIP RV zu verwenden. Im Inneren befindet sich ein leicht herausnehmbarer Filter, um die Reinigung oder den Austausch zu erleichtern.



Für einige Anwendungen mit flüchtigen Medien, wie z. B. Natriumhypochlorit oder Wasserstoffperoxid, können Kugelhähne mit einer Entlüftungsbohrung ausgestattet werden, die schlicht als Vertiefung in der Seite der Kugel ausgeführt ist.

Bei einem geschlossenen Kugelhahn wird das Medium im Hohlraum der Kugel eingeschlossen. Wird die Armatur jedoch nicht oft verwendet, beginnt diese eingeschlossene Flüssigkeit zu altern und kann sich zersetzen. Dieses Phänomen wird beschleunigt, wenn die Armatur Wärmequellen ausgesetzt ist.

Wenn sich beispielsweise Natriumhypochlorit zersetzt, wird bei der damit verbundenen Volumenausdehnung Gas freigesetzt. Dadurch kann im Hohlraum der Kugel ein Druck entstehen, der zum Versagen des Ventils oder zu einer Explosion führen kann.



In dieser gefährlichen Situation, wenn die Armatur geschlossen ist, kann die Flüssigkeit, die sonst eingeschlossen wäre, frei durch die Entlüftungsöffnung ein- und ausströmen, wie in der Abbildung zu sehen ist.

Um Ihre Armatur mit einer solchen Funktion auszustatten, wenden Sie sich bitte an Ihre bekannte Kontaktperson bei Aliaxis.

2.5.2 Mechanische Beanspruchung und Vibrationen

Bei der Auswahl eines Ventils müssen immer auch die in solchen Systemen häufig auftretenden mechanischen Probleme berücksichtigt werden, wie z. B. Spannung, Wärmedehnung und Vibrationen, die sich auf die korrekte Funktion des Ventils selbst auswirken.

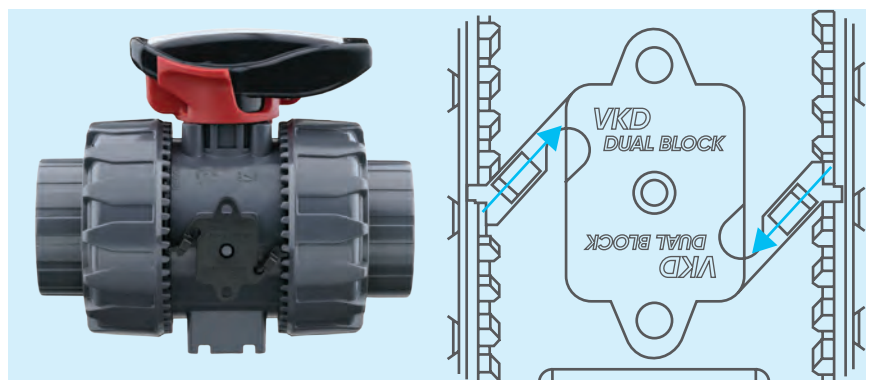
Um diese Probleme zu minimieren und zu lösen, hat FIP verschiedene Systeme und spezielle Funktionen entwickelt, mit denen unsere Ventile ausgestattet sind.

Die wesentlichsten sind im Folgenden beschrieben.

DUAL BLOCK® System



DUAL BLOCK® ist ein von FIP entwickeltes, patentiertes System, mit dem Sie die Überwurfmutter der radial ein- und ausbaubaren Kugelhähne in einer voreingestellten Position arretieren können.



Die Mutternsicherung erlaubt bei der Montage nur die Drehung der Mutter im Uhrzeigersinn und verhindert eine Drehung gegen den Uhrzeigersinn.

Nach dem Einbau des Ventils und dem Anziehen der Muttern verhindert das DUAL BLOCK®-System das unbeabsichtigte Lösen dieser Muttern: Die FIP VKD-Armatur eignet sich besonders für harte Arbeitsbedingungen, bei denen Vibrationen, Druckschwankungen oder thermische Ausdehnungen die Leistung herkömmlicher radial ein- und ausbaubarer Ventile beeinträchtigen können.

Das DUAL BLOCK®-System ermöglicht die Installation von radial ein- und ausbaubaren Kunststoffventilen in Chemieanlagen und Transportleitungen für gefährliche Flüssigkeiten. Es kombiniert die Flexibilität und einfache Montage eines radial ein- und ausbaubaren Ventils mit der Sicherheit eines robusten Flanschventils mit einteiligem Gehäuse.

Bei Rohren mit einem Nenndurchmesser von weniger als 63 mm ist die Demontage der Armatur aus der Rohrleitung einfach: das DUAL BLOCK®-System ausrasten, abnehmen und die Muttern durch Drehen gegen den Uhrzeigersinn lösen.

Wenn der Nenndurchmesser zwischen 65 mm und 100 mm liegt, wird der DUAL BLOCK®, wie in der nebenstehenden Abbildung dargestellt, durch Drehen des Knopfes nach links und Ausrichten des Pfeils auf das geöffnete Vorhängeschloss in die Freigabeposition gebracht. Die Ventilmuttern können sich frei im und gegen den Uhrzeigersinn drehen.

Durch Drehen des Knopfs nach rechts und Ausrichten des Pfeils auf das geschlossene Vorhängeschloss wird der DUAL BLOCK® in die verriegelte Position gebracht. Die Ventilmuttern sind in einer festen Position arretiert.



DIALOCK®-System

Das DIALOCK®-System besteht aus einem innovativen Handrad, das mit einer patentierten, sofortigen und ergonomischen Arretierung ausgestattet ist, mit der es in jeder gewählten Einstellposition verriegelt werden kann.

Handrad und Deckel bestehen aus PP-GR mit hoher mechanischer und chemischer Beständigkeit. Dies garantiert den vollständigen Schutz und die Isolierung aller inneren Metallteile gegenüber äußeren Einflüssen.



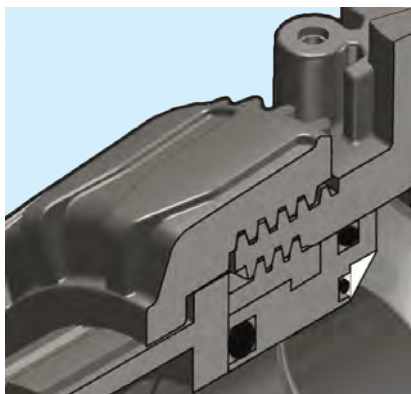
Durch einfaches Anheben des Handrades nach Erreichen der gewünschten Position wird der Handgriff blockiert, wie in der Abbildung des FIP DK-Membranventils dargestellt.



Zum Entriegeln wird das Handrad einfach nach unten gedrückt.

SEAT STOP®-System

Die Ventile FIP VKD und TKD nutzen das patentierte SEAT STOP®-System.



Der Kugelsitzträger besteht aus zwei Teilen, einem Außengewindestück für die Montage und einem Innenteil, in dem sich die Dichtungen befinden.

Dieser Sitzträger erlaubt es, kleine Mikroereinstellungen an der Ventilhalterung vorzunehmen.



Da ein versehentliches Lösen des Kugelträgers nicht möglich ist, kann der radiale Ausbau des Ventilgehäuses völlig gefahrlos vorgenommen werden.



Der Kugelträger kann nur mit Hilfe des Spezialwerkzeugs, das sich im Griff befindet, entfernt werden.

Führungswelle aus Edelstahl 316

FIP FK Absperrklappen, wie die in der nächsten Abbildung dargestellte, zeichnen sich durch eine Führungswelle aus AISI 316 Edelstahl aus.

Bei der Absperrklappe vom Typ FK ist die Führungswelle aus VA in der Klappenscheibe speziell gelagert, wobei der Austausch der Klappenscheibe gewährleistet wird und die Welle nicht mit dem Medium in Kontakt kommt. Der Edelstahl ASI 420 (1.4031) bietet dem Anwender eine längere Lebensdauer durch seine höhere Verschleißfestigkeit.

Die Hauptvorteile der Verwendung von rostfreiem Stahl für die Führungswelle gegenüber anderen Materialien liegen in der besseren mechanischen Leistung.



2.5.3 Sicherheit

Zur Vermeidung von Sicherheitsproblemen in einer Anlage, insbesondere bei der Verwendung gefährlicher Flüssigkeiten, ist es ratsam, Kennzeichnungssysteme oder Armaturen zu verwenden, die die Möglichkeit bieten, die behandelte Flüssigkeit oder die Betriebsbedingungen zu identifizieren.

Die wichtigsten Merkmale, nach denen eine Armatur ausgewählt werden kann, um Sicherheitsproblemen zu begegnen, sind die folgenden.

Kennzeichnungssystem

Oft ist es notwendig, eine Armatur durch Etikettierung oder Kennzeichnung zu individualisieren. Dieses System ermöglicht die Erstellung von speziellen Etiketten, die in den Griff eingefügt werden.

Dies macht es äußerst einfach, die Armatur in dem System entsprechend den spezifischen Anforderungen zu kennzeichnen, z. B. aus Sicherheitsgründen mit Angabe der Ventilfunktion in der Anlage oder der geförderten Flüssigkeit, aber auch mit spezifischen Informationen für den Kundendienst, wie den Kundennamen oder Datum und Ort der Installation.



Das spezifische LCE-Modul besteht aus einer transparenten, starren, wasserfesten PVC-U-Kappe, in der Abbildung mit dem Buchstaben **A** gekennzeichnet, sowie einem weißen Etikettenträger aus demselben Material, der mit dem Buchstaben **B** gekennzeichnet ist.

Der Etikettenträger kann leicht entnommen werden, um ihn auf seiner unbedruckten Seite individuell zu beschriften.

Das Modul LCE EASY FIT® ist für die FIP-Kugelhahnmodelle VEE, VXE, SXE, für die FIP-Absperrklappenmodelle FE, FK und für FIP VKD DUAL BLOCK®-Kugelhähne mit großer Bohrung erhältlich.



Das Membranventil FIP DK ist mit einem Plättchen ausgestattet, das je nach den spezifischen Anforderungen individuell beschriftet werden kann.



Die Anbringung eines Kennzeichnungsschildes an das Ventilgehäuse ist möglich.

Doppelter O-Ring an der Führungswelle

Unsere Industrie-Kugelhähne, wie z. B. VKD, VXE und VKR, zeichnen sich durch eine Führungswelle mit hoher Oberflächengüte, doppeltem O-Ring und doppelter Passfederverbindung zur Kugel (nur bei VKD und VKR) aus. Der doppelte O-Ring wird aus EPDM oder FKM hergestellt.

Die FKM-Dichtung ist für ihre hohe Temperaturbeständigkeit bekannt, während sich die EPDM-Dichtung durch ihre hohe hydraulische Dichtleistung auszeichnet.

DUAL BLOCK®-System

Dieses System lässt bei der Installation nur die Drehung der Mutter im Uhrzeigersinn zu und verhindert eine Drehung gegen den Uhrzeigersinn. Daher ist es die perfekte Lösung für den Transport gefährlicher Flüssigkeiten, um mögliche Verluste zu vermeiden.

Weitere Informationen finden Sie bei der Auswahl des Ventils nach mechanischer Beanspruchung.

2.5.4 Manipulationsschutz

Um zu verhindern, dass Sicherheitsprobleme wie Manipulationen oder unerwünschte Eingriffe in das System auftreten, wird empfohlen, eine Armatur mit den folgenden Merkmalen zu wählen.

DIALOCK®-System

Dieses System kann sehr nützlich sein, denn sobald die gewünschte Position des Griffs erreicht ist, genügt ein einfaches Anheben des Handrads, um den Griff zu verriegeln.

Weitere Informationen finden Sie bei der Auswahl des Ventils nach mechanischer Beanspruchung.



Verriegeln:
Durch eine Verriegelung neben dem Griff wird das Verstellen von FIP VKD-Kugelhähnen, FK-Absperrklappen und DK-Membranventilen verhindert.

2.5.5 Einfache Installation

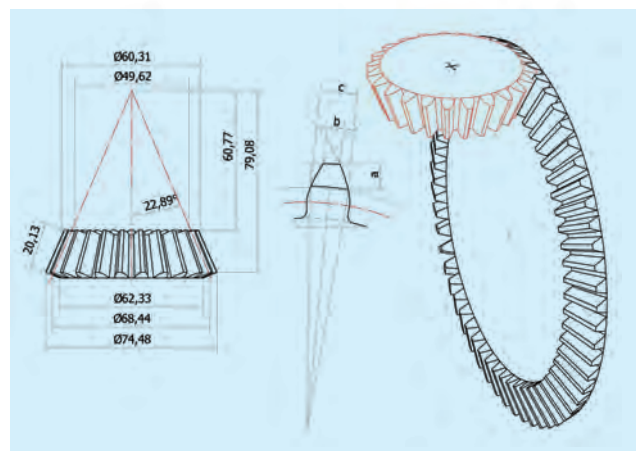
EASY FIT®-System



Das EASY FIT®-System für VEE- und VXE-Ventile wurde von FIP und Giugiaro Design entworfen und entwickelt.

Es handelt sich um einen innovativen radial ein- und ausbaubaren Kugelhahn mit Getriebe, der eine fortschrittliche Installationsmethode für einen langstörungsfreien Betrieb bietet.

Bei der Konstruktion dieses Mechanismus, der die Drehung der Überwurfmutter beim Einbau des Ventils kontrolliert, wurde das Prinzip des Kegelradpaares angewandt.



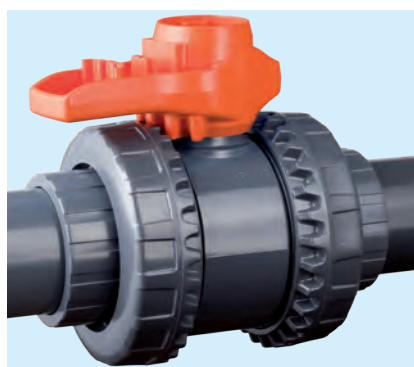
Dank der Drehmomentumsetzung lassen sich die Überwurfmutter des Ventils leicht und sicher anziehen oder lösen, ohne die Gewindeteile der Ventile und der Rohrleitungsanschlüsse zu überlasten.

Der EASY FIT®-Mechanismus kann sich bei einer Vielzahl von Rohrleitungsauslegungen als sehr nützlich erweisen, insbesondere bei beengten Platzverhältnissen, da der Ventilschaft der Drehpunkt des Kegelradgetriebes ist.

Der Multifunktionsgriff ist das Antriebswerkzeug, das auf die Schaftachse aufgesetzt wird und mit dem die Überwurfmutter gedreht werden, um sie anzuziehen oder zu lösen.

Die beste Lösung zur Durchführung von Wartungsarbeiten in engen Räumen mit eingeschränktem Zugang zum Einbauort des Ventils. Es wird immer empfohlen, eine allmähliche Kompression der O-Ring-Dichtungen zu gewährleisten und zu vermeiden, dass ungeeignete Werkzeuge die Überwurfmutter beschädigen oder Flüssigkeit austreten kann.

Der Griff kann auch zum Einstellen des Kugelsitzhalters verwendet werden, wie in den folgenden Abbildungen gezeigt wird.



FIP hat auch diese Ventilreihe erweitert und das Produktportfolio durch Kugelhähne mit DN 65-100 vervollständigt.

In diesem Fall besteht der Griff aus einer fest mit dem Ventilschaft verbundenen zentralen Nabe, einem Doppelspeichengriff, der mit einem einfachen Handgriff von der Nabe gelöst werden kann, und einem im Griff untergebrachten Hakeneinsatz, der als Schlüssel zum Festziehen der Überwurfmuttern verwendet wird.

Auch hier garantiert die Benutzung des Griffs eine einwandfreie hydraulische Abdichtung und verhindert eine versehentliche Beschädigung der Überwurfmuttern durch ungeeignete Werkzeuge.

Insbesondere dient der Griff, nachdem er wie in der Abbildung gezeigt von der Nabe gelöst wurde, als Schlüssel zum Anziehen oder Lösen der Überwurfmuttern.

Dazu muss der darin befindliche Einsatz herausgenommen, umgedreht und in den entsprechenden Sitz eingerastet werden.



Das so zusammengesetzte Werkzeug ist dank der Finite-Elemente-Methode (FEM) extrem robust und leicht zugleich und bietet einen hervorragenden ergonomischen Griff.

Dieser Einsatz greift perfekt in das Außenprofil der Überwurfmuttern ein und ermöglicht es, ein hohes Drehmoment auszuüben, ohne die Muttern zu beschädigen.



2.5.6 Präzise Regelung

VKR DUAL BLOCK®-Armatur

FIP VKR DUAL BLOCK®-Ventile vereinen die typische Zuverlässigkeit und Sicherheit von VKD-Kugelhähnen mit großer Bohrung mit einer präzisen, wiederholgenauen Durchflussregelung, die den extremsten Anforderungen industrieller Anwendungen gerecht wird.

Die patentierte Kugelkonstruktion sorgt für eine lineare Durchflussregelung über den gesamten Betriebsbereich, selbst wenn die Armatur nur wenige Grad geöffnet ist, und garantiert minimale Druckverluste.

Eines seiner Hauptmerkmale ist der Griff mit einer Scheibe, die die Ventilstellung auf einer Skala mit 5°-Teilung anzeigt, um ein genaues und einfaches Ablesen zu ermöglichen, wie auf der nebenstehenden Abbildung dargestellt.



2.6 Entlüftung von Rohrleitungen

Eingeschlossene Luft in einer Rohrleitung kann unter Umständen zu Problemen führen. In diesem Kapitel gehen wir ausführlich auf die Ursachen von Lufteinschlüssen und deren Vermeidung ein.

2.6.1 Lufteinschlüsse: Quellen und Ursachen

Lufteinschlüsse in Druckleitungen sind ein viel erforschtes und diskutiertes Thema. Für Konstrukteure stellen sie ein echtes Problem dar. Aus diesem Grund müssen sie die Auswirkungen und Methoden zur Minderung der mit Lufteinschlüssen verbundenen Gefahren verstehen.

Das Verhalten von Luft in einem Rohrleitungssystem ist nicht leicht zu analysieren, aber die Folgen können katastrophal sein.

Die potenziellen Ursachen für Lufteinschlüsse in Rohrleitungen können vielfältig sein und meist sind mehrere Quellen in einem System dafür verantwortlich. Die wahrscheinlichste Ursache liegt in der Befüllung, entweder bei der Erstbefüllung oder beim Wiederbefüllen nach einer Entleerung. In einigen Systemen tritt jedes Mal, wenn die Pumpen abgeschaltet werden, erneut Luft ein, da die Rohrleitungen durch tief liegende Sprinkler oder offene Ventile entleert werden.

Luft gelangt häufig an der Stelle in das System, an der das Wasser eintritt. Dieses Problem tritt besonders häufig bei komplett mit Wasser gefüllten Leitungen auf, kann aber auch bei gepumpten Systemen auftreten.

Auch bei Wasser, das aus Tiefbrunnen gepumpt wird, kann Luft aus dem Kaskadenwasser im Brunnen eindringen.

Eine weniger offensichtliche Ursache für Lufteinschlüsse ist die Freisetzung von gelöster Luft im Wasser aufgrund von Temperatur- und/oder Druckänderungen. Die Mengen mögen in diesem Fall gering sein, aber eine Anhäufung im Laufe der Zeit kann zu Problemen führen.

Es kommt auch häufig vor, dass Luft durch mechanische Entlüftungsventile oder Vakuum-Rückschlagventile eindringt, wenn der Druck unter den Atmosphärendruck fällt. Dies kann beim Abschalten der Pumpe oder bei Unterdruckstößen der Fall sein.

Luft in einem Rohrleitungssystem neigt dazu, sich bei geringem Durchfluss oder statischen Bedingungen an hoch gelegenen Stellen zu sammeln. Mit zunehmender Strömungsgeschwindigkeit kann die Luft von dem fließenden Wasser mitgerissen und durch die Rohrleitung gepresst werden. Sie sammelt sich dann an den extremen Hochpunkten und verringert dort den für den Durchfluss verfügbaren Querschnitt. Diese Lufteinschlüsse verursachen so Strömungshindernisse, die die Effizienz und Leistung des Systems verringern.

Mit zunehmender Größe eines solchen Lufteinschlusses nimmt die Geschwindigkeit hinter diesem Punkt zu, bis die Luft schließlich zu einem Austrittspunkt befördert wird. Während Querschnittsverengungen ein Problem darstellen, kann eine wesentlich ernstere Situation entstehen, wenn Luft unter hohem Druck schnell aus dem System entweicht.

Zur Veranschaulichung: Wasser ist bei 7 bar etwa fünfmal dichter als Luft. Wenn also ein unter hohem Druck stehender Lufteinschluss einen Austrittspunkt erreicht, z. B. einen Sprinklerkopf oder ein Entlüftungsventil, entweicht er sehr schnell. Beim Entweichen strömt Wasser nach, um den entstandenen Hohlraum zu füllen.

Wenn das Wasser die Öffnung erreicht, nimmt die Geschwindigkeit schlagartig ab. Bei dem oben genannten Druck von 7 bar entweicht die Luft etwa fünfmal schneller als das Wasser.

Das Ergebnis ist vergleichbar mit dem plötzlichen Schließen eines Ventils, mit dem Unterschied, dass die Geschwindigkeitsänderung die normale Fließgeschwindigkeit in der Rohrleitung weit übersteigen kann. Dieses Verhalten wurde an der Colorado State University, USA, getestet, wobei festgestellt wurde, dass der Druck bis auf das 15-fache des Betriebsdrucks ansteigt, wenn eingeschlossene Luft schnell unter Druck aus dem System entweicht. Solche Druckstöße können die Belastbarkeit der Systemkomponenten leicht übersteigen, und selbst in geringeren Größenordnungen führen wiederholte Druckstöße mit der Zeit zu einer Schwächung des Systems.

2.6.2 Umgang mit Lufteinschlüssen

Um Probleme durch Lufteinschlüsse zu vermeiden, sollte natürlich verhindert werden, dass Luft überhaupt in das System eindringen kann. Daher sollten entsprechende Vorkehrungen getroffen werden, um ein solches Eindringen von Luft zu verhindern. Wenn Systeme befüllt werden, entweder bei der Erstbefüllung oder nach einer Entleerung zur Überwinterung oder Reparatur, sollte dies langsam geschehen, mit einer Geschwindigkeit von 0,3 m/s oder weniger, und die Luft sollte an den hoch gelegenen Stellen abgelassen werden, bevor das System mit Druck beaufschlagt wird. Aber auch wenn alle diese Vorsichtsmaßnahmen getroffen wurden, kann etwas Luft im System verbleiben.

Um diese noch verbliebene oder durch den Prozess neu hinzukommende Luft zu entfernen, sollten ein oder mehrere Entlüftungsventile, die ständig in Betrieb sind, in die Leitung integriert werden. Beispielsweise könnten manuelle Entlüftungsventilen wie z. B. Kugelhähne verwendet werden. Diese Maßnahme ist jedoch nicht ideal, da strategisch angeordnete manuelle Entlüftungsventile die eingeschlossene Luft bei der Inbetriebnahme zwar aus dem System entfernen können, jedoch bei ständig wieder auftretenden Problemen mit Lufteinschlüssen keine automatische oder effektive Lösung darstellen. Darüber hinaus führen manuell betätigte Entlüftungsvorrichtungen unweigerlich zu einem Austreten von Flüssigkeit, was (je nach dem beförderten Medium) eine Verunreinigung der Räumlichkeiten oder Verletzungen des Bedienpersonals zur Folge haben kann.

Um einen wirksamen Umgang mit eingeschlossener Luft zu gewährleisten, sollten ständig in Betrieb befindliche Ventile die bevorzugte Wahl sein. Kontinuierlich arbeitende Ventile enthalten einen Schwimmermechanismus, der auch bei druckbeaufschlagter Leitung die Entlüftung durch eine kleine Öffnung ermöglicht.

Auf dem Markt sind auch kombinierte Entlüftungs-/Vakuum-Rückschlagventile erhältlich. Diese Produkte haben eine doppelte Funktion. Beispielsweise kann beim Befüllen eines Tanks die eingeschlossene Luft entweichen und Flüssigkeit ohne Behinderung durch Lufteinschlüsse nachströmen. In umgekehrter Richtung, d. h. beim Entleeren eines Tanks, öffnet der Ventilschließmechanismus die Armatur, so dass Luft einströmen und das zuvor von der Flüssigkeit gehaltene Volumen ersetzen kann, wodurch die Bildung eines potenziell schädlichen Vakuums verhindert wird.

Aliaxis bietet das FIP VA-Entlüftungsventil an, ein Entlüftungs-/Vakuum-Rückschlagventil in verschiedenen Größen. Dabei ist zu beachten, dass die Öffnungs- und Schließfunktionen dieses „intelligenten“ Ventils mediengesteuert sind, nicht wie bei anderen Entlüftungsventilen druckgesteuert.

Diese Funktion bietet mehrere Vorteile: Es ist kein Mindestdruck oder -vakuum erforderlich, um die Armatur zu öffnen oder zu schließen, so dass die Reaktionsfähigkeit unter allen Bedingungen gewährleistet ist und die Gefahr des Austritts von Flüssigkeiten ausgeschlossen ist.

Es muss darauf hingewiesen werden, dass die FIP-VA-Armatur nicht für unter Druck stehendes Gas verwendet werden kann.

Die Durchflussmenge durch die Armatur ist in der folgenden Tabelle angegeben.

DN	VA FIP
15	12 Nm ³ /h
20	23 Nm ³ /h
25	45 Nm ³ /h
32	70 Nm ³ /h
40	90 Nm ³ /h
50	345 Nm ³ /h



2.7 Konstruktion von Rohrleitungssystemen für Vakuumbedingungen

In einigen Fällen sind Rohrleitungssysteme einem von außen einwirkenden Druck ausgesetzt, der im Allgemeinen als Beuldruck bezeichnet wird. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn sich die Anlage unter Wasser befindet, wenn Rohrleitungssysteme unterirdisch verlegt werden oder wenn sie als Saugrohre für Unterdruck eingesetzt werden.

Die mechanische Belastung bei absolutem Vakuum entspricht einem differentiellen Teilvakuum von 1 bar, d. h. der Druck an der Rohrinnenwand ist bei normalem atmosphärischem Druck um 1 bar geringer als der Druck an der Außenwand.

Mit der folgenden Formel kann der Beuldruck für ein zylindrisches Rohr berechnet werden:

$$p_k = \frac{10 * E_c}{4 * (1 - \mu^2)} * \left(\frac{t}{r}\right)^3$$

wobei:

p_k = Kritischer Beuldruck (bar)

E_c = Kriechmodul (N/mm²)

μ = Poissonzahl, üblicherweise für Thermoplaste für eine Lebensdauer von 25 Jahren $\mu=0,4$

t = Wanddicke (mm)

r = Mittlerer Rohrradius (mm)

Die Beulspannung kann wie folgt berechnet werden:

$$\sigma_k = p_k * \frac{r}{t}$$

wobei:

σ_k = Beulspannung (bar)

p_k = Beuldruck (bar)

r = Mittlerer Rohrradius (mm)

t = Wanddicke (mm)

Bei diesen Berechnungen wurden etwaige Abweichungen in Bezug auf Rundheit und Exzentrizität nicht berücksichtigt. Außerdem können für Systeme, die einem von außen einwirkenden Druck ausgesetzt sind, natürlich nur druckbeständige Rohre verwendet werden. Dünnere Rohre sind für diese Bedingungen nicht geeignet.

2.8 Konstruktion von Rohrleitungssystemen für Druckluft

Bisher haben wir uns mit Systemen befasst, die Flüssigkeiten transportieren. In diesem Kapitel gehen wir nun auf Systeme ein, die Gas befördern, insbesondere Druckluft.

Was ist Druckluft?

Luft ist ein Gasgemisch, d. h. sie besteht aus vielen Gasen, hauptsächlich aus Stickstoff (78 %) und Sauerstoff (21 %) sowie aus Wasserdampf, Kohlendioxid und anderen Gasen (1 %).

Druckluft ist atmosphärische Luft, deren Volumen durch einen Kompressor oder eine Pumpe reduziert und in einem Behälter unter Druck gesetzt wird.

Luft zu komprimieren bedeutet, sie in einen kleineren Raum zu zwingen, die Moleküle in eine sehr schnelle Bewegung zu versetzen und sie einander anzunähern. Luft hat nämlich, wie alle anderen Gase auch, keine eigene Form, sondern passt sich dem Behälter an.

Das von der Luft eingenommene Volumen hängt von dem Druck und der Temperatur ab, denen sie nach den Gasgesetzen ausgesetzt ist.

Insbesondere das erste Gesetz von Gay-Lussac besagt, dass das Volumen eines Gases bei konstantem Druck direkt proportional zur absoluten Temperatur des Gases ist, wie folgt, wobei $p = \text{const}$ gilt:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Das zweite Gesetz von Gay-Lussac besagt, dass der Druck eines Gases bei konstantem Volumen direkt proportional zur absoluten Temperatur des Gases ist.

Die Formel lautet wie folgt, wenn $V = \text{const}$:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

Das Gesetz, das die Beziehung zwischen dem Volumen eines idealen Gases und dem Druck beschreibt, ist das Boyle-Mariotte-Gesetz.

Danach ist das Volumen einer in einem Behälter bei konstanter Temperatur eingeschlossenen Menge eines idealen Gases umgekehrt proportional zum absoluten Druck.

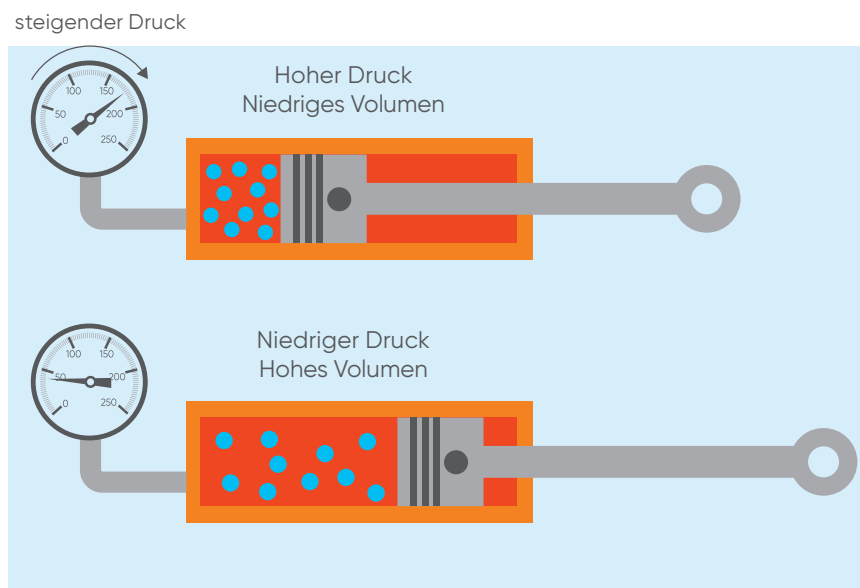
Unter Berücksichtigung von $T = \text{const}$ lautet die Formel wie folgt:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

Wie in der nebenstehenden Abbildung dargestellt, drückt ein Kolben die Luft in einem Zylinder nach unten. Wenn man das Gas in einen Behälter gibt und es einem allmählich ansteigenden Druck aussetzt, verringert sich das Volumen und die Moleküle nähern sich einander mit einer schnellen Bewegung an.

Kombiniert man die drei Gasgesetze miteinander, ergibt sich experimentell, dass die folgende Beziehung gilt:

$$\frac{p_1}{T_1} V_1 = \frac{p_2}{T_2} V_2$$



Da die Temperatur direkt proportional zur kinetischen Energie ist, bewirkt die Bewegung der Moleküle durch die Kompression eine Temperaturerhöhung.

Auf diese Weise ist die beim Verdichten freiwerdende Energie gleich der Energie, die benötigt wird, um die Luft in einen bestimmten Raum zu zwingen, weshalb Druckluft ein hervorragendes Mittel zum Speichern und Übertragen von Energie ist.

Sie wird in der verarbeitenden Industrie immer häufiger eingesetzt, da sie im Vergleich zu anderen Energiequellen wie Batterien und Dampf deutliche Vorteile hinsichtlich Sauberkeit, Flexibilität, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit bietet.

Tatsächlich kann eine Überlastung elektrischer Geräte ein Sicherheitsrisiko darstellen, während Druckluftwerkzeuge unter verschiedensten Bedingungen, z. B. in Nassbereichen, eingesetzt werden können.

Druckluftsystem

Ein Druckluftsystem muss so gesteuert, geregelt und dimensioniert sein, dass eine ausreichende Luftmenge mit einem bestimmten Druck und einer bestimmten Reinheit gewährleistet ist.

Die Konstruktion unterscheidet sich erheblich von der eines Systems mit nicht komprimierbaren Flüssigkeiten, da bei komprimierbaren Gasen mehr Variablen zu berücksichtigen sind.

Insbesondere sollte das Druckluftsystem aktuelle und zukünftige Anforderungen berücksichtigen, um das Verhältnis zwischen Kosten und Effektivität zu maximieren. So sollten beispielsweise Druckverluste in den Rohrleitungen auf ein absolutes Minimum beschränkt werden, da sie nicht rückgängig gemacht werden können, sondern lediglich einen Energie- und Finanzverlust darstellen.

Da Druckluft aus praktischer Sicht niemals rein ist, sondern Verunreinigungen unterschiedlicher Art und physikalischer Beschaffenheit enthält, müssen vor der Planung des Systems die Art und Menge dieser Verunreinigungen bestimmt werden, um zu entscheiden, welche Geräte zu ihrer Reduzierung oder Entfernung erforderlich sind.

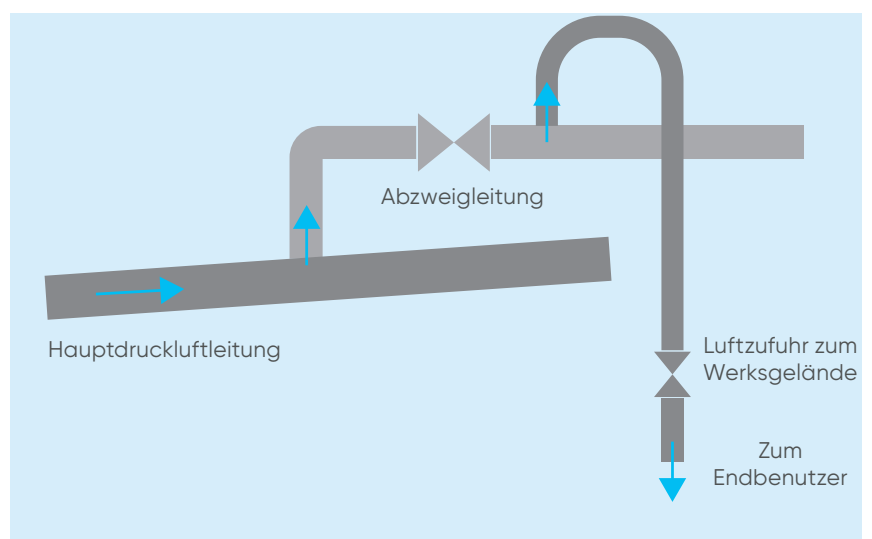
Es ist also zu bedenken, dass in der Regel Verunreinigungen vorhanden sind, die sich gegenseitig beeinflussen und zu Verbindungen vermischen:

- **Wasser:** Ist in der atmosphärischen Luft in Form von Wasserdampf vorhanden. Wenn die Luft komprimiert wird, erhöht sich der Partialdruck des Wasserdampfs. Aufgrund des durch die Kompression verursachten Temperaturanstiegs entsteht jedoch keine Kondensation. Wird die Luft anschließend abgekühlt, kondensiert das Wasser und geht in den flüssigen Zustand über. Es muss bedacht werden, dass Feuchtigkeit Korrosion verursachen und das Endprodukt beschädigen kann.
- **Öl:** Bei geschmierten Kompressoren wird die Luft unweigerlich mit Öl verunreinigt, aber auch die von ungeschmierten Kompressoren erzeugte Luft kann Spuren von Öl aus der Atmosphäre enthalten.
- **Feststoffpartikel:** Feststoffe mit einer Größe von weniger als 10 Mikrometern können von Saugfiltern nicht zurückgehalten werden und gelangen daher in den Druckluftkreislauf. Diese Verunreinigung tritt bei jeder Art von Kompressor auf.

Für die Beförderung von komprimiertem Gas bietet Aliaxis zwei spezielle Produktlinien an: GIRAIR und AIRLINE. In korrekt ausgelegten Druckluftsystemen werden zwei Arten von Rohrleitungen verwendet: Hauptleitung und Nebenleitungen.

Die Hauptleitung dient zur Beförderung des Großteils der Druckluft.

Wenn diese Leitung zu klein ist, ist die Luftgeschwindigkeit sehr hoch. So ist es schwierig, Wasser und Luft zu trennen, da ein Großteil des kondensierten Dampfes, der als Wasser am Boden des Rohres entlangläuft, durch den schnell fließenden Luftstrom aufgewirbelt wird.



Bei einem großen Durchmesser werden die Geschwindigkeiten verringert, so dass sich das Wasser am Boden des Rohrs sammeln kann, während die Luft darüber fließt. Eine Überdimensionierung führt daher zu höheren Anfangsinvestitionen, aber größere Rohre sind vorteilhaft, da sie als Sammelbehälter für die Luft fungieren und so die Belastung des Kompressors verringern und Kapazität für einen erhöhten künftigen Bedarf bieten.

Im Allgemeinen lassen sich für die Hauptverteilerleitung übermäßige Druckabfälle und Energieverluste durch eine Begrenzung der Luftgeschwindigkeit auf maximal 33 l/min vermeiden.

Andererseits sind Nebenleitungen relativ kurz. Da das Kondenswasser in den Hauptleitungen abgesehen wird, ermöglichen kleinere Nebenleitungen höhere Geschwindigkeiten und Druckverluste.

Hier ist ein als Schwanenhals ausgeführtes Formstück unverzichtbar, da es verhindert, dass Wasser in die Nebenleitung eindringt, indem es Luft aus dem oberen Teil der Hauptleitung ansaugt und das Kondenswasser am Boden zurückbleibt.



Um das System zu entwerfen und die richtige Rohrgröße zu bestimmen, sind abschließend die folgenden Angaben erforderlich:

- Die Gesamtdurchflussmenge aller luftverbrauchenden Geräte: Es ist von grundlegender Bedeutung, die Luftmenge und den Druckbereich zu bestimmen, die an jedem Ort verwendet werden. Informationen über Druck und Durchflussmenge für Geräte wie Werkzeuge erhalten Sie vom jeweiligen Hersteller. Wenn sie nicht bekannt sind, legen Sie vorläufige Werte fest, bis die spezifischen Werte ermittelt werden können;
- Der maximale Arbeitsdruck: Dies ist der maximale Druck im Dauerbetrieb, für den die Systeme GIRAIR oder AIRLINE ausgelegt wurden. Er hängt von der Temperatur der beförderten Flüssigkeit und/oder der Umgebungstemperatur ab, die in der direkten Umgebung der Anlage herrscht. Erhöhte Temperaturen verringern den Elastizitätsmodul der für die Herstellung des Systems verwendeten Materialien, was wiederum die Widerstandsfähigkeit gegen hydrostatischen Druck verringert. Die folgende Tabelle gibt den maximal anwendbaren Betriebsdruck für GIRAIR- und AIRLINE-Systeme nach unterschiedlichen Temperaturen an:

Umgebungs- oder Flüssigkeitstemperatur	Maximaler Betriebsdruck
0 °C - 25 °C	12,5 bar
25 °C - 40 °C	10 bar

- Einschaltdauer, d. h. die Zeit, die das jeweilige Werkzeug oder Verfahren in einem Zeitraum von einer Minute tatsächlich in Gebrauch ist;
- Leckagen und künftige Erweiterungsmöglichkeiten: Leckagen ergeben sich aus der Anzahl und der Art der Verbindungen, der Verwendung von Trennvorrichtungen, dem Alter des Systems und der Qualität des ursprünglichen Montageprozesses. Ein gut gewartetes Druckluftsystem weist eine zulässige Leckagerate von 2-5 % auf. Es ist auch notwendig, einen Spielraum für künftige Erweiterungen zu schaffen. Daher sollte die Möglichkeit der Überdimensionierung einiger Komponenten in Betracht gezogen werden, um Kosten für einen späteren Austausch einzusparen;
- Zulässige Druckabfälle für das gesamte System;
- Korrekturen von Höhe, Temperatur und Entfernung von Verunreinigungen;
- Ein Ort, an dem ausreichend Platz für den Druckluftkompressor und die Zusatzgeräte zur Verfügung steht: Prozess, Arbeitsplatz oder das Druckluft nutzende Gerät sollten in einem Plan vermerkt und eine vollständige Liste erstellt werden, um die Dokumentation zu vereinfachen;
- Erstellung eines endgültigen Rohrleitungsplans und Dimensionierung des Rohrleitungsnetzes; bestimmen Sie für jedes Gerät die Anforderungen an die Systemkonditionierung: Dies umfasst den zulässigen Feuchtigkeitsgehalt, die Partikelgröße und den Ölgehalt. Entscheiden Sie, ob das System möglicherweise eine Zusatzausrüstung wie Trockner, Filter, Öler und Druckregler benötigt.

Bei Bedarf wenden Sie sich bitte an Ihre bekannte Kontaktperson bei Aliaxis.



WARNUNG: Verwenden Sie für Druckluft auf keinen Fall PVC-U und PVC-C

Verwenden Sie zur Beförderung von Druckluft niemals Rohre und Formstücke aus PVC-U und PVC-C. Setzen Sie PVC-U und PVC-C-Materialien nur für Wasser und zugelassene Chemikalien ein. Dafür gibt es zwei Hauptgründe:

- Wenn PVC-Rohre Belastungen ausgesetzt werden, denen sie nicht standhalten, können sie brechen und durch umherfliegende Kunststoffsplitter schwere Verletzungen oder den Tod verursachen.
- PVC-U-Rohre können bei Minusgraden spröde werden und viel leichter zerbrechen als üblich. Daher dürfen keine komprimierten Gase hindurchgeleitet werden.
- Greifen Sie zur Beförderung von Druckluft auf die Girair- und Airline-Systeme zurück.

2.9 Auswahl des Durchflussmessers

Die Messung des Durchflusses in einer Rohrleitung ist aus verschiedenen Gründen wichtig, z. B. um das ordnungsgemäße Funktionieren industrieller Prozesse zu überprüfen oder um die Energiekosten zu kontrollieren.

Dies geschieht am besten durch die Installation von Durchflussüberwachungssystemen, die genaue und zuverlässige Daten für einen reibungslosen Betrieb liefern und eine Prozesssteuerung in Echtzeit sowie eine vorausschauende Wartung ermöglichen.

Insbesondere liefert Aliaxis eine komplette, zu FLS gehörige Produktlinie, die entwickelt wurde, um zuverlässige und konsistente Eingaben für eine Vielzahl von Anwendungen zur Messung von Durchfluss, pH-Wert, Leitfähigkeit und Redox-Potential zu liefern.

In diesem vorliegenden Kapitel konzentrieren wir uns auf die Durchflussmessung anhand von Durchflussmessgeräten. Sie sind im Wesentlichen in drei Ausführungen erhältlich:

- Durchflusssensoren zum Einsetzen;
- Inline-Durchflusssensoren;
- Schwebekörper-Durchflussmesser.

2.9.1 Konstruktion des Durchflussmessers

2.9.1.1 Durchflusssensoren zum Einsetzen

Diese Technologie basiert auf Flüssigkeitgeschwindigkeitsmessern, die in einem zylindrischen, geraden Rohr installiert und zur Messung der lokalen Durchflussgeschwindigkeit (V_m) verwendet werden, um die mittlere Geschwindigkeit (V_a) und den volumetrischen Durchfluss (Q_v) zu berechnen.

Diese Durchflusssensoren werden theoretisch durch fluiddynamische Gesetze unterstützt, die auf jedes Rohr mit kreisförmigem Querschnitt anwendbar sind, wenn eine voll entwickelte turbulente Strömung vorliegt, d. h. wenn die Reynoldszahl größer als 4.500 ist.

Diese Gesetze beschreiben die Beziehung zwischen der gemessenen lokalen Geschwindigkeit und der durchschnittlichen Fließgeschwindigkeit, die durch den Profilkoeffizienten (F_p) nach der folgenden Formel ausgedrückt wird:

$$F_p = \frac{V_a}{V_m}$$

wobei:

F_p = Profilkoeffizient

V_a = Mittlere Geschwindigkeit (m/s)

V_m = Lokale Durchflussgeschwindigkeit (m/s)

Unter Verwendung des oben genannten Faktors:

$$Q = \frac{V_a \cdot D_i^2}{4} = \frac{F_p \cdot V_m \cdot D_i^2}{4}$$

wobei:

Q = Durchfluss im Inneren des Rohrs (m^3/s)

V_a = Mittlere Geschwindigkeit (m/s)

V_m = Lokale Durchflussgeschwindigkeit (m/s)

D_i = Innendurchmesser des Rohrs (m)

Der geeignete Messpunkt für die Durchflussgeschwindigkeit wird als „kritische Position“ bezeichnet. Der Geschwindigkeitssensor wird an einer bestimmten Stelle eingesetzt, an der die lokale Geschwindigkeit der mittleren Geschwindigkeit entspricht ($V_a = V_m$ und $F_p = 1$). Diese Stelle entspricht 12 % des Innendurchmessers.

Die wichtigsten Merkmale der Einsetztechnik sind:

- Bei allen Durchflusssensoren zum Einsetzen handelt es sich um geschwindigkeitsabhängige Durchflussmessgeräte;
- Für die Installation ist in der Regel nur ein kleines Loch im Rohr für die senkrechte Montage des Sensors erforderlich;
- Die Abmessungen des Sensors sind nicht rohrgrößenspezifisch, da sie unabhängig vom Rohrquerschnitt sind.

Die drei wesentlichen Arten von Durchflusssensoren zum Einsetzen sind:

Flügelradsensoren

Diese Durchflusssensoren bestehen aus einem Messwertaufnehmer und einem ECTFE-Flügelrad mit fünf Flügeln und offener Zelle, das auf einer orthogonal zur Durchflussrichtung verlaufenden Keramikwelle befestigt ist.

Der Sensor wird mit einer breiten Auswahl an Einsteckfittings von FLS in das Rohr eingebaut.

Ein Beispiel für einen Flügelradsensor ist in der nebenstehenden Abbildung dargestellt.

Das Flügelrad ist mit einem in jedem Flügel integrierten Permanentmagneten ausgestattet.

Passiert ein Magnet den Wandler, wird ein Impuls erzeugt. Wenn also Flüssigkeit in das Rohr fließt, wird das Flügelrad in Drehung versetzt und erzeugt ein Ausgangssignal.

Die Frequenz ist proportional zur Durchflussgeschwindigkeit gemäß der folgenden Gleichung:

$$Q = \frac{f}{K_{factor}}$$

wobei:

Q = Durchflussmenge (l/s)

f = Frequenz (1/s)

Der K-Faktor (1/l) gibt die Anzahl der Impulse an, die von einem Sensor pro Liter gemessener Flüssigkeit erzeugt werden. Er ist der Umrechnungswert, der festgelegt werden muss, um die Sensorausgabe (Frequenz) in einen Durchfluss umzuwandeln.

Die in den Tabellen des FLS-Katalogs enthaltenen K-Faktoren beziehen sich auf Wasser bei Raumtemperatur, doch wenn Sensoren zur Messung einer anderen Flüssigkeit eingesetzt werden, ist es selbstverständlich erforderlich, eine Kalibrierung vor Ort durchzuführen.

Da Rotor und Welle in direktem Kontakt mit der Flüssigkeit stehen, muss bei der Wartung darauf geachtet werden, mit welcher Flüssigkeit sie in Berührung kommen.

Da jede Flüssigkeit unterschiedliche Eigenschaften hat, ist es schwierig, die Lebensdauer dieser Komponenten abzuschätzen. Es ist daher notwendig, die chemische Verträglichkeit jeder Komponente, die mit dem chemischen Stoff in Berührung kommt, zu berücksichtigen, um das am besten geeignete Material zu wählen.

Außerdem wird empfohlen, Flügelrad-Durchflussmesser nicht für die Messung stark verschmutzter Flüssigkeiten, faserhaltiger Flüssigkeiten oder Flüssigkeiten mit Steinen oder Kieselsteinen zu verwenden, die den Rotor oder die Achse beschädigen könnten.

Feststoffe könnten die Sensorreaktion beeinflussen und auch die Reibung der Welle verändern.

Falls es notwendig ist, einen Flügelrad-Durchflussmesser mit feststoffhaltigen Flüssigkeiten zu verwenden, muss regelmäßig ein Verfahren zur Reinigung der benetzten Bauteile vorgesehen werden, da ein vernachlässigtes Gerät mit der Zeit an Genauigkeit verliert. Für ein solches Reinigungsverfahren wird empfohlen, Reinigungsmittel oder Chemikalien zu verwenden, die mit nassen Materialien kompatibel sind.

Elektromagnetischer Durchflusssensor

Dieser Sensor basiert auf dem Faradayschen Gesetz, da in einem elektrischen Leiter eine Spannung induziert wird, wenn er sich in einem Magnetfeld bewegt.

Ein Beispiel für einen elektromagnetischen Durchflusssensor ist in der nebenstehenden Abbildung dargestellt.

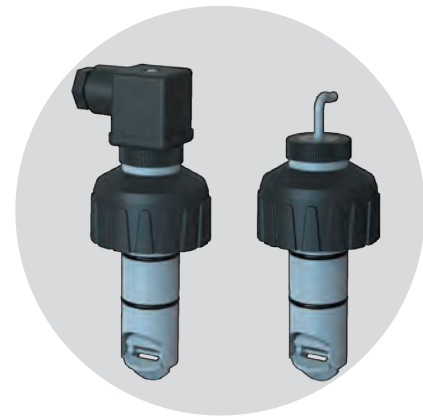
Eine im Sensorgehäuse montierte Spule erzeugt ein Magnetfeld senkrecht zur Durchflussrichtung. Dieses Magnetfeld und die Durchflussgeschwindigkeit induzieren eine Spannung zwischen den Elektroden, die direkt proportional zur Durchflussgeschwindigkeit ist.

Die Spannung wird in ein durchflussproportionales 4-20-mA-Ausgangssignal oder ein Frequenzausgangssignal umgewandelt.

Elektromagnetische Durchflusssensoren benötigen im Allgemeinen keine spezielle Wartung.

Wird der elektromagnetische Durchflusssensor zur Messung einer stark verschmutzten Flüssigkeit verwendet, empfiehlt es sich, das Gerät regelmäßig mit einem Tuch zu reinigen, das leicht mit Wasser oder einer mit den Materialien des Geräts und des Tuchs verträglichen Flüssigkeit angefeuchtet ist, da verschmutzte Elektroden zu Messungenauigkeiten führen können.

Verwenden Sie für die Reinigung keine Scheuermittel.



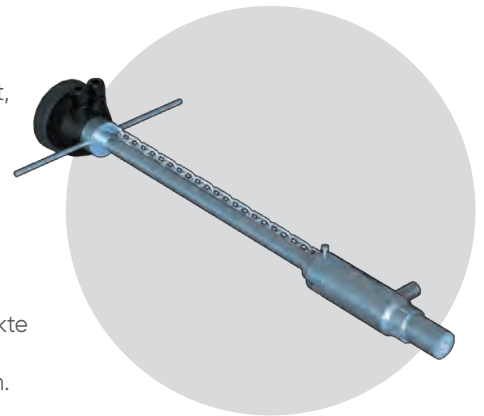
Unter Druck installierbare Durchflussmesser

Die Verwendung von unter Druck installierbaren Instrumenten wird für den Einbau in druckbeaufschlagte Rohren empfohlen und immer dann, wenn es unmöglich ist, den Durchfluss in der Rohrleitung zu stoppen, wie z. B. bei der Wasserversorgung.

Da unter Druck installierbare Durchflussmesser keine beweglichen mechanischen Teile besitzen, können sie für die Messung von verschmutzten Flüssigkeiten eingesetzt werden, sofern diese homogen und leitfähig sind. Sie sind nur für elektromagnetische Messfühler verfügbar.

Die für diese Installation konzipierten Sensoren eignen sich auch für Rohre mit einem Durchmesser, der größer ist als der von herkömmlichen Sensoren abgedeckte maximale Durchmesser (typischerweise DN 600). Sie müssen lediglich mit Fittings kombiniert werden, die den Einbau in druckbeaufschlagte Leitungen ermöglichen.

Die Abbildung rechts zeigt ein Beispiel für einen unter Druck installierbaren Durchflussmesser.



2.9.1.2 Inline-Durchflusssensoren

FLS kann zwei verschiedene Arten von Inline-Sensoren für niedrige Durchflussraten liefern, um je nach Betriebsbereich und spezifischer Viskosität der Flüssigkeit unterschiedliche Anwendungen abzudecken.

Diese beiden Arten von Inline-Sensoren haben unterschiedliche Eigenschaften, aber beide müssen für die Messung von feststofffreien Flüssigkeiten eingesetzt werden, da Bewegungsteile vorhanden sind.

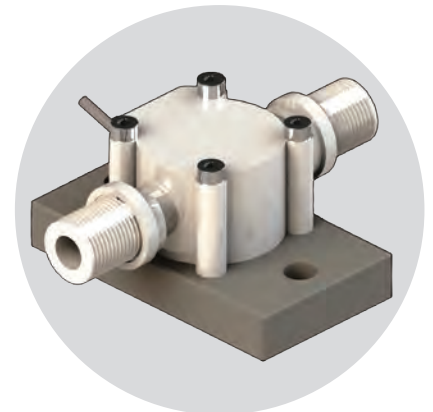
Durchflusssensor für ultra niedrigen Durchfluss (ULF-Sensor)

Dieser Inline-Durchflusssensor besteht aus einem Messwandler und einem Flügelrad mit fünf Flügeln.

Das Flügelrad ist mit einem in jedem Flügel integrierten Dauermagneten ausgestattet. Passiert ein Magnet den Wandler, wird ein Impuls erzeugt. Wenn also Flüssigkeit in das Sensorgehäuse fließt, wird das Flügelrad in Drehung versetzt und erzeugt ein Ausgangssignal in Form einer Rechteckwelle.

ULF-Sensoren sind für alle Arten von aggressiven und feststofffreien Flüssigkeiten geeignet und können über Prozessanschlüsse mit Gasgewinde an flexiblen oder starren Rohrleitungen befestigt werden.

Die Abbildung rechts zeigt ein Beispiel für einen ULF-Sensor.



Ovalradsensor

Dieser Inline-Sensorkörper enthält zwei ovale Flügelräder, die durch eine strömende Flüssigkeit in Drehung versetzt werden.

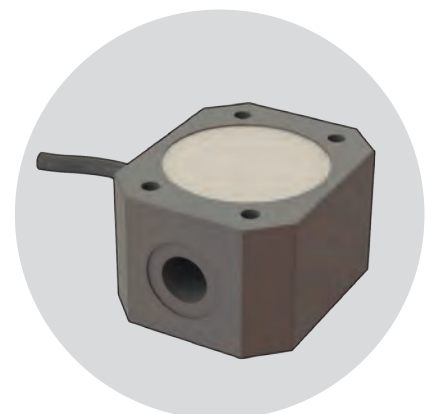
Die beiden Flügelräder stehen in einem 90°-Eingriff, um ein festes Flüssigkeitsvolumen zu definieren, das bei jeder Umdrehung abgepumpt wird.

In jedem Zahnrad befinden sich zwei Dauermagnete. Ein Halleffektsensor erfasst das Magnetfeld und erzeugt ein Signal in Form einer Rechteckwelle, deren Frequenz proportional zur Anzahl der abgepumpten Flüssigkeitsmengen ist.

Der Ovalradsensor wurde unter Berücksichtigung der wichtigsten industriellen Anwendungsanforderungen entwickelt, wie z. B. hohe mechanische Festigkeit und zuverlässige Leistung. Er eignet sich für die Messung eines breiten Spektrums von viskosen, feststofffreien Flüssigkeiten mit einer sehr hohen Genauigkeit und Wiederholbarkeit.

Die Sensoren können über Prozessanschlüsse mit Gasgewinde an flexiblen oder starren Rohren befestigt werden. Die Konstruktionsmaterialien ECTFE, PP oder Edelstahl bieten hohe Festigkeit und chemische Beständigkeit.

Die Abbildung rechts zeigt einen Ovalradsensor.



Bei den Flüssigkeiten, für die Inline-Sensoren geeignet sind, ist zu bedenken, dass offensichtlich abrasive oder schmutzige Flüssigkeiten die Dichtungsflächen, die Lager und das Sensorgehäuse beschädigen können, so dass ein Filter erforderlich sein kann, um die Verunreinigungen zu entfernen.

Da diese Art von Geräten hauptsächlich in Dosieranlagen eingesetzt wird, werden sehr häufig aggressive chemische Lösungen gemessen.

Achten Sie auf die folgenden Fälle:

- Chemikalien können auskristallisieren, wenn sie längere Zeit ohne Durchfluss im Sensor verbleiben. Daher wird dringend empfohlen, eine Sensorreinigung einzuplanen, falls eine unregelmäßige Verwendung erforderlich ist. Für die Reinigung können Wasser und andere Lösungen verwendet werden, die mit dem benetzten Material und der zu messenden Chemikalie verträglich sind;
- Chemikalien können Gase freisetzen. Daher wird dringend empfohlen, insbesondere bei Inaktivität auf diesen Punkt zu achten und sicherzustellen, dass Gasblasen entfernt werden, wenn Inline-Sensoren verwendet werden.

Bei Ovalrad-Sensoren ergeben Durchflussmessungen bei Vorhandensein von Blasen höhere Werte als der tatsächliche Durchfluss der Flüssigkeit, da die Volumina der Blasen genauso gemessen werden wie das Volumen der Flüssigkeit.

Bei ULF-Sensoren sind Durchflussmessungen mit Gasblasen nicht genau, da sie Turbulenzen in der Messkammer des Sensors erzeugen.

Falls die Viskosität der Betriebsflüssigkeit weit von der kalibrierten Flüssigkeit (Wasser) abweicht, kann es erforderlich sein, den Sensor selbst neu zu kalibrieren, um den korrekten k-Faktor festzulegen, da die unterschiedlichen Schlupfwerte verschiedener Flüssigkeiten Messfehler verursachen können.

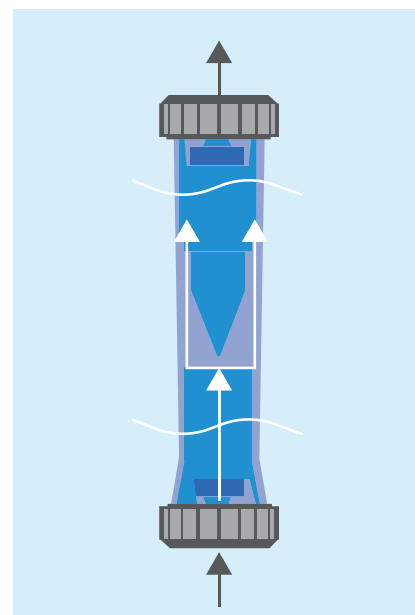
2.9.1.3 Schwebekörper-Durchflussmesser

Schwebekörper-Durchflussmesser nutzen mit ihrem einfachen Aufbau eines der ältesten und ausgereiftesten Prinzipien der Durchflussmessung. Bei dieser traditionellen Methode zur Messung des Durchflusses befindet sich ein Schwebekörper in einem konischen Rohr, das sich nach unten hin verjüngt und nach oben hin langsam erweitert.

Ein Beispiel ist in der Abbildung rechts dargestellt.



Bei Schwebekörper-Durchflussmessern fließt die Flüssigkeit von unten nach oben oder von links nach rechts, wobei der Schwebekörper durch die Kraft der Strömung angehoben wird, wie in der Abbildung rechts dargestellt.



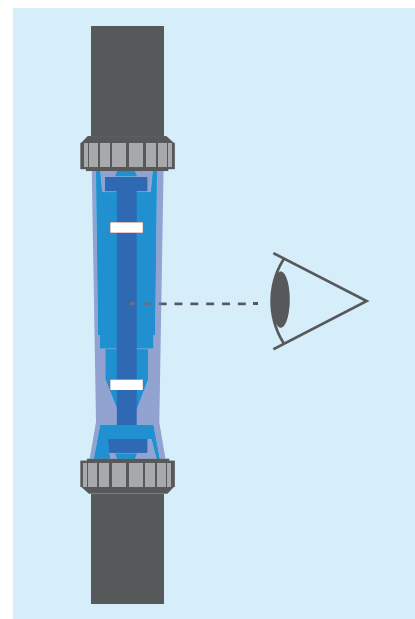
Die Durchflussmenge kann abgelesen werden, wenn sich der Schwabekörper in dem Bereich befindet, in dem sich die durch den Durchfluss verursachte Aufwärtskraft und die durch das Gewicht des Schwabekörpers verursachte Abwärtskraft ausgleichen.

In der Regel wird das konische Rohr aus transparenten Materialien hergestellt, die für den Durchfluss so kalibriert sind, dass die Messungen direkt am Rohr abgelesen werden können.

Die Durchflussmenge kann dann auf der Skala an der Position des Schwabekörpers abgelesen werden, die somit den momentanen Durchfluss darstellt.

Zur besseren Ablesbarkeit des Durchflusses können die Maximal- und Minimalgrenzwerte am Durchflussmesser mittels der dafür vorgesehenen Durchflussanzeiger eingestellt werden, wie in der Abbildung dargestellt.

Um eine korrekte Ablesung zu erhalten, muss sich der Schwimmer in Augenhöhe befinden.



Abschließend zeigt die folgende Tabelle die Umrechnungswerte von Geschwindigkeit in Durchflussmenge (l/s).

