

# 9. Cjevovodi i spojevi cjevovoda

<b>9.1 Osnove cjevovoda .....</b>	<b>2</b>
9.1.1 Struktura cjevovoda .....	2
9.1.2 Sistematizacija cjevovoda .....	3
9.1.3 Komponente cjevovoda .....	4
9.1.4 Cijevi .....	6
9.1.5 Spojni elementi cjevovoda .....	11
9.1.6 Zaporna armatura cjevovoda .....	20
9.1.7 Potpore cjevovoda .....	32
9.1.8 Zaštita od korozije i izolacija cjevovoda .....	33
<b>9.2 Usvajanje cjevovoda .....</b>	<b>33</b>
9.2.1 Zahtjevi i projekti cjevovoda .....	33
9.2.2 Podloge za projektiranje – mehanika fluida .....	33
9.2.3 Oblikovanje cjevovoda .....	37
9.2.4 Proračun cjevovoda .....	42
9.2.5 Primjeri usvajanja cjevovoda .....	52
9.2.6 Loša i dobra rješenja .....	56
<b>9.3 Primjena cjevovoda .....</b>	<b>56</b>
9.3.1 Izgradnja cjevovoda .....	56
9.3.2 Spajanje čeličnih cjevovoda .....	57
9.3.3 Spajanje bakarnih cjevovoda .....	58
9.3.4 Spajanje plastičnih cjevovoda .....	58
9.3.5 Pogon cjevovoda .....	58
9.3.6 Održavanje cjevovoda .....	59
9.3.7 Demontaža i odlaganje cjevovoda .....	60
9.3.8 Loša i dobra rješenja .....	60
<b>Dodaci .....</b>	<b>61</b>
<b>Literatura .....</b>	<b>76</b>

## Ishodi učenja:

- (a) **Razumijevanje osnova cjevovoda** (cjevovodi, struktura, fizički temelji, vrste).
- (b) **Usvojena ispravnog oblikovanja cjevovoda** (ispravno oblikovanje i pogreške).
- (c) **Savladano usvajanje vijčanih cjevovoda** (norme, proračun, primjeri usvajanja).
- (d) **Savladana primjena vijčanih spojeva** (izrada i kvalitete vijaka i matica, tehnologija spajanja, korištenje).

## 9.1 Osnove cjevovoda



### 9.1.1 Struktura cjevovoda

**Cjevovod** – niz cijevi koje su zajedno s potrebnom opremom spojene u funkcionalnu cjelinu.

Cjevovodima se transportiraju tekuće, plinovite, tjestaste i zrnate krute tvari.

**Cjevovodna mreža** – skupina cjevovoda spojena u funkcionalnu cjelinu. Široko su zastupljene mreže: opskrbe pitkom vodom, odvoda otpadnih voda (*kanalizacija*), opskrbe zemnim plinom, centralnog grijanja.

[Witel (2011), str. 632] ⇓

Protok se transportiranog medija (*fluida*) kroz cjevovod uspostavlja:

- (a) usisavanjem u područje nižeg tlaka (*crpke*),
- (b) uslijed različitih visina ulaza i izlaza iz cjevovoda,
- (c) potiskivanjem pumpama ili puhalima.

U slučajevima (a) i (b) prikladnim dovođenjem energije (*električne*) uspostavljaju se zahtijevani protoci i/ili tlakovi.

Osim mehaničkih (*čvrstoća*) i toplinskih (*razmjena topline*) zahtijeva u pravilu treba ispuniti i zahtjeve vezane za uzajamno djelovanje cjevovoda s transportiranim medijem i okolinom (*korozija, produkti korozije*).

Strojevi proizvodne tehnike obuhvaćaju cjevovode za dovode/odvode vode (*hlađenje*), maziva (*podmazivanje*) te njihove disperzije (*tekućina za podmazivanje/hlađenje u obradu metala odvajanjem*

*strugotine*). U energetici se cjevovodima zajedno s medijem (*zagrijana voda, vodena para*) transportira i energija a u procesnoj tehnici se dovode/odvode razne tvari potrebne za odvijanje procesa – fizičkih (npr. destilacija) i kemijskih (*kemijski reaktori*).

Uz korištenje nosećeg medija (*zrak, voda*) cjevovodima se mogu transportirati tjestaste tvari (beton, mulj) i zrnate krute tvari (*žitarice, pijesak, cement*).

Kod sustava regulacije (*pneumatski sa zrakom i hidraulički s uljem*) cjevovodima se prenosi tlak od agregata do akuatora (*izvršni organi*).

**Nazivni tlak,  $NP$**  (*en. nominal pressure*) – karakteristični tlak, utvrđen u normi HRN M.B.006 (*DIN 2401*), koji se koristi u proračunu cjevovoda. U oznakama cijevi i opreme, iza kratice  $NP$ , navodi se brojčana vrijednost tlaka u  $N/mm^2$  i barima (*bar*).

$$NP 6 \Rightarrow p_n = 6 \text{ bar} = 6 \cdot 100000 \cdot \text{Pa} = 600000 \cdot \text{N/m}^2 = 600 \text{ kPa} = 0,6 \text{ MPa}$$

**Nazivni promjer,  $DN$**  (*en. nominal diameter*) – karakteristični promjer, utvrđen u normama cijevi, na primjer, kod čeličnih cijevi je približno jednak unutarnjem promjeru. U oznakama cijevi i opreme, iza kratice  $DN$ , navodi se brojčana vrijednost tlaka u mm.

**Radni tlak,  $p_r$**  – najveći tlak koji se smije pojaviti u cjevovodu tijekom pogona. Pri nižim je temperaturama radni tlak jednak nazivnom dok je pri višim temperaturama ( $\vartheta > 120 \text{ }^\circ\text{C}$ ) niži od nazivnog (*DIN 2401*).

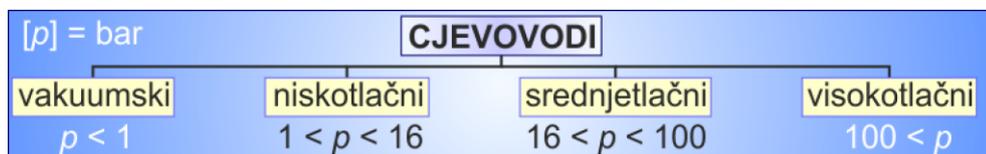
**Ispitni tlak** – tlak s kojim se provjerava funkcionalnost izvedenog cjevovoda. Ako drugačije nije propisano:

$$p_i = 1,5 \cdot NP \quad \text{bar}$$

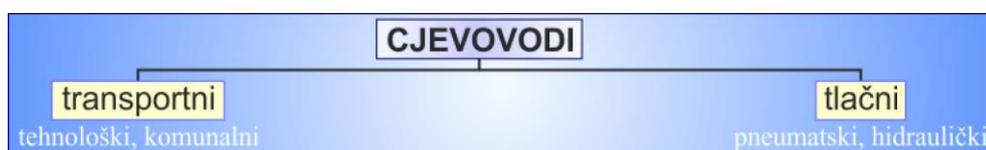
U ispitnim pokusima se u pravilu kao medij koristi tekućina (*voda*), koje, za razliku od plinova, pri velikim promjenama tlaka neznatno mijenjaju volumen. Kada su ispitni tlakovi mali mogu se kao ispitni mediji koristiti i plinovi (*zrak, dušik*).

### 9.1.2 Sistematizacija cjevovoda

Prema radnom tlaku razlikuju se:



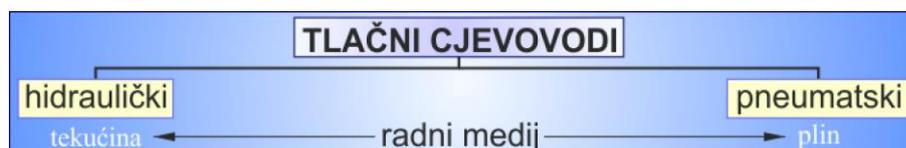
Prema namjeni razlikuju se:



Transportnim se cjevovodima dovode korisnicima potrebne tvari (*pitka voda, zemni plin, topla voda*) i/ili odvođe suvišne/otpadne tvari (*otpadne vode, dimni plinovi*) k odlagalištima/recipijentima (*more, atmosfera*).

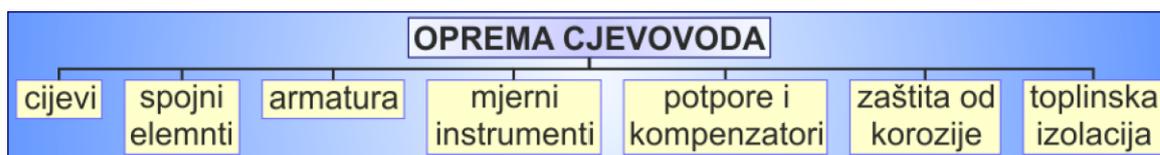


Tlačnim se cjevovodima prenosi tlak između dijelova hidrauličkih i pneumatskih sustava. Tlak se pri tome prenosi praktično bez transport radnog fluida. U hidrauličkim cjevovodima je radni fluid tekućina, a u pneumatskim plin.



### 9.1.3 Komponente cjevovoda

Cjevovodi su opremljeni različitim komponentama:



#### Cijevi

**Cijevi** – kruti šuplji dugački (*jedna dimenzija – dužina, daleko veća od druge dvije*) elementi stroja, izrađeni od različitih materijala, jednake debljine zida, u pravilu kružnog poprečnog presjeka (*možu biti i ovalne ili pravokutne, koje se uglavnom koriste u izgradnji čeličnih konstrukcija*).



**Slika 09.01** Bakrena cijev 54  $\varnothing \times 2$  mm (*DN 50 – unutarnji promjer 50 mm*)

Cijevi se označavaju sa:

- promjerima: vanjskim,  $D$ , m, i unutarnjim,  $d$ , m, ili
- vanjskim promjerom i debljinom zida,  $s$ , m, i
- dužinom,  $L$ , m, (*može se izostaviti ako se podrazumijeva normirana duljina*) te,
- norma (*koja obuhvaća cijev*) i
- materijal (*od koga je cijev izrađena*).

Elastična **crijeva** se koriste umjesto krutih cijevi ako se spojevi s drugim elementima cjevovoda moraju lako sastavljati/rastavljati, ili ako drugi elementi (*spojeni crijevom*) trebaju biti uzajamno pokretni.

### *Spojni elementi*

**Spojni elementi** (*fitinzi*) – namijenjeni su uzajamnom spajanju cijevi cjevovoda i spajanju cijevi s ostalim elementima cjevovoda (*S 09.02*).



**Slika 09.02** Bakarni spojni element



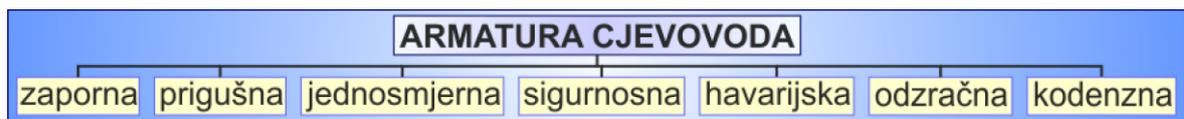
**Slika 09.03** Zaporni ventil 1/2" od mesinga, s ispustom

### *Armatura*

**Armatura** – oprema namijenjena regulaciji protoka, tlaka i sastava fluida.

U sustavima s aparatima i spremnicima (*energetika i procesna tehnika*) armatura je namijenjena usmjeravanju, povećavanju/smanjivanju protoka fluida.

Prema namjeni razlikuje se:



- zaporna – odvajanje jednog dijela cjevovoda od drugoga (*S 09.03*)
- prigušna – smanjivanje tlaka
- jednosmjerna – dopušta tok fluida samo u jednom smjeru
- sigurnosna – sprječava porast tlaka preko maksimalne dopuštene vrijednosti
- havarijska – prekida tok fluida pri pojavi havarije
- odzračna – izdvajanje zraka iz tekućine
- kondenzacijska – izdvajanje kondenzata iz plina

### *Mjerni instrumenti*

**Mjerni instrumenti** – namijenjeni su praćenju pogonskih veličina cjevovoda.

Prema namjeni razlikuju se:



Trenutni protokomjer pokazuje protok fluida u trenutku očitavanja a sumarni protokomjer ukupnu količinu fluida (*S 09.04*).



Slika 09.04 Sumarni protokomjer



Slika 09.05 Potpora cijevi

### *Potpore i kompenzatori*

**Potpore** – prihvaćaju težinu cjevovoda (*ispunjenog fluidom*) te time smanjuju mehanička opterećenja komponenata cjevovoda.

**Kompenzatori** – omogućavaju temperaturne dilatacije cjevovoda, a bez pojave nedozvoljeno velikih sila i naprezanja.

### *Zaštita od korozije*

### *Toplinska izolacija*

## 9.1.4 Cijevi

### Materijali cijevi

Cijev je određena s materijalom i geometrijom. Za izradu cijevi se koristi vrlo velik broj različitih materijala (*oko 2000 godine prije Krista u Kini su korištene vodovodne cijevi izrađene od bambusa*), a detalji geometrija cijevi određeni su u normama.



Izbor materijala cijevi ovisi o zahtjevima (*investitor*) i ograničenjima (*propisi*).

## Normirane cijevi

### Čelik

[Vitas 1990, str. 235]

Čelične cevi, zbog veće jačine, lakše su od livenih i jeftinije, pošto mogu biti vrlo dugačke — do 16 metara i više — što znatno smanjuje broj mesta za nastavljanje i vezivanje. One su pogodne gotovo za sve ciljeve, upotrebljive su za sve pritiske i mogu imati prečnike praktično od najmanje do najveće veličine. Iako su čelične cevi mnogo više podložne koroziji od livenih, ipak se danas one mogu osposobiti i u tom pogledu (primenom raznih prevlaka).

Standardizacija čeličnih cevi odnosi se uglavnom na njihov spoljašnji prečnik; zbog toga se često „standardni otvori“ ne poklapaju sa unutrašnjim stvarnim prečnicima čeličnih cevi, pošto debljina cevi varira prema pritisku, a spoljašnji prečnik je standardizovan.

Po načinu dobijanja mogu se čelične cevi podeliti na

- a) cevi sa uzdužnim sastavkom ili uzdužnim šavom: zakovane, zavarene, zalemljene i presavijene pa stisnute („falcovane“),
- b) cevi bez uzdužnog sastavka ili uzdužnog šava; valjane i vučene.

[Wittel (2011), str. 632]

Bešavne i šavne čelične cijevi pored transportne imaju i konstruktivnu funkciju. Zbog velike čvrstoće i žilavosti lako se ugrađuju s velikom sigurnošću od loma, što osigurava dobro korištenje materijala, brzu ugradnju i veliku ekonomičnost. Cjevovodi sa zavarenim spojevima se brzo izvode a spojevi sa prirubnicama su potrebni na mjestima spajanja cijevi s drugim elementima cjevovoda. U normama su obuhvaćene šavne i bešavne cijevi koje se izrađuju od različitih nelegiranih i legiranih čelika.

Za sprječavanje korozije nelegiranih čeličnih cijevi potrebna je prikladna zaštita, s unutarne strane i vanjske strane (*npr. pocinčavanje*). Kod polaganja cijevi u zemlju cijevi se prevlače ili oblažu slojem bitumena, plastične mase ili cementne žbuke.

Crne bešavne cijevi

Antaki2003/65÷78(70), Pandžić/228-229, Decker/479-484,  
Wittel/648-651, 19/220/228-231/243-244,

Čelične šavne i bešavne cijevi: DIN EN 10220

Navojne čelične cijevi: DIN EN 10255

vanjski promjer, mm	normalna debljina zida, mm	masa cijevi, kg/m	volumen vode, L/m	masa cijevi s vodom, kg/m
13,5 (1/4")	2,35	0,65	0,06	0,71
17,2 (3/8")	2,35	0,86	0,12	0,98
21,3 (1/2")	2,65	1,22	0,20	1,42
26,9 (3/4")	2,65	1,58	0,37	1,95
33,7 (1")	3,25	2,44	0,58	3,02

**Gewinderohre** aus S 195 T mit Eignung zum Schweißen und Gewindeschneiden nach DIN EN 10255 werden für den Transport und die Verteilung wässriger Flüssigkeiten und Gase eingesetzt. Festgelegt sind nahtlose und geschweißte Rohre mit Nenndurchmesser 10,2 mm bis 165,1 mm (R 1/8 bis R 6) in den Wanddickenreihen schwer und mittel und drei weitere Rohrarten mit festgelegter Wanddicke. Im gleichen Durchmesserbereich bis PN 100 zugelassen sind Gewinderohre mit Gütevorschrift nach DIN 2442, s. **TB 18-1**.

*Toplo pocinčani čelik*

*Nehrđajući čelik*

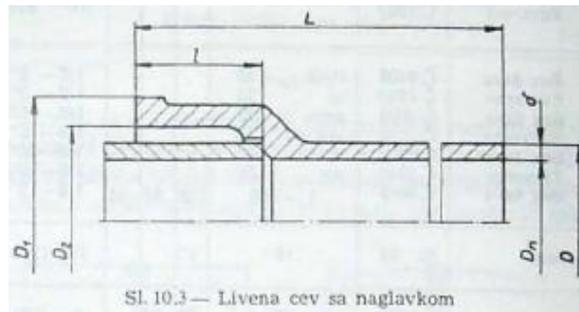
*Lijevano željezo*

Cijevi od nodularnog lijeva se koriste u izvedbama gradskih mreža za opskrbu pitkom vodom, te za odvodnju komunalnih, oborinskih i tehnoloških otpadnih voda.

Cevi od livenog gvožđa — uobičajen je naziv „livene cevi“ — upotrebljavaju se za sprovođenje vode i gasova, ređe i pare; one su otpornije protiv oksidacije od čeličnih cevi. Pritisak u cevima obično ne prelazi 10bar. Dve su vrste livenih cevi; sa obodom i sa naglavkom.



**Druckrohre aus duktilem Gusseisen** (s. auch **TB 18-1**) für Gas- und Wasserleitungen werden als Muffen- oder Flanschenrohre ausgeführt. Die Nennusswanddicke der Rohre in mm wird nach der Formel  $t = K (0,5 + 0,001 DN)$  festgelegt, wobei  $K$  8, 9, 10, 11, 12 ... betragen kann. Dabei sind als kleinste Wanddicke 6 mm für Rohre und 7 mm für Formstücke gefordert. Die Wanddickenklasse  $K$  berücksichtigt Innendruck und äußere Belastungen. Technische Anforderungen wie Längsbiegefestigkeit, Ringsteifigkeit und Überdeckungshöhen s. Anhänge zu DIN EN 545 und DIN EN 969. Die Rohre erhalten in der Regel eine Zementmörtelauskleidung. Der Innenschutz muss bei Trinkwasserleitungen den geltenden lebensmittelrechtlichen Vorschriften entsprechen. Als Außenschutz kommen je nach Bodengruppe in Frage: PE- oder Zementmörtel-Umhüllung, Zinküberzug oder bituminöser Überzug. Dabei sind unbedingt die DVGW-Arbeits-



↑ [Vitas 1990, str. 231] ⇒ Elčić 1973, str. 577]

## Bakar

Lako se oblikuju i spajaju, a otporne su na koroziju u uvjetima koji su bliski prirodnim. Koriste se u kućanskim instalacijama.

Bakarne cijevi: DIN EN 1057

**Rohre aus Kupfer und Kupferknetlegierungen** nach DIN EN 12449, nahtlos gezogen, Außendurchmesser 3 mm bis 450 mm und Wanddicken von 0,3 bis 20 mm für allgemeine Verwendung.

Genormt sind dabei Cu, niedrig legiertes Cu, Cu-Ni-Leg., Cu-Ni-Zn-Leg., Cu-Sn-Leg., Cu-Zn-Leg. und Cu-Zn-Pb-Leg. in den Zuständen *M*, *R* ..., *H* ... und *S*.

Für Wasser- und Gasleitungen, Sanitärinstallationen und Heizungsanlagen auch nahtlose Rohre aus Kupfer (Cu-DHP) nach DIN EN 1057 mit einem Außendurchmesser von 6 mm bis 267 mm bei Wanddicken von 0,5 bis 3 mm, s. **TB 18-1**.

Vorteilhaft bei Kupferrohren ist besonders ihre hohe Korrosionsbeständigkeit, gute Umformbarkeit, sichere Verbindungstechnik und keine Inkrustationen.

## Plastične mase

**Kunststoffrohre** finden wegen ihrer guten Beständigkeit, niedrigen Dichte, guten Verarbeitbarkeit und geringen Rauigkeit der Rohrwandung breite Anwendung für Transportleitungen von Säuren und anderen wassergefährdenden Flüssigkeiten, als Heizungsrohre, für Gas- und Wasserleitungen und bei physiologischer Unbedenklichkeit in der Lebensmittelindustrie. Da das Verhalten der Thermoplaste zeit-, temperatur- und lastabhängig ist, erfolgt die Normung der Rohr-abmessungen für eine Mindestnutzungsdauer von 50 Jahren, einer Temperatur von 20 °C und für das Medium Wasser.

### Polietilen PEHD

Vodovodne cijevi od polietilena PEHD: DIN 8074

Rohre aus *Polyethylen* sind als PE-LD in 3 Wanddickenbereichen für PN 2,5 bis PN 10 und Außendurchmessern von 10 bis 160 mm und als PE-HD (PE80 und PE100) mit PN 2,5 bis PN 16 in Außendurchmessern von 10 bis 1600 mm in DIN 8072/8073 genormt. Umfangreicher Einsatz im Bereich der erdverlegten Gas- und Trinkwasserleitungen. Sie werden durch Schweißen verbunden und sind nicht beständig gegen konzentrierte oxidierende Säuren.

*Polivinil-klorid*

Kanalizacijske cijevi od poli(vinil-klorida) PVC – tvrdi: DIN 8062, serija 3 –PN 6

vanjski promjer, mm	normalna debljina zida, mm	masa cijevi, kg/m	volumen vode, L/m	masa cijevi s vodom, kg/m
40	50	1,8	0,40	1,69
50	63	1,9	0,53	2,75
70	75	2,2	0,73	3,91
80	90	2,7	1,08	5,62
100	110	3,2	1,57	8,43

Rohre aus *Polyvinylchlorid* sind als PVC-U in 6 Wanddickenreihen in DIN 8062/8061 und als PVC-C in 7 Wanddickenreihen in DIN 8079/8080 von drucklos bis PN 25 und 40 bis 630 mm Außendurchmesser genormt. Sie werden vorzugsweise durch Kleben verbunden und sind nicht beständig gegen aromatische und chlorierte Kohlenwasserstoffe.

*Polipropilen*

Rohre aus *Polypropylen* sind nach DIN 8077/8078 in 6 Wanddickenreihen für PN 2,5 bis PN 20 und Außendurchmessern von 10 mm bis 1000 mm als Typ 1 und Typ 2 genormt. Typ 2 hat eine höhere Schlagzähigkeit bei tiefen Temperaturen. Die Verbindungen werden vorzugsweise geschweißt. PP ist ähnlich beständig wie PE, aber bis zu höheren Temperaturen verwendbar. Weite Verbreitung als Gas- und Wasserleitungen, in der Verfahrenstechnik und Lebensmittelindustrie.