Geschwindigkeit (f/s) = (Durchfluss (l/s) * 1273,2) / D _i ²		Volumenstrom (l/s) = (Geschwindigkeit (m/s) * D _i ²) / 1273,2													
Geschwindigkeit															
ft/s		0,16	0,33	0,5	0,7	1,6	2,6	3,3	6,6	9,8	13,1	16,4	20	23	26,2
m/s		0,05	0,1	0,15	0,2	0,5	0,8	1	2	3	4	5	6	7	8
D [mm]	DN [mm]	Durchfluss l/s													
20	15	0,01	0,02	0,03	0,04	0,09	0,14	0,18	0,35	0,53	0,71	0,88	1,06	1,24	1,41
25	20	0,02	0,03	0,05	0,06	0,16	0,25	0,31	0,63	0,94	1,26	1,57	1,89	2,20	2,51
32	25	0,02	0,05	0,07	0,10	0,25	0,39	0,49	0,98	1,47	1,96	2,45	2,95	3,44	3,93
40	32	0,04	0,08	0,12	0,16	0,40	0,64	0,80	1,61	2,41	3,22	4,02	4,83	5,63	6,43
50	40	0,06	0,13	0,19	0,25	0,63	1,01	1,26	2,51	3,77	5,03	6,28	7,54	8,80	10,05
63	50	0,10	0,20	0,29	0,39	0,98	1,57	1,96	3,93	5,89	7,85	9,82	11,78	13,74	15,71
75	65	0,17	0,33	0,50	0,66	1,66	2,65	3,32	6,64	9,96	13,27	16,59	19,91	23,23	26,55
90	80	0,25	0,50	0,75	1,01	2,51	4,02	5,03	10,05	15,08	20,11	25,13	30,16	35,19	40,21
110	100	0,39	0,79	1,18	1,57	3,93	6,28	7,85	15,71	23,56	31,42	39,27	47,13	54,98	62,83
125	110	0,48	0,95	1,43	1,90	4,75	7,60	9,50	19,01	28,51	38,01	47,52	57,02	66,53	76,03
140	125	0,61	1,23	1,84	2,45	6,14	9,82	12,27	25,54	36,82	49,09	61,36	73,63	85,91	98,18
160	150	0,88	1,77	2,65	3,53	8,84	14,14	17,67	35,34	53,02	70,69	88,36	106,03	123,70	141,38
200	180	1,27	2,54	3,82	5,09	12,72	20,36	25,45	50,90	76,34	101,79	127,24	152,69	178,13	203,58
225	200	1,57	3,14	4,71	6,28	15,71	25,13	31,42	62,83	94,25	125,67	157,08	188,50	219,92	251,34
250	225	1,99	3,98	5,96	7,95	19,88	31,81	39,76	79,52	119,29	159,05	198,81	238,57	278,33	318,10
280	250	2,45	4,91	7,36	9,82	25,54	39,27	49,09	98,18	147,27	196,36	245,44	294,53	343,62	392,71
315	280	3,08	6,16	9,24	12,32	30,79	49,26	61,58	123,15	184,73	246,31	307,89	369,46	431,04	492,62

2.9.2 Installation von Durchflussmessern

Wie im Konstruktionsteil beschrieben, gibt es drei Möglichkeiten, den Durchfluss in einem System zu messen:

- Durchflusssensoren für hohe Durchflüsse und Hauptleitungen;
- Inline-Durchflusssensoren für geringen Durchfluss und Chemikaliendosierung;
- Schwebekörper-Durchflussmesser.

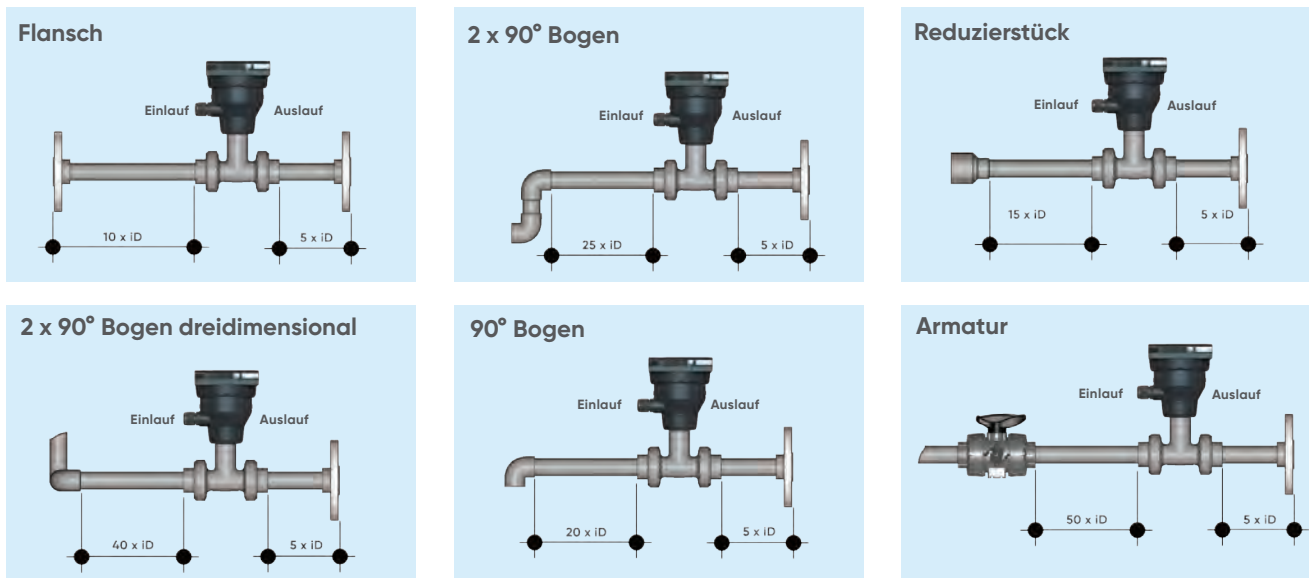
2.9.2.1 Durchflusssensoren zum Einsetzen

Da diese Sensoren in das Rohr eingesetzt werden, müssen sie natürlich richtig platziert werden, um eine genaue und zuverlässige Messung zu erhalten. Insbesondere muss sichergestellt werden, dass das Rohr an dieser speziellen Stelle zu jeder Zeit vollständig gefüllt ist und die Durchflussgeschwindigkeit gleichmäßig ist.

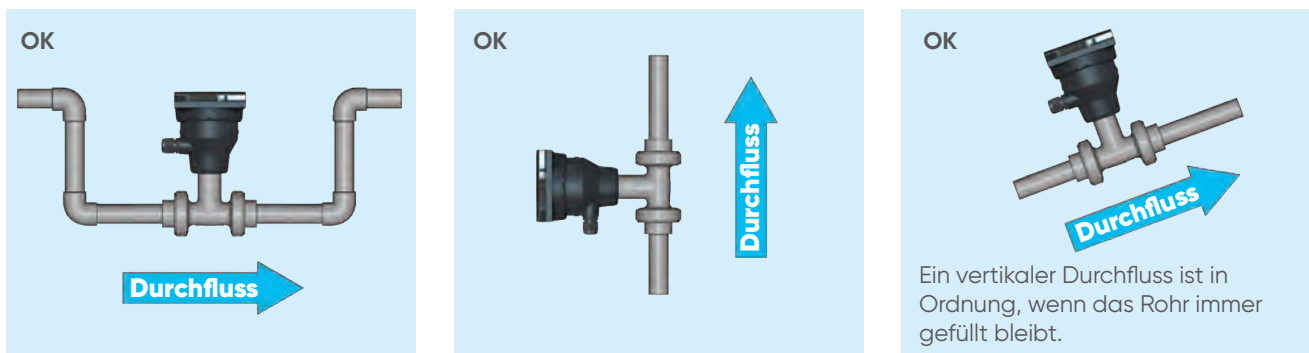
Wenn das Rohr nicht voll ist, zeigt der Durchflussmesser ungenaue Werte an, selbst wenn der Sensor immer vollständig eingetaucht ist. Der Sensor berechnet die Durchflussmenge unter der Annahme, dass das Rohr voll ist, was zu einer Überschätzung des Durchflusses führt.

Da Durchflussmesser die Geschwindigkeit der Flüssigkeit messen, sollte diese über den gesamten Querschnitt des Rohres im Bereich des Sensors gleichmäßig sein.

Um für Durchflusssensoren mit Flügelrad und elektromagnetische Durchflussmesser die beste Stelle in der Rohrleitung auszuwählen, empfiehlt es sich, die folgenden Abbildungen zu betrachten, die die sechs häufigsten Installationsvarianten darstellen.

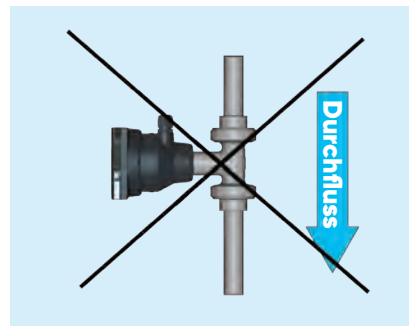
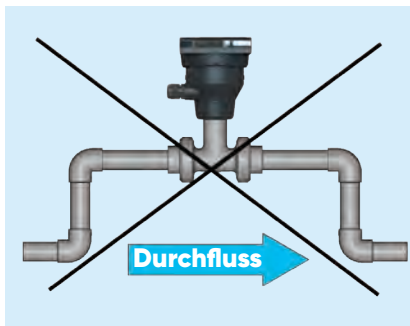


Um sicherzustellen, dass das Rohr immer gefüllt ist, sind die nächsten Bilder von Bedeutung, denn wie bereits erwähnt, darf der Sensor für eine korrekte Messung zu keinem Zeitpunkt Luftblasen ausgesetzt sein.

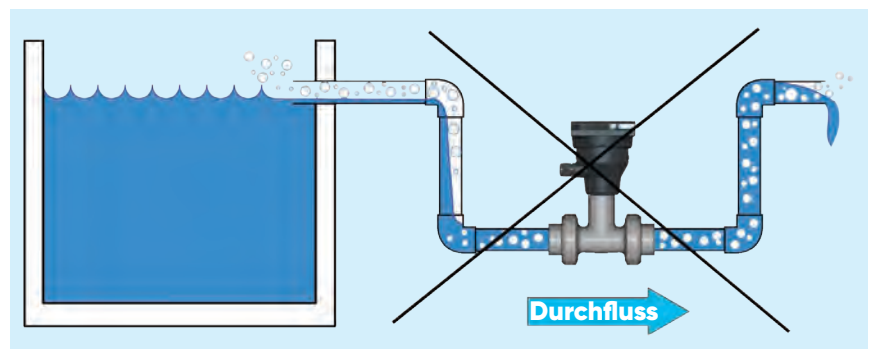


Ein vertikaler Durchfluss ist in Ordnung, wenn das Rohr immer gefüllt bleibt.

Wenn Sie nicht absolut sicher sind, dass der Sensor keinen Luftblasen ausgesetzt ist, sollten Sie die in den folgenden Abbildungen dargestellten Installationen vermeiden.



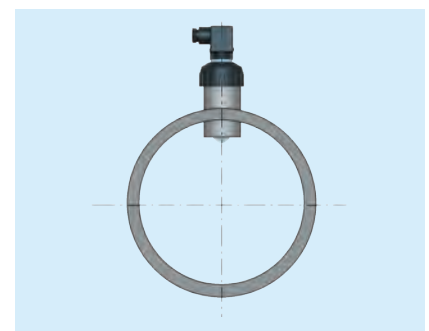
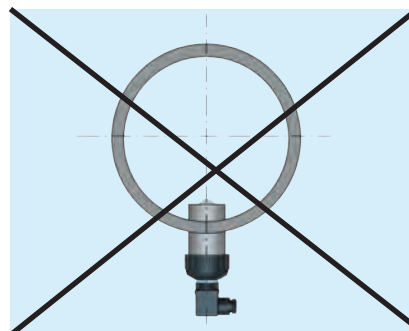
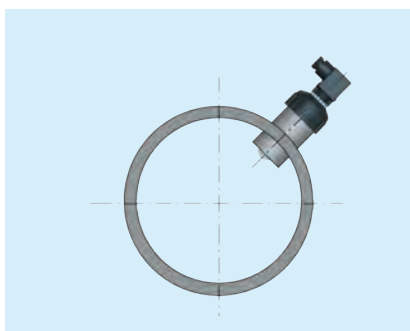
Bei Systemen mit Schwerkraftdurchfluss muss der Anschluss an den Tank so gestaltet sein, dass der Füllstand nicht unter den Auslass fällt. Dadurch wird vermieden, dass das Rohr Luft aus dem Tank ansaugt, was zu einer ungenauen Messung des Sensors führt, wie in der nebenstehenden Abbildung dargestellt.



Neben dem Einbauort des Sensors müssen auch einige Angaben zur Position des Sensor-Messteils gemacht werden, d. h. des Rotors beim Flügelrad und der Stifte beim elektromagnetischen Messgerät.

Diese sollte bei 12 % des Innendurchmessers liegen, wo, basierend auf der Insertionstheorie, die mittlere Geschwindigkeit gemessen werden kann.

Die Messgenauigkeit kann durch Luftblasen, Sedimente und – beim Flügelrad-Durchflussmesser – durch die Reibung zwischen Welle und Lagern beeinflusst werden.



Um diese Probleme zu vermeiden, können einige Montagepositionen für horizontal verlegte Rohrleitungen empfohlen werden. Um beispielsweise Luftblasen und Ablagerungen zu verhindern, wird die beste Leistung bei einem Winkel von 45° erzielt, wie in dieser Abbildung dargestellt.

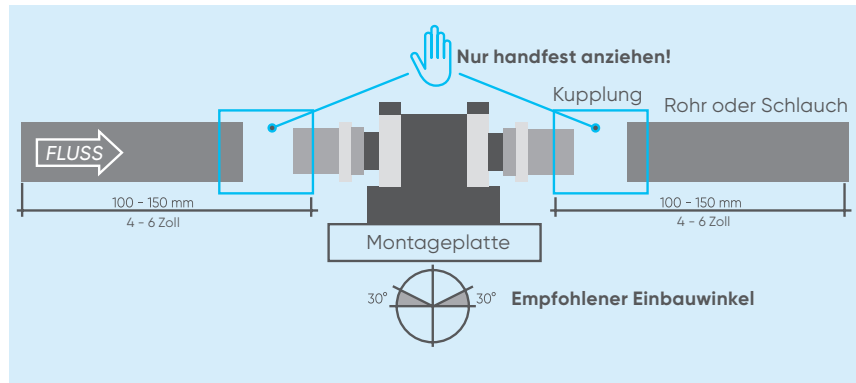
Es wird empfohlen, den Sensor nicht am Boden des Rohrs zu montieren, wie in der Abbildung gezeigt, da sich dort Ablagerungen befinden könnten.

Diese Überlegungen gelten sowohl für Flügelrad- als auch für Elektromagnetische Durchflusssensoren. Außerdem dürfen Flügelradsensoren nicht in einem Winkel von 90° montiert werden, da sonst die Reibung die Messung beeinträchtigen kann. Der Einbau in eine senkrecht verlaufende Rohrleitung kann in beliebiger Ausrichtung erfolgen, wobei der Durchfluss nach oben bevorzugt wird, um eine volle Rohrleitung zu gewährleisten. Weitere Informationen finden Sie in der EN ISO 5167-1.

2.9.2.2 Inline-Durchflusssensoren

Inline-Durchflusssensoren können horizontal und vertikal eingebaut werden, wobei der horizontale Einbau bevorzugt wird, da bei nicht horizontaler Installation ein größerer Fehler im unteren Teil des Messbereichs auftreten kann.

In jedem Fall wird eine Positionierung mit leichtem Neigungswinkel empfohlen, falls Luftblasen vorhanden sein könnten, wie in der nebenstehenden Abbildung dargestellt.



Es wird empfohlen, den Sensor so zu installieren, dass der Pfeil in Richtung des Durchflusses zeigt, den Abstand zwischen Sensor und Pumpe zu maximieren und den Sensor nicht unmittelbar hinter Ventilen, Krümmern oder anderen Hindernissen zu installieren. Vor und nach dem Sensor wird ein gerades Rohr von 150 mm Länge vorgeschlagen.

Berücksichtigen Sie den mit Inline-Durchflusssensoren verbundenen Druckabfall, insbesondere wenn Sie sie in einer Rohrleitung mit einem anderen Durchmesser als 6,35 mm verwenden. Ein großer Druckabfall über den Inline-Sensor kann zu vorzeitigem Verschleiß und/oder zur Beschädigung von Lagern und/oder Dichtungen führen.

2.9.2.3 Schwebekörper-Durchflussmesser

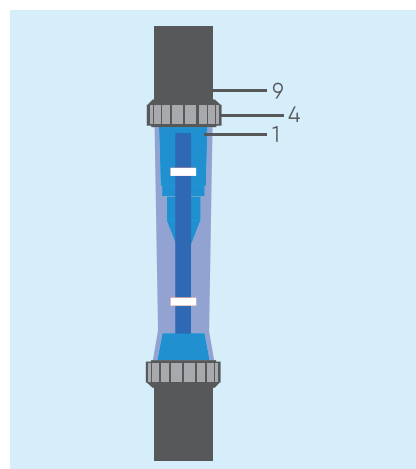
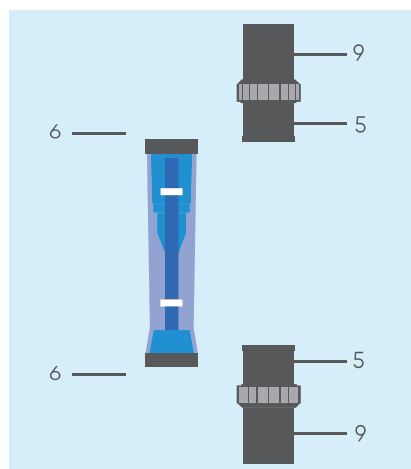
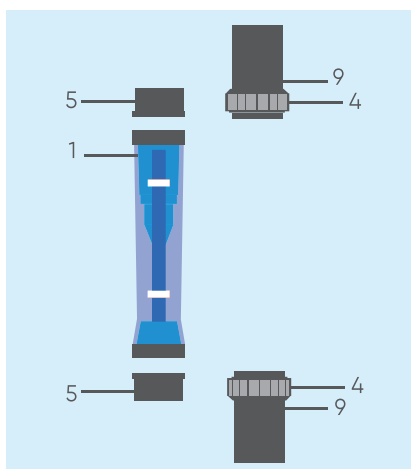
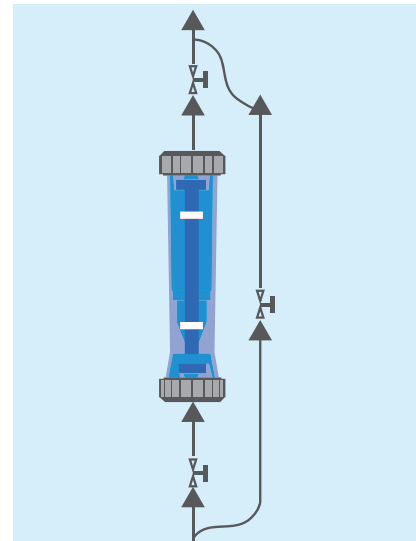
Für Schwebekörper-Durchflussmesser können keine speziellen Installationsempfehlungen ausgesprochen werden.

Die einzige grundlegende Bedingung für eine korrekte Durchflussmessung ist, dass das Gerät senkrecht und spannungsfrei montiert wird.

Um einen Ausbau des Durchflussmessers bei gefüllter Rohrleitung zu ermöglichen, ist natürlich ein Absperrventil vor und nach dem Durchflussmesser vorzusehen.

Wenn der Durchflussmesser bei laufendem Betrieb ausgebaut werden soll, empfiehlt es sich, eine Umgehungsleitung zu installieren, wie in der Abbildung rechts dargestellt.

Für eine korrekte Installation des Durchflussmessers wird empfohlen, die folgenden Punkte in Verbindung mit den dazugehörigen 3 Abbildungen zu beachten:



- Schrauben Sie die Überwurfmuttern 4 ab.
- Schieben Sie die Überwurfmuttern 4 auf die Rohre 9.

- Kleben (mit lösemittelhaltigem Kleber), schweißen oder schrauben Sie die Einsätze 5 auf die Rohre 9.
- Setzen Sie die O-Ringe 6 in das Messrohr ein.

- Platzieren Sie das Messrohr 1 zwischen den Rohren 9 und schrauben Sie es mit den Überwurfmuttern 4 fest.
- Prüfen Sie nach der Installation des Durchflussmessers die Dichtigkeit.

Abschließend sind folgende Punkte hervorzuheben, die während der Anlaufphase zu beachten sind:

- Achten Sie darauf, dass der tatsächliche Betriebsdruck und die Temperatur die auf dem Typenschild angegebenen Grenzwerte nicht überschreiten;
- Anstoßen des Schwebekörpers vermeiden: Es empfiehlt sich, bei der Inbetriebnahme mit geschlossener Armatur zu beginnen und den Betriebsdruck durch langsames Öffnen des Ventils einzustellen. Insbesondere die Verwendung von Magnetventilen wird in diesem Zusammenhang nicht empfohlen;
- Bei der Messung von Flüssigkeiten ist die Rohrleitung vorsichtig freizugeben, um Druckspitzen durch Gasblasen zu vermeiden;
- Bei der Messung von Gasen muss der Betriebsdruck langsam erhöht werden, um einen Druckstoß zu vermeiden;
- Bei der Inbetriebnahme neuer Anlagen können sich im Schwebebereich des Schwimmers verstärkt Ablagerungen ansammeln: Aliaxis empfiehlt daher, in einem solchen Fall die Geräte bereits nach relativ kurzer Zeit zu reinigen;
- Wenn das Gerät in der untersten Stufe verwendet wird, muss es für kurze Zeit mit einem hohen Durchfluss in Betrieb genommen werden, damit sich der Schwebekörper einpendeln kann.



WARNUNG: Darauf müssen Sie bei der Installation eines Schwebekörper-Durchflussmessers achten

- Der Schwebekörper kann herausfallen oder beschädigt werden: Schrauben Sie die Überwurfmuttern vorsichtig ab;
- Messrohr und Schwebekörper müssen sauber und frei von Fremdkörpern sein;
- Staubschutzkappen und Transportsicherungen müssen entfernt worden sein;
- Rohrleitungen müssen ausgerichtet und ohne mechanische Spannungen verlegt werden;
- Der Durchfluss sollte von unten nach oben erfolgen;
- Die Anlage muss gespült und frei von Fremdkörpern und Schadstoffen sein;
- Der Durchflussmesser sollte durch geeignete Installationsmaßnahmen vor Rohrleitungsschwingungen geschützt werden;
- Der Mediendruck muss ausreichend sein, um den Druckverlust am Schwebekörper zu überwinden.



WARNUNG: Besonderheiten bei der Messung von Gasströmen mit Schwebekörper-Durchflussmessern

- Ventile müssen hinter dem Gerät montiert werden, wenn $p > 1$ bar und in der Regel vor dem Gerät, wenn $p = 1$ bar;
- Installieren Sie eine Drossel direkt hinter dem Messgerät, um Kompressionsschwingungen während der Messung zu vermeiden;
- Um Fehlmessungen zu vermeiden, sollte die Anordnung so erfolgen, dass der Betriebsdruck im Messgerät mit der Referenzdruckkalibrierung übereinstimmt.

2.10 Auswahl des pH- und Redox-Sensors

2.10.1 Aufbau der pH- und Redox-Sensoren

2.10.1.1 pH-Messung

Ein pH-Sensor ist ein Instrument zur Messung des Säuregrades oder der Alkalität einer Lösung, auch pH-Wert genannt, gemessen auf einer Skala von 0 bis 14.

Der pH-Wert ist definiert als der negative Logarithmus der Aktivität von Wasserstoffionen, wie in der folgenden Formel dargestellt:

$$pH = \log\left(\frac{1}{[H^+]}\right)$$

wobei:

[H⁺] die Wasserstoffionenkonzentration ist (mol/l)

Der pH-Wert ist ein Ausdruck des Verhältnisses von [H⁺] zu [OH⁻], der Hydroxidionenkonzentration.

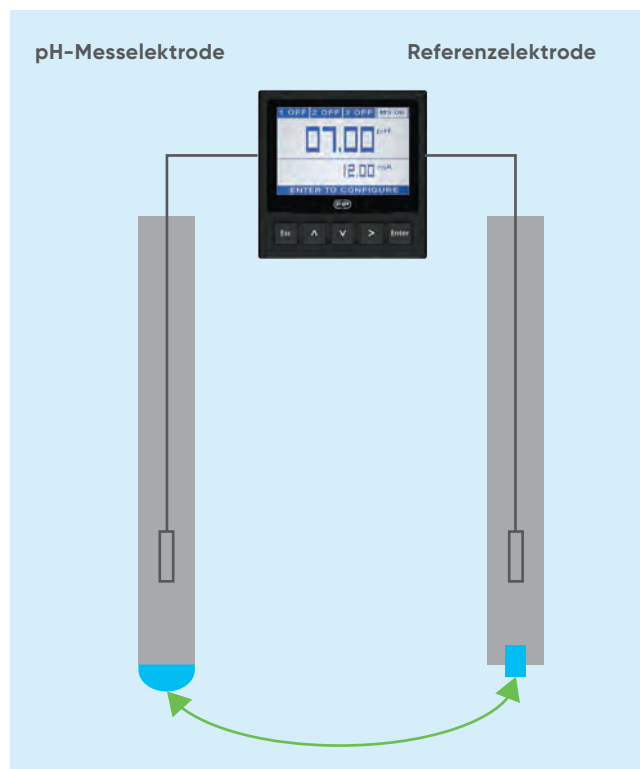
Ist [H⁺] größer als [OH⁻], so ist die Lösung sauer. Umgekehrt ist die Lösung basisch, wenn [OH⁻] größer als [H⁺] ist.

Bei 7 pH ist das Verhältnis von [H⁺] zu [OH⁻] gleich und damit die Lösung neutral.

Bei der potentiometrischen Messung des pH-Wertes wird eine Elektrode verwendet, die die Wasserstoffionenkonzentration messen kann.

Daher besteht ein pH-System aus drei Teilen, wie in der nebenstehenden Abbildung dargestellt:

- Einer pH-Messelektrode, die durch einen wasserstoffionenempfindlichen Glaskolben gekennzeichnet ist;
- Einer Referenzelektrode, die nicht empfindlich auf Aktivitätsänderungen von Wasserstoffionen reagiert;
- Einem hochohmigen Eingangsmessgerät.



Das Elektrodenverhalten kann durch die Nernst-Gleichung von 1889 beschrieben werden, die wie folgt lautet:

$$E_p = E_0 - \left(\frac{2,3 \cdot R \cdot T}{n \cdot F}\right) \cdot \log a$$

wobei:

E_p = Gesamtpotential zwischen zwei Elektroden (mV)

E_0 = Standardpotential des Ions

R = Universelle Gaskonstante (J/(mol*K))

T = Temperatur (K)

n = Ionenladung

F = Faraday-Konstante (C/mol)

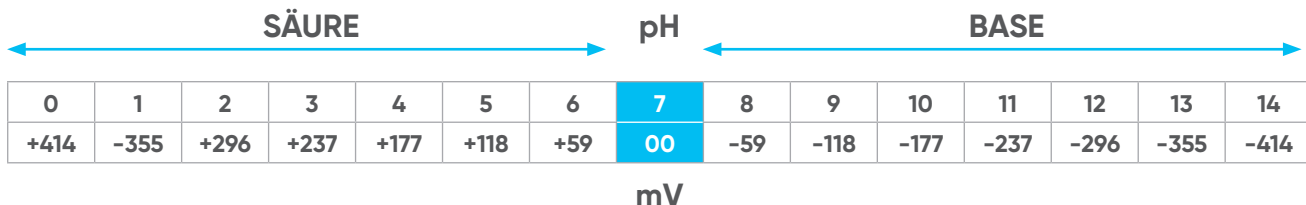
a = Aktivität des Ions

Der gesamte Term $(2,3 \cdot R \cdot T)/(n \cdot F)$ wird als Nernst-Faktor oder Steigungsfaktor bezeichnet. Dieser Term gibt den Betrag der Änderung des Gesamtpotenzials für jede zehnfache Änderung der Ionenkonzentration an.

Für die Wasserstoffionenaktivität mit $n = 1$ beträgt der Nernst-Faktor 59,16 mV für jede zehnfache Aktivitätsänderung bei 25 °C.

Das bedeutet, dass sich bei jeder Änderung der pH-Einheit das Gesamtpotential bei 25 °C um 59,16 mV ändert.

Wie in der nächsten Abbildung zu sehen ist, ergeben die alkalischen Lösungen ein negatives Signal (-mV), die sauren Lösungen ein positives Signal (+mV) und pH 7 entspricht 0 mV.

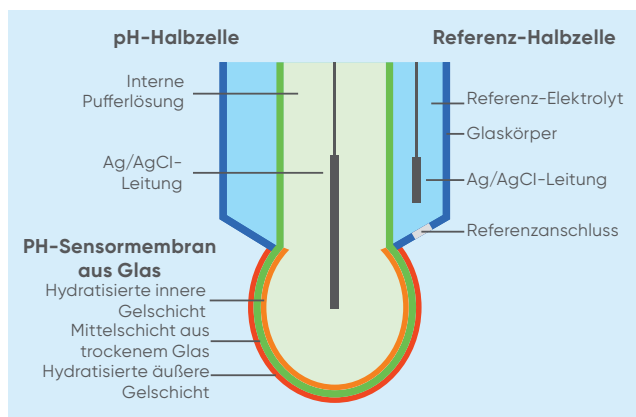


Mess- und Referenzelektroden können in zwei Ausführungen vorliegen: zwei räumlich getrennte Elektroden, wie in der vorherigen Abbildung dargestellt, oder in einem einzigen Körper vereint, der als kombinierte Elektrode bezeichnet wird.

Unter einer kombinierten pH-Elektrode versteht man eine Elektrode, die aus zwei Halbzellen besteht: einer Messelektrode und einer Referenzelektrode, wobei der pH-empfindliche Teil einer dünnen Glasmembran entspricht, die auf $[H^+]$ -Ionen reagiert.

Sie besteht meist aus einem äußeren Rohr, das einen Silberdraht, Silberchlorid und einen Elektrolyt enthält und als Referenzelektrode dient, und einem inneren Rohr, das als Messelektrode dient und einen Silberdraht, Silberchlorid und eine Pufferlösung enthält.

Das innere Rohr steht über eine dünne Glasmembran an seinem Ende mit der Lösung der zu messenden Probe in Kontakt, während das äußere Rohr über eine poröse Membran, die als Salzbrücke wirkt, mit der Lösung der zu messenden Probe in Kontakt steht.

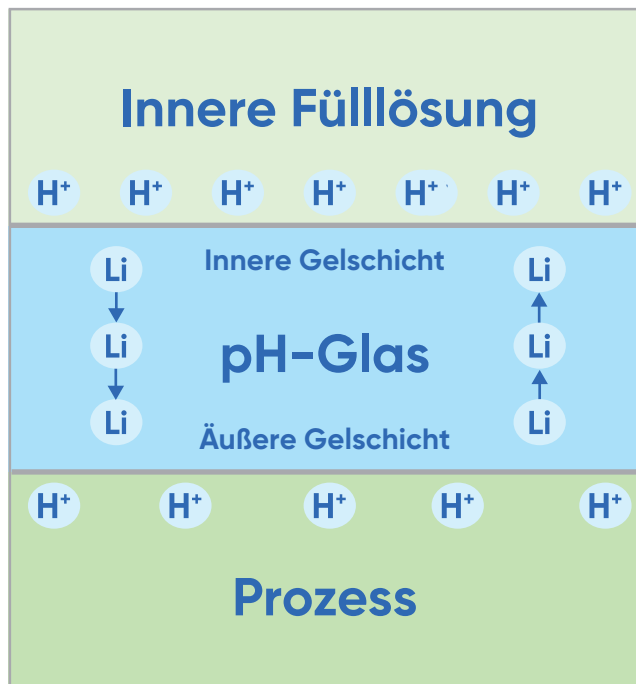


An der Außen- und Innenfläche der dünnen Glasmembran findet der Austausch zwischen den Li-Ionen des Glases und den $[H^+]$ -Ionen der Lösungen, mit denen diese Oberflächen in Kontakt stehen, statt.

Die Innenseite ist mit der gepufferten Lösung mit bekanntem pH-Wert in Kontakt und physisch von der äußeren Umgebung isoliert, die Außenseite ist mit der zu prüfenden Lösung in Kontakt:

- Wenn die Lösung sauer ist, häufen sich $[H^+]$ -Ionen an der Oberflächenschicht der Membran an;
- Ist die Lösung basisch, kommt es zu einer Verarmung von $[H^+]$ -Ionen an der Oberflächenschicht der Membran.

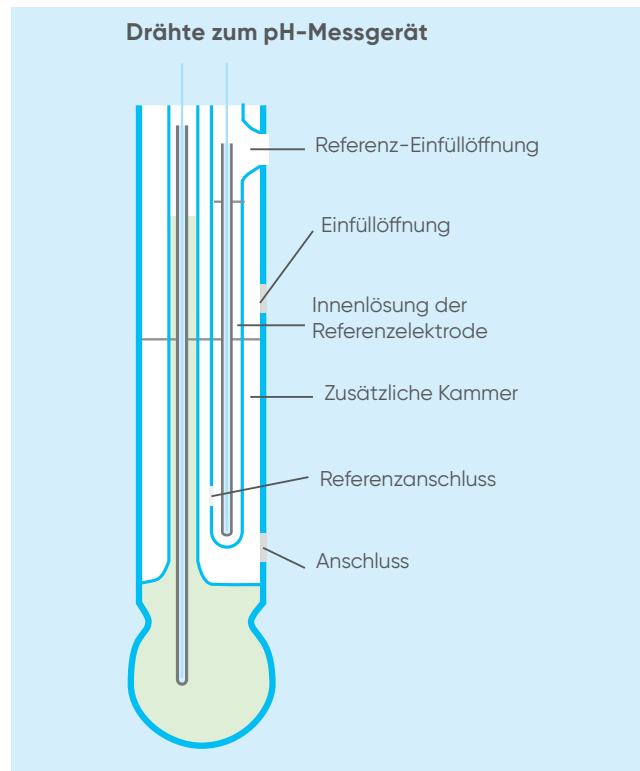
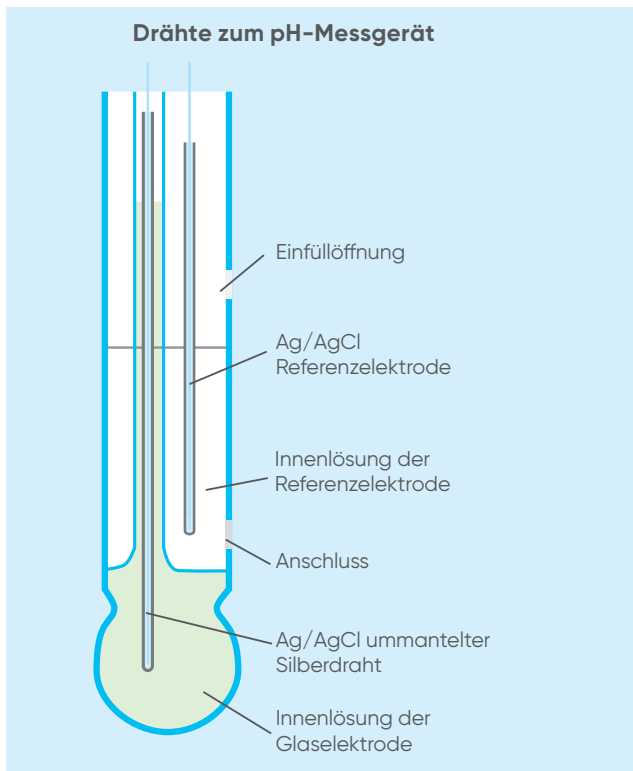
Das von der Elektrode aufgezeichnete elektrische Potenzial ist auf dieses Ungleichgewicht zwischen den $[H^+]$ -Ionen an der inneren und der äußeren Oberflächenschicht der Membran zurückzuführen.



Was die Referenzelektrode betrifft, so kann sie auf zwei Arten hergestellt werden:

1) Einzelanschluss: Für allgemeine Anwendungen, geeignet, wenn Chloridanionen und Silberkationen keine unerwünschten Reaktionen hervorrufen.

2) Doppelanschluss: Wird empfohlen, wenn eine zusätzliche Barriere erforderlich ist, um eine Kontamination der Referenzlösung durch Sulfide, Proteine oder Schwermetalle zu vermeiden. Tatsächlich weisen diese Elektroden eine zusätzliche Salzbrücke auf, um Reaktionen zwischen der Elektrodenlösung und der Probe zu verhindern, die sonst zu einer Beschädigung des Elektrodenanschlusses führen würden.



Auswirkungen der Temperatur auf den pH-Wert

Die Temperatur beeinflusst die pH-Messung auf zwei Arten:

- Wenn sich die Temperatur der Lösung ändert, ändert sich auch der pH-Wert, da sich die Dissoziationskonstanten der Ionen in der gemessenen Lösung ändern. Mit den verfügbaren Instrumenten kann dies nicht berücksichtigt werden, da die Dissoziationskonstanten von Lösung zu Lösung unterschiedlich sind;
- Da die Glasmesslektrode ein Ionenleiter ist, ändert sich der Widerstand des Glases mit der Änderung der Lösungstemperatur. Dies liegt daran, dass sich der Millivolt-Ausgang der Glas-pH-Elektrode gemäß der Nernst-Gleichung mit der Temperatur ändert.

Insbesondere nimmt mit steigender Temperatur z. B. die Millivoltleistung zu:

- bei 25 °C beträgt die Steilheit der pH-Elektrode 59,16 mV/pH-Einheit;
- bei 0 °C beträgt die Steilheit der pH-Elektrode 54,2 mV/pH-Einheit;
- bei 50 °C beträgt die Steilheit der pH-Elektrode 64,1 mV/pH-Einheit.

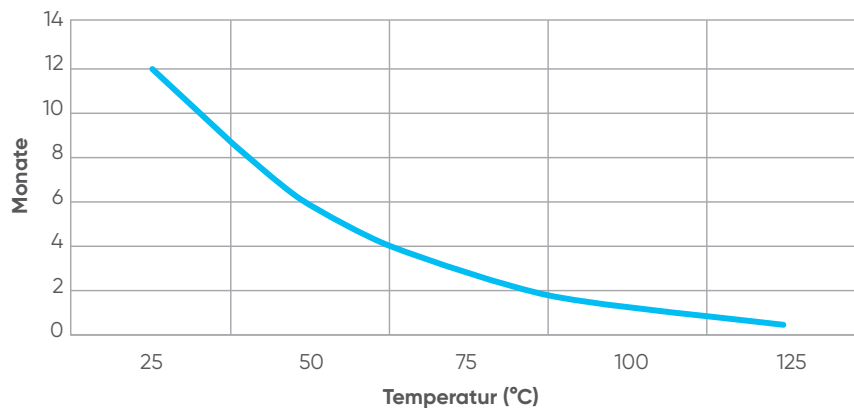
Diese Änderung kann im pH-Messgerät kompensiert werden, denn die lineare Funktion für Temperatur und pH-Änderung lässt sich wie folgt ausdrücken:

0,003 pH-Fehler pro pH-Einheit und pro °C.

Die Lebensdauer einer typischen pH-Elektrode beträgt etwa 12-18 Monate, sie wird jedoch bei jeder Erhöhung der Betriebstemperatur um 25 °C um 50 % reduziert, wie das folgende Diagramm zeigt.

Abschließend sei daran erinnert, dass ein Temperaturanstieg die Lebensdauer der pH-Elektrode beeinflusst.

Die Lebensdauer einer typischen pH-Elektrode beträgt etwa 12-18 Monate, sie wird jedoch bei jeder Erhöhung der Betriebstemperatur um 25 °C um 50 % reduziert, wie das Diagramm rechts zeigt.



Empfehlungen zur Minimierung dieses Problems sind eine Kühlung oder intermittierende Messungen anstelle von Dauermessungen. Auf diese Weise wird die Elektrode weniger durch die Temperaturänderung beeinträchtigt.

PRAKTISCHES BEISPIEL

Wenn beispielsweise ein pH-System in einem pH-7-Puffer bei 25 °C standardisiert ist, würde ein unkompensiertes pH-System bei 75 °C 4,45 pH anzeigen, da:

$$0,003 * (7 \text{ pH} - 4 \text{ pH}) * (75 \text{ °C} - 25 \text{ °C}) = 0,45$$

2.10.1.2 ORP-Messung

Das ORP (Oxidations-Reduktions-Potenzial) ist das in Millivolt ausgedrückte Maß für die Tendenz einer chemischen Substanz oder Lösung, eine andere chemische Substanz zu oxidieren oder zu reduzieren.

Oxidation ist der Verlust von Elektronen durch ein Atom, Molekül oder Ion, während Reduktion die Nettoaufnahme von Elektronen bedeutet.

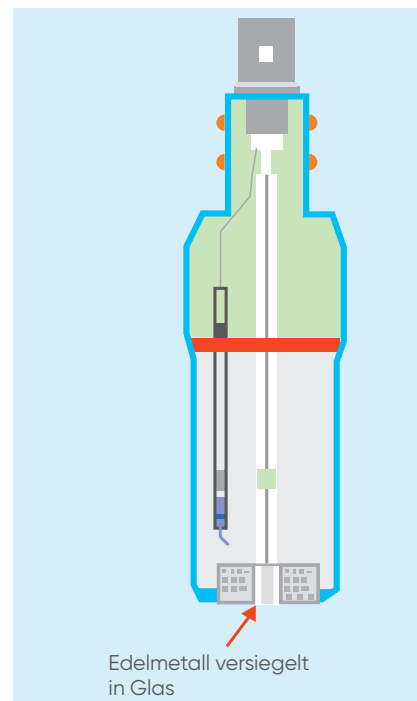
Ein ORP-Sensor besteht aus einer ORP-Elektrode und einer Referenzelektrode, wie bei der pH-Messung.

Das Prinzip, das dieser Art von Messung zugrunde liegt, ist die Verwendung einer inerten Metallelektrode (Platin oder Gold), die aufgrund ihres geringen Widerstands Elektronen an ein Oxidationsmittel abgibt oder Elektronen von einem Reduktionsmittel aufnimmt.

Die ORP-Elektrode nimmt so lange Elektronen auf oder gibt sie ab, bis sie aufgrund der aufgebauten Ladung ein Potenzial entwickelt, das dem ORP der Lösung entspricht.

Für die Referenzelektrode gelten die gleichen Überlegungen wie für die pH-Referenzelektrode.

Die nebenstehende Abbildung zeigt ein ORP-System.



2.10.1.3 pH/ORP-Elektroden

Je nach Anwendung und Hauptmerkmalen gibt es vier verschiedene Gruppen von pH- und ORP-Sensoren:

Kolbenelektrode mit Epoxidkörper

Diese Elektrodenreihe wurde entwickelt, um eine kostengünstige Lösung für die Inline- oder Unterwasserüberwachung mit einem breiten Einsatzspektrum zu bieten.

Es sind Modelle mit Einzel- und Doppelanschluss erhältlich, die bis zu 60 °C verwendet werden können. Zur automatischen Temperaturkompensation ist außerdem eine pH-Option mit integriertem Temperatursensor erhältlich.

Diese Elektroden mit Epoxidkörper eignen sich aufgrund der hohen chemischen Beständigkeit des Materials für folgende Anwendungen:

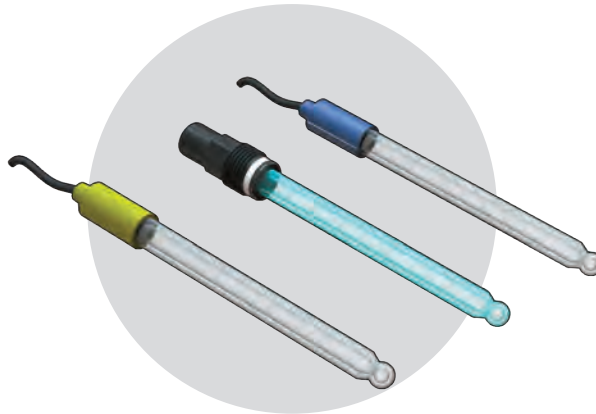
- Wasseraufbereitung;
- Neutralisationssysteme;
- Überwachung der Wasserqualität;
- Schwimmbäder und Spas;
- Aquakultur;
- Landwirtschaft und Düngesysteme;
- Prozesssteuerung.



Kolbenelektrode mit Glaskörper

Elektroden mit Glaskörper sind Hochleistungssensoren und wurden für ein breites Spektrum von Anwendungen entwickelt:

- Wasseraufbereitung;
- Neutralisationssysteme;
- Überwachung der Wasserqualität;
- Prozesssteuerung;
- Landwirtschaft und Düngesysteme;
- Galvanisierungsanlagen und Gerbereien;
- Kühltürme und Wäscher.



Die keramische Verbindung garantiert eine hohe Leistung in Bezug auf Druck und Temperatur (bis zu 130 °C). Sie wird nicht für schnelle Durchflüsse empfohlen.

Je nach den Anforderungen der Anwendung sind verschiedene Arten von Keramikanschlüssen erhältlich: ringförmig für schnellere Reaktionszeiten, mit drei Membranen für höheren Druck. Darüber hinaus verhindert der Doppelanschluss eine Kontamination der Referenzlösung und gewährleistet eine lange Lebensdauer.

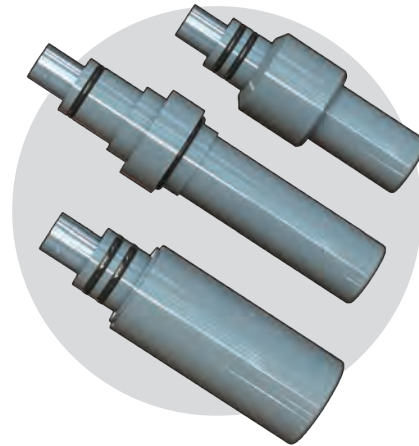
Flächenelektrode mit PVC-C-Körper

Dies ist die robuste Version der traditionellen Flächenelektrode mit verbessertem Selbstreinigungseffekt. Dank der abschließenden flachen Oberfläche fließt die schmutzige Flüssigkeit vorbei, ohne in der Nähe der Elektrodenoberfläche zu stoppen, so dass sie diese nicht verunreinigt. Sie wird auch für schnelle Durchflüsse empfohlen.

Im Elektrodenkörper befindet sich eine versiegelte, gelgefüllte Doppelsperschicht. Diese Konstruktion bietet eine zusätzliche Barriere gegen Verunreinigungen auf der Referenzseite und ermöglicht den Einsatz der Elektroden in anspruchsvollen Anwendungen, wodurch die Lebensdauer der Elektroden verlängert wird.

Sie wird in verschiedenen Bereichen eingesetzt, z. B.:

- Wasser- und Abwasseraufbereitung;
- Vorchlorung und Entchlorung;
- Neutralisationssysteme;
- Überwachung der Wasserqualität;
- Ozonbehandlung;
- Kühltürme;
- Kesselanlagen;
- Herstellung von Bleichmitteln;
- Zellstoffbleiche;
- Aquakultur;
- Textilfärbeverfahren.



Flächenelektrode mit Ryton-Körper

Diese Elektrode zeichnet sich durch einen massiven Ryton-Körper aus, der mit einer flachen, selbstreinigenden Oberfläche verbunden ist, so dass sie mit schnell fließenden und verschmutzten Flüssigkeiten verwendet werden kann. Sie ist mit einem Temperatursensor kombiniert.

Eine große Anschlussfläche verbessert die Leistung bei Vorhandensein von Schwebstoffen.

Sie wird für folgende Anwendungen empfohlen:

- Verarbeitende und produzierende Industrie;
- Chemische Verarbeitung;
- Wasseraufbereitungsverfahren;
- Kühlprozesse;
- Heizprozesse.



2.10.2 Installation von pH- und Redox-Sensoren

Es gibt drei Möglichkeiten für die Installation von pH-/Redox-Elektroden, wobei die Sensoren wie folgt unterschieden werden können:

- Inline-Sensoren;
- Tauchsensoren;
- Unter Druck installierbare Sensoren.

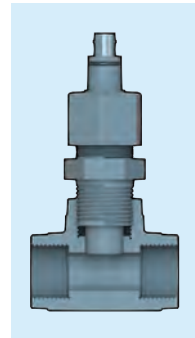
2.10.2.1 Installationsrichtlinien

Inline-Installation (leitungsgebunden)

Alle pH/ORP-Sensorfamilien sind für eine Inline-Installation geeignet und werden für den Einsatz in einem Rohrbereich von DN15 bis DN100 empfohlen.

Insbesondere beim Einbau in kleine Rohre ist darauf zu achten, dass das pH-Glas nicht mit der Rohroberfläche in Berührung kommt.

pH-/ORP-Elektroden können in einem Winkel von maximal 30° zur Senkrechten angebracht werden, wobei darauf zu achten ist, dass der Sensor vollständig mit der Messlösung in Berührung kommt.

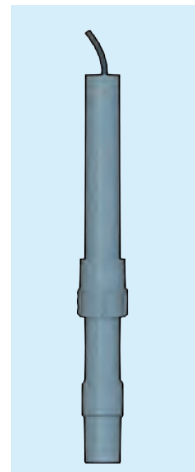


Tauchinstallation

Die Tauchinstallation ist für Kolbenelektroden mit Epoxidkörper und Flächenelektroden mit PVC-C-Körper geeignet.

Die Elektrode sollte in der Nähe des Tankauslasses und in ausreichendem Abstand zu Zugabebereichen angebracht werden, um eine repräsentative Lösung zu messen.

Der Sensor sollte sich unterhalb des minimalen Füllstands befinden, um ein Austrocknen der Elektrode zu verhindern.

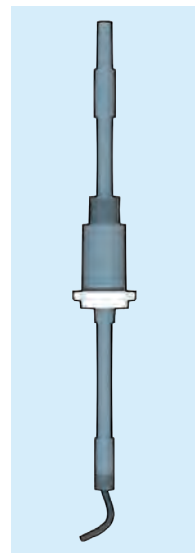


Einbau in druckbeaufschlagte Leitungen

Der Einbau in druckbeaufschlagte Leitungen ist nur für eine spezielle Ausführung der Flächenelektrode mit PVC-C-Körper (PH655CD, ORP655CD) möglich.

Ein solche Installation kann nützlich sein, wenn die Anwendung eine andere Positionierung der Elektrode als die Standardposition von 30° aus der Senkrechten erfordert, sowie bei Rohrleitungen, die für Wartungsarbeiten nicht drucklos gemacht werden können.

Der Einbau in druckbeaufschlagte Leitungen kann auch das Problem der Inline-Installation bei Rohren größer als DN100 lösen.



2.10.2.2 Betriebsrichtlinien

Lagerung

Wenn der pH-Wert nur selten gemessen wird, z. B. im Abstand von mehreren Tagen oder Wochen, kann die Elektrode einfach in der Schutzkappe der Durchstechflasche aufbewahrt werden.

Wenn die Aufbewahrungslösung in der Durchstechflasche fehlt oder eingetrocknet ist, empfiehlt es sich, 3M KCl oder einen pH 4-Puffer zu verwenden.

Pflege und Reinigung

Eine Verschmutzung der Messfläche einer Elektrode kann zu falschen Messwerten führen, einschließlich einer verkürzten Messspanne und langsamen Ansprechzeiten.

Es liegt auf der Hand, dass die Art der Verschmutzung das Reinigungsverfahren bestimmt:

- Weiche Anhaftungen lassen sich durch kräftiges Umrühren, mit einer Sprühflasche oder, sehr vorsichtig, durch vorsichtiges Abwischen mit einem weichen, sauberen, nicht scheuernden Papier oder Tuch entfernen;
- Verwenden Sie auf pH-Glas keine Bürsten oder Schleifmittel;
- Harte Verschmutzungen sollten chemisch entfernt werden: Die zum Entfernen der Verschmutzung verwendete Chemikalie sollte die am wenigsten aggressive sein, die die Verschmutzung in 1 oder 2 Minuten auflöst und die Konstruktionsmaterialien der Elektrode nicht angreift.

Die Oberfläche einer pH-Elektrode sollte niemals abgeschabt oder abgeschliffen werden.

Insbesondere bei ORP-Sensoren kann die Elektrode mit 600er Nassschleifpapier (Siliziumkarbidpapier), Schmuckpolierpaste oder sehr feiner Stahlwolle sanft abgeschliffen werden, aber versuchen Sie, die Elektrode vor dem Abschleifen mit 600er Nassschleifpapier chemisch zu reinigen.

Wiederaufbereitung

Wenn aufgrund der Alterung der Elektrode eine Wiederaufbereitung erforderlich ist, wird empfohlen, die folgenden chemischen Behandlungen in der Reihenfolge des Schweregrads des Angriffs auf das pH-Glas auszuprobieren. Es kann jedoch sein, dass sie die Leistung der Elektrode nicht verbessern (und in einigen Fällen sogar weiter verschlechtern).

- Tauchen Sie die Elektrodenspitze 15 Sekunden lang in 0,1 M HCl, spülen Sie sie mit Leitungswasser ab und tauchen Sie die Spitze anschließend 15 Sekunden lang in 0,1 M NaOH und spülen Sie sie mit Leitungswasser ab.

Wiederholen Sie diesen Vorgang dreimal und prüfen Sie dann erneut die Leistung der Elektrode.

Wenn sich die Leistung nicht verbessert hat, gehen Sie folgendermaßen vor:

- Tauchen Sie die Spitze 2 bis 3 Minuten lang in eine 20 %ige Ammoniumdifluoridlösung, spülen Sie sie mit Leitungswasser ab und überprüfen Sie die Leistung erneut.

Wenn sich die Leistung nicht verbessert hat, gehen Sie folgendermaßen vor:

- Tauchen Sie die Elektrodenspitze 10–15 Sekunden lang in 5%ige HF ein, spülen Sie sie gut mit Leitungswasser ab, spülen Sie sie schnell in 5 M HCl ab, spülen Sie sie gut mit Leitungswasser ab und überprüfen Sie die Leistung erneut.

Wenn sich die Leistung noch immer nicht verbessert hat, sollte eine andere pH-Elektrode verwendet werden.

Für den ORP-Sensor wird empfohlen, die Metalloberflächen mit einem leicht abrasiven Mittel wie Zahnpasta oder sehr feinem Scheuerpulver zu reinigen.



WARNUNG

Treffen Sie beim Umgang mit den oben genannten gefährlichen Chemikalien angemessene Vorsichtsmaßnahmen. Ammoniumdifluorid und Fluorwasserstoffsäure sind äußerst gefährlich und sollten nur von qualifiziertem Personal verwendet werden.

Kalibrierung

Die Kalibrierung ist von entscheidender Bedeutung, um eine gute Genauigkeit und zuverlässige Messung zu erzielen.

Die Häufigkeit der Kalibrierung ist abhängig von der Elektrode, dem pH-Messgerät und den Lösungen, denen die Elektrode ausgesetzt ist.

Außerdem hängt diese Häufigkeit von der Temperatur der Anwendung ab und davon, wie kritisch die Messung ist.

Für allgemeine Zwecke kann die automatische Kalibrierung mit dem Standardwert des Puffers (pH 7, pH 4, pH 10) verwendet werden.

Es ist zu bedenken, dass der Puffer pH 10 weniger stabil ist als der Puffer pH 4, da sich darin CO₂ lösen kann. Wird dieselbe Pufferflasche für mehrere Kalibrierungen verwendet, ist es daher besser, pH 4 vorzuziehen.

Denken Sie daran, die Elektrode vor dem Eintauchen in den Puffer in etwas Wasser zu reinigen, um eine Kontamination der Pufferlösung zu vermeiden.

Falls eine höhere Genauigkeit bei einem festen Wert erforderlich ist, kann eine manuelle Kalibrierung verwendet werden, um eine Kalibrierung mit Puffern um den erwarteten Wert herum durchzuführen.

2.11 Auswahl des Leitfähigkeitssensors

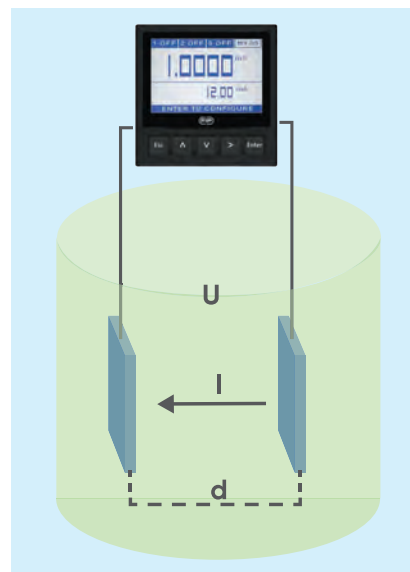
2.11.1 Aufbau des Leitfähigkeitssensors

2.11.1.1 Leitfähigkeitsmessung

Unter Leitfähigkeit versteht man die Fähigkeit einer Elektrolytlösung, einen elektrischen Strom zu leiten. Dieser Strom wird von Kationen und Anionen getragen. Die SI-Einheit der Leitfähigkeit ist Siemens pro Meter (S/m) und bezieht sich auf 25 °C.

Wie gut eine Lösung Elektrizität leitet, hängt von mehreren Faktoren ab, wie Konzentration, Mobilität und Wertigkeit der Ionen sowie Temperatur.

Die Leitfähigkeit wird gemessen, indem eine eingeprägte Spannung (U) an zwei Elektroden angelegt wird, die in einem bestimmten Abstand (d) in eine Lösung eingetaucht sind. Dabei wandern die Kationen zur negativen Elektrode, die Anionen zur positiven Elektrode und die Lösung wirkt als elektrischer Leiter. Auf diese Weise können der erzeugte Strom (I) und die Leitfähigkeit bzw. der spezifische Widerstand gemessen werden.



Außerdem ist es für die Berechnung der Leitfähigkeit von grundlegender Bedeutung, die Zellkonstante zu kennen. Sie ist definiert als das Verhältnis des Abstands (d) zwischen den Elektroden zur Fläche (S) der Elektroden, wie in der folgenden Gleichung beschrieben:

$$K = \frac{d}{S}$$

wobei:

K = Zellkonstante (m⁻¹)

d = Abstand der Elektroden (m)

S = Oberfläche der Elektroden (m²)

Daher kann die Leitfähigkeit ausgedrückt werden als:

$$k = \frac{d}{S} * \frac{1}{R}$$

wobei:

k = Leitfähigkeit (S/m)

d = Abstand der Elektroden (m)

S = Oberfläche der Elektroden (m²)

R = Widerstand (Ohm = 1/S)

Die Zellkonstante ist für die Leitfähigkeitsberechnung von grundlegender Bedeutung, da sie die Empfindlichkeit und Genauigkeit der Messung direkt beeinflusst.

Insbesondere sind niedrigere Zellkonstanten erforderlich, um bei Proben mit niedriger Leitfähigkeit (also hohem spezifischen Widerstand) ein gutes Signal an das Messgerät zu liefern. Umgekehrt sind höhere Zellkonstanten erforderlich, um Proben mit hoher Leitfähigkeit (also niedrigem spezifischen Widerstand) zu messen. Das Messgerät muss die genaue Zellkonstante des angeschlossenen Sensors kennen und den Messwert entsprechend normalisieren.

In der folgenden Tabelle sind beispielhaft einige Werte konstanter Zellen nach Betriebsbereich von Sensor und Anwendungen aufgeführt.

Zellkonstante (K)	0,01	0,1	1	10
Betriebsbereich	0,055 µS bis 200 µS	0,1 µS bis 2000 µS Optimal: 0,5-200 µS	1 µS bis 20000 µS Optimal: 5-10000 µS	10 µS bis 200000 µS Optimal: 0,5-200 mS
Anwendungen	Reinstwasser	Deionisiertes Wasser, destilliertes Wasser	Destilliertes Wasser, Leitungswasser, Kühlturm	Abwasser, Meerwasser

Auswirkungen der Temperatur auf die Leitfähigkeit

Die Temperatur hat einen signifikanten Einfluss auf die Leitfähigkeit.

Im Allgemeinen bewirkt eine Erhöhung der Temperatur der Lösung eine Abnahme ihrer Viskosität und eine Erhöhung der Beweglichkeit und Anzahl der Ionen in Lösung durch Dissoziation von Molekülen.

Da die Leitfähigkeit einer Lösung von diesen Faktoren abhängt, führt eine Erhöhung der Temperatur der Lösung zu einer Erhöhung ihrer Leitfähigkeit.

Bei niedrigen Ionenkonzentrationen, wie z. B. bei sehr reinem Wasser, entstehen durch die Ionisierung des Wassers mehrere leitfähige Ionen: Dieser Prozess ist temperaturabhängig, so dass die Leitfähigkeit eine Abhängigkeit von der Temperatur aufweist.

Diese Abhängigkeit wird in der Regel als relative Änderung pro Grad Celsius bei einer bestimmten Temperatur, der sogenannten Referenztemperatur, ausgedrückt, die in der Regel 25 °C, 20 °C oder 18 °C entspricht.

Die Geschwindigkeit, mit der die Leitfähigkeit einer Lösung zunimmt, wird als Temperaturvariationskoeffizient oder Temperatureausgleichskoeffizient bezeichnet.

Der Variationskoeffizient ist für jedes Lösungsmittel oder Gemisch unterschiedlich. Einige Werte nach verschiedenen Flüssigkeiten sind in der folgenden Tabelle angegeben. Bei Messungen der Leitfähigkeit bei hohen und niedrigen Temperaturen werden die Daten normalerweise auf 25 °C normalisiert.

Lösung	Temperaturvariationskoeffizient %/°C bei 25 °C
Reinstwasser	5,5
NaOH 5 %	2,01
NaOH 30 %	4,50
HCl 5 %	1,58
HCl 30 %	1,52
KCl 5 %	2,01
KCl 20 %	1,68
Süßwasser	~ 2,0

Aus diesen Daten geht klar hervor, dass ein kleiner Temperaturunterschied einen großen Unterschied in der Leitfähigkeit bewirkt, und dieser Effekt ist sehr störend, wenn ein hohes Maß an Genauigkeit erforderlich ist.

2.11.2.1 Leitfähigkeitselektroden

Je nach Anwendung und Hauptmerkmalen lassen sich Leitfähigkeitssensoren in drei verschiedene Gruppen einteilen:

Graphit- oder Platin-Sensor

Diese Leitfähigkeitssensoren sind mit Graphit- oder Platinelektroden für eine hohe Auflösung ausgestattet, und das Gehäuse aus Epoxidharz garantiert eine hohe Beständigkeit und Zuverlässigkeit.

Sie sind in der Lage, eine genaue und hochauflösende Messung zu gewährleisten, auch dank des eingebauten Temperatursensors in Verbindung mit der ATC-Anzeige (automatische Temperaturkompensation).

Außerdem sind die Elektroden wirksam geschützt, so dass es unwahrscheinlich ist, dass die konstante Zelle durch das Vorhandensein von Feststoffen beschädigt wird. Es stehen drei Zellkonstanten zur Verfügung (0,1, 1, 10), eine davon in Abhängigkeit von dem gewünschten Übungsintervall.

Sie können im Labor und in der Industrie für saubere Flüssigkeiten verwendet werden, wie z. B.:

- Chemische Konzentrationen;
- Lebensmittelindustrie;
- Dampferzeugung;
- Metallverarbeitung und Bergbau;
- Textilindustrie;
- Zellstoff und Papier;
- Wasseraufbereitung;
- Umkehrosmose;
- Entionisierung;
- Destillation;
- Aquakultur;
- Landwirtschaft und Düngesysteme.



Leitfähigkeitssensor aus Edelstahl

Zu den Edelstahlsensoren zählen zwei verschiedene Typen von Serien.

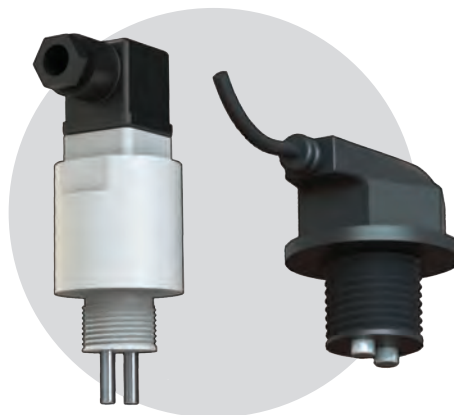
Die Serie C100 ist insbesondere für die Landwirtschaft, die Leichtindustrie und für verschmutzte Flüssigkeiten konzipiert, wenn die Bedingungen der Proben die Verwendung von Stahl erlauben. Sie wird beispielsweise für Anwendungen eingesetzt, bei denen Verstopfungen auftreten können:

- Wasseraufbereitung;
- Lebensmittelindustrie;
- Landwirtschaftliche Anlagen;
- Kraftwerkskessel.

Diese Art von Sensoren zeichnet sich durch ein besonders günstiges Verhältnis zwischen Kosten und Leistung aus.

Die Kombination des Temperatursensors mit der ATC-Funktion der Anzeige ermöglicht es, eine genaue Messung zu erhalten. Darüber hinaus garantiert die große Auswahl an Zellkonstanten die Verfügbarkeit des am besten geeigneten Produktes für unzählige spezifische Anwendungen.

Die C300-Serie hingegen ist für die Reinstwasserüberwachung mit einer zertifizierten Zellkonstante von 0,01 und für Abwasser mit einer Zellkonstante von 10 konzipiert.



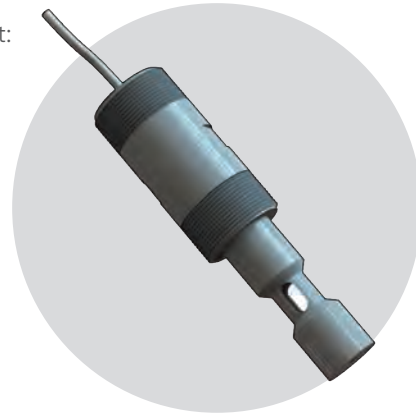
Induktiver Leitfähigkeitssender

Dieser induktive Leitfähigkeitstransmitter besteht aus einem 4-20mA-Ausgabegerät, das in einen induktiven Leitfähigkeitssensor integriert ist. Diese Art der Messtechnik erlaubt ein breites Anwendungsspektrum insbesondere zur Messung hoher Leitfähigkeitswerte (von 10 mS bis 1000 mS) in aggressiven Flüssigkeiten (wobei PVC-C das einzige benetzte Material ist).

Da keine Elektroden direkt mit Flüssigkeit in Berührung kommen, ist eine zuverlässige und stabile Messung über eine lange Betriebszeit gewährleistet. Das Gehäuse des Geräts ist mit einer automatischen Temperaturkompensation (ATC) ausgestattet.

Es wird hauptsächlich in folgenden Anwendungen verwendet:

- Wasser- und Abwasseraufbereitung;
- Kühlturm;
- Wäschersystem;
- Metallveredelung und Korrosionsschutzflüssigkeiten.



2.11.2 Installation des Leitfähigkeitssensors

Es gibt zwei Möglichkeiten, Leitfähigkeitssensoren zu installieren, nämlich als:

- Inline-Sensoren;
- Tauchsensoren.

2.11.2.1 Installationsrichtlinien

Inline-Installation (leitungsgebunden)

Alle Leitfähigkeitssensoren sind für eine Inline-Installation geeignet.

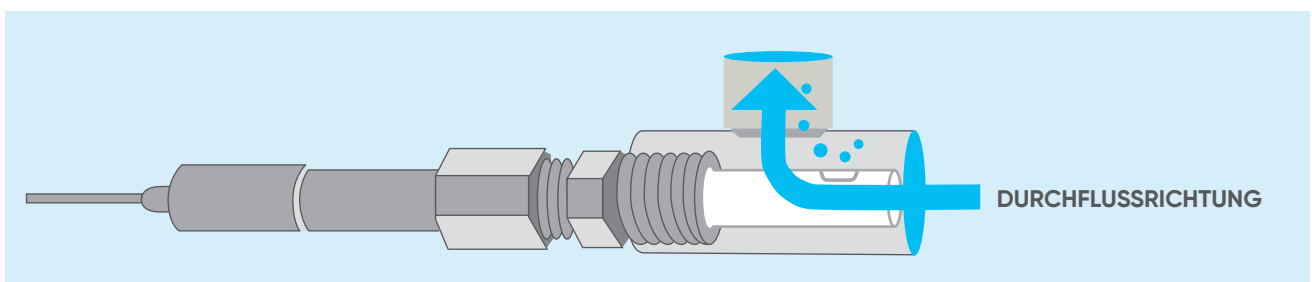
Insbesondere können zwei verschiedene Arten der Inline-Installation durchgeführt werden:

- Senkrecht auf einer geraden Rohrleitung mit einem geeigneten T-Stück: Diese Installation sollte mit einer umgedrehten Montage (oder zumindest mit einem Winkel von 45°) durchgeführt werden, da diese Bedingung dazu beiträgt, Luftpneumatische Einschlüsse zu vermeiden;
- Durch die Seite eines T-Stücks: Diese Installationsart wird bevorzugt, da diese Konfiguration die Wahrscheinlichkeit von eingeschlossener Luft verringert und die beste kontinuierliche Probenahme der Flüssigkeit bietet.

Es muss immer darauf geachtet werden, dass die Elektroden des Sensors vollständig in eine repräsentative Lösung getaucht sind, also nicht in ein Totvolumen.

Leitfähigkeitssensoren können in jeder Richtung einwandfrei funktionieren.

Die folgende Abbildung zeigt ein Beispiel für eine Inline-Installation.

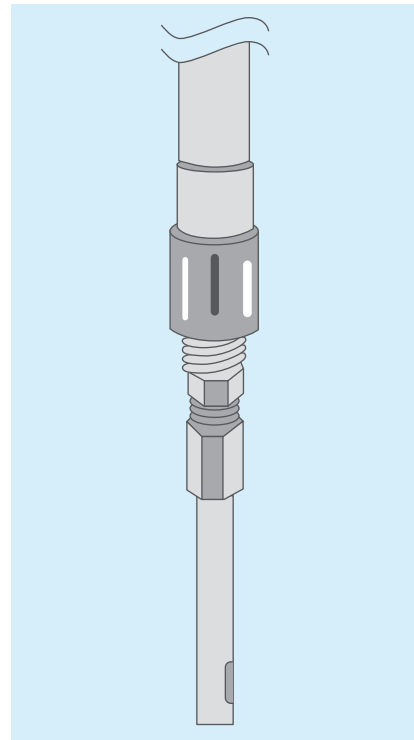


Tauchinstallation

Graphit- und Platin-Leitfähigkeitssensoren sind für eine Tauchinstallation geeignet.

Der Sensor sollte in der Nähe des Tankauslasses und in ausreichendem Abstand zu Zugabebereichen angebracht werden, um eine repräsentative Lösung zu messen.

Die nebenstehende Abbildung zeigt ein Beispiel für eine Tauchinstallation.



2.11.2.2 Betriebsrichtlinien

Pflege und Reinigung

Alle Leitfähigkeitssensoren lassen sich mit einem sanften Reinigungsmittel säubern. Graphit- oder Platinsensorenfamilien können außerdem mit einer 5%igen HCl-Lösung gereinigt werden.

Die Oberfläche der Elektroden darf nicht abgeschliffen werden, da sich durch den Abrieb die Oberfläche verändert und fehlerhafte Messwerte verursacht werden.

Grundsätzlich kann jede Lösung verwendet werden, die mit dem Elektrodenmaterial und dem Material des Sensorkörpers kompatibel ist.

Kalibrierung

Die Kalibrierung ist von entscheidender Bedeutung, um eine gute Genauigkeit und zuverlässige Messung zu erzielen.

Die Häufigkeit der Kalibrierung ist eine Funktion des Sensors und der Lösungen, die gemessen werden müssen, und sie hängt davon ab, wie kritisch die Messung ist.

Achten Sie darauf, dass während der Kalibrierung keine Luftblasen vorhanden sind, da dieser Zustand zu fehlerhaften Messwerten führen kann.

Da die Temperatur die Messung der Leitfähigkeit stark beeinflusst, ist Folgendes zu beachten:

- Referenztemperatur (sie sollte für die Überwachung und Kalibrierlösung identisch sein);
- Temperaturkompensation: Wenn diese aktiviert ist, sollte insbesondere der Leitfähigkeitswert der Kalibrierlösung bei Referenztemperatur verwendet werden. Wenn sie nicht aktiviert ist, wird empfohlen, den Leitfähigkeitswert der Kalibrierlösung bei der Temperatur der Kalibrierlösung zu verwenden;
- Temperaturkompensationsfaktor: Überprüfen Sie, ob er für die Kalibrierung und für die Messlösung geeignet ist.





3. Installationsrichtlinien **194**

3.1 Verbindungsmethoden **194**

3.1.1 Kleben	195
3.1.1.1 Kleben von Rohrleitungssystemen aus PVC-U	196
3.1.1.2 Kleben von Rohrleitungssystemen aus PVC-C	200
3.1.1.3 Kleben von Rohrleitungssystemen aus ABS	204
3.1.2 Stumpfschweißen	210
3.1.3 Muffenschweißen	217
3.1.4 Heizwendelschweißen	224
3.1.5 Warmgasschweißen	228
3.1.6 Flanschverbindungen	232
3.1.7 Gewindeverbindungen	239
3.1.8 Mechanisches Verbinden von Rohrleitungen mit Straub-Kupplung	243

3.2 Rohrleitungsmontage und Empfehlungen **253**

3.2.1 Wärmedehnung und Schrumpfung	253
3.2.1.1 Mechanische Expansionsverbindungen	254
3.2.1.2 Dehnungsausgleich	259
3.2.1.3 Dehnungsbögen und Richtungsänderungen	259
3.2.2 Begleitheizung	261
3.2.3 Verankern von Rohrleitungen	264
3.2.3.1 Rohrleitungsstützen und Rohrhalterungen	265
3.2.3.2 Tabellen und Diagramme	267
3.2.4 Erdbau (unterirdisches System)	279

3.3 Rohrleitungsprüfung vor Ort **284**

3.4 Lagerung, Transport und Handhabung **288**

3. Installationsrichtlinien

3.1 Verbindungsmethoden

Einer der Gründe, warum immer mehr Bereiche des Bauwesens und der Industrie auf thermoplastische Kunststoffe zurückgreifen, um Konstruktions- und Bauprobleme bei Rohrleitungen zu lösen, liegt daran, dass sich Verbindungen zwischen Rohren und Formstücken aus thermoplastischen Kunststoffen mit Hilfe verschiedener Verarbeitungstechniken sehr einfach herstellen lassen.

Diese Vielseitigkeit in Verbindung mit den anderen oben genannten physikalisch-chemischen Eigenschaften, wie gute Beständigkeit gegen chemische Agenzien und Trägheit gegen elektrochemische Korrosion, führte zu einer Senkung der Installations- und Wartungskosten von thermoplastischen Rohren und begünstigte deren Verwendung in mittel- und langfristigen Anwendungen auch gegenüber herkömmlichen Baumaterialien.

Je nach Art der gewünschten Verbindung, den physikalischen und mechanischen Eigenschaften des Baumaterials und den Einsatz- und Betriebsbedingungen kann die Längsverbindung von Rohren und Formstücken aus thermoplastischen Kunststoffen durch den Einsatz zahlreicher Verbindungssysteme erreicht werden, die oft sehr unterschiedliche Investitionen und Kosten verursachen.

Verbindungssysteme für die Verbindung von thermoplastischen Rohren werden in zwei große Gruppen eingeteilt: Dauerhafte Längsverbindungen und lösbare Längsverbindungen.

In diesem Kapitel möchten wir allen Installateuren, die sich zum ersten Mal mit der Verlegung von Rohren und Formstücken aus thermoplastischen Kunststoffen befassen müssen, eine umfassende Unterstützung bieten.

Zu diesem Zweck haben wir die Daten und Informationen zusammengefasst, die notwendig und hilfreich sind, um eine korrekte Installation von Komponenten aus thermoplastischen Kunststoffen gemäß den wichtigsten Techniken, die derzeit bei der Konstruktion von Rohrleitungen für den Transport von unter Druck stehenden Flüssigkeiten angewendet werden, durchzuführen.

Dauerhafte Verbindungen

Unter dauerhaften Verbindungssystemen versteht man alle Systeme, die unter Anwendung eines irreversiblen physikalisch-chemischen Prozesses unlösbare Längsverbindungen herstellen.

In Anbetracht der dauerhaften Art der Verbindung werden diese Systeme häufig dort eingesetzt, wo eine hohe mechanische Festigkeit der Verbindung und extreme Sicherheit bei der Beförderung gefährlicher oder giftiger Flüssigkeiten oder Stoffe, die durch äußere Einflüsse verunreinigt werden können, erforderlich sind.

Die folgenden dauerhaften Verbindungssysteme sind bei der Verlegung von thermoplastischen Rohren weit verbreitet und werden in den nächsten Kapiteln beschrieben:

- Kleben;
- Stumpfschweißen;
- Infrarotschweißen;
- Muffenschweißen;
- Warmgasschweißen;
- Heizwendelschweißen.

Zur Beurteilung der Kenntnisse und praktischen Fertigkeiten eines Schweißers, der bei der Konstruktion neuer Kunststoffzeugnisse oder bei der Durchführung von Reparaturen schweißen muss, wird auf die Norm EN 13067 verwiesen.

Darüber hinaus werden am Ende jedes Kapitels zu jeder dauerhaften Verbindung die häufigsten Fehler beschrieben, die auftreten können. Für weitere Einzelheiten wird auf die Norm EN 14728 verwiesen.

Lösbare Verbindungen

Als lösbare Verbindungssysteme werden solche Systeme bezeichnet, bei denen mit Hilfe spezieller mechanischer Elemente das Lösen der Verbindung möglich ist, ohne die Integrität der Rohrleitung zu beeinträchtigen.

Sie eignen sich für Anwendungen, bei denen eine regelmäßige Wartung und Inspektion der Rohre erforderlich ist.

In den nächsten Kapiteln werden insbesondere die folgenden lösbaren Verbindungssysteme beschrieben:

- Verbindung mit Flanschelementen;
- Verbindung mit Gewindeelementen;
- Mechanische Verbindung mit Straub-Kupplung.

3.1.1 Kleben

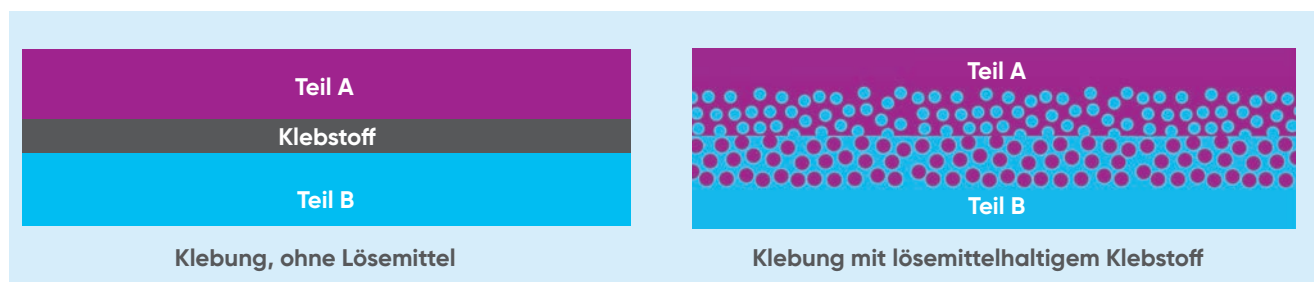
Das Kleben mit Lösemitteln ist das am häufigsten angewendete Verfahren, um Rohre, Formstücke und Armaturen aus PVC-U, PVC-C und ABS in Längsrichtung miteinander zu verbinden.

Das Kleben bzw. die „Haftigkeit“ einer Klebeverbindung wird durch Adhäsion und Kohäsion hervorgerufen. Dabei bezeichnet die Adhäsion, die Bindekräfte an der Grenzfläche zwischen dem zu verklebenden Substrat und die Kohäsion, die Bindekräfte der Klebstoffbestandteile unter sich.

Die Begriffe „Klebstoff“ und „Lösemittelklebstoff“ werden im Zusammenhang mit der Verlegung von thermoplastischen Rohren oft synonym verwendet: Beide erfüllen grundsätzlich das unmittelbare Ziel der Verbindung von Rohren und Formstücken, aber tatsächlich unterscheiden sie sich in ihren Substanzen.

Beim Kleben mit lösemittelhaltigem Klebstoff, der aus Kunstharz und einem Lösungsmittel besteht, dringt dieser zudem in das Oberflächenmaterial ein und weicht dieses auf. Das Lösungsmittel durchdringt Rohre und Fittings, um eine „chemische Schweißung“ zu erzeugen. Nach dem „Aushärten“ ist die ordnungsgemäß geklebte Verbindung so stark wie die Rohrleitungsteile selbst.

Die folgende Abbildung verdeutlicht den Unterschied zwischen einer Verbindung ohne und mit lösemittelhaltigem Klebstoff.



Die Mischungen müssen in Abhängigkeit von der Art des zu verschweißenden thermoplastischen Kunststoffes gewählt werden, da sich die Art des Lösemittels entsprechend ändert.

Bei unsachgemäßer Anwendung von Lösemittelklebstoffen, zum Beispiel bei Überdosierungen, kann das Gefüge der Kunststoffe unter Umständen gravierend negativ beeinflusst werden. Vor allem ist darauf zu achten, dass nur solche Klebstoffe verwendet werden, die vom Hersteller für die Klebung von Rohren und Formstücken aus Polyvinylchlorid vorgesehen und entsprechend deklariert sind. Klebstoffe, die im PVC-U Druckrohrbereich eingesetzt werden, müssen der DIN EN 14814 entsprechen. Es muss unbedingt vermieden werden, dass das gleiche Lösemittel für das Kleben von Elementen aus verschiedenen thermoplastischen Kunststoffen verwendet wird.

3.1.1.1 Kleben von Rohrleitungssystemen aus PVC-U

Bei der Installation von Rohrleitungen aus starrem PVC-U ist das Kleben mit lösemittelhaltigen Klebstoffen als das am häufigsten angewendete Verbindungssystem zu betrachten, da es durch die Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten mit Formteilen und Zubehör aus PVC-U eine Begrenzung des Materialeinsatzes während der Montagephase ermöglicht.

Diese Verbindungstechnik erfordert die Verwendung von Rohren und Formstücken. Das Kleben mit Lösemittel ermöglicht es, Verbindungen mit hoher Haftigkeit zu erhalten, die die Anforderungen an die Beständigkeit gegen den Innendruck der verbundenen Rohre und Formstücke unverändert beibehalten.

Sofern nicht anders angegeben, muss der auf den zu verbindenden Flächen verwendete lösemittelhaltige Klebstoff auch mit den folgenden Toleranzen nutzbar sein:

- maximale Abweichung 0,2 mm;
- maximales Spiel 0,6 mm.

Die folgende Tabelle zeigt den Wert des hydraulischen Prüfdrucks, der von den Klebeverbindungen gemäß der Norm ISO 15493 und einem Sicherheitsfaktor von 2,5 erreicht werden muss.

Prüftemperatur (°C)	Min. Prüfdauer (h)	Prüfdruck (kg/cm ²)
20	1000	1,7 x PN
60	1000	0,6 x PN

Da eine direkte Verbindung von Rohren mit Zubehörteilen aus anderen Werkstoffen nicht zulässig ist, wird das Kleben häufig mit lösbaren Verbindungen wie Flanschen oder Gewinden usw. kombiniert, was die Verwendung von starren PVC-U-Rohrleitungen auch in besonders anspruchsvollen Leitungen mit verschiedenen Geräten und Zubehörteilen ermöglicht.

Um eine perfekte Verbindung zwischen Rohr und Formstück zu erreichen, muss der am besten geeignete Klebstoff ausgewählt und verwendet werden, der für die Längsverbindung von Rohren aus starrem PVC-U entwickelt und hergestellt wurde, entsprechend den Abmessungen der Verbindungselemente und den Betriebsbedingungen, denen die gerade realisierte Verbindung ausgesetzt werden soll.

Klebeanleitung für die Längsverbindung von Rohren und Formstücken aus PVC-U

Bevor mit dem Kleben begonnen wird, müssen Leistungsfähigkeit und Zustand der verwendeten Hilfsmittel und der zu verbindenden Teile überprüft werden, insbesondere die Gleichmäßigkeit, die Fließfähigkeit und das Verfallsdatum des Klebers.

Die wichtigsten Schritte beim Kleben sind:



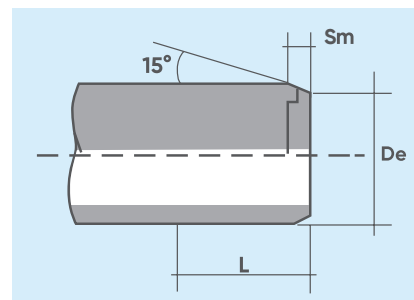
1) Schneiden Sie das Rohr exakt rechtwinklig zu seiner Achse, um einen sauberen Schnitt zu erhalten, vorzugsweise mit einem Rohrabschneider mit Schneidrad, der speziell für thermoplastische Rohre konzipiert ist.



2) Fasen Sie die Außenkanten des Rohrs an, um sicherzustellen, dass es in einem Winkel von 15° in das Formstücks eingesteckt werden kann.

Die Anfasung muss unbedingt durchgeführt werden, da das Lösemittel andernfalls von der Oberfläche des Formstücks abgestreift werden kann, wodurch die Wirksamkeit der Verbindung beeinträchtigt wird. Das Anfasen muss mit dem entsprechenden Anfaswerkzeug durchgeführt werden.

Nähere Angaben über die Länge der Fase in Abhängigkeit von der Länge und dem Durchmesser des Rohrs finden Sie in der folgenden Tabelle und in der nebenstehenden Abbildung.



Außendurchmesser De (mm)	Klebelänge L (mm)	Fase Sm (mm)
16	14	1
20	16	1,5
25	18,5	3
32	22	3
40	26	3
50	31	3
63	37,5	5
75	43,5	5
90	51	5
110	61	5
125	68,5	5
140	76	5
160	86	5
180	96	5-6
200	106	5-6
225	118,5	5-6
250	131	5-6
280	146	5-6
315	163,5	5-6



3) Messen Sie die gesamte Muffentiefe des Formstücks bis zur Innenkante.



4) Zeichnen Sie die abgemessene Einstecktiefe am Ende des Rohrs an. Dies dient später als Kontrolle zum vollständigen Einsetzen des Rohrs in das Formstück.

HINWEIS: Ritzen Sie das Rohr beim Anzeichnen nicht ein.



5) Entfernen Sie sorgfältig mit einem sauberen Papiertuch oder einem mit Reinigungsmittel getränkten Applikator alle Schmutz- und Fettrückstände von der Außenfläche des Rohres über die gesamte Klebelänge.

Wiederholen Sie den gleichen Vorgang auch an der Innenseite des Formstücks.

Lassen Sie die Oberflächen einige Minuten trocknen, bevor Sie den Kleber auftragen.

Denken Sie daran, dass das Reinigungsmittel nicht nur zum Reinigen der Verbindungsflächen dient, sondern auch die wichtige Aufgabe hat, die Oberfläche aufzuweichen und für die Aufnahme des Lösungsmittels vorzubereiten. Erst so wird eine perfekte Verbindung erzielt.

HINWEIS: Berühren Sie die gereinigten Oberflächen nicht mehr.



6) Tragen Sie den Kleber gleichmäßig nach Herstellerangaben auf beide zu verbindenden Teile auf, d. h. auf die Außenfläche des Rohrs und die Innenfläche des Formstücks.

Das Auftragen der Klebstoffschicht auf Rohren und Formstücken muss über die gesamte Länge der Verbindungsflächen erfolgen, und zwar ausdrücklich:

- über die gesamte Länge des Rohrendes, die zuvor auf der Außenfläche angezeichnet wurde (Abbildung **A**),
- über die gesamte Tiefe des Formstücks bis zur Innenkante (Abbildung **B**).



Es wird empfohlen, dafür einen entsprechend großen, rauen und sauberen Pinsel zu verwenden, der nicht kleiner als die Hälfte des Rohrdurchmessers sein sollte. Genauere Informationen finden Sie in der folgenden Tabelle.

Außendurchmesser De (mm)	Art des Pinsels oder des Applikators	Abmessungen des Pinsels oder des Applikators (mm)
16-25	Rund	8-10
32-63	Rund	20-25
75-160	Rechteckig/rund	45-50
>160	Rechteckig/zylindrisch	45-50
>160-315	Rechteckig/zylindrisch	60-65



7) Das Rohr muss sofort nach dem Auftragen des Klebers ohne Drehung in das Formstück eingeführt werden.

8) Je nach Außendurchmesser des Rohres und möglichen Schwierigkeiten bei der Handhabung muss das Einführen des Rohrs in das Formstück wie folgt vorgenommen werden:

- Bei Außendurchmessern < 90 mm von Hand durch eine Person;
- Bei Außendurchmessern von 90 mm < De < 160 mm von Hand durch zwei Personen;
- Bei Außendurchmessern > 160 mm mithilfe eines mechanischen Rohreinzugsgerätes.



9) Nach dem vollständigen Einsetzen des Rohrs in das Formstück muss dieses für einige Sekunden festgehalten werden, bis der Klebstoff angezogen hat.

Entfernen Sie anschließend mit Krepppapier oder einem sauberen Tuch überschüssigen Kleber von den Außenflächen und nach Möglichkeit auch von den Innenflächen.



10) Lassen Sie die zusammengefügte Teile so lange stehen, bis der Klebstoff auf natürliche Weise abgebinden hat, ohne unnötige Spannungen zu erzeugen.

Die Aushärtezeit hängt von der Belastung ab, der die Verbindung später ausgesetzt ist.

Insbesondere müssen die folgenden Mindestaushärtezeiten in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur beachtet werden:

- Vor einer Belastung der Verbindung:
 - 5 bis 10 Minuten bei einer Umgebungstemperatur $T > 10\text{ °C}$
 - 15 bis 20 Minuten bei einer Umgebungstemperatur $T < 10\text{ °C}$;
- Für Verbindungen an Rohren jeder Größe oder jedes Drucks, die keiner hydraulischen Prüfung unterzogen werden:
 - 1 Stunde für jede bar des aufgebracht Drucks;
- Für Verbindungen in Rohren und Formstücken mit beliebigem Durchmesser, die einer Druckprüfung bis PN 16 unterzogen werden:
 - mindestens 24 Stunden.

Die angegebenen Abbindezeiten für Kleber gelten bei Umgebungstemperatur (ca. 25 °C): für besondere klimatische Bedingungen (Luftfeuchtigkeit, Temperatur usw.) empfehlen wir Ihnen, sich mit unserer technischen Abteilung und/oder dem Hersteller des Klebers in Verbindung zu setzen, um weitere Informationen zu erhalten.

Menge an Kleber für PVC-U-Material

Die Menge an Kleber, die für die Verbindungen benötigt wird, hängt von einer Reihe von Faktoren ab (Umgebungsbedingungen, Rohrgröße, Klebviskosität, Erfahrung des Anwenders usw.), die oft schwer zu quantifizieren sind.

In der Tabelle sind die ungefähren Klebemengen angegeben, die normalerweise für die Verbindung von Rohren und Formstücken aus PVC-U benötigt werden.

D (mm)	Anzahl der Verbindungen pro kg Kleber
16	550
20	500
25	450
32	400
40	300
50	200
63	140
75	90
90	60
110	40
125	30
140	25
160	15
180	12
200	10
225	6
250	4
280	2
315	2

3.1.1.2 Kleben von Rohrleitungssystemen aus PVC-C

Dank der hohen Kunststoffqualität und der eigenen mechanischen und chemisch-physikalischen Eigenschaften des PVC-Cs ist dies eine der wirtschaftlichsten Lösungen im Bereich thermoplastischer Materialien, um Probleme zu lösen, die bei der Verteilung von warmem und kaltem Sanitärwasser und beim Transport von aggressiven Chemikalien unter Druck auftreten können.

Die Hauptgründe für diese Bevorzugung sind auf die folgenden Eigenschaften zurückzuführen:

- Hohe Beständigkeit gegen besonders aggressive Chemikalien;
- Inert gegenüber elektrochemischer Korrosion (optimal für den Transport von warmem Brauchwasser in konventionellen Anlagen und Solaranlagen);
- Verringerter Wärmeleitfähigkeitskoeffizient (praktisch keine Kondensationsprobleme);
- Hohe Alterungsbeständigkeit aufgrund der chemisch-physikalischen Eigenschaften des Grundmaterials;
- Geringe Oberflächenrauigkeit, die den Flüssigkeitsreibungsverlust und das Wachstum von Verkrustungen und Algen stark reduziert;
- Möglichkeit des Transports von Nahrungsflüssigkeiten;
- Hohe thermische Stabilität bei Temperaturen bis zu 100 °C;
- Hohe Verbrennungsbeständigkeit.

In Bezug auf die mechanischen Eigenschaften zeigt die folgende Tabelle die Werte des hydraulischen Prüfdrucks, die von den Klebeverbindungen in PVC-C gemäß der Norm ISO 15493 und einem Sicherheitsfaktor von 2,5 erreicht werden müssen.

Prüftemperatur (°C)	Min. Prüfdauer (h)	Prüfdruck (kg/cm ²)
20	1000	1,7 x PN
80	1000	0,5 x PN

Wie bei PVC-U ist auch bei PVC-C eine direkte Verbindung von Rohren und Zubehörtteilen aus anderen Werkstoffen nicht zulässig, so dass das Kleben häufig mit beweglichen Verbindungen wie Flanschen oder Gewinden usw. kombiniert wird.

Sofern nicht anders angegeben, muss der auf den zu verbindenden Flächen verwendete Kleber auch mit den folgenden Toleranzen nutzbar sein:

- maximale Abweichung 0,2 mm;
- maximales Spiel 0,3 mm.

Klebeanleitung für die Längsverbinding von Rohren und Formstücken aus PVC-C

Bevor mit dem Kleben begonnen wird, müssen Leistungsfähigkeit und Zustand der verwendeten Hilfsmittel und der zu verbindenden Teile überprüft werden, insbesondere die Gleichmäßigkeit, die Fließfähigkeit und das Verfallsdatum des Klebers.

Die wichtigsten Schritte beim Kleben sind:

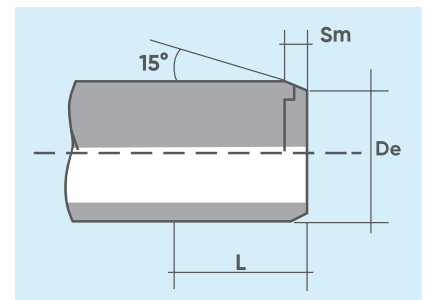


1) Schneiden Sie das Rohr wie in der Abbildung dargestellt exakt rechtwinklig zu seiner Achse, um einen sauberen Schnitt zu erhalten, vorzugsweise mit einem Rohrschneider mit Schneidrad, der speziell für thermoplastische Röhre konzipiert ist.



2) Fasen Sie die Außenkanten des Rohrs an, um sicherzustellen, dass es in einem Winkel von 15° in das Formstück eingesteckt werden kann. Die Anfasung muss unbedingt durchgeführt werden, da der Kleber andernfalls von der Oberfläche des Formstücks abgestreift werden kann, wodurch die Wirksamkeit der Verbindung beeinträchtigt wird. Das Anfasen muss mit dem entsprechenden Anfaswerkzeug durchgeführt werden.

Für weitere Einzelheiten zur Länge der Fase in Abhängigkeit von der Länge und dem Durchmesser des Rohrs siehe die folgende Tabelle und Abbildung.



Außendurchmesser De (mm)	Klebelänge L (mm)	Fase Sm (mm)
16	14	1,5
20	16	1,5
25	18,5	3
32	22	3
40	26	3
50	31	3
63	37,5	5
75	43,5	5
90	51	5
110	61	5
160	86	5
225	118,5	5-6



3) Messen Sie die Tiefe des Formstücks bis zur Innenkante.



4) Zeichnen Sie die abgemessene Einstecktiefe am Ende des Rohrs an. Dies dient später als Kontrolle zum vollständigen Einsetzen des Rohrs in das Formstück.

HINWEIS: Ritzen Sie das Rohr beim Anzeichnen nicht ein.



A

5) Entfernen Sie mit einem sauberen Papiertuch oder einem mit Reinigungsmittel getränkten Applikator alle Schmutz- und Fettrückstände von der Außenfläche des Rohres über die gesamte Klebelänge (Abbildung **A**).

Wiederholen Sie den gleichen Vorgang auch an der Innenseite des Formstücks (Abbildung **B**).

HINWEIS: Berühren Sie die gereinigten Oberflächen nicht mehr.

Lassen Sie die Oberflächen einige Minuten trocknen, bevor Sie den Kleber auftragen.

Denken Sie daran, dass das Reinigungsmittel nicht nur zum Reinigen der Verbindungsflächen dient, sondern auch die wichtige Aufgabe hat, die Oberfläche aufzuweichen und für die Aufnahme des Lösungsmittels vorzubereiten. Erst so wird eine perfekte Verbindung erzielt.



B



C

5) Tragen Sie den Kleber gleichmäßig in Längsrichtung auf beide zu verbindenden Teile auf, d. h. auf die Außenfläche des Rohrs und die Innenfläche des Formstücks. Verwenden Sie dazu einen Applikator (Abbildung **C**) oder einen entsprechend großen rauen Pinsel (Abbildung **D**) gemäß der folgenden Tabelle.



D

Außendurchmesser De (mm)	Art des Pinsels oder des Applikators	Abmessungen des Pinsels oder des Applikators (mm)
16–25	Rund	8–10
32–63	Rund	20–25
75–160	Rechteckig/rund	45–50
>160	Rechteckig/zylindrisch	45–50

Es empfiehlt sich, einen Applikator oder einen Pinsel zu verwenden, der nicht kleiner als die Hälfte des Rohrdurchmessers ist.

Der Kleber muss über die gesamte Länge der Verbindungsfläche von Rohr und Formstück aufgetragen werden:

- Über die gesamte Einstecktiefe des Formstücks bis zur Innenkante;
- Über die gesamte Verbindungslänge des Rohrs, die zuvor auf der Außenfläche angezeichnet wurde.



6) Das Rohr muss sofort nach dem Auftragen des Klebers ohne Drehung in das Formstück oder die Armatur eingeführt werden (es wird empfohlen, nicht länger als 20–25 Sekunden zu warten).

Je nach Außendurchmesser des Rohres und möglichen Schwierigkeiten bei der Handhabung muss das Einführen des Rohrs in das Formstück wie folgt vorgenommen werden:

- Bei Außendurchmessern < 90 mm von Hand durch eine Person.
- Bei Außendurchmessern von 90 bis < 160 mm von Hand durch zwei Personen.
- Bei Außendurchmessern > 160 mm mithilfe eines mechanischen Rohreinzugsgerätes.

7) Nach dem vollständigen Einsetzen des Rohrs in das Formstück muss dieses für einige Sekunden festgehalten werden, bis der Klebstoff angezogen hat. Entfernen Sie anschließend mit Krepppapier oder einem sauberen Tuch überschüssigen Kleber von den Außenflächen und nach Möglichkeit auch von den Innenflächen, wie in der nebenstehenden Abbildung dargestellt.



8) Lassen Sie die zusammengefügte Teile so lange stehen, bis der Klebstoff auf natürliche Weise abgebunden hat, ohne unnötige Spannungen zu erzeugen. Die Aushärtezeit hängt von der Belastung ab, der die Verbindung später ausgesetzt ist. Insbesondere müssen die folgenden Mindestaushärtezeiten in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur beachtet werden:

- Vor einer Belastung der Verbindung:
 - 5 bis 10 Minuten bei einer Umgebungstemperatur $T > 10\text{ °C}$
 - 15 bis 20 Minuten bei einer Umgebungstemperatur $< 10\text{ °C}$;
- Für Reparaturverbindungen an Rohren jeder Größe oder jedes Drucks, die keiner hydraulischen Prüfung unterliegen:
 - 1 Stunde für jede bar des aufgebrauchten Drucks;
- Für Verbindungen in Rohren und Formstücken mit beliebigem Durchmesser, die einer Druckprüfung bis PN 16 unterzogen werden:
 - mindestens 24 Stunden.

Die angegebenen Abbindezeiten für Kleber gelten bei Umgebungstemperatur (ca. 25 °C). Für besondere klimatische Bedingungen (Luftfeuchtigkeit, Temperatur usw.) empfehlen wir Ihnen, sich mit unserer technischen Abteilung und/oder dem Hersteller des Klebers in Verbindung zu setzen, um weitere Informationen zu erhalten.

Menge an Kleber für PVC-C-Material

Die Menge an Kleber, die für die Verbindungen benötigt wird, hängt von einer Reihe von Faktoren ab (Umgebungsbedingungen, Rohrgröße, Kleberviskosität, Erfahrung des Anwenders usw.), die oft schwer zu quantifizieren sind.

In der folgenden Tabelle sind die ungefähren Klebermengen angegeben, die normalerweise für die Verbindung von Rohren und Formstücken aus PVC-C benötigt werden.

D (mm)	Anzahl der Verbindungen pro kg Kleber
16	550
20	500
25	450
32	400
40	300
50	200
63	140
75	90
90	60
110	40
160	15
225	6

3.1.1.3 Kleben von Rohrleitungssystemen aus ABS

Das ABS-Material wird in einem breiten Anwendungsbereich eingesetzt, der von aggressiven Flüssigkeiten über Schlämme bis hin zu Nahrungsmitteln reicht, und weist die folgenden Hauptmerkmale auf:

- Optimale Verschleißfestigkeit (geeignet zur Förderung von korrosiven Schlämmen und Abrasivstoffen);
- Geringe Oberflächenrauheit, die den Flüssigkeitsreibungsverlust und die Entstehung von Verkrustungen und Erosion stark reduziert;
- Breiter Temperatureinsatzbereich (zwischen -40 und $+60$ °C);
- Hohe Schlagzähigkeit: ABS verringert die Duktilität bis -40 °C;
- Perfekte Kompatibilität mit den Nahrungsflüssigkeiten.

Bei der Installation von Rohrleitungen aus ABS ist die bereits erwähnte Indikation für das Kleben von PVC-U und PVC-C zu beachten.

Sofern nicht anders angegeben, muss der auf den zu verbindenden Flächen verwendete Kleber auch mit den folgenden Toleranzen nutzbar sein:

- maximale Abweichung 0,6 mm;
- maximales Spiel 0,2 mm.

In der folgenden Tabelle sind die Prüfwerte für die Innendruckfestigkeit der Klebeverbindungen gemäß ISO 15493 und mit einem Sicherheitsfaktor von 1,8 angegeben.

Prüftemperatur (°C)	Min. Prüfdauer (h)	Prüfdruck (kg/cm ²)
20	1000	2 x PN

Wie bei den anderen Materialien ist auch bei ABS eine direkte Verbindung von Rohren und Zubehörteilen aus anderen Werkstoffen nicht zulässig, so dass das Kleben häufig mit beweglichen Verbindungen kombiniert wird.

Für die Verklebung von ABS-Produkten sollte der Klebstoff DURAPIPE ABS verwendet werden.

Außerdem wird empfohlen, nach der Behandlung mit geeignetem Schleifpapier einen Reiniger vom Typ MEK (Methyl-Ethyl-Keton) zu verwenden, bevor mit dem Klebstoffauftrag begonnen wird.

Klebeanleitung für die Längsverbindung von Rohren und Formstücken aus ABS

Bevor mit dem Kleben begonnen wird, müssen Leistungsfähigkeit und Zustand der verwendeten Hilfsmittel und der zu verbindenden Teile überprüft werden, insbesondere die Gleichmäßigkeit, die Fließfähigkeit und das Verfallsdatum des Klebers.

Versuchen Sie nicht, den Abstand zwischen den Rohren und Formstücken zu vergrößern. Gehen Sie nach dem im Folgenden beschriebenen Verbindungsverfahren vor:



1) Das Rohr muss sauber und rechtwinklig geschnitten werden. Durch eine geeignete Schneidscheibe wird die Entstehung von Spänen verhindert.



2) Fasen Sie das Ende des Rohrs mit einer groben Feile oder einem geeigneten Anfaswerkzeug an. Die Fase sollte je nach Rohrgröße etwa 45° x 3 mm bis 5 mm betragen.



3) Zeichnen Sie die Einstecktiefe des Rohres außerhalb des zu reinigenden Bereichs an, wie in der Abbildung dargestellt. Diese Markierung dient dazu, sicherzustellen, dass das Rohr vollständig in das Formteil eingeführt ist.



4) Stellen Sie sicher, dass die Verbindungsflächen sauber und trocken sind. Reinigen Sie die Oberflächen gründlich mit Durapipe Eco-cleaner. Verwenden Sie dazu ein fusselfreies Tuch oder ein Papiertuch.



5) Tragen Sie den Kleber mit einem sauberen Pinsel auf das Rohr und das Formstück auf.

Die Verbindungsflächen sollten vollständig mit Kleber bedeckt sein. Tragen Sie den Kleber mit einem Pinsel geeigneter Größe aus einer Kleberdose auf. Es ist wichtig, den Kleber schnell aufzutragen, damit die Montage ohne übermäßigen Kraftaufwand erfolgen kann. Wenn der Kleber mit einem Pinsel aufgetragen wird, sollte der Pinsel etwa halb so groß sein wie das zu verbindende Rohr: Pinselgröße bis zu 63 mm für 0,5 Liter und bis zu 75 mm für 1 Liter Dosen.



6) Das Rohr muss sofort nach dem Auftragen des Klebers ohne Drehung in das Formstück oder die Armatur eingeführt werden. Halten Sie das Rohr und das Formstück je nach Größe einige Sekunden bis zu einer Minute lang fest. Die leichte Verjüngung des Formstücks kann andernfalls dazu führen, dass es vom Rohr abrutscht, was zu einem Verlust der Verbindungsfestigkeit führt. Das Auftragen der richtigen Klebemenge führt zu einem sauberen Klebewulst am Rand des Formstücks und am Rand des Rohrs. Übermäßige Ablagerungen im Inneren der Formstücke müssen vermieden werden, da sie die Wand schwächen können, insbesondere bei kleineren Größen.

Achten Sie beim Arbeiten unter kalten Bedingungen darauf, dass die Verbindungen frostfrei und trocken sind.



7) Wischen Sie überschüssigen Kleber von der Außenseite der Verbindung ab.



8) Überprüfen Sie anhand der zuvor angebrachten Markierung, ob das Rohr vollständig eingesteckt ist.

9) Berühren Sie die Verbindung mindestens 10 Minuten lang nicht.

Bei größeren Abmessungen darf die Verbindung mindestens 4 Stunden lang keinen Biege- oder Verdrehkräften ausgesetzt werden.

Achten Sie beim Herstellen der nachfolgenden Verbindungen, die ohne Wartezeit durchgeführt werden können, darauf, dass keine Kräfte auf die frisch hergestellten Verbindungen im System übertragen werden.

Die Trocknungszeiten variieren je nach Passform, Menge des aufgetragenen Klebers, Umgebungstemperatur und Arbeitsdruck. Es wird empfohlen, Verbindungen mit einer Größe bis 225 mm nach Möglichkeit mindestens 24 Stunden und Verbindungen mit einer Größe von 250 mm und 315 mm mindestens 48 Stunden trocknen zu lassen. Diese Richtlinien basieren auf einer Umgebungstemperatur von 10 °C bis 40 °C. Bei niedrigeren und höheren Umgebungstemperaturen sind längere Trocknungszeiten erforderlich.

Eine Arbeitsanleitung, die für eine Umgebungstemperatur zwischen 10 °C und 40 °C und eine Inhaltstemperatur von nicht mehr als 20 °C gilt, lautet wie folgt:

Größenbereich	Bis zu 75 mm	90 mm bis 125 mm	140 mm bis 160 mm	200 mm bis 225 mm	250 mm bis 315 mm
Trocknungszeit	0,5 h/bar	1 h/bar	1,5 h/bar	2 h/bar	mindestens 48 Stunden

HINWEIS: Die Mindesttrocknungszeit sollte nicht weniger als 1 Stunde betragen.

Es ist zu bedenken, dass die Trocknungszeiten bei Umgebungstemperaturen unter 20 °C verlängert werden müssen und dass Verbindungen mit Lösemittel nicht unter 0 °C hergestellt werden dürfen.

Für weitere Einzelheiten wenden Sie sich bitte an die technische Abteilung von Aliaxis.

Menge an Kleber für ABS-Material

Die Menge an Kleber, die für die Verbindungen benötigt wird, hängt von einer Reihe von Faktoren ab (Umgebungsbedingungen, Rohrgröße, Klebviskosität, Erfahrung des Anwenders usw.), die oft schwer zu quantifizieren sind.

In der nebenstehenden Tabelle finden Sie Angaben zur Anzahl der Verbindungen, die bei ABS pro Liter Kleber hergestellt werden können.

Größe (mm)	Empfohlene Behältergröße	Verbindungen pro Liter ABS
16-32	0,5 Liter	400
40-63	0,5 Liter	200
75-110	0,5 Liter	70
125-140	1 Liter	20
160-225	1 Liter	10
250-315	1 Liter	5



ALLGEMEINE WARNHINWEISE FÜR DAS KLEBEN

Beachten Sie beim Kleben die folgenden Hinweise:

- 1)** Wenn der Außendurchmesser des Rohrs und der Innendurchmesser des Formstücks an entgegengesetzten Extremen ihrer Toleranzwerte liegen, kann das trockene Rohr nicht in das trockene Formstück eingeführt werden. Das Einführen ist erst nach dem Auftragen von Reiniger und Kleber auf die beiden zu verbindenden Teile möglich.
- 2)** Bei der Verwendung von Reiniger und Kleber sind die folgenden Vorsichtsmaßnahmen zu beachten:
 - Tragen Sie Handschuhe und eine Schutzbrille, um Hände und Augen zu schützen;
 - Wenden Sie den Reiniger und Kleber nur in einer Arbeitsumgebung mit ausreichender Belüftung an, vermeiden Sie die Bildung von Luftblasen, die Konzentrationen von verdunstetem Lösemittel enthalten, das die Atemwege und Augen reizen kann;
 - Aufgrund der Flüchtigkeit der Lösemittel im Reiniger und im Kleber müssen die Behälter sofort nach Gebrauch verschlossen werden;
 - Lösemittel in der Gasphase neigen dazu, brennbare Gemische zu bilden. Halten Sie daher alle Zündquellen, wie z. B. Schweißarbeiten oder elektrostatische Aufladungen, von dem Arbeitsbereich fern und rauchen Sie nicht. In jedem Fall ist es ratsam, sich strikt an die auf der Verpackung angegebenen Anweisungen des Herstellers von Kleber zu halten;
 - Um eine Abnahme der Leistung des Reinigers und des Klebers zu vermeiden, sollten die Fügevorgänge bei einer Umgebungstemperatur zwischen + 5 °C und + 40 °C durchgeführt werden;
 - Um die richtige Verarbeitungsgeschwindigkeit bei Größen von 140 mm und mehr zu erreichen, sollte der Kleber von zwei Personen gleichzeitig auf Rohr und Formstück aufgetragen werden.
- 3)** Nach Fertigstellung aller Verbindungen und vor Inbetriebnahme der Leitungen ist sicherzustellen, dass die Innenseiten der Rohre und Formstücke völlig frei von Lösemittelspuren oder -dämpfen sind. Dadurch wird eine Verunreinigung der beförderten Flüssigkeiten verhindert.
- 4)** Eine unterirdische Verlegung längsverbundener Rohrleitungen wird erst 10-12 Stunden nach dem Verkleben empfohlen.
- 5)** Ziehen Sie die Flanschverbindungen erst nach Ablauf der vorgesehenen Trocknungszeit vollständig an.
- 6)** Das Kleben von Aliaxis-Kugelhähnen ist vorzugsweise bei vom Rest der Leitung getrenntem Armaturgehäuse durchzuführen, um Klebstofftropfen auf den Dichtungselementen zu vermeiden.
- 7)** Um eine Verunreinigung der beförderten Flüssigkeiten (Trinkwasser, Lebensmittel, Getränke) zu vermeiden, muss sichergestellt werden, dass alle eventuell noch vorhandenen Lösemitteldämpfe vollständig aus den in Betrieb zu nehmenden Leitungen entfernt werden.
- 8)** Bei der Installation von Armaturen in vertikalen Leitungen wird empfohlen, das Kleben nur bei vom Armaturgehäuse getrennten Absperrvorrichtungen durchzuführen, da der Kleber normalerweise nach innen tropft.
- 9)** Bitte beachten Sie auch, dass die mit Kleber hergestellten Längsverbindungen die mechanischen Eigenschaften des Grundmaterials unverändert beibehalten. Eventuelle Abweichungen sind auf eine nicht einwandfreie Ausführung der Klebearbeiten zurückzuführen (die Ursachen lassen sich durch Analyse jedes einzelnen Falles ermitteln).

Vorteile und Anwendungsbereiche

Das Kleben kann in verschiedenen Bereichen eingesetzt werden, z. B. bei der Verlegung von Rohren, der Entwässerung und Entlüftung, in Abwasserkanälen und erdverlegten Systemen. Eines seiner wichtigsten Merkmale ist, dass diese Art des Klebens die Herstellung homogener und kontinuierlicher Verbindungen ermöglicht. Kleben kann bei der Verarbeitung von empfindlichen Materialien sehr nützlich sein, da es keine hohen Temperaturen erfordert.

Außerdem bleiben, wie bereits beschrieben, die Lebensdauer und die chemische Beständigkeit des verwendeten Materials erhalten, und es ist einfach zu handhaben und kostengünstig, da keine teuren Werkzeuge benötigt werden.

Häufigste Fehlerarten

In der folgenden Tabelle sind die häufigsten Fehlerarten aufgeführt, die auftreten können, wenn das Kleben nicht korrekt durchgeführt wird.

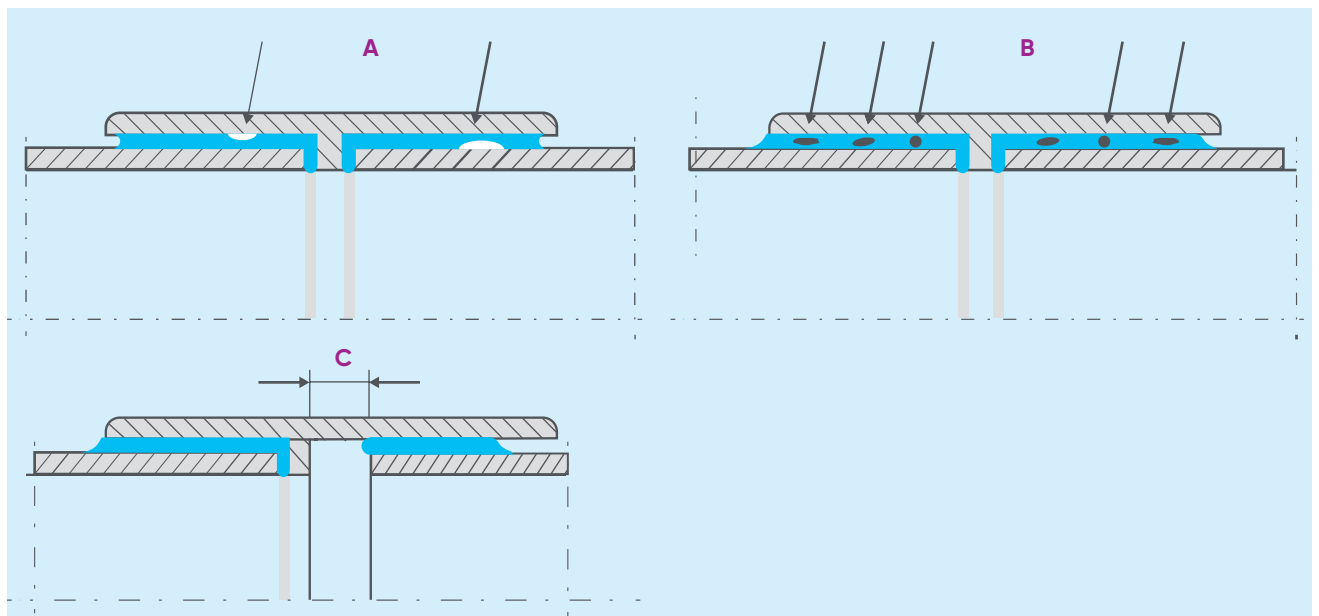
Kleber zu flüssig (falsche Zugabe von Verdünnungsmittel)	
Unmittelbare Auswirkungen	Versagen der Klebung
Folgen	Trennung der Verbindung oder Undichtigkeiten zwischen Rohr und Formstück
Überschüssiger Kleber	
Unmittelbare Auswirkungen	Austritt des Klebers innen und außen über den Verbindungsbereich hinaus
Folgen	Schwächung der äußeren Oberfläche des Verbindungsbereichs und Bildung von Blasen mit Mikrorissen/Bruchstellen im Basismaterial
Zu dichter Kleber durch verdampftes Lösungsmittel	
Unmittelbare Auswirkungen	Versagen der Klebung
Folgen	Trennung der Verbindung oder Undichtigkeiten zwischen Rohr und Formstück Mögliche Oberflächenrisse, die zu Rissen im Basismaterial führen
Unzureichende und/oder falsche Verteilung von Kleber	
Unmittelbare Auswirkungen	Versagen der Klebung oder lokale Schwächung
Folgen	Trennung der Verbindung oder Undichtigkeiten zwischen Rohr und Formstück
Rohr falsch eingeführt (unvollständig, zu tief oder falsch ausgerichtet)	
Unmittelbare Auswirkungen	Mangelhafte Verbindung
Folgen	Übertragung mechanischer Spannungen vom Rohr auf das Formstück und/oder Undichtigkeit der Verbindung
Verunreinigungen und/oder Feuchtigkeit auf den Oberflächen der zu verbindenden Teile	
Unmittelbare Auswirkungen	Mangelhafte Verbindung
Folgen	Trennung der Verbindung oder Undichtigkeiten (Austreten von Flüssigkeit) zwischen Rohr und Formstück

In der Norm EN 14728 sind Unregelmäßigkeiten an Klebeverbindungen von thermoplastischen Kunststoffen aufgeführt. Die folgenden Abbildungen beschreiben jeweils:

A - Eine falsche Verteilung von Kleber (mit Bereichen, in denen an der Schnittstelle Rohr/Formstück kein Kleber vorhanden ist);

B - In der Klebeverbindung eingeschlossenes Fremdmaterial aufgrund von Verunreinigungen auf den Oberflächen der zu verbindenden Teile;

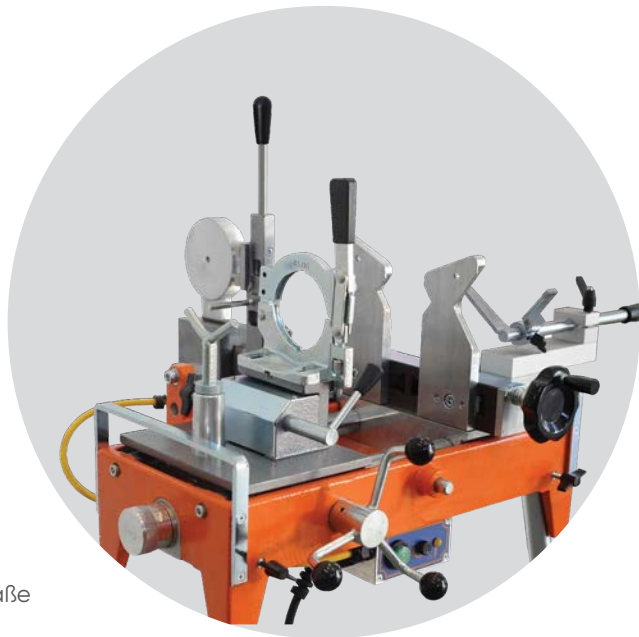
C - Ein unvollständig eingeführtes Rohr.



3.1.2 Stumpfschweißen

Beim Stumpfschweißen mit Kontakttheizelementen werden zwei Elemente (Rohre, Formstücke oder Armaturanschlüsse) gleichen Durchmessers und gleicher Dicke miteinander verbunden, wobei die Verbindungsflächen durch Kontakt mit einem Heizelement bis zum Schmelzen erwärmt und nach Entfernen des Heizelements zur Schweißnaht zusammengepresst werden.

Die folgenden Anweisungen dienen nur als Referenz. Installateure müssen ordnungsgemäß geschult sein und über umfassende Kenntnisse der Verfahren verfügen, die je nach Art des verwendeten Schweißgeräts anzuwenden sind.

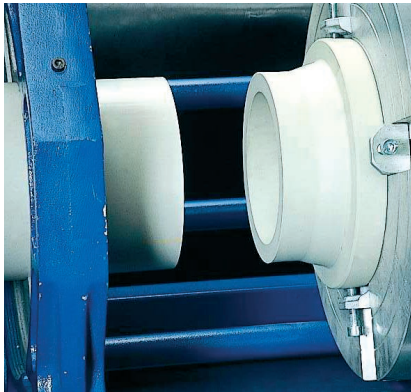


Schweißanleitung

Achten Sie auf die folgenden Punkte, um eine ordnungsgemäße Herstellung der Verbindung zu gewährleisten:

- Die Umgebungstemperaturen müssen zwischen +5 °C und +40 °C liegen;
- Kontrollieren Sie bei der Überprüfung der zu verschweißenden Elemente auch die Abmessungen (achten Sie auf übermäßige Ovalität);
- Überprüfen Sie die Betriebstemperatur des Heizelementes mit einem kalibrierten Kontaktthermometer. Diese Messung muss 10 Minuten nach Erreichen der Nenntemperatur erfolgen, damit sich das Element über seine gesamte Oberfläche und Tiefe aufheizen kann. Die Schmelztemperatur muss zwischen 200 °C und 220 °C liegen.
- Überprüfen Sie die Oberfläche des Heizelements (Unversehrtheit der Antihafbeschichtung) und reinigen Sie sie mit einem fusselfreien Tuch oder einem weichen Papiertuch;
- Kontrollieren Sie, ob das Schweißgerät ordnungsgemäß funktioniert;
- Überprüfen Sie die Funktionstüchtigkeit der Klemmbacken des Schweißgeräts; vergewissern Sie sich, dass sie in der Lage sind, die korrekte Ausrichtung zwischen den beiden Seiten der Verbindung zu gewährleisten und dass die Kontaktflächen perfekt parallel sind;
- Überprüfen Sie die Zugkraft des Schlittens, sowohl hinsichtlich der Reibung als auch in Bezug auf die zu bewegende Last, Rohre oder Formstücke;
- Überprüfen Sie die Wirksamkeit der Messgeräte (Manometer und Zeitschaltuhr);
- Kontrollieren Sie, dass die zu verschweißenden Rohre und/oder Formstücke den gleichen Durchmesser und die gleiche Dicke haben (gleicher SDR);

Im Folgenden ist Schritt für Schritt beschrieben, wie das Rohr- und/oder Formstückmaterial für das Stumpfschweißen vorbereitet wird.



1) Entfernen Sie vor dem Positionieren der miteinander zu verschweißenden Teile alle Spuren von Schmutz, Fett, Öl und Staub von den Außen- und Innenflächen der Enden mit einem sauberen, fusselfreien und mit einem geeigneten Reinigungsmittel getränkten Tuch. Halten Sie sich bei der Auswahl des flüssigen Reinigungsmittels an die von den Herstellern empfohlenen Produkte: Geeignet sind Trichlorethan, Chlorothen, Ethylalkohol und Isopropylalkohol.

2) Die Enden der beiden zu verschweißenden Teile müssen so fixiert werden, dass der Fluchtungsfehler (axialer Versatz) nicht mehr als 10 % der Dicke beträgt.



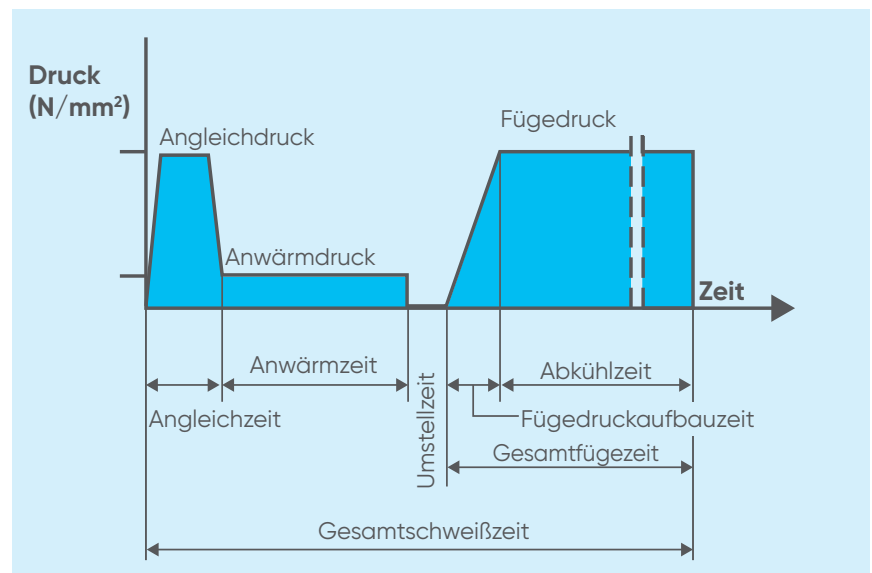
3) Um eine einwandfreie Parallelität und Ebenheit zu gewährleisten und, was ebenso wichtig ist, die sich bildende Oxidschicht zu beseitigen, müssen die Enden der beiden zu verbindenden Teile geschält werden. Wenn dieser Vorgang abgeschlossen ist, bringen Sie die beiden Enden miteinander in Kontakt und achten Sie darauf, dass keine Zwischenräume > 0,5 mm mehr vorhanden sind.

An den beiden zu verschweißenden Kanten müssen sich durchgehende Späne bilden, wie im Bild links dargestellt.

Bei der Stumpfschweißung von Rohren und/oder Formstücken mit Kontaktelementen müssen alle Schritte des Schweißzyklus durchgeführt werden.

Die nebenstehende Abbildung bezieht sich auf den Schweißzyklus aus der DVS 2207.

HINWEIS: Achten Sie auf die Änderungen der Werte in der Schweißzyklustabelle für verschiedene Materialien. Nachfolgend finden Sie zum Beispiel die Schweißzyklustabelle für PP-H, PE und PVDF aus der DVS 2207.