*Ostali materijali*

Mesingane cevi (materijal: Cu80Zn, Cu72Zn, Cu67Zn, Cu63Zn i Cu60Zn) i bakarne cevi (materijal: Cu99,50 i Cu99,75) valjaju se bez šava ili tvrdo leme. Upotrebljavaju se u hemijskoj industriji zbog odlične sprovodljivosti toplote, u hladnjacima i kondenzatorima i, uopšte, u izmjenjivačima toplote, zatim na motorima i mašinama za sprovođenje maziva zbog mogućnosti da se prilagode ostrim krivinama. Najmanji poluprečnik krivine  $\rho_{min} = (3-5) D_i$ , gde je  $D_i$  unutrašnji prečnik cevi; manje vrednosti važe za manje prečnike. Uobičajene mere iznose: za spoljne prečnike 5 do 100 mm, za debljine 0,5 ÷ 10 mm i za dužine 3 ÷ 7 metara.

Olovne cevi (materijal: PbSb1) upotrebljavaju se zbog otpornosti prema kiselinama u hemijskoj industriji i zbog savitljivosti u kućnim vodovodnim instalacijama. Uobičajene su mere: za prečnik 10 ÷ 125 mm, a za debljinu 1 ÷ 10 mm.

[Vitas 1990, str. 237]

**Rohre aus Aluminium und Aluminiumlegierungen**, nahtlos gezogen nach DIN EN 754-7 und stranggepresst nach DIN EN 755, von 3 bis 350 mm und 8 bis 450 mm Außendurchmesser; für allgemeine Verwendung z. B. aus ENAW-1050A O/H111 oder für tiefe Temperaturen z. B. aus ENAW-3003O, s. **TB 18-1**. Hauptanwendungsgründe sind die geringe Dichte, das gute Verhalten bei tiefen Temperaturen bis  $-270^{\circ}\text{C}$  und die hohe Leitfähigkeit für Wärme und elektrischen Strom. Die meisten Al-Sorten sind gut schweiß- und lötlbar und ausreichend korrosionsbeständig. Einsatz bevorzugt für Rohrleitungen und Behälter der chemischen und der Nahrungsmittelindustrie sowie für Luftzerlegungs- und Gasverflüssigungsanlagen.

## Crijeva

Schläuche, als flexible, rohrförmige Halbzeuge aufgebaut aus mehreren Schichten und Einlagen, sind erforderlich für bewegliche, leicht lösbare Verbindungen, die keine Rückwirkung auf die angeschlossenen Aggregate ausüben.

DIN 20 066 für fertig montierte Schlauchleitungen enthält Angaben über die für die Auswahl und Zuordnung von Schläuchen und Armaturen wichtigsten Merkmale sowie die wesentlichen Einbau- und Anschlussmaße.

Genormt sind z. B. Metallschläuche aus nichtrostenden Stählen für DN 15 bis DN 100, Drücke  $\leq 16$  bar und Temperaturen bis  $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$  für chemische Stoffe nach DIN 2827, sowie aus austenitischen Stählen für DN 6 bis DN 300, Drücke  $\leq 250$  bar und Temperaturen von  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  bis  $+800\text{ }^{\circ}\text{C}$ , für Wasser, Dampf und chemische Stoffe nach DIN EN ISO 10 380.

Von den Elastomerschläuchen sind z. B. genormt Schläuche mit Textileinlage für DN 10 bis DN 150, Drücke PN 10 bis PN 100 und Temperaturen von  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  bis  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$  für Druckluft und Betriebswasser nach DIN 20 018-1 bis -4; Gummischläuche mit Drahtgeflechteinlage für DN 5 bis DN 51, Drücke PN 40 bis PN 400 und Temperaturen von  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  bis  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$  für Hydraulikflüssigkeiten und Wasser nach DIN EN 853; sowie Gummischläuche mit Textileinlage von DN 5 bis DN 100, Drücke PN 10, 16 und 25 und Temperaturen von  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  bis  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$  für Druckluft nach DIN EN ISO 2398.

Für den gefahrungsfreien Betrieb von Schlauchleitungen sind diese so zu montieren, dass Schlauchachse und Bewegungsrichtung in einer Ebene liegen, die Schläuche ausreichend lang sind, nicht über scharfe Kanten gezogen werden und der zulässige Biegeradius eingehalten wird.

### 9.1.5 Spojni elementi cjevovoda

Avallone2006/794

Wittel/651-652/657-661, [Vitas 1990, str. 240]

Bei der Verbindung einzelner Rohrleitungsteile zu einer funktionsfähigen Leitung kann man zwischen lösbaren und unlösbaren Verbindungen unterscheiden. Zu den lösbaren Verbindungen gehören die Flansch- und Muffenverbindungen und die Rohrverschraubungen. Unlösbare Verbindungen lassen sich durch Schweißen, Löten, Walzen, Sicken und Kleben herstellen. Die Verbindungen sollen die Festigkeit der Grundrohre aufweisen, müssen dicht und wirtschaftlich herstellbar sein.

**Spojni elementi** – uzajamno spajanje cijevi, te cijevi s ostalim elementima cjevovoda. Razlikuju se:



### Rastavljivi spojevi cjevovoda

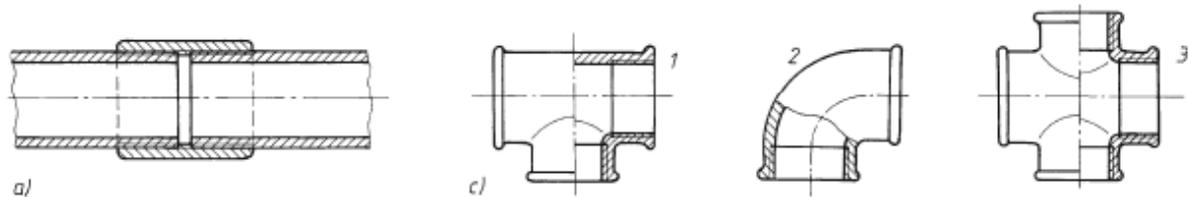
#### Navojni spojevi

Formstücke sind Bauteile von Rohrleitungsanlagen, z. B. Rohrbogen, Fittings, Abzweig- und Verbindungsstücke, Reinigungsstücke, Wasserabscheider usw., die oft hohen Beanspruchungen unterliegen und entsprechend dem Verwendungszweck aus nahtlosem Stahlrohr oder als Schmiedestücke, in Stahlguss oder duktilem Gusseisen gefertigt sind.

Kunststoff-Rohrleitungsteile wie Bogen, T-Stücke, Abzweige, Kreuze, Muffen, Nippel, Reduzierstücke, Verschraubungen usw. sind genormt für PVC-U-Fittings in DIN 8063-1 bis -12 für Klebverbindungen, für PP-Fittings in DIN 16 962-1 bis -13 für Heizelement-, Muffen- und Stumpfschweißung und für PE-Fittings in DIN 16 963-1 bis -15 für Heizelement-Muffenschweißung, Heizwendel- und Stumpfschweißung.

### 3. Rohrverschraubungen

Eine häufige und bewährte Verbindungsart für Versorgungsleitungen in der Hausinstallation ist die mittels Gewinderöhren und Temperguss- bzw. Stahlittings DIN EN 10242. Man verwendet dabei ausschließlich das Whitworth-Rohrgewinde DIN EN 10226-1 mit zylindrischem Innen- und kegeligem Außengewinde (Kegel 1:16), **Bild 18-11**. Diese Gewindeverbindung ist so ausgelegt, dass die Dichtwirkung zum größten Teil durch die metallische Pressung der Gewindeflanken gegeneinander erreicht wird. Wenn nötig, darf ein geeignetes Dichtmittel (Kunststoffbänder, Hanf, Vlies) im Gewinde verwendet werden, um eine dichte Verbindung sicherzustellen. Bei allseitigem Rechtsgewinde gelten derartige Schraubverbindungen als unlösbar.



**Bild 18-11**

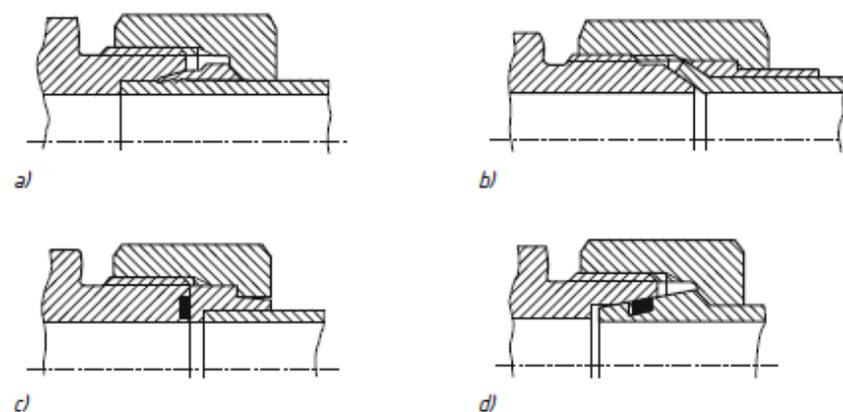
Schraubverbindungen mit Fittings.

a) Verbindung gleichgroßer Rohre

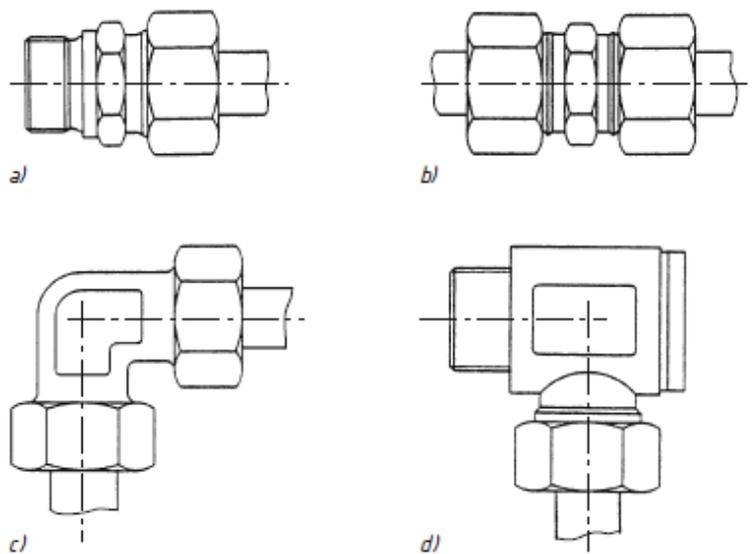
b) Verbindung verschieden großer Rohre durch reduzierte Muffe

c) Fittings 1 T-Stück, 2 Bogen, 3 Kreuzstück

In den Leitungsnetzen der bei hohen Drücken (bis 630 bar) arbeitenden Ölhydraulik werden Rohrverschraubungen entsprechend den **Bildern 18-12** und **18-13** benutzt. Die Abdichtung erfolgt über metallischen Kontakt oder elastisch durch O-Ringe, s. **Bild 18-12**. Die Haltefunktion übernehmen Schneidringe oder Bördel oder Kegel zusammen mit der Überwurfmutter, vgl. **Bild 18-12**. Bei hohen Drücken und starken dynamischen Belastungen (Druckspitzen, mechanische Schwingungen) haben sich weichdichtende Schweißkegelverschraubungen (**Bild 18-12d**) besonders bewährt. Durch die O-Ring-Abdichtung und den Wegfall eines Schneidrings erreicht



**Bild 18-12** Rohrverschraubungen nach ISO 8434 für Hydraulikanlagen (Rohraußendurchmesser 6 bis 38 mm, bis PN 630). a) Schneidring, Dichtkegel 24° (DIN 2353), b) Bördel, Dichtkegel 37°, c) flachdichtend mit O-Ring (Bördel oder Endstück 90°), d) Schweiß-(Dicht-)Kegel 24° mit O-Ring (DIN 3865)

**Bild 18-13**

Verschraubungsarten.

- a) Gerade Einschraubverschraubung
- b) gerade Verbindungsverschraubung
- c) Winkelverschraubung
- d) Schwenkverschraubung

man auch bei extremen Betriebsverhältnissen absolute Dichtheit der Verbindung bei hoher Biegewechsel- und Druckimpulsfestigkeit. Metallisch dichtende Bördelverschraubungen (**Bild 18-12b**) kommen im Mitteldruckbereich der Hydraulik zum Einsatz. Bei der flachdichtenden Bördelverschraubung  $90^\circ$  ist zu beachten, dass sie keine Fluchtungsfehler ausgleichen kann (**Bild 18-12c**). Auf der Grundlage des genormten  $24^\circ$ -Grundkörpers mit genormter Überwurfmutter wurden neue Verschraubungen entwickelt, so z. B. Schneidringe mit Weichdichtung und Formkopf mit/ohne Weichdichtung.

Hydraulikrohre werden an Hydraulikgeräte mittels Einschraubzapfen und -löcher angeschlossen (**Bild 18-13a**). DIN 3852 sieht für zylindrisches und kegeliges Einschraubgewinde das Metrische Feingewinde und das Whitworth-Rohrgewinde vor (**TB 18-11**).

Die Abdichtung sollte durch einen elastomeren Dichtring erfolgen. In Rohrleitungsnetzen erfolgt die Verbindung der Rohre miteinander durch Verbindungsverschraubungen (Gerade-, Winkel-, T- und Kreuzform) und ggf. durch Schott- und Einschweißverschraubungen, s. **Bild 18-13b** und **c**. Wegen des erforderlichen Anziehdrehmomentes sind bei Rohraußendurchmesser über 38 mm Flanschverbindungen üblich.

### *Naglavni spojevi*

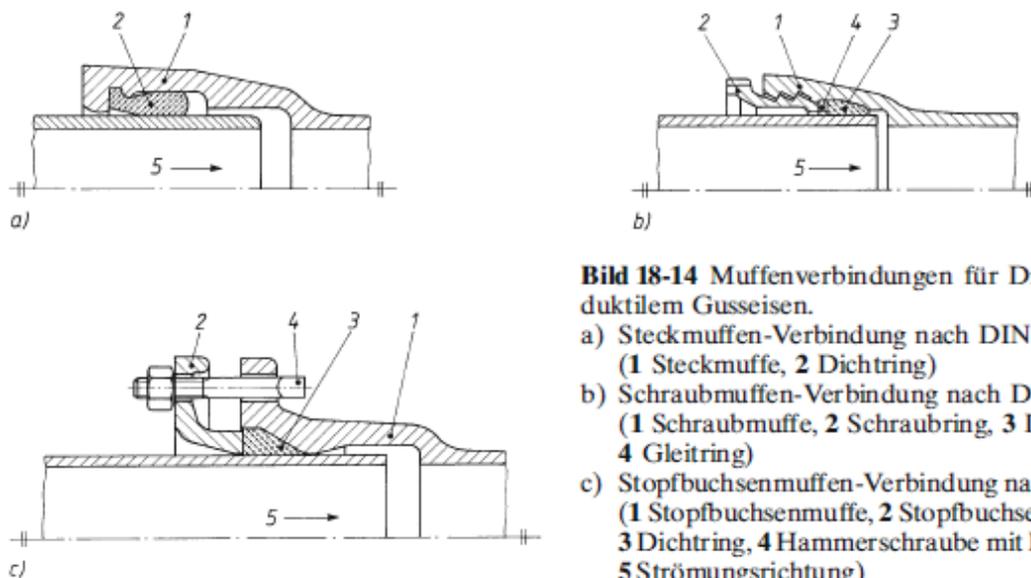
Elastische Muffenverbindungen werden für Gusseisenrohre bei Gas- und Wasserleitungen (siehe **TB 18-1**) und bei Kunststoffrohren eingesetzt. Starre Muffenverbindungen (z. B. Stemmuffen) werden seltener angewandt. Schweißmuffen siehe unter 18.3.2-1.

Bei der Steckmuffen-Verbindung, **Bild 18-14a**, wird ein Gummidichtring (2) in die Muffe (1) eingelegt. Nach dem Einfahren des glatten Rohrendes in die Muffenkammer wird durch Verformen des Dichtringes die radiale Dichtpressung erzielt.

Bei der Schraubmuffen-Verbindung wird das feste Einpressen des Gummidichtringes (3) durch einen Schraubring (2) bewirkt, **Bild 18-14b**.

Bei der Stopfbuchsenmuffen-Verbindung wird ein Gummidichtring (3) unter dem Druck des Stopfbuchsenrings (2) wie eine Stopfbuchsenpackung in die Dichtfuge gepresst, **Bild 18-14c**.

Alle genannten Ausführungen gestatten Winkelabweichungen und können Längsverschiebungen aufnehmen. Sie ermöglichen daher die Ausführung sanfter Krümmungen ohne Formstücke und verhindern Rohrbrüche bei Senkungen des Erdreichs. Zur Aufnahme von Längskräften müssen die Leitungen allerdings entsprechend gesichert werden. Auch mit temperaturempfindlichem Innenschutz versehene Rohre lassen sich schonend (keine Wärme!), einfach und schnell verlegen.



**Bild 18-14** Muffenverbindungen für Druckrohre aus duktilem Gusseisen.

- a) Steckmuffen-Verbindung nach DIN 28 603  
(1 Steckmuffe, 2 Dichtring)
- b) Schraubmuffen-Verbindung nach DIN 28 601  
(1 Schraubmuffe, 2 Schraubring, 3 Dichtring, 4 Gleitring)
- c) Stopfbuchsenmuffen-Verbindung nach DIN 28 602  
(1 Stopfbuchsenmuffe, 2 Stopfbuchsenring, 3 Dichtring, 4 Hammerschraube mit Mutter, 5 Strömungsrichtung)

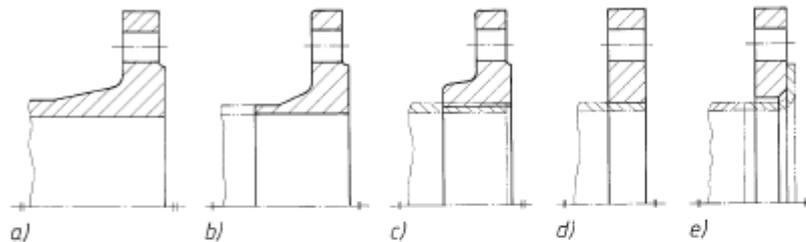
## Prirubnički spojevi

### 2. Flanschverbindungen

Als lösbare Verbindungen werden Flanschverbindungen vielfach durch Schweißverbindungen ersetzt und noch dort eingesetzt, wo Trennstellen vorgesehen werden müssen (z. B. Anschluss an Armaturen und Pumpen) oder wo aus Sicherheitsgründen nicht geschweißt werden darf.

Die Verbindung besteht aus den beiden Flanschen, der eingelegten Dichtung und den für das Zusammenpressen erforderlichen Schrauben und Muttern. Alle Teile sind weitgehend genormt. Runde, nach PN bezeichnete Flansche für Rohre, Armaturen und Formstücke sind in

DIN EN 1092-1 bis -6 genormt. Festgelegt sind Flanschtypen, Dichtflächen, Maße, Toleranzen, Oberflächenbeschaffenheit und die Qualitätssicherung mit der zugehörigen Druck/Temperatur-Zuordnung. EN 1092 besteht aus den Teilen Stahlflansche (Teil 1), Gusseisenflansche (Teil 2), Flansche aus Kupfer-, Aluminium- und anderen metallischen und nichtmetallischen Werkstoffen (Teile 3 bis 6). **Bild 18-9** zeigt einige genormte Flanschtypen.



**Bild 18-9** Genormte Flansche. a) Gusseisen- und Stahlgussflansch, b) Vorschweißflansch, c) Gewindeflansch mit Ansatz, d) glatter Flansch zum Löten oder Schweißen, e) loser Flansch für Bördelrohr

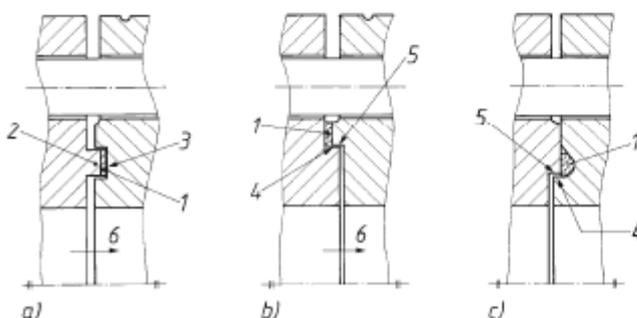
Durch die Maßnormen können Flansche gleicher Nennweite und gleichen Nenndruckes unabhängig von ihrer Bauform verbunden und gegeneinander ausgetauscht werden. Dadurch ist es möglich, Rohre aller Werkstoffe (GJL, St, NE-Metalle) beliebig miteinander zu verbinden.

Jeder Flansch erhält eine durch 4 teilbare Anzahl von Schraubenlöchern, die so anzuordnen sind, dass sie symmetrisch zu den beiden Hauptachsen liegen und dass in diese Achsen keine Bohrungen fallen.

Anschlussmaße der Flansche für PN 6, PN 40 und PN 63 siehe **TB 18-2**. Die Dichtungen müssen zum Ausgleich von Dichtflächenungenauigkeiten elastisch sein, dabei aber auch den mechanischen und thermischen Einwirkungen standhalten; außerdem wird Beständigkeit gegenüber dem Leitungsinhalt gefordert. Verwendet werden überwiegend Weichdichtungen aus It-Werkstoffen, Metall-Weichstoffdichtungen und Metaldichtungen nach DIN EN 1514-1 bis 8. Näheres zur Dichtungstechnik siehe unter 19.2.

Flansche mit glatten Dichtleisten sind am preiswertesten und ermöglichen einen leichten Ein- und Ausbau, **Bild 18-9**. Nut- und Federflansche weisen die beste Dichtwirkung auf und werden bei hohen Drücken und Vakuum eingesetzt, besonders aber dort, wo austretende Medien Schäden verursachen könnten (Vergiftung, Brand), **Bild 18-10a**. Nachteilig ist die erschwerte Montage, da die anschließenden Rohrteile um das Maß der Feder auseinandergerückt werden müssen. Ähnliches gilt für Flansche mit Vor- und Rücksprung nach **Bild 18-10b**, aber keine Anwendung für Vakuum. Bei der Profildichtung nach **Bild 18-10c** liegt ein Rundgummiring in der V-förmigen Nut des Vorsprungflansches. Die Funktionen Dichten und Verbinden sind getrennt.

Für hohe Drücke werden Flansche mit Abschrägung für Membran-Schweißdichtungen (DIN 2695, **Bild 19-4b**) und mit Eindrehung für Linsendichtungen (DIN 2696) eingesetzt. Die Auswahl der Schrauben und Muttern ist nach DIN EN 1515 vorzunehmen.



**Bild 18-10**

Formen der Dichtflächen bei Flanschverbindungen (vgl. EN 1514-1)

a) Feder und Nut

b) Vor- und Rücksprung

c) Vorsprung mit Eindrehung und Rücksprung

1 Dichttring, 2 Feder, 3 Nut, 4 Vorsprung,

5 Rücksprung, 6 Strömungsrichtung

*Hinweis:* Soweit Flanschnormen bestehen, erübrigt sich eine Festigkeitsberechnung für Flansche und Schrauben, da die Abmessungen für bestimmte PN und DN festgelegt sind. In allen übrigen Fällen ist ein Festigkeitsnachweis nach DIN EN 1591 oder AD 2000-Merkblätter B7 und B8 zu führen, s. unter 19.2.2.

### *Posebni spojevi*

Najčešće se sreću zavareni spojevi kod čeličnih cjevovoda, zalemljeni spojevi kod čeličnih bakarni i polietilenskih cjevovoda, te zalijepljeni spojevi kod PVC cjevovoda.