Schweißzyklus PP-H

Nennwanddicke (mm)	An gleichen Wulsthöhe am Heizelement am Ende der Angleichzeit (Minimalwerte) (angleichen $p=0,10\pm 0,01 \text{ N/mm}^2$) (mm)	Anwärmen Anwärmezeit=10x Nennwanddicke (anwärmen $p\leq 0,01 \text{ N/mm}^2$) (Sek.)	Umstellen Umstellzeit (maximal) (Sek.)	Fügen Fügedruckaufbauzeit (Maximalzeit, kann um bis zu 50% unterschritten werden) (Sek.)	Abkühlzeit (Minimalwerte) bei Fügedruck $p = 0,15 \pm 0,01 \text{ N/mm}^2$ (min)
bis 4,5	0,5	bis 53	5	6	Tabelle unten
4,5-7	0,5	53-81	5-6	6-7	
7-12	1	81-135	6-7	7-11	
12-19	1	135-206	7-9	11-17	
19-26	1,5	206-271	9-11	17-22	
26-37	2	271-362	11-14	22-32	
37-50	2,5	362-450	14-17	32-43	
50-70	3	450-546	17-22	43	

Abkühlzeit PP-H

Nennwanddicke (mm)	Abkühlzeit (Minimalwerte) bei Fügedruck $p=0,10\pm 0,01 \text{ N/mm}^2$ in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur			
	Bis 15 °C (min)	15 °C - 25 °C (min)	25 °C - 40 °C Abkühlzeit (min)	Abkühlzeit (Minimalwerte) beim Druckschweißen $p= 0,10\pm 0,01 \text{ N/mm}^2$ unter Sonderbedingungen* (min)
bis 4,5	4	5	6,5	3,5
4,5-7	4-6	5-7,5	6,5-9,5	3,5-5
7-12	6-9,5	7,5-12	9,5-15,5	5-8
12-19	9,5-14	12-18	15,5-24	8-12
19-26	14-19	18-24	24-32	12-16
26-37	19-27	24-34	32-45	16-23
37-50	27-36	34-46	45-61	23-31
50-70	36-50	46-64	61-85	31-43

* Diese Abkühlzeiten gelten nur unter den folgenden Bedingungen:

- Schweißen im Labor/in der Werkstatt;
- Die Entnahme des Teiles aus der Schweißmaschine und dessen Zwischenlagerung bis zu seiner vollständigen Abkühlung für die definierte Zeit gemäß der fünften Spalte führt zu einer vernachlässigbaren Belastung der Fügeverbindung.

Schweißzyklus PE 100

Nennwanddicke (mm)	An gleichen Wulsthöhe am Heizelement am Ende der Angleichzeit (Minimalwerte) (angleichen $p=0,15\pm 0,01 \text{ N/mm}^2$) (mm)	Anwärmen Anwärmezeit = $10 \times$ Nennwanddicke (anwärmen $p \leq 0,01 \text{ N/mm}^2$) (Sek.)	Umstellen Umstellzeit (maximal) (Sek.)	Fügen Fügedruckaufbauzeit (Maximalzeit, kann um bis zu 50 % unterschritten werden) (Sek.)	Abkühlzeit (Minimalwerte) bei Fügedruck $p = 0,15 \pm 0,01 \text{ N/mm}^2$ (min)
bis 4,5	0,5	bis 45	5	5	Tabelle unten
4,5-7	1	45-70	5-6	5-6	
7-12	1,5	70-120	6-8	6-8	
12-19	2	120-190	8-10	8-11	
19-26	2,5	190-260	10-12	11-14	
26-37	3	260-370	12-16	14-19	
37-50	3,5	370-500	16-20	19-25	
50-70	4	500-700	20-25	25-35	
70-90	4,5	700-900	25-30	35	
90-110	5	900-1.100	30-35	35	
110-130	5,5	1.100-1.300	max. 35	35	

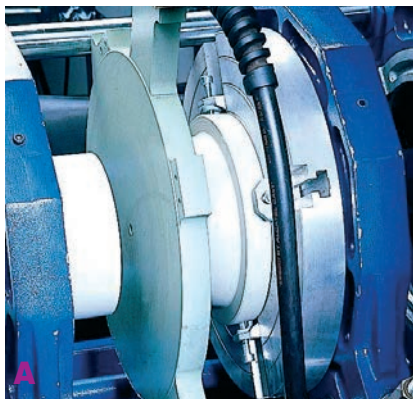
Abkühlzeit PE 100

Nennwanddicke (mm)	Abkühlzeit (Minimalwerte) bei Fügedruck $p=0,15\pm 0,01 \text{ N/mm}^2$ in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur		
	Bis 15 °C (min)	15 °C - 25 °C (min)	25 °C - 40 °C Abkühlzeit (min) (Minimalwerte) beim Druckschweißen $p=0,15\pm 0,01 \text{ N/mm}^2$ unter Sonderbedingungen* (min)
bis 4,5	4	5	6,5
4,5-7	4-6	5-7,5	6,5-9,5
7-12	6-9,5	7,5-12	9,5-15,5
12-19	9,5-14	12-18	15,5-24
19-26	14-19	18-24	24-32
26-37	19-27	24-34	32-45
37-50	27-36	34-46	45-61
50-70	36-50	46-64	61-85
70-90	50-64	64-82	85-109
90-110	64-78	82-100	109-133
110-130	78-92	100-118	133-157

Schweißzyklus PVDF

Nennwanddicke (mm)	An gleichen Wulsthöhe am Heizelement am Ende der Angleichzeit (Minimalwerte) (angleichen $p=0,10 \text{ N/mm}^2$) (mm)	Anwärmen Anwärmezeit = $10 \times$ Nennwanddicke (anwärmen $p \leq 0,01 \text{ N/mm}^2$) (Sek.)	Umstellen Umstellzeit (maximal) (Sek.)	Fügen Fügedruckaufbauzeit (Maximalzeit, kann um bis zu 50 % unterschritten werden) (Sek.)	Abkühlzeit (Mindestwerte) bei Fügedruck $p=0,10 \pm 0,01 \text{ N/mm}^2$ $t \approx 1,2 \times$ Wanddicke + 2 min (min)
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	0,5-1	95-140	4	5-7	8,5-14
10-15	1-1,3	140-190	4	7-9	14-19
15-20	1,3-1,7	190-240	5	9-11	19-25
20-25	1,7-2	240-290	5	11-13	25-32

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte des Schweißzyklus beschrieben.



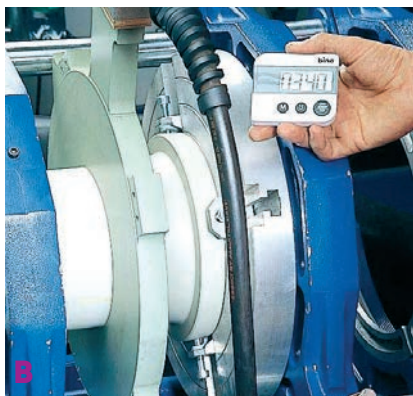
1) Wie im Schweißzyklus dargestellt, besteht der erste Schritt aus dem Angleichen. Dabei werden die zu verschweißenden Fügeflächen mit einem Druck von $p_1 + p_t$ an das Heizelement gedrückt, bis innen und außen eine gleichmäßige Wulst entsteht (Abbildung A).

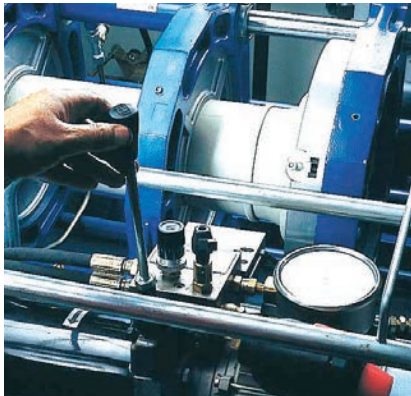
Das Angleichen ist abgeschlossen, wenn die Wulsthöhen am gesamten Rohrumfang die in der vorigen Tabelle angegebenen Werte erreicht haben.

Der Angleichdruck muss so bemessen sein, dass die zu verschweißenden Flächen bei Kontakt mit dem Heizelement dem in der Tabelle beschriebenen Druck ausgesetzt werden. Um diese Bedingung zu erreichen, müssen die Werte für den Druck p_1 aus den vom Hersteller der Schweißmaschine gelieferten Tabellen entnommen werden, da diese Werte neben dem Durchmesser und der Dicke der zu schweißenden Elemente auch vom Querschnitt des Druckzylinders im Schweißkreislauf abhängen und sich daher je nach dem von Ihnen verwendeten Modell des Schweißgeräts ändern können.

p_t gibt den Zugdruck an, der erforderlich ist, um die Reibung des Schweißgeräts und das Gewicht des in der beweglichen Führung eingespannten Rohrs zu überwinden, die zusammen die freie Bewegung der Führung beeinträchtigen. Dieser Wert wird beim Bewegen der beweglichen Führung auf dem mit der Maschine gelieferten Manometer abgelesen (Abbildung B).

Er darf auf keinen Fall höher sein als der Druckwert p_1 , da es sich sonst als notwendig erweisen kann, Schlitten oder Aufhängungssysteme zu verwenden, um die Bewegung des Rohrs zu erleichtern.





2) Nach Ausbildung der Wülste wird im Anwärmeschritt der Druck auf etwa 10 % seines vorherigen Werts gesenkt, wie in der Tabelle dargestellt, und das Material über seine gesamte Tiefe gleichmäßig erwärmt.

3) Die Umstellphase muss so schnell wie möglich erfolgen, indem die zu verschweißenden Fügeflächen vom Heizelement gelöst werden, das Element ohne Beschädigung der erweichten Oberflächen herausgezogen wird und dann die beiden zu verschweißenden Fügeflächen sofort miteinander in Kontakt gebracht werden.

Hinweis: Dieser Vorgang muss schnell durchgeführt werden, um die Gefahr einer übermäßigen Abkühlung der Fügeflächen zu vermeiden (die Oberflächentemperatur sinkt in nur 3 Sekunden um 17 °C).

4) In der Fügephase werden die beiden Fügeflächen, wie im Bild dargestellt miteinander in Kontakt gebracht und der relative Druck progressiv auf den Wert ($p_5 + p_t$) erhöht, wobei $p_5 = p_1$ und p_t der Zugdruck ist.



5) Der Schweißdruck muss für die in der Spalte Abkühlzeit bei Fügedruck angegebene Zeit aufrechterhalten werden. In der Abbildung links ist das Erscheinungsbild des geschweißten Bereichs nach dem Schweißen dargestellt.

6) Nach dem Schweißen wird der Anpressdruck aufgehoben und die gefügten Teile können aus der Schmelzschweißmaschine entnommen werden. Bis zur vollständigen Abkühlung dürfen sie nun nicht mechanisch belastet werden. Die bis zur vollständigen Abkühlung benötigte Zeit ist in der Tabelle oben in der Spalte „Abkühlzeit“ angegeben.



WARNHINWEISE

Achten Sie beim Stumpfschweißen auf die folgenden Empfehlungen:

- Tragen Sie immer eine geeignete persönliche Schutzausrüstung (z. B. Handschuhe und Schutzbrille zum Schutz von Händen und Augen);
- Befolgen Sie alle Sicherheitshinweise des Schweißgeräteherstellers;
- Es hat sich bewährt, die beim Glätten entstandenen Späne zu kontrollieren, um sicherzustellen, dass keine Herstellungsfehler vorhanden sind. Späne müssen von der Innenfläche der zu verschweißenden Bauteile mit einem Pinsel oder sauberen Tuch entfernt werden;
- In jedem Fall dürfen die beiden Fügeflächen nach dem Schälen nicht berührt oder anderweitig verunreinigt werden; daher müssen die Schweißarbeiten unmittelbar nach der Vorbereitung durchgeführt werden;
- Wenn sich auf den geschälten Fügeflächen Staub abgesetzt hat, muss er vor dem Schweißen mit einem Tuch entfernt werden, das mit einem speziellen Reinigungsmittel getränkt ist.

Vorteile und Anwendungsbereiche

Das Stumpfschweißen eignet sich gut für eine Vielzahl von Querschnittsgrößen und komplexen Formen, da es sich um ein sehr wirtschaftliches Verfahren handelt, insbesondere für Bauteile mit einem Durchmesser von mehr als 200 mm. Darüber hinaus werden bei dieser Schweißtechnik keine zusätzlichen Formstücke zur Herstellung der Verbindung benötigt und die Anlage kann voll- oder halbautomatisch betrieben werden.

Die stumpfgeschweißten Bauteile werden vor allem auf Baustellen eingesetzt. Zu den typischen Anwendungsbereichen zählen Reparaturen in der Wasserversorgung und der chemischen Industrie.

Überprüfung der Qualität von Schweißverbindungen

Die Verbindungen können mit zwei alternativen Verfahren geprüft werden: zerstörungsfreie und zerstörende Prüfungen. Während für diese letztgenannten Prüfungen spezielle Ausrüstung benötigt wird, kann die Qualität der Verbindung auch durch eine einfache Sichtprüfung überprüft werden. Bei Sichtprüfungen sollte auf die folgenden Punkte geachtet werden:

- Der Schweißwulst muss über den gesamten Umfang der Verbindung gleichmäßig sein;
- Die Kerbe in der Mitte des Wulstes muss über dem Außendurchmesser der geschweißten Teile bleiben;
- Die äußere Oberfläche des Wulstes darf keine Anzeichen von Porosität, Einschlüsse von Staub oder anderen Verunreinigungen aufweisen;
- Es dürfen keine sichtbaren Anzeichen für ein Aufbrechen der Oberfläche vorhanden sein.
- Die Oberfläche des Schweißwulstes sollte keine sehr stark reflektierende Oberfläche aufweisen, da dies ein Zeichen für Überhitzung ist;
- Der axiale Versatz der Schweißteile darf nicht größer als 10 % ihrer Dicke sein.

Häufigste Fehlerarten

In der folgenden Tabelle sind die häufigsten Fehlerarten aufgeführt, die bei Nichtbeachtung des korrekten Schweißverfahrens auftreten.

Unregelmäßiger Verlauf des Schweißwulstes um den Rohrumfang	
Mögliche Ursachen	Unzureichend sorgfältige Vorbereitung der zu verschweißenden Fügeflächen mit einer daraus resultierenden ungleichmäßigen Wärmeverteilung
Verkleinerte Schweißwulste	
Mögliche Ursachen	Falsche Einstellung der Schweißparameter (Temperatur, Druck und Zeit)
Kerbe in der Mitte des Wulstes ist zu tief	
Mögliche Ursachen	Temperatur- oder Druckwerte sind zu niedrig
Einschlüsse in der Oberfläche der Schweißwulste	
Mögliche Ursachen	Unzureichende Reinigung der zu verschweißenden Fügeflächen
Porosität der Schweißwulste	
Mögliche Ursachen	Schweißen unter zu feuchten Umgebungsbedingungen
Oberfläche der Schweißwulste zeigt eine sehr glatte glänzende Oberfläche	
Mögliche Ursachen	Überhitzung beim Schweißen
Fehlausrichtung überschreitet 10 % der Dicke des Rohres und des Formstücks	
Mögliche Ursachen	Falsch durchgeführte Zentrierung oder übermäßige Ovalität des Rohres

Infrarot-Schweißen

Das Infrarotschweißen (IR-Schweißen) ist eine Technik des berührungslosen thermischen Schweißens, bei der extrem feste, luft- und flüssigkeitsdichte Schweißnähte erzeugt werden. Infrarotstrahlung wird im Allgemeinen als die Wärme des Sonnenlichts bezeichnet, und wie jede andere Lichtquelle auch strahlt sie elektromagnetische Strahlung mit extrem hoher Intensität ab.

Infrarotstrahlung kann als gezielte Wärmequelle eingesetzt werden und ist daher in der Industrie und in der Halbleiterfertigung weit verbreitet. Da die eingesetzten Wellenlängen regelbar sind (IR-Schweißen), lassen sich thermoplastische Bauteile sehr einfach auf Schmelztemperatur erwärmen und dann ähnlich wie beim Heizelementschweißen (Muffenschweißen, Stumpfschweißen) zusammenfügen.

Schweißanleitung

Beim Infrarotschweißen werden beide Hälften des Bauteils in der Nähe einer Infrarotstrahlung aussendenden Platte starr in Position gehalten.

Die Platte sendet starkes Infrarotlicht in beide Teile entlang des festgelegten Fügeweges aus, normalerweise ein Kreis oder eine Linie. Anschließend wird die Platte schnell entfernt, die Bauteilhälften sofort gegeneinander gedrückt und unter Druck wieder verfestigt.

Die durch Infrarotschweißen erzeugten Schmelzverbindungen sind homogen und weisen gute Eigenschaften auf.

Vorteile und Anwendungsbereiche des Infrarotschweißens

Einer der größten Vorteile dieser Schweißtechnik besteht darin, dass sie eine größere Flexibilität bei der Materialauswahl ermöglicht (berührungsfreie Anwendungen). Da es sich bei dieser Technik um ein berührungsloses Verfahren handelt, entfällt der Austausch von Einsätzen/Beschichtungsmaterial für die Platte (Heizung), um ein Anhaften an den Teilen zu verhindern. Außerdem ist diese Technik 50 % schneller als das Stumpfschweißen. Es besteht kein oder nur ein minimales Verunreinigungsrisiko und die Wulstbildung ist ebenfalls sehr gering. Durch die sehr gleichmäßige Erwärmung ist die Spannungsbildung an den Schweißnähten sehr gering.

Typische Anwendungsgebiete des Infrarotschweißens sind beispielsweise Bauteile, die unregelmäßige und komplexere Formen aufweisen.

3.1.3 Muffenschweißen

Beim Muffenschweißen wird das Rohr mit der Muffe des Formstücks verschweißt. Die Verbindung wird durch gleichzeitiges Verschmelzen der Außen- und Innenflächen mit Hilfe spezieller manueller oder automatischer Heizgeräte hergestellt. Diese Vorrichtungen bestehen in ihrer einfachsten Form aus einer Heizplatte, auf der mehrere Heizbuchsen und Heizstutzen montiert sind. Die Vorrichtungen verfügen über ein entsprechendes Heizsystem mit automatischem Temperaturregler. Für dieses Schweißverfahren werden keine zusätzlichen Materialien benötigt. Das Muffenschweißen beeinträchtigt weder die chemische Beständigkeit des Materials noch die Innendruckfestigkeit der zusammengefügt Rohre und Formstücke. Das zu verschweißende Rohr muss geschnitten, angefast und gegebenenfalls abgeschält werden. Die Außenfläche des Rohrs und die Innenfläche des Formstücks müssen sorgfältig gereinigt werden. Außerdem können die Außenflächen des Rohrs und des Formstücks mit einer Referenzkerbe versehen werden, um das Risiko einer versehentlichen Drehung während des Abbindens der Verbindung auszuschließen. Im nächsten Schritt wird das Rohr in die Heizbuchse und das Formstück auf den Heizstutzen gesteckt und für die erforderliche Anwärmzeit in Position gehalten. Nach Ablauf dieser Zeit müssen die Bauteile schnell aus der Heizbuchse bzw. von dem Heizstutzen entfernt werden; das Rohr wird nun bis zur vollen, vorher festgelegten Einstecktiefe in das Formstücks eingeführt, wobei auf eine korrekte Ausrichtung der Referenzkerben zu achten ist. Die beiden Elemente müssen nach dem ersten Zusammenfügen ca. 15 Sekunden in die Haltevorrichtung. Anschließend lässt man sie bei Umgebungstemperatur ohne Zufuhr von Luft und Wasser.



Schweißanleitung

Das nachfolgend beschriebene Verfahren ist nur anwendbar, wenn thermische Muffenschweißungen erzeugt werden, die den Einsatz manueller Schweißausrüstung erfordern.

Die Verwendung von automatischen und halbautomatischen Geräten, die sich insbesondere für Durchmesser von mehr als 63 mm eignen, erfordert eine spezifische Arbeitskenntnis des Schweißwerkzeugs. Halten Sie sich in diesem Fall strikt an die Anweisungen des Werkzeugherstellers.



1) Wählen Sie die Heizbuchse und den Heizstutzen mit den benötigten Durchmessern aus, setzen Sie sie ein und befestigen Sie sie an der Heizplatte, wie in der Abbildung dargestellt.



2) Reinigen Sie die Fügeflächen sorgfältig, wie in der Abbildung dargestellt. Halten Sie sich bei der Auswahl des flüssigen Reinigungsmittels an die von den Herstellern empfohlenen Produkte: Geeignet sind Trichlorethan, Chlorothen, Ethylalkohol und Isopropylalkohol.



3) Stellen Sie die Temperatur des Heizwerkzeugs ein. Für eine ordnungsgemäße Herstellung der Verbindung sollte die Temperatur auf einen Wert zwischen 250° C und 270° C eingestellt werden.

4) Wenn das Gerät die voreingestellte Temperatur erreicht hat, überprüfen Sie die Temperatur der Heizplatte mit einer schnell reagierenden Thermosonde.

5) Schneiden Sie das Rohr ab (Abbildung **A**), fassen Sie es an und schälen Sie es gegebenenfalls (Abbildung **B**).



Schäldurchmesser und Länge sowie die Fasentiefe müssen den Werten entsprechen, die in der Tabelle mit den Abmessungen für das Schälen und Anfasen von Rohren unten angegeben sind. Das Anfasen kann entweder nach dem Schälen oder gleichzeitig mit diesem Arbeitsgang unter Verwendung spezieller kalibrierter Werkzeuge durchgeführt werden.

Abmessungen für das Schälen und Anfasen von Rohren PP-H

Außendurchmesser De (mm)	Schällänge L _p (mm)	Fase Sm (mm)
20	14	2
25	16	2
32	18	2
40	20	2
50	23	2
63	27	3
75	31	3
90	35	3
110	41	3

Abmessungen für das Schälen und Anfasen von Rohren PVDF

Außendurchmesser De (mm)	Schällänge L _p (mm)	Fase Sm (mm)
16	13	2
20	14	2
25	16	2
32	18	2
40	20	2
50	23	2
63	27	3
75	31	3
90	35	3
110	41	3



6) Zeichnen Sie auf dem Rohr die Einstecktiefe L_i an, wie in der Abbildung dargestellt, und beziehen Sie sich dabei auf die Werte, die in der nachstehenden Tabelle für die Rohreinstecktiefen angegeben sind.

Rohreinstecktiefe PP-H

Außendurchmesser D_e (mm)	Einstecktiefe Formstück L_i (mm)
20	14
25	15
32	17
40	18
50	20
63	26
75	29
90	32
110	35

Rohreinstecktiefe PVDF

Außendurchmesser D_e (mm)	Einstecktiefe Formstück L_i (mm)
16	12
20	14
25	15
32	17
40	18
50	20
63	26
75	29
90	32
110	35



7) Zeichnen Sie auf der Außenseite des Rohrs und des Formstücks eine Längsbezugslinie an, um zu verhindern, dass sich die beiden Teile während der Herstellung der Verbindung drehen, wie in der Abbildung dargestellt.



8) Entfernen Sie alle Öl- und Staubsuren auf den Schweißflächen von Formstück und Rohr.



9) Nachdem Sie kontrolliert haben, dass sich die Oberflächentemperatur der Heizplatte auf dem gewünschten Wert stabilisiert hat, stecken Sie das Rohr in die Heizbuchse und das Formstück auf den Heizstutzen, wie in der nahestehenden Abbildung dargestellt.

Halten Sie die beiden Teile fest (Formstück bis zum Anschlag auf dem Heizstutzen, Rohr bis zum Ende der Schällänge in der Heizbuchse) und warten Sie die in der nachstehenden Tabelle der Anwärm-, Schweiß- und Abkühlzeiten (gemäß DVS 2207) angegebene Mindestanwärmzeit ab.

De (mm)	PP-Rohre nach: DVS 2207 Teil 11			
	Mindestdicke* (mm)	Anwärmzeit (s)	Umstellzeit (s)	Abkühlzeit (min)
20	2,5	5	4	2
25	2,7	7	4	2
32	3	8	6	4
40	3,7	12	6	4
50	4,6	18	6	4
63	3,6	24	8	6
75	4,3	30	8	6
90	6,1	40	8	6
110	6,3	50	10	8

* Für eine ordnungsgemäße Verschweißung empfehlen wir die Verwendung von Rohren mit einer Wandstärke von mehr als 2 mm, und zwar genau:

- Für De bis 50 mm: Rohrserien PN 10 und PN 16;
- Für De von 63 bis 110 mm: Rohrserien PN 16, PN 10 und PN 6.

Anwärm-, Schweiß- und Abkühlzeiten PVDF

De (mm)	PVDF-Rohre nach: DVS 2207 Teil 15			
	Mindestdicke* (mm)	Anwärmzeit (s)	Veränderung über die Zeit (s)	Abkühlzeit (min)
16	1,5	4	4	2
20	1,9	6	4	2
25	1,9	8	4	2
32	2,4	10	4	4
40	2,4	12	4	4
50	3	18	4	4
63	3	20	6	6
75	3	22	6	6
90	3	25	6	6
110	3	30	6	8

* Für eine ordnungsgemäße Verschweißung empfehlen wir die Verwendung von Rohren mit einer Wandstärke von mehr als 2 mm, und zwar genau:

- Für De bis 50 mm: Rohrserien PN 10 und PN 16;
- Für De von 63 bis 110 mm: Rohrserien PN 16, PN 10 und PN 6.



10) Nach Ablauf der Mindestanwärmzeit werden die Elemente schnell aus den Buchsen entfernt und das Rohr in der gesamten zuvor angezeichneten Einstecktiefe L1, siehe Abbildung, in das Formstück gedrückt. Das Rohr darf in dem Formstück nicht gedreht werden; stellen Sie sicher, dass die Längsmarkierungen perfekt ausgerichtet sind, wie in der Abbildung links dargestellt.

11) Halten Sie die zu verbindenden Elemente gemäß den Angaben in der Tabelle „Anwärm-, Schweiß- und Abkühlzeiten“ für die Dauer der als „Umstellzeit“ bezeichneten Schweißzeit fest.

Lassen Sie sie anschließend für die Dauer der „Abkühlzeit“ abkühlen. Es ist wichtig zu erwähnen, dass dieser Schritt bei Umgebungstemperatur ohne Zufuhr von Luft oder Eintauchen in Wasser erfolgen sollte.

12) Wenn die Innen- und Außenflächen ausreichend abgekühlt sind, wird die Anlage für die hydraulische Verbindungsprüfung unter Druck gesetzt.



WARNHINWEISE

Beachten Sie beim Muffenschweißen die folgenden Empfehlungen:

- Tragen Sie immer eine geeignete persönliche Schutzausrüstung (z. B. Handschuhe und Schutzbrille zum Schutz von Händen und Augen);
- Befolgen Sie alle Sicherheitshinweise des Schweißgeräteherstellers;
- Bei der Muffenschweißtechnik können Fehler in der Ausrichtung oder Tiefe der Verbindung nicht ausgeglichen werden, da die Abkühlung der Verbindung so schnell erfolgt, dass eine Korrektur nicht mehr möglich ist, sobald das Einführen des Rohrs in die Muffe gestoppt wurde;
- Bei beengten Platzverhältnissen und einer geringeren Anzahl von Verbindungen empfiehlt es sich, das Rohrleitungssystem so weit wie möglich vorzufertigen, wobei das Heizwerkzeug in einen Schraubstock eingespannt werden kann;
- Korrekte Verbindungen mit guter Ausrichtung und Verbindungstiefe herzustellen, ist eine körperlich sehr anspruchsvolle Aufgabe. Dies gilt insbesondere für freihändige Endverbindungen, bei denen ein Teammitglied das Heizwerkzeug trägt, ein zweites einen Muffenaufsatz auf den Heizstutzen schiebt, und ein drittes Teammitglied das Rohr in die Heizbuchse drückt. Um diese Komponenten auf dem Heizstutzen/ in der Heizbuchse zu schmelzen, ist eine starke, gleichbleibende Kraft erforderlich. Das Einführen ist nur im geschmolzenen Zustand möglich, unabhängig von der axialen Kraft. Die eigentliche Herausforderung besteht darin, den Muffenaufsatz mit gleichbleibender Kraft schnell und gerade genug auf das Rohr zu drücken, so dass die Ausrichtung des Rohrs und die Einstecktiefe in der Muffe korrekt sind. Wir empfehlen daher, so viele Verbindungen wie möglich auf einer Schweißmaschine für Muffenschweißung vorzufertigen;
- Vor dem Schweißen können Muffenverbindungen vor Ort auf gültige Muffentoleranzen überprüft werden. Eine zu große Muffenverbindung kann nicht verwendet werden;
- Geschmolzenes Kunststoffmaterial kann schwere Verbrennungen verursachen. Vermeiden Sie jede Berührung des Schweißgeräts und des heißen Kunststoffes. Wenn Sie den Arbeitsbereich unbeaufsichtigt zurücklassen müssen, decken Sie heiße Werkzeuggriffe oder die Schweißmaschine mit einer Thermodecke ab. Stellen Sie Schilder mit Warnhinweisen vor heißen Oberflächen auf. Zur Not reicht auch eine handschriftliche Warnung auf einem Pappschild;
- Bei der Einrichtung des manuellen Heizwerkzeugs sind die folgenden Anweisungen mit größter Sorgfalt zu befolgen. Die Heizwerkzeuge sind werkseitig auf 250 °C bis 270 °C voreingestellt. Durch Drehen der Thermostat-Einstellschraube mit dem im Schweißkit enthaltenen Instrument, kann die Werkzeugtemperatur geändert werden. Dieses Instrument entspricht der Klinge eines Schraubendrehers mit einem um 90° gedrehten Schaft. Die Temperatur wird durch Drehen im Uhrzeigersinn verringert und durch Drehen gegen den Uhrzeigersinn erhöht.

Vorteile und Anwendungsbereiche

Das Muffenschweißverfahren spielt immer dann eine wichtige Rolle, wenn auf den Einsatz aufwendiger Maschinen verzichtet werden muss. Da bei dieser Technik mehr Kontaktfläche beim Schweißen genutzt wird, verkürzt sich die Zeit, die zum Anwärmen und Verschmelzen des Rohrs benötigt wird. Außerdem erfordert diese Schweißtechnik weniger Druck als das Stumpfschweißen.

Typische Anwendungsbereiche für das Muffenschweißen sind z. B. Wasser- und Gasleitungen, Bewässerungssysteme, chemische Prozesse, Abfallbehandlung usw.

Überprüfung der Qualität von Schweißverbindungen

Der Torsionsscherversuch und der radiale Schälversuch eignen sich für eine schnelle Überprüfung der Schweißqualität von Muffenschweiß-Rohrverbindungen. Die Wanddicke des Rohrs sollte ≥ 4 mm sein.

- Torsionsscherversuch: Der Torsionsscherversuch dient zur Beurteilung des Bruchverhaltens und des Bruchbildes der Schweißnaht. Zu diesem Zweck wird der Probekörper mit einem Teil, z. B. dem Muffenquerschnitt, vollständig in einem Schraubstock eingespannt. Das andere Teil, z. B. der Rohrquerschnitt, wird mit einem geeigneten Werkzeug gefasst und dann in der Schweißebene um 90° verdreht. Die Drehgeschwindigkeit ist sehr niedrig, um ihren Einfluss auf das Bruchverhalten des Probekörpers weitgehend auszuschalten. Die Spannflächen sollten leicht hinterschnitten sein, um das Torsionsmoment gezielt in die Schweißnahtebene einbringen zu können.
- Radialer Schälversuch: Bei diesem Versuch wird der Rohrquerschnitt des Probekörpers, der mit dem Muffenquerschnitt in einem Schraubstock eingespannt ist, mit Hilfe einer geeigneten Zange oder einer anderen Spannvorrichtung, mit möglichst geringer Geschwindigkeit radial geschält. Die Bewertung erfolgt gemäß der nachstehenden Tabelle.

Bewertungskriterien beim Torsionsscher- und radialem Schälversuch

Trennverhalten	Aussehen, Merkmal	Bewertung
Hohe Trennkräfte, zäher Bruch, über 80 % der Schweißfläche	Stark strukturiertes Bruchbild mit plastischer Verformung und Verstreckung (duktil)	Keine bzw. geringfügige Fehler
Schweißfläche teilweise oder ganz aufgeschmolzen, aber nur punktuell verschweißt	Vereinzelte Ablösungen, Verschmutzungen, ungenügender Oberflächenabtrag	
Spröder Bruch	Trennstelle grobporig, fein strukturiert, von vielen kleinen Lunkern durchsetzt, teilweise verbrannt, Überhitzung der Schweißnaht	Unzulässige Fehler
	Rohroberfläche nicht aufgeschmolzen, Schweißnaht zu kalt, zu großer Schweißspalt	

Häufigste Fehlerarten

- Ein falsches Drehen der Einstellschraube des Heizwerkzeugs führt zum Verbrennen des Heizelements.
- Vor dem Schweißen sicherstellen, dass keine Verunreinigungen auf den zu schweißenden Flächen vorhanden sind.
- Unsachgemäßes Einspannen kann zu einer Fehlaurichtung des Rohrs führen.
- Das Schweißen bei ungünstigen Arbeitsbedingungen (z. B. Umgebungstemperatur, Temperatur des Heizwerkzeugs usw.) führt zu unerwünschten Verbindungsergebnissen.

3.1.4 Heizwendelschweißen

Das Heizwendelschweißen ist ein sehr sicheres und benutzerfreundliches Schweißverfahren, das hauptsächlich für PE-Rohre in der Gas-, Wasser- und Abwasserwirtschaft sowie für industrielle Anwendungen eingesetzt wird. Das Heizelement besteht aus Draht und ist fester Bestandteil von Muffen und vielen anderen Arten von Formstücken und Armaturen.

Wenn ein Strom an den Schweißdraht angelegt wird, wird der umgebende Kunststoff dank des Joule-Effekts auf 200 °C erhitzt. Die Innenseite der Muffe und die Außenseite des Rohrs schmelzen und nähern sich einander an. Die Temperatur- oder Schmelzzeitregelung wird eingesetzt, um die richtige Schmelzmenge zu erzielen und das Anwärmen zum richtigen Zeitpunkt zu beenden. Beim Abkühlen verschmilzt der Kunststoff zu einer festen und homogenen Verbindung ohne zusätzliches Dichtmaterial oder eine Dichtung.

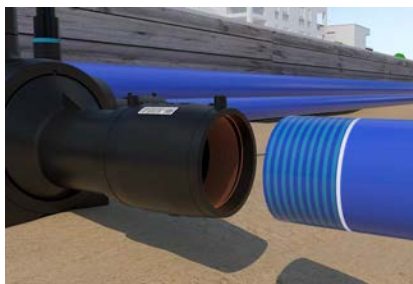
Das Heizwendelschweißen kann bei Polyolefinen mit teilkristallinem Gefüge, wie PE 80, PE 100, PE 100-RC, PE-X, PP, PB oder PA, angewendet werden.

Es ist die derzeit am häufigsten verwendete Schweißtechnik, um PE-Rohre und einige Mehrschichtverbundrohre zu verbinden.



Schweißanleitung

Im Folgenden wird das Heizwendelschweißen Schritt für Schritt beschrieben.



- 1) Messen und zeichnen Sie die Einstecktiefe des Rohrs in das Formstück an.
- 2) Bearbeiten Sie die Enden der Rohre mit einem Rotationsschälgerät, um die oxidierte Oberflächenschicht zu entfernen, so dass nur sauberes Material mit dem Formstück in Kontakt kommt.
- 3) Reinigen Sie die Rohrenden und die Innenfläche des Formstücks mit einem zugelassenen Reinigungsmittel.
- 4) Zeichnen Sie die Einstecktiefe noch einmal neu an, um eine Kontrolle beim Heizwendelschweißprozess zu ermöglichen.
- 5) Führen Sie die Rohrenden in der eingezeichneten Einstecktiefe in das Formstück ein.



6) Schließen Sie das Kabel des Heizwendelschweißgeräts gewichtsentlastet am Formstück an.



7) Schweißdaten, z. B. mittels Barcode-Lesestift, eingeben, Anzeigen am Gerät überprüfen und Schweißprozess starten. Falls beim Lesen des Barcodes Probleme auftreten, können die Schweißparameter von der Nummer über dem Barcode abgeleitet und manuell in die Schweißmaschine eingegeben werden.

8) Nachdem der Vorgang automatisch beendet wurde, darf die Verbindung vor Ablauf der Abkühlzeit nicht bewegt oder unter Druck gesetzt werden.

Für die Durchführung des Heizwendelschweißens ist das richtige Verständnis des Prozesses, der Ausrüstung und der Werkzeuge, die damit verbunden sind, erforderlich. Das Schweißpersonal muss die Schweißanweisungen verstehen, z. B. Anwärmzeit, Abkühlzeit, Temperatenausgleich und so weiter.

Die folgende Abbildung zeigt ein Beispiel für einen Barcode beim Heizwendelschweißen nach ISO 13950. Dieser muss gescannt werden, um den Vorgang zu starten.

Die Bedeutung der Ziffern im Barcode ist wie folgt:

- Die Ziffern 1 bis 8 geben den Namen des Formstückherstellers, die Art des Formstücks, die für die Nennschmelzzeit geltende Energiekorrektur, die Art und die Angabe der Abkühlzeit an;
- Die Ziffern 9 bis 11 geben den Durchmesser des Formstücks an;
- Ziffer 12 gibt den Widerstandswert (K) an;
- Die Ziffern 13 bis 14 geben die Nennschmelzspannung (V) an;
- Die Ziffern 15, 16, 17 geben den Widerstand des Heizelements (Ω) an;
- Ziffer 18 gibt die Widerstandsänderung (%) an;
- Die Ziffern 19, 20 und 21 geben die Heizzeit (s) an;
- Die Ziffern 22 bis 23 geben die Energiekorrektur (%) an;

Fettgedruckte Ziffern geben die Chargennummer an.

Weitere Informationen finden Sie in der ISO 13950.





WARNHINWEISE

Gehen Sie beim Heizwendelschweißen nach den folgenden Anweisungen vor:

- Tragen Sie immer eine geeignete persönliche Schutzausrüstung (z. B. Handschuhe und Schutzbrille zum Schutz von Händen und Augen);
- Befolgen Sie alle Sicherheitshinweise des Schweißgeräteherstellers;
- Die Oberflächen der miteinander zu verbindenden Rohre und die Innenflächen der Formstücke müssen absolut sauber, trocken und fettfrei sein. Reinigen Sie die Fügeflächen unmittelbar vor der Montage und nach dem Schälvorgang mit einem geeigneten Reinigungsmittel und mit unbenutztem, saugfähigem, nicht faserndem und nicht eingefärbtem Papier. Achten Sie bei der Reinigung darauf, dass keine Verunreinigungen von der nicht geschälten Rohroberfläche in die Schweißzone gelangen;
- Wenn die Oxidschicht nicht vollständig entfernt wird, kann es zu inhomogenen, undichten Schweißverbindungen kommen;
- Ein zu starker Spanabtrag kann zu einem zu großen Ringspalt führen, der durch das Schweißen nicht oder nur unzureichend geschlossen werden kann. Bitte überprüfen Sie daher regelmäßig den Zustand der Klinge am Schälwerkzeug. Abgenutzte Klingen müssen ersetzt werden;
- Das Verschweißen verschiedener PE-Qualitäten wie PE80/PE100, PE100/PE100-RC oder PE100/PE-X ist möglich; unterschiedliche Materialien können jedoch nicht miteinander verschweißt werden;
- Die Abkühlzeit ist sehr wichtig, um sicherzustellen, dass die gewünschte Verbindungsqualität erreicht wird;
- Gehen Sie beim Schneiden des Rohrs sehr umsichtig vor. Ein nicht rechtwinkliger Schnitt kann dazu führen, dass die Heizwendel teilweise nicht vom Rohr bedeckt wird, was zu Überhitzung, unkontrollierter Schmelzebildung oder Selbstentzündung führen kann.

Vorteile und Anwendungsbereiche des Heizwendelschweißens

Diese Schweißtechnik eignet sich sehr gut für Polyolefine und andere kristalline Polymere. Das Heizwendelschweißen wird immer beliebter, da es einen großen Bereich von Bauteildurchmessern abdeckt. Außerdem ermöglicht diese Technik eine Reparatur, ohne dass die Rohre ausgebaut werden müssen. Ein weiterer Vorteil ist die Tatsache, dass im Inneren des Rohrs keine Schmelzraupen entstehen. Darüber hinaus bietet die automatische Heizwendelschweißsteuerung eine hohe Prozesssicherheit.

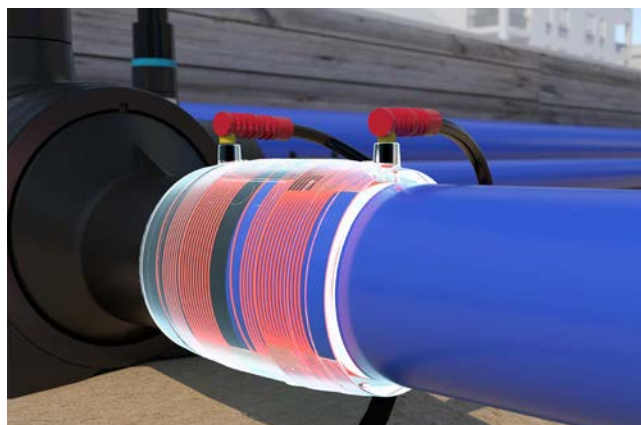
Typische Einsatzgebiete der Heizwendelschweißtechnik sind z.B. der Bau von Gas-, Wasser- oder Abwasserleitungen aus PE oder Industrierohrleitungen aus PP oder PE.

Größere Einstecktiefe für ein perfektes Ergebnis

Einer der Vorteile unseres Heizwendelschweißfittings ist die große Einstecktiefe, die es zu einer hocheffizienten Lösung macht, mit der perfekte Ergebnisse erzielt werden können. Sie bietet zusätzliche Sicherheit, da die Rohrenden während des Heizwendelschweißprozesses wesentlich besser fixiert werden.

Längere Schweißzone für mehr Grip

Ein weiterer Vorteil der Verwendung unseres Heizwendelschweißfittings ist seine längere Schweißzone. Dieser Aspekt führt letztendlich zu einer Verringerung der Biegespannung und trägt auch dazu bei, eine Abnahme des Schmelzdrucks zu verhindern. Zudem können nicht rechtwinklig geschnittene Rohre und umgekehrte Rohrenden ausgeglichen werden. Längere Schweißzonen ermöglichen eine größere Fläche zur Energieaufnahme. Sie sorgen für eine höhere Stabilität und Installationssicherheit.



Die nachstehende Tabelle soll zu einem besseren Verständnis der Unterschiede zwischen der Frialen®-Schweißzone und den Anforderungen der Europäischen Norm beitragen. Die Tabelle entspricht den Normen DIN EN 12201-3 und DIN EN 1555-3.

De (mm)	Min. Schweißzonenlänge (mm) nach DIN EN 12201-3 DIN EN 1555-3	Schweißzonenlänge von FRIALEN (mm)	Verhältnis
32	10	21	2,1
63	11	29	2,6
125	16	42	2,6
225	26	71	2,7

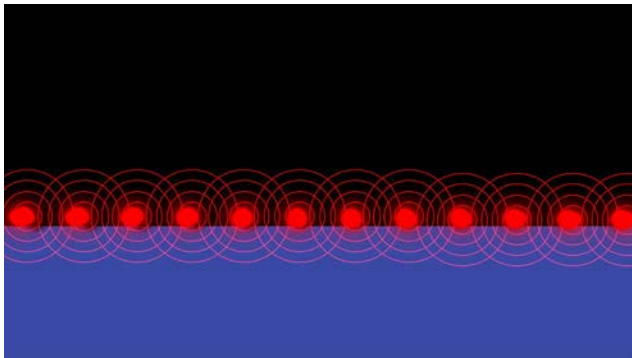
Freiliegende Heizwendel für besseren Halt

Der Hauptvorteil einer freiliegenden Heizwendel in unserem Heizwendelschweißfitting ist ein verbesserter Halt. Außerdem bringt dieser Aspekt viele weitere Vorteile mit sich. Die Oxidhaut, die sich auch im Inneren des Fittings befindet, ist viel kleiner und beeinträchtigt die Schweißqualität nicht. Außerdem gewährleistet sie ein schnelles Aufschmelzen der Rohr- und Formstückoberflächen. Das Aufheizen und Erreichen des notwendigen Schmelzdruckes erfolgt in kürzester Zeit.

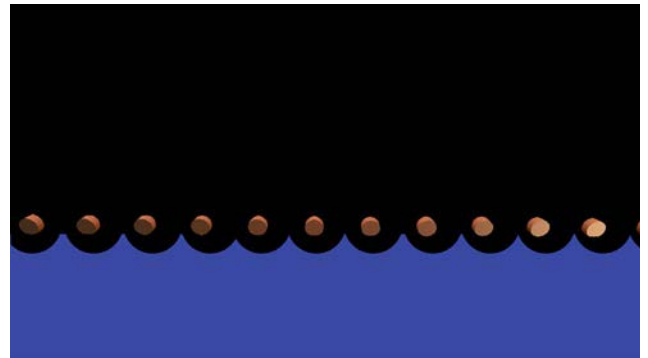
Zwei Drittel der Heizwendel sind in das Fitting eingebettet, wodurch eine Beschädigung des Drahtes vermieden wird.

Die Abbildungen zeigen jeweils ein Beispiel für ein Fitting mit freiliegender Heizwendel und die abschließende Wellenbildung des geschmolzenen Materials.

Beim Schweißen



Wellenbildung nach dem Schweißen



Überprüfung der Qualität der Schweißverbindung

Durch die Indikator-Anzeigen der FRIALEN-Sicherheitsfittings lässt sich eindeutig erkennen, ob eine Schweißung durchgeführt wurde oder nicht.

Vor dem Schweißen



Nach dem Schweißen



Um sicherzustellen, dass der Schweißvorgang erfolgreich war, wird empfohlen, die Schweißanzeige zu aktivieren.

Große Kupplungen sind mit einem Farbindikator ausgestattet: Nach dem Schweißvorgang ist er violett, vor dem Schweißen farblos.

Häufigste Fehlerarten

- Ein nicht rechtwinkliger Schnitt kann dazu führen, dass die Heizwendel teilweise nicht vom Rohr bedeckt wird, was zu Überhitzung, unkontrollierter Schmelzebildung oder Selbstentzündung führen kann;
- Auch eine nicht ordnungsgemäß abgeschälte Rohroberfläche ist einer der häufigsten Gründe für fehlerhafte Verbindungen. Um solche Probleme zu vermeiden, wird die Verwendung geeigneter Schälwerkzeuge dringend empfohlen;
- Eine falsche Kennzeichnung der Einstecktiefe führt zu einer fehlerhaften Verbindung. Für eine korrekte Kennzeichnung der Einstecktiefe ist darauf zu achten, dass die halbe Länge der Kupplung plus 5 mm Toleranz angezeichnet wird;
- Achten Sie auf die Rundheit von Rohren. Rohre können während der Lagerung ihre Rundheit verlieren. Wenn die Unrundheit der Rohre im Bereich der Schweißzone mehr als 1,5 % des Außendurchmessers oder mehr als 3 mm beträgt, müssen diese Rohre im Bereich der Schweißzone neu gerundet werden. Für das Runden wird die Verwendung geeigneter Rückrundungsschellen empfohlen;
- Bei unsachgemäßer Handhabung oder Nichtverwendung von Haltevorrichtungen in nicht spannungsfreien Anwendungen können Ausrichtungsfehler des Rohrs auftreten;
- Ein Kippen des Rohrs beim Einsetzen, die wiederholte Verwendung desselben Entfettungstuchs und das Bewegen eines Formstücks, bevor es vollständig abgekühlt ist, können zu fehlerhaften Verbindungen führen.

3.1.5 Warmgasschweißen

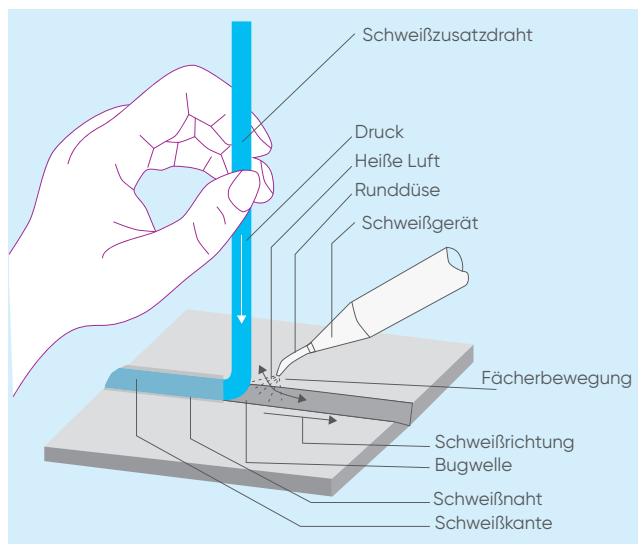
Beim Warmgasschweißen werden die Fügeflächen und die äußeren Zonen des Schweißzusatzdrahts durch Warmgas, in der Regel erwärmte Luft, in einen plastischen Zustand überführt und unter Druck zusammengefügt.

Das Warmgasschweißen ist für eine Vielzahl von Werkstoffen geeignet, wie z. B. PE, PVC-C, PVC-U, PP und PVDF.

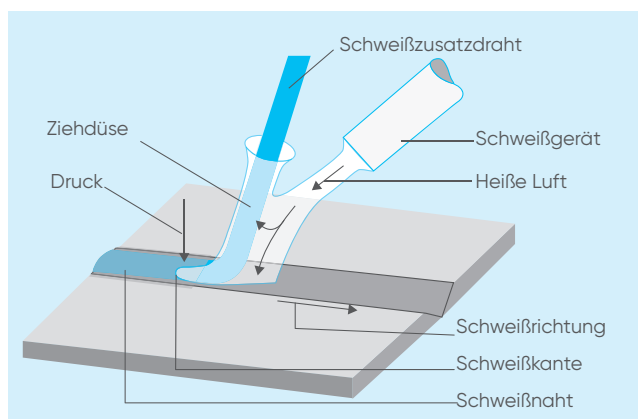
Ein Warmgasschweißgerät erfüllt im Allgemeinen drei Funktionen: Vorwärmen des Grundwerkstoffs, Führen und Vorwärmen des Schweißzusatzdrahts und Beaufschlagen der Schweißstelle mit Druck.

Das Warmgasschweißen lässt sich in zwei verschiedene Arten unterteilen:

- Warmgasfächelschweißen (WF): Die Erwärmung erfolgt über eine Runddüse. Das abgeschrägte Ende des Schweißzusatzdrahts wird an den Anfang der Schweißfuge gehalten und zusammen mit dem Grundwerkstoff erhitzt. Die Düse wird entlang der Schweißfuge geführt, so dass sich der Warmgasstrom über den Grund- und Schweißzusatzwerkstoff verteilt. Dabei wird der Schweißzusatzwerkstoff einem möglichst senkrecht von oben einwirkenden Druck ausgesetzt, wie in der nebenstehenden Abbildung dargestellt.



- Warmgasziehschweißen (WZ): Der Schweißzusatz wird in der Ziehdüse erwärmt und über einen schnabelförmigen Ansatz am Ende der Düse (Andrückzunge) in die Schweißfuge gedrückt. Der Schweißzusatz wird durch die Vorwärtsbewegung der Düse automatisch mitgezogen. Der erforderliche Fügedruck kann gleichmäßiger und einfacher aufgebracht werden. Ein Beispiel ist in der nebenstehenden Abbildung dargestellt.



Schweißanleitung

Die Qualität des als Wärmeträger dienenden Gases, der Druck und die Temperatur sind entscheidende Faktoren für die Qualität der Schweißung.

Das Hochgeschwindigkeits-Warmgasschweißen erfordert die Verwendung von Gas, das mit niedrigem Druck und hohem Volumen zugeführt wird und frei von Öl und Feuchtigkeit ist.

In der folgenden Tabelle, die der Richtlinie DVS 2207 entnommen wurde, sind einige empfohlene Werte von Schweißparametern für verschiedene Materialien aufgeführt.

Material	Schweißverfahren ⁽¹⁾	Schweißkraft (N) mit Schweißdraht ⁽²⁾		Heißlufttemperatur °C ⁽³⁾	Luftmenge l/min
		rund 3 mm Ø	rund 4 mm Ø		
PE-HD	WF	6...10	15...20	300...340	40...60
	WZ	10...16	25...35		
PE-LD (4)	WF			260...320	
	WZ				
PP	WF	6...10	15...20	280...330	
	WZ	10...16	25...35		
PVC-U, PVC-HI	WF	5...9	8...12	320...370	
	WZ	8...12	15...25		
PVC-P ⁽⁴⁾	WF	15...20	18...25	300...370	
	WZ	4...8	7...12		
PVC-C	WF	10...15	15...20	350...400	
	WZ	15...20	20...25		
PMMA ⁽⁵⁾	WF	12...16	12...16	320...370	
	WZ	12...16	20...30		
PVDF	WF	10...15	15...20	350...400	
	WZ	12...17	25...35		

⁽¹⁾ WF = Warmgasfächelschweißen; WZ = Warmgasziehschweißen.

⁽²⁾ Die Schweißkraft kann durch Probeschweißen auf einer Waage überprüft werden.

⁽³⁾ Gemessen in einem Warmgasstrom ca. 5 mm innerhalb der Düse, bei Runddüsen in der Düsenmitte, bei Ziehdüsen in der Hauptdüsenöffnung.

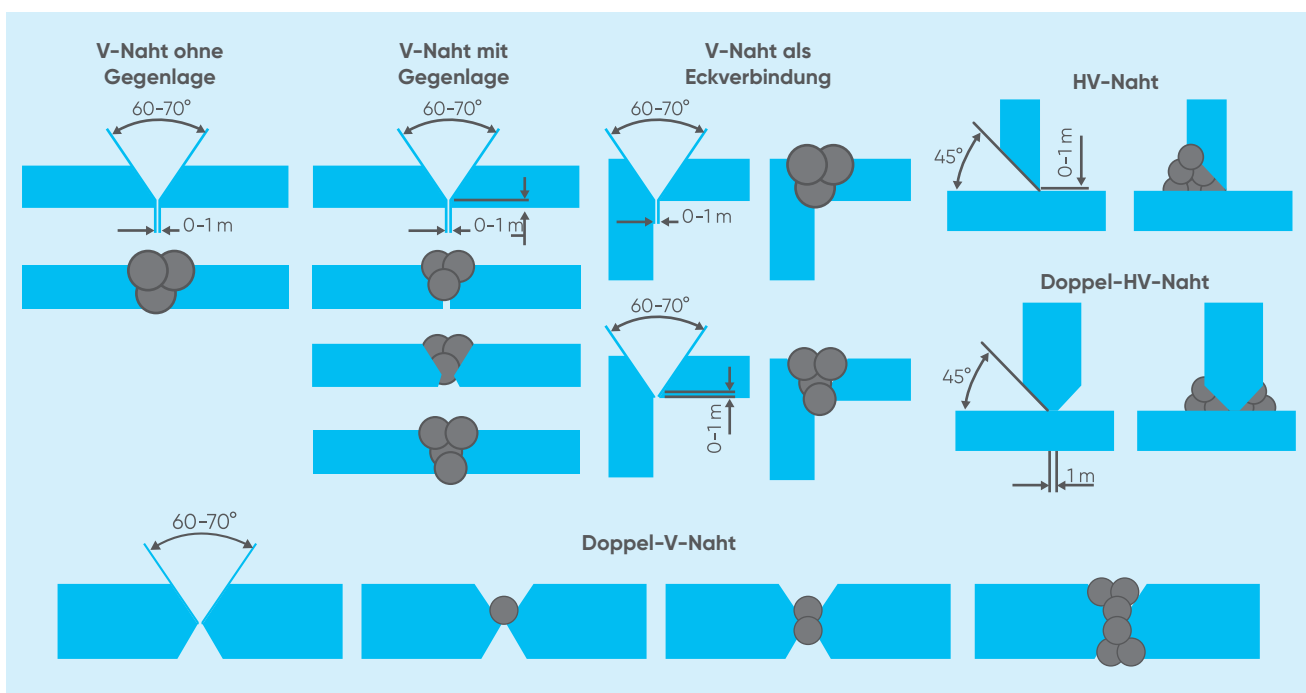
⁽⁴⁾ WF ist bei diesem Kunststoff nur mit einer geeigneten Stützrolle möglich.

⁽⁵⁾ Mit PVC-Schweißzusatz geschweißt.

Um beim Warmgasschweißen ein gutes Ergebnis zu erzielen, beachten Sie die folgenden Empfehlungen:

- 1)** Die Enden der zu verbindenden Werkstücke müssen angefasst werden, um eine optimale Schweißnaht zu erzielen. Die Fasse kann mit einer verstellbaren Säge, einem Fräser oder einem anderen geeigneten Werkzeug hergestellt werden. Der Winkel zwischen den Fasen der beiden zu verbindenden Teile sollte zwischen 60 und 70 Grad betragen, es sei denn, ein Teil wird rechtwinklig zu einem anderen verbunden, in diesem Fall wird der Winkel auf 45 Grad reduziert.
- 2)** Die beiden zu verbindenden Teile müssen äußerst sauber sein. Um Rückstände auf der Oberfläche zu entfernen, wird ein leichtes Schleifen oder Schaben mit einer scharfen Klinge an der zu schweißenden Stelle und dem Schweißzusatzdraht dringend empfohlen.
- 3)** Wenn die Verbindung vor dem Schweißen nicht geheftet wird, empfiehlt es sich, zwischen den beiden zu verbindenden Teilen einen 0,5 - 1 mm breiten Spalt zu lassen, damit das Schweißmaterial bis zur Wurzel der Fasse eindringen und auf der anderen Seite leicht herauslaufen kann. Werden die Teile zuerst geheftet, sollten sie ohne Spalt aneinander stoßen. Die miteinander zu verschweißenden Teile müssen gegebenenfalls mit geeigneten Klemmen fest fixiert werden.

In der folgenden Abbildung sind typische Schweißnahtformen dargestellt.



4) Zur Erleichterung des Schweißbeginns kann der Schweißstab an seinem vorderen Ende spitzwinklig abgeschnitten werden. Der Schweißstab sollte erst unmittelbar vor Schweißbeginn in die Schnellschweißdüse eingeführt werden, da er sonst verbrennen kann.

5) Um mit dem Schweißen zu beginnen, hält der Schweißer die Schweißspitze wie in der nebenstehenden Abbildung dargestellt über den zu schweißenden Bereich, um zu verhindern, dass das Material frühzeitig verschmort.



6) Der Schweißer führt den Schweißzusatzdraht in den Vorwärmkanal ein und setzt die Spitze am Startpunkt der Schweißnaht auf das Material. Halten Sie das Schweißgerät in einem Winkel von etwa 45 Grad und schieben Sie den Stab durch die Spitze, bis er den Grundwerkstoff berührt. Sobald der Schweißvorgang begonnen hat, muss er mit einer relativ konstanten Geschwindigkeit fortgesetzt werden.

7) Um das Schweißen zu unterbrechen, bevor der Schweißzusatzdraht aufgebraucht ist, wird das Schweißgerät nach hinten gekippt, der Draht mit der Spitze der Andrückzunge abgeschnitten und der restliche Draht sofort aus dem Düsenkanal entfernt. Das Schweißen kann auch beendet werden, indem die Schweißdüse über den verbleibenden Stab gezogen und der Stab abgeschnitten wird.

Je nach Bedarf sollten mehrere Lagen aufgetragen werden, bis die Fuge vollständig gefüllt ist, wie in der vorherigen Abbildung dargestellt. Soll die Herstellung der Verbindung in Form einer Doppel-V- oder Doppel-HV-Naht erfolgen, werden die besten Ergebnisse erzielt, indem die Schweißlagen abwechselnd auf den gegenüberliegenden Seiten der Verbindung aufgebracht werden.

Die Tabelle enthält Empfehlungen für Schweißnahtlagen für verschiedene Materialstärken und Verbindungskonfigurationen.

Materialdicke mm		Schweißstab Anzahl x Durchmesser
V-Naht	2	1 x 4
	3	3 x 3
	4	1 x 3 + 2 x 4
	5	6 x 3
Doppel-V-Naht	4	2 (1 x 4)
	5	2 (3 x 3)
	6	2 (3 x 3)
	8	2 (1 x 3 + 2 x 4)
	10	2 (6 x 3)



WARNUNG

Da Temperatur und Druck beim Warmgasschweißen kritische Faktoren sind, ist es wichtig, die Angaben zu diesen beiden Größen genau zu beachten, um eine falsche Schweißung zu vermeiden.

Vorteile und Anwendungsbereiche

Das Schweißen mit Schweißstab wird bei Wasser- und Gasleitungen eingesetzt, insbesondere bei kleineren Serien und Spezialarbeiten, da es auf vielen verschiedenen Oberflächen und Werkstoffen mit unterschiedlichen Formen angewendet werden kann. Da Kunststoffschweißnähte außerdem wesentlich leichter als mechanische Befestigungen sind, empfiehlt es sich, diese Verbindungsart wann immer möglich den mechanischen vorzuziehen.

Überprüfung der Qualität der Schweißverbindung

Während des Schweißens kann eine Sichtprüfung der Schweißnaht Aufschluss über ihre Qualität geben: gebräunte oder verkohlte Ränder treten dann auf, wenn das Schweißgerät zu langsam bewegt wird oder sich überhitzt.

Wenn der Schweißstab durch zu starke Erwärmung zu weich geworden ist, dehnt er sich und bricht oder flacht ab.

3.1.6 Flanschverbindungen

Eine Flanschverbindung ist das beliebteste lösbare Verbindungssystem für die Längsverbindung von thermoplastischen Rohren mit großem Durchmesser und eignet sich besonders für alle Installationen, bei denen ein schnelles Trennen von Leitungskomponenten und Zubehör für Wartungs- und Kontrollarbeiten ausdrücklich erforderlich ist.

Dieses System bietet die Möglichkeit, Ausrüstung und Rohrabschnitte aus unterschiedlichen Baumaterialien miteinander zu verbinden, sofern die zu verbindenden Flansche das gleiche Lochmuster aufweisen.

Die Flansche, die zum Verbinden von Rohren und Formstücken aus thermoplastischen Kunststoffen verwendet werden, unterscheiden sich in den verschiedenen Verbindungssystemen durch die Art der Kontaktfläche, an der die hydraulische Dichtung der Verbindung erfolgt. Insbesondere wird zwischen Losflanschen und Festflanschen unterschieden.

- Losflansche sind Flansche, die nicht starr mit dem Rohr verbunden sind, sondern sich frei um ihre Achse drehen können. Die hydraulische Abdichtung der Verbindung wird durch das Zusammendrücken spezieller Elastomerdichtungen erreicht, die sich zwischen den Kontaktstellen der Vorschweißbunde befinden, den einzigen Elementen des Kupplungssystems, die direkt mit den Rohrleitungen mit festen oder beweglichen Verbindungen verbunden sind.

Die besonderen Vorteile dieses Flanschsystems lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Wegfall des Bohrens und der damit verbundenen Ausrichtungsvorgänge beim Verbinden von Flansch und Rohr;
- Möglichkeit, Rohrleitungsabzweige und Armaturen mit Flanschanschluss mit kompletter 360°-Drehung um die Mittelachse anzuordnen;
- Flansche aus einem anderen Werkstoff als dem der Rohre können verwendet werden;
- Große Auswahl an Vorschweißbunden aus thermoplastischem Material mit verschiedenen Dichtungsflächen (flach, geriffelt oder maschinell für Absperrklappen).
- Festflansche: Hierbei handelt es sich um Flansche, die fest oder lösbar direkt mit der Rohrleitung verbunden sind. Bei unlösbaren Längsverbindungen (Kleben, Muffenschweißen, Stumpfschweißen oder Heizwendelschweißen) bestehen der Flansch und der Vorschweißbund aus demselben Werkstoff wie das Rohr, während bei lösbaren Längsverbindungen (Gummiring, Pressverbindung usw.) Flansche und Vorschweißbunde aus einem anderen Werkstoff als das Rohr verwendet werden können.

Da der Vorschweißbund zur Erhöhung der mechanischen Festigkeit des Flansches beiträgt, eignen sich Festflansche insbesondere für Hochdruckanwendungen und für Verbindungen mit Flachdichtungen aus Elastomeren, bei denen das Anzugsdrehmoment der Schrauben oder Bolzen besonders hoch ist.

Innerhalb dieser Gruppe finden sich Flansche mit Dichtleiste (Raised Face, RF) und glatte Flansche ohne Dichtleiste (Flat Face, FF): Bei RF-Flanschen ist die Fläche über dem Lochkreis, auf der die Dichtung sitzt, als erhöhte Leiste ausgeführt. Die Abdichtung dieser Flanschfläche erfolgt durch Zusammendrücken einer Dichtung zwischen Gegenflanschen im erhabenen Bereich der Flansche.

FF-Flansche sind im Gegensatz zu RF-Flanschen nicht mit einer solchen erhöhten Leiste ausgestattet. Stattdessen ist die gesamte Fläche eben. Das bedeutet, dass die mit dem FF-Flansch verwendete Dichtung vollen Kontakt mit der gesamten Fläche hat, an der zwei Flansche zusammengefügt werden.

Form der Dichtung

Unter Berücksichtigung der Betriebsbedingungen und der Dichtkräfte hängt die Auswahl geeigneter Flanschdichtungen in thermoplastischen Rohrleitungen von folgenden Faktoren ab:

- Form;
- Größe;
- Material;
- Chemische Beständigkeit gegenüber dem Medium.

Ohne spezifische Erfahrungen, die auf relativen Auswahlkriterien beruhen, ist es im Allgemeinen jedoch nicht möglich, im Voraus genau zu bestimmen, welche Art von Dichtungsfläche für eine bestimmte Anwendung benötigt wird.

Bei Losflanschen mit Vorschweißbund werden im Allgemeinen drei verschiedene Kontaktflächen verwendet:

- Glatte Dichtfläche: Glatte Dichtflächen werden in Verbindungen mit Flachdichtungen für den Transport von ungefährlichen Flüssigkeiten bei niedrigem Druck oder in Verbindungen mit O-Ring-Dichtungen verwendet. Festflansche mit glatten Dichtflächen werden häufig für Blindflanschverbindungen in Entlüftungs- und Abflussleitungen verwendet. Darüber hinaus werden sie auch bei Absperrklappen mit Gleitringdichtung oder Klappen mit O-Ring eingesetzt;
- Geriffelte Dichtfläche: Geriffelte Dichtflächen weisen konzentrische Rillen auf, die die Restkompression von Flachdichtungen bei Hochdruckanwendungen erhöhen. Diese Art von Dichtfläche wird häufig für Flanschverbindungen beim Flüssigkeitstransport verwendet, bei denen Flansche aus thermoplastischem Material mit Gegenflanschen aus Metall (Gusseisen, Kohlenstoff- und legierte Stähle) verbunden werden;
- Dichtfläche mit Sitz für Elastomerring: Diese Dichtflächen werden weniger häufig eingesetzt als die vorhergehenden. Sie eignen sich für Flanschverbindungen aus thermoplastischem Material, da nur geringe Anzugsmomente der Schrauben erforderlich sind, um eine perfekte hydraulische Abdichtung der Verbindung zu erzielen.

Dichtungswerkstoffe

Die in Flanschverbindungen verwendeten Dichtungen werden nach dem Werkstoff und der Form eingeteilt, die direkt mit der Art der Dichtfläche des Flansches zusammenhängt.

Beim Transport von aggressiven Industrieflüssigkeiten werden Ethylen- oder fluoridierte Elastomere wie EPDM und FPM aufgrund ihrer hohen chemischen und mechanischen Beständigkeit auch bei hohen Temperaturen in großem Umfang eingesetzt.

Kautschuke wie NBR und PTFE bieten dagegen eine hohe Zuverlässigkeit bei Trinkwasseranwendungen, auch wenn NBR aufgrund seiner geringen chemischen Beständigkeit heute kaum noch verwendet wird.

Die Wahl des Dichtungswerkstoffs hängt von der Art der in der Rohrleitung beförderten Flüssigkeit und von den Betriebsbedingungen ab, denen die Flanschverbindung ausgesetzt ist.

Darüber hinaus bestimmt der Werkstoff einer Dichtung auch das Anzugsmoment der in der Flanschverbindung verwendeten Schrauben oder Bolzen: Es ist zu beachten, dass die Verwendung von Elastomeren mit unterschiedlichen Härte- und Druckverformungswerten verschiedene Anzugsmomente erfordert, um die hydraulische Dichtheit der Verbindung zu gewährleisten.

Da die Kompression der Dichtung von den Eigenschaften des Elastomerwerkstoffs, von der Art der Kontaktfläche des Flansches und vom Betriebsdruck der Rohrleitung abhängt, sollten die den Schrauben zuzuordnenden Anzugskräfte immer überprüft werden, wenn keine Erfahrungswerte vorliegen.

Auswahl der Schrauben/Bolzen

Die für Flanschverbindungen von Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen verwendeten Schrauben oder Bolzen bestehen aus Metallstangen mit Voll- oder Teilgewinde, den so genannten Zugstangen, mit zwei Stopmmuttern, oder aus normalen Schrauben mit Voll- oder Teilgewinde mit einer Klemmmutter.

Art und Abmessungen der Schrauben/Bolzen hängen vom Lochmuster des Flansches und von der gewählten Flanschverbindung ab.

Schrauben/Bolzen aus Kohlenstoff- und niedrig legierten Stählen mit Bruchlasten zwischen 50 und 70 kg/mm² gewährleisten eine ausreichende mechanische Festigkeit der Flanschverbindung, da aufgrund der begrenzten Betriebstemperaturen in thermoplastischen Rohrleitungen davon ausgegangen wird, dass keine Kriechphänomene in Metall auftreten.

Die Verwendung von Schrauben/Bolzen, Muttern und Zugstangen aus rostfreiem Stahl und aus hochbeständigen Kupfer-, Bronze- und Messinglegierungen kommt ausschließlich bei Anwendungen in Betracht, die durch umgebungsbedingte Korrosionserscheinungen gekennzeichnet sind, wie sie z. B. bei unterirdischer Verlegung in aggressiven Böden, durch atmosphärische Verschmutzung und Salzwassereinflüsse auftreten.

In den letztgenannten Fällen kann eine angemessene schützende Oberflächenbehandlung, wie z. B. Verzinkung oder Epoxidanstrich, oftmals ausreichen, um die speziellen Auswirkungen umgebungsbedingter Korrosion auf lange Sicht zu begrenzen.

Für die Auswahl der Werkstoffe wird empfohlen, sich auf die verschiedenen geltenden internationalen Normen zu beziehen, die die Klassifizierung, Prüfung und Verpackung betreffen.

Bei der Wahl des Gewindes ist die Verwendung von Schrauben mit grober Steigung vorzuziehen, da sie im Vergleich zu den entsprechenden Schrauben mit Feingewinde einen besseren Widerstand gegen das Ausreißen des Gewindes gewährleisten.

In Hinsicht auf die Auswahl der Klemmmuttern wird ebenfalls empfohlen, die allgemeinen Spezifikationen für die Auswahl der Schrauben/Bolzen und Zugstangen zu verwenden.

Genormte Flansche

Um die Austauschbarkeit von Ausrüstung und Leitungszubehör mit Flanschen zu erleichtern und Berechnungen zur Dimensionierung in der Planungsphase zu vermeiden, werden alle Flansche, die derzeit für den Bau von thermoplastischen Rohrleitungen verwendet werden, in Übereinstimmung mit spezifischen internationalen Normen hergestellt.

Die internationalen Vereinheitlichungsnormen für die Konstruktion von Flanschen für thermoplastische Rohrleitungen orientieren sich an den entsprechenden Normen für Metallrohre und legen die Abmessungen der Verbindungselemente eines Flansches fest. Im Speziellen:

- Den Lochabstand (oder Durchmesser des Lochkreises);
- Anzahl und Durchmesser der Schrauben und Schraubenlöcher;
- Außendurchmesser und Dicke des Flansches.

Die als Lochmuster bezeichneten Abmessungen der Verbindungselemente sind entsprechend dem Nenndruck PN des Flansches und einem konventionellen Verbindungsdurchmesser, kurz Nenndurchmesser DN genannt, vereinheitlicht.

Zur Überprüfung der Kompatibilität zwischen den verschiedenen Lochmustern, die in den Vereinheitlichungsnormen vorgeschrieben sind, empfiehlt es sich, die folgende Tabelle zu Rate zu ziehen, in der die Hauptabmessungen der Flanschverbindungen nach DIN 2501 mit Bohrungen PN10/16 bis DN 150 und PN10 ab DN200 angegeben sind.

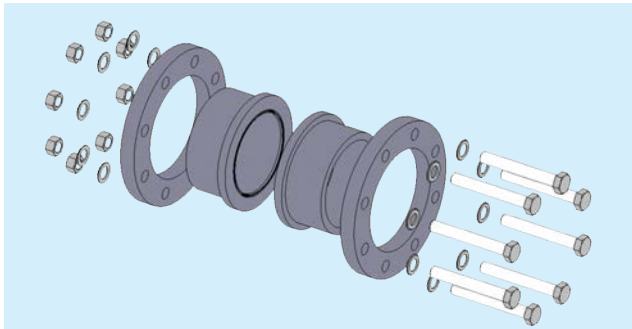
Stützringabmessungen nach DIN 2501, mit Bohrung PN10/16 bis DN150 und PN10 ab DN200

De (mm)	DN	Teilkreisdurchmesser (mm)	Lochdurchmesser (mm)	Anzahl der Schrauben
20	15	65	14	4
25	20	75	14	4
32	25	85	14	4
50	32	100	18	4
50	40	110	18	4
63	50	125	18	4
75	65	145	18	4
90	80	160	18	8
110	100	180	18	8
125	125	210	18	8
140	125	210	18	8
160	150	240	22	8
200	200	295	22	8
225	200	295	22	8
250	250	350	22	12
280	250	350	22	12
315	300	400	22	12
355	350	460	22	16
400	400	515	25	16

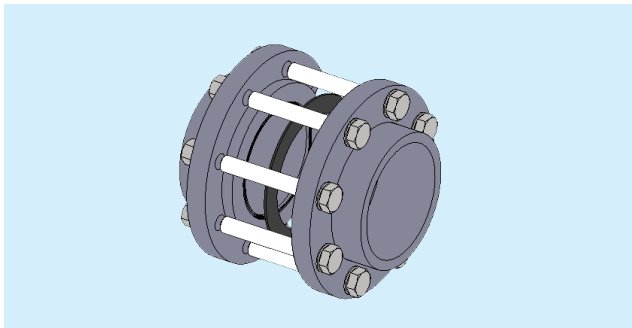
Für weitere Informationen über unser komplettes Lieferprogramm an Flanschen und die verschiedenen Bohrstandards und Größen siehe unsere Aliaxis-Produktkatalog oder Homepage.

Installationsanleitung

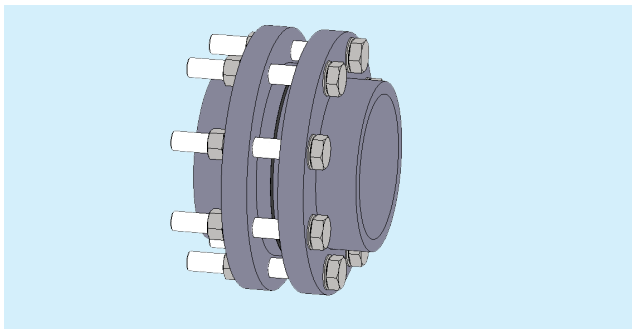
Um die korrekte Montage der Flanschelemente zu gewährleisten, empfehlen wir, wie folgt vorzugehen:



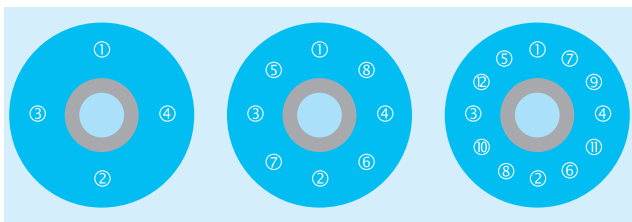
- 1) Setzen Sie den geeigneten Stützring auf das Rohr, bevor Sie mit der Installation des Vorschweißbundes fortfahren.
- 2) Bei einem Festflansch ist zu prüfen, ob die Bohrungen korrekt auf den Gegenflansch ausgerichtet sind.
- 3) Überprüfen Sie, ob die Position des Gegenflansches die Gesamtabmessungen des Abstands der Bauteile zueinander berücksichtigt.



- 4) Setzen Sie die Flachdichtung zwischen die Vorschweißbunde ein (dieser Schritt ist bei FIP- und Astore-Absperrklappen nicht erforderlich) und stellen Sie sicher, dass die Dichtflächen der Flansche nicht zu weit voneinander entfernt sind.



- 5) Führen Sie das Kleben oder, bei Stützringen, das Schweißen der Festflansche oder des Bundstützens gemäß den Anweisungen für das Schweißen oder Kleben durch.
- 6) Setzen Sie alle Schrauben, Unterlegscheiben und Muttern ein.



- 7) Ziehen Sie nach Ablauf der Abkühlzeit die Schrauben „über Kreuz“ an, wie in der Abbildung für Flansche mit 4, 8 oder 12 Schrauben dargestellt.
- 8) Ziehen Sie die Schrauben mit einem Drehmomentschlüssel an, bis das richtige Anzugsdrehmoment erreicht ist.

In der folgenden Tabelle sind die Werte für das Anzugsdrehmoment der Muttern und Schrauben für Flansche aus PVC-C und PVC-U mit Dichtungen aus EPDM/FPM/NBR angegeben.

Anzugsdrehmoment für Stützringe aus PVC-C und PVC-U

De (mm)	DN	Drehmomentwert (Nm)
20	15	9
25	20	9
32	25	9
40	32	9
50	40	9
63	50	12
75	65	15
90	80	18
110	100	20
125	125	35
140	125	55
160	150	40
200	200	55
225	200	55
250	250	70
280	250	70
315	300	70
355	350	75
400	400	75

Die Drehmomenttoleranz beträgt +/-10 %.

In dieser Tabelle sind die Anzugsmomente für Flanschschrauben in Rohrleitungssystemen aus ABS aufgeführt.

Anzugsdrehmoment für Stützringe aus ABS

De (mm)	DN	Drehmomentwert (Nm)
16	10	15
20	15	15
25	20	15
32	25	15
40	32	20
50	40	30
63	50	35
75	65	40
90	80	40
110	100	40
140	125	50
160	150	60
225	200	70
250	250	80
315	300	100

Die Drehmomenttoleranz beträgt +/-10 %.

In den folgenden Tabellen sind die Werte für das Anzugsdrehmoment für Flansche aus PP mit Edelstahlkern angegeben.

Anzugsdrehmoment für Stützringe und Blindflansche aus PP-St

De (mm)	DN	Drehmomentwert für Stützringe (Nm)	Drehmomentwert für Blindflansche (Nm)
20	15	15	15
25	20	15	15
32	25	15	15
40	32	20	25
50	40	30	35
63	50	35	35
75	65	40	40
90	80	40	40
110	100	40	45
125	100	40	45
140	125	50	50
160	150	60	60
180	150	60	60
200	200	70	70
225	200	70	70
250	250	80	100
280	250	80	100
315	300	100	110
355	350	120	160
400	400	140	170

In der folgenden Tabelle sind die minimalen Schraubenlängen für Flanschverbindungen von FIP-Absperrklappen angegeben.

Mindestlänge der Schrauben für Flanschverbindungen von FIP-Absperrklappen

De (mm)	DN	L _{min} (mm)
50	40	M 16 x 150
63	50	M 16 x 150
75	65	M 16 x 170
90	80	M 16 x 180
110	100	M 16 x 180
125/140	125	M 16x210
160/180	150	M 20x240
200/225	200	M 20x260
250/280	250	M 20x310
315	300	M 20x340
355	350	M 20x360
400	400	M 24x420

In der folgenden Tabelle sind die Mindestlängen der Schrauben für Flanschverbindungen von Rohren angegeben.

Minimale Schraubenlänge für Flanschverbindungen von Rohren.

De (mm)	DN	L _{min} (mm)
20	15	M 12x70
25	20	M 12x70
32	25	M 12x70
40	32	M 16x85
50	40	M 16x85
63	50	M 16x95
75	65	M 16x95
90	80	M 16x105
110	100	M 16x105
125	125	M 16x115
140	125	M 16x120
160	150	M 20x135
200	200	M 20x140
225	200	M 20x140
250	250	M 20x150
280	250	M 20x160
315	300	M 20x180
355	350	M 20x180
400	400	M 24x180

Bitte beachten Sie:

- Die Verwendung von Flanschen aus beschichtetem Metall oder Glasfasermaterial kann höhere Anzugsmomente ermöglichen, sofern diese die elastoplastische Grenze des Materials nicht überschreiten;
- Die Verwendung anderer Elastomer-Dichtungswerkstoffe als die in der vorstehenden Tabelle aufgeführten kann geringfügig höhere Anzugsmomente erfordern;
- Aliaxis empfiehlt, bei jeder Schraube im Verbindungsflansch immer Unterlegscheiben in geeigneter Größe zu verwenden.



WARNUNG

Bei unseren Absperrklappen erstreckt sich der Ringbalg (Sitz) auf beide Seiten der Klappe. Dementsprechend sind keine Dichtungen erforderlich, da der Sitz die Funktion der Dichtungen übernimmt. Außerdem kann die Verwendung von Flachdichtungen in Absperrklappen zu Dichtheitsproblemen führen, weil Gummi auf Gummi trifft.

Vorteile und Anwendungsbereiche

Flanschverbindungen werden in Brandschutzrohrleitungen oder in Gas-, Wasser- und industriellen Prozesssystemen eingesetzt. Sie werden verwendet, weil sie eine lecksichere Trennstelle bieten und das Einsetzen von Mess- und Regeleinrichtungen in Rohrleitungen ermöglichen. Sie sind leicht demontierbar, kostengünstig und bieten, wie bereits beschrieben, die Möglichkeit, zwei Rohre unterschiedlicher Größe miteinander zu verbinden.

3.1.7 Gewindeverbindungen

Definitionsgemäß ist die Gewindeverbindung ein Längsverbindingssystem, das die Verbindung von zwei komplementären Elementen (mit Außen- und Innengewinde) durch eine schraubenförmige Bewegung derselben ermöglicht.

Das Verbinden von Rohren und Formstücken aus thermoplastischen Kunststoffen mit Hilfe von Gewindeverbindungen ist im Bauwesen und in der Industrie weit verbreitet, wenn nicht-homogene Ausrüstungen und Zubehörteile miteinander verbunden werden sollen.

Die Anwendung bei homogenen Rohrleitungen aus Thermoplasten wird dann bevorzugt, wenn das Rohrleitungsnetz für gelegentliche Reinigungs- oder Änderungsarbeiten demontiert werden muss.

Da das Gewinde die effektive Wanddicke reduziert, zeichnen sich Rohre mit Gewinde durch eine geringere mechanische Festigkeit aus als Rohre ohne Gewinde und solche, die durch thermisches Schweißen oder Lösungsmittel miteinander verbunden werden können.

Da das Gewinde eine besondere Steifigkeit des Materials erfordert, wird es nur für bestimmte thermoplastische Harze empfohlen: Es wird beispielsweise häufig bei homogenen Rohren aus Hart-PVC verwendet, da es unbestreitbare Installationsvorteile bietet, wie etwa die Möglichkeit einer sofortigen Inbetriebnahme, das schnelle Trennen von Verbindungen und eine große Auswahl an Zubehör und Formstücken für die Konstruktion auch komplexer Leitungen.

Gewinde werden auch bei PVC-C und ABS verwendet, während sie für PP- und PE-Rohre nicht empfohlen werden, es sei denn, der Mischung werden geeignete Füllstoffe wie Glasfasern zugesetzt, die die Steifigkeit und mechanische Festigkeit erhöhen.

Bei der Herstellung von Rohren und Formstücken aus Hart-PVC werden BSP-Gewinde (Rohrgewinde nach britischer Norm, British Standard Pipe) oder NPT-Gewinde (US-amerikanische Gewindenorm für selbstdichtende Rohrverschraubungen, National Pipe Thread) verwendet.

Ihre Hauptmerkmale sind:

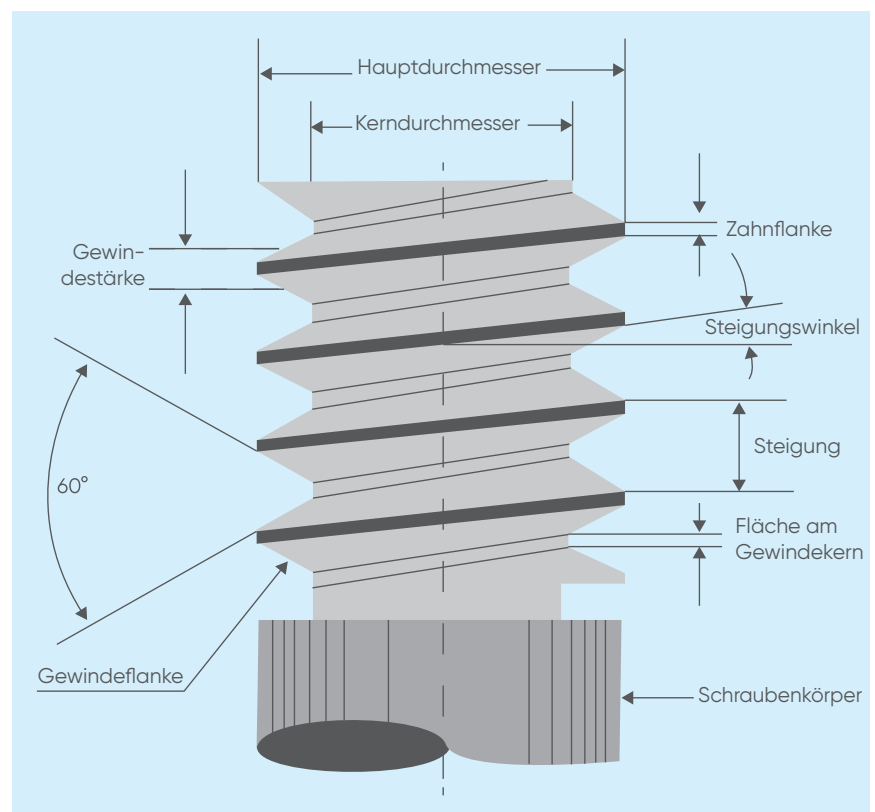
1) BSP-Gewinde: Diese Gewindeart hat sich international für die Verbindung und Abdichtung von Rohren und Formstücken durch Zusammenfügen eines Außengewindes mit einem Innengewinde durchgesetzt. Sie gilt als Standard in der Sanitärtechnik und bei Rohrverschraubungen, außer in Nordamerika, wo NPT und ähnliche Gewinde verwendet werden.

Es werden zwei Arten von Gewinden unterschieden:

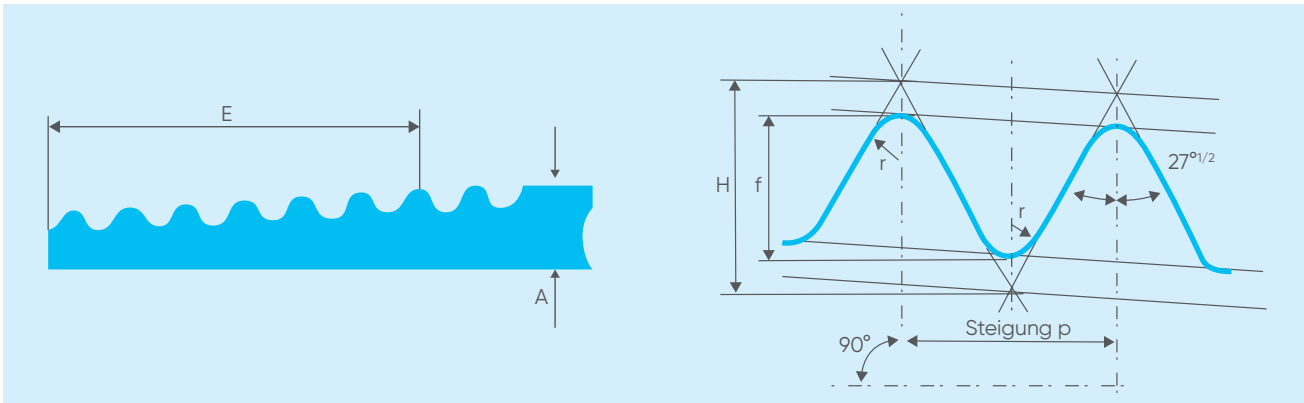
- BSPP-Gewinde (British Standard Pipe Parallel): Diese Gewinde weisen einen konstanten Durchmesser auf und sind mit dem Buchstaben G gekennzeichnet. Innen- und Außengewinde sind parallel. BSPP-Gewinde werden dort verwendet, wo mittels Anziehen einer Überwurfmutter eine druckdichte Verbindung durch Komprimierung eines weichen Materials (z. B. einer O-Ring-Dichtung oder einer Unterlegscheibe) zwischen der Endfläche des Außengewindes und einer Muffenfläche geschaffen werden soll;
- BSPT-Gewinde (British Standard Pipe Taper): Der Durchmesser dieses durch den Buchstaben R gekennzeichneten Gewindes nimmt über die Länge des Gewindes zu oder ab. BSPT-Gewinde werden dort verwendet, wo die Druckdichtigkeit durch das Ineinandergreifen zweier Gewinde hergestellt wird. Nach internationalen Normen müssen alle Innengewinde parallel und Außengewinde konisch sein.

Bevor wir uns die BSPP-Gewinde im Detail ansehen und sie mit einem NPT-Gewinde vergleichen, ist es sinnvoll, die wesentlichen Elemente eines Gewindes zu definieren:

- Hauptdurchmesser: Außendurchmesser;
- Kerndurchmesser: Innendurchmesser;
- Zahnflanke: hervorstehender Teil eines Gewindes;
- Gewindestärke: Abstand zwischen den benachbarten Seiten des Gewindes, gemessen entlang oder parallel zur Flankendurchmesserlinie;
- Steigungswinkel: Winkel zwischen einer Schraublinie und einer axialen Linie auf ihrer rechten Seite;
- Steigung: Abstand zwischen nebeneinander liegenden Gewindegängen;
- Form: das Profil oder die Form eines Gewindes;
- Fläche am Gewindekern: Boden der Nut zwischen zwei Flankenflächen;
- Gewindeflanke: Gerade Seiten, die die Zahnflanke und die Fläche am Gewindekern verbinden.



Die beiden folgenden Abbildungen zeigen ein BSPP-Gewinde.



In der Norm ISO 228-1 sind die Maße, Toleranzen und Bezeichnungen von Rohrgewinden für nicht im Gewinde dichtende Verbindungen angegeben. Sie sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

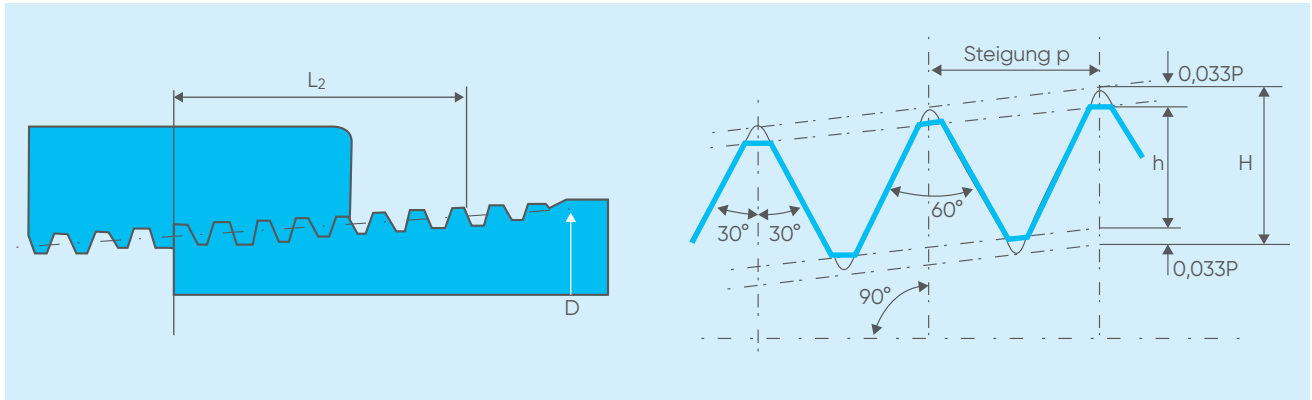
DN (in)	Anzahl der Gewindegänge in 25,4 mm	Steigung (mm)	Gewindehöhe (mm)	Effektive Gewindelänge (mm)
	n	p	h	E
¼ Zoll	19	1,337	0,856	9,688
3/8 Zoll	19	1,337	0,856	10,025
½ Zoll	14	1,814	1,162	13,152
¾ Zoll	14	1,814	1,162	14,514
1 Zoll	11	2,309	1,479	16,714
1 ¼ Zoll	11	2,309	1,479	19,050
1 ½ Zoll	11	2,309	1,479	19,050
2	11	2,309	1,479	23,378
2 ½ Zoll	11	2,309	1,479	26,698
3	11	2,309	1,479	29,873
4	11	2,309	1,479	35,791

In der Norm ISO 7-1 sind die Maße, Toleranzen und Bezeichnungen von Rohrgewinden für im Gewinde dichtende Verbindungen angegeben. Sie sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

DN (in)	Anzahl der Gewindegänge in 25,4 mm	Steigung (mm)	Gewindehöhe (mm)	Effektive Gewindelänge (mm)
	n	p	h	E
¼ Zoll	19	1,337	0,856	9,7
3/8 Zoll	19	1,337	0,856	10,1
½ Zoll	14	1,814	1,162	13,2
¾ Zoll	14	1,814	1,162	14,5
1 Zoll	11	2,309	1,479	16,8
1 ¼ Zoll	11	2,309	1,479	19,1
1 ½ Zoll	11	2,309	1,479	19,1
2	11	2,309	1,479	23,4
2 ½ Zoll	11	2,309	1,479	26,7
3	11	2,309	1,479	29,8
4	11	2,309	1,4789	35,8

2) NPT-Gewinde: Dieses Gewinde entspricht den amerikanischen nationalen technischen Normen für Schraubgewinde und wird insbesondere beim Bau von Rohrleitungen für den Transport von unter Druck stehenden Flüssigkeiten in der chemischen und petrochemischen Industrie verwendet.

In den beiden folgenden Abbildungen ist ein zylindrisches NPT-Gewinde dargestellt.



NPT-Gewinde sind für die Wasserdichtigkeit des Gewindes definiert und werden für konische Schraub- und Muffenverbindungen verwendet, deren Abmessungen und Eigenschaften in den Normen ANSI B1.20.1 und nachfolgenden Ergänzungen dargestellt sind.

Die wichtigsten Maße sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

DN (in)	Anzahl der Gewindegänge in 25,4 mm	Steigung (mm)	Gewindehöhe (mm)	Effektive Gewindelänge (mm)
	n	p	h	E
¼ Zoll	18	1,4112	1,1288	10,2057
3/8 Zoll	18	1,4112	1,1288	10,3581
½ Zoll	14	1,8143	1,4514	13,556
¾ Zoll	14	1,8143	1,4514	13,8608
1 Zoll	11,5	2,2088	1,7671	17,3431
1 ¼ Zoll	11,5	2,2088	1,7671	17,9527
1 ½ Zoll	11,5	2,2088	1,7671	18,3769
2	11,5	2,2088	1,7671	19,2151
2 ½ Zoll	8	3,175	2,54	28,8925
3	8	3,175	2,54	30,48
4	8	3,175	2,54	33,02

Installationsanleitung

Um die hydraulische Abdichtung der Verbindung an Formstücken und Armaturen mit Innengewinde zu gewährleisten, empfiehlt Aliaxis, wie folgt vorzugehen:



1) Wickeln Sie PTFE-Dichtband um das Außengewinde und achten Sie dabei darauf, dass die Öffnung im Rohr, Formstück oder Armatur nicht beeinträchtigt wird.



2) Wickeln Sie die erste Lage Dichtband im Uhrzeigersinn um das Gewinde, bis Sie den Fuß des Gewindes erreichen. Achten Sie darauf, dass das Dichtband während des gesamten Vorgangs straff gehalten wird.



3) Drücken Sie auf die Gewindespitzen, um sicherzustellen, dass das Dichtband die Gewindegänge vollständig ausfüllt.

4) Erhöhen Sie die Dicke der PTFE-Schicht, indem Sie das Band weiterhin stramm im Uhrzeigersinn wickeln, bis die optimale Stärke erreicht ist.

6) Achten Sie darauf, dass sich das PTFE-Band beim Verschrauben nicht löst, da dies die hydraulische Abdichtung der Verbindung beeinträchtigen würde.

7) Verschrauben Sie nun die beiden Rohrenden unter Ausnutzung der gesamten Gewindelänge mit Hilfe eines Bandschlüssels oder ähnlichen Werkzeugs.

8) Ziehen Sie die Verschraubung nicht zu fest an, da dies die Gewinde beschädigen oder zu Spannungen in den Elementen selbst führen könnte.

Für eine korrekte Installation empfiehlt Aliaxis, nur Dichtband aus nicht gesintertem PTFE zu verwenden.

Verzichten Sie unter allen Umständen auf die Verwendung von Materialien wie Hanf, Fasern oder Lacken, die normalerweise für das hydraulische Abdichten von Metallgewinden verwendet werden.



WARNHINWEISE

Sehen Sie in den folgenden Fällen von Schraubverbindungen ab:

- Hochkritische Anwendungen, wie z. B. die Förderung chemisch aggressiver oder giftiger Flüssigkeiten;
- Anwendungen mit mittleren oder hohen Drücken: In diesem Fall empfiehlt Aliaxis die Verwendung von Klebeverbindungen, Heißschweißverbindungen oder Flanschverbindungen;
- Systeme, die mechanischen und/oder thermischen Belastungen wie Wasserschlägen, starken Temperaturschwankungen, Biegungen, Fluchtungsfehlern und Querspannungen ausgesetzt sind, die zum vorzeitigen Bruch der Gewindeverbindung führen können;
- Verbindung von Elementen mit zu großem Abstand voneinander.

Vorteile und Anwendungsbereiche

Gewindeverbindungen werden in Wasser- und Gasleitungen verwendet. Sie bieten eine hohe Tragfähigkeit und Zuverlässigkeit. Die Inspektion, Reparatur und der Austausch von Gewindeverbindungen sind preisgünstig und einfach, weil sie bei Bedarf demontiert werden können.

3.1.8 Mechanisches Verbinden von Rohrleitungen mit Straub-Kupplung

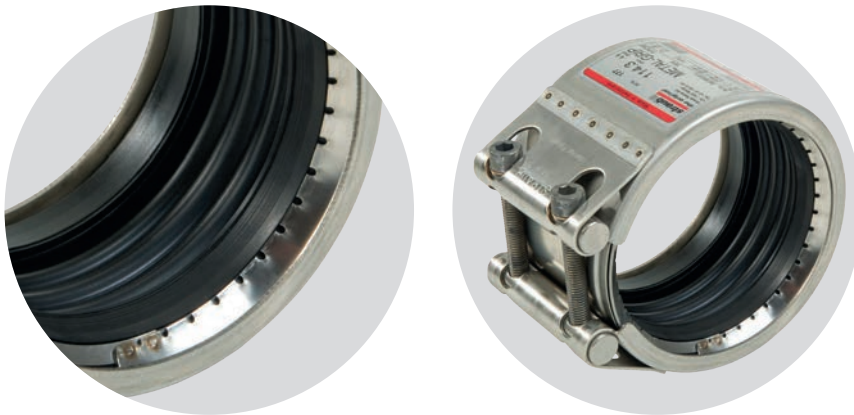
Es gibt zahlreiche Möglichkeiten, Rohre miteinander zu verbinden. Die meisten erfordern viele Spezialkenntnisse in Kombination mit einer umfangreichen Lagerhaltung. Um diesen Aufwand zu minimieren, wurden vor mehr als 50 Jahren die Straub-Kupplungen erfunden.

Die Grundidee der Straub-Rohrverbindung besteht darin, glatte Rohrenden miteinander zu verbinden, ohne dass eine Bearbeitung der Rohrenden oder der Kupplung erforderlich ist.

Das schnelle, einfache und zuverlässige Verbinden von Rohrleitungen mit einer Straub-Kupplung hat den Einsatz von Schweiß- oder Flanschverbindungen weitgehend ersetzt. Die Original STRAUB-Kupplung gilt dank ihres ausgeklügelten Konzepts als eine der bahnbrechenden Innovationen auf dem Weltmarkt der Rohrverbindungstechnik.

Im STRAUB-Sortiment wird zwischen zwei Systemen unterschieden: Zwischen den zugfesten GRIP-Rohrkupplungen und den nicht zugfesten FLEX-Rohrkupplungen.

Das dynamische STRAUB-GRIP-System ist in der Lage, die durch den Innendruck entstehenden Axialkräfte aufzunehmen, indem spezielle Verankerungsringe in das jeweilige Rohrmaterial eingreifen und eine mechanische Verbindung herstellen. Nimmt die axiale Zugbelastung des Rohres durch den steigenden Innendruck zu, greift der Verankerungsring tiefer in die Rohroberfläche ein.

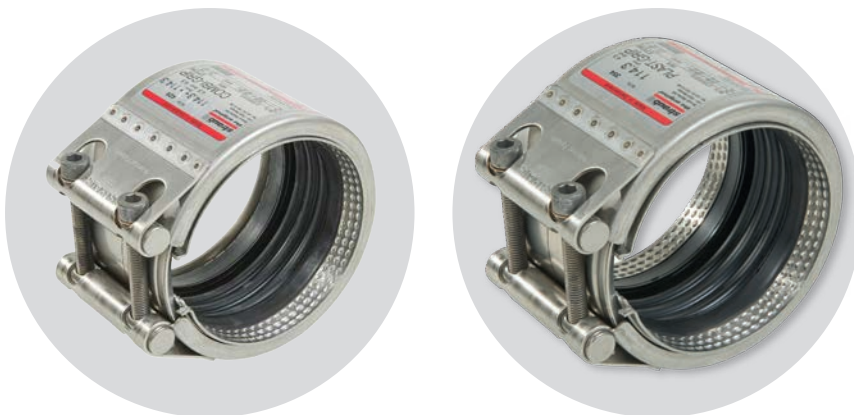


Während die Standardanwendung für STRAUB-GRIP-Kupplungen darin besteht, Metallrohre nahezu aller Art zu verbinden, gibt es zwei verschiedene Lösungen für den Einsatz mit Kunststoffrohren: STRAUB-COMBI-GRIP für den Übergang von Metall- zu Kunststoffrohren und STRAUB-PLAST-GRIP zum Verbinden von Kunststoffrohren.

Das Montieren und Verbinden von Kunststoffrohren stellt Bauunternehmen vor neue Herausforderungen. Viele Verbindungsarten sind witterungs- oder temperaturabhängig oder erfordern für die Installation elektrische Geräte und Spezialwerkzeuge oder besondere Kenntnisse und Zulassungen. Mit STRAUB-PLAST-GRIP lassen sich Rohre aus allen Kunststoffarten einfach verbinden. Insbesondere können auch verschiedene Kunststoffe miteinander verbunden werden.

Bei Anpassungen oder Änderungen bereits installierter Systeme kann die Rohrverbindung leicht gelöst und wiederverwendet werden. So entsteht ein positives Kosten-Nutzen-Verhältnis.

STRAUB-COMBI-GRIP und STRAUB-PLAST-GRIP sind zugfeste Rohrkupplungen, die jederzeit und überall eingesetzt werden können. Beide Kupplungen sind in Durchmessern von 38 mm bis 355 mm erhältlich und können in Temperaturbereichen von -20 °C bis $+100\text{ °C}$ mit EPDM-Dichtung und von -20 °C bis $+80\text{ °C}$ mit NBR-Dichtung genutzt werden.



Eine weitere Variante der zugfesten Rohrkupplungen trägt die Bezeichnung STRAUB-PLAST-PRO. Sie wird hauptsächlich für den Einbau von Druckrohren aus Polyethylen (PE) verwendet. STRAUB-PLAST-PRO bietet eine Alternative zu herkömmlichen PE-Verbindemethoden, die in der Wasser- und Abwasserwirtschaft, in Industrieanlagen und bei Wartungsarbeiten eingesetzt werden. Die komplette Produktpalette ist für PE-Rohre in der Größe SDR 11 (63,0 – 180,0 mm; PN 16) und SDR 17 (125,0 – 355,0 mm; PN 10) erhältlich.

Das gesamte Produktspektrum bietet den großen Vorteil, dass die Rohre selbst bei anspruchsvollen Witterungsbedingungen im Freien ohne externe Stromversorgung und ohne Vorbereitung der Rohrenden einfach miteinander verbunden werden können.

Die Rohre aus PE 80 oder PE 100 werden mit einer Kombination aus Linereinsätzen und Außenschalen verbunden. Dank dieses Verbindungskonzepts lässt sich das Produkt einfach und in kürzester Zeit montieren.

PE-Rohre mit zusätzlichen Schutzschichten sind in verschiedenen Ausführungen erhältlich, wie z. B. PE-Rohre mit einer diffusionsdichten Sperrschicht aus Aluminiumfolie, die meist unterirdisch in kontaminierten Böden verlegt werden. Dadurch wird verhindert, dass Schadstoffe in das Rohr eindringen und das Medium in den Erdboden gelangt.

STRAUB-PLAST-PRO verbindet auch Sperrschichtrohre einfach und sicher, ohne dass eine Vorbereitung der Rohrenden erforderlich ist. Vor dem Zusammenbau sollte der Außendurchmesser des Rohrs bestätigt und überprüft werden, ob er in den Arbeitsbereich der einzelnen Schalen passt. Der Temperaturarbeitsbereich umfasst -5 °C bis $+40\text{ °C}$.

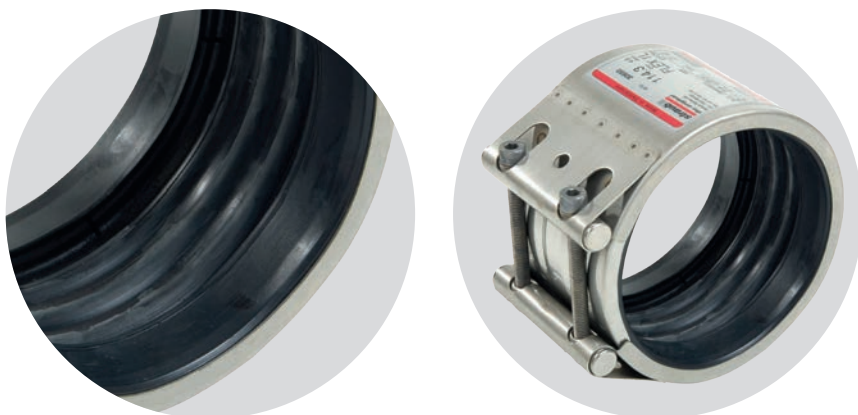
STRAUB-PLAST-PRO wurde erfolgreich nach der britischen Norm WIS 4-24-01 getestet und erfüllt die Anforderungen der europäischen Norm EN 1254-3.



STRAUB-FLEX Rohrkupplungen ermöglichen Rohrverbindungen für praktisch alle denkbaren Rohrdurchmesser, für gleiche oder unterschiedliche Rohrmaterialien, verschiedene Medien und Temperaturen sowie für einen weiten Betriebsdruckbereich.

Da STRAUB-FLEX Rohrkupplungen keine axialen Kräfte aufnehmen können, müssen die Rohre durch geeignete bauseitige Maßnahmen wie Zugstangen, Fest- und Gleitpunkte, Betonwiderlager etc. axial gesichert werden. Die Dichtmanschette trennt das Kupplungsgehäuse von der Rohroberfläche, so dass Schall, Vibrationen und Schwingungen optimal gedämpft werden.

STRAUB-FLEX Kupplungen sind in Durchmessern von 48,3 mm bis 4064 mm erhältlich und können bei Temperaturen von -20 °C bis $+180\text{ °C}$ eingesetzt werden. Die Dichtmanschetten dieser Kupplungen bestehen aus EPDM, NBR oder FKM.



Bei STRAUB-OPEN-FLEX hingegen handelt es sich um Rohrkupplungen, die die gleichen Eigenschaften wie STRAUB-FLEX-Kupplungen aufweisen, ihre Einsatzmöglichkeiten aber noch erweitern. Die Gehäuse der Produktserie STRAUB-OPEN-FLEX sind mit Scharnieren oder als 2- oder 3-teilige Ausführung erhältlich. Dadurch können STRAUB-OPEN-FLEX Kupplungen zum Verbinden von Rohren oder zur Reparatur eingesetzt werden, ohne dass vorhandene Rohre entfernt werden müssen.

STRAUB-OPEN-FLEX Kupplungen sind in Durchmesserbereichen von 48,3 mm bis 4064 mm erhältlich und können bei Temperaturen von -20 °C bis $+180\text{ °C}$ eingesetzt werden. Die Dichtmanschetten dieser Kupplungen bestehen aus EPDM, NBR oder FKM.



In einigen Situationen müssen Rohre mit unterschiedlichen Außendurchmessern miteinander verbunden werden. Unsere Lösung für dieses Szenario trägt die Bezeichnung STRAUB-STEP-FLEX.

Die möglichen Durchmesserunterschiede der zu verbindenden Rohre können 10 mm bis max. 30 mm betragen. Größere Durchmesserunterschiede lassen sich durch die Integration eines Reduzierstücks mit zwei Muffen realisieren. Kleinere Durchmesserunterschiede (5 mm - 9 mm) können auf Anfrage mit STRAUB-FLEX 2 / 3 überbrückt werden.

Unter Druck werden STRAUB-STEP-FLEX Rohrkupplungen aufgrund der Durchmesserunterschiede durch innere Kräfte immer in Richtung des kleineren Rohrdurchmessers gedrückt und müssen daher durch geeignete Maßnahmen gegen Verrutschen gesichert werden.

Druckringe sind auf Anfrage erhältlich. Rückhaltevorrichtungen sind für drucklose Anwendungen nicht erforderlich.

STRAUB-STEP-FLEX Kupplungen sind in Außendurchmessern von 219,1 mm bis 2032 mm erhältlich und können bei Temperaturen von -20 °C bis $+100\text{ °C}$ eingesetzt werden. Die Dichtmanschetten dieser Kupplungen bestehen aus EPDM. Die Durchmesserunterschiede zwischen den zu verbindenden Rohren können bis zu 30 mm betragen.



Bandeinlagen

Das sichere Verbinden mit STRAUB-Kupplungen wird durch die einzigartigen und fortschrittlichen Merkmale des Zubehörs gewährleistet. Bandeinlagen dienen dazu, die Dichtmanschette vor mechanischen oder chemischen Beschädigungen im Rohrbereich zu schützen. Bandeinlagen werden in den folgenden Fällen benötigt:

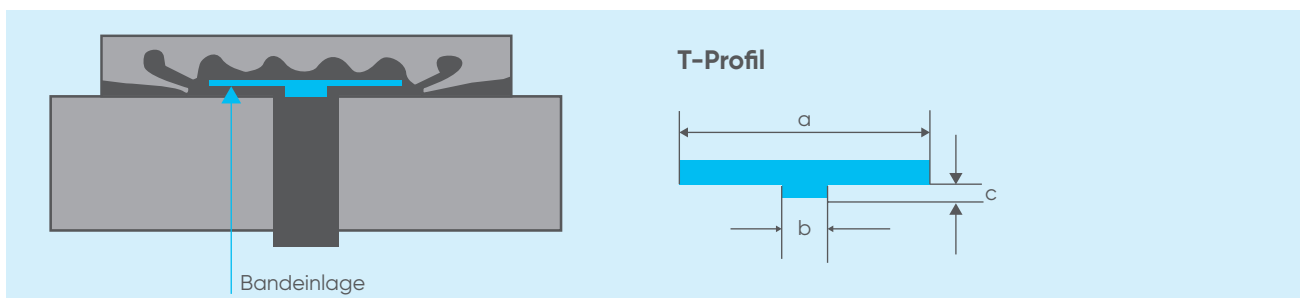
- Übermäßiger Abstand zwischen den Rohrenden;
- Axiale Bewegung (Dehnung, Schrumpfung);
- Winkelablenkung und axialer Versatz;
- Vakuum (z. B. Saugleitung);
- Druckeinwirkungen von außen (z. B. Unterwasserleitung);
- Hohe Temperatur;
- Kraftstoff und brennbare Stoffe;
- Anschwellen des Kautschuks durch Kontakt mit Chemikalien.

Die Materialauswahl wird durch das Medium und die Temperatur bestimmt. Bei Umgebungstemperaturen mit Salzwasser und Chemikalien werden Bandeinlagen aus Kunststoff verwendet. Für höhere Temperaturen, Vakuum und Druckeinwirkungen von außen werden Bandeinlagen aus Edelstahl benötigt. Auch Kombinationen aus Kunststoff und Edelstahl sind möglich. Bandeinlagen mit T-Profil gewährleisten die Einbaulage bei starken und dynamischen Belastungen.

Bandeinlagen aus PVDF können bei Temperaturen von -30 °C bis 115 °C eingesetzt werden, während Bandeinlagen aus HDPE für Temperaturen von -50 °C bis 70 °C geeignet sind.

Die folgenden Tabellen können bei der Auswahl der entsprechenden Bänderinlage je nach Kupplung hilfreich sein.

STRAUB Rohrkupplung	Edelstahl		Kunststoff		Kunststoff-T-Profil *	
	AISI 316 L oder gleichwertig	AISI 301	PVDF	HDPE	PVDF	HDPE
STRAUB-METAL-GRIP			x			
STRAUB-GRIP 25,0-168,3 mm	x		x	x		
STRAUB-GRIP 180,0-711,2 mm	x					
STRAUB-ECO-GRIP	x					
STRAUB-PLAST / COMBI-GRIP	x		x			
STRAUB-FLEX / OPEN-FLEX 1	x		x		x (ab 76,1 mm)*	
STRAUB-FLEX / OPEN-FLEX 2	x			x		x *
STRAUB-FLEX / OPEN-FLEX 3	x			x		x *
STRAUB-FLEX / OPEN-FLEX 3,5		x		x		
STRAUB-FLEX / OPEN-FLEX 4		x		x		



* Die Eigenschaften des Kunststoff-T-Profiles für OPEN-FLEX 1, OPEN-FLEX 2, OPEN-FLEX 3 sind in der nächsten Tabelle aufgeführt.

Kunststoff-T-Profil	De	Bandbreite a (mm)	Nockenbreite b (mm)	Nockenhöhe c (mm)
STRAUB-FLEX / OPEN-FLEX 1	76,1 - 118,0 mm 127,0 - 168,3 mm	45 55	5 5	3,5 3,5
STRAUB-FLEX / OPEN-FLEX 2	alle De	75	7,5	6
STRAUB-FLEX / OPEN-FLEX 3	alle De	118	10	6

Stützringe

Thermoplastische Rohre können sich unter dem Einfluss von Druck und Wärme verformen. Durch die Verwendung von STRAUB-Stützringen wird eine Verengung der Kunststoffrohrenden verhindert. STRAUB-Stützringe bestehen aus Edelstahl DIN 14301/AISI 304 und sind in geschlitzter (De 40 - 315 mm) und geschweißter Ausführung (De 355 - 1600 mm) erhältlich. Ggf. ist eine der folgenden Angaben erforderlich:

- Innendurchmesser;
- SDR-Nummer;
- Wanddicke des Kunststoffrohrs

Wenn die Rohre bereits eine Verengung durch lange Lagerung aufweisen, empfehlen wir, diese verengten Abschnitte vor Montage der STRAUB-Stützringe abzuschneiden. Geschlitzte Stützringe müssen in Pfeilrichtung eingepasst und bündig mit dem Rohrende montiert werden.

Hinweis: Für Kunststoffrohre aus PVC, ABS und PVC-C sowie bei Glasfaserrohren sind bei Medientemperaturen unter 40 °C keine Stützringe erforderlich.



Die nachstehende Tabelle, die nur für Rohre aus weichen Thermoplasten wie z. B. PP, PE usw. gilt, kann bei der Auswahl des Stützrings für STRAUB-PLAST-GRIP-Kupplungen hilfreich sein.

SDR	41	33/32,25	26	17,6	17	11	7,4/7,25
Serie-Nr.	S 20	S 16/S 15.625	S 12.5	S 8.3	S 8	S 5	S 3.2/S 3.125
Norm	DIN 8074	DIN 8074	DIN 8074	DIN 8074	DIN 8074	DIN 8074	DIN 8074
Rohr De	Rohr Di	Rohr Di	Rohr Di	Rohr Di	Rohr Di	Rohr Di	Rohr Di
De (mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
40	-	-	36,4	35,4	35,2	32,6	29
50	-	46,4	46,0	44,2	44,0	40,8	36,2
63	59,4	59,0	58,0	55,8	55,4	51,4	45,8
75	71,2	70,4	69,2	66,4	66,0	61,4	54,4
90	85,6	84,4	83,0	79,8	79,2	73,6	65,4
110	104,6	103,2	101,6	97,4	96,8	90,0	79,8
125	118,8	117,2	115,4	110,8	110,2	102,2	90,8
140	133,0	131,4	129,2	124,0	123,4	114,6	101,6
160	152,0	150,2	147,6	141,8	141,0	130,8	116,2
180	171,2	169,0	166,2	159,6	158,6	147,2	130,8
200	190,2	187,6	184,6	177,2	176,2	163,6	145,2
225	214,0	211,2	207,8	199,4	198,2	184,0	163,4
250	237,6	234,6	230,8	221,6	220,4	204,6	181,6
280	266,2	262,8	258,6	248,2	246,8	229,2	203,4
315	299,6	295,6	290,8	279,2	277,6	257,8	228,8

Das Auswählen von Stützringen aufgrund von Messungen an Rohren ist nur bedingt möglich

Nur für Rohre aus weichen Thermoplasten gültig, z.B. PE, PP usw.

Stützringe sind optionales Zubehör und müssen separat bestellt werden.

Installationsanleitung

1) Durch Fehlausrichtung, Bodenbewegung, ungenaue Montage oder Längenänderungen kann ein Zwischenraum zwischen Rohrenden entstehen. STRAUB-Kupplungen können Zwischenräume zwischen Rohrenden überbrücken.

- 5 - 10 mm ohne Bandeinlage (je nach Rohr De, bitte das Kupplungsetikett beachten)
- 5 - 35 mm mit Bandeinlage (je nach Rohr De, bitte technisches Datenblatt beachten)

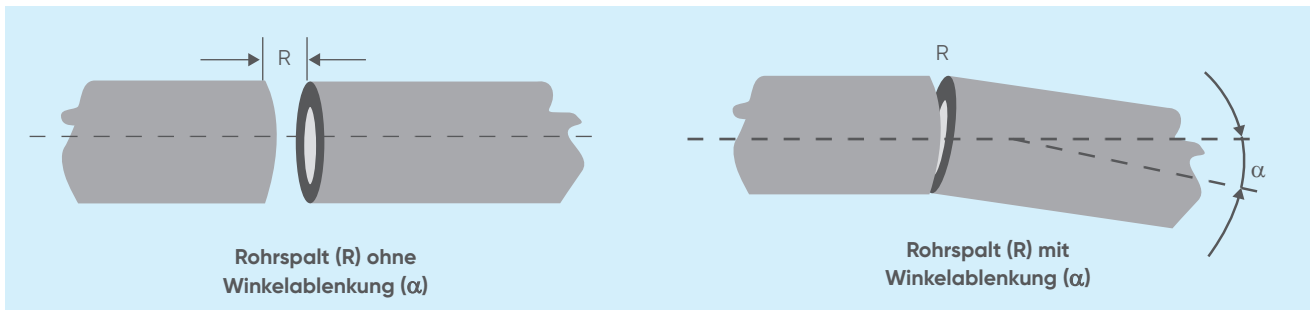
Bandeinlagen werden in der folgenden Fällen benötigt: Großer Abstand zwischen den Rohrenden, Quellung durch aggressive Flüssigkeiten, Vakuum, Druckeinwirkungen von außen, hohe Temperatur. Bandeinlagen sind Zubehörteile und müssen separat bestellt werden.

Der angegebene Zwischenraum zwischen Rohrenden darf nicht überschritten werden. Für weitere Informationen siehe die folgende Tabelle.

De (mm)	α in Grad						
	1	2	4	6	8	10	12
	Rmax (mm)			Rmax (mm)			
26,9	0,5	1	2	3	4	5	6
30,0	0,5	1	2	3	4	5	6
33,7	0,5	1	2	3	4	6	7
38,0	1	1	3	4	5	7	8
40,0	1	2	3	4	6	7	8
42,4	1	2	3	4	6	7	9
44,5	1	2	3	5	6	8	9
48,3	1	2	3	5	7	8	10
50,0	1	2	4	5	7	9	11
54,0	1	2	4	6	8	9	11
57,0	1	2	4	6	8	10	12
60,3	1	2	4	6	8	11	13
63,0	1	2	4	7	9	11	13
75,0	1	3	5	8	11	13	16
76,1	1	3	5	8	11	13	16
84,0	2	3	6	9	12	15	18
88,9	2	3	6	9	12	16	19
90,0	2	3	6	9	13	16	19
104,0	2	4	7	11	15	18	22
108,0	2	4	8	11	15	19	23
110,0	2	4	8	12	15	19	23
114,3	2	2	8	12	16	20	24
125,0	2	2	9	13	17	22	26
129,0	2	5	9	14	18	23	27
133,0	2	5	9	14	19	23	28
139,7	2	5	10	15	20	24	29
140,0	2	5	10	15	20	24	29
154,0	3	5	11	16	22	27	32
159,0	3	6	11	17	22	28	33
160,0	3	6	11	17	22	28	33
168,3	3	6	12	18	24	30	35

De (mm)	α in Grad					
	1	2	3	4	6	8
	Rmax (mm)			Rmax (mm)		
180,0	3	6	9	13	19	25
200,0	4	7	11	14	21	28
219,1	4	8	12	15	23	31
244,5	4	9	13	17	26	34
250,0	4	9	13	17	26	35
267,0	5	9	14	19	28	37
273,0	5	10	14	19	29	38
304,0	5	11	16	21	32	42
323,9	6	11	17	23	34	45
355,6	6	12	19	25	37	50
406,4	7	14	21	28	43	57
457,2	8	16	24	32	48	
508,0	9	18	27	36	53	-
559,0	10	20	29	39	59	
575,0	10	20	30	40	-	-
609,6	11	21	32	43		
711,2	12	25	37	50	-	-
762,0	13	27	40	53		
812,8	14	28	43	57	-	-
914,4	16	32	48			
1016,0	18	36	53	-	-	-
1117,6	20	39	59			
1219,2	21	43	-		-	-
1320,8	23	46				
1422,4	25	50	-	-	-	-
1524,0	27	53				
1625,6	28	57	-	-	-	-
1727,2	30					
1828,8	32	-	-	-	-	-
1930,4	34					
2032,0	36	-	-	-	-	-

Zwischenräume zwischen Rohrenden entstehen durch Winkelablenkung, ungenaue Montage und Längenänderungen. Dieser Zwischenraum darf den Wert R_p nicht überschreiten (R_p = Rohrenderspalt; kann aus dem Produktdatenblatt bezogen werden). Durch Verwendung einer Bänderlage können Rohr und Spalt vergrößert werden. Dieser Maximalwert hängt von der Bauart jedes Kupplungstyps ab und kann aus dem entsprechenden Produktdatenblatt bezogen werden.



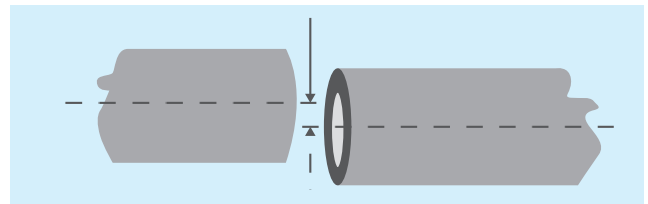
2) STRAUB-Kupplungen zum Verbinden zweier Rohre mit allseitiger Winkelablenkung zur Rohrachse:

- $< \varnothing 60,3 \text{ mm}$ ----->> 5°
- $> \varnothing 76,1 \text{ mm}$ ----->> 4°
- $> \varnothing 219,1 \text{ mm}$ ----->> 2°
- $> \varnothing 609,6 \text{ mm}$ ----->> 1°

Siehe Abstand zwischen Rohrenden [R_p]

3) STRAUB-Rohrkupplungen erlauben einen geringfügigen axialen Versatz:

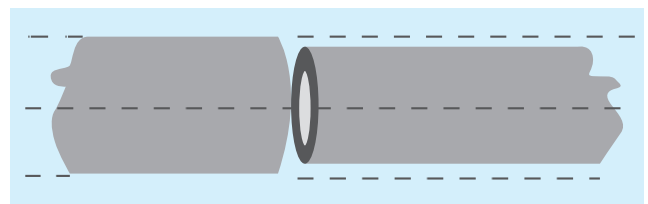
- 1 % des Außendurchmessers (max. 3 mm)



4) STRAUB-Kupplungen gleichen Rohre mit unterschiedlichen Außendurchmessern aus.