Kod cjevovoda izrađenih od različitih materijala za različite namjene koristi se velik broj različitih rastavljivih spojnih elemenata:

- **prirubnice** – čelični, polietilenski cjevovodi,
- **navojni spojni elementi** – toplo pocinčani čelični cjevovodi,
- **fazonski komadi** – cijevi od sivog lijeva,
- **posebni spojni elementi**

### **Nerastavljivi spojevi cjevovoda**

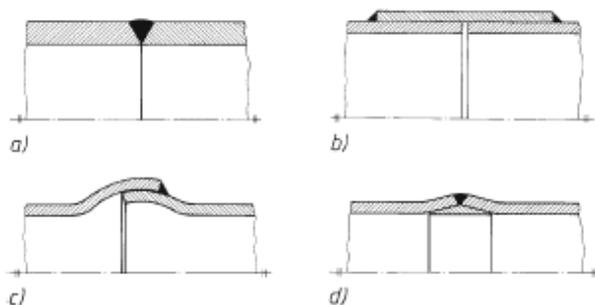


### *Zavareni spojevi*

## 1. Schweißverbindungen für Stahlrohre

Geschweißte Rohrverbindungen haben eine solche Bedeutung erlangt, dass an modernen Rohr- anlagen andere Verbindungsarten die Ausnahme bilden. Fehlerfrei ausgeführte Schweißnähte weisen die Festigkeit und Lebensdauer der Grundrohre auf, sie bleiben unverändert dicht, be- anspruchen nur geringen Platz, sind temperaturbeständig und ermöglichen damit die zuverlässigste und wirtschaftlichste Verbindung.

Die Rohre werden möglichst stumpf (Kraftfluss!) oder überlappt, also mittels Kehlnähten, ver- bunden. Voraussetzung für die Güte der Stumpfschweißnaht ist das genaue Zusammenpassen der Rohre, eine einwandfreie Zentrierung der Rohrenden gegeneinander und ggf. eine Schweißkantenvorbereitung, die ein sicheres Legen der Wurzellage erlaubt. Beispiele für die Gestaltung von Schweißverbindungen an Rohrleitungen und Behältern gibt DIN EN 1708-1, siehe **Bild 18-8** und 6.2.5-5. Richtlinien für die Schweißnahtvorbereitung (Fugenformen) sind, abgestimmt mit DIN EN ISO 9692-1 (Bild 6-11) in DIN 2559 zu finden.



**Bild 18-8** Geschweißte Rohrverbindungen.

- a) Stumpfnah, beste Ausführung
- b) Überschiebmuffe, vorteilhaft bei Reparaturen, vermeidet Zerstörung des Innenschutzes durch die Schweißnähte
- c) Kugelschweißmuffe, ermöglicht Achsabwinklungen bis  $10^\circ$
- d) Nippelschweißmuffe, erlaubt vollkommene Durchschweißung der V-Naht ohne Querschnittsverengung durch Schweißansätze

Gas- und Lichtbogenschweißen sind die beim Verbindungsschweißen von Rohrleitungen am meisten eingesetzten Verfahren. Bis etwa DN 100 ist das Gasschmelzschweißen das wirtschaftlichste Verfahren. Immer breitere Verwendung finden daneben die Schutzgasschweißverfahren MIG, MAG und WIG. Wenn, wie bei Rohren mit kleinen und mittleren Durchmessern, die Nahrückseite nicht zugänglich ist, muss zur Erzeugung einwandfreier Wurzellagen und zur Vermeidung von Zunderbildung (Betriebsstörungen!) Formiergas eingeleitet oder mit Einlegeringen gearbeitet werden, **Bild 18-8**. Die Prüfung der Schweißnähte erfolgt mit den üblichen zerstörungsfreien Prüfverfahren. Dampf-, Fernheiz- und frei verlegte Ölleitungen erfordern ab größeren Nennweiten eine Wärmebehandlung auf der Baustelle, die z. B. aus Vorwärmen, Spannungsarmglühen und Normalisieren bestehen kann.

*Zalemljeni spojevi*

*Zalijepljeni spojevi*

**Kompenzatori**

Rohrleitungen sind infolge Temperaturänderungen des Leitungsinhalts oder der Umgebung Längenänderungen unterworfen, die durch eine elastische Gestaltung der Rohrleitung ausgeglichen werden müssen. Ist die Leitung gerade und fest eingespannt, so muss die entstehende Rohrkraft (Zug oder Druck) von den Festpunkten aufgenommen werden. Der Extremwert der Längsspannungen im Rohr beträgt dann  $\sigma_{\theta} = E \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$ , bei Stahlrohren sind das ca.  $2,5 \text{ N/mm}^2$  je K Temperaturdifferenz. Überschlägig lässt sich die von der Rohrlänge unabhängige Rohrkraft für beliebige Rohrwerkstoffe ermitteln aus:

$$\boxed{F_{\theta} \approx E \cdot \alpha \cdot \Delta\theta \cdot A} \quad \begin{array}{c|c|c|c|c} F_{\theta} & E & \alpha & \Delta\theta & A \\ \hline \text{N} & \text{N/mm}^2 & \text{K}^{-1} & \text{K} & \text{mm}^2 \end{array} \quad (18.1)$$

$E$  Elastizitätsmodul des Rohrwerkstoffes nach **TB 1-1** bis **TB 1-4**

$\alpha$  thermischer Längenausdehnungskoeffizient des Rohrwerkstoffes

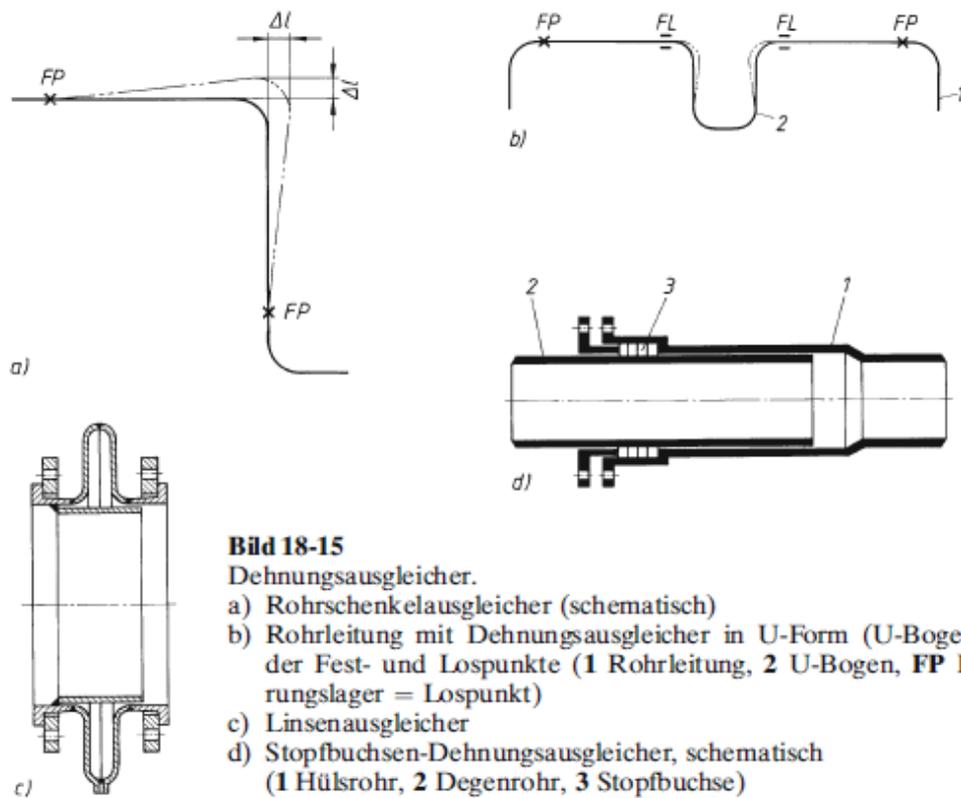
Baustahl:  $12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ; warmfeste und nichtrostende Stähle sowie Cu:  $17 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ; Al-Leg.:  $24 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ; Kunststoffe: zwischen  $50 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  bei tiefen und max.  $200 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  bei hohen Temperaturen ( $80^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta\theta$  Temperaturdifferenz zwischen Einbau und Betriebszustand

$A$  Rohrwandquerschnitt, z. B. aus **TB 1-13**

Anzustreben ist natürlicher Dehnungsausgleich durch Richtungswechsel der verlegten Rohre. Hierbei wird die Ausdehnung der geraden Strecke durch Ausbiegung des rechtwinkligen Rohrschenkels aufgenommen, **Bild 18-15a**. Die Festpunkte sollten möglichst an den Armaturen angeordnet werden. Größere Längenänderungen können durch Dehnungsausgleicher aufgenommen werden, die zwischen den Festpunkten anzuordnen sind, **Bild 18-15b**. Bewährt haben sich Dehnungsbogen in *U*- oder *Lyra*-Form, die aus dem gleichen Werkstoff wie das Rohr bestehen. Sie sind betriebssicher und wartungsfrei, aber sehr platzaufwendig. Um die entstehenden Kräfte, Biegemomente und Drehmomente auf ein erträgliches Maß zu reduzieren, werden die Rohre mit Vorspannung entgegen der Wärmedehnung montiert. Üblich ist eine Vorspannung von 50% der zu erwartenden Kraft. Hochbeanspruchte Leitungen müssen in Bezug auf die Wärmedehnung genau berechnet werden.

Bei großen Rohrleitungen und bei beengten Platzverhältnissen müssen die Wärmedehnungen von besonderen Elementen aufgenommen werden (künstlicher Dehnungsausgleich). Einfachstes Element ist die Linse (**Bild 18-15c**), die zu mehreren Elementen zusammengesetzt einen Metallbalg ergibt. Stopfbuchsen-Dehnungsausgleicher können große Dehnwege ausgleichen, **Bild 18-15d**.



### 9.1.6 Zaporna armatura cjevovoda

**Zaporni elementi** – omogućavaju odvajanje jednog dijela cjevovoda (*sjedne strane zapornog elementa*) od drugog dijela (*s druge strane zapornog elementa*).

Eine Armatur ist ein Rohrleitungsteil, das in Systemen aus Rohrleitungen, Behältern, Apparaten und Maschinen die Funktion des Schaltens und Stellens ausübt (DIN EN 736-1). Dabei wird unter Schalten verstanden, dass der Abschlusskörper im Wesentlichen die beiden Stellungen „geschlossen“ oder „offen“ einnimmt (Auf-Zu). Beim Stellen kann der Abschlusskörper funktionsbedingt auch Zwischenstellungen einnehmen. Die Grundbauarten sind definiert durch die Arbeitsbewegung ihres Abschlusskörpers und durch die Strömung im Abschlussbereich.

Der Werkstoff für Gehäuseteile wird entsprechend dem Rohrleitungsinhalt, der Betriebstemperatur und dem Betriebsdruck unter Berücksichtigung der Technischen Regeln z. B. nach DIN EN 1503-1 bis 4 gewählt. Die Gehäuse werden überwiegend gegossen, bestehen meist aus Gusseisen und bei hohen Anforderungen auch aus Stahlguss und Cu-Legierungen. Kunststoffgehäuse (PVC, PP, PA) gewinnen in der Chemie und bei Wasseraufbereitungsanlagen immer breitere Verwendung.

Für die wesentlichen Armaturenarten liegen Bauartnormen vor: DIN 3352 für Schieber, DIN EN 593 für Klappen, DIN 3356 für Ventile und DIN 3357 für Kugelhähne. Sie geben Aufschluss über den Bereich genormter Nennweiten und Nenndruckstufen, über die Formen, die Raumbedarfsmaße, Werkstoffe und Ausrüstung sowie über Anforderungen und Prüfung. Als Bezeichnung für eine genormte Armatur gelten die Nennweite, die Nenndruckangabe sowie eine Schlüsselnummer und ein Typkurzzeichen.

*Beispiel:* Bezeichnung eines Absperrventils von Nennweite 100 für Nenndruck 16, aus Gusseisen (Schlüsselnummer 2), Durchgangsform, Oberteil gerade und Flanschanschluss (A), Bauform und Ausrüstung nach Typ-Kurzzeichen 02 aus EN-GJL-250 (A):

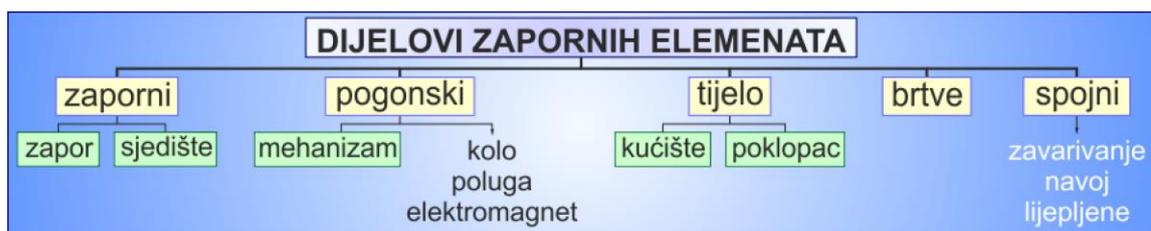
Ventil DIN 3356 – 100 PN16 – 2 A 02 A

**Bild 18-1** soll durch Vergleich der kennzeichnenden Merkmale die Auswahl der Armaturen erleichtern.

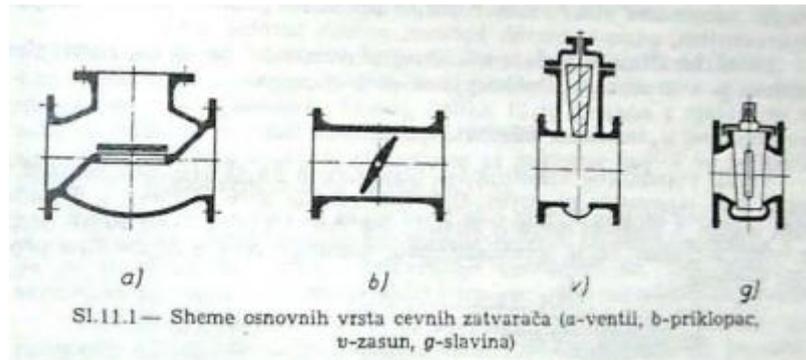
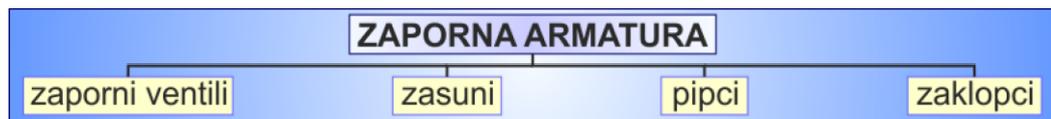
Merkmal	Ventil	Schieber	Hahn	Klappe
Baulänge	groß	klein	mittel	klein
Bauhöhe	mittel	groß	klein	klein
Strömungswiderstand	mäßig	niedrig	niedrig	mäßig
Eignung für Richtungswechsel der Strömung	bedingt	gut	gut	gut
Öffnungs- bzw. Schließzeit	mittel	lang	kurz	mittel
Verstellkraft	mittel	klein	klein	schwankend
Verschleiß des Sitzes	gering	mäßig	hoch	gering
Einsatz	mittlere DN höchste PN	größte DN mittlere PN	mittlere DN mittlere PN	größte DN kleine PN
Eignung der Stellvorgänge Molchung <sup>1)</sup>	sehr gut nicht möglich	schlecht möglich	mäßig möglich	gut nicht möglich

**Bild 18-1** Richtlinien zur Auswahl der Armaturen

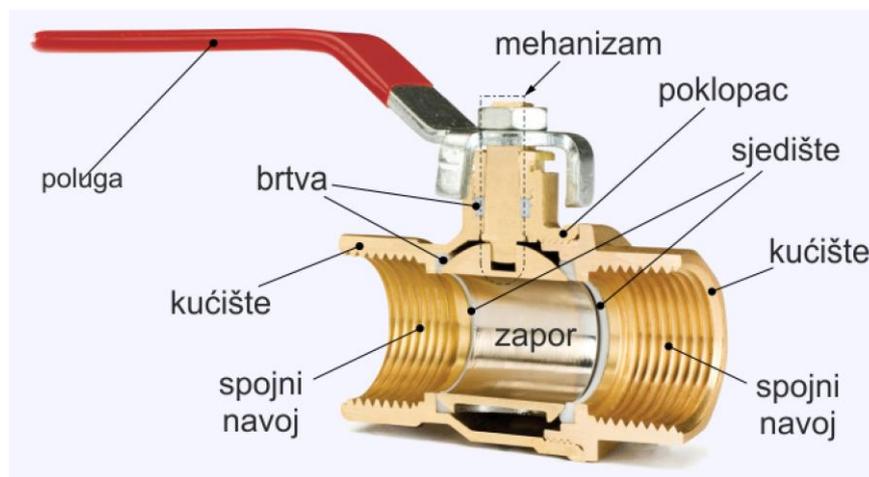
Elementi zaporne armature obuhvaćaju:



Prema obliku i kretanju zapora treba razlikovati:



[Vitas 1990, str. 250]



**Slika 09.06** Dijelovi zapornog pica (*zapor se okreće oko osi okomite na tok fluida*)

### *Zaporni ventil*

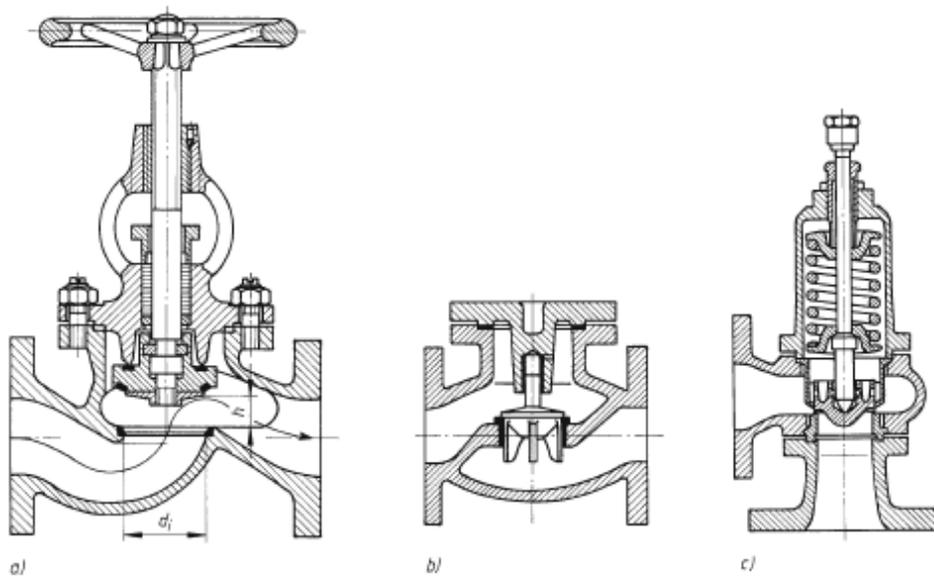
**Zaporni ventili** – zapor se kreće okomito na sjedište zapornog ventila.

Der Abschlusskörper, ein Ventilteller, ein Ventilkegel ( $30 \dots 60^\circ$ ) oder ein Kolben, bewegt sich geradlinig und längs zur Strömung durch Abheben vom Sitz um den Hub  $h = d_i/4$  und wird durch eine Gewindespindel, durch Federkraft oder durch den Leitungsinhalt betätigt. Die Sitzbreite wird allgemein bei ebenen Dichtflächen  $(0,04 \dots 0,1) d_i$ , bei kegeligen  $(0,02 \dots 0,05) d_i$  ausgeführt (**Bild 18-2a**).

Die Durchflussrichtung ist meist gegen die Unterfläche des Abschlusskörpers gerichtet. Zwecks sicherer Abdichtung muss die Sitzkraft  $F_S$  größer sein als die Betriebskraft  $F_B = p \cdot d_i^2 \cdot \pi/4$ , und damit  $F_S \approx (1,25 \dots 1,5) F_B$ .

Da Ventile nur bis  $F_B \approx 40$  kN leicht bedienbar sind, wird bei höheren Belastungen die umgekehrte Strömungsrichtung gewählt, was jedoch zum Öffnen des Ventils den Einbau einer Umführung oder eines *Entlastungsventils* (Doppelsitz, Kolben) erforderlich macht.

Sind Ventile zwischen in einer Richtung liegende Rohrleitungsabschnitte eingebaut, heißen sie *Durchgangsventile*, während sie zwischen unter  $90^\circ$  zusammenstoßenden Leitungsabschnitten eingebaut als *Eckventile* bezeichnet werden.