Die folgenden Anforderungen müssen erfüllt sein:

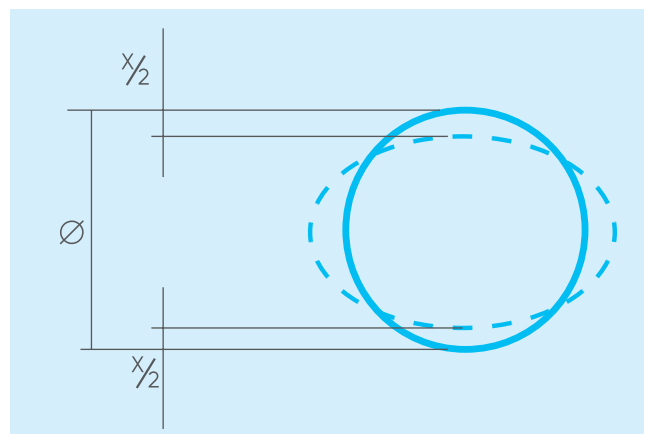
- $< \varnothing 100 \text{ mm}$ ----->> 2 mm
- $> \varnothing 100 \text{ mm}$ ----->> 2 % von D_e
- $> \varnothing 300 \text{ mm}$ ----->> 6 mm
- DE-Differenz bis 9 mm ----->> STRAUB-FLEX
- DE-Differenz ab 10 mm ----->> STRAUB-STEP-FLEX



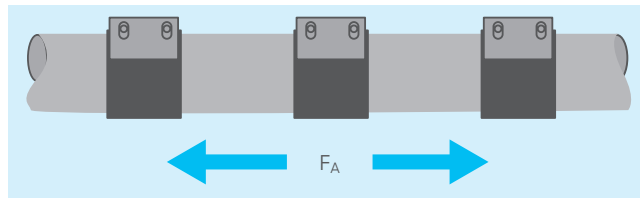
5) Rohre weisen oft eine Unrundheit auf (Differenz zwischen dem größten und kleinsten Außendurchmesser). Die zuverlässige Unrundheit beträgt:

- STRAUB-FLEX 1 ----->> 4 mm
- STRAUB-FLEX 2 ----->> 2 % des \varnothing
- STRAUB-FLEX 3 ----->> 2 % des \varnothing
- STRAUB-FLEX 3,5 ----->> 2 % des \varnothing
- STRAUB-FLEX 4 ----->> 2 % des \varnothing

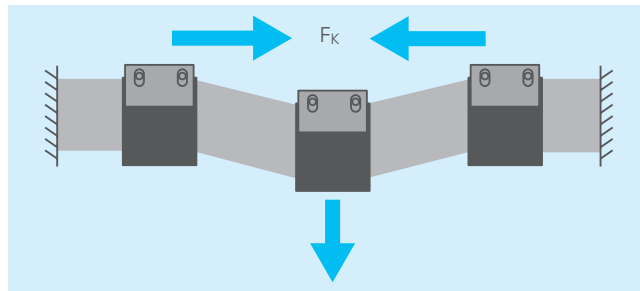
STRAUB-FLEX 2: Um ein Überschieben zu ermöglichen, muss die Unrundheit [X] ebenfalls innerhalb der zulässigen Durchmesserendifferenz ($X = \text{max. } 6 \text{ mm}$) liegen.



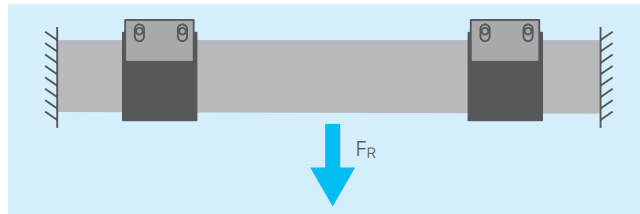
6) Der PN-Innendruck wirkt direkt als Zugkraft auf jede Rohrverbindung. Die vorherrschende Zugkraft kann aus dem jeweiligen Innendruck und dem bekannten Rohrdurchmesser berechnet werden. Sie kann nicht von STRAUB-FLEX und STRAUB-OPEN-FLEX aufgenommen werden.



7) Werden die Rohre in ihrer axialen Bewegung behindert, so neigt das Rohr bei steigendem Innendruck in Verbindung mit unzureichender Rohrführung zum Knicken. Sie kann von STRAUB-FLEX und STRAUB-GRIP nicht aufgenommen werden.



8) Diese besteht aus dem Gewicht des Rohrabschnitts und dem Gewicht des darin enthaltenen Mediums. Rohrkupplungen können nur sehr geringe Scherkräfte aufnehmen. Sie können von STRAUB-FLEX und STRAUB-GRIP nur in begrenztem Maße aufgenommen werden.



9) Rohre sind Temperaturschwankungen ausgesetzt, sei es durch das Medium (z. B. kaltes und warmes Wasser) oder die Umgebung (z. B. Sonnenlicht, Kälte im Winter). Diese Temperaturschwankungen verursachen axiale Bewegungen im Rohr.

Die axiale Bewegung ist abhängig vom Rohrmaterial, der Länge des jeweiligen Rohrabschnitts und der Temperaturschwankung.

Bei Verwendung von STRAUB-GRIP-Rohrkupplungen werden die Rohrbefestigungen so gewählt, dass die axiale Bewegung in eine Winkelablenkung umgewandelt wird.

Bei Verwendung von STRAUB-FLEX-Rohrkupplungen muss sichergestellt sein, dass die auftretende axiale Änderung in jedem Rohrabschnitt nicht größer ist als die Ausgleichsfähigkeit der verwendeten STRAUB-FLEX-Rohrkupplung.

Die Tabelle zeigt die Werte der maximal zulässigen axialen Längenänderungen für STRAUB-FLEX und STRAUB-OPEN-FLEX.

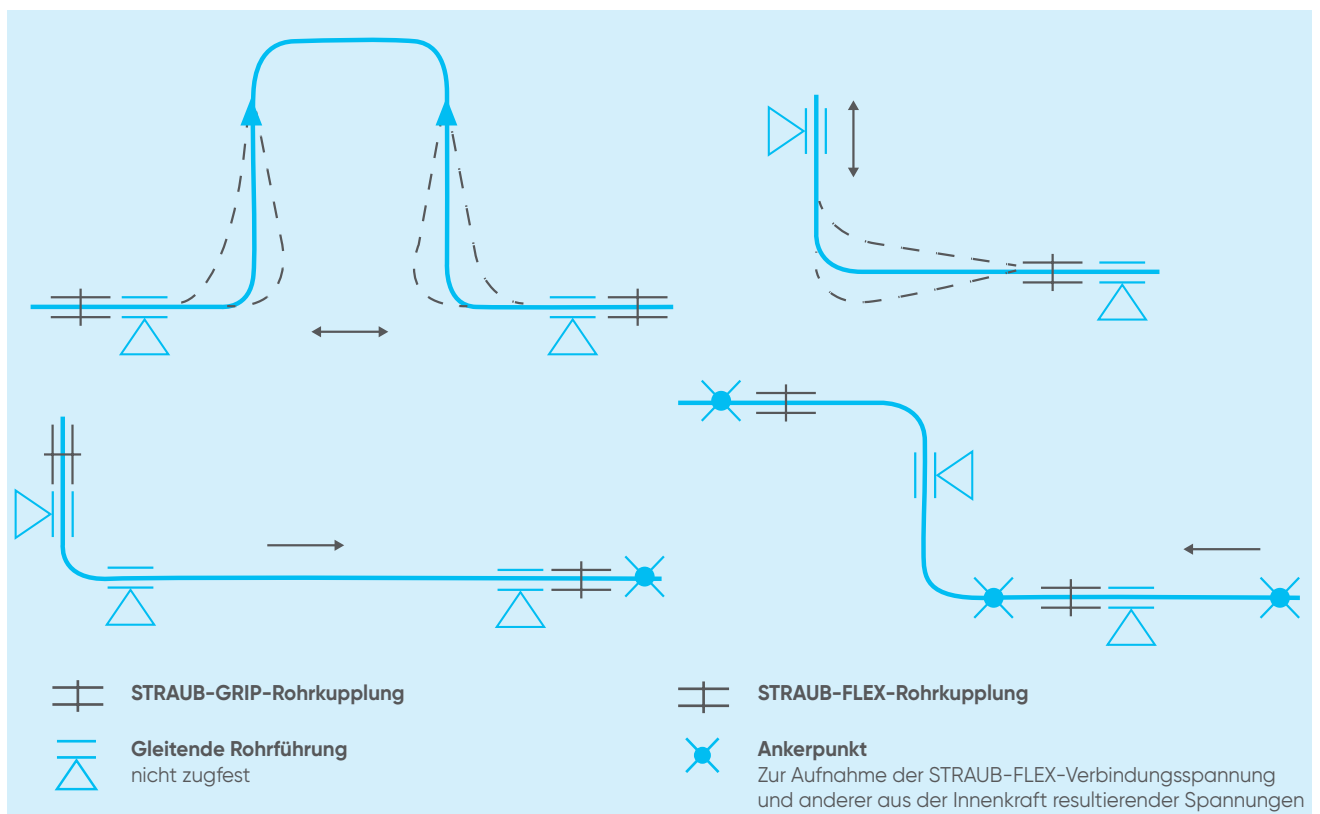
STRAUB-FLEX STRAUB-OPEN-FLEX	Δl (mm)
1	5
2	10
3	15
3,5	15
4	20

10) Rohrbefestigung mit STRAUB-GRIP:

- Die Rohre sind in der Kupplung verankert;
- Es werden nur Halterungen/Stützen benötigt;
- Axiale Bewegungen der Rohre müssen außerhalb der Kupplung ausgeglichen werden, z.B. mit Dehnungsbögen (siehe nachfolgende Abbildung).

Rohrbefestigung mit STRAUB-FLEX:

- Die Rohre sind nicht in der Kupplung verankert;
- Jeder Rohrabschnitt benötigt einen festen Punkt und eine oder mehrere Rohrführungen;
- Axiale Bewegungen der Rohre können innerhalb der Kupplung ausgeglichen werden.

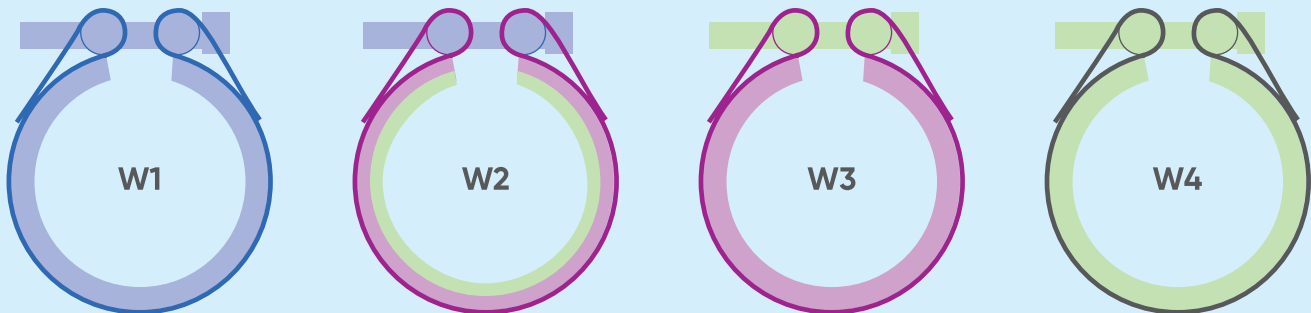
**WARNHINWEISE**

Bei der Berechnung des axialen Bewegungsausgleichs sind die nachstehenden thermischen Faktoren zu berücksichtigen.

Ist die Betriebstemperatur höher als die Einbautemperatur, führt dies zu einer Dehnung des Rohrs. Ist sie niedriger als die Einbautemperatur, zieht sich das Rohr zusammen.

Materialspezifikationen von STRAUB-Kupplungen

Je nach Größe, Typ, Korrosionsbeständigkeit und Druckbelastung der Kupplungen stehen unterschiedliche Materialqualitäten zur Verfügung. Grundsätzlich besteht W1 vollständig aus verzinktem Kohlenstoffstahl, während W2 aus einem Edelstahlgehäuse und Schrauben/Stangen aus Kohlenstoffstahl gefertigt ist. Die Variante W3 besteht aus einem normalen Edelstahlgehäuse und hochwertigen Edelstahlschrauben/-stangen, W4 ist vollständig aus hochwertigem Edelstahl gefertigt.



Die folgende Tabelle kann hilfreich sein, um den geeigneten Werkstoff auf Grundlage der Anwendung auszuwählen.

Komponenten	Werkstoffe							
	W1		W2		W3		W4	
	DIN	AISI	DIN	AISI	DIN	AISI	DIN	AISI
Gehäuse	A738 oder ähnlich, feuerverzinkt	1024	1.4404	316 L	1.4301	304	1.4404	316 L
			1.4301	304				
			1.4162	S32101			1.4162	S32101
Schrauben	1.7220	4135	1.7220	4135	A4 - 80	A4 - 80	A4 - 80	A4 - 80
Stangen	1.0737 verzinkt	12L14	1.0737 verzinkt	12L14	1.4404	316 L	1.4404	316 L
					1.4435			
Verankerungsring	1.4310	301	1.4310	301	1.4310	301	1.4310	301
			1.4301 (PLAST-GRIP)	304	1.4301 (PLAST-GRIP)	304		
Bandeinlagen (Option)	1.4435 PVDF/HDPE	316 L	1.4435 PVDF/HDPE	316 L	1.4435 PVDF/HDPE	316 L	1.4435 PVDF/HDPE	316 L

Vorteile und Anwendungsbereiche

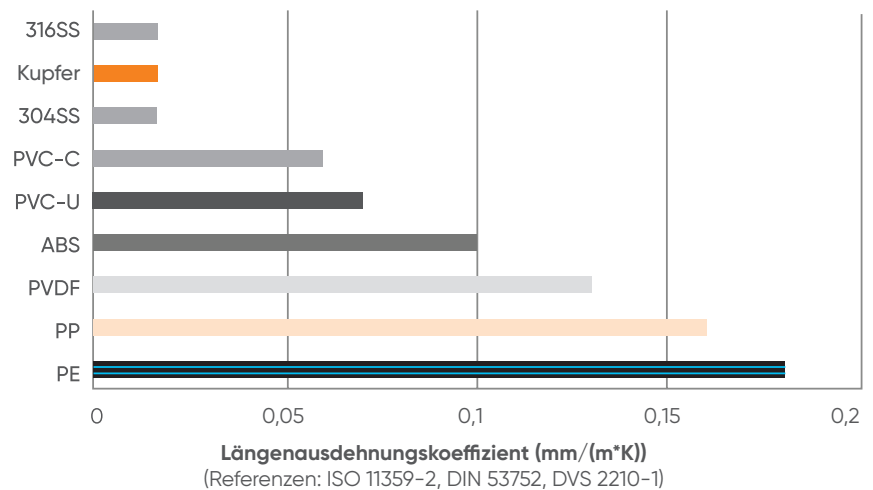
STRAUB-Kupplungen sind mit fast jedem herkömmlichen Verbindungssystem kompatibel. Sie sind zuverlässiger, da sie axiale Bewegungen und Winkelauslenkungen kompensieren. Außerdem sind sie druckfest und gewährleisten eine spannungsfreie, flexible Rohrverbindung. STRAUB-Kupplungen weisen eine lange Lebensdauer auf, da sie korrosions- und temperaturbeständig sind und zudem eine gute Beständigkeit gegen Chemikalien besitzen. Da STRAUB-Kupplungen keine speziellen Geräte, Werkzeuge und Rüstzeiten erfordern, stellen sie eine kostengünstige Lösung dar. Sie sind die perfekte Wahl, wenn eine kompakte Lösung benötigt wird, da STRAUB-Kupplungen im Vergleich zu Flanschen ein geringeres Gewicht aufweisen. Aufgrund ihrer zahlreichen Vorteile werden STRAUB-Kupplungen hauptsächlich in den Anwendungsbereichen Wasser- und Gasversorgung, Erdbau und Industrie sowie Schiffbau und Offshore eingesetzt.

3.2 Rohrleitungsmontage und Empfehlungen

3.2.1 Wärmedehnung und Schrumpfung

Bei der Ausführung eines Projekts für eine Anlage aus thermoplastischen Kunststoffen müssen stets auch Dehnungs- und Schrumpfungseffekte aufgrund von Temperaturschwankungen berücksichtigt werden.

Wärmewirkungen bei Kunststoffen unterscheiden sich von denen bei Metallen: Zur Veranschaulichung sind in der nebenstehenden Abbildung die Unterschiede zwischen verschiedenen Kunststoffen und Rohrleitungsmaterialien aus Metall anhand ihres linearen Ausdehnungskoeffizienten dargestellt.



Ein Temperaturanstieg in einem System führt dazu, dass sich das thermoplastische Rohr ausdehnen will.

Das System selbst ist jedoch fest fixiert und kann sich nicht ausdehnen. Entsprechend nimmt die Spannung zu; wenn sie dann die zulässigen, vom System tolerierten Werte übersteigt, ermüden die Rohrleitungen und können schließlich versagen.

Insbesondere kann es bei wiederholten Temperaturwechseln oder bei längerer Einwirkung erhöhter Temperaturen in einem starren System zu einer fortschreitenden Verformung kommen.

Daher müssen thermoplastische Systeme eine ausreichende Flexibilität besitzen, um Dehnungs- und Schrumpfungseffekte auszugleichen und die folgenden Probleme zu vermeiden:

- Versagen von Rohrleitungen oder Stützen durch Überbeanspruchung oder Ermüdung;
- Undichtigkeiten;
- Schädliche Spannungen oder Verformungen in Rohrleitungen oder angeschlossenen Geräten.

Im Allgemeinen kann die Dehnung oder Schrumpfung aufgrund eines Wärmesprungs leicht mit der folgenden Formel berechnet werden:

$$\Delta L = \alpha * L * \Delta T$$

wobei:

ΔL = Wert der Dehnung oder Schrumpfung (mm)

ΔT = Temperaturdifferenz (°C)

L = Länge des Rohrs (m)

α = Längenausdehnungs- oder Schrumpfungskoeffizient (1/°C)

Die Werte des Ausdehnungskoeffizienten α für verschiedene Werkstoffe sind in der folgenden Tabelle angegeben.

α	PVC-U	PVC-C	ABS	PP	PE HD	PVDF
(1/°C)	$0,8 * 10^{-4}$	$0,67 * 10^{-4}$	$1 * 10^{-4}$	$1,5 * 10^{-4}$	$2 * 10^{-4}$	$1,20 * 10^{-4}$

Zur Berechnung der Parameter in der vorhergehenden Gleichung wird empfohlen, das Berechnungstool auf der Aliaxis-Website zu verwenden.

Im Allgemeinen wird ein Ausgleich der Wärmedehnung mit Hilfe von Elementen erreicht, die durch Ausnutzung oder Erhöhung der Eigenelastizität der Leitungen die Auswirkungen der in den Rohren auftretenden Maßänderungen begrenzen können.

Eine korrekte und wirtschaftliche Auswahl von geeigneten Wärmeausgleichssystemen führt zur Verwendung der folgenden Elemente:

- Mechanische Expansionsverbindungen;
- Offsets;
- Dehnungsbögen;
- Richtungsänderungen.

Um jede der drei Methoden wirksam einzusetzen, müssen natürlich die folgenden Daten bekannt sein und analysiert werden:

- Die Konstruktions-, Betriebs- und Installationstemperaturbedingungen;
- Werkstoff und Größe des Rohres;
- Chemische und physikalische Eigenschaften der beförderten Flüssigkeit;
- Auslegung der Rohrleitung unter Berücksichtigung aller Maße und der verschiedenen wärmebedingten Bewegungen, die durch die für den Bau der verfahrenstechnischen Anlagen verwendeten, nicht homogenen Materialien verursacht werden;
- Bewegungen und maximale Endbelastungen an den thermischen Punkten, an denen die Rohrleitung mit Ausrüstung verbunden ist, die nur eine begrenzte mechanische Festigkeit aufweist;
- Auslegungs- und hydraulische Betriebsbedingungen wie statischer und dynamischer Druck.

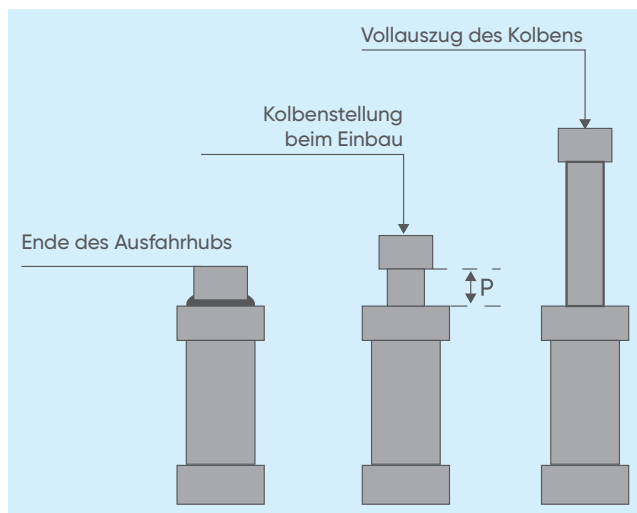
3.2.1.1 Mechanische Expansionsverbindungen

Expansionsverbindungen gewährleisten eine wirksame Aufnahme von Verschiebungen und Maßänderungen in Rohren, die wiederholten Temperaturschwankungen ausgesetzt sind.

Ein Beispiel für Expansionsverbindungen ist in der nächsten Abbildung dargestellt.

Sie werden überall dort eingesetzt, wo wenig Platz zur Verfügung steht und die hohen Kosten für Stütz- und Verankerungsinfrastrukturen es unmöglich machen, die Wärmedehnung durch zusätzliche Rohrabschnitte auszugleichen.

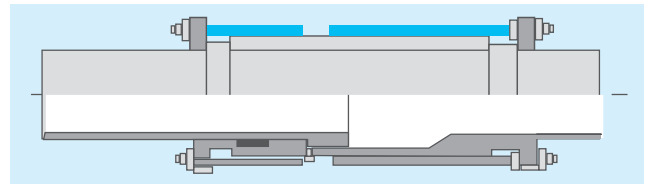
Expansionsverbindungen werden aufgrund ihrer Fähigkeit ausgewählt, axiale, transversale und rotatorische Verschiebungen von Rohren, die Temperaturschwankungen ausgesetzt sind, aufzunehmen. Für thermoplastische Rohre werden zwei Arten von Expansionsverbindungen verwendet: Gleitverbindungen und flexible Verbindungen.



Gleitverbindungen

Diese Kompensatoren bestehen aus zwei Gleitelementen, die die Aufnahme von axialen Verschiebungen der Rohre ermöglichen.

Eine Gleitverbindung ist in der nebenstehenden Abbildung dargestellt.



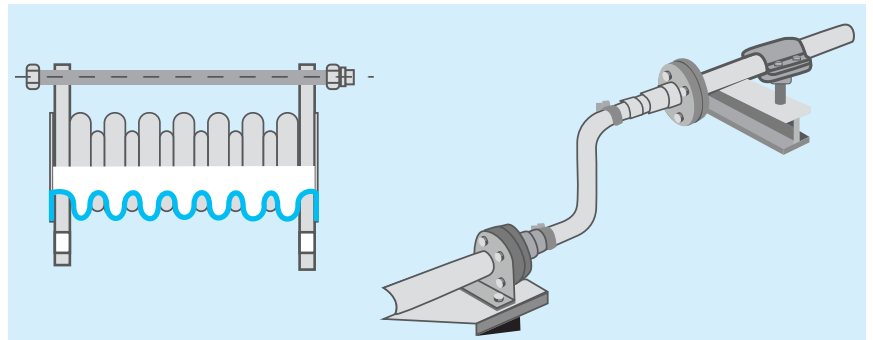
Die Gehäuse bestehen aus thermoplastischen Kunststoffen (PVC-U, PVC-C, PP und ABS) und sind mit O-Ring-Elementen ausgestattet, so dass sie axiale Ausdehnungen zwischen 150 und 600 mm aufnehmen können.

Gleitverbindungen werden immer dann empfohlen, wenn die Verwendung von Dehnungsbögen oder Richtungsänderungen nicht möglich ist; ihre Nutzung zur Förderung von inkrustierenden Medien und festen Suspensionsmaterialien wird jedoch nicht empfohlen.

Um Instabilitätserscheinungen zu vermeiden, sind die langhubigen Teleskopkompensatoren mit Richtungsführungen mit Hubbegrenzern ausgestattet, die ein koaxiales Gleiten zwischen der Führungskammer und dem Kolben gewährleisten. Außerdem müssen sie in regelmäßigen Abständen geprüft und gewartet werden: Auf diese Weise wird der Zustand der Dichtungselemente überprüft, um Leckageerscheinungen zwischen Kammer und Kolben auszuschließen, die aufgrund von Verkrustungen und eingeschränkter Schmierung entstehen können.

Flexible Verbindungen

Flexible Kompensatoren ermöglichen die Aufnahme von axialen und transversalen Dehnungen durch die Verformung bestimmter Elemente aus hochflexiblen Materialien. Ein Beispiel ist in den nebenstehenden Abbildungen dargestellt.



Zwei Arten von flexiblen Kompensatoren können verwendet werden: Faltenbälge und Gummiverbindungen.

Balgkompensatoren bestehen aus gewellten, elastischen PTFE-Elementen, die axiale Ausdehnungen zwischen 10 und 200 mm aufnehmen: Sie bieten den Vorteil, dass sie keine Dichtungselemente besitzen, die undicht werden können und wartungsbedürftig sind. Sie werden auch für den Transport von aggressiven Substanzen bei hohen Temperaturen verwendet.

Gummikompensatoren sind ähnlich aufgebaut wie Balgkompensatoren, bestehen jedoch aus einzelnen elastischen Elementen aus Elastomer. Sie eignen sich für den Transport von dichten Stoffen und viskosen Flüssigkeiten, ihre Aufnahmekapazität ist begrenzt und liegt zwischen 10 und 60 mm.

Das flexible Element besteht aus verschiedenen Elastomeren; EPM und NBR beispielsweise werden für Betriebstemperaturen bis 90 °C verwendet. Bei extrem hoher Wärmedehnung in axialer Richtung oder bei Dehnungseffekten, die von herkömmlichen Expansionsverbindungen nicht aufgenommen werden können, lassen sich Kompensationselemente aus flexiblen Rohren verwenden, die durch mechanische Einsätze mit dem System verbunden werden. Die Einsatzgrenze dieses flexiblen Rohres muss entsprechend der maximalen Betriebstemperatur, dem maximalen Betriebsdruck sowie dem vom Material zugelassenen Mindestbiegeradius bestimmt werden.

Installation von Expansionsverbindungen

Ein falscher oder unsachgemäßer Einbau von Kompensatoren ist häufig die Hauptursache für verschiedene Versagensarten von thermisch belasteten Rohrleitungen. Rohre aus thermoplastischen Kunststoffen zeichnen sich durch einen niedrigen Elastizitätsmodul aus. Daher sind die bei einer Temperaturänderung entstehenden axialen Kräfte im Vergleich zu Systemen aus Metall relativ gering.

Um zu entscheiden, wie thermische Effekte kompensiert werden sollen, kann es sinnvoll sein, die im System vorhandenen Spannungen zu berechnen. Eine Begrenzung der durch wärmebedingte Dehnung und Schrumpfung verursachten linearen Bewegungen führt zu einer thermischen Spannung, die sich mit dieser folgenden Gleichung berechnen lässt:

$$S_t = E \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

wobei:

S_t = im Rohr induzierte thermische Spannung (N/mm²)

E = Elastizitätsmodul (N/mm²)

α = Wärmeausdehnungskoeffizient (mm/(mm · °C))

ΔT = (T_{max} - T_{install}) (°C)

Wenn die thermische Spannung des Systems bekannt ist, lässt sich die auf die Rohrleitung und Verankerungen einwirkende thermische Endbelastung anhand der folgenden Gleichung berechnen:

$$F_t = S_t * A = E * \alpha * \Delta T * A$$

wobei:

F_t = Thermische Endbelastung der Rohrleitung (N)

$A = \pi/4 * (D_e^2 - D_i^2)$ = Querschnittsfläche des Rohrs (mm²)

E = Elastizitätsmodul (N/mm²)

α = Längenausdehnungskoeffizient (mm/(mm*°C))

ΔT = Differenz zwischen Maximal- und Minimaltemperatur (°C)



Die Expansionsverbindung muss so ausgewählt und installiert werden, dass sie eine eventuelle Schrumpfung des Rohrs aufgrund eines Temperaturabfalls aufnimmt.

Daher muss vor dem Einbau dieses Kompensators eine Vorkompressionslänge des Expansionselements festgelegt werden.

Der Betrag dieser Länge, die als Voreinstelllänge bezeichnet und mit L^* angegeben wird, kann mit Hilfe der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$L^* = R * \left(\frac{T_i - T_{min}}{T_{max} - T_{min}} \right)$$

wobei:

L^* = Voreinstelllänge (mm)

R = Hub der Expansionsverbindung (mm)

T_i = Einbautemperatur (°C)

T_{min} = Mindesttemperatur (°C)

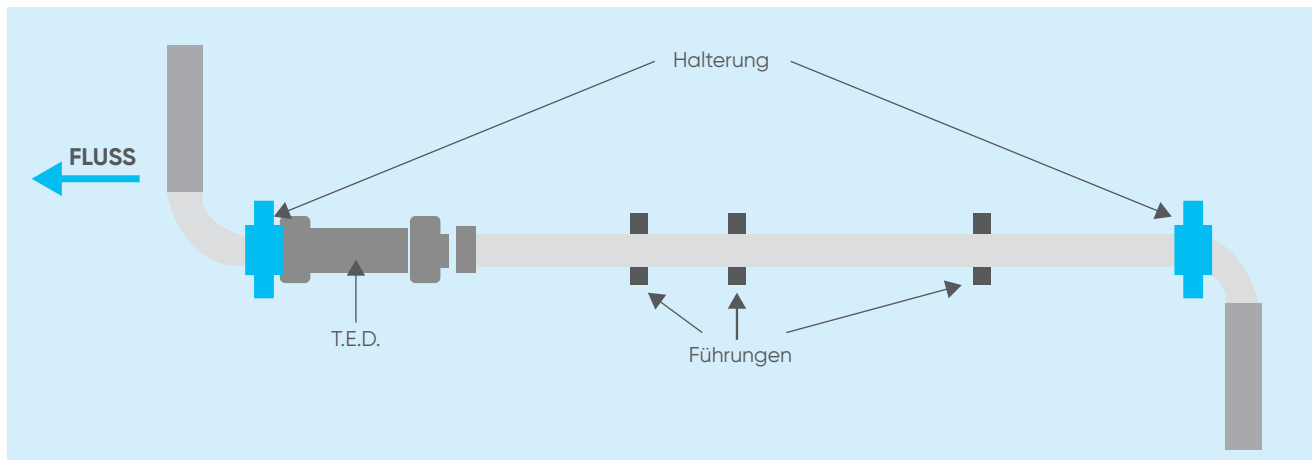
T_{max} = Maximaltemperatur (°C)

Zur Aufnahme der direkten Druckbelastung sowie aller anderen Belastungen, die auf die Kompensatoren einwirken können, müssen geeignete Verankerungen vorgesehen werden. Durch entlang der sich ausdehnenden Rohre installierte Richtungsführungen muss sichergestellt werden, dass die Verbindung vor allen Belastungen geschützt ist, die nicht aufgenommen und ausgeglichen werden können.

Der Einbau mehrerer Kompensatoren an einem Rohrstrang zwischen zwei aufeinanderfolgenden Verankerungen ist grundsätzlich nicht zu empfehlen.

An dieser Stelle könnte es nützlich sein zu verstehen, wo in einem System eine Teleskopverbindung platziert werden sollte. Vier verschiedene Fälle wurden untersucht:

Beispiel A

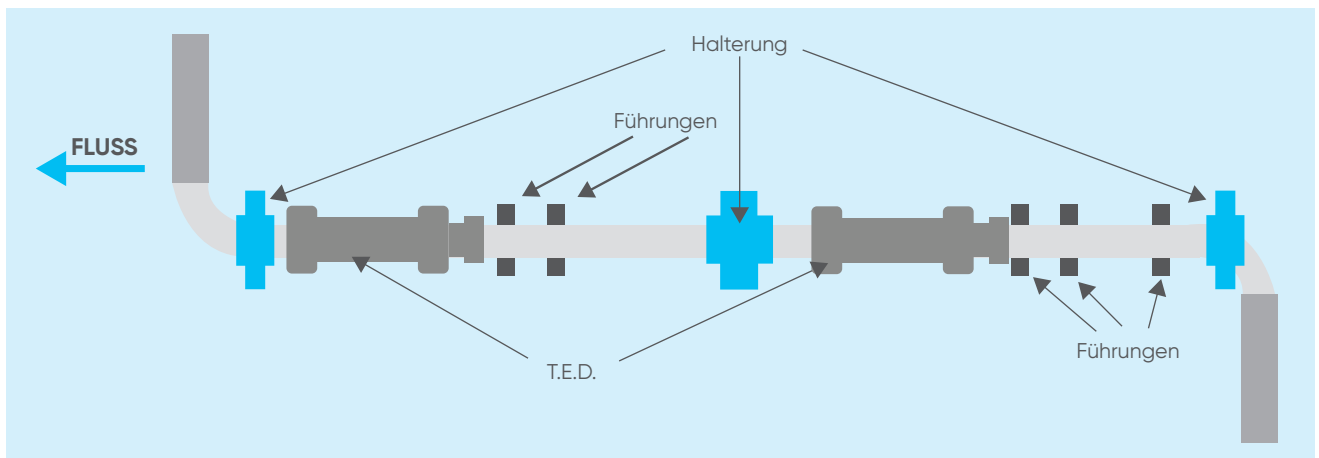


Hier ist eine lange Rohrleitung dargestellt, die an jedem Ende verankert ist, was eine Aufnahme der Wärmedehnung erfordert. Berechnungen haben gezeigt, dass eine einzelne Vorrichtung mit Zwischenrohrführungen verwendet werden kann. Es wird empfohlen, die Vorrichtung so nahe wie möglich bei der Verankerung am Ende der Rohrleitung (auf Basis der Durchflussrichtung) anzuordnen.

Die erste Führung sollte in der Nähe der Verbindung zwischen dem Rohr und der Aufnahme am beweglichen Arm des Kompensators angebracht werden. Dadurch wird sichergestellt, dass die Ablenkung auf die zu erwartende axiale Richtung begrenzt ist.

Die zweite Führung wird relativ nah an der ersten angebracht, um ein Durchbiegen des Rohrs zu vermeiden. Je nach Bedarf werden zusätzliche, gleichmäßig verteilte Führungen installiert.

Beispiel B

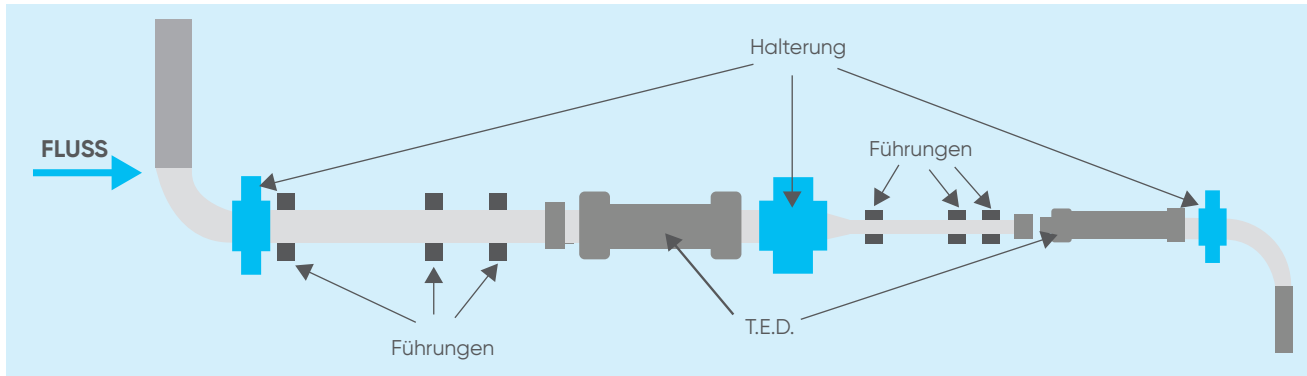


In dieser Abbildung ist eine noch längere Rohrleitung dargestellt.

Berechnungen haben ergeben, dass zwei Vorrichtungen eingesetzt werden müssen.

Dementsprechend wurde die Leitung durch eine mittig platzierte Verankerung in zwei gleiche Segmente unterteilt. An jedem Ende der zuvor unterteilten Leitung ist ein Kompensator angeordnet.

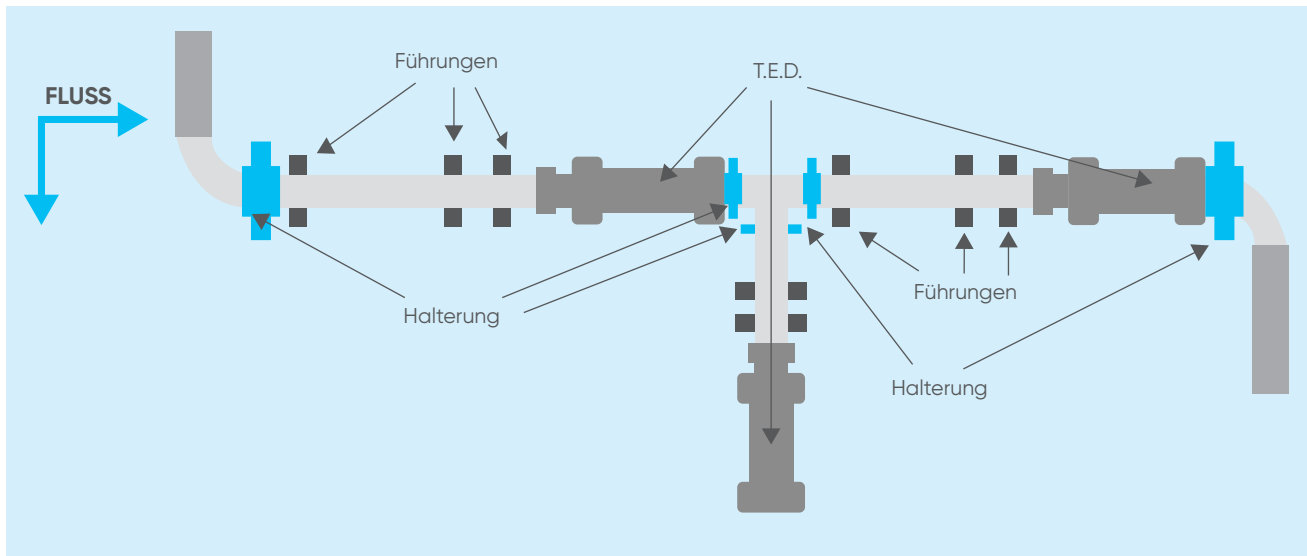
Die Platzierung der Führungen entspricht der Darstellung in Beispiel A.

Beispiel C

Diese Abbildung zeigt eine lange Rohrstrecke, bei der ein Rohr mit großem Durchmesser etwa in der Mitte auf einen kleineren Durchmesser reduziert wird.

Obwohl die Dehnung von thermoplastischen Kunststoffen nicht vom Rohrdurchmesser abhängt, empfiehlt es sich, die Rohrstrecke an der Übergangsstelle mit einem Anker zu unterteilen, falls zwei getrennte Vorrichtungen erforderlich sind.

Anschließend sind die gleichen Verfahrensweisen wie in Beispiel B anzuwenden.

Beispiel D

Diese Abbildung zeigt eine Abzweigung in einer langen Rohrleitung.

Für den Hauptrohrabschnitt wird eine identische Anordnung wie in Beispiel B verwendet,

am T-Stück muss jedoch ein Hauptanker anstelle des Zwischenankers verwendet werden. Der Hauptanker ist so ausgelegt, dass er dem Druckstoß der Abzweigung standhält.

In Richtung der Hauptleitung muss der Anker auch ungleichmäßigen dynamischen Druckstößen standhalten, die durch die von der Abzweigung verursachten Turbulenzen hervorgerufen werden.

Sollte der Verlauf der Abzweigung dies erfordern, wird ein Teleskopkompensator nach dem Verfahren in Beispiel A eingebaut.

3.2.1.2 Dehnungsausgleich

Ein Dehnungsausgleich wird dann verwendet, wenn eine feste Konstruktion der Rohrleitung vermieden werden muss.

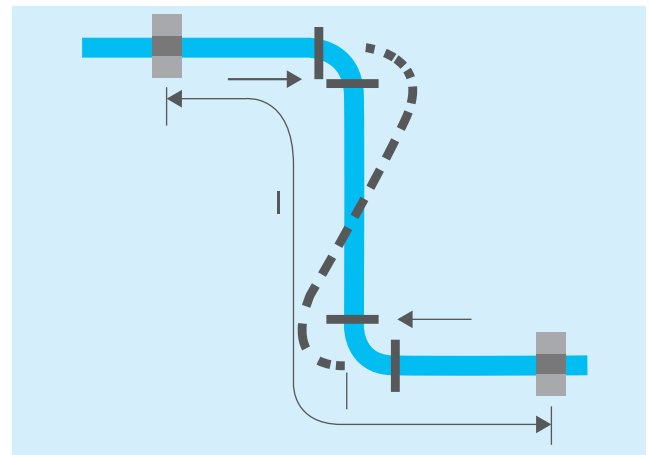
Ein Beispiel ist in der Abbildung rechts dargestellt.

Dehnungsausgleiche werden normalerweise in der Mitte einer Rohrleitung angebracht.

Alle Bögen sowie auch die vertikal verlaufenden Rohre lassen eine gewisse Ablenkung zu, während Aufhängungen oder Führungen zur Fixierung jeder Leitung verwendet werden.

Bei einer Dehnung des Rohrs biegen sich die oberen und unteren Bögen nach innen, wodurch sich der vertikale Abschnitt nach rechts neigt.

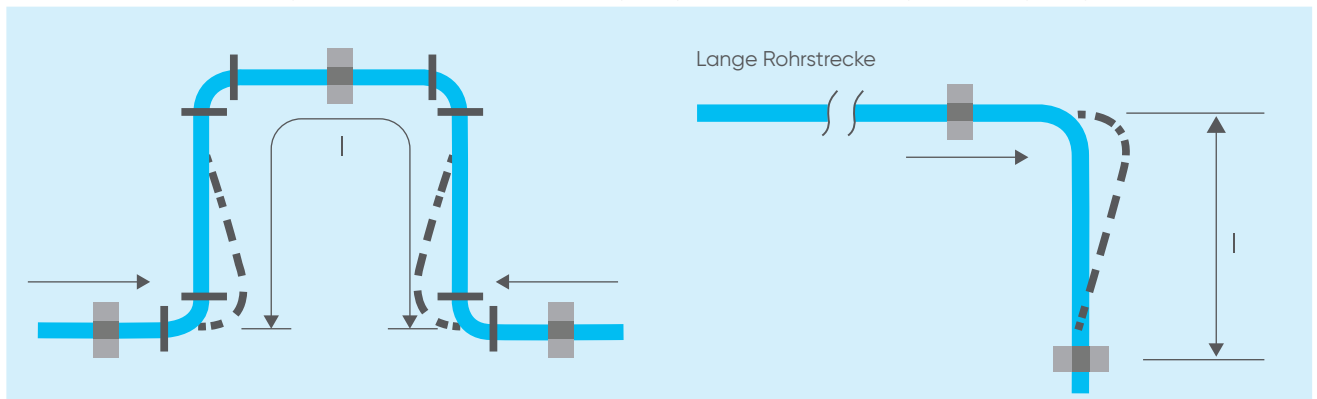
Tritt dagegen eine Schrumpfung auf, neigt sich der vertikale Abschnitt nach links.



3.2.1.3 Dehnungsbögen und Richtungsänderungen

Erreicht die Wärmeausdehnung hohe Werte, sind Dehnungskompensatoren aufgrund ihres begrenzten Verdichtungs hubs unwirtschaftlich: In diesen Fällen werden Dehnungsbögen oder Richtungsänderungen verwendet.

In den nächsten Abbildungen sind ein typischer Dehnungsbogen und eine Richtungsänderung dargestellt.



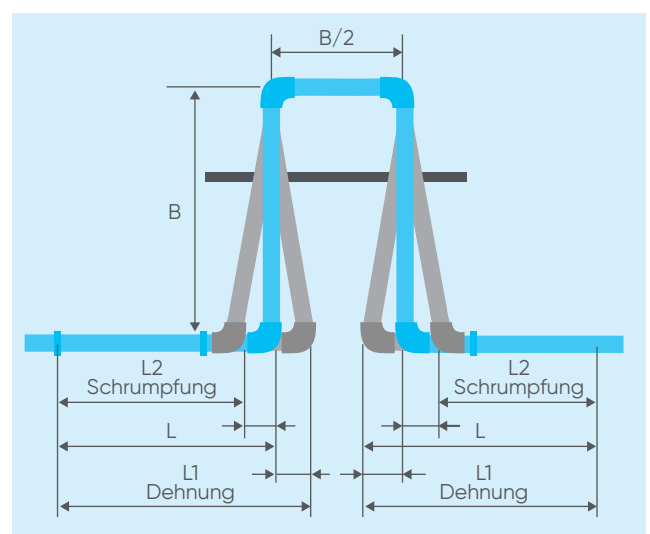
Während einer Expansion verengt sich die U-Öffnung des Dehnungsbogens, während sich während einer Kontraktion die U-Öffnung erweitert.

Eine Richtungsänderung ermöglicht hingegen ein gewisses Maß an Bewegung: Bei Ausdehnung bewegt sich die Ecke nach außen, bei Schrumpfung nach innen.

Es wird empfohlen, Dehnungsbögen mit 90°-Bögen und geraden Rohren zu konstruieren, die durch Kleben miteinander verbunden werden, um der Dehnungsbeanspruchung besser zu widerstehen.

Die Installation von Dehnungsbögen erfordert besondere Sorgfalt. Daher müssen geeignete Richtungsführungen angebracht werden, die die Ausrichtung der Dehnungsrohre sicherstellen: Die Positionierung der Führungen muss auch gewährleisten, dass die Dehnungsbögen nur auf Biegung beansprucht werden und dass sich die Dehnungsrohre frei in ihrer eigenen Längsachse bewegen können.

Die Auslegung von Dehnungsbögen und Richtungsänderungen basiert auf den elastischen Eigenschaften des Rohrs und erfordert eine Analyse der Rohrleitungsflexibilität.



Weiterhin ist anzumerken, dass die Bogenbreite der durch 2 geteilten Länge B entspricht.

Um die Länge B zu bestimmen, die zur Aufnahme der berechneten Ausdehnung im Falle eines Dehnungsbogens erforderlich ist, wird empfohlen, die folgende Gleichung zu verwenden:

$$B = 34 * \left(De * \frac{\Delta L}{2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

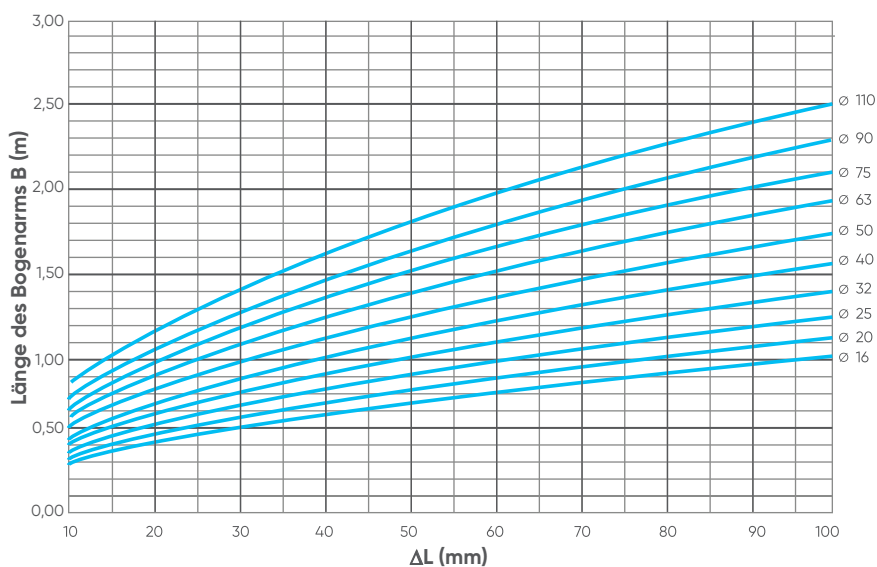
wobei:

B = Segment des Rohrs (mm)

De = Außendurchmesser (mm)

ΔL = Längenabweichung, wobei zu beachten ist, dass $\Delta L = \alpha * L * \Delta T$

Das Segment B kann auch anhand des nebenstehenden Graphen berechnet werden, immer in Abhängigkeit vom Rohrdurchmesser und der Längenabweichung.



Bei Richtungsänderungen ist der Abstand B der notwendige Abstand, in dem die Verankerung vom Bogen aus am Rohr montiert wird, wie in der Abbildung rechts dargestellt.

Hinsichtlich des Dehnungsbogens kann sich das Rohr zum Ausgleich der im System vorhandenen Spannungen frei ausdehnen und zusammenziehen, indem der Abstand B frei beweglich bleibt.

Innerhalb des B-Segments ist es auch weiterhin erforderlich, das Rohr gemäß den Standardabständen abzustützen, jedoch ohne es fest zu fixieren: Die Abstützung sollte glatt und frei von scharfen Kanten sein, da sich das Rohr hin und her bewegt.

An diesem Punkt kann die Länge B, die zur Aufnahme der berechneten Ausdehnung im Falle einer Richtungsänderung benötigt wird, anhand der folgenden Gleichung berechnet werden:

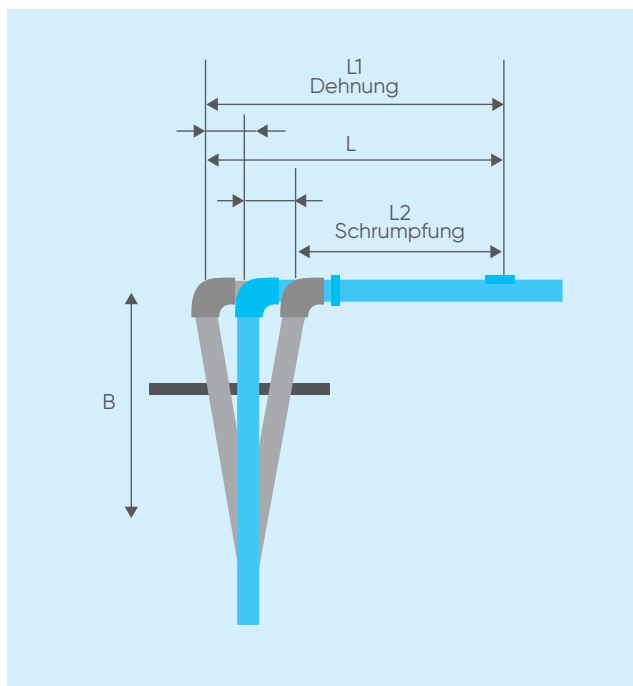
$$B = 34 * \left(De * \Delta L \right)^{\frac{1}{2}}$$

wobei:

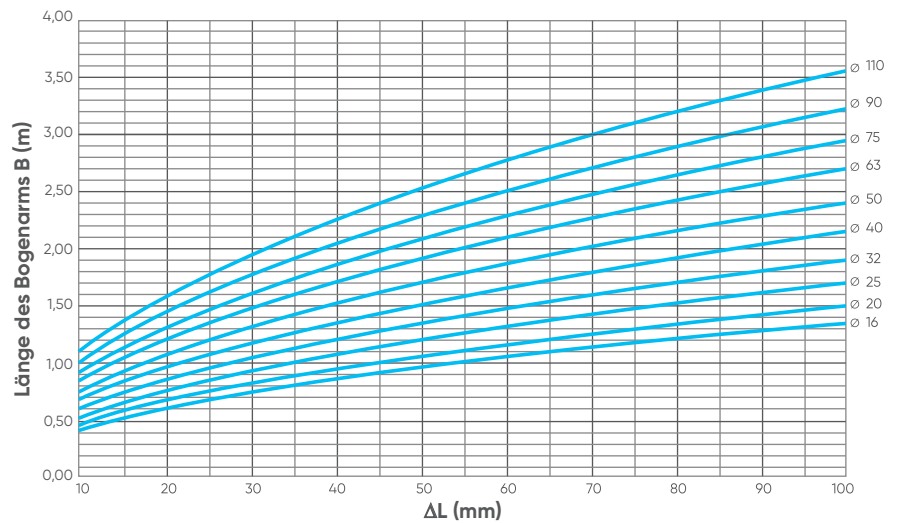
B = Segment des Rohrs (mm)

De = Außendurchmesser (mm)

ΔL = Längenabweichung, wobei zu beachten ist, dass $\Delta L = \alpha * L * \Delta T$



Darüber hinaus kann das Segment B auch anhand des nebenstehenden Graphens berechnet werden, immer in Abhängigkeit vom Rohrdurchmesser und der Längenabweichung.



PRAKTISCHES BEISPIEL

Berechnung des Segments B eines 6 Meter langen Richtungswechsels mit einem Durchmesser von 90 mm und einem $\Delta T = 40^\circ\text{C}$ aus U-PVC.

Da bekannt ist, dass für U-PVC

$$\alpha = 0,00008 \text{ 1/}^\circ\text{C}$$

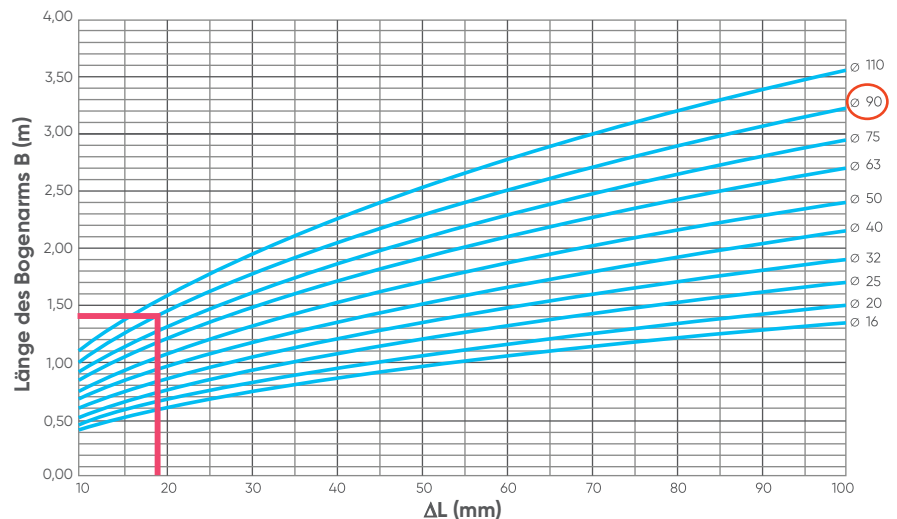
kann ΔL berechnet werden.

$$\Delta L = \alpha * L * \Delta T = 18,7 \text{ mm}$$

Auf diese Weise kann durch Anwendung der Gleichung B ermittelt werden.

$$B = 34 * (De * \Delta L)^{\frac{1}{2}} = 1,4 \text{ m}$$

Wenn der Wert von ΔL und De bekannt ist, kann der Wert von B auch aus dem Graph abgeleitet werden, wie in der Abbildung dargestellt.



3.2.2 Begleitheizung

Bei chemischen Prozessen ist eine Temperaturregelung von Flüssigkeiten erforderlich, die bei sinkender Temperatur Probleme im Betrieb verursachen können, z. B. Zunahme der Viskosität, Übergang in einen festen Zustand, Entmischung von Bestandteilen, Ausfällung von Schwebstoffen, Zersetzung usw.

Es sind einige sehr zuverlässige Methoden verfügbar, um das System vor Einfrieren zu schützen und die Temperatur aufrecht zu erhalten: Hier wären die externe Rohrbegleitheizung mit „selbstlimitierenden“ elektrischen Heizelementen sowie eine Isolierung wie das Doppelrohrsystem AkathermThermoPlus zu nennen.

Ausführung einer externen selbstlimitierenden Rohrbegleitheizung

Kunststoffrohre schmelzen im Vergleich zu Metallrohren bereits bei relativ niedrigen Temperaturen: Bei entsprechend hohen Temperaturen können die Außenwände eines Kunststoffrohrs verkohlen oder verbrennen. Aufgrund dieser Eigenschaften kann als einzig wirksame Lösung nur eine selbstlimitierende Rohrbegleitheizung empfohlen werden: Durch automatische Anpassung der Wärmeleistung und Bereitstellung der erforderlichen Wärme kompensiert die Heizung Installations- und Betriebsvariablen wie Spannungsänderungen, Wärmesenken und Schwankungen der Umgebungstemperatur.

Die Selbstlimitierung erfolgt durch die Verwendung eines selbstlimitierenden Kabels mit einer halbleitenden Matrix, die aus einer Mischung aus Polymer und leitfähigem Kohlenstoff besteht und auf zwei Leiter extrudiert wird.

Zunächst wird diese Matrix bestrahlt, um ihre Struktur und einen Anfangsspeicher zu fixieren.

Die Kohlenstoffmoleküle bilden zwischen sich leitfähige Ketten, die als viele kleine elektrische Widerstände betrachtet werden können und parallel zwischen den beiden Leitern angeordnet sind; wenn die Leiter an einem Ende mit Strom versorgt werden und auf der gegenüberliegenden Seite des Stromkreises isoliert sind, fließt elektrischer Strom durch diese Widerstände und erzeugt Wärme.

Mit zunehmender Temperatur des Kabels dehnen sich die Polymermoleküle aus und brechen die Kohlenstoffketten auf, wie auf dem Foto zu sehen, wodurch die Leistung abnimmt.

Aufgrund der anfänglichen Bestrahlung hat die Matrix ihre ursprüngliche molekulare Struktur gespeichert, sodass das Phänomen reversibel ist: Wenn nämlich die Temperatur des Kabels sinkt, kehrt das Material wieder in seinen Ausgangszustand zurück.

Für die korrekte Auslegung eines Systems mit elektrischer Begleitheizung müssen einige Variablen bekannt sein, wie z. B. Auslegungstemperaturdifferenzspannung, Fläche, Umgebung und Gesamtröhlänge.



Anschließend empfehlen wir die folgende Vorgehensweise:

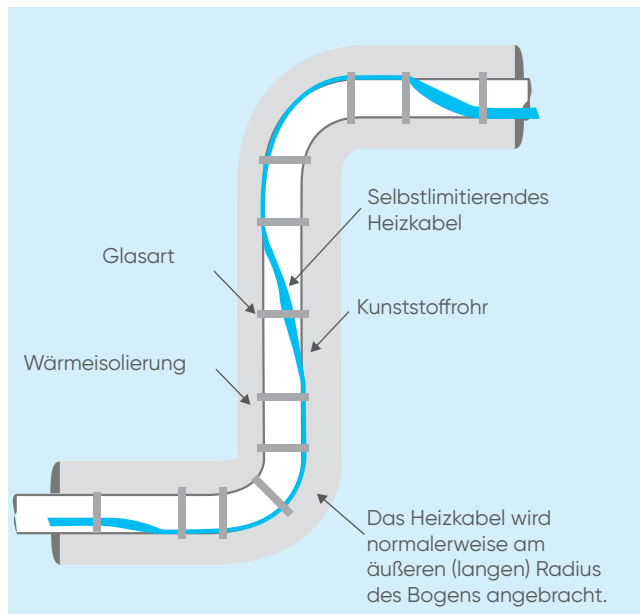
1) Wählen Sie die geeignete Heizung entsprechend der maximalen Aussetzungstemperatur und den gewünschten Wartungstemperaturen aus.

2) Wählen Sie die geeignete Heizung entsprechend den Wärmeleistungskurven für die jeweilige Heizung, so dass die Wärmeleistung bei der Haltetemperatur gleich oder größer ist als der Wärmeverlust.

3) Wenn der berechnete Wärmeverlust größer ist als die von der Heizung gelieferte Leistung, werden die folgenden Maßnahmen empfohlen:

- Verwenden Sie eine dickere Isolierung;
- Verwenden Sie Isolierung mit geringerer Wärmeleitfähigkeit;
- Verwenden Sie zwei oder mehr parallele Bänder;
- Verwenden Sie eine Leitungsbegleitheizung.

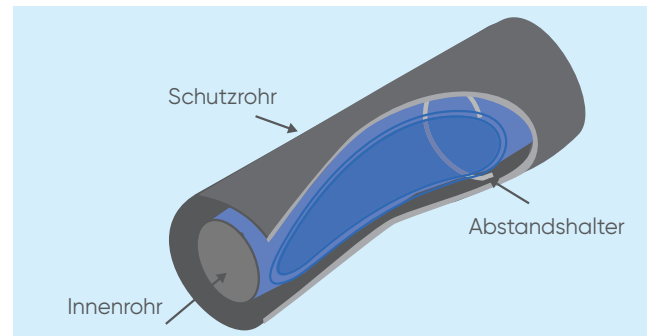
In der nebenstehenden Abbildung ist ein Beispiel für die Anbringung des Heizbandes an einem Rohr dargestellt.



AkathermThermoPlus

In der Regel werden Doppelrohrsysteme für den Transport von Flüssigkeiten oder gefährlichen Stoffen verwendet. AkathermThermoPlus ist ein Doppelrohrsystem, das auch einen Schutz vor Einfrieren und die Aufrechterhaltung einer bestimmten Temperatur im Inneren des Rohrs mit Hilfe eines Heizkabels ermöglicht.

Im Allgemeinen besteht ein Doppelrohr aus einem Schutzrohr, Abstandshaltern und einem Innenrohr, wie in der Abbildung dargestellt.

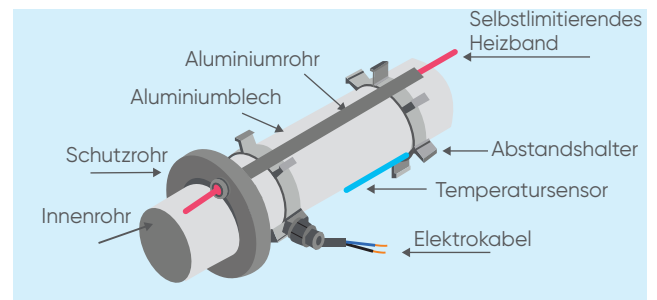


Das AkathermThermoPlus-Doppelrohrsystem ist je nach Endanwendung in drei verschiedenen Varianten erhältlich:



In der nebenstehenden Abbildung ist der innere Aufbau des Systems gut zu erkennen. Beachten Sie bitte, dass das Rohr aus PE-HD besteht.

AkathermThermoPlus kann in verschiedenen Anwendungsbereichen eingesetzt werden, beispielsweise in Industrie- und Chemieanlagen, in Kraftwerken, in Abwassersystemen oder in der Lebensmittelindustrie.



3.2.3 Verankern von Rohrleitungen

Für den ordnungsgemäßen Betrieb von Rohrleitungssystemen spielt das Verankern der Rohrleitungen eine wichtige Rolle. Um die Haltbarkeit des Rohrleitungssystems zu gewährleisten, muss ein Rohr nach einer angemessenen Spannweite gestützt werden.

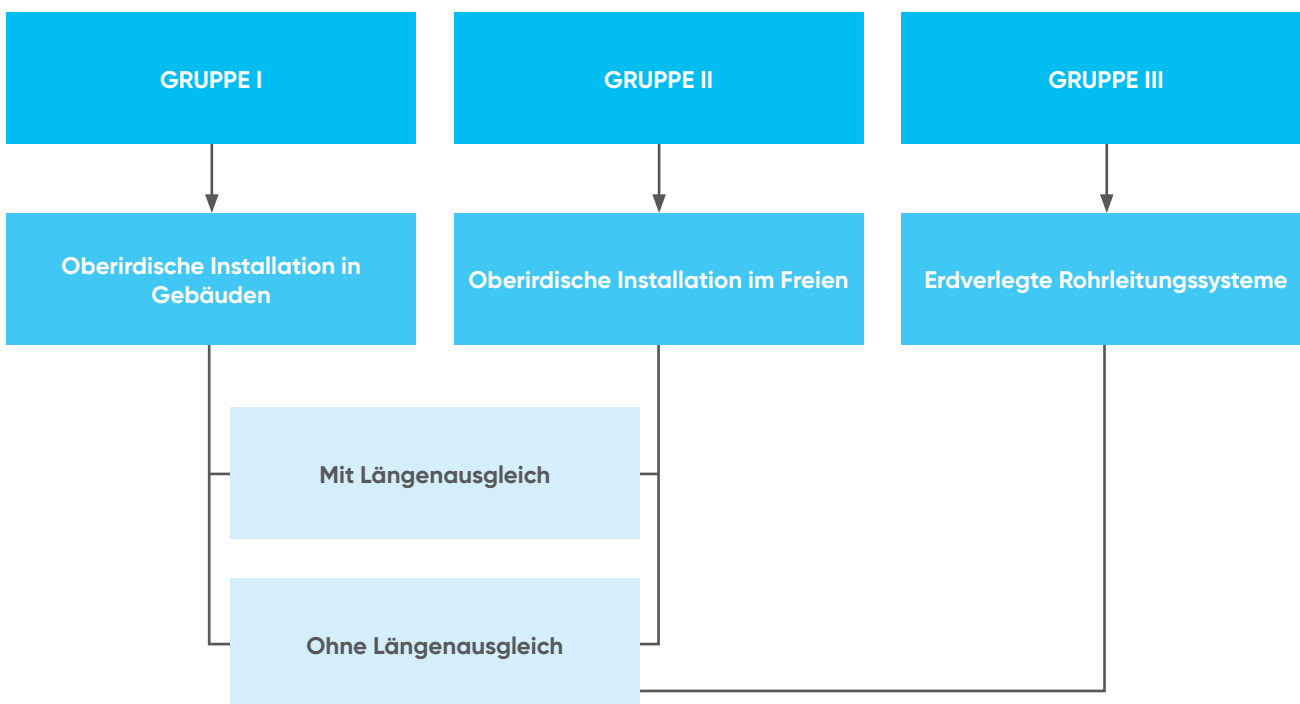
Rohrleitungen aus thermoplastischen Kunststoffen zeichnen sich durch einen hohen Wärmeausdehnungskoeffizienten und einen niedrigen axialen Elastizitätsmodul aus. Daher sind geeignete Stützsysteme erforderlich, um die durch das Gewicht der Rohre und Formstücke erzeugten dauerhaft einwirkenden Lasten zu tragen und die durch Temperaturschwankungen entstehenden mechanischen Spannungen aufzunehmen.

Die Auswahl der Abstützungsarten und ihrer Lage hängt von den Betriebsbedingungen und dem Verlauf der Rohrleitung sowie von den Beschränkungen ab, die sich aus den Spannungen und Bewegungen der Rohre ergeben.

Durch geeignete Rohrhalterungen müssen die durch Druck, Temperatur, Gewicht oder gelegentliche Ereignisse entstehenden Rohrleitungslasten von der Rohrleitung auf die Stützkonstruktionen übertragen werden.

Verlegesysteme für Kunststoffrohre

Bei der Planung und Verlegung von thermoplastischen Rohrleitungssystemen müssen stets die Materialeigenschaften berücksichtigt werden. Die Konstruktion eines zuverlässigen Rohrleitungssystems hängt von der professionellen Anwendung und Verarbeitung der Kunststoffe ab. Die folgenden Informationen dienen als Leitfaden, insbesondere für die Planungsseite. Die folgende Abbildung zeigt allgemeine Unterscheidungsmerkmale der Installationsverfahren für Rohrleitungssysteme aus Kunststoff.



Gruppe I und Gruppe II bilden die oberirdisch installierten Kunststoffrohrsysteme mit und ohne Längenausgleich innerhalb oder außerhalb von Gebäuden. Diese Systeme benötigen in der Regel eine Tragstruktur und werden beispielsweise in der chemischen Industrie, in Kläranlagen und im Schwimmbadbau eingesetzt. Sie erfordern in der Regel den größten Bearbeitungsaufwand.

Rohrleitungen der Gruppe III (erdverlegte Rohrleitungssysteme) sind beispielsweise Teil kommunaler Wassernetze. Ebenso häufig werden sie jedoch im Bereich der industriellen Abwassertechnik installiert. Aufgrund der Flexibilität von Kunststoffrohren sind die Kosten für Erdarbeiten niedriger als bei der Verlegung von Stahl-, Guss- oder Betonrohren.

Einbetonierte Rohrleitungen stellen eine besondere Form von erdverlegten Rohrleitungssystemen dar. Aufgrund der fehlenden oder eingeschränkten Zugänglichkeit für Wartungsarbeiten sollte diese besondere Verlegeform nur bei Schwerkraft- oder Dränagerohren mit geringer Belastung zum Einsatz kommen. Durch Einbetonieren wird ein flexibles Rohr zu einer starren Struktur ohne Biegefestigkeit, wodurch viele Vorteile von Kunststoffrohrsystemen zunichte gemacht werden.

3.2.3.1 Rohrleitungsstützen und Rohrhalterungen

Der Begriff Rohrhalterungen wird stets als Synonym für Rohrleitungsstützen verwendet.

Es gibt jedoch einen kleinen Unterschied zwischen Rohrhalterungen und Rohrleitungsstützen: Rohrleitungsstützen dienen zur Abstützung des Rohrleitungssystems durch Tragen der vertikalen Last, während Rohrhalterungen die Bewegungen des Rohrs begrenzen und so die horizontalen Lasten aufnehmen. Rohrleitungsstützen und Rohrhalterungen können zu Rohrträgersystemen kombiniert werden.

Rohrleitungsstützen

Rohrschellen haben die Aufgabe, alle Lasten einer Rohrleitung sicher aufzunehmen und sie auf ein Gebäude oder eine Unterkonstruktion zu übertragen. Aufgrund der begrenzten und temperaturabhängigen Festigkeit und Formstabilität von thermoplastischen Rohrleitungen sind die Anforderungen anders als Rohrleitungen aus Metall.

Beim Verlegen der Rohrleitung wird zunächst das Trägersystem installiert, das die Rohrleitungen aufnehmen soll. Diese Vorgehensweise vermeidet unnötige Hilfskonstruktionen und eine ungeeignete provisorische Anordnung; darüber hinaus bietet sie ein sicheres Installationsverfahren, das unzulässige Belastungen der Rohrleitung während der Installation weitgehend ausschließt.

Das umgekehrte Verfahren, wie z. B. die Anpassung der Stützen an bereits installierte und vorübergehend fixierte Rohre, ist nur in Ausnahmefällen zulässig, da die nachträgliche Installation der geplanten Stützen mit Einschränkungen verbunden sein kann, die die Betriebssicherheit der Rohrleitung beeinträchtigen. Bei größeren Rohrleitungen steigt die Gefahr des Versagens und dessen Folgen, wenn keine Beurteilung der Festigkeit von provisorischen Abstützungen stattfindet. Ein solches Verfahren ist daher nicht zulässig.

Grundsätzlich muss die Abstützung eines Rohrs nach ihrer Funktion klassifiziert werden.

Gleitlager (GL)

Das Gleitlager in einer horizontal verlegten Rohrleitung kann nur vertikal gerichtete Kräfte (Lasten) aufnehmen. Es soll vor allem einen möglichst geringen Widerstand gegen die betriebsbedingten Längenänderungen der Rohrleitung bieten. Die Bewegungsfreiheit muss sowohl in Längsrichtung des Rohres als auch quer zur Rohrachse gewährleistet sein.

Führungslager (FL)

Das Führungslager muss ein seitliches Gleiten der Rohrleitung verhindern. Es ist daher in der Lage, Querkräfte aufzunehmen und wird beispielsweise bei axial eingespannten Rohrabschnitten zur Vermeidung von Knickungen benötigt. Je nach Funktion kann das Führungslager in Richtung der Rohrachse fest oder beweglich sein. Ein Gleiten des Rohrs in der Schelle, als Ersatz für ein Führungslager mit Gleitschuh, ist eine unsichere Lösung und muss daher ausgeschlossen werden.

Festpunkt (FP)

Festpunkte sollen die Verschiebung einzelner Rohrabschnitte in jede Richtung verhindern. Sie dienen auch zur Aufnahme von Reaktionskräften bei Verwendung von Kompensatoren oder Gleit- und Steckhülsen. Festpunkte müssen so installiert werden, dass die Längenänderungen im Rohrleitungssystem den Kompensationselementen in Größe und Richtung zugeordnet werden können.

Horizontale Leitungen (HL)

Die Lage der Abstützungen für horizontale Rohrleitungen hängt von den bereits vorhandenen Strukturen ab, die für die Abstützung der Rohrleitungen zur Verfügung stehen, sowie von der Lage der konzentrierten Lasten, wie z. B. Armaturen und schwere Rohrleitungs-ausrüstungen. Hauptziel bei der Planung von Stützstellen ist die Minimierung von Biege- und Scherspannungen aufgrund statischer Belastungen. Der Abstand der Abstützungen richtet sich daher nach der zulässigen Gesamtspannung des Rohrs und nach dem vorgegebenen Wert der zulässigen Ablenkung zwischen den Stützen.

Um den Abstand zwischen den Abstützungen zu ermitteln, wird auf die Tabellen im nächsten Kapitel verwiesen.

Dieser Abstand ist je nach Rohrmaterial, Abmessungen und Temperaturen unterschiedlich.

Vertikale Leitungen (VL)

Steigleitungen oder vertikale Rohrleitungen können in denselben Führungsabständen wie horizontale Rohre verlegt werden. Es wird jedoch empfohlen, den Abstand zwischen benachbarten Führungen zu verringern, um eine Instabilität der Säulen zu verhindern.

Lage von Abstützungen

Bei einer Rohrleitung aus thermoplastischem Kunststoff kann die Lage der Abstützungen nicht nach vorher festgelegten Regeln bestimmt werden, da jedes Mal unterschiedliche technische Faktoren eine Lösung besser geeignet machen als eine andere.

Rohrabmessungen und -werkstoffe, Rohrleitungskonfigurationen, die Lage von Armaturen und Formstücken, das Vorhandensein von Befestigungen an Gebäuden oder anderen Strukturen, Quellen für Wärmeausdehnungen und Vibrationen, Überlastungen durch Erdbeben und Witterungseinflüsse können sich als verbindliche Faktoren erweisen, die der Konstrukteur berücksichtigen muss, um die richtige Position jeder einzelnen Abstützung zu bestimmen.

Daher sollen in diesem Abschnitt allgemeine Kriterien und Anregungen aufgezeigt werden, die den Konstrukteur bei seiner Projektierung unterstützen können.

Der folgende Abschnitt enthält spezifische Informationen zu den Stützabständen von Rohrklemmen für verschiedene Werkstoffe gemäß den DVS 2210-Normen.

Rohrklemmen

Die Verlegung von thermoplastischen Rohrleitungssystemen erfordert die Verwendung von Rohrklemmen, um eine Durchbiegung und die daraus resultierenden mechanischen Belastungen zu verhindern. Bei der Verlegung von Rohrleitungen müssen sowohl die Stützweiten als auch die Montageabstände berücksichtigt werden. Beide Begriffe beschreiben die Befestigung von Rohrleitungen mit dem Unterschied, dass zum einen die zulässige Durchbiegung der Rohrleitung und zum anderen das Knicken der Rohrleitung berücksichtigt wird.

Bei der Bestimmung der Stützweite anhand der zulässigen Durchbiegung wird die Rohrleitung als sogenannter Durchlaufträger betrachtet, bei dem nur die Endabschnitte (vor und nach dem Rohrbogen) flexibel sind.

Bei der Bestimmung der Stützweite anhand der zulässigen Knickung (Rohrstützweiten für eingespannte Rohrsysteme) muss die Kunststoffrohrleitung auf mögliche seitliche Knickung überprüft werden. Der kleinere der beiden ermittelten Stützweitenwerte definiert die einzuhaltende minimale Rohrstützweite.

Der Abstand zwischen den Rohrklemmen ist abhängig vom Rohrwerkstoff, vom Standardabmessungsverhältnis (SDR), von der Oberflächentemperatur und der Dichte des geförderten Mediums.

Überprüfen Sie vor der Installation der Rohrklemmen die in den Tabellen angegebenen Abstände, die den Richtlinien von DVS 2210-01 für Wasserleitungen entsprechen.

Aliaxis bietet vier Arten von Rohrklemmen an, die in der nächsten Tabelle aufgeführt sind.

Die Entscheidung zugunsten der einen oder anderen Variante hängt von mehreren Variablen ab, wie z. B. dem Werkstoff und dem DN-Bereich.

COBRA	MONOKLIP	FIP-GOEMA	ASTORE
			

3.2.3.2 Tabellen und Diagramme

Um Berechnungen zu vermeiden, können folgende Tabellen und Diagramme berücksichtigt werden, in denen die üblichen Stützweiten von thermoplastischen Rohren nach DVS 2210-1 angegeben sind. Sie basieren auf experimentell ermittelten Daten.

Stützweiten für Rohre aus PVC-U

Rohrgröße De (mm)	Nenndurchmesser DN	Rohrstützweite (LA) in mm bei Raumtemperatur (TR)				
		20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C
16	10	950	900	850	750	600
20	15	1100	1050	1000	900	700
25	20	1200	1150	1050	950	750
32	25	1350	1300	1250	1100	900
40	32	1450	1400	1350	1250	1000
50	40	1600	1550	1500	1400	1150
63	50	1800	1750	1700	1550	1300
75	65	2000	1900	1850	1700	1450
90	80	2200	2100	2000	1850	1550
110	100	2400	2250	2250	2050	1750
125	100	2550	2400	2400	2200	1850
140	125	2700	2600	2500	2300	1950
160	150	2900	2800	2700	2500	2100
180	150	3100	2950	2850	2650	2200
200	200	3250	3150	3000	2800	2350
225	200	3450	3300	3200	2950	2500
250	250	3650	3500	3350	3100	2600
280	250	3750	3700	3550	3300	2750
315	300	4100	3900	3750	3500	2950
355	350	4300	4200	4000	3700	3100
400	400	4600	4450	4250	3950	3300

 Hervorgehobener Bereich: SDR 13.6/S 6.3/PN 16.

 Sonstiger Bereich: SDR 21/S 10/PN 10.

Für unterschiedliche SDR-Werte multiplizieren Sie die Daten in der Tabelle mit den folgenden Faktoren:

- 1,08 für SDR 13.6/S6.3/PN16: Größenbereich De 25 - 400;
- 1,15 für SDR 11/S5/PN20: gesamter Größenbereich.

Dabei ist zu beachten, dass die Stützweite je nach transportiertem Stoff mit dem Faktor in der Tabelle multipliziert werden muss.

Werkstoff	PN	Transportierte Stoffe		
		Wasser	Sonstige	
			Dichte (g/cm³)	
		1	1,25	1,50
PVC-U	10	1	0,96	0,92
	16			
	20			

Stützweiten für Rohre aus PVC-C

Rohrgröße De (mm)	Nenndurchmesser DN	Rohrstützweite (LA) in mm bei Raumtemperatur (TR)							
		20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C
16	10	1000	950	900	850	750	675	600	500
20	15	1150	1100	1025	950	875	775	700	600
25	20	1200	1150	1100	1000	900	800	700	600
32	25	1350	1250	1200	1100	1000	900	800	700
40	32	1500	1400	1300	1250	1150	1050	900	800
50	40	1650	1600	1500	1400	1300	1200	1100	900
63	50	1850	1750	1650	1600	1500	1350	1250	1050
75	65	2050	1950	1850	1750	1650	1500	1350	1200
90	80	2250	2100	2000	1900	1800	1650	1500	1300
110	100	2500	2350	2200	2100	1950	1800	1650	1450
125	100	2650	2500	2350	2250	2100	1950	1750	1550
140	125	2800	2650	2500	2350	2200	2050	1850	1650
160	150	3000	2850	2700	2550	2400	2200	2000	1750
180	150	3150	3000	2850	2700	2500	2300	2100	1850
200	200	3350	3150	3000	2850	2650	2450	2200	1950
225	200	3550	3350	3200	3000	2800	2600	2350	2100
250	250	3750	3550	3350	3150	3000	2750	2500	2200
280	250	3950	3750	3550	3350	3150	2900	2650	2350
315	300	4200	4000	3750	3550	3350	3050	2800	2450
355	350	4450	4250	4000	3800	3550	3250	2950	2650
400	400	4750	4500	4250	4000	3750	3450	3150	2800

 Hervorgehobener Bereich: SDR 13.6/S 6.3/PN 16.

 Sonstiger Bereich: SDR 21/S 10/PN 10.

Für unterschiedliche SDR-Werte multiplizieren Sie die Daten in der Tabelle mit den folgenden Faktoren:

- 1,08 für SDR 13.6/S6.3/PN16: Größenbereich De 40 – 400;
- 1,12 für SDR 11/S 5/PN20: gesamter Größenbereich

Dabei ist zu beachten, dass die Stützweite je nach transportiertem Stoff mit dem Faktor in der Tabelle multipliziert werden muss.

Werkstoff	PN	Transportierte Stoffe		
		Wasser	Sonstige	
			Dichte (g/cm ³)	
		1	1,25	1,50
PVC-C	10	1	0,96	0,92
	16			
	20			

Stützweiten für Rohre aus ABS

Zusätzlich zu den DVS-Regeln für Polyvinylchlorid und Polyolefine empfiehlt unser Expertenteam für ABS diese folgenden Werte.

Rohrgröße De (mm)	Nenndurchmesser DN	Rohrstützweite (LA) in mm bei Raumtemperatur (TR)		
		20 °C	50 °C	60 °C
16	10	800	500	400
20	15	900	600	500
25	20	1000	700	600
32	25	1100	800	700
40	32	1200	900	700
50	40	1300	1000	700
63	50	1400	1100	800
75	65	1500	1200	800
90	80	1600	1200	900
110	100	1800	1300	1000
125	100	1900	1400	1000
140	125	2000	1500	1100
160	150	2100	1600	1200
200	150	2200	1700	1300
225	200	2300	1800	1500
250	250	2500	2000	1700
315	300	2900	2400	2100

Die Werte in der Tabelle beziehen sich auf Rohre der Klasse C in jeder Größe. Für die Größen 32 mm, 40 mm, 50 mm, 63 mm, 75 mm, 90 mm und 110 mm kann die Stützweite bei Rohren der Klasse E um 10 % vergrößert werden.

Wenn der transportierte Stoff ein spezifisches Gewicht von mehr als 1 aufweist, ist außerdem zu beachten, dass die Stützweite verringert werden muss, indem die empfohlenen Mittenabstände durch das spezifische Gewicht geteilt werden.

Stützweiten für Rohre aus PP-H

Rohrgröße De (mm)	Nenn Durchmesser DN	Rohrstützweite (LA) in mm bei Raumtemperatur (TR)						
		20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
16	10	650	625	600	775	550	525	500
20	15	700	675	650	625	600	575	550
25	20	800	775	750	725	700	675	650
32	25	950	925	900	875	850	800	750
40	32	1100	1075	1050	1000	950	925	875
50	40	1250	1225	1200	1150	1100	1050	1000
63	50	1450	1425	1400	1350	1300	1250	1200
75	65	1550	1500	1450	1400	1350	1300	1250
90	80	1650	1600	1550	1500	1450	1400	1350
110	100	1850	1800	1750	1700	1600	1500	1400
125	100	2000	1950	1900	1800	1700	1600	1500
140	125	2100	2050	2000	1900	1800	1700	1600
160	150	2250	2200	2100	2000	1900	1800	1700
180	150	2350	2300	2200	2100	2000	1900	1800
200	200	2500	2400	2300	2200	2100	2000	1900
225	200	2650	2550	2450	2350	2250	2150	2000
250	250	2800	2700	2600	2500	2400	2300	2150
280	250	2950	2850	2750	2650	2550	2450	2300
315	300	3150	3050	2950	2850	2700	2600	2450
355	350	3350	3250	3150	3000	2850	2750	2600
400	400	3550	3450	3350	3200	3050	2900	2750

Die Werte in der Tabelle entsprechen SDR 11/S 5/PN 10.

Bei senkrechtem Einbau des Rohrs kann der Abstand um 30 % erhöht werden.

Für unterschiedliche SDR-Werte multiplizieren Sie die Daten in der Tabelle mit den folgenden Faktoren:

- 0,91 für SDR 17.6/S 8.3/PN 6.

Dabei ist zu beachten, dass die Stützweite je nach transportiertem Stoff mit dem Faktor in der Tabelle multipliziert werden muss.

Werkstoff	PN	Transportierte Stoffe		
		Wasser	Sonstige	
		Dichte (g/cm ³)		
		1	1,25	1,50
PP-H	6	1	0,96	0,92
	10			

Stützweiten für Rohre aus PE-HD

Rohrgröße De (mm)	Nenndurchmesser DN	Rohrstützweite (LA) in mm bei Raumtemperatur (TR)				
		20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C
16	10	500	450	450	400	350
20	15	575	550	500	450	400
25	20	650	600	550	550	500
32	25	750	750	650	650	550
40	32	900	850	750	750	650
50	40	1050	1000	900	850	750
63	50	1200	1150	1050	1000	900
75	65	1350	1300	1200	1100	1000
90	80	1500	1450	1350	1250	1150
110	100	1650	1600	1500	1450	1300
125	100	1750	1700	1600	1550	1400
140	125	1900	1850	1750	1650	1500
160	150	2050	1950	1850	1750	1600
180	150	2150	2050	1950	1850	1750
200	200	2300	2200	2100	2000	1900
225	200	2450	2350	2250	2150	2050
250	250	2600	2500	2400	2300	2100
280	250	2750	2650	2550	2400	2200
315	300	2900	2800	2700	2550	2350
355	350	3100	3000	2900	2750	2550
400	400	3300	3150	3050	2900	2700

Die Werte in der Tabelle entsprechen SDR 17/S8/ PN10.

Bei vertikal verlegten Rohren können die Stützweiten mit 1,3 multipliziert werden.

Für unterschiedliche SDR-Werte multiplizieren Sie die Daten in der Tabelle mit den folgenden Faktoren:

- 0,91 für SDR 26/S 12,5/PN 6;
- 1,07 für SDR 11/S 5/PN 16.

Dabei ist zu beachten, dass die Stützweite je nach transportiertem Stoff mit dem Faktor in der Tabelle multipliziert werden muss.

Werkstoff	PN	Transportierte Stoffe		
		Wasser	Sonstige	
		Dichte (g/cm ³)		
		1	1,25	1,50
PE-HD	6	1	0,96	0,92
	10			
	16			

Stützweiten für Rohre aus PVDF

Rohrgröße De (mm)	Nenn Durchmesser DN	Rohrstützweite (LA) in mm bei Raumtemperatur (TR)								
		20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	100 °C	120 °C
16	10	725	700	650	600	575	550	500	450	400
20	15	850	800	750	750	700	650	600	500	450
25	20	950	900	850	800	750	700	675	600	500
32	25	1100	1050	1000	950	900	850	800	700	600
40	32	1200	1150	1100	1050	1000	950	900	750	650
50	40	1400	1350	1300	1200	1150	1100	1000	900	750
63	50	1400	1350	1300	1250	1200	1150	1100	950	800
75	65	1500	1450	1400	1350	1300	1250	1200	1050	850
90	80	1600	1550	1500	1450	1400	1350	1300	1100	950
110	100	1800	1750	1700	1650	1550	1500	1450	1250	1100
125	100	1900	1850	1800	1700	1650	1600	1500	1350	1200
140	125	2000	1950	1900	1800	1750	1700	1600	1450	1250
160	150	2150	2100	2050	1950	1850	1800	1700	1550	1350
180	150	2300	2200	2150	2050	1950	1900	1800	1600	1400
200	200	2400	2350	2250	2150	2100	2000	1900	1700	1500
225	200	2550	2500	2400	2300	2200	2100	2000	1800	1600
250	250	2650	2600	2500	2400	2300	2200	2100	1900	1700
280	250	2850	2750	2650	2550	2450	2350	2250	2000	1800
315	300	3000	2950	2850	2750	2600	2500	2400	2150	1900
355	350	3200	3100	3000	2850	2750	2650	2500	2250	2000
400	400	3400	3300	3200	3050	2950	2800	2650	2400	2100

 Hervorgehobener Bereich: SDR 21/S 10/PN 16

Sonstiger Bereich: SDR 33/S 16/PN 10

Für unterschiedliche SDR-Werte multiplizieren Sie die Daten in der Tabelle mit den folgenden Faktoren:

- 1,08 für SDR21/S10/PN16: Größenbereich De 63 – 400;
- 1,12 für SDR17/S8/PN20: gesamter Größenbereich.

Dabei ist zu beachten, dass die Stützweite je nach transportiertem Stoff mit dem Faktor in der Tabelle multipliziert werden muss.

Werkstoff	PN	Transportierte Stoffe		
		Wasser	Sonstige	
		Dichte (g/cm ³)		
		1	1,25	1,50
PVDF	10	1	0,96	0,92
	16			
	20			

Die folgenden Diagramme wurden aus den Rohrstützweitentabellen nach DVS 2210-1 erstellt.

Diagramm – Stützweiten für Rohre aus PVC-U

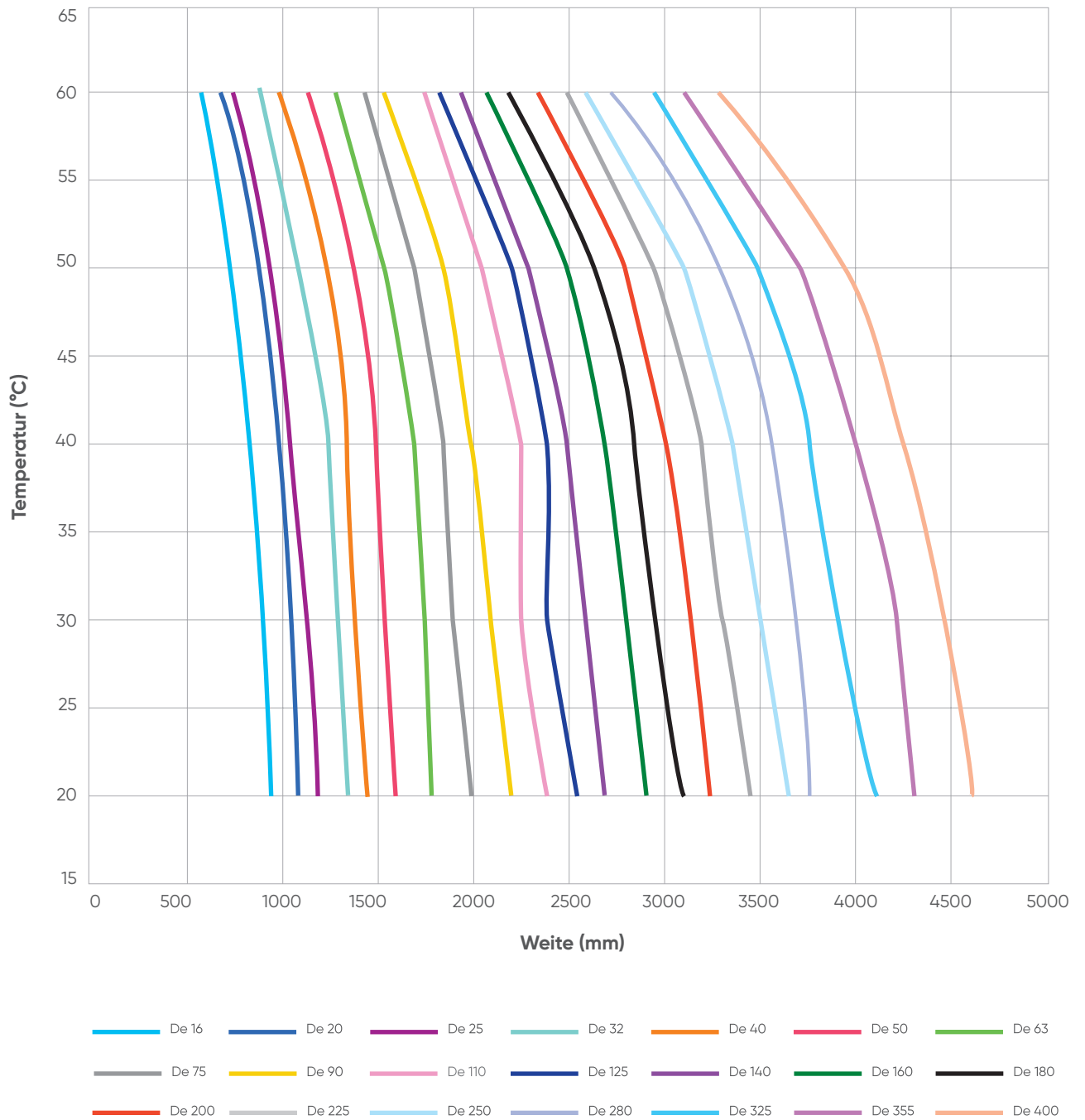
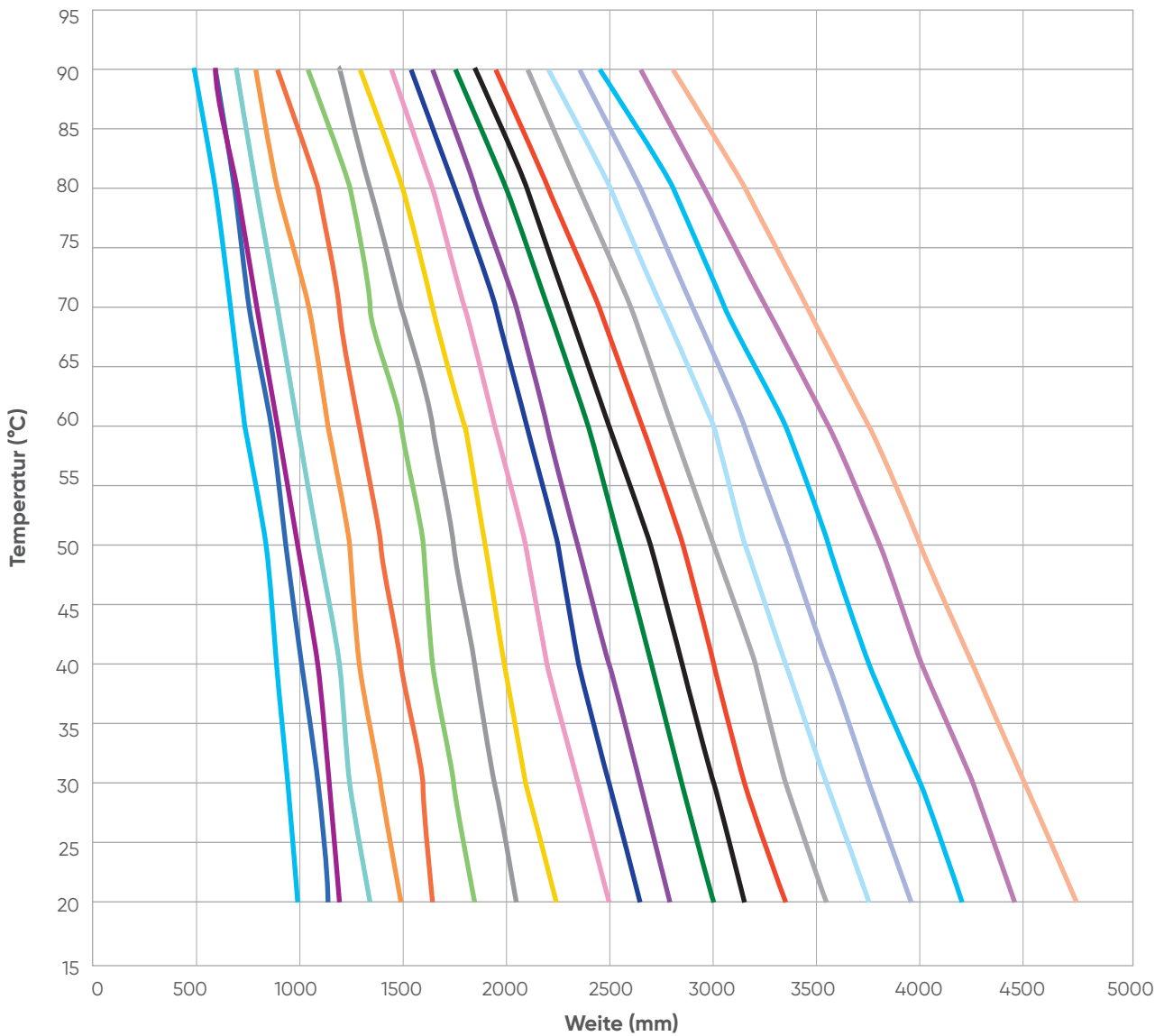


Diagramm – Stützweiten für Rohre aus PVC-C
























- | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|---|--|
|  De 16 |  De 20 |  De 25 |  De 32 |  De 40 |  De 50 |  De 63 |
|  De 75 |  De 90 |  De 110 |  De 125 |  De 140 |  De 160 |  De 180 |
|  De 200 |  De 225 |  De 250 |  De 280 |  De 325 |  De 355 |  De 400 |

Diagramm – Stützweiten für Rohre aus ABS

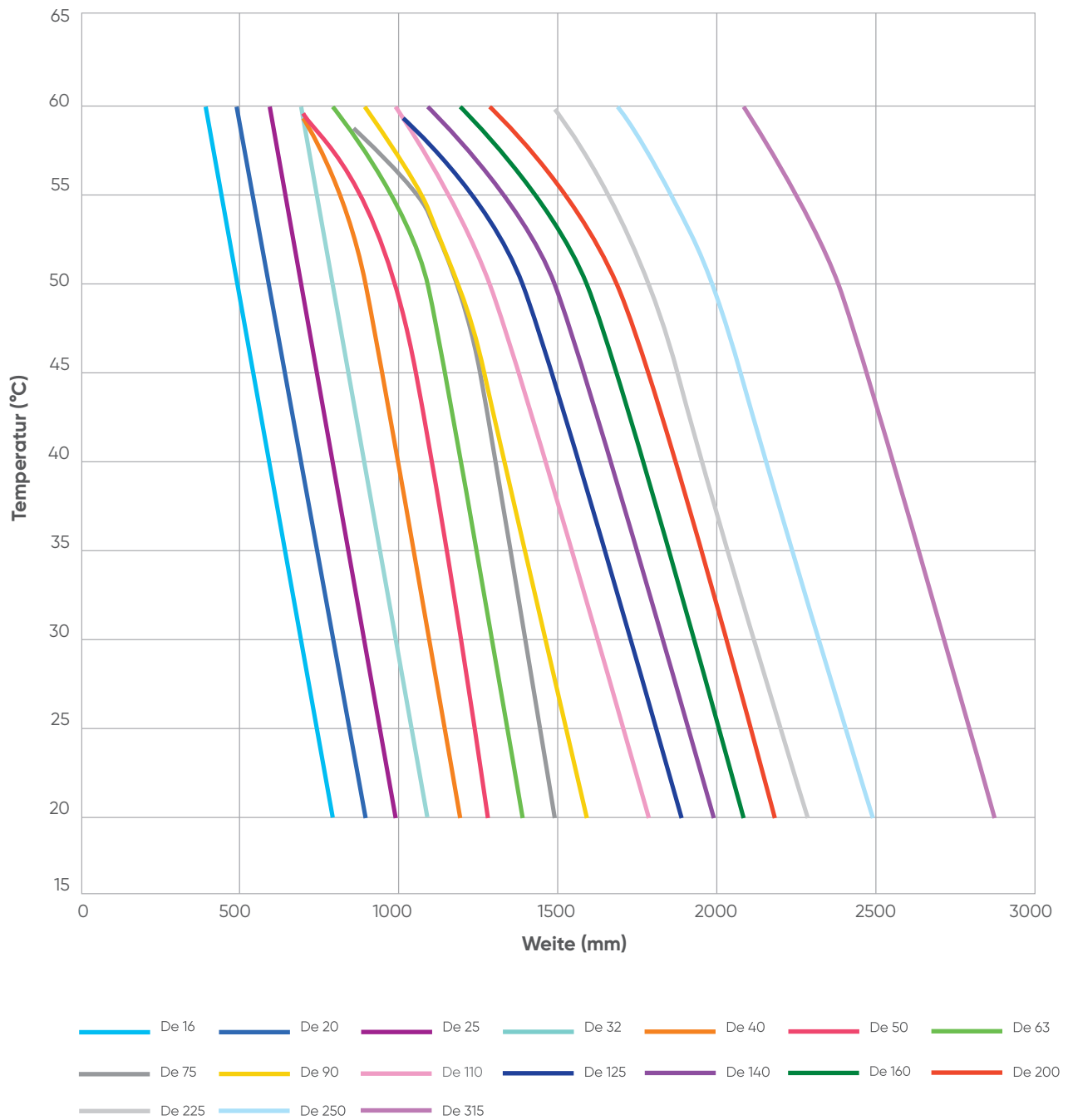
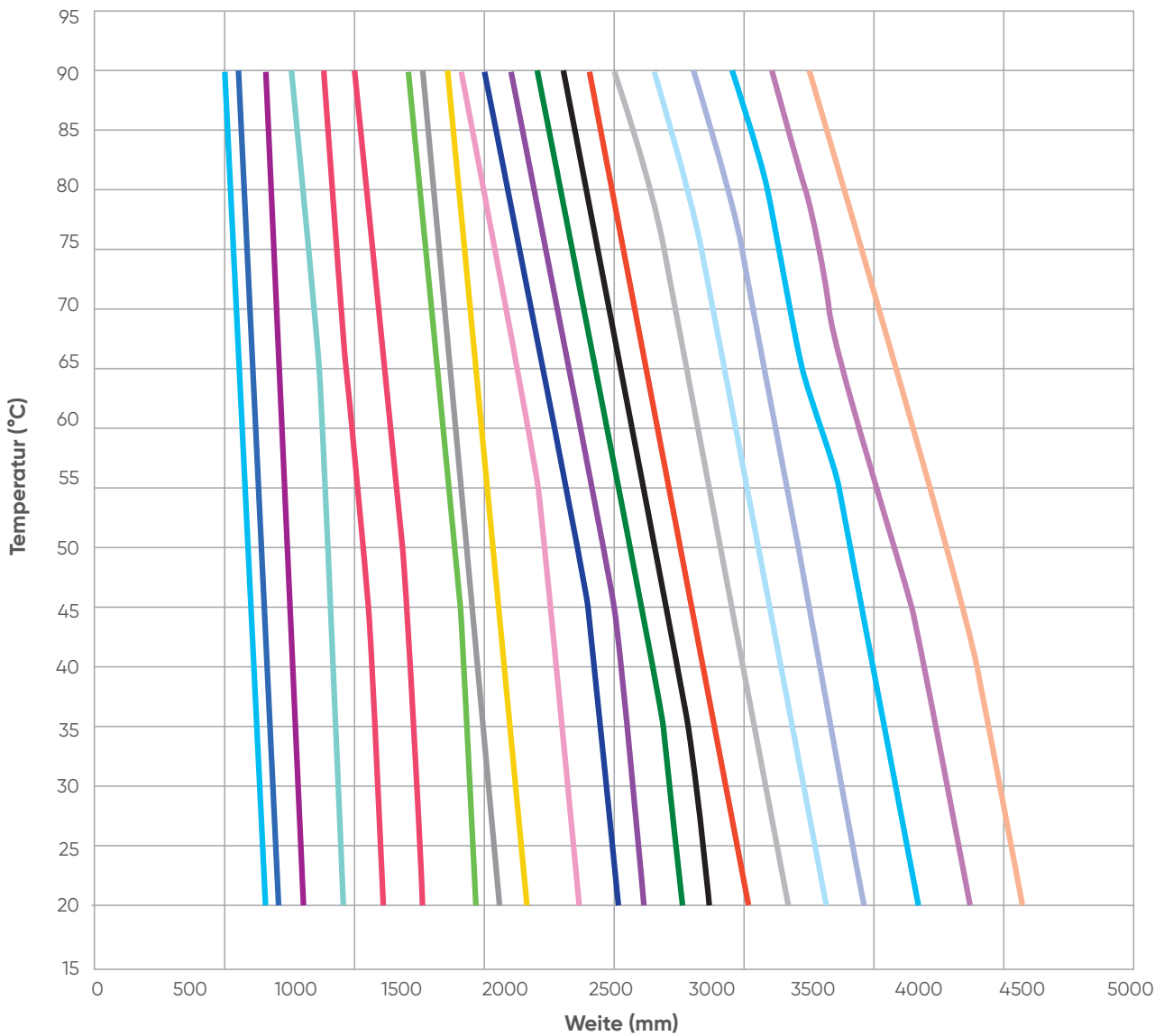


Diagramm – Stützweiten für Rohre aus PP-H
























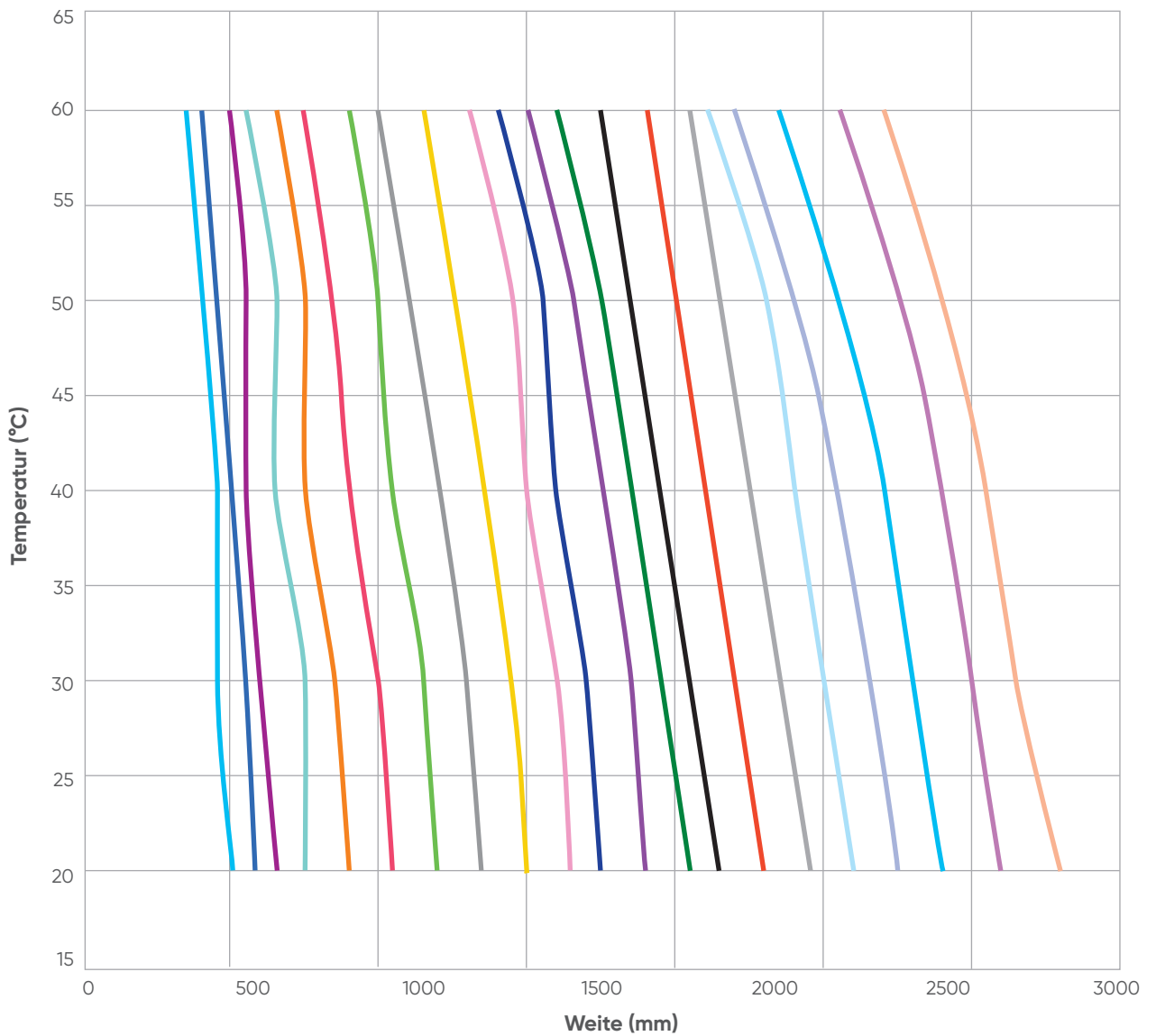
- | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|---|--|
|  De 16 |  De 20 |  De 25 |  De 32 |  De 40 |  De 50 |  De 63 |
|  De 75 |  De 90 |  De 110 |  De 125 |  De 140 |  De 160 |  De 180 |
|  De 200 |  De 225 |  De 250 |  De 280 |  De 325 |  De 355 |  De 400 |

Diagramm – Stützweiten für Rohre aus PE-HD
























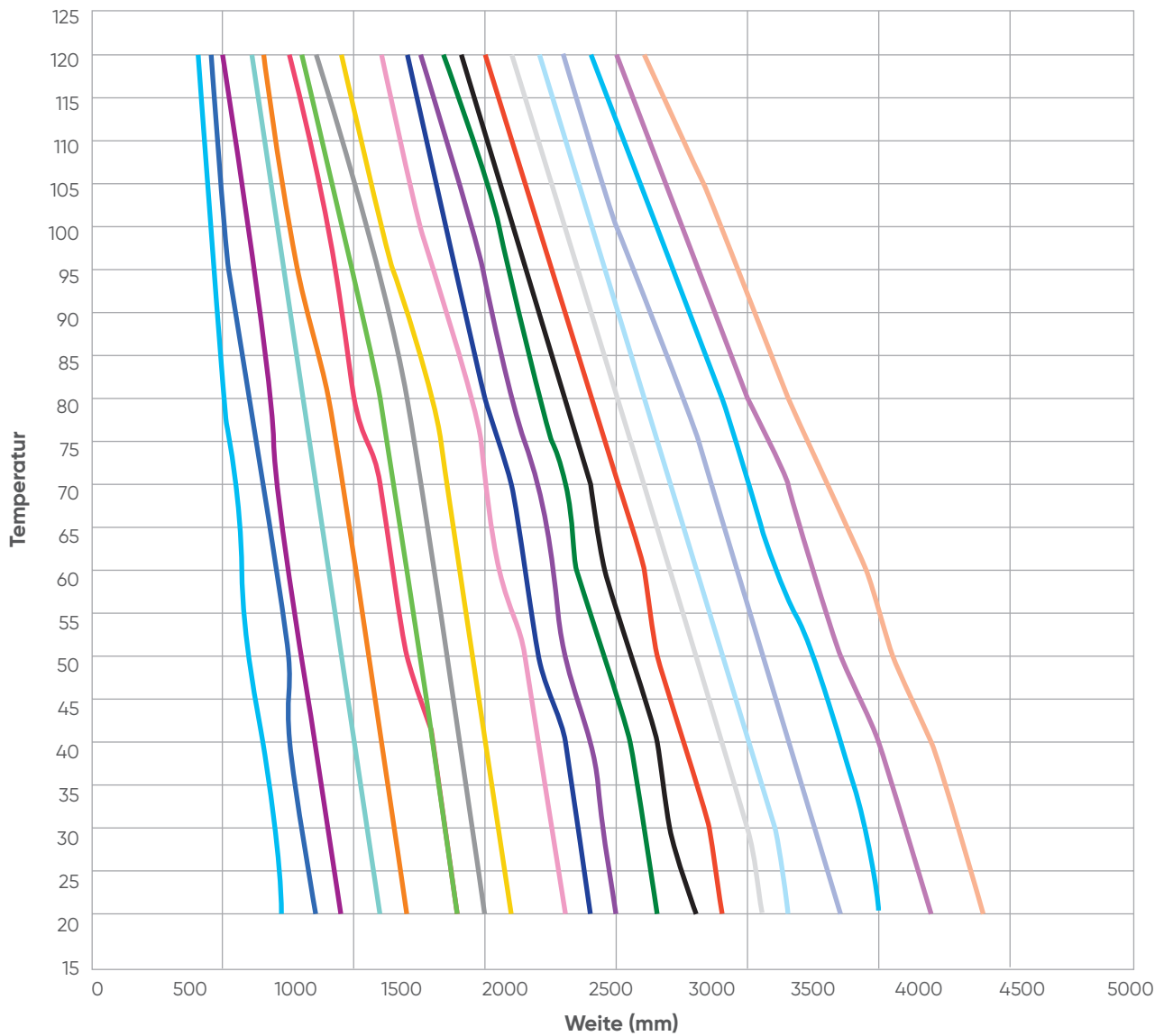
- | | | | | | | |
|--|--|--|--|---|--|--|
|  De 16 |  De 20 |  De 25 |  De 32 |  De 40 |  De 50 |  De 63 |
|  De 75 |  De 90 |  De 110 |  De 125 |  De 140 |  De 160 |  De 180 |
|  De 200 |  De 225 |  De 250 |  De 280 |  De 325 |  De 355 |  De 400 |

Diagramm – Stützweiten für Rohre aus PVDF



- | | | | | | | |
|---|---|---|--|--|---|--|
| — De 16 | — De 20 | — De 25 | — De 32 | — De 40 | — De 50 | — De 63 |
| — De 75 | — De 90 | — De 110 | — De 125 | — De 140 | — De 160 | — De 180 |
| — De 200 | — De 225 | — De 250 | — De 280 | — De 325 | — De 355 | — De 400 |

Werden Rohrleitungen so verlegt, dass eine axiale Ausdehnung aller oder einzelner Rohrstränge nicht mehr möglich ist (feste Klemmung der Rohrleitung), muss der berechnete Befestigungsabstand auf Knicksicherheit überprüft werden. Ist der berechnete Führungsabstand kleiner als die berechnete Stützweite, muss die Rohrleitung entsprechend dem kleineren Wert abgestützt werden.

Werden axial geklemmte Rohrleitungen bei erhöhten Temperaturen betrieben oder ist eine Verringerung des Kriechmoduls aufgrund chemischer Einflüsse zu erwarten, nimmt die Gefahr des Knickens zu. In diesen Fällen muss der ermittelte Führungsabstand um 20 % verringert werden. Die Werte in der nebenstehenden Tabelle sind als erhöhte Betriebstemperaturen zu betrachten.

Werkstoff	Temperatur (°C)
PE-HD	>45
PP-H	>60
PVC-U	>40
PVC-C	>80
PVDF	>100
ABS	>40

Abstützung von Armaturen

Ventile, ob manuell betätigt oder mit Antrieb, müssen bei vielen Anwendungen in geeigneter Weise abgestützt werden. Alle unsere Armaturserien VKD, VKR, TKD usw. sind daher mit einer integrierten Halterung ausgestattet, die eine direkte Verankerung des Armaturkörpers ohne weitere Komponenten ermöglicht.

Die spezielle integrierte Halterung an unserer VKD-Armatur ist in der nebenstehenden Abbildung dargestellt.

Für die Wandmontage können spezielle PMKD-Montageplatten verwendet werden, die als Zubehör erhältlich sind. Diese Platten sollten vor der Wandmontage an der Armatur befestigt werden. PMKD-Platten ermöglichen auch die Ausrichtung von VKD-Armaturen mit FIP GOEMA-Rohrklemmen sowie die Ausrichtung von Armaturen unterschiedlicher Größe.



3.2.4 Erdbau (unterirdisches System)

Alle erdverlegten Rohrleitungssysteme sind Kräfteinwirkungen von innen und außen ausgesetzt. Die von innen einwirkenden Kräfte hängen von den Anforderungen des zu transportierenden Mediums und den Materialeigenschaften des Rohrs ab. Hinsichtlich der von außen wirkenden Kräfte gelten thermoplastische Rohre als flexibel (sie können sich biegen, ohne zu brechen); die Kräfte werden von der Rohrwand und dem umgebenden Erdreich getragen. Anders ausgedrückt bilden Erdreich und Rohr eine integrale Struktur. Je nach den Belastungseigenschaften wird das Rohr entweder durchgebogen oder zusammengedrückt. Die von außen einwirkenden Kräfte, die bestimmt werden müssen, sind statisch und dynamisch.

Anforderungen an den Tiefbau

Das Verlegen von unterirdischen Rohrleitungen aus thermoplastischen Kunststoffen, insbesondere solchen mit Betriebstemperaturen über 40°C, erfordert die Anwendung eines an das Material und die Belastung angepassten Tiefbauverfahrens.

Ein wichtiger Faktor für die Betriebssicherheit von Rohrleitungen aus Kunststoff ist die umfassende Vereinbarkeit der Bauausführung mit den bei den rechnerischen Analysen ermittelten Annahmen, die insbesondere für die Einbettungszone gelten. Die Einhaltung des vorgeschriebenen Verdichtungsgrades in der Einbettungszone ist bei der Verwendung von flexiblen Rohren, wie solchen aus thermoplastischen Kunststoffen, eine wesentliche Voraussetzung für die Ausbildung eines Rohrsockel-Stützsystems.

Die folgenden Grundsätze für die unterirdische Verlegung von Rohrleitungen sollten als Ergänzung zu den allgemeinen Vorschriften betrachtet werden.

Rohrleitungsgräben

Rohrgräben müssen nach den Vorgaben der DIN EN 1610 und DIN 4124 „Baugruben und Gräben“ hergestellt werden. Die minimalen Grabenbreiten, abhängig von der Rohrnennbreite und der Grabentiefe, sind Referenzwerte, die an die Montage- und Rohrmontageverfahren angepasst werden müssen. Die Grabenbreite muss so bemessen sein, dass die für den sicheren Betrieb der Rohrleitung erforderlichen Arbeiten ordnungsgemäß und sicher durchgeführt werden können.

Grabentiefe

Thermoplastische Rohre neigen unter Belastung eher zur Durchbiegung als zu Rissen. Das Ausmaß der Durchbiegung lässt sich aus der Verlegetiefe, der Rohrsteifigkeit und der auf das Rohr einwirkenden Belastung (z. B. Boden, Verkehr) ableiten. Obwohl die maximal zulässige Durchbiegung 7,5 % bei einem Sicherheitsfaktor von 4:1 beträgt, tritt das kritische Beulen bei 30 % auf. Für eine gegebene Situation können die tatsächliche Durchbiegung und die Verlegetiefe berechnet werden.

Für weitere Details bezüglich der Verlegetiefe und der Abschätzung der Durchbiegung unter verschiedenen Bedingungen, wenden Sie sich bitte an den technischen Kundendienst von Aliaxis.

Grabenbreite

Der Bau und die Sicherung des Grabens, die Arbeiten im Graben und dessen Verfüllung müssen unter Berücksichtigung der EN 805, DIN 4124 und DIN EN 1610 bei Kanalgräben erfolgen. Darüber hinaus sind die Vorschriften für den Arbeitsschutz und etwaige zusätzliche Vorgaben des Planers zu berücksichtigen. Die Grabenbreite muss den Vorgaben in der statischen Berechnung für die Rohre entsprechen.

Grabensohle

Um das Rohr richtig zu stützen, sollte die Grabensohle durchgehend, relativ glatt und frei von Steinen sein. Wo Hartgestein oder Felsbrocken vorhanden sind, sollte die Grabensohle mit mindestens 100 mm Schotter oder Sand unter dem Rohr aufgefüllt werden. Gefrorenes Material darf weder zum Stützen noch zum Einbetten des Rohrs verwendet werden.

Bei instabilem Bodenmedium (z. B. organischem Material) sollte die Grabensohle ausgebaggert und mit geeignetem Material wieder auf das ursprüngliche Niveau gebracht werden.

Rohrbettung

Die untere Bettungsschicht (Rohraufleger im Rohrgraben) muss entsprechend der Schüttung eingeebnet, verdichtet und nivelliert und ggf. mit einem vorgegebenen Gefälle ausgeführt werden. Die Schichtdicke muss so bemessen sein, dass Unebenheiten in der Grabensohle unter keinen Umständen den Boden der Rohrleitung im eingebauten Zustand berühren können. Wird keine Verdichtung des Rohrauflegers vorgenommen, kann sich der Verdichtungsgrad der darüber liegenden Schüttung nachteilig auswirken.

Setzen des Rohrs

Die Rohre und Formstücke sollten mit Hilfe von Seilen und Kufen, Schlingen an einem Baggerlöffel oder von Hand in den Graben eingebracht werden. Rohr und Formstücke dürfen nicht in den Graben geworfen werden, da dies zu Schäden führen kann. Besondere Vorsicht bei der Handhabung von Rohren ist bei kaltem Wetter geboten, da das Material bei niedrigeren Temperaturen weniger schlagfest ist. Vergewissern Sie sich vor der Montage, dass alle Materialien in gutem Zustand sind.

Widerstand gegen Druckkräfte

Bei erdverlegten Druckrohren können Druckkräfte an jedem Punkt eines Rohrleitungssystems auftreten, an dem sich die Richtung oder die Querschnittsfläche des Wasserwegs ändert. Diese Kräfte müssen durch Betonwiderlager oder eine Betonummantelung reduziert werden. Dies kann erreicht werden, indem an jedem Punkt der Leitung, an dem Druckkräfte auftreten, Beton in entsprechend große Formen gegossen wird. Der Betonblock muss zwischen dem Formstück und dem unberührten natürlichen Erdreich an der Seite des Grabens platziert werden.

Diese Widerlager sind nicht erforderlich, wenn vollständig endlastfähige Rohrsysteme verwendet werden. Zum Beispiel Rohrsysteme, die geschweißt, heizwendelgeschweißt usw. sind.

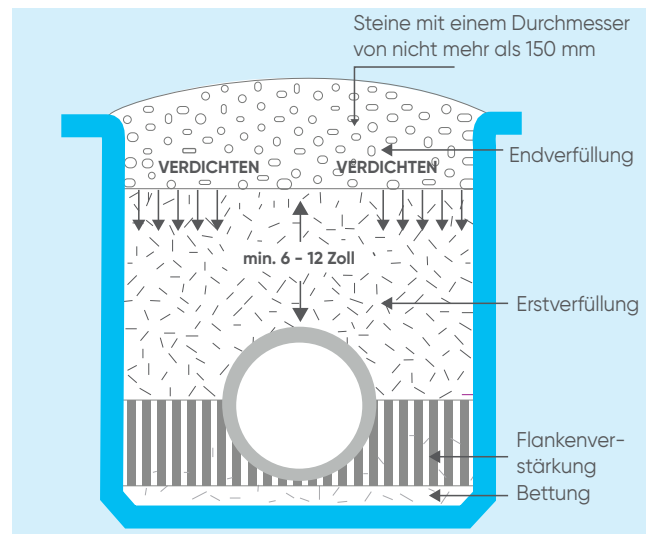
Grabentiefe M	Minimale Grabenbreite (m)
< 1,00	keine minimale Grabenbreite angegeben
≥ 1,00 bis ≤ 1,75	0,80
> 1,75 bis ≤ 4,00	0,90
> 4,00	1,00

Erstverfüllung

Bei der Erstverfüllung wird das Rohr bis zu einer Tiefe von 150 mm bis 300 mm mit geeignetem Verfüllmaterial bedeckt, das frei von Steinen, scharfen Gegenständen, Schutt oder Partikeln größer als 75 mm ist. Fügen Sie Schichten in 150 mm-Schritten hinzu und stellen Sie sicher, dass jede Schicht richtig verdichtet wird; setzen Sie das Verfüllen so lange fort, bis der Scheitel des Rohrs mit einer 150 mm bis 300 mm dicken Schicht bedeckt ist. Achten Sie darauf, dass alle Verbindungen für eine Sichtprüfung frei bleiben. Warten Sie, bis sich die Rohrleitungen gesetzt und die Abmessungen normalisiert haben, und prüfen Sie dann alle Verbindungen auf Dichtheit. Wenn die Rohrleitungen zufriedenstellend sind, wird die Erstverfüllung verdichtet.

Anmerkung 1: Achten Sie beim Verdichten darauf, dass die vertikale und horizontale Ausrichtung der Rohre nicht verändert wird.

Anmerkung 2: Bei heißem Wetter empfiehlt es sich, die Verfüllung in den kühleren Morgenstunden vorzunehmen, wenn die Rohrleitungen vollständig zusammengezogen sind, um eine unsachgemäße Verdichtung aufgrund der Ausdehnung der Rohre zu vermeiden.



Systemtests

Nach der Montage und Erstverfüllung muss das System auf Dichtheit geprüft werden. Beachten Sie, dass das Rohr ausreichend verfüllt sein muss, um jede Bewegung während der Prüfung zu verhindern.

Führen Sie eine Druckprüfung gemäß dem Prüfverfahren durch, das in diesem Handbuch unter Rohrleitungsprüfung erläutert wird. Wenn der Test bestanden wurde, kann das System abgedeckt werden. Falls nicht, führen Sie die erforderlichen Reparaturen durch und prüfen Sie das System erneut, bis es einwandfrei ist.

Als allgemeine Empfehlung für die unterirdische Verlegung von PVC-Rohren gilt, dass die Rohre niemals mit Beton ummantelt werden sollten. Durch Einbetonieren wird ein flexibles Rohr zu einer starren Struktur ohne Biegefestigkeit, wodurch viele Vorteile von Kunststoffrohrsystemen zunichte gemacht werden.

Verdichten der Endverfüllung

Die Endverfüllung ist das Material, das über die Erstverfüllung bis zur Oberkante des Grabens eingebracht wird. Verdichten Sie die Flankenverstärkung, die Erstverfüllung und die Endverfüllung mit manuellen Geräten gemäß den Bauzeichnungen. Beachten Sie die folgenden Vorsichtsmaßnahmen:

- Stellen Sie bei der Verwendung eines „selbstverdichtenden“ Materials, wie z. B. Schotter, sicher, dass sich das Material nicht unter dem Rohransatz wölbt oder eine Brücke bildet. Entfernen Sie solche Hohlräume mit der Spitze eines Spatens;
- Achten Sie beim Verdichten des Materials unter und neben dem Rohr darauf, dass das Werkzeug oder die Maschine nicht gegen das Rohr stößt;
- Wenn im Bereich der Flankenverstärkung eine Verdichtung von mehr als 85 % Standard-Proctordichte erforderlich ist, muss sichergestellt werden, dass das Rohr durch die Verdichtung nicht aus seiner korrekten Lage gebracht wird. Wenn sich das Rohr durch die Verdichtung verschiebt, verlegen Sie es wieder in seiner richtigen Lage;
- Um die strukturelle Festigkeit des Rohrs zu gewährleisten, braucht die Erstverfüllung direkt über dem Rohr nicht verdichtet werden. Dies kann jedoch erforderlich sein, um die Integrität der Fahrbahn zu gewährleisten;
- Bei der Verlegung langer Rohrleitungen bei hohen Lufttemperaturen ist es ratsam, die Arbeiten an einem festen Punkt zu beginnen, z. B. am Ein- oder Ausgang eines Gebäudes, und sich von diesem Punkt aus vorzuarbeiten, wobei die Prüfung und Verfüllung gemäß den vorangegangenen Absätzen erfolgt. Durch diese Vorgehensweise sollten die Rohrleitungen im Laufe der Arbeiten allmählich die Bodentemperatur annehmen.