**Bild 18-2** Ventile. a) Absperrventil, b) Rückschlagventil, c) federbelastetes Sicherheitsventil

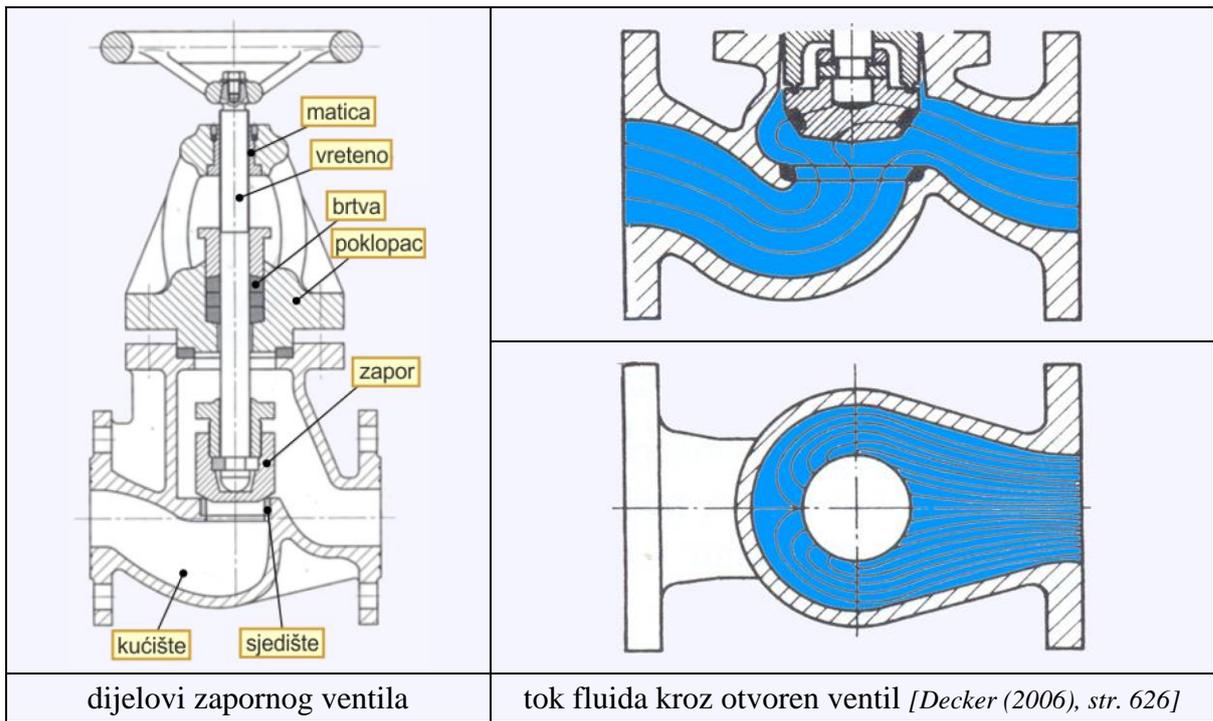
Nach ihren Aufgaben unterscheidet man:

*Absperrventile* (**Bild 18-2a**) zur Unterbrechung des Durchflusstromes,

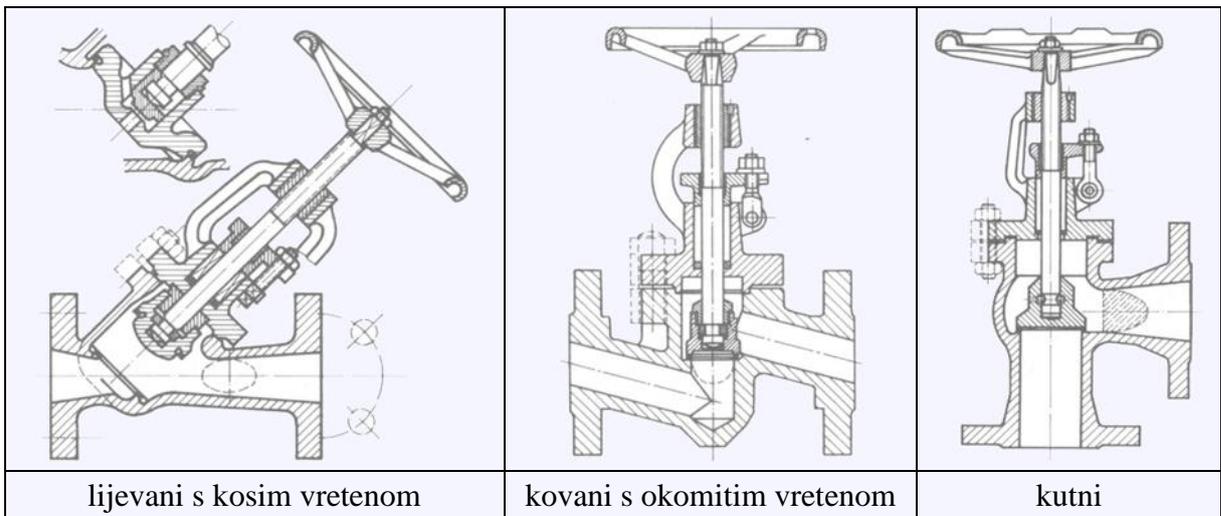
*Rückschlagventile* (**Bild 18-2b**) zur Verhinderung des Rückströmens durch selbsttätiges Schließen beim Ausbleiben des Durchflusses,

*Sicherheitsventile* (**Bild 18-2c**) zum Schutz von Rohrleitungen, Behältern usw. bei Überschreiten des festgelegten Höchstdruckes durch selbsttätiges Öffnen.

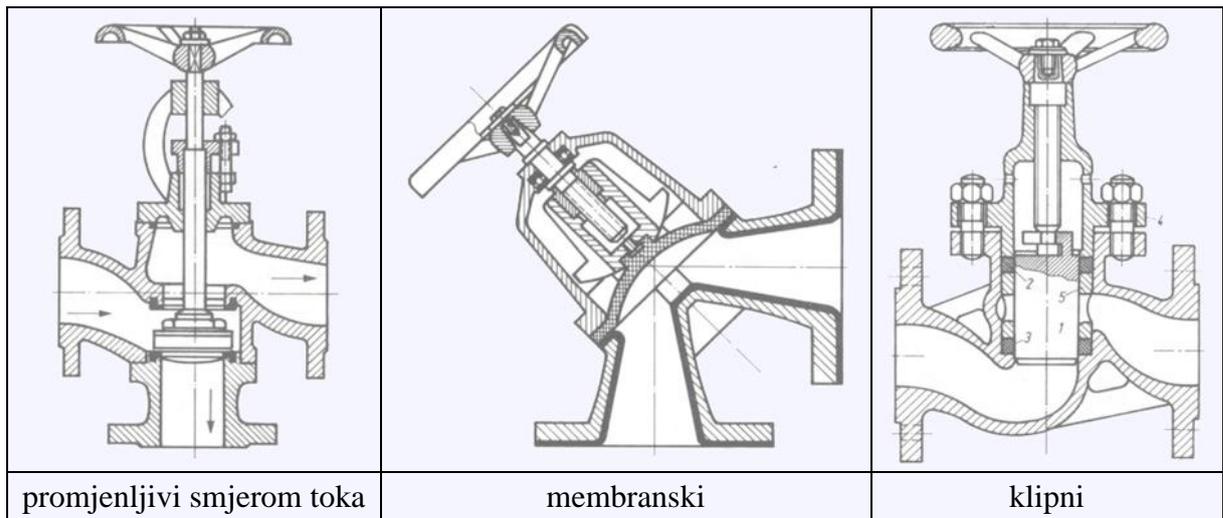
*Hinweis:* Da der Abschlusskörper im Strömungsweg liegt, sind größere Druckverluste trotz strömungstechnischer Gestaltung schwer zu vermeiden. Außerdem muss bei hohen Drücken mit großen Kräften zur Ventilbetätigung gerechnet werden.



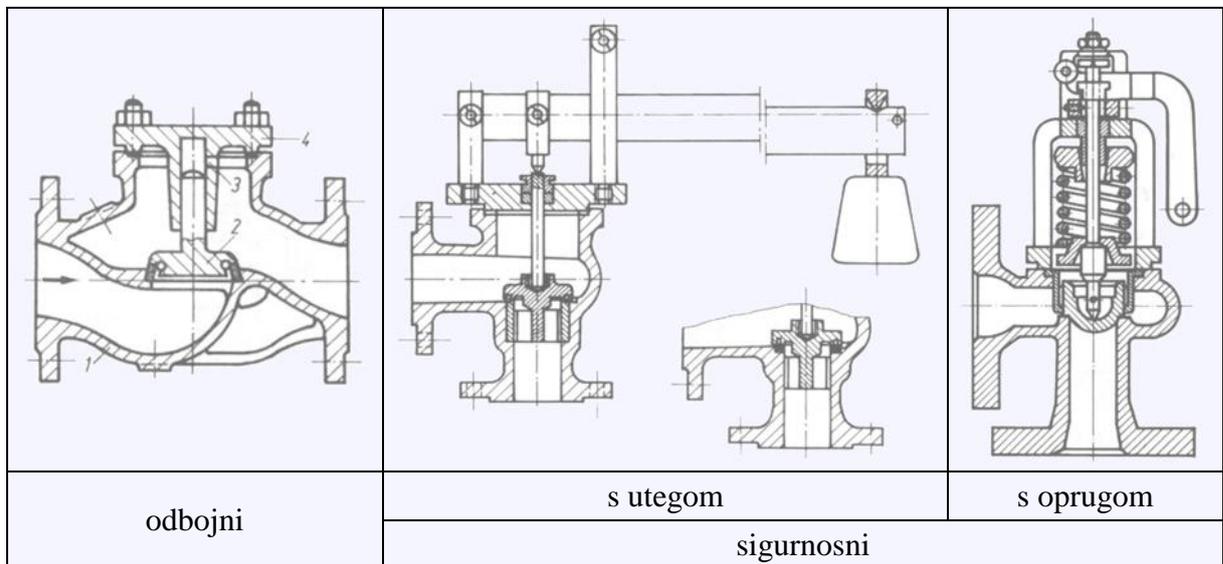
**Slika 09.07** Zaporni ventil



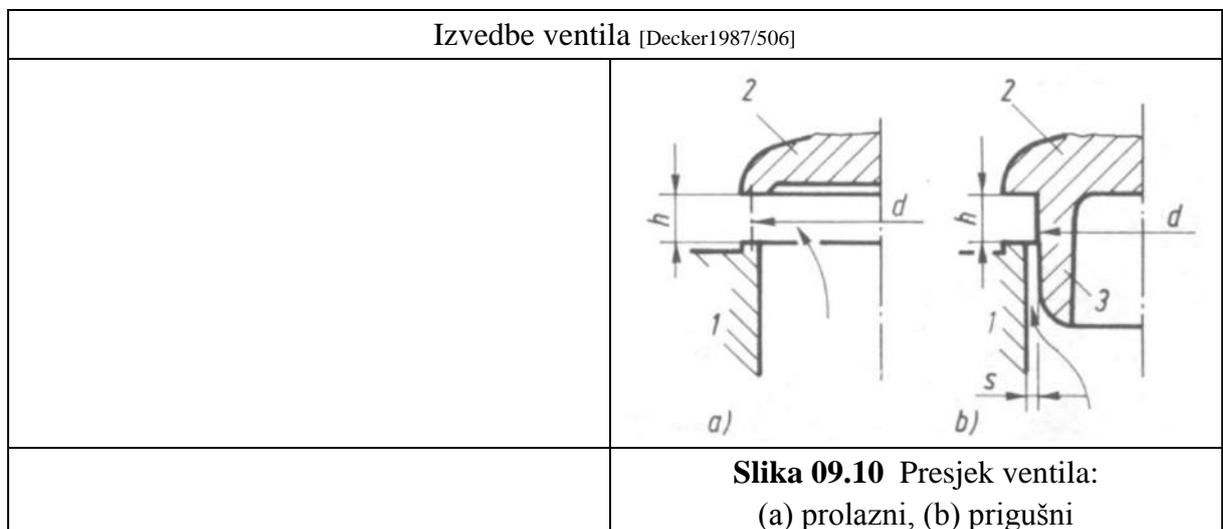
**Slika 09.08** Izvedbe zapornih ventila [Decker (2006), str. 627-628]



**Slika 09.09** Izvedbe zapornih ventila [Decker (2006), str. 628]



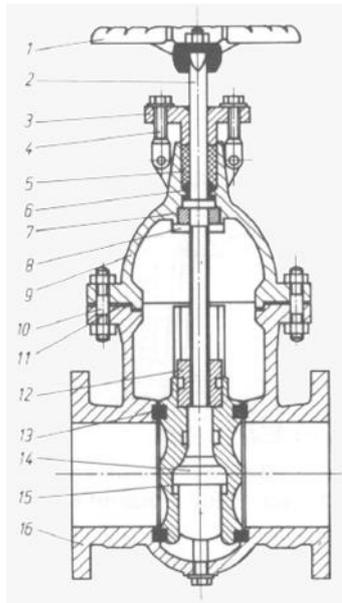
**Slika 09.10** Izvedbe zapornih ventila [Decker (2006), str. 629]



## Zasun

Pandžić/232, Decker/507-509, Wittel/653-654,

**Zasuni** – zapor se kreće paralelno sa sjedištem.

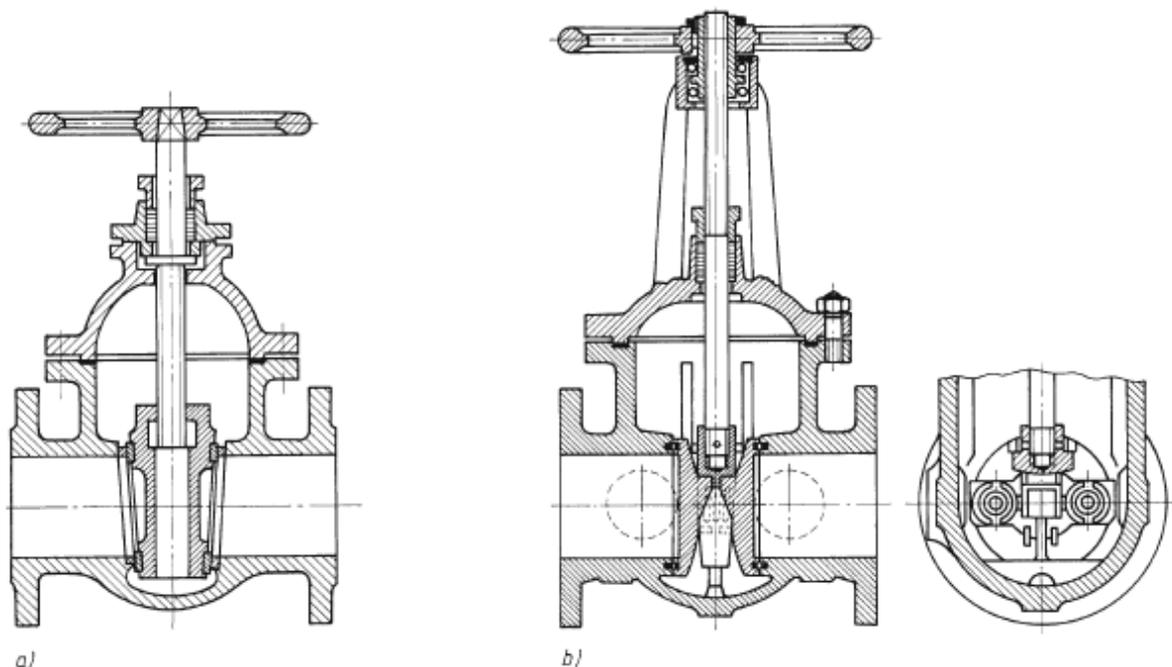


1 – ručno kolo, 2 – vreteno, 3. – brtvenica, 4 – zglobni vijak, 5 – brtvilo, 6 – prsten,  
7 – učvršćenje ojačanja vretena, 8 – osiguranje, 9 – kapa, 10 – vijak, 11 – brtva,  
12 – matica, 13 – prsten, 14 – razupora, 15 – ploče, 16 – kućište

Schieber werden für Gas, Druckluft, Wasser und Dampf mit DN 20...1000 und nach Form des Gehäuses als Flach-, Oval- oder Rundschieber ausgeführt. Für größere Leitungsabmessungen werden nur Schieber verwendet.

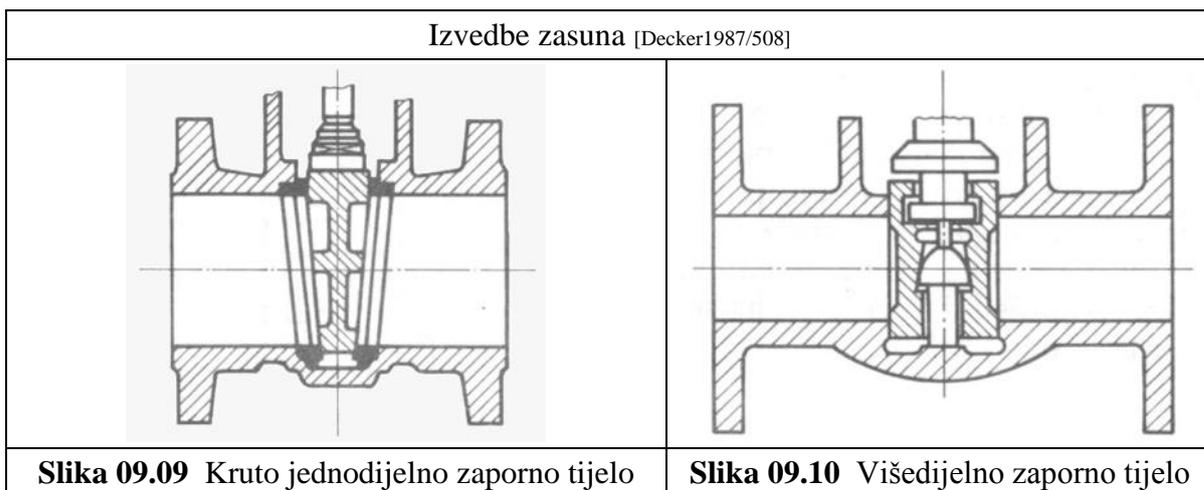
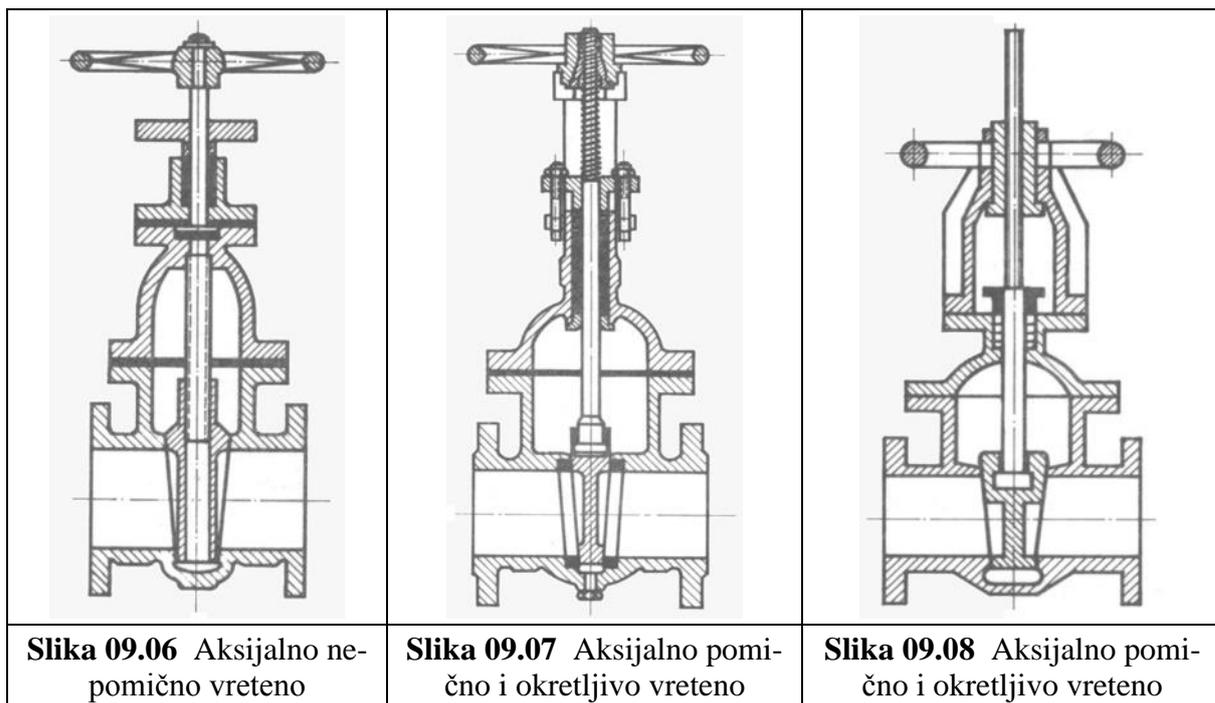
Die Bewegung des Abschlusskörpers erfolgt geradlinig quer zur Strömung. Als Abschlusskörper dient beim *Keilschieber* ein ungeteilter, starrer, geführter Keil, der zusätzlich durch den Spindeldruck auf die Dichtflächen gepresst wird (**Bild 18-3a**). Beim *Plattenschieber* sind es lose Platten, die durch den Druck des Leitungsinhalts oder meist durch dazwischenliegende Druck- bzw. Spreizstücke oder Kugeln angepresst werden, so dass die Spindeldichtung entlastet ist. Die lose Anordnung der Platten im Plattenhalter ermöglicht einen Ausgleich bei Temperaturänderungen, so dass Klemmen vermieden wird (**Bild 18-3b**).

Die Dichtflächen aus eingewalzten oder aufgeschweißten Ringen sind beim Parallelplattenschieber parallel, beim Keilplattenschieber gegeneinander geneigt. Leitrohre am unteren Ende des Plattenhalters ergeben eine einwandfreie, wirbellose Führung des Durchflussstromes. Durch stetige Abnahme des Durchflussquerschnittes nach innen (Einziehung) erhält man besonders bei hohen Drücken kleine Bauteile und Kräfte. Gegenüber Ventilen gestatten Schieber bei Freigabe des gesamten Querschnitts einen verlustarmen Durchfluss in beiden Richtungen. Schieber sind bauartbedingt reine Schaltarmaturen. Bei Zwischenstellungen beginnt der Abschlusskörper zu flattern. Die im freien Querschnitt vorhandenen hohen Geschwindigkei-



**Bild 18-3** Absperrschieber. a) Keilschieber, b) Parallel-Plattenschieber

ten führen dann zum raschen Verschleiß der Dichtflächen. Wegen des erforderlichen größeren Hubes ergeben sich, insbesondere bei Handbedienung, längere Öffnungs- und Schließzeiten. Die Herstellungskosten der Schieber sind hoch. Nachteilig ist die schlechtere Zugänglichkeit der Dichtflächen, wodurch auch die Instandhaltung erschwert wird.



### *Pipac*

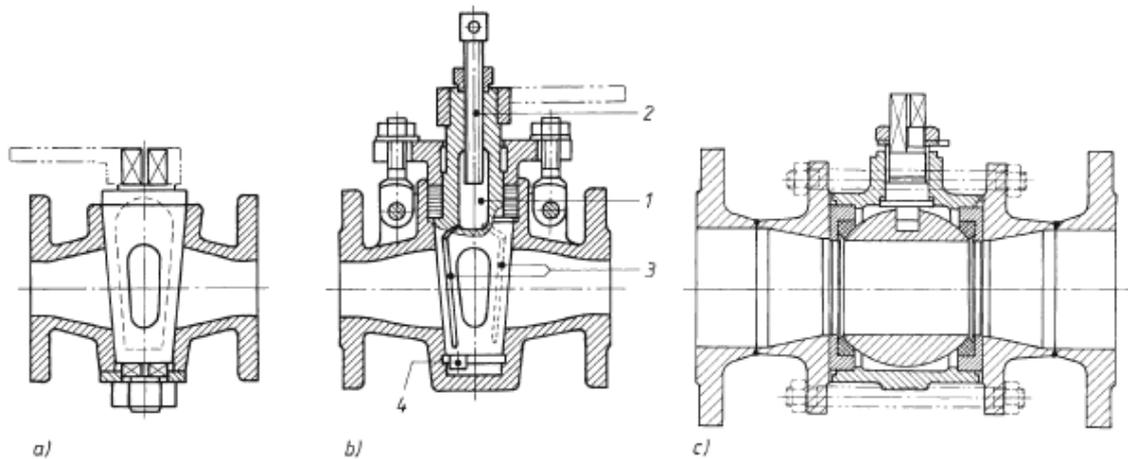
Pandžić/232-3, Decker/509-510, Wittel/654,

Pipac – zapor se okreće oko osi koja je okomita na tok fluida.

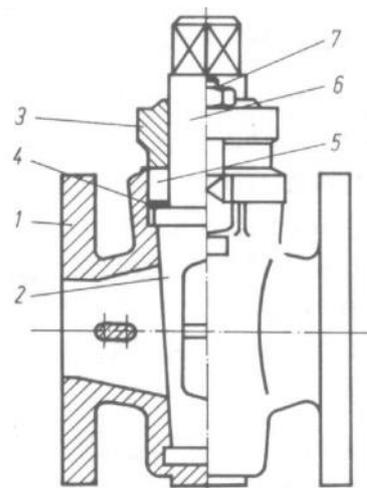
Bei Hähnen bewegt sich der Abschlusskörper drehend um eine Achse quer zur Strömung und wird in Offenstellung durchströmt. Beim Kegelhahn ist der Abschlusskörper ein kegeliges Kücken (Kegel 1:6) mit einem Durchgang in Form eines hochstehenden Ovals, **Bild 18-4a**. Die metallisch dichtenden Kücken sind in das Gehäuse eingeschliffen und werden mit einem besonderen Hahnfett geschmiert. Bei hohen Drücken und Temperaturen oder aggressiven Medien werden Schmierhähne angewendet, **Bild 18-4b**.

Hähne weisen eine Reihe von Vorteilen auf: einfache robuste Bauweise, geringer Durchflusswiderstand, geringer Platzbedarf, schnelle Schließ- und Umschaltmöglichkeit und Ausbildung mit mehreren Anschlussstutzen. Da die Dichtflächen immer aufeinander gleiten, verschleiben sie rasch und werden undicht. Zum Betätigen sind große Drehmomente nötig, bei längeren Stillstandszeiten neigen sie zum Blockieren. Wegen ihrer Totraumfreiheit sind Hähne in der Chemie- und Lebensmittelindustrie sowie für Trinkwasserleitungen im Einsatz.

Eine wesentliche Weiterentwicklung stellt der Kugelhahn dar, **Bild 18-4c**. Sein Abschlusskörper ist eine Kugel mit zylindrischer Bohrung. In geöffnetem Zustand weist er praktisch keinen Strömungswiderstand auf. Kugelhähne mit Volldurchgang bzw. reduziertem Durchgang sind genormt von DN 4 bis DN 500 für PN 4 bis PN 400.

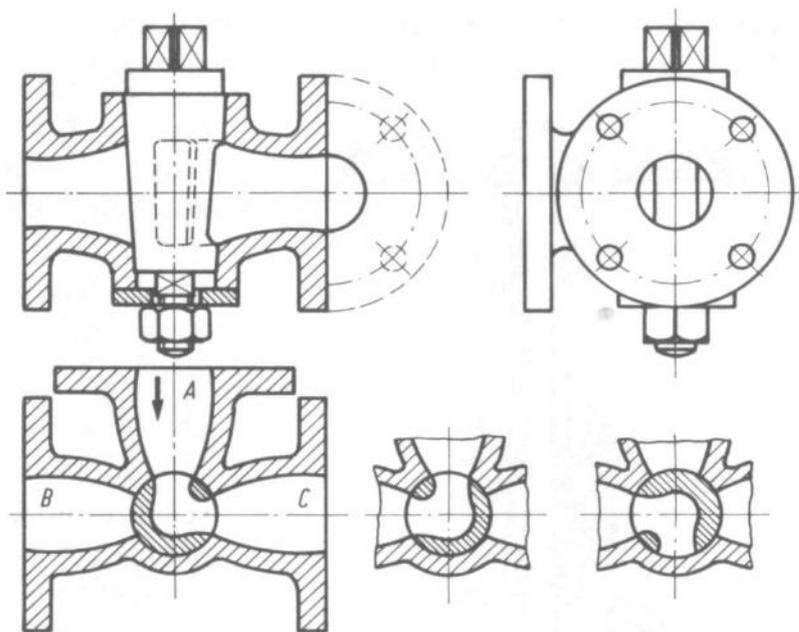


**Bild 18-4** Hähne. a) einfacher Durchgangshahn, b) Schmierhahn (1 Schmierkammer, 2 Schmierspindel, 3 Schmiernuten, 4 Anschlag), c) Kugelhahn

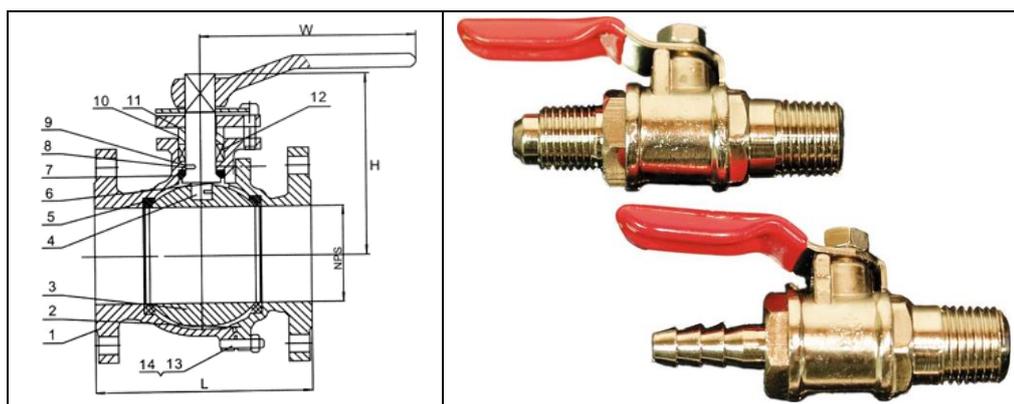


1 – kućište, 2 – stožac pipca, 3. – očnica brtvenice, 4 – stremen vretena, 5 – prostor brtvenice, 6 – vreteno, 7 – vijak

**Slika 09.10** Struktura pipca [Decker1987/510]



Slika 09.10 Trokraki pipac [Decker1987/510]

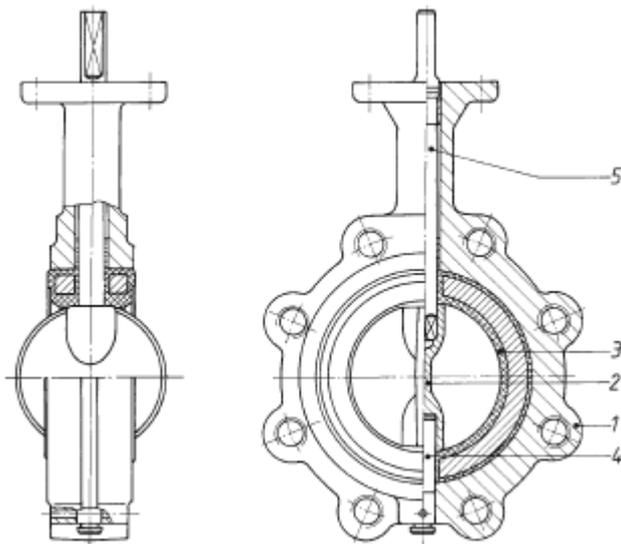


## Zaklopka

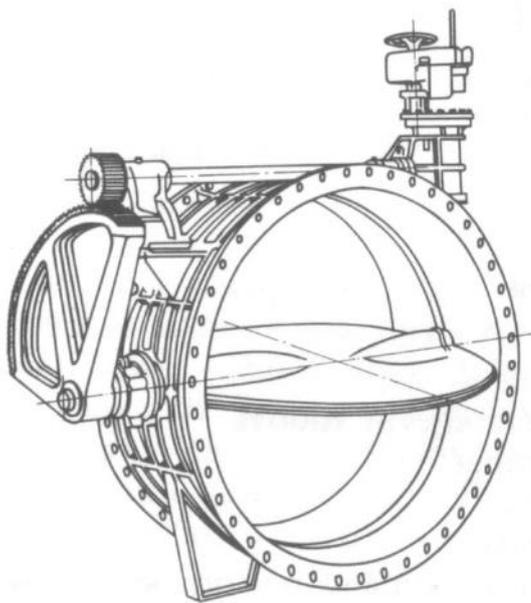
Pandžić/233, Decker/510-512, Wittel/654-655,

**Zaklopka** – zapor se okreće oko osi koja se nalazi van protočnog otvora.

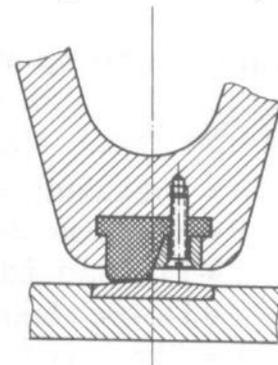
Bei Klappen bewegt sich der Abschlusskörper (Scheibe) drehend um eine Achse quer zur Strömung. Der Abschlusskörper ist in Offenstellung umströmt. Die Klappe nach **Bild 18-5** mit zentrischer Lagerung kann als Absperr- und Drosselklappe eingesetzt werden. Sie haben einen geringen Platzbedarf und werden bis zu den größten Nennweiten gebaut. Der Antrieb kann über Handhebel, Handgetriebe, elektrischen Schwenkantrieb oder pneumatisch erfolgen. Für die Sicherung der Leitungsanlagen gegen Zurückfließen des Mediums werden Rückschlagklappen eingesetzt. Dabei wird die Klappenscheibe von der Strömung angehoben. Bei zurückfließendem Medium oder Druckumkehr schließt die Klappe selbsttätig.



**Bild 18-5**  
 Absperriklappe.  
 1 Gehäuse  
 2 Klappenscheibe  
 3 Futter mit Einsatzring (auswechselbar)  
 4 Lagerzapfen  
 5 Antriebswelle

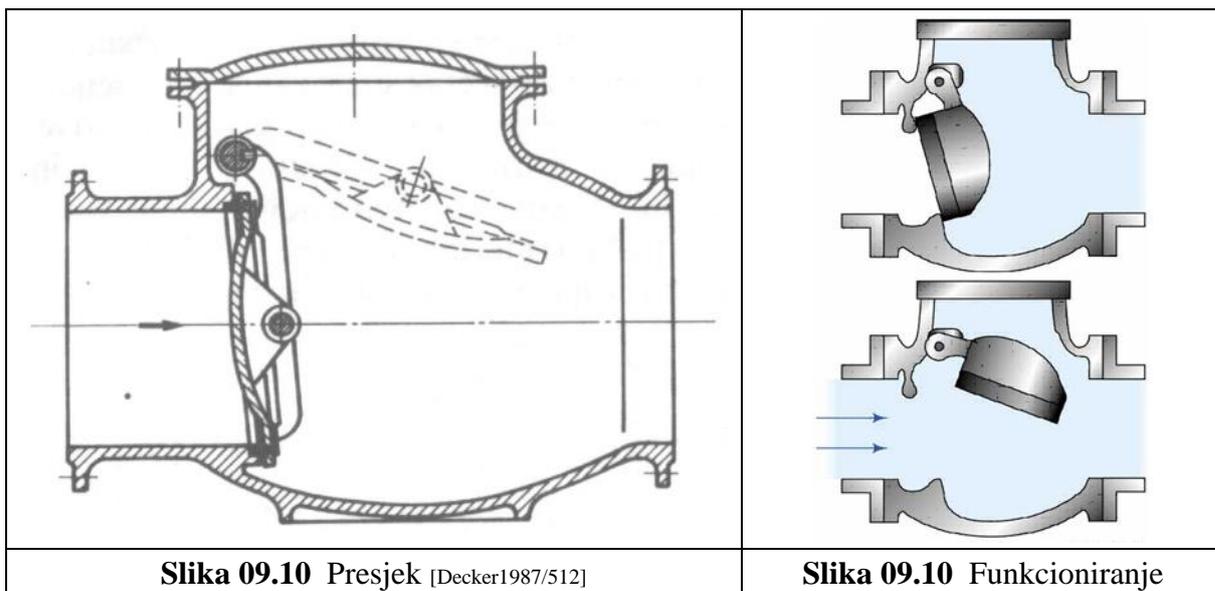


Detalj izvedbe brtvljenja



**Slika 09.10** Prigušna zaklopka s lećastim brtvenim tijelom [Decker1987/511]

Povratna zaklopka



Slika 09.10 Presjek [Decker1987/512]

Slika 09.10 Funkcioniranje

### 9.1.7 Potpore cjevovoda

Sie müssen das Betriebsgewicht der Leitung und in Festpunkten auch Kräfte und Momente aus der Wärmedehnung aufnehmen. Die *Absände* zwischen den Unterstützungspunkten können für Stahlrohrleitungen nach folgender Faustformel festgelegt werden:

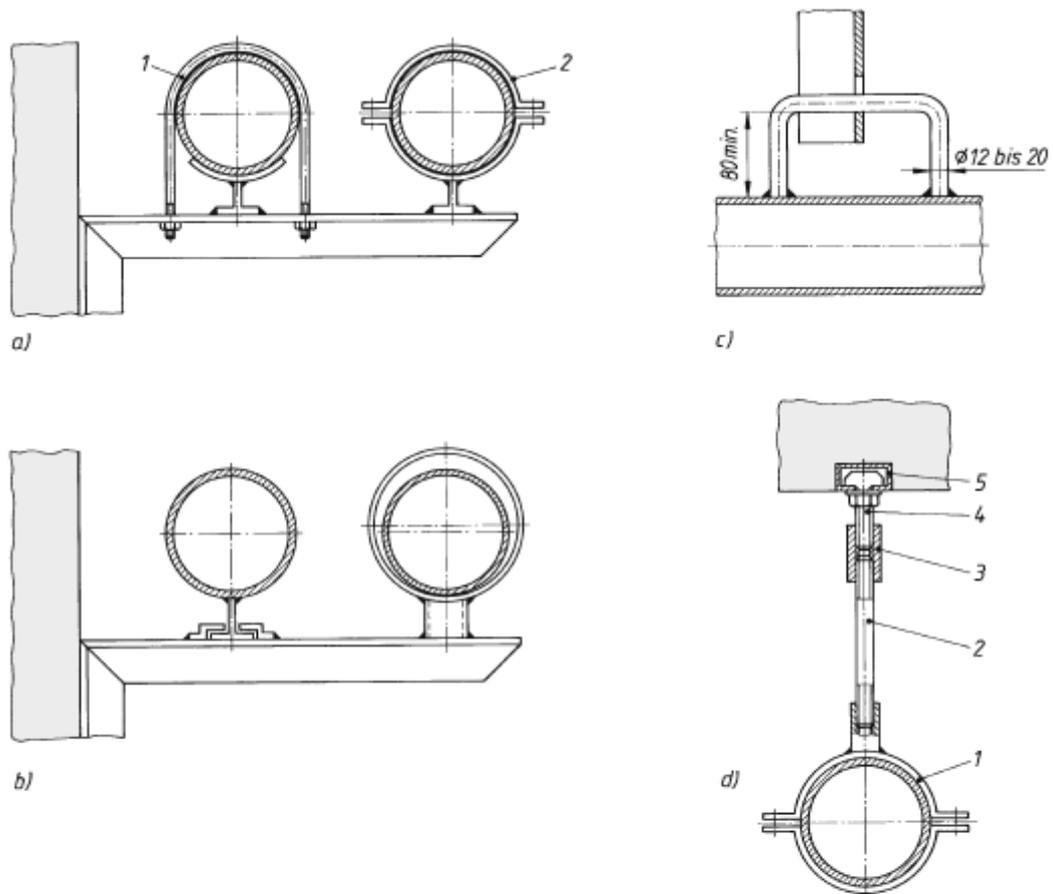
$$L = k \cdot d_i^{0,67} \quad \begin{array}{c|c|c} L & k & d_i \\ \hline \text{m} & 1 & \text{mm} \end{array} \quad (18.2)$$

- $d_i$  Rohrinnendurchmesser  
 $k$  Faktor für die Rohrausführung
- für leeres ungedämmtes Rohr:  $k = 0,3$
  - für gefülltes (Wasser) und gedämmtes Rohr:  $k = 0,2$

Durch die Festlegung der zulässigen Stützweite  $L$  werden die Auswirkung der Gewichtskräfte auf die Durchbiegung bzw. die Spannung begrenzt. Um „Pfützenbildung“ zu vermeiden wird nach AD2000-Merkblatt HP100R eine Grenzdurchbiegung (für  $\leq \text{DN } 50: f = 3 \text{ mm}$  und für  $> \text{DN } 50: f = 5 \text{ mm}$ ) und eine Begrenzung der Biegespannung ( $\sigma \leq 40 \text{ N/mm}^2$ ) festgelegt. Die Verformungsbegrenzung führt dabei zu den kleineren Stützweiten, s. **TB 18-12**.

Festpunkte dienen zur Fixierung der Leitung in Dehnungsrichtung und müssen für die auftretenden Längskräfte starr genug ausgeführt werden, **Bild 18-16a**. Rohrunterstützungen leiten die Gewichtskräfte auf die Auflage ab und sind meist als Führungslager (Lospunkt) ausgebildet, **Bild 18-16b**.

Rohraufhängungen gibt es in vielen Ausführungsformen, **Bild 18-16c** und 18-16d. Als Lospunkte haben sie die Aufgabe, das Leitungsgewicht zu tragen und die Einstellung des Gefälles zu ermöglichen. Halterungen für Rohrleitungen, die der Druckgeräterichtlinie unterliegen, müssen den sicherheitstechnischen Anforderungen von DIN EN 13480-3 entsprechen.



**Bild 18-16** Rohrabstützungen und Befestigungen.

- a) Rohrbefestigung (Festpunkt) mit Rundstahlbügel (1) und Rohrschelle (2)  
 b) Rohrunterstützung (Lospunkt), als Führungslager ausgebildet  
 c) Rohraufhängung mit U-förmigem Rundstahlbügel  
 d) Deckenaufhängung mit Gewindestange  
 (1 Schelle, 2 Gewindestange, 3 Gewindemuffe, 4 Hammerschraube, 5 Montageschiene)

### 9.1.8 Zaštita od korozije i izolacija cjevovoda

## 9.2 Usvajanje cjevovoda

### 9.2.1 Zahtjevi i projekti cjevovoda

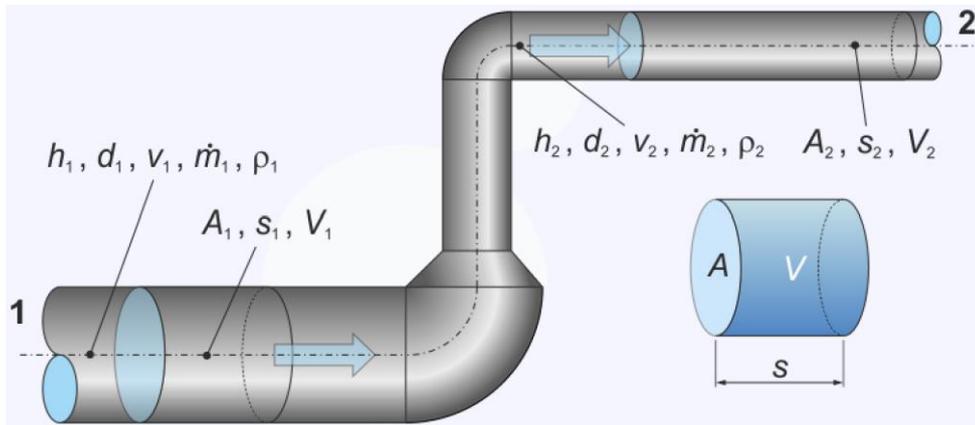
### 9.2.2 Podloge za projektiranje – mehanika fluida

Proračuni cjevovoda temelje na:

- (a) jednadžbi kontinuiteta i
- (b) Bernoullijevoj jednadžbi.

Prikladna crpka bira se na temelju:

- (a) radne karakteristike cjevovoda ( $p_r = f(Q)$ ) i
- (b) radne karakteristike crpke ( $p_r = f(Q)$ ).



Slika 09.21 Protok medija kroz cjevovod

### Jednadžba kontinuiteta

Jednadžba kontinuiteta opisuje stacionarno strujanje fluida na temelju zakona o očuvanju mase (ako su granice nepropusne, masa fluida se ne može niti smanjiti niti povećati) u struji fluida te povezuje brzine strujanja fluida s presjecima kroz koje struji fluid.

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_i = \text{konstanta} \quad \text{kg/s}$$

$$\dot{m} = \frac{m}{t} = \frac{V \cdot \rho}{t} = A \cdot \rho \cdot \frac{s}{t} = A \cdot \rho \cdot v$$

$$[\dot{m}] = \frac{[m]}{[t]} = \frac{\text{kg}}{\text{s}} = \frac{(1/1000) \cdot \text{t}}{(1/3600) \cdot \text{h}} = 3,6 \cdot \frac{\text{t}}{\text{h}}$$

Ako je fluid praktično nestišljiva tekućina (pored mase ne mijenja se ni gustoća fluida):

$$Q_1 = Q_2 = Q_i = \text{konstanta} \quad \text{kg/s}$$

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{A \cdot s}{t} = A \cdot v$$

$$[Q] = \frac{[V]}{[t]} = \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$$

### Bernoullijeva jednadžba

Bernoullijeva jednadžba – opisuje strujanje fluida povezujući tlak (1. član jednadžbe), brzinu strujanja (2. član jednadžbe) i visinu (3. član jednadžbe). U energetskom obliku:

$$p_1 \cdot V_1 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 + m \cdot g \cdot h_1 = p_2 \cdot V_2 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_2^2 + m \cdot g \cdot h_2 \quad \text{J}$$

$$[p \cdot V] = [p] \cdot [V] = \text{Pa} \cdot \text{m}^3 = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \text{m}^3 = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J}$$

$$[m \cdot v^2] = [m] \cdot [v]^2 = \text{kg} \cdot \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J}$$

$$[m \cdot g \cdot h] = [m] \cdot [g] \cdot [h] = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J}$$

Prema tome, u odsustvu razmjene mase i energije i okoline (*idealizirano – bez gubitaka*), neovisno o promjenama tijekom strujanja fluida, ne mijenja se zbroj tlačne (1. član jednadžbe), kinetičke (2. član jednadžbe) i potencijalne (3. član jednadžbe) energije fluida.

Kada se uzmu u obzir gubici energije:

$$\rho_1 \cdot V_1 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 + m \cdot g \cdot h_1 - \sum G_{E,i} = \rho_2 \cdot V_2 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_2^2 + m \cdot g \cdot h_2 \quad \text{J}$$

gde je:  $G_{E,i}$  – sumarni linijski i lokalni gubici energije u cjevovodu (*trenje*), J.

Ako se rad pumpe,  $W$  ili kompresora koristi za:

- povećanje tlaka,  $\Delta p = p_2 - p_1$ , i/ili
- brzine  $\Delta v^2 = v_2^2 - v_1^2$  i/ili
- visine  $\Delta h = h_2 - h_1$

fluida:

$$\rho_1 \cdot V_1 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 + m \cdot g \cdot h_1 + W - \sum G_{E,i} = \rho_2 \cdot V_2 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_2^2 + m \cdot g \cdot h_2$$

Kada se energetski oblik Bernoullijeve jednadžbe podijeli s  $V$  (*volumen*) dobiva se tlačni oblik:

$$\left( \rho_1 \cdot V_1 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 + m \cdot g \cdot h_1 = \rho_2 \cdot V_2 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_2^2 + m \cdot g \cdot h_2 \right) / V \quad \text{J}$$

$$\rho_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot h_1 = \rho_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 + \rho \cdot g \cdot h_2 \quad \text{Pa}$$

$$\rho_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot h_1 + (p_{iz} - p_{ul}) - \sum G_{p,i} = \rho_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 + \rho \cdot g \cdot h_2 \quad \text{Pa}$$

gde je:  $p_{iz}$  – tlak na izlazu iz crpke ili kompresora, Pa,

$p_{ul}$  – tlak na ulazu iz crpke ili kompresora, Pa,

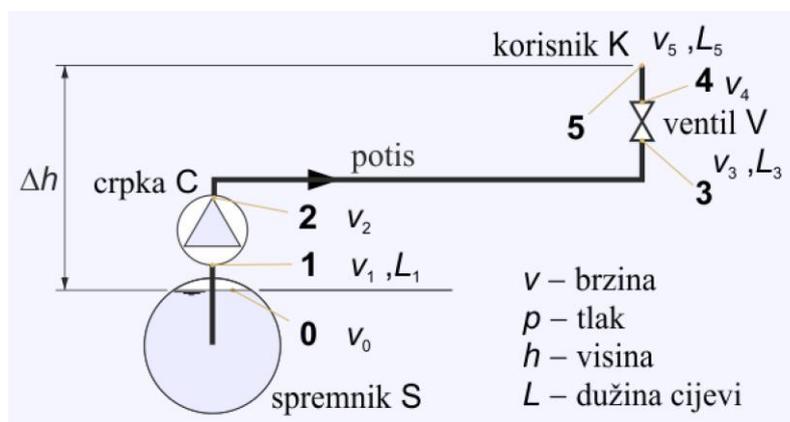
$G_{p,i}$  – sumarni linijski i lokalni padovi tlaka u cjevovodu (*trenje*), Pa.