Die Verlegung der Kunststoffrohrleitung direkt auf der Grabensohle ist nur dann zulässig, wenn feinkörniger Sandboden vorgefunden wird und eine gleichmäßige Lagerung über die gesamte Rohrtrasse gewährleistet ist. Für den Einbau von Kunststoffrohrleitungen mit besonderen Eigenschaften (z.B. mit reduzierter Rissempfindlichkeit oder zusätzlichen Schutzschichten) gelten die Vorschriften der jeweiligen Systemhersteller.

Die Dicke der Standardbettungsschicht muss im verdichteten Zustand ≥ 10 cm betragen. Bei felsigen oder festen Grabensohlen muss die Dicke der Bettungsschicht auf ≥ 15 cm erhöht werden. Vor und während des Einbaus der Rohrleitung muss die Bettungsschicht auf Steinfreiheit überprüft werden.

Einwirkung von Lasten auf erdverlegte Rohrleitungen

Bei der Bemessung von erdverlegten Kunststoffrohrleitungen muss zwischen inneren Lasten (die während des Betriebs entstehen) und äußeren Lasten (die aus der Installationsumgebung stammen) unterschieden werden. Bei einer Gesamtanalyse ist die mechanische, thermische und chemische Belastung des Rohrsystems zu berücksichtigen. Gegebenenfalls sind bei mathematischen Überlegungen die im Bau- und Prüfzustand auftretenden Belastungen zu bewerten.

Je genauer die angenommenen Lasten sind, desto sicherer und wirtschaftlicher kann die Bemessung der Rohrleitung erfolgen.

Dies gilt insbesondere für Rohrleitungskomponenten aus Kunststoff. Grobe oder ungenaue Daten führen dazu, dass ungünstige Lastkombinationen für die Berechnung verwendet werden, was zu einer Überdimensionierung führen kann. Eine andere Möglichkeit besteht darin, dass bei nicht exakter Wiedergabe einer Lastgröße die Stabilität der Kunststoffrohrleitung beeinträchtigt werden kann.

Die Belastungskomponenten in einer erdverlegten Kunststoffrohrleitung können sowohl einzeln als auch gemeinsam auftreten und kurzfristige oder langfristige Auswirkungen haben. In der Regel handelt es sich um eine Belastungsmischung, bei der eine Last dauerhaft aufgebracht wird und diese zusammen mit wiederkehrenden Zusatzlasten oberflächlich betrachtet werden muss.

Die folgende Tabelle gemäß DVS 2210-3 zeigt, welche Belastungen bei der Projektierung und Bemessung von erdverlegten Kunststoffrohrleitungen berücksichtigt werden müssen.

Belastungsübersicht, Variablen und Auswirkungen

Art der Last	Variablen und Einflüsse
Belastungen durch Erdreich und Verkehr	Abhängig von der Einbautiefe über der Rohrspitze
Eigengewichte und Füllgewichte	Geringerer Einfluss als bei oberirdischen Rohrsystemen
Grundwasserbelastung	Abhängig vom Grundwasserspiegel über dem Rohrboden
Mechanische Belastungen durch falsche Rohrverlegung in der Einbettungszone (z. B. durch Steine, Kanthölzer, Fremdkörper usw.)	Verbunden mit örtlicher Verformung des Rohres und Gefahr der Rissbildung, abhängig von der Materialstruktur
Belastungen durch Über- oder Unterdruck	Allgemeine Belastung durch den Betrieb der Rohrleitung
Thermische Spannungen	Mit thermischen Spannungen verbunden, wenn die Betriebstemperatur $T_B > 20^\circ\text{C}$ beträgt und starken Schwankungen unterliegt
Belastung durch das transportierte Medium	Einige transportierte Medien können zu Veränderungen der Materialeigenschaften von Kunststoffen führen (z. B. Festigkeitsabnahme durch Einwirkung von Lösungsmitteln).

Belastungen durch Erdreich und Verkehr

Von oben auf das Rohr einwirkende Belastungen durch Erdreich, Verkehr und sonstige Oberflächenlasten erzeugen Biege- und Druckspannungen in der Rohrwand. Es muss unterschieden werden, ob diese nur kurzfristig (z. B. in der Bauphase) oder dauerhaft vorhanden sind.

Weiterhin wird der bei der Montage vorhandene kreisförmige Rohrquerschnitt durch die aufgebrachten Belastungen dauerhaft verformt. Die Größe der Spannungen und Verformungen hängt von der Qualität der Aushubarbeiten bei der Installation der Rohrleitung innerhalb der Einbettungszone ab.

Im Allgemeinen gilt: Je geringer die Stützwirkung des umgebenden Erdreichs, desto größer die Belastung und Verformung im Rohrquerschnitt. Dementsprechend ist einer korrekten Installation besondere Bedeutung beizumessen.

Belastungen durch Grundwasser

Eine weitere Größe neben den oben genannten Belastungen ist der Einfluss des Grundwassers. Sofern der Grundwasserspiegel über den Rohrboden ansteigen kann, müssen die Auswirkungen in Form einer Stabilitätsberechnung untersucht werden. Die Rohrleitung muss eine ausreichende Knickfestigkeit gegenüber den von außen einwirkenden Drücken (Überlagerung von Erd-, Verkehrs- und Flächenlasten und Grundwassereinfluss) aufweisen.

Betriebslasten

Betriebslasten können sowohl durch inneren Über- oder Unterdruck als auch durch die Temperatur und Art des Fördermediums entstehen. Von außen einwirkende Belastungen durch Erdreich und Verkehr sowie die im Rohr selbst vorhandene Betriebsdruckbelastung müssen im Rahmen der statischen Berechnungen überlagert werden (Überlagerungseffekt).

Die in den für das Rohr geltenden grundlegenden Normen aufgeführten Betriebsüberdrücke in Abhängigkeit von der Betriebstemperatur und Betriebsdauer geben Auskunft über die Innendruckbelastbarkeit der Kunststoffrohrleitung. Bei der Bemessung ist es wichtig, den maximal zulässigen Betriebsdruck (Maximum Operating Pressure, MOP) jedes einzelnen Rohrleitungselements zu berücksichtigen, der bei Rohren und segmentierten Formen unterschiedlich sein kann.

Bei Formteilen aus Rohr (Segmentbögen, Abzweige mit geschweißten Einlaufstutzen) kommt es durch verfahrensbedingte und/oder geometrische Einflüsse zu einer Reduzierung der in den Grundnormen angegebenen Innendruckbelastbarkeit.

Eine weitere deutliche Verringerung der Innendruckbelastbarkeit von Kunststoffrohrleitungen gegenüber den in den Rohrgrundnormen angegebenen Daten ergibt sich aus den Einflüssen des transportierten Mediums auf das Kriechverhalten des jeweiligen Kunststoffs.

3.3 Rohrleitungsprüfung vor Ort

Nach der Installation jeder Rohrleitung und vor deren Inbetriebnahme wird eine Druckprüfung durchgeführt.

Zweck der Druckprüfung ist es, die verschiedenen Grenzen der Rohrleitung zu untersuchen, um ihre Zuverlässigkeit, maximale Kapazität, Undichtigkeiten, Anschlussarmaturen und Drücke zu verstehen, da sie ansonsten nicht in Betrieb genommen werden kann.

Die bei der Druckprüfung gewonnenen Erkenntnisse tragen zur Aufrechterhaltung der Sicherheitsstandards und Instandhaltung der Rohrleitung bei.

Allgemeine Empfehlungen sind unter den folgenden Überschriften zusammengefasst:

- Vorbereitung der Prüfung;
- Prüfdrücke;
- Durchführung der Prüfung;
- Auswertung der Ergebnisse.

Vorbereitung der Prüfung

1) Rohrleitungssysteme sollten in Abschnitten, die dem Durchmesser und den Standortbedingungen entsprechen, hydraulisch geprüft werden.

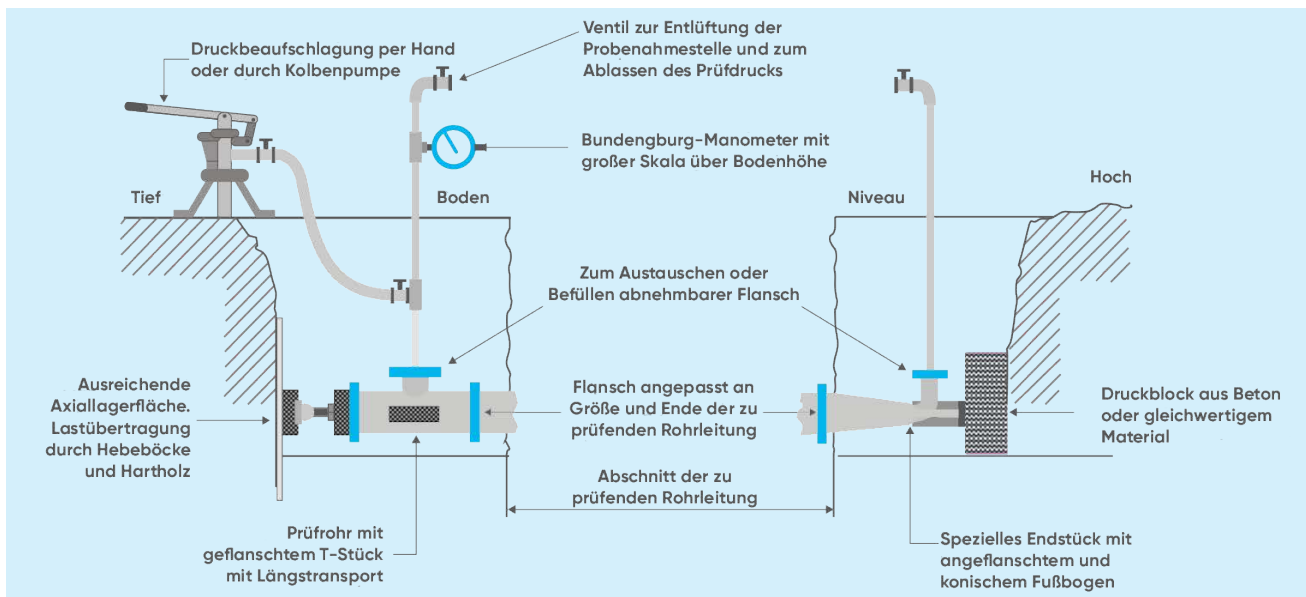
2) Die Prüfung sollte vorzugsweise zwischen Blindflanschen durchgeführt werden. Die Enden der zu prüfenden Rohrleitung können durch entsprechende Flanschmuffen oder Schraubflanschadapter angepasst werden.

Die Blindenden sollten nach Bedarf gebohrt und mit einem Gewinde versehen werden, um die erforderlichen Ein- und Auslassanschlüsse herzustellen.

Die Enden der Hauptleitung und alle Zweigverbindungen sollten so verstrebt und verankert sein, dass sie den Druckstößen durch die Prüfdrücke angemessen standhalten.

3) Die Verankerungsstützen oder -streben müssen eine ausreichende Festigkeit aufweisen und korrekt ausgerichtet sein.

Typische Prüfaufbauten für Druckprüfungen sind in der folgenden Abbildung dargestellt.



4) Die Prüfung sollte erst dann erfolgen, wenn der für die Verankerung verwendete Beton ausgehärtet ist und die erforderliche Festigkeit erreicht hat. Lösungsmittelgeschweißte Verbindungen müssen mindestens 24 Stunden aushärten, bevor sie den Prüfbedingungen ausgesetzt werden.

5) In der Regel hängt es von den örtlichen Gegebenheiten ab, ob alle Verbindungen freiliegen können. Wann immer möglich sollten die Verbindungen während des gesamten Prüfzeitraums freiliegen.

Es ist wichtig, um und über dem Hauptrohr eine ausreichend verdichtete Verfüllung zu gewährleisten, um zu verhindern, dass sich das Rohr verschiebt und um während des Prüfzeitraums stabile Temperaturen zur Verfügung zu stellen.

6) Nach Möglichkeit sollte sich die Prüf-/Messstelle am tiefsten Punkt des Rohrleitungsprofils befinden, um das Ausströmen von Luft beim Füllen der Rohrleitung zu begünstigen.

An dieser Stelle wird in der Regel die maximale Druckhöhe registriert, so dass sich die Abgabe von Testwasser leichter kontrollieren lässt. An allen hohen Punkten entlang der Rohrleitung sollten geeignete Entlüftungsvorrichtungen angebracht werden.

7) Prüfenden sollten so gestaltet sein, dass sie das gemessene Befüllen und anschließende Entleeren der Rohrleitung ermöglichen.

Blindflansche, Prüfleitungen oder Endkappen sollten mit den entsprechenden Abgriffen zum Anschluss der erforderlichen Druckmesser und der zugehörigen Ausrüstung ausgestattet sein.

An jedem Ende des Prüfabschnitts ist eine Entlüftung vorzusehen.

8) Die von Hand oder mechanisch betriebenen Vorrichtungen zur Druckbeaufschlagung sollten ausreichend groß und robust sein und Anschlüsse geeigneter Bauart aufweisen, um die erforderlichen Prüfdrücke aufzubringen und zu halten.

Alle Dichtungen und alle Rückschlagventile sollten vor der Prüfung überprüft werden.

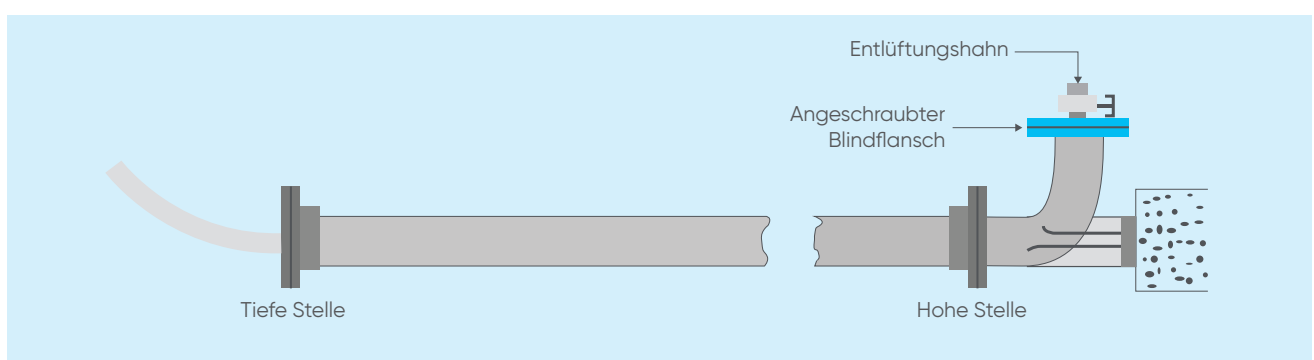
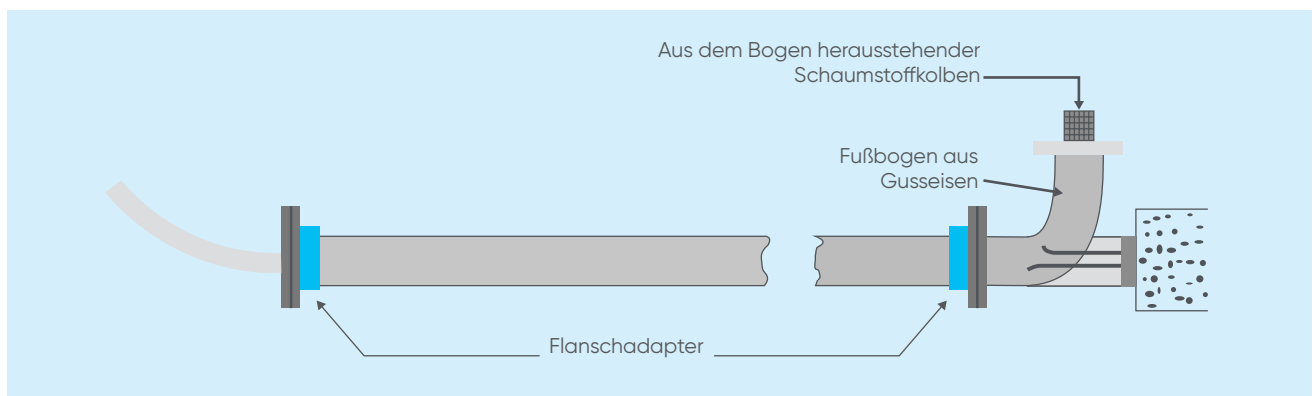
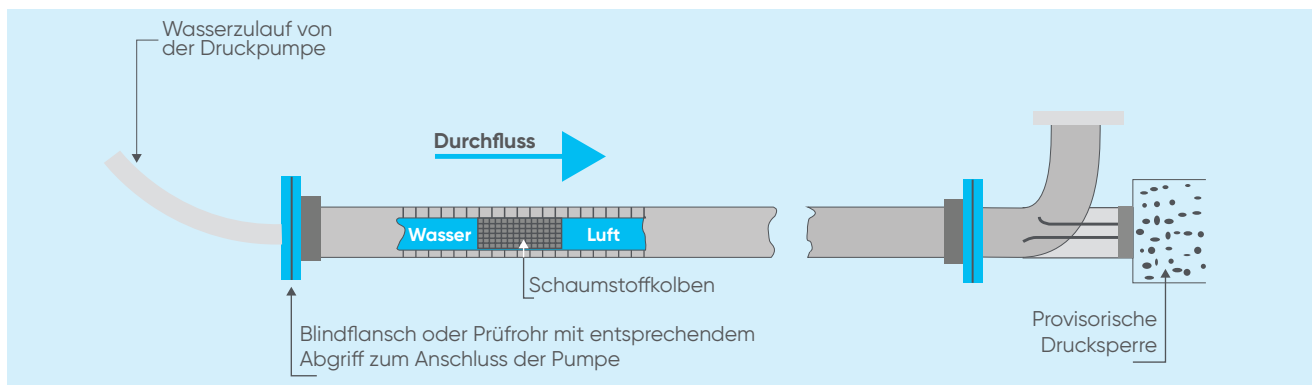
Es wird empfohlen, automatische Druckaufzeichnungsgeräte zu verwenden.

9) Vor dem Befüllen der Rohrleitung sind alle Leitungsventile und Entlüftungssysteme auf ihre Offenstellung zu prüfen.

Es sollte jede notwendige Maßnahme ergriffen werden, um die gesamte Luft aus der Hauptleitung zu entfernen.

In einigen Fällen hat sich die Verwendung eines festen Schaumstoffkolbens vor der Wassersäule als hilfreich erweisen.

Dieser Vorgang ist in der folgenden Abbildung schematisch dargestellt.



10) Wenn das System für Trinkwasser vorgesehen ist, sollte das Prüfmedium Trinkwasser sein.

Es ist wichtig, eine Rohrleitung langsam zu befüllen, wobei die Füllgeschwindigkeit von den Möglichkeiten abhängt, die der Luft zur Verfügung stehen, um mit gleichem Volumenstrom zu entweichen.

Nachdem sichergestellt ist, dass die Rohrleitung vollständig gefüllt ist, sollten alle Entlüftungsöffnungen verschlossen werden.

Automatische Luftventile dichten sich unter Druck selbst ab, aber ihre Funktion und ihr Sitz sollten im Rahmen der Prüfung überprüft werden.

11) Während des Füll- und Druckbeaufschlagungsvorgangs ist mit einer Reihe kleinerer Bewegungen in der Rohrleitung zwischen den Verankerungspunkten zu rechnen, die auf einen oder mehrere der folgenden Faktoren zurückzuführen sind:

- Das Gewicht des Rohrs nimmt beim Befüllen zu, was zu einer geringfügigen Anpassung am Übergang zwischen Erdreich/Rohr führt;
- Kleinere Maßänderungen und eine Tendenz der Rohrleitung, sich unter Druck zu begradigen;
- Thermische Bewegung aufgrund von Temperaturunterschieden an den Grenzflächen Wasser/Rohr/Erdreich.

12) Die gesamte Rohrleitung sollte daher eine Zeit lang unter Nenn- oder Betriebsdruck stehen, um sich zu stabilisieren.

Planen Sie dafür selbst bei kleinsten Rohrleitungen mindestens 2 bis 3 Stunden ein.

Prüfdrücke

Die hydrostatische Prüfung muss die folgenden Bedingungen erfüllen:

- Sie muss bei Umgebungstemperatur durchgeführt werden;
- Sie muss mindestens 1 Stunde, jedoch nicht länger als 24 Stunden dauern;
- Sie darf das 1,5-fache des maximalen Nenndrucks des am niedrigsten bewerteten Bauteils nicht überschreiten.

Diese letzte Empfehlung wird auf unterschiedliche Weise interpretiert, denn die Anforderungen an den Prüfdruck reichen vom strengen 1,5-fachen des Rohrleitungs-nenndrucks PN bis zum 1,5-fachen des tatsächlichen Betriebsdrucks, also dem Dauerdruck, der im System ohne Druckstoß aufrechterhalten wird.

Daher sollte der empfohlene Prüfdruck der größere der folgenden Werte sein:

- Nenndruck PN des Rohrleitungssystems (niedrigster PN eines jeden Bauteils);
- Das 1,5-fache des tatsächlichen Betriebsdrucks (sollte den Nenndruck PN plus 5 bar nicht überschreiten)

Durchführung der Prüfung

Vor Beginn der Innendruckprüfung sind die folgenden Punkte zu überprüfen:

- Wurde der Einbau nach den vorliegenden Plänen vorgenommen?
- Sind alle Druckentlastungsvorrichtungen und Klappensperren in Durchflussrichtung montiert?
- Sind alle Endventile geschlossen?
- Sind die Armaturen vor anderen Geräten zum Schutz vor Druck geschlossen?
- Wurde eine Sichtprüfung aller Verbindungen, Pumpen, Messgeräte und Tanks durchgeführt?
- Wurde nach dem letzten Schweißen/Kleben die vorgeschriebene Wartezeit eingehalten?

Nach einer ausreichenden Zeit zur Stabilisierung der Hauptleitung kann die Druckprüfung kontinuierlich durchgeführt und die Rohrleitung vom geodätischen Tiefpunkt aus gemäß der folgenden Vorgehensweise befüllt werden:

1) Die Druckbeaufschlagung kann über eine hand- oder motorbetriebene Pumpe erfolgen; dabei sollten die Manometer während des gesamten Vorgangs beobachtet und die Geschwindigkeit des Druckanstiegs aufgezeichnet werden.

2) Der Druck muss so lange erhöht werden, bis der angegebene Prüfdruck an der untersten Stelle des Abschnitts erreicht ist.

Der Druck wird, gegebenenfalls durch zusätzliches Pumpen, eine Stunde lang auf diesem Wert gehalten.

Danach werden alle Armaturen geschlossen und die Pumpe abgeschaltet. Während einer weiteren Stunde darf kein Wasser mehr in den zu prüfenden Abschnitt eingeleitet werden.

3) Die folgenden Messwerte müssen während der Prüfung konsistent aufgezeichnet werden:

- Innendruck am absoluten tiefsten Punkt der Rohrleitung;
- Temperatur des Mediums und der Umgebung;
- Eingangsvolumen des Wassers;
- Ausgangsvolumen des Wassers;
- Druckabfallwerte;
- Sichtprüfung der Verbindungen und Anschlüsse des zu prüfenden Abschnitts.

Auswertung der Ergebnisse

1) Wenn in diesem Zeitraum ein Druckabfall stattgefunden hat, wird der ursprüngliche Prüfdruck durch Einleiten einer abgemessenen Wassermenge in den Prüfabschnitt wiederhergestellt.

2) Die Prüfung gilt als bestanden, wenn:

- kein Druckabfall zu verzeichnen ist (es ist sogar möglich, dass ein leichter Anstieg aufgrund von Temperaturänderungen oder Materialumwandlung auftritt);
- die gemessene Wassermenge, die erforderlich ist, um den Druck wieder auf den ursprünglichen Prüfdruck zu bringen, geringer ist als ein „zulässiger Höchstwert“;

3) Nach Abschluss einer Prüfung sollte der Restdruck langsam und kontrolliert abgelassen werden;

4) Alle bei der Prüfung aufgedeckten Mängel müssen behoben und das Verfahren so lange wiederholt werden, bis das Ergebnis zufriedenstellend ist.

Hinweis: Der „zulässige Höchstwert“ für Wasser und die Berechnungsmethode sind von Land zu Land sehr unterschiedlich: Daher sollten die Anforderungen des jeweiligen Nutzers ermittelt und entsprechend berücksichtigt werden.

Die hinzugefügte Wassermenge dient dazu, die natürliche Ausdehnung und Bewegung des Rohrs und der flexiblen Verbindungen bei Druckbeaufschlagung sowie den unvermeidlichen Einschluss kleiner Luftmengen innerhalb des Prüfabschnitts auszugleichen.



WARNHINWEISE

- Druckprüfungen dürfen niemals mit Druckluft durchgeführt werden;
- Die schnelle Dekompression der eingeschlossenen Luft kann zu Druckstößen führen, die sowohl für die Rohrleitung als auch für das Personal gefährlich sein können;
- Bei Verwendung eines Kugelhahns darf die Rohrleitungsprüfung nur bei geschlossener und korrekt montierter Armatur komplett mit allen Elementen, einschließlich Überwurfmutter und Hülse, durchgeführt werden. Dies ist von entscheidender Bedeutung, um eine durch den Druck verursachte Beschädigung oder Verformung der Armatur zu vermeiden.

Die gleiche Empfehlung zur korrekten Montage ist zu befolgen, wenn sich der Kugelhahn am Ende eines Rohrs in einem bereits in Betrieb befindlichen Rohrleitungssystem befindet.

3.4 Lagerung, Transport und Handhabung

Komponenten für Industrierohrleitungen aus thermoplastischen Kunststoffen werden für den Einsatz in Hochleistungssystemen zum Transport von aggressiven Flüssigkeiten entwickelt und hergestellt. Um ihre Integrität nach der Installation zu gewährleisten, müssen sie vor der Installation mit angemessener Sorgfalt behandelt werden.

Lagerung im Freien

Obwohl Kunststoffe eine ausgezeichnete Witterungsbeständigkeit aufweisen, wird empfohlen, sie über einen längeren Zeitraum unter einer Abdeckung zu lagern, um ihre Verlegbarkeit zu erhalten und einen ausreichenden Schutz vor UV-Strahlung zu gewährleisten.

Darüber hinaus ist es wichtig, die Lagerung im Freien bei einer Umgebungstemperatur unter 0 °C zu vermeiden und darauf zu achten, dass die Lagertemperatur die für das Material zulässige Höchsttemperatur nicht überschreitet (siehe Materialeigenschaften in diesem Handbuch und in unseren Aliaxis-Produktkatalogen).

Die Produkte müssen bis zum Einbau in der Originalverpackung aufbewahrt werden.

Gebündelte Rohre können doppelt gestapelt werden, sofern durch ihre Verpackung eine entsprechende Gewichtsverteilung gewährleistet ist.

Handhabung

Achten Sie darauf, eine unsachgemäße Handhabung von Rohren, Formstücken und Armaturen zu vermeiden. Alle scharfen Kanten an einem Träger oder Anhänger, die mit dem Rohr in Berührung kommen könnten, sollten entsprechend geschützt werden.

Zum Heben von Rohrbündeln dürfen nur Nylon- oder Seilschlingen verwendet werden, keine Ketten.

Transport

Um Verbiegungen, Durchbiegungen oder Spannungen zu vermeiden, muss beim Transport von Kunststoffrohren darauf geachtet werden, dass die Rohre während des Transports vollständig abgestützt werden. Die Fahrzeuge sollten in der Lage sein, die gesamte Rohrlänge zu tragen. Ein nicht abgestützter Überhang darf eine Länge von 1 m nicht überschreiten. Flächen, die mit Material in Berührung kommen, dürfen keine Nägel oder scharfen Kanten aufweisen. Wenn Seitenstützen verwendet werden, müssen sie glatt und frei von scharfen Kanten sein und einen Abstand von höchstens 1,5 m haben. Rohre sollten immer so geladen werden, dass die schwersten unten liegen.

Die nebenstehende Abbildung zeigt ein Beispiel für die korrekte Lagerung von Rohren

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die folgenden Richtlinien immer befolgt werden sollten:

- Rohre müssen bei Transport und Lagerung auf ihrer gesamten Länge abgestützt werden;
- In Lade- und Lagerbereichen dürfen keine Nägel, scharfe Kanten oder Steine vorhanden sein;
- Rohre dürfen nicht von Fahrzeugen heruntergeworfen oder fallengelassen werden;
- Rohre dürfen niemals über den Boden gezogen werden;
- Rohre dürfen nicht zu hoch gestapelt werden;
- Rohre müssen vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt werden;
- Es muss sichergestellt werden, dass gelagerte Rohre nicht mit ungeeigneten Chemikalien oder Ölen in Kontakt kommen;
- Besondere Vorsicht ist bei der Handhabung von Rohren unter kalten Wetterbedingungen geboten;
- Prüfen Sie alle Rohre vor dem Gebrauch; beschädigte, gerissene oder stark zerkratzte Rohre dürfen nicht verwendet werden.



Gelagerte FIP PVC-U Druckrohre; bereit für die Beladung.





4. System- und Produktlösungen	292
4.1 Geklebte Systeme - PVC-U-Systeme	294
4.2 Geklebte Systeme - FIP PVC-C-Systeme	296
4.3 Geklebte Systeme - FIP ABS SuperFlo	298
4.4 Geschweißte Systeme - FIP PP-Systeme	300
4.5 Geschweißte Systeme - FIP PE-Systeme	302
4.6 Geschweißte Systeme - FIP PVDF-Systeme	304
4.7 Doppelrohrsysteme	306
4.8 Druckluft	308
4.9 Kraftstoffrohrsystem PLX	310
4.10 Vulcathene	311
4.11 Mechanische Straub-Rohrverbinder	312
4.12 Silikonfreies FIP-System	314
4.13 Messtechnik (FLS)	316

4. System- und Produktlösungen

Als weltweit führender Anbieter von modernen Lösungen aus Kunststoffrohren ist Aliaxis an vielen Etappen des Wassertransports von der Quelle bis zur Lieferung an den Endverbraucher beteiligt. Unsere Marken bieten seit über 50 Jahren innovative Lösungen und stehen für unsere Geschichte und unser Know-how in den Bereichen Gebäudetechnik, Infrastruktur und Industrie. Für jedes dieser Segmente bieten wir ein umfangreiches Sortiment an hochwertigen Produkten, die auf die Bedürfnisse unserer Kunden zugeschnitten sind. Wir bieten Systeme für den Transport von Wasser, Chemikalien und Gasen, Leitungen für die Strom- und Datenverkabelung sowie digitale Durchflusssysteme an. Unser Sortiment umfasst Armaturen, Formteile und Rohre sowie die Werkzeuge für verschiedene Verbindungsarten, wie lösemittelhaltige Kleber, Schneidwerkzeuge und Heizwendelschweißsysteme. Unabhängig vom Produkt oder der Anwendung können unsere Kunden darauf vertrauen, dass alles, was für ihre jeweilige Lösung benötigt wird, mit der Qualität und dem Service geliefert wird, die man von einem Branchenführer erwartet.

Unsere industriellen Systemlösungen konzentrieren sich auf zugelassene Rohstoffe, die alle Kriterien der relevantesten internationalen Normen abdecken und die bestehenden Umweltvorschriften vollständig einhalten.

Ein umfangreiches Vertriebsnetz, das nicht nur die Verfügbarkeit der Produkte, sondern auch eine direkte Unterstützung und Beratung garantiert, ist nur einer der vielen Vorteile, die Aliaxis seinen Kunden bietet.





4.1 Geklebte Systeme - FIP PVC-U-System

Die verschiedenen Zusammensetzungen, die durch die Zugabe von geeigneten Additiven und Stabilisatoren erzielt werden, machen PVC-U zum vielseitigsten aller Kunststoffe, der sich für zahlreiche Anwendungen mit unter Druck stehenden Flüssigkeiten eignet.

Im Bereich der thermoplastischen und metallischen Produkte ist PVC-U eine der wirtschaftlichsten Optionen zur Lösung von Problemen beim Transport korrosiver chemischer Flüssigkeiten und bei der Verteilung und Behandlung von Wasser im Allgemeinen.

Rohrleitungssysteme aus PVC-U eignen sich für Betriebstemperaturen von 0 °C bis +60 °C.

Das PVC-U-System ist in verschiedenen Portfolios und Marken erhältlich, mit dem Ziel, alle Kundenanforderungen in vielen verschiedenen Untersegmenten zu erfüllen.

Unser FIP PVC-U-Portfolio, wie in der Abbildung unten dargestellt, bietet ein umfassendes System, das dank innovativer Armaturen, einer breiten Palette von Formteilen und hochwertiger Rohre für jede industrielle und verfahrenstechnische Anwendung genutzt werden kann.



4.2 Geklebte Systeme - FIP PVC-C-System

1986 war FIP das erste europäische Unternehmen, das ein integriertes System aus Armaturen, Formteilen und Röhren produzierte. Daraus ist eine vollständige Reihe von Produkten für Industrieanlagen entstanden.

Das FIP PVC-C-System stellt eine der wirtschaftlichsten Lösungen im Bereich der thermoplastischen Werkstoffe dar und ist in der Lage, Probleme zu lösen, die in Prozess- und Versorgungsleitungen für den Transport heißer korrosiver Flüssigkeiten in der Industrie sowie bei Warm- und Kaltwasserverteilungssystemen im Haushalt auftreten.

Derzeit bietet Aliaxis hochwertige PVC-C-Produkte unter der Marke FIPIndustrial an.

PVC-C-Kunststoffe wurden speziell für industrielle Anwendungen entwickelt und sind für den Wassertransport, den Einsatz in Kläranlagen sowie für die Beförderung von demineralisiertem Wasser und SPA-Wasser geeignet.

Rohrleitungssysteme aus PVC-C eignen sich für Betriebstemperaturen von 0 °C bis +95 °C.

Typische Anwendungsbereiche

- Industrielle Wasseraufbereitungsanlagen;
- Chemische Prozessindustrie;
- Oberflächenbehandlung;
- Warm- und Kaltwasserverteilung;
- Schwimmbäder und SPAs.



Technische Daten

Nenndruck	Bis 16 bar
Temperaturbereich	0 °C bis 95 °C
Größenbereich	16 mm bis 315 mm
Verbindungstechnik	Kleben, Gewindeverbindung, Flanschverbindung
Normen und Richtlinien *	ANSI B16.5, ASTM D1784 cl. min 23447, ASTM F437, ASTM F439, ASTM F441, DIN 2501, DIN 8079-8080, EN 558-1, EN 1092-1, EN 10226-1, EN 10226-2, EN 14728, EN ISO 15493, ISO 228-1, ISO 7005-1, ISO 9624, ISO 5211, JIS B 2220, UNI 11242
Zulassungen	ABS, ACS, BUREAU VERITAS, DNV-GL, EAC, LR - Lloyd's Register, KR - Korean Register, NSF, TA-Luft, UKR SEPRO, WRAS, RMRS

*In dieser Tabelle sind die wichtigsten Normen und Richtlinien aufgeführt, die für das System gelten. Ggf. sind weitere lokale Normen vorhanden, die an dieser Stelle nicht aufgeführt aber zusätzlich vorhanden sind.

PVC-C Produktübersicht

De	16	20	25	32	40	50	63	75	90	110	125	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400
DN	10	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	125	150	150	200	200	250	250	300	350	400
Zoll	³ / ₈ Zoll	¹ / ₂ Zoll	³ / ₄ Zoll	1 Zoll	1 ¹ / ₄ Zoll	1 ¹ / ₂ Zoll	2 Zoll	2 ¹ / ₂ Zoll	3 Zoll	4 Zoll	5 Zoll	5 Zoll	6 Zoll	6 Zoll	8 Zoll	8 Zoll	10 Zoll	10 Zoll	12 Zoll	14 Zoll	16 Zoll
Rohre	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					
Formteile																					
Geklebte Formteile	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					
Adapter-Formteile	•	•	•	•	•	•	•														
Armaturen																					
2-Wege-Kugelhahn	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•											
3-Wege-Kugelhahn	•	•	•	•	•	•	•														
Membranventile		•	•	•	•	•	•	•	•	•											
Absperrklappen						•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Sedimentfilter		•	•	•	•	•	•														
Rückschlagventile	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Flansche und Dichtungen																					
	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					

4.3 Geklebte Systeme - FIP ABS SuperFlo

SuperFlo ABS ist ein geklebtes, vollständig abgestimmtes Rohrleitungssystem mit Rohren, Formteile und Armaturen, das sowohl in zölligen als auch in metrischen Größen erhältlich ist.

SuperFlo ABS bietet einen weiten Temperaturbereich und das System bleibt auch bei Temperaturen von bis zu -40°C extrem dehnbar, was es zur idealen Lösung macht, wenn ein Rohrleitungssystem für den Transport von Flüssigkeiten bei niedrigen Temperaturen und unter Druck benötigt wird.

Darüber hinaus ist SuperFlo ABS extrem leicht und lässt sich vor Ort, und insbesondere bei der Installation, wesentlich einfacher handhaben als herkömmliche Materialien. Das spart Zeit und Kosten. Zudem besitzt SuperFlo ABS die vollständige WRAS-Zulassung.

Rohrleitungssysteme aus SuperFlo ABS eignen sich für Betriebstemperaturen von -40°C bis $+60^{\circ}\text{C}$.

Typische Anwendungsbereiche

- Kaltwasser;
- Lebensmittel und Getränke;
- Trinkwasser;
- Niedertemperaturkühlung;
- Demineralisiertes Wasser;
- Unterdrucksysteme;
- Abwasser.



Technische Daten

Nenndruck (Zoll)	Klasse E (bis 4 Zoll), Klasse D (bis 6 Zoll), Klasse C (bis 8 Zoll)
Nenndruck (metrisch)	10 bar (16 bis 250 mm), 8 bar (250 bis 315 mm)
Temperaturbereich	-40°C bis 60°C
Größenbereich (Zoll)	1/2 Zoll bis 12 Zoll
Größenbereich (metrisch)	16 mm bis 315 mm
Verbindungstechnik	Kleben, Gewindeverbindung, Flanschverbindung
Normen und Richtlinien*	BS EN 1452, ASTM D638, EN ISO 1183-1, ISO 527
Zulassungen	ABS, BUREAU VERITAS, DNV, FDA, GL – Germanischer Lloyd, LR – Lloyd's Register, REG 31, WRAS

*In dieser Tabelle sind die wichtigsten Normen und Richtlinien aufgeführt, die für das System gelten. Ggf. sind weitere lokale Normen vorhanden, die an dieser Stelle nicht aufgeführt aber zusätzlich vorhanden sind.

4.4 Geschweißte Systeme – FIP PP-System

Dank der außergewöhnlichen chemischen und thermischen Eigenschaften des Harzes bietet unser Polypropylensystem eine hervorragende Leistung bei hohen Betriebstemperaturen. Unser System aus Polypropylen wird von FIP hergestellt und besteht aus einem umfangreichen Angebot an Rohren, Formteilen und Armaturen für die Konstruktion von Prozess- und Versorgungsleitungen zur Förderung von druckbeaufschlagten Industrieflüssigkeiten.

Rohrleitungssysteme aus Polypropylen eignen sich bei Betriebstemperaturen von 0 °C bis +95 °C.

Typische Anwendungsbereiche

- Industrielle Wasser- und Abwasseraufbereitungsanlagen;
- Chemische Prozessindustrie;
- Industrielle Oberflächenbehandlung;
- Verteilung von demineralisiertem Wasser und SPA-Wasser.



Technische Daten

Nenndruck	Bis 10 bar
Temperaturbereich	0 °C bis 95 °C
Größenbereich	16 mm bis 800 mm
Verbindungstechnik	Stumpf-, Muffen- und Heizwendelschweißen
Normen und Richtlinien *	ANSI B16.5 cl. 150, ASTM D 4101-06, BS 10, DIN 2501, DIN 8077, DIN 8078, DVS 2202-1, DVS 2207-11, DVS 2208-1, EN 558-1, EN 1092-1, EN 10226-1, EN 10226-2, EN 14728, EN ISO 15494, ISO 228-1, ISO 5211, ISO 7005-1, ISO 9624, JIS B 2220, UNI 11318, UNI 11397
Zulassungen	DIBt, EAC, RINA, TA-Luft, UKR SEPRO, NIZP

*In dieser Tabelle sind die wichtigsten Normen und Richtlinien aufgeführt, die für das System gelten. Ggf. sind weitere lokale Normen vorhanden, die an dieser Stelle nicht aufgeführt aber zusätzlich vorhanden sind.

4.5 Geschweißte Systeme – FIP PE-System

Unsere Rohrleitungssysteme aus Polyethylen wird seit Jahrzehnten in Bereichen eingesetzt, in denen das Rohrleitungssystem hohe Anforderungen an Haltbarkeit und Zuverlässigkeit erfüllen muss. Diese Maßgaben werden durch Kombination der hervorragenden Materialeigenschaften von PE und unserer Erfahrung in der Herstellung von spritzgegossenen, extrudierten und gefertigten Kunststoffteilen erfüllt.

Unsere Polyethylen-Systeme bestehen aus hochwertigen FIP-Spitzend Fittings, Flanschen und Adaptern und beinhalten außerdem das einzigartige Sortiment der heizwendelgeschweißten FRIALEN Fittings mit freiliegenden Heizwendeln.

Diese Systeme sind ideal für Anwendungen in allen Bereichen des industriellen Anlagenbaus. Weitere Bereiche sind der Transport von Industrie- und Haushaltswasser, die Abwasseraufbereitung und Wasserreinigung sowie verschiedene Anwendungen im Schiffbau oder in Schwimmbädern.

Rohrleitungssysteme aus Polyethylen sind für Betriebstemperaturen von -40 °C bis $+60\text{ °C}$ geeignet.

Typische Anwendungsbereiche

- Kommunale und industrielle Wasser- und Abwasserbehandlungsanlagen;
- Prozess- und Kühlwasser;
- Chemische Prozessindustrie;
- Schwimmbäder;
- Kläranlagen;
- Wasser- und Gasverteilung.



Technische Daten

Nenndruck	Bis 16 bar
Temperaturbereich	-40 °C bis 60 °C
Größenbereich	20 mm bis $>800\text{ mm}$
Verbindungstechnik	Stumpf- und Heizwendelschweißen
Normen und Richtlinien *	DIN 2501, DVS 2202-1, DVS 2207-1, DVS 2208-1, EN 1092-1, EN 1555, EN 13244, EN ISO 15494, ISO 7005-1, ISO 9624, ISO 27, ISO 4437, ISO 21307, UNI 10520
Zulassungen	DVGW, RINA, KIWA, KTW

*In dieser Tabelle sind die wichtigsten Normen und Richtlinien aufgeführt, die für das System gelten. Ggf. sind weitere lokale Normen vorhanden, die an dieser Stelle nicht aufgeführt aber zusätzlich vorhanden sind.

4.6 Geschweißte Systeme – FIP PVDF-System

Das FIP PVDF-System ist aufgrund seiner hohen Reinheit und außergewöhnlichen chemischen und mechanischen Beständigkeit über einen weiten Temperaturbereich die beste Alternative zu metallischen Werkstoffen.

Es wird in großem Umfang in industriellen Anwendungen wie der Chemie-, Öl-, Pharma-, Zellstoff- und Papierindustrie eingesetzt.

Das FIP PVDF-System ist für Betriebstemperaturen von -40 °C bis $+140\text{ °C}$ geeignet.

Typische Anwendungsbereiche

- Chemische Verarbeitungsindustrie;
- Oberflächenbehandlung;
- Mikroelektronik;
- Öl- und Gasindustrie;
- Pharmazeutische Industrie;
- Zellstoff und Papier.



Technische Daten

Nenndruck	Bis 16 bar
Temperaturbereich	-40 °C bis 140 °C
Größenbereich	16 mm bis 400 mm
Verbindungstechnik	Stumpf- und Muffenschweißen
Normen und Richtlinien *	ANSI B16.5, ASTM D3222, DIN 2501, DVS 2202-1, DVS 2207-15, DVS 2208-1, EN 558-1, EN 1092-1, EN ISO 10931, EN 14728, ISO 5211, ISO 7005-1, ISO 9624
Zulassungen	DIBt, DVGW KTW, W270, EAC, FDA, NSF, TA-Luft, UKR SEPRO, WRAS

*In dieser Tabelle sind die wichtigsten Normen und Richtlinien aufgeführt, die für das System gelten. Ggf. sind weitere lokale Normen vorhanden, die an dieser Stelle nicht aufgeführt aber zusätzlich vorhanden sind.

4.7 Doppelrohrsysteme

Doppelrohrsysteme sind die ideale Lösung, wenn ein hohes Maß an Sicherheit erforderlich ist. Der Transport von ätzenden, gefährlichen oder giftigen Medien beispielsweise stellt immer einen großen Risikofaktor für Mensch und Umwelt dar. Bei diesen Anwendungen sind Doppelrohrsysteme unverzichtbar.

Doppelrohrsysteme bestehen aus zwei Rohren, eines mit kleinerem Durchmesser innerhalb eines anderen mit größerem Durchmesser. Die Flüssigkeit wird durch das innere Rohr geleitet, das äußere Rohr bietet zusätzlichen Schutz, falls das innere Rohr leck schlägt. Es gibt verschiedene Ansätze für die Leckerkennung. Ein Lecküberwachungssystem wird zum Beispiel normalerweise vom Endnutzer verwendet, um den Betreiber darüber zu informieren, dass ein Leck aufgetreten ist.

Diese Lösungen können in verschiedenen Bereichen eingesetzt werden, vor allem bei der Behandlung und dem Transport von chemischen Abwässern. Je nach Verwendungszweck können Innen- und Außenrohr aus dem gleichen oder einer Kombination verschiedener Rohrmaterialien bestehen.

A – Außenrohr

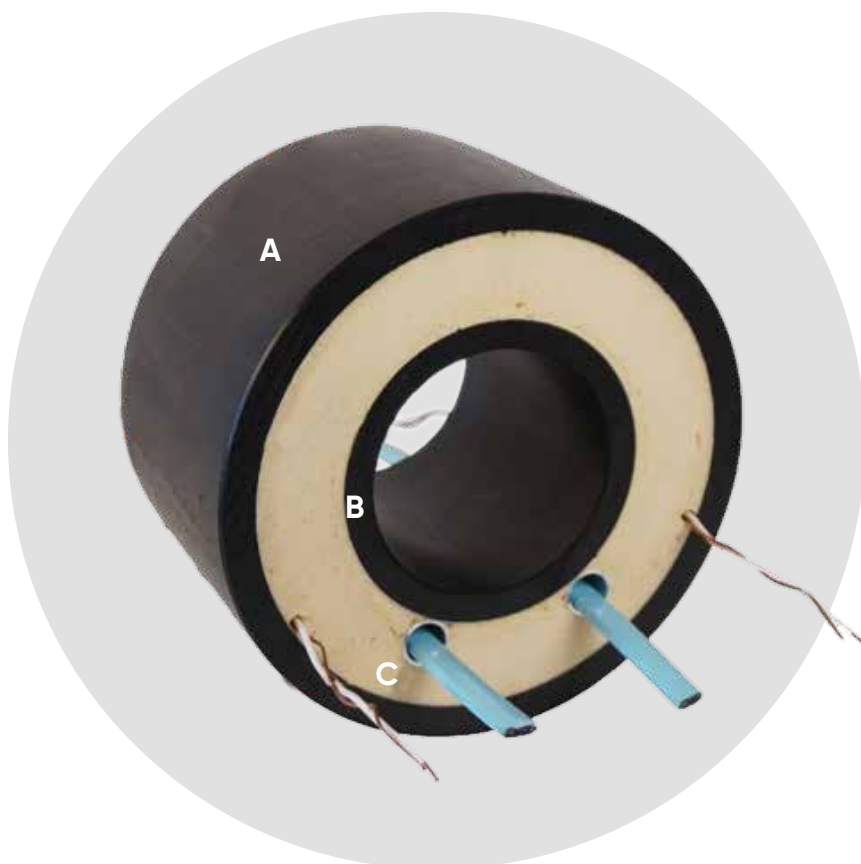
Doppelwandiges System zum Schutz der Umgebung vor Flüssigkeitsaustritt oder zum Schutz der Flüssigkeit vor äußeren Einflüssen.

B – Innenrohr

Flüssigkeitstransport und Druckbeständigkeit.

C – Ringraum

Raum zwischen den Rohren zur Aufnahme von Leckageflüssigkeit oder zur Ausstattung mit Isolierung, Leckageerkennung oder Heizdrähten.



Technische Daten

Nenndruck	Drucklose Ableitungssysteme – Druckbeaufschlagte System bis 16 bar
Temperaturbereich	-40 °C bis 140 °C
Größenbereich Innenrohr	Bis 800 mm
Verbindungstechnik	Stumpf-, Muffen- und Heizwendelschweißen

Produktübersicht Doppelrohrsysteme

Aliaxis bietet zahlreiche Doppelrohrlösungen aus PVC-U, PP-H und PE 100 für die unterschiedlichsten Zwecke an, sei es für die Ableitung von Chemikalien aus Laboratorien, als isolierte Rohre für fetthaltige Flüssigkeiten oder als Trinkwasserschutzrohre in kontaminierten Gebieten. Jedes dieser Systeme ist so konzipiert, dass es sich perfekt an die jeweiligen Bedürfnisse anpasst, und das bei minimalen Kosten für die Installation und den gesamten Betrieb.

Für weitere Informationen wenden Sie sich bitte an Ihre bekannte Kontaktperson bei Aliaxis.

Typische Anwendungsbereiche

- Wasser- und Abwasseraufbereitung;
- Beförderung gefährlicher Flüssigkeiten;
- Umweltschutz;
- Schutz von sensiblen Bereichen;
- Anwendungen zur Ableitung von Flüssigkeiten;
- Beförderung von chemischen Abfällen aus Laboratorien.

4.8 Druckluft

Als wichtige industrielle Energiequelle wird Druckluft sowohl in der Fertigungs- als auch in der verarbeitenden Industrie immer häufiger eingesetzt. In diesen Bereichen werden ihre eindeutigen Vorteile in Bezug auf Sauberkeit, Flexibilität, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu anderen Energiequellen voll ausgeschöpft.

Die Kosten eines Druckluftnetzes hängen in erster Linie von seinem Energieverbrauch ab. Alle undichten Stellen in Ihrem System stellen eine zusätzliche Belastung für Ihre Energierechnung dar.

Für zusätzliche Sicherheit und Zuverlässigkeit sollten Betreiber einer Anlage daher ein Druckluftverteilungssystem wählen, das den zahlreichen Einflüssen der jeweiligen Umgebung standhält.

Aliaxis bietet zwei Lösungen aus unterschiedlichen Werkstoffen für die Druckluftverteilung an:

- GIRAIR PVC-U;
- Air-Line Xtra ABS.



Typische Anwendungsbereiche

- Druckluftverteilung;
- Neutralgasversorgung;
- Zentralisierte Netzwerke;
- Lebensmittel und Getränke – CO₂-Versorgung;
- Belüftung;
- Armaturensteuerung;
- Pneumatische Anlagen.

Technische Daten

Nenndruck	Bis 12,5 bar
Temperaturbereich	-20 °C bis 50 °C
Größenbereich	16 bis 110 mm
Verbindungstechnik	Kleben und Gewindeverbindungen
Normen und Richtlinien*	BS 4800, BS 1710, DIN 8062-8063, ISO 11359, EN ISO 1183-1, EN ISO13846, EN 13501-1, NF EN 921, NF EN 1452, NF T54-038
Zulassungen	BSI, Bureau Veritas, DNV, LNE fire certificate, National Accreditation of Certification Bodies

*In dieser Tabelle sind die wichtigsten Normen und Richtlinien aufgeführt, die für das System gelten. Ggf. sind weitere lokale Normen vorhanden, die an dieser Stelle nicht aufgeführt aber zusätzlich vorhanden sind.

Druckluftsystem – Produktübersicht

De	16	20	25	32	40	50	63	75	90	110
DN	10	15	20	25	32	40	50	65	80	100
Zoll	$\frac{3}{8}$ Zoll	$\frac{1}{2}$ Zoll	$\frac{3}{4}$ "	1 Zoll	1 $\frac{1}{4}$ Zoll	1 $\frac{1}{2}$ Zoll	2 Zoll	2 $\frac{1}{2}$ Zoll	3 Zoll	4 Zoll
Rohre	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Formteile										
Geklebte Formteile	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Formteile mit Gewinde	•	•	•	•	•	•	•			
Adapter-Formteile	•	•	•	•	•	•	•			
Armaturen										
	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Flansche und Dichtungen										
				•	•	•	•	•	•	•

4.10 Vulcathene

Vulcathene ist ein speziell entwickeltes und konstruiertes System zur Ableitung von Flüssigkeiten aus Laboren, das seit mehr als 65 Jahren als sichere Lösung für den Transport von chemischen Abfällen aus Laboren in Schulen, Universitäten, Krankenhäusern, Forschungseinrichtungen und industriellen Umgebungen weltweit spezifiziert und installiert wird.

Vulcathene ist das einzige von der BBA zugelassene System zur Ableitung von Flüssigkeiten aus Laboren und umfasst das breiteste Sortiment an Laborartikeln, einschließlich Spülbecken, Tropfbechern und Siphons mit Siphonschutz und Verdünnungsrückgewinnung, um die Projektierung und Spezifikation eines kompletten Systems zur Ableitung chemischer Flüssigkeiten zu ermöglichen.

Die Wahl zwischen zwei Verbindungsmethoden, mechanisch für lösbare und heizwendelgeschweißt für unlösbare Verbindungen, ermöglicht eine flexible Gestaltung, eine effiziente Installation und eine einfache Erweiterung und Wartung des Systems.

Typische Anwendungsbereiche

Vulcathene-Produkte kommen überall dort zum Einsatz, wo beispielsweise chemische Abfälle transportiert werden müssen:

- Laboratorien in Schulen;
- Laboratorien an Universitäten und Hochschulen;
- Krankenhäuser und Kliniken;
- Pharmaunternehmen;
- Forschungseinrichtungen.



Technische Daten

Größenbereich	38 bis 152 mm
Temperaturbereich	-20 °C bis 100 °C (Bei 100 °C nur kurzzeitig)
Normen und Richtlinien	BS1710
Zulassungen	BBA

Vulcathene – Produktübersicht

De	48,3	60,3	89	114,3	168,3
DN	38	51	76	102	152
Zoll	1 ½ Zoll	2 Zoll	3 Zoll	4 Zoll	6 Zoll
Rohre	•	•	•	•	•
Formteile					
Mechanische Formteile	•	•	•	•	
Heizwendelgeschweißte Formteile	•	•	•	•	•

4.11 Mechanische Straub-Rohrverbinder

Das schnelle, einfache und zuverlässige mechanische Verbinden mit Straub-Kupplungen ist eine Alternative zu herkömmlichen Schweiß- oder Flanschverbindungen. Original STRAUB-Kupplungen haben die Rohrverbindungstechnik revolutioniert, da diese Art der Rohrverbindung universell, sehr einfach und extrem schnell angewendet werden kann.

STRAUB-Kupplungen sind in vielen unterschiedlichen Größen und verschiedenen Varianten erhältlich. Je nach Anwendung kann so die optimal geeignete Kupplung ausgewählt werden.

Typische Anwendungsbereiche

- Wasser- und Abwasserleitungen;
- Wasserkraft;
- Handwerk und Industrie;
- Schiffbau und Offshore.



Technische Daten

Nenndruck	Bis zu PN16 (Seefähigkeitseinstufung)
Größenbereich	21 bis 4064 mm
Temperaturbereich	-20 °C bis 100 °C
Normen und Richtlinien*	DIN 8074, EN 1254-3, ISO 19921, ISO 19922
Zulassungen	ABS, BUREAU VERITAS, DNV-GL, KR – Korean Register, LR – Lloyd's Register, NSF, VdS, WRc

*In dieser Tabelle sind die wichtigsten Normen und Richtlinien aufgeführt, die für das System gelten. Ggf. sind weitere lokale Normen vorhanden, die an dieser Stelle nicht aufgeführt aber zusätzlich vorhanden sind.

STRAUB Produktübersicht

De	21,3	30	38	40	48,3	63	168,3	180	219	355	609,6	711,2	2032	4064
Zugfest														
METAL-GRIP (Verbinden von Metallrohren und starren Kunststoffen)		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•			
GRIP (Verbinden von Metallrohren und starren Kunststoffen)	•	•	•	•	•	•	•							
GRIP-L (Verbinden von Metallrohren und starren Kunststoffen)								•	•	•	•	•		
COMBI-GRIP (Verbinden von Metall- und Kunststoffrohren)			•	•	•	•	•	•	•	•				
PLAST-GRIP (Verbinden von Kunststoffrohren)				•	•	•	•	•	•	•				
PLAST-PRO (Verbinden von Kunststoffrohren)						•	•	•	•	•				
Flexibel														
FLEX (Verbinden gleicher oder verschiedener Rohrmaterialien)					•	•	•	•	•	•	•	•	•	
OPEN-FLEX (Verbinden oder Reparieren von Rohren ohne Ausbau vorhandener Rohre)					•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
STEP-FLEX (Verbinden von Rohren mit unterschiedlichen Außendurchmessern)									•	•	•	•	•	

4.12 Silikonfreies FIP-System

Silikone sind in vielen weit verbreiteten Industrieprodukten wie Ölen und Schmiermitteln enthalten.

Produkte auf Silikonbasis sind chemisch relativ inert. Aus diesem Grund müssen Kunden sehr sorgsam darauf achten, dass jede Verunreinigung ihrer Produkte durch Silikon im Vorfeld vermieden wird.

Davon sind insbesondere Industriezweige – allen voran der Automobilsektor – betroffen, in denen Oberflächenbehandlungen oder andere Verfahren durchgeführt werden, wie etwa der Einsatz von Druckfarben oder Lacken.

In den Produktionsstätten, in denen solche Arbeiten durchgeführt werden, wird streng darauf geachtet, nur Bauteile einzubauen und zu verwenden, die garantiert frei von Silikonspuren sind.

Aliaxis wird diesem Bedarf mit einem Reinraum gerecht, der gemäß ISO 14644-1 als ISO 5 (Klasse 100) eingestuft ist. In diesem Reinraum können FIP-Handarmaturen, Schwebekörper-Durchflussmesser und die gesamte Palette an Formteilen aus Kunststoff bis zu einem Durchmesser von 160 mm verarbeitet und silikonfrei geliefert werden.

Auch das gesamte Spektrum an Kugelhähnen für industrielle Anwendungen kann silikon- und schmiermittelfrei zur Verfügung gestellt werden, da die Armaturen ohne Schmiermittel montiert werden.

Typische Anwendungsbereiche

- Automobilindustrie;
- Oberflächenbehandlung von Metall;
- Pharmazeutische Industrie;
- Lebensmittel und Getränke;
- Haushaltsgeräte.



Technische Daten

Nenndruck	Bis 16 bar
Größenbereich	16 mm bis 160 mm
Normen und Richtlinien	ISO 14644-1

4.13 Messtechnik (FLS)

Unter dem Markennamen FLS bietet Aliaxis ein komplettes Sortiment von Produkten an, die genaue und zuverlässige Daten zur Unterstützung eines reibungslosen Betriebs liefern, indem sie eine Prozesskontrolle in Echtzeit und die vorausschauende Wartung ermöglichen.

FLS-Geräte werden in zahlreichen Verfahren und Anwendungen zur Messung der Durchflussrate, des pH-Werts, der Leitfähigkeit und des Redoxpotenzials eingesetzt.

Diese Lösungen bieten eine Reihe von allgemeinen und spezifischen Vorteilen, wie z. B. Flexibilität bei der Installation, einfache Inbetriebnahme und problemlose Wartung.



Typische Anwendungsbereiche

FLS-Produkte werden in allen Anwendungen eingesetzt, die eine Durchflussmessung oder die Messung einer Eigenschaft der Flüssigkeit erfordern, wie z. B.:

- Wasseraufbereitungsanlagen;
- Behandlung und Rückgewinnung von Industrieabwässern;
- Schwimmbäder und SPAs;
- Chemische Industrie;
- Oberflächenbehandlung;
- Bergbau und Hydrometallurgie;
- Bewässerung und Düngung;
- Lecksuche.

In den folgenden Tabellen sind die wesentlichen technischen Daten der Geräte zur Messung der Durchflussrate, des pH-Werts, der Leitfähigkeit und des Redoxpotenzials aufgeführt. Sie bieten Ihnen einen ersten schnellen Überblick über die Messgeräte, die von FLS angeboten werden.

Insbesondere sind in der Tabelle das für jede durchzuführende Messung am besten geeignete Gerät, der Minimal- und Maximalwert, den das Gerät auswerten kann, sowie der entsprechende DN-Bereich aufgeführt.

Messung	Gerät	Minimalwert	Maximalwert	DN-Bereich
Durchfluss	Durchflusssensor	1,5 (l/h)	18*10 ⁶ (l/h) (*)	10 - 900 (mm)
	Schwebekörper-Durchflussmesser	1,5 (l/h)	50000 (l/h)	10 - 65 (mm)
pH	pH-Sensor	0	14	alle
Redoxpotenzial	ORP-Sensor	-2000 (mV)	+2000 (mV)	alle
Leitfähigkeit	Leitfähigkeitssensor	0,055 (µS/cm)	1 (S/cm) (**)	alle
Druck und Füllstand	Füllstands- und Druckmessumformer	0 (bar)	25 (bar) (***)	alle

(*) Sonderlösungen für höhere Durchflussraten.

(**) Sonderlösungen für höhere Werte, bis 2 S/cm.

(***) Sonderlösungen für höhere Werte, bis 100 bar.

In der nächsten Tabelle die wichtigsten benetzten Materialien für jede Gerätefamilie beschrieben.

Benetzte Hauptmaterialien	Geräte							
	Schwebekörper-Durchflussmesser	Schaufelradsensor	Magnetometer-Sensor	Durchflusssensor für ultra niedrigen Durchfluss (ULF-Sensor)	Ovalrad-Sensor	pH/ORP-Sensor	Leitfähigkeitssensor	Füllstands- und Druckmessumformer
PVC-U	•							
PVC-C	•	•				•	•	
ABS		•						
PP-H					•			
PVDF	•	•	•					•
PEEK			•					
Epoxidharz						•	•	
POM				•				
Trogamid	•							
Polysulfon	•							
Ryton						•		
Glas						•		
Graphit							•	
Platin						•	•	
316 SS		•	•		•		•	
304 SS			•					
ECTFE		•		•	•			
EPDM		•	•					•
FPM		•	•	•	•			•
FFKM				•				

Die in diesem vorliegenden Handbuch enthaltenen Angaben werden in gutem Glauben zur Verfügung gestellt. Für technische Daten, die nicht unmittelbar durch anerkannte internationale Normen abgedeckt sind, wird keine Haftung übernommen. Aliaxis behält sich das Recht vor, jederzeit Änderungen vorzunehmen. Alle Produkte müssen von entsprechend qualifiziertem Personal installiert und gewartet werden.

Stand: 01.08.2022

Aliaxis Deutschland GmbH

Industrie

Steinzeugstrasse 50

68229 Mannheim

Tel +49 621 486-2901

Fax +49 621 486-2925

info.de@alixis.com

www.alixis.de