Rad crpke ili kompresora se ulaže samo u povećanje tlaka ako su jednake površine poprečnog presjeka struja fluida na ulazu u i izlazu iz crpke ili kompresora.

### *Radna karakteristika cjevovoda*

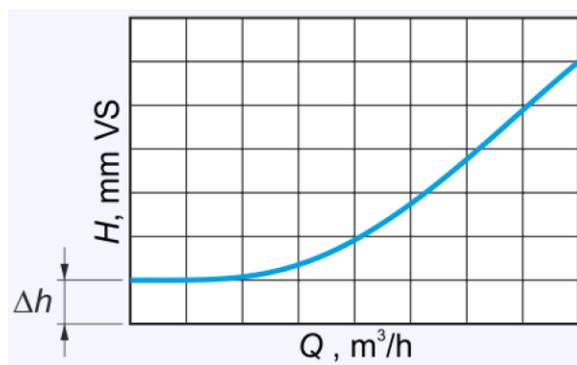
Radna karakteristika cjevovoda se može lakše pojasniti na primjeru vodoopskrbe (S 09.22).  
Pretpostavke su:

- na površini vode u spremniku (0) i na izlazu korisnika (5) vlada atmosferski tlak,
- brzina smanjivanja razine vode u spremniku ( $v_0$ ) praktično je jednaka nuli.



**Slika 09.22** Shema sustava za opskrbu korisnika vodom

Radna karakteristika cjevovoda opisuje uzajamnu ovisnost pada tlaka u cjevovodu i brzine protjecanja. Uobičajen je opis u koordinatnom sustavu  $H = f(Q)$ :



**Slika 09.23** Radna karakteristika cjevovoda

Jedinica mmVS – milimetara vodenog stupca (*gustoća je vode  $\rho \approx 1 \text{ kg/dm}^3$* ), nije SI jedinica i ne smije se koristiti u proračunima. Ovdje se koristi samo radi lakšeg pojašnjenja fizike cjevovoda.

Za primjer prikazan na slici se konačno dobiva:

$$H = \Delta h + \frac{Q_5^2}{2 \cdot A_5^2 \cdot g} + \sum h_g \quad \text{mm VS}$$

Prema tome, uloženi napor (*pumpa*) za opskrbu korisnika vodom se troši na:

- podizanje vode na višu razinu,
- uspostavljanje režima strujanja vode kroz cjevovod kojim se postiže potrebni protok na izlazu iz cjevovoda,
- uz savladavanje svih linijskih i lokalnih otpora cjevovoda.

### 9.2.3 Oblikovanje cjevovoda

Materijal [Antaki (2003), str. 58]

#### 2.2.1 Materials

Choice of material specifications.  
 Code listed or unlisted materials.  
 Consistency of material form with code.  
 Compatibility of materials with fluid and temperature range.  
 Compatibility of materials with each other.

Minimum temperature and toughness.  
 Maximum temperature and strength.  
 Weldability, welding electrodes.  
 Supplementary requirements (carbon equivalent, corrosion testing, etc.).  
 Lining, coating, paint, cathodic protection, galvanizing.  
 Need for material test reports, positive material identification, and traceability.  
 Oversight and hold points.  
 Permitted repairs to materials, and post-repair inspections.  
 Experience with similar materials and service.  
 Degradation mechanisms and service life.  
 Corrosion allowance.  
 Design limitations (flow, temperature, trace elements, cleaning, etc.).  
 Material records, filing and retrieval logic.

##### 2.2.2.1 System Design

System function.  
 Technology of the process: fundamentals, experience and development.  
 Process cost-benefit.  
 Operating and safety logic and viability.  
 Process and instrumentation diagrams (P&ID).  
 System descriptions.  
 Redundancies and separation.  
 Layout drawings.  
 Interfaces with other systems.  
 Pressures, temperatures and flow rates (throughput).  
 Heat transfer and heat loss.  
 Design life, future throughput.  
 Sizing pumps, valves, compressors, blowers.  
 Power supplies.  
 Air, water, utilities supplies.  
 Normal operation.  
 Credible accident conditions.  
 Overpressure protection (relief valves, rupture disks, interlocks, etc.).  
 Safety and environmental analyses.  
 Operating envelope and technical specifications.  
 System design records filing and retrieval logic.

### 2.2.2.2 *Component Design*

Codes and standards.

Regulatory and contractual requirements.

Design Specifications (input) and Design Reports (output).

Equipment interfaces and code boundaries.

Layout logic and key dimensions.

Hazard classification (lethal, safety class, etc.).

Design maximum and minimum pressures (vacuum, internal or external pressure).

Design maximum and minimum temperatures.

Normal operating loads (weight, pressure, temperature, valve thrust, lifting, etc.).

Local and contact bearing stresses.

Fatigue loads and cycles.

Extreme loads (wind, seismic, explosion, water-hammer, etc.).

Extreme loads qualification.

Load combinations.

Corrosion allowance.

Strength and stability design.

Fracture prevention and toughness design.

Design of openings and reinforcements.

Overpressure protection.

Equipment nozzle loads.

Component load-displacement limits (mechanical fittings, expansion joints, etc.).

Unlisted components (rating of non-B16 fittings, proof testing, etc.).

Design of support structures and attachments.

Provisions for maintenance access.

Experience with similar designs and service.

Piping specifications.

Equipment specifications (pumps, valves, compressors, tanks, vessels, etc.).

Mechanical flow sheets with piping and equipment specifications.

Detailed design drawings, isometrics and orthographics.

Design quality assurance: software, calculations, drawings, and specifications.

Professional Engineer certifications.

Mechanical design records filing and retrieval logic.

Procurement and “make or buy” decisions.

Fabrication and procurement specifications.

Bid criteria and suppliers selection.

Fabricator experience, schedule, warranties, compensation.

Drawings, critical dimensions and tolerances.

Planning sequence: procurement, shop fabrication and field erection.

Personnel, craft experience, training, proficiency.

Personnel and process certifications.

Welding procedures.

Procedures for bending, flange joining, and threading.

Procedure for mechanical joining, compression fittings and assembly.

Pre-heat and post-weld heat treatment.

Leak testing (hydro, pneumatic, sensitive leak, etc.).  
 Control and disposition of non-conformances.  
 Permitted repairs of fabrication flaws.  
 Construction records filing and retrieval logic.  
 Hold points and inspection interfaces.  
 As-built reconciliation of design.

### 18.3.5 Gestaltungsrichtlinien für Rohrleitungsanlagen

#### 1. Betriebssicherheit:

- Alle Rohrleitungsteile müssen den Sicherheitsvorschriften entsprechen.
- Bei der Werkstoffwahl sind die Forderungen der Regelwerke zu beachten.
- Korrosionsschutz ausführen und sichern. Für Innenschutz u. U. lebensmittelrechtliche Bestimmungen beachten.
- Die Auswechslung einzelner Teile soll ohne Betriebsunterbrechung möglich sein.
- Zum Schutz der Anlagen sind Sicherheitsventile, Rückschlagklappen, Entlüftungs- und Entwässerungseinrichtungen u. dgl. einzusetzen.
- Wirksamen Ausgleich der Wärmedehnung realisieren.
- Rohrleitungsteile ausreichend abstützen. Auftretende Kräfte sicher ableiten (Fest- und Lospunkte, Halterungen, Rohrleitungsbrücken und -schwelle, Auflager und Einbettung).
- Rohrleitungen mit ausreichendem Gefälle ausführen. Gefälle bei Wasserleitungen 5 mm/m, Luftleitungen (ungetrocknet) 20 mm/m.
- Eindeutige Markierung und Kennzeichnung.

#### 2. Wirtschaftlichkeit:

- Kurze und möglichst gerade Rohrleitungen anstreben.
- Strömungstechnisch günstige Armaturen und Formstücke verwenden.
- Günstige Strömungsgeschwindigkeit wählen, siehe **TB 18-5**.
- Wärme- und kälteführende Rohrleitungen dämmen um Energieverluste zu begrenzen.
- Erweiterungsmöglichkeiten vorsehen.

#### 3. Instandhaltung:

- Rohrleitungen übersichtlich und leicht zugänglich ausführen.
- Montage- und Demontagemöglichkeiten vorsehen.
- Durch Umschaltmöglichkeiten Voraussetzungen für Reparatur ohne Stillsetzung der Anlage schaffen.

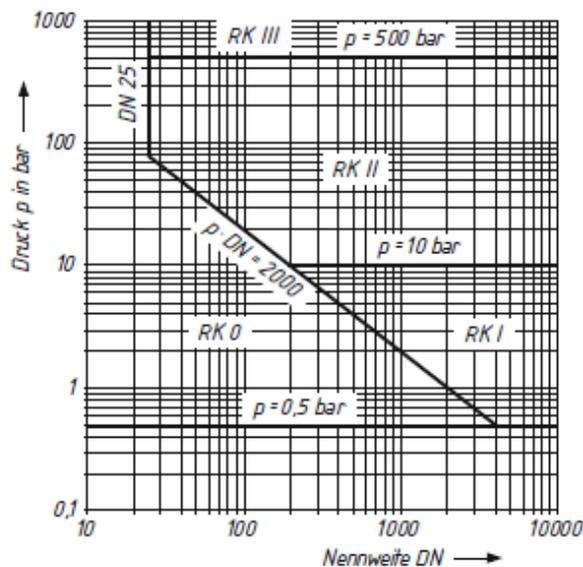
### 18.3.1 Vorschriften, Begriffe und Definitionen

Für zulässige Drücke von mehr als 0,5 bar unterliegen Rohrleitungen der Druckgeräte-Richtlinie (97/23/EG). Ihre Auslegung erfolgt nach DIN EN 13480.

Die Einteilung in Rohrleitungsklassen 0 bis III erfolgt nach DIN EN 13480-1 in Abhängigkeit vom Druck, von der Nennweite und der Fluidgruppe, **Bild 18-6**.

Für die Einstufung von Druckgeräten in Gefahrenkategorien werden Fluide (Gas und Flüssigkeit) in zwei Gruppen eingeteilt. *Gruppe 1* umfasst gefährliche Fluide die eingestuft sind als explosionsgefährlich, hoch oder leicht entzündlich, entzündlich, sehr giftig, giftig und brandfördernd. Zu *Gruppe 2* zählen die anderen weniger gefährlichen und ungefährlichen Fluide.

Die Rohrleitungsklassen RK bzw. Kategorien I bis III unterliegen der CE-Kennzeichnungspflicht. Die Kategorien haben Einfluss auf das Konformitätsbewertungsverfahren, die Herstellerzulassung und Art und Umfang der Prüfungen. An die Rohrleitungsklasse III werden die höchsten Anforderungen gestellt.



**Bild 18-6** Rohrleitungsklassen (RK) entsprechend DIN EN 13480-1 (z. B. Rohrleitung für Flüssigkeiten für Fluide der Gruppe 1, wenn deren DN größer als 25 und das Produkt  $p \cdot DN$  größer als 2000 ist)

Grundlagen für die Normung der Rohre und Armaturen sind die nach DIN EN 1333 festgelegten Nenndruckstufen und die nach DIN EN ISO 6708 gestuften Nennweiten.

PN (bisher Nenndruck) ist eine alphanumerische Kenngröße für Referenzzwecke, bezogen auf eine Kombination von mechanischen und maßlichen Eigenschaften eines Bauteils eines Rohrleitungssystems. Sie umfasst die Buchstaben PN gefolgt von einer dimensionslosen Zahl. Die Zahl hinter den Buchstaben PN ist kein messbarer Wert und sollte nicht in Berechnungen verwendet werden. Die PN-Stufen müssen aus **TB 18-3** ausgewählt werden.

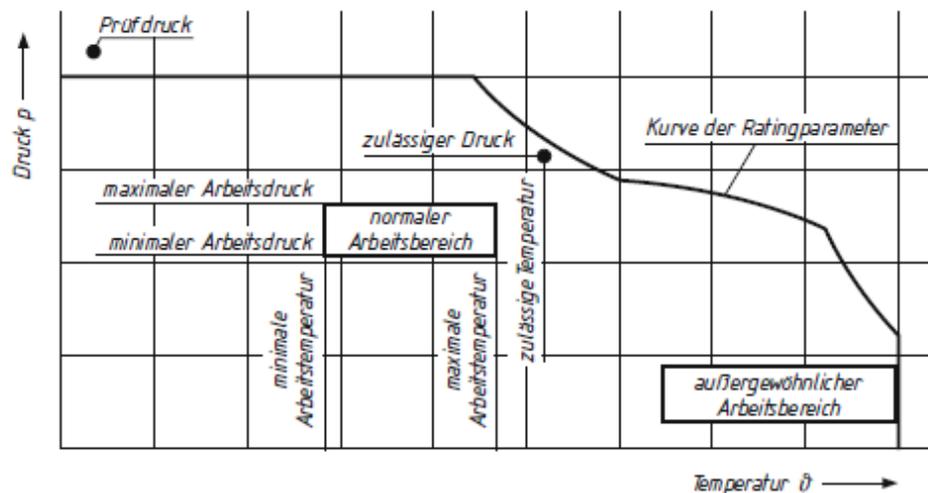
Die Nennweite (Kurzzeichen DN) ist eine Kenngröße, die bei Rohrleitungssystemen als kennzeichnendes Merkmal zueinander passender Teile, z. B. von Rohren und Armaturen, benutzt wird. Die Nennweiten nach **TB 18-4** haben keine Einheit und dürfen nicht als Maßeintragung benutzt werden, da sie nur annähernd den lichten Durchmessern in mm der Rohrleitungsteile entsprechen.

Der *zulässige Druck* ist ein aus Sicherheitsgründen festgelegter Grenzwert für den Arbeitsdruck der Rohrleitung. Zur Begrenzung sind geeignete Sicherheitseinrichtungen (z. B. Sicherheitsventile) erforderlich.

Die *zulässige Temperatur* ist die aus Sicherheitsgründen festgelegte Grenze für die Arbeitstemperatur der Rohrleitung.

*Zulässige Parameter*  $p/\vartheta$  sind ein Wertepaar aus zulässigem Druck und zulässiger Temperatur, das in Abhängigkeit von den Sicherheitseinrichtungen festzulegen ist. Sie sind meist mit den Berechnungsparametern identisch. Die zulässigen Parameter müssen mindestens den maximalen Arbeitsparametern entsprechen, dürfen aber die Ratingparameter nicht übersteigen, s. **Bild 18-7**.

**Bild 18-7.**



**Bild 18-7** Druck- und Temperaturangaben für Druckgeräte nach DIN EN 764

Die *Ratingparameter* ( $p_{\text{rat}}/\vartheta_{\text{rat}}$ ) für ein Bauteil ergeben sich aus dem höchst zulässigen Innendruck, der auf Grund des Bauteilwerkstoffs, der Festigkeitsberechnung und weiterer Kriterien der zugeordneten Temperatur möglich ist. Ratingparameter sind Normen (z. B. Flanschverbindungen nach DIN EN 1092-1) oder Herstellerangaben zu entnehmen, oder durch Festigkeitsberechnung zu ermitteln (z. B. Rohre). Für eine komplette Rohrleitung, oft abgegrenzt durch eine Rohrklasse, lassen sich die Ratingparameter als innere Hüllkurve aus den Ratingparametern der in ihr enthaltenen Bauteile (z. B. Armaturen, Rohre, Flansche) darstellen, s. **Bild 18-7**.

Die Prüfparameter ( $p_{\text{prüf}}/\vartheta_{\text{prüf}}$ ) für die Festigkeitsprüfung einer Rohrleitung sind in der Druckgeräterichtlinie bzw. DIN EN 13 480-5 festgelegt, vgl. 18.4.2. Bei der üblichen Wasserdruckprüfung ist die Prüftemperatur gleich der Raumtemperatur.

**Skala nominalnih pritisaka**

JUS C.B5.120

$p_n$ [bar]	$p$ [bar] *)				$p_p$ [bar]
	I		III		
	za obode i cevi	za obode i cevi	za obode	za cevi	
1	1	1			2
2,5	2,5	2			4
6	6	5			10
10	10	8			15
16	16	13	13	10	25
25	25	20	20	16	40
40	40	32	32	25	60
64	64	50	40	40	96
100	100	80	64	64	150
160	160	125	100	100	240
250	250	200	160	160	375
400	400	320	250	250	600
640	640	500	—	—	960
1000	1000	800	—	—	1500

↑ [Vitas 1990, str. 230] ⇒ Elčić 1973, str. 570]

**Nominalni otvori cevi**

$D_n$ [mm]	1	2	4	8	15	32	(60)	(90)	125	200	300	400	(550)
	1,2	2,5	5	10	20	40	70	100	150	(225)	(325)	450	600
	1,5	3	6	25	50	80	(110)	(175)	250	350	500	700	

Ni pomena uz tablicu 10.2:  
Vrednosti u zagradama po mogućnosti izbegavati.

↑ [Vitas 1990, str. 231] ⇒ Elčić 1973, str. 575]

Rohrleitungen werden in Zeichnungen meist nicht maßstäblich sondern symbolhaft dargestellt. Rohrleitungspläne sind Schaltpläne aus denen die Funktion der einzelnen Komponenten erkennbar sein muss. DIN 2429-2 enthält graphische Symbole für Leitungen, Verbindungen und Armaturen und in DIN ISO 6412 ist die orthogonale und die isometrische Darstellung von Rohrleitungen festgelegt.

Für die einzelnen Anwendungsbereiche gelten besondere Darstellungen, so z. B. für die Rohrnetzpläne der Gas- und Wasserversorgung (DIN 2425-1), die Fließbilder der Kälteanlagen (DIN EN 1861) und für Schaltpläne der Fluidtechnik (DIN ISO 1219-1).

Nicht erdverlegte Rohrleitungen werden aus Sicherheitsgründen durch Schilder und für den Durchflussstoff festgelegte Farben gekennzeichnet (z. B. brennbare Flüssigkeiten: braun).

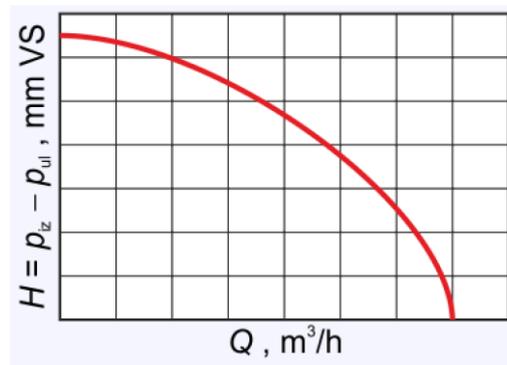
## 9.2.4 Proračun cjevovoda

Pandžić/233-234, Decker/482-488, 4/217-230, Wittel/664-673, 6/221-244, 7/134-136/229-230/311-312, 11/95-104, Vitas/245.

[Muhs (2006), str. 223÷230]

### Radna krivulja crpke

Radna karakteristika crpke opisuje uzajamnu ovisnost povećanja tlaka (*ulaganje rada crpke*) i brzine protjecanja kroz crpku. Uobičajen je opis u koordinatnom sustavu  $H = f(Q)$ :



Slika 09.22 Radna karakteristika crpke

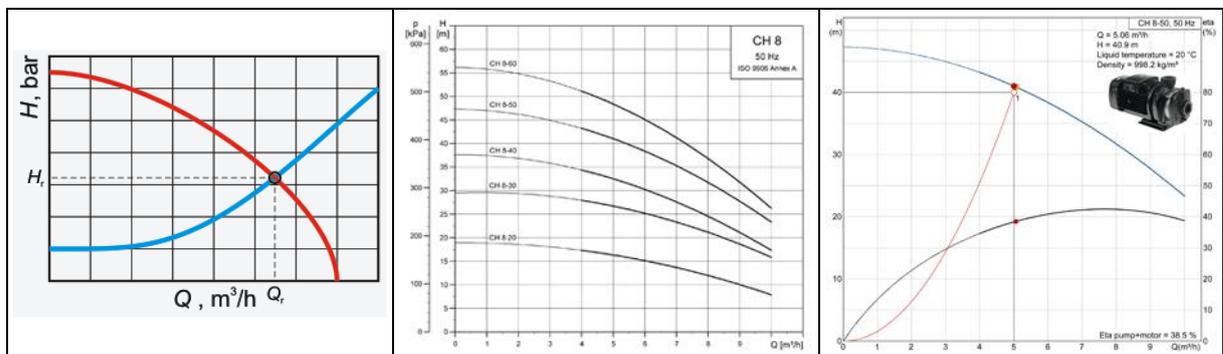
Na oblik radne krivulje crpke utječe vrsta i geometrija crpke, vrsta i karakteristike pogon- skog elektromotora te vrsta i karakteristike upravljanja radom crpke.

Karakteristike crpki se određuju pokusima (*npr. mjerenja provedena u 10 točaka Q/H*) i mogu se naći u katalogima proizvođača crpki.

### Izbor crpke

Podaci potrebni za izbor crpke nalaze se u podlogama proizvođača crpke. U načelu, crpka treba podmirivati potrebe korisnika radeći sa što je moguće višim eta.

Radna točka sustava crpka/cjevovod sjecište je radne karakteristike crpke s radnom karak- teristikom cjevovoda.



### Usvajanje cjevovoda

Protoci i brzine fluida određene su projektnim zadatkom, propisima ili preporukama.

Unutarnji je promjer cijevi:

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}}$$

Debljina je zida cijevi:

$$S = \frac{D \cdot \rho_{\text{Max}}}{2 \cdot \frac{R_e}{S} \cdot v} + c_1 + c_2$$

- gdje je:  $S = 1,5 \div 1,8$  – faktor sigurnosti,  
 $v = 0,9$  – faktor smanjenja čvrstoće,  
 $c_1$  – dodatak za netočnost,  
 $c_2 = 1 \text{ mm}$  – dodatak za koroziju,

### 18.4.1 Rohrquerschnitt und Druckverlust

Bei der Planung von Rohrleitungen wird zunächst die Nennweite festgelegt. Dabei ist nach meist vorgegebenem Volumenstrom  $\dot{V}$  die Strömungsgeschwindigkeit  $v$  je nach Art der Anlage so zu wählen, dass sich niedrige Rohrleitungs- und Betriebskosten ergeben.

Aus der Durchflussgleichung für inkompressible Medien  $\dot{V} = A \cdot v = \dot{m}/\rho = \text{konstant}$  ergibt sich bei gegebenem Volumen- bzw. Massenstrom für kreisförmige Rohre der Mittelwert der Strömungsgeschwindigkeit

$$v = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\dot{V}}{d_i^2} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\dot{m}}{\rho \cdot d_i^2} \quad (18.3)$$

oder bei gewählter Strömungsgeschwindigkeit der erforderliche Rohrinne Durchmesser

$$d_i = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{\dot{V}}{v}} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{\dot{m}}{\rho \cdot v}} \quad (18.4)$$

$d_i$	$v$	$\dot{V}$	$\dot{m}$	$\rho$
m	m/s	m <sup>3</sup> /s	kg/s	kg/m <sup>3</sup>

$\dot{V}$  Volumenstrom

$v$  Strömungsgeschwindigkeit, Richtwerte nach **TB 18-5**

$\dot{m}$  Massenstrom

$\rho$  Dichte des Medium, abhängig von Druck und Temperatur; Anhaltswerte s. **TB 18-9**

Danach kann ein Rohr mit der entsprechenden lichten Weite (Innendurchmesser bzw. Nennweite) aus den Rohrnormen ausgewählt werden (**TB 18-1** und **TB 1-13**).

Der wirtschaftliche Rohrdurchmesser hängt über die Anlage- und Betriebskosten auch stark vom Druckverlust  $\Delta p$  ab, der durch die Reibung des strömenden Stoffes und durch Stromablösungen und Wirbel in Rohrleitungselementen entsteht. Er stellt eine verbrauchte Leistung dar, die von Pumpen und Verdichtern aufgebracht werden muss. Ein natürliches Druckgefälle steht nur bei abfallenden Wasserleitungen oder bei ansteigenden Gasleitungen ( $\rho_{\text{Gas}} < \rho_{\text{Luft}}$ ) zur Verfügung.

Bei inkompressibler, also raumbeständiger Fortleitung wird bei geraden kreisförmigen Rohrleitungen ohne Einbauten der Druckverlust<sup>4</sup>

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l}{d_i} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \quad (18.5)$$

Die durch Rohrleitungselemente (Rohrerweiterungen und -verengungen, Rohrumlenkungen, Absperrorgane) verursachten Druckverluste betragen

$$\Delta p = \sum \zeta \cdot \rho \cdot v^2 / 2 \quad (18.6)$$

Unter Berücksichtigung des geodätischen Höhenunterschiedes  $\Delta h$  bei nicht horizontal verlaufenden Leitungen erhält man die allgemeine Berechnungsformel für den *gesamten Druckverlust*

$$\Delta p = \frac{\rho \cdot v^2}{2} \left( \frac{\lambda \cdot l}{d_i} + \sum \zeta \right) \pm \Delta h \cdot g \cdot (\rho - \rho_{\text{Luft}}) \quad (18.7)$$

$\Delta p^{1)}$	$\rho$	$v$	$\lambda$	$l$	$d_i$	$\zeta$	$\Delta h$	$g$
Pa	kg/m <sup>3</sup>	m/s	1	m	m	1	m	9,81 m/s <sup>2</sup>

$d_i, v$  wie zu Gln. (18.3) und (18.4)

$l$  Länge der Rohrleitung

$\lambda$  Rohrreibungszahl nach **TB 18-8** bzw. Gln. (18.9) bis (18.11)

$\zeta$  Widerstandszahl, abhängig vom Rohrleitungselement; Richtwerte s. **TB 18-7**

$\Delta h$  Unterschied der geodätischen Höhe zwischen Anfangs- und Endpunkt der Leitung

$\rho, \rho_{\text{Luft}}$  Dichte des Mediums bzw. der Umgebungsluft; Anhaltswerte s. **TB 18-9**

$g$  Fallbeschleunigung

*Hinweis:* Im 2. Glied der Gleichung gilt das positive Vorzeichen für aufsteigende und das negative Vorzeichen für abfallende Leitungen. Bei  $\rho < \rho_{\text{Luft}}$  (z. B. Niederdruckgasleitungen) ergibt sich für aufsteigende Leitungen ein Druckgewinn (Auftrieb), bei abfallenden Leitungen entsprechend ein Druckverlust.

Die Strömungsform ist abhängig von der Reynolds-Zahl

$$Re = \frac{v \cdot d_i}{\nu} = \frac{v \cdot d_i \cdot \rho}{\eta} \quad (18.8)$$

$Re$	$v$	$d_i$	$\nu$	$\rho$	$\eta$
1	m/s	m	m <sup>2</sup> /s	kg/m <sup>3</sup>	Pa s

$d_i, \rho, v$  wie zu Gln. (18.3) und (18.4)

$\eta$  dynamische Viskosität, stark temperaturabhängig, Anhaltswerte s. **TB 18-9b**; für Schmieröle s. **TB 15-9**

$\nu$  kinematische Viskosität, temperatur- und bei Gasen auch druckabhängig; Anhaltswerte s. **TB 18-9a**

Die kritische Reynolds-Zahl  $Re_{\text{krit}} = 2320$  kennzeichnet den Übergang von der laminaren zur turbulenten Strömung. Der Reibungseinfluss wird durch die Rohrreibungszahl  $\lambda$  erfasst, der von der Reynolds-Zahl  $Re$  und von der relativen Rauigkeit  $d_i/k$  abhängen kann, vgl. **TB 18-8**.

<sup>1)</sup> Die SI-Einheit des Druckes ist das Pascal (Pa). 1 Pa = 1 N/m<sup>2</sup> = 1 kg/(m · s<sup>2</sup>). 1 bar = 0,1 MPa = 0,1 N/mm<sup>2</sup> = 10<sup>5</sup> Pa.

Bei laminarer Strömung ( $Re < 2320$ , z. B. Ölleitungen) ist die Rohrreibungszahl unabhängig von der Rauigkeit der Rohrwand

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (18.9)$$

Im turbulenten Strömungsgebiet steigt die Rohrreibungszahl sprunghaft an und verläuft für völlig glatte Rohre ( $k = 0$ ) entsprechend der Näherungsformel  $\lambda \approx 0,309/[\lg(Re/7)]^2$ .

In den meisten Anwendungsfällen liegen Rohre mit vollkommen *rauer Wand* vor, bei denen die Rauigkeitserhebungen  $k$  größer sind als die Dicke der viskosen Unterschicht. Die Rohrreibungszahl  $\lambda$  ist nur abhängig von  $d_i/k$  und es gilt oberhalb der Grenzkurve  $\lambda = [(200d_i/k)/Re]^2$  (vgl. **TB 18-8**) die Beziehung

$$\lambda = \frac{1}{\left(2 \lg \frac{d_i}{k} + 1,14\right)^2} \quad (18.10)$$

Im *Übergangsbereich* zwischen vollrauem und glattem Verhalten der Rohrwand hängt die Rohrreibungszahl sowohl von  $d_i/k$  als auch von  $Re$  ab:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left( \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{1}{3,71 \frac{d_i}{k}} \right) \quad (18.11)$$

*Hinweis:* Bei der Berechnung des Druckverlustes muss erst die für den vorliegenden Strömungsfall zu erwartende Reynolds-Zahl nach Gl. (18.8) ermittelt werden. Danach ist die Rauigkeitshöhe  $k$  je nach Rohrrart und Zustand der Rohrrinnenwand nach **TB 18-6** abzuschätzen. Mit  $Re$  und  $d_i/k$  kann dann die Rohrreibungszahl mit guter Näherung aus **TB 18-8** abgelesen oder mit Hilfe der Gln. (18.9) bis (18.11) rechnerisch bestimmt werden. Gl. (18.11) ist implizit und nur iterativ lösbar. Ausreichend genaue Ergebnisse liefert z. B. die explizite Gleichung  $\lambda = 0,11 \cdot (k/d_i + 68/Re)^{0,25}$ .

Bei Gas- und Dampfleitungen liegt eine kompressible, also raumveränderliche Fortleitung vor, bei der sich die Dichte des strömenden Stoffes durch die Expansion infolge des Druckabfalls verändert. Ist der Druckverlust und damit die Expansion gering, wie z. B. bei Niederdruck-Gasleitungen, so liefert auch bei einem kompressiblen Stoffstrom die Gl. (18.7) ausreichend genaue Ergebnisse.

Für Rohrleitungen mit abgestuften Durchmessern sind die Druckverluste für jede Teilstrecke gesondert zu ermitteln und zu addieren.

Hohe Strömungsgeschwindigkeiten ergeben zwar kleine Leitungsdurchmesser, aber einen hohen Druckverlust, da dieser mit dem Quadrat der Strömungsgeschwindigkeit wächst. Die Strömungsgeschwindigkeit ist innerhalb der Grenzen nach **TB 18-5** umso kleiner zu wählen, je niedriger der Druckverlust gehalten werden soll. Der Druckverlust nimmt umgekehrt proportional der 5. Potenz des Leitungsdurchmessers zu. So steigt z. B. – unter sonst gleichen Bedingungen – bei einem halb so großen Leitungsdurchmesser der Druckverlust auf das 32fache an! Die theoretische Leistung der Pumpe beträgt  $P = p \cdot \dot{V}$ , mit  $p$  bzw.  $\Delta p$  in Pa ( $\text{N/m}^2$ ) und dem Volumenstrom  $\dot{V}$  in  $\text{m}^3/\text{s}$  erhält man die Leistung in W. Unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades gilt  $P = p \cdot \dot{V}/\eta$ .

*Debljina zida*

### **18.4.2 Berechnung der Wanddicke gegen Innendruck**

Für die Berechnung der geraden Rohrleitungen gegen Innendruck gelten grundsätzlich die gleichen Überlegungen wie für die Berechnung der Druckbehältermäntel unter 6.3.4-1.

Für Rohrleitungen die nicht in den Geltungsbereich anderer Regelwerke fallen (z. B. TRD, AD2000) gilt DIN EN 13480: Metallische industrielle Rohrleitungen. Teil 3 dieser Norm – Konstruktion und Berechnung – hat die bisherige DIN 2413 abgelöst. DIN EN 13480 erfüllt die

grundlegenden Sicherheitsanforderungen der europäischen Druckgeräte-Richtlinie. Bei der Dimensionierung müssen außer dem Innendruck gegebenenfalls noch weitere Belastungen berücksichtigt werden, z. B. Wärmeausdehnung, Gewicht von Rohrleitung und Inhalt, Schwingungen, Erddeckung.

### 1. Rohre aus Stahl

Wie bei Druckbehältern sind zur Ermittlung der Bestellwanddicke  $t$  von Stahlrohren mindestens zwei Zuschläge<sup>1)</sup>  $c_1$  und  $c_2$  zur notwendigen Mindestwanddicke  $t_v$  zu addieren.

$$t = t_v + c_1 + c_2 \quad (18.12)$$

$t_v$  geforderte Mindestwanddicke ohne Zuschläge und Toleranzen nach Gln. (18.13) und (18.14)  
 $c_1$  Zuschlag zum Ausgleich der zulässigen Wanddickenunterschreitung (Fertigungstoleranz). Ist  $c'_1$  in % der Bestellwanddicke gegeben ( $c'_1 = (c_1/t) \cdot 100$  %), gilt

$$c_1 = (t_v + c_2) \frac{c'_1}{100 - c'_1} \text{ bzw.}$$

$$t = (t_v + c_2) \frac{100}{100 - c'_1}$$

$c'_1 = 8$  % .. 20 % (der bestellten Wanddicke) richtet sich nach den technischen Lieferbedingungen der Stahlrohre, z. B. DIN EN 10216, DIN EN 10217, s. **TB 1-13d**.

$c_2$  Korrosions- bzw. Erosionszuschlag, ist vom Besteller anzugeben. Bei ferritischen Stählen im Allgemeinen 1 mm, Null wenn keine Korrosion zu erwarten ist.

### Statische Beanspruchung

Rohrleitungen mit *vorwiegend ruhender Beanspruchung* durch Innendruck werden auf Versagen gegen Fließen berechnet. Dabei wird angenommen, dass es bei 1000 Druckzyklen über die volle Schwankungsbreite nicht zu Ermüdungsschäden kommt.

Für die erforderliche Wanddicke gilt

- bei „dünnwandigen“ Rohren mit  $d_a/d_i \leq 1,7$ :

$$t_v = \frac{p_e \cdot d_a}{2 \cdot \sigma_{zul} \cdot v_N + p_e} \quad \begin{array}{c|c|c|c|c} t_v & p_e & d_a & \sigma_{zul} & v_N \\ \hline \text{mm} & \text{N/mm}^2 & \text{mm} & \text{N/mm}^2 & 1 \end{array} \quad (18.13)$$

- bei „dickwandigen“ Rohren mit  $d_a/d_i > 1,7$ :

$$t_v = \frac{d_a}{2} \left( 1 - \sqrt{\frac{\sigma_{zul} \cdot v_N - p_e}{\sigma_{zul} \cdot v_N + p_e}} \right) \quad (18.14)$$

$d_a$  Rohraußendurchmesser

$p_e$  Berechnungsdruck bei den festgelegten Druck-Temperatur-Bedingungen. Er darf nicht kleiner sein als der zugehörige Betriebsdruck. (1 bar = 0,1 N/mm<sup>2</sup>).

$v_N$  Schweißnahtfaktor, berücksichtigt die Festigkeitsminderung bei Bauteilen mit Stumpfnähten die nicht in Umfangsrichtung liegen. Er darf folgende Werte nicht übersteigen:

$v_N = 1$  bei vollständigem Nachweis durch zerstörende oder zerstörungsfreie Prüfung

$v_N = 0,85$  bei Nachweis durch zerstörungsfreie Prüfung an Stichproben

$v_N = 0,7$  bei Nachweis lediglich durch Sichtprüfung

$\sigma_{zul}$  zulässige Spannung

1. zeitunabhängige zulässige Spannungen:

a) nicht austenitische Stähle und austenitische Stähle mit  $A < 30$  %:

$$\sigma_{zul} = \min \left( \frac{R_{eH}/\phi}{1,5} \quad \text{oder} \quad \frac{R_{p0,2}/\phi}{1,5}; \frac{R_m}{2,4} \right)$$

<sup>1)</sup> Weiterer Zuschlag für mögliche Wanddickenabnahme bei der Fertigung (z. B. Biegen, Gewindeschneiden).

b) austenitische Stähle:

$$\text{für } 30\% \leq A \leq 35\% \quad \sigma_{\text{zul}} = \min \left( \frac{R_{p1,0/\vartheta}}{1,5}; \frac{R_m}{2,4} \right)$$

$$\text{für } A > 35\% \quad \sigma_{\text{zul}} = \frac{R_{p1,0/\vartheta}}{1,5} \text{ oder falls } R_{m/\vartheta} \text{ verfügbar}$$

$$\sigma_{\text{zul}} = \min \left( \frac{R_{m/\vartheta}}{3}; \frac{R_{p1,0/\vartheta}}{1,2} \right)$$

$$\text{c) für Stahlguss:} \quad \sigma_{\text{zul}} = \min \left( \frac{R_{eH/\vartheta}}{1,9} \text{ oder } \frac{R_{p0,2/\vartheta}}{1,9}; \frac{R_m}{3,0} \right)$$

2. zeitabhängige zulässige Spannungen:

$$\sigma_{\text{zul},t} = \frac{R_{m/t/\vartheta}}{S_t}$$

mit Zeitstandfestigkeit  $R_{m/2 \cdot 10^5/\vartheta}$ ,  $R_{m/1,5 \cdot 10^5/\vartheta}$  und  $R_{m/10^5/\vartheta}$  z. B. nach **TB 18-10**;  
zeitabhängiger Sicherheitsbeiwert  $S_t = 1,25$  für  $2 \cdot 10^5$  h,  $S_t = 1,35$  für  $1,5 \cdot 10^5$  h und  
 $S_t = 1,5$  für  $10^5$  h

Festigkeitskennwerte bei Berechnungstemperatur s. **TB 18-10** und **TB 6-15**.

*Hinweis:* Ist keine Lebensdauer festgelegt gilt  $R_{m/2 \cdot 10^5/\vartheta}$ , sind keine Werte für  $2 \cdot 10^5$  h festgelegt gilt  $R_{m/1,5 \cdot 10^5/\vartheta}$  bzw.  $R_{m/10^5/\vartheta}$ . Dabei darf die 1%-Zeitdehnngrenze nicht überschritten werden. In Temperaturbereichen, in denen Warmstreckgrenze (zeitunabhängig) und Zeitstandfestigkeit relevant sind, ist aus beiden  $\sigma_{\text{zul}}$  zu berechnen. Maßgebend ist der kleinere Wert.

### Dynamische Beanspruchung

Wenn die dynamische Beanspruchung ausschließlich auf Druckschwankungen beruht, ist nach DIN EN 13480-3 eine vereinfachte Auslegung auf „Wechselbeanspruchung“ zulässig. (Der Begriff „Wechselbeanspruchung“ steht hier für die Änderung einer Last über die Zeit). Bei der Berechnung werden die Kriterien für statische Beanspruchung verwendet und die jeweiligen Spannungsspitzen der Ermüdung durch Anwendung eines Spannungskonzentrationsfaktors ( $\eta$ ) berücksichtigt.

Zuerst wird eine fiktive pseudoelastische *Spannungsschwingbreite* berechnet

$$2 \cdot \sigma_a^* = \frac{\eta}{F_d \cdot F_{\vartheta}^*} \cdot \frac{p_{\text{max}} - p_{\text{min}}}{p_r} \cdot \sigma_{\text{zul},20} \quad (18.15)$$

$\eta$	Spannungsfaktor für verschiedene Konstruktionsformen, z. B. 1,0 für kreisrunde ungeschweißte Rohre, 1,3 bzw. 1,5 für Rundschweißnähte bei gleichen bzw. ungleichen Wanddicken, 1,6 für Längsnähte bei gleichen Wanddicken
$p_r$	Ersatz-Druck, zulässiger statischer Druck bei 20 °C nach Gln. (18.13) bzw. (18.14)
$\sigma_{\text{zul},20}$	zulässige Spannung bei 20 °C, wie zu Gln. (18.13) bzw. (18.14)
$p_{\text{max}} - p_{\text{min}}$	Druckschwankungsbreite (doppelte Amplitude)
$F_d$	Korrekturfaktor zur Berücksichtigung des Wanddickeneinflusses für Wanddicken $t \leq 25$ mm: $F_d = 1$ für Wanddicken $t > 25$ mm: $F_d = \left( \frac{25}{t} \right)^{0,25} \geq 0,64$
$F_{\vartheta}^*$	Temperatureinflussfaktor ferritischer Stahl: $F_{\vartheta}^* = 1,03 - 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot \vartheta^* - 1,5 \cdot 10^{-6} \cdot \vartheta^{*2}$ austenitischer Werkstoff: $F_{\vartheta}^* = 1,043 - 4,3 \cdot 10^{-4} \cdot \vartheta^*$ für $\vartheta^* \leq 100$ °C: $F_{\vartheta}^* = 1$ wobei Lastzyklustemperatur $\vartheta^* = 0,75 \cdot \vartheta_{\text{max}} + 0,25 \cdot \vartheta_{\text{min}}$

Nun kann die *zulässige Lastspielzahl* im Bereich  $10^3 \leq N_{zul} \leq 2 \cdot 10^6$  als Funktion der „pseudoelastischen Spannungsschwingbreite“  $2 \cdot \sigma_a^*$  berechnet werden.

$$N_{zul} = \left( \frac{B}{2 \cdot \sigma_a^*} \right)^m \quad (18.16)$$

$B$	Berechnungskonstante	
	Klasse <i>RS</i> (gewalzte Oberfläche):	$B = 7890 \text{ N/mm}^2$
	Schweißnahtklasse <i>K1</i> (z. B. Rundschweißnaht, beidseitig geschweißt):	$B = 7940 \text{ N/mm}^2$
	Schweißnahtklasse <i>K2</i> (z. B. Längsnaht, einseitig geschweißt):	$B = 6300 \text{ N/mm}^2$
	Schweißnahtklasse <i>K3</i> (z. B. Ecknaht, einseitig geschweißt):	$B = 5040 \text{ N/mm}^2$
$2 \cdot \sigma_a^*$	Spannungsschwingbreite nach Gl. (18.15)	
$m$	3 (Schweißnähte)	
	3,5 (ungeschweißte Bereiche, gewalzt oder bearbeitet)	

Als Grenzwerte der Dauerfestigkeit gelten

$2 \cdot \sigma_{a,D}$	$= 125 \text{ N/mm}^2$	für warmgewalzte Stahlbleche (Klasse <i>RS</i> )
$2 \cdot \sigma_{a,D}$	$= 63 \text{ N/mm}^2$	für Schweißnähte Klasse <i>K1</i>
$2 \cdot \sigma_{a,D}$	$= 50 \text{ N/mm}^2$	für Schweißnähte Klasse <i>K2</i>
$2 \cdot \sigma_{a,D}$	$= 40 \text{ N/mm}^2$	für Schweißnähte Klasse <i>K3</i>

Die Dauerfestigkeitswerte sind mit der Betriebslastspielzahl  $N = 2 \cdot 10^6$  angesetzt. Dauerfestigkeit liegt vor, wenn  $2 \cdot \sigma_a^* < 2 \cdot \sigma_{a,D}$ .

### Druckprüfung

Die Druckprüfung von Rohrleitungen ist in DIN EN 13480-5 geregelt. Für die während der Prüfung auftretende Spannung bei der Prüftemperatur gilt nach DIN EN 13480-3

$$\sigma_{\text{prüf}} \leq \sigma_{\text{prüf,zul}} \quad (18.17)$$

$\sigma_{\text{prüf,zul}}$	für austenitische Stähle mit $A \geq 25\%$ : $\max \{0,95 \cdot R_{p1,0}; 0,45 \cdot R_m\}$
	für nicht austenitische Stähle und austenitische Stähle mit $A \leq 25\%$ :
	$\sigma_{\text{prüf,zul}} \leq 0,95 \cdot R_{eH}$

Bei der Wasserdruckprüfung darf der Prüfdruck den höheren der beiden Werte nicht unterschreiten:  $p_{\text{prüf}} = \max \left\{ 1,25 \cdot p_e \cdot \frac{\sigma_{\text{prüf,zul}}}{\sigma_{\text{zul}}}; 1,43 \cdot p_e \right\}$ . Dabei darf aber  $\sigma_{\text{prüf,zul}}$  nicht überschritten werden.

## 2. Rohre aus duktilem Gusseisen

Muffen- und Flanschrohre aus duktilem Gusseisen sind für Wasserleitungen in DIN EN 545 und für Gasleitungen in DIN EN 969 genormt, s. **TB 18-1**.

Dort werden mit dem Faktor  $K(\dots, 8, 9, 10, 12 \dots)$  Rohrklassen gebildet (z. B.  $K10$ ) mit denen in Abhängigkeit von DN die Nenngusswanddicke errechnet wird:  $t = K(0,5 + 0,001 \text{ DN})$ . Die Mindestwanddicke beträgt 6 mm.

Der zulässige Betriebsdruck für duktile Muffenrohre beträgt nach DIN EN 545

$$p_{e, \text{zul}} = \frac{2 \cdot t_{\min} \cdot R_m}{d_m \cdot S} \quad (18.18)$$

$t_{\min}$  Mindestrohrwanddicke für Schleudergussrohre  $t - c_1$ , mit zulässiger Wanddickenunterschreitung  $c_1 = 1,3 \text{ mm}$  für  $t = 6 \text{ mm}$  und  $c_1 = 1,3 \text{ mm} + 0,001 \text{ DN}$  für  $t > 6 \text{ mm}$

$R_m$  Mindestzugfestigkeit des duktilen Gusseisens ( $R_m = 420 \text{ N/mm}^2$ )

$d_m$  mittlerer Rohrdurchmesser  $d_a - t$

$S$  Sicherheitsfaktor

3,0 bei höchstem hydrostatischem Druck im Dauerbetrieb

2,5 bei höchstem zeitweise auftretendem hydrostatischem Druck inklusive Druckstoß

## 3. Rohre aus Kunststoff

Für Rohrleitungen kommen häufig thermoplastische Kunststoffe, wie PVC-U, PVC-C, PE-HD und PP zum Einsatz. Dabei ist zu beachten, dass Thermoplaste auch bei Raumtemperatur zum Kriechen neigen und ihre Festigkeit unter Dauerbelastung absinkt. Festigkeitsberechnungen bei Kunststoffrohren sind deshalb grundsätzlich auf der Grundlage von Langzeit-Kennwerten für eine rechnerische Standzeit von 25 Jahren vorzunehmen. Die Festigkeitskennwerte können, in Abhängigkeit von der Betriebstemperatur, den Zeitstandkurven der Hersteller, den Rohrgrundnormen z. B. DIN 8080, DIN 8078, DIN EN ISO 12 162, DIN EN 1778 und der DVS-Richtlinie 2205-1 entnommen werden, s. **TB 18-13**.

Die zulässige Spannung ergibt sich aus der Zeitstandfestigkeit  $K$ , z. B. nach **TB 18-13**, dem Sicherheitsfaktor  $S$  und gegebenenfalls weiteren Abminderungsfaktoren zur Berücksichtigung des Betriebsmediums, der Zähigkeit des Rohrwerkstoffes und von Schweißnähten.

Nach der „Kesselformel“ erhält man die erforderliche Mindest-Rohrwanddicke

$$t_{\min} = \frac{p_e \cdot d_a}{2 \cdot \frac{K}{S} + p_e} \quad (18.19)$$

$p_e$  innerer Überdruck (Berechnungsdruck), wobei  $1 \text{ bar} = 0,1 \text{ N/mm}^2$

$d_a$  Rohraußendurchmesser

$K$  Zeitstandfestigkeit bei der Berechnungstemperatur, z. B. aus **TB 18-13**

$S$  Sicherheitsbeiwert

1,3 bei ruhender Belastung bei Raumtemperatur und geringer Schadensfolge

2,0 bei Belastung unter wechselnden Bedingungen und großer Schadensfolge

Nach Ermittlung der rechnerischen Rohrwanddicke muss die Ausführungswanddicke unter Berücksichtigung der Nenndruckstufe PN bzw. der Reihe der jeweiligen Rohrnormen festgelegt werden.

#### 4. Berücksichtigung von Druckstößen

Durch Änderung der Strömungsgeschwindigkeit  $\Delta v$  durch einen Regelvorgang (z. B. Schließen eines Schiebers) tritt auf der Zuströmseite ein positiver Druckstoß  $+\Delta p$  und auf der Abströmseite ein negativer Druckstoß  $-\Delta p$  auf. Er pflanzt sich wellenförmig mit Schallgeschwindigkeit von der Entstehungsstelle nach beiden Seiten fort und wird an Unstetigkeitsstellen (Behälter, Rohrknoten, Leitungsende) der Rohrleitung reflektiert. Für den Weg von z. B. einem Abschlussorgan zu einem Behälter und zurück benötigt eine Druckwelle die Reflexionszeit

$$t_R = 2 \cdot l / a \quad (18.20)$$

$l$  Länge des Rohrleitungsabschnitts

$a$  Fortpflanzungsgeschwindigkeit einer Druckwelle, s. auch unter Gl. (18.21)

Wesentliche Einflussgrößen auf die Höhe eines Druckstoßes  $\Delta p$  sind die Länge  $l$  des maßgebenden Rohrleitungsabschnitts, die Schließzeit  $t_S$  des Absperrorgans, die Strömungsgeschwindigkeit  $v$  und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit  $a$  der Druckwelle im Medium.

Wenn die Strömungsgeschwindigkeit plötzlich von  $v_1$  auf  $v_2 = 0$  in einer sehr kurzen Schließzeit  $t_S < t_R$  reduziert wird, beträgt der maximale Druckstoß (Joukowsky-Stoß)

$$\Delta p = \rho \cdot a \cdot \Delta v \quad \begin{array}{c|c|c} \Delta p & \rho & a, \Delta v \\ \hline \text{Pa} & \text{kg/m}^3 & \text{m/s} \end{array} \quad (18.21)$$

$\rho$  Dichte des Durchflusstoffes

$a$  Fortpflanzungsgeschwindigkeit einer Druckwelle

Richtwerte:  $a = 1000$  m/s für Wasser und dünnflüssige Öle in dünnwandigen Leitungen, für verhältnismäßig dickwandige Hydraulikleitungen gilt als Mittelwert  $a = 1300$  m/s

$\Delta v$  Änderung der Strömungsgeschwindigkeit durch einen Regelvorgang (kann positiv oder negativ sein)

Bei einer Verlängerung der Schließzeit auf mehrere Reflexionszeiten ( $t_S \gg t_R$ ) kann eine erhebliche Reduzierung des Druckstoßes erreicht werden. Bei kurzen Leitungen der Länge  $l < a \cdot t_S / 2$  und linearem Schließgesetz des Absperrorgans kann mit einer Stoßabminderung gerechnet werden

$$\Delta p = \rho \cdot a \cdot \Delta v \cdot \frac{t_R}{t_S} \quad \begin{array}{c|c|c|c} \Delta p & \rho & a, \Delta v & t_R, t_S \\ \hline \text{Pa} & \text{kg/m}^3 & \text{m/s} & \text{s} \end{array} \quad (18.22)$$

$\rho, a, \Delta v$  s. zu Gl. (18.21)

$t_R$  Reflexionszeit bei Druckstoß, s. Gl. (18.20)

$t_S$  Schließzeit des Absperr- bzw. Steuerorgans

Da es nicht möglich ist, allgemein gültige Formeln aufzustellen, gelten die Gleichungen (18.21) und (18.22) nur näherungsweise. Die Druckstöße sind vor allen Dingen in Flüssigkeitsleitungen wegen der großen Dichte des Mediums sorgfältig zu beachten.

Auch negative Druckstöße sind gefährlich, da es durch Unterdruckbildung zum Einbeulen dünner Rohrwandungen oder zu Wasserschlägen kommen kann. Wenn es die Sicherheit der Anlage erfordert sind druckstoßdämpfende Maßnahmen zu ergreifen, z. B. Rückschlagklappen mit ölhydraulischen Bremsen, Pumpen mit großen Schwungmassen oder Sicherheitstanks.

Bei der Berechnung von Rohren gegen Verformen und gegen Schwingbruch ist die Druckerhöhung durch den Druckstoß stets zu berücksichtigen, s. Gleichungen (18.13) und (18.15).

### 9.2.5 Primjeri usvajanja cjevovoda

■ **Beispiel 18.1:** Für eine wasserhydraulische Hochdruckanlage ist die Bestellwanddicke  $t$  eines nahtlosen Stahlrohres DN 40 nach DIN EN 10216-1 aus P235TR2 so zu bestimmen, dass es gegen einen zwischen  $p_{\max} = 250$  bar und  $p_{\min} = 130$  bar schwankenden inneren Überdruck bei Raumtemperatur dauerhaft ist. Es sind Rundschweißnähte mit gleicher Wanddicke zu berücksichtigen.

► **Lösung:** Für DN 40 ergibt sich nach **TB 1-13d** ein zugeordneter Außendurchmesser  $d_a = 60,3$  mm (Reihe 1). Nach Gl. (18.15) lautet die Bedingung für die Dauerfestigkeit:

$$2 \cdot \sigma_a^* = \frac{\eta}{F_d \cdot F_{\theta^*}} \cdot \frac{p_{\max} - p_{\min}}{p_r} \cdot \sigma_{zul,20}$$

Nach dem Ersatzdruck umgeformt folgt mit  $2 \cdot \sigma_a^* \geq 2\sigma_{a,D}$

$$p_r \leq \frac{\eta}{F_d \cdot F_{\theta^*}} \cdot \frac{p_{\max} - p_{\min}}{2 \cdot \sigma_{a,D}} \cdot \sigma_{zul,20}$$

Mit dem Spannungsfaktor  $\eta = 1,3$  (Rundschweißnähte bei gleicher Wanddicke), dem Wanddickenfaktor  $F_d = 1$  ( $t \leq 25$  mm zu erwarten), dem Temperatureinflussfaktor  $F_{\theta^*} = 1$  ( $\theta^* < 100$  °C), der Druckschwankungsbreite  $p_{\max} - p_{\min} = 120$  bar = 12 N/mm<sup>2</sup>, dem Grenzwert der Dauerfestigkeit  $2 \cdot \sigma_{a,D} = 63$  N/mm<sup>2</sup> für Schweißnahtklasse K1 (Rundschweißnähte) und der zulässigen Spannung für den Rohrwerkstoff P235TR2 für 20 °C nach **TB 18-10**

$$\sigma_{zul,20} = \min \left\{ \frac{R_{p0,2/\theta}}{1,5}; \frac{R_m}{2,4} \right\} = \min \left\{ \frac{235 \text{ N/mm}^2}{1,5}; \frac{360 \text{ N/mm}^2}{2,4} \right\} = 150 \text{ N/mm}^2$$

folgt der „Ersatzdruck“

$$p_r \leq \frac{1,3}{1,0 \cdot 1,0} \cdot \frac{12 \text{ N/mm}^2}{63 \text{ N/mm}^2} \cdot 150 \text{ N/mm}^2 = 37,1 \text{ N/mm}^2 = 371 \text{ bar.}$$

$p_r = 371$  bar ist der „Ersatzdruck“, den die Rohrleitung statisch aushalten muss, damit sie gegen  $p_{\max} - p_{\min} = 120$  bar dauerhaft ist.

Mit der Annahme  $d_a/d_i \leq 1,7$  kann nun nach Gl. (18.13) die erforderliche Wanddicke berechnet werden

$$t_v = \frac{p_e \cdot d_a}{2 \cdot \sigma_{zul} \cdot v_N + p_e}$$

Sie beträgt mit den Werten  $p_e = p_r = 37,1 \text{ N/mm}^2$ ,  $d_a = 60,3 \text{ mm}$ ,  $\sigma_{zul} = 150 \text{ N/mm}^2$  und  $v_N = 1,0$  (nahtloses Rohr, Rundnähte)

$$t_v = \frac{37,1 \text{ N/mm}^2 \cdot 60,3 \text{ mm}}{2 \cdot 150 \text{ N/mm}^2 \cdot 1,0 + 37,1 \text{ N/mm}^2} = 6,6 \text{ mm.}$$

Die Bestellwanddicke wird nach Gl. (18.12) bestimmt

$$t = t_v + c_1 + c_2 \quad \text{bzw.} \quad t = (t_v + c_2) \cdot \frac{100}{100 - c'_1}$$

Mit den Grenzabmaßen für die Wanddicke des zu bestimmenden Rohres  $c'_1 = \pm 12,5\%$  (oder  $c_1 = 0,4 \text{ mm}$ ) für ein vorläufiges Wanddickenverhältnis  $t/d_a$  ( $T/D$ )  $> 0,10$  bei  $d_a < 219,1 \text{ mm}$  nach **TB 1-13d**, sowie  $c_2 = 1,0 \text{ mm}$  für ferritische Stähle wird

$$t = (6,6 \text{ mm} + 1,0 \text{ mm}) \cdot \frac{100}{100 - 12,5} = 8,7 \text{ mm.}$$

Aus TB 1-13d kommt ein Rohr mit Normwanddicke  $t = 8,8 \text{ mm}$  in Frage.

Überprüfung der Annahme zum Durchmesser- bzw. Wanddickenverhältnis:

$$\frac{d_a}{d_i} = \frac{60,3 \text{ mm}}{42,7 \text{ mm}} = 1,4 < 1,7 \quad d_a \leq 219,1 \text{ mm: } c'_1 = 12,5\% \text{ maßgebend}$$

**Ergebnis:** Gewählt wird ein Rohr – 60,3 × 8,8 – EN 10216-1 – P235TR2.

**Beispiel 18.2:** Von einem Erdbehälter sollen 300 m<sup>3</sup> Wasser von 10 °C durch eine 280 m lange oberirdische Leitung aus geschweißten Stahlrohren in einen Speicherbehälter gedrückt werden. Der senkrechte Abstand zwischen Pumpe und Einmündung des Rohres in den Speicherbehälter beträgt 8 m, die Saughöhe 2 m. Als Einbauten sind zwei Durchgangsventile, eine Rückschlagklappe und drei Krümmen 60° ( $R = 2d$ ) vorgesehen. Es sollen geschweißte Stahlrohre nach DIN EN 10217-1 aus P235TR2 mit Zementmörtelauskleidung (3 mm) verwendet werden.

Welche Abmessungen müssen die zu bestellenden geschweißten Stahlrohre ( $v_N = 1$ ,  $c'_1 = \pm 10\%$  oder  $c_1 = \pm 0,3 \text{ mm}$ ) aufweisen, wenn eine Pumpenleistung von 15 kW (Wirkungsgrad  $\eta = 0,7$ ) nicht überschritten werden darf?

**Lösung:** In der Praxis sind meist Volumenstrom und zulässiger Druckabfall (oder Leistung) gegeben. Da die theoretischen Beziehungen keine explizite Lösung der Aufgabe zulassen, wird zunächst mit einer angenommenen Strömungsgeschwindigkeit ein Rohrdurchmesser berechnet und dafür der Druckabfall bestimmt. Führt die Berechnung nicht zum gewünschten Ergebnis, so muss sie mit einem anderen Durchmesser wiederholt werden.

Mit der für Wasser-Hauptleitungen wirtschaftlichen Geschwindigkeit  $v = 1 - 2 \text{ m/s}$  (s. **TB 18-5**) und dem gegebenen Volumenstrom von 300 m<sup>3</sup>/h = 0,0833 m<sup>3</sup>/s erhält man nach Gl. (18.4) den vorläufigen Rohrdurchmesser

$$d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0833 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \cdot 1,5 \text{ m/s}}} = 0,266 \text{ m} = 266 \text{ mm.}$$

Nach **TB 18-4** wird die nächstliegende Nennweite DN 300 gewählt. Aus der Maßnorm DIN EN 10220 (**TB 1-13b**) kann damit ein Stahlrohr mit  $d_a = 323,9 \text{ mm}$  (Reihe 1) und  $t = 4 \text{ mm}$  (fast drucklos!) festgelegt werden.

Wenn innen 3 mm Zementmörtel aufgebracht werden, beträgt mit  $d_i = 323,9 \text{ mm} - 2 \cdot (4 + 3) \text{ mm} = 309,9 \text{ mm}$  die Strömungsgeschwindigkeit nach Gl. (18.3)

$$v = \frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot d_i^2} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{0,0833 \text{ m}^3/\text{s}}{0,3099^2 \text{ m}^2} = 1,10 \text{ m/s}$$

Mit der kinematischen Viskosität von Wasser bei 10 °C  $\nu = 1,307 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  (**TB 18-9a**) kann die den Strömungszustand kennzeichnende Reynoldszahl nach Gl. (18.8) berechnet werden

$$Re = \frac{v \cdot d_i}{\nu} = \frac{1,1 \text{ m} \cdot 0,3099 \text{ m} \cdot \text{s}}{1,307 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} = 260800.$$

Nach **TB 18-6** beträgt die mittlere Rauigkeitshöhe von mit Zementmörtel ausgekleideten Stahlrohren  $k \approx 0,18 \text{ mm}$ . Damit ist die  $d_i/k = 309,9 \text{ mm}/0,18 \text{ mm} = 1722$  und die Rohrreibungszahl kann mit  $Re$  aus **TB 18-8** abgelesen werden:  $\lambda \approx 0,019$ .

Da der Wert unter der Grenzkurve, also im Übergangsbereich liegt, gilt die implizite Gl. (18.11). Sie kann nur iterativ gelöst werden. Mit Hilfe der Gl. (18.5) kann nun der Druckverlust durch Reibung für das gewählte Rohr berechnet werden:

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{1}{d_i} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 = 0,019 \cdot \frac{280 \text{ m}}{0,3099 \text{ m}} \cdot \frac{999,8 \text{ kg}}{\text{m}^3 \cdot 2} \cdot 1,1^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 10380 \text{ Pa}$$

Wie Widerstandszahlen der Rohrleitungselemente lassen sich nach **TB 18-7** bestimmen:

1 Rohreinlauf als vorstehendes Rohrstück	$\zeta = 3$
1 Auslauf (Ausströmung ins Freie)	$\zeta = 1$
2 Durchgangsventile zu je $\zeta = 5$	$\zeta = 10$
1 Rückschlagklappe	$\zeta = 0,8$
3 Krümmer 60°, glatt, zu je $\zeta = 0,7 \cdot 0,14$	$\zeta = 0,3 \quad \Sigma \zeta = 15,1$

Der Druckverlust durch Rohrleitungselemente beträgt nach Gl. (18.6)

$$\Delta p = \Sigma \zeta \cdot \rho \cdot v^2 / 2 = 15,1 \cdot 999,7 \text{ kg/m}^3 \cdot (1,1 \text{ m/s})^2 / 2 = 9130 \text{ Pa}$$

Unter Berücksichtigung des Druckverlustes zur Überwindung des geodätischen Höhenunterschiedes nach Gl. (18.7)

$$\Delta p = \Delta h \cdot g \cdot (\rho - \rho_{\text{Luft}}) = (8 + 2) \text{ m} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot (999,7 - 1,3) \text{ kg/m}^3 = 97940 \text{ Pa}$$

wird der von der Pumpe aufzubringende Druck:

$$p = 10380 \text{ Pa} + 9130 \text{ Pa} + 97940 \text{ Pa} = 117450 \text{ Pa}.$$

Mit der Pumpen-Antriebsleistung  $P = p \cdot \dot{V} / \eta = 15 \text{ kW} = 15000 \text{ Nm/s}$  beträgt der höchste Pumpendruck

$$p = \frac{\eta \cdot P}{\dot{V}} = \frac{0,7 \cdot 15000 \text{ Nm} \cdot \text{s}}{1,0833 \text{ m}^3} = 126000 \text{ Pa} > 117450 \text{ Pa}.$$

Mit Rohren DN 300 kann die Rohrleitung mit der vorgesehenen Pumpe betrieben werden.

Anschließend soll die Bestellwanddicke der „dünnwandigen“ Rohre für vorwiegend statische Beanspruchung durch Innendruck nach Gln. (18.13) und (18.12) berechnet werden.

In Gl. (18.13) sind einzusetzen:

- $p_e = 117450 \text{ Pa} = 1,17 \text{ bar} \approx 0,12 \text{ N/mm}^2$ , als größten inneren Überdruck
- $d_a = 323,9 \text{ mm}$  (bereits gewählter Normaußendurchmesser nach EN 10217-1 bzw. EN 10220)
- $\sigma_{\text{zul}} = \min \left\{ \frac{R_{eH,\theta}}{1,5} \text{ oder } \frac{R_{p0,2,\theta}}{1,5}; \frac{R_m}{2,4} \right\} = \min \left\{ \frac{235 \text{ N/mm}^2}{1,5}; \frac{360 \text{ N/mm}^2}{2,4} \right\} = 150 \text{ N/mm}^2$ , als zeitunabhängige zulässige Spannung, wobei  $R_{eH,\theta} = 235 \text{ N/mm}^2$  und  $R_m = 360 \text{ N/mm}^2$  aus **TB 18-10** ungefähr bei Raumtemperatur ( $\theta = 10^\circ \text{C}$ )
- $v_N = 1,0$  (Schweißnahtfaktor bei genormtem Rohr und entsprechender Prüfung)

Damit beträgt die erforderliche Wanddicke

$$t_v = \frac{0,12 \text{ N/mm}^2 \cdot 323,9 \text{ mm}}{2 \cdot 150 \text{ N/mm}^2 \cdot 1,0 + 0,12 \text{ N/mm}^2} = 0,13 \text{ mm}$$

Mit dem Zuschlag zur Berücksichtigung der Wanddickenunterschreitung  $c_1 = 0,3 \text{ mm}$  bzw.  $c_1' = 10\%$  und dem Korrosionszuschlag  $c_2 = 1 \text{ mm}$  ergibt sich nach Gl. (18.12) die Bestellwanddicke

$$t = t_v + c_1 + c_2 = 0,13 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + 0,3 \text{ mm} = 1,43 \text{ mm}.$$

Aus Gründen der Formbeständigkeit, eventueller Druckstöße, von Massenkräften (Stützweiten) und einer meist vorgeschriebenen Mindestwanddicke von 3 mm, kann ein solches dünnwandiges Rohr nicht ausgeführt werden. Gewählt wird eine Bestellwanddicke von 4 mm.

Ohne Berücksichtigung des äußeren Korrosionsschutzes und der Auskleidung lautet die verbindliche Bestellwanddicke:

$$280 \text{ m Rohre} - 323,9 \times 4 - \text{EN 10217-1} - \text{P235TR2}.$$

### *9.2.6 Loša i dobra rješenja*

## **9.3 Primjena cjevovoda**

### *9.3.1 Izgradnja cjevovoda*

Pandžić/233-234, Decker/488-500, 32, 33, 34,  
[Antaki (2003), str. 58]

### 2.2.4 Quality Control Inspections

Examinations (quality control) and inspections (quality assurance).  
 Examination methods and percentages.  
 Personnel and process certifications.  
 Calibration of examination tools.  
 Surface or volumetric examinations.  
 Acceptance criteria.  
 Hold points and independent inspections by owner representative.  
 Control and disposition of non-conformances.  
 Documentation of inspections.  
 Inspection records filing and retrieval logic.

### 2.2.5 Preoperational Testing

#### 2.2.5.1 Mechanical Testing

Leak testing technique (hydro, pneumatic, sensitive leak, etc.).  
 Test boundaries.  
 Test fluid and pressure.  
 Testing cautions.  
 Test personnel.  
 Hold points.  
 Start-up testing.  
 Vibration startup monitoring.  
 Thermal expansion startup monitoring for hot lines.  
 Test acceptance criteria.  
 Control and disposition of non-conformances.  
 Mechanical test records filing and retrieval logic.

#### 2.2.5.2 Operational Testing

Component operability tests.  
 System flow tests.  
 Instrumentation and controls tests.  
 Commissioning.  
 Measurements of key process variables and acceptance criteria.  
 Turnover process from engineering and maintenance to operations.  
 Operational test records filing and retrieval logic.

## 9.3.2 Spajanje čeličnih cjevovoda

### 9.3.3 Spajanje bakarnih cjevovoda

### 9.3.4 Spajanje plastičnih cjevovoda

### 9.3.5 Pogon cjevovoda

*Smith2003, Smith2007*

*[Antaki (2003), str. 62]*

#### **2.2.7 Operation**

Operator experience, proficiency and certification.

Operating procedures.

Operating envelopes and limits.

Emergency procedures.

Understanding operating processes, access to system engineer.

Role of shift engineer.

Alarms, facility drills and emergency response.

Standing orders and shift orders.

Shift turnover process.

Authorities to operate equipment.

System descriptions and up-to-date system diagrams.

Equipment labels.

Normal operating loads in service: weight, temperature, pressure, flow.

Accident loads: large vibration, water-hammer, winds, seismic, explosion.

Log and analysis of operating and accident conditions.

Understanding degradation in service and abnormal response.  
 Analysis of abnormal events.  
 Lessons learned, plant, company and industry feedback.  
 Engineering reviews and hold points.  
 Post-maintenance turnover.  
 Operating records filing and retrieval logic.  
 Audits, critiques, self-assessment and continuous improvement.  
 Prioritization process for upgrades and projects.  
 Interface operations-maintenance-engineering.  
 Temporary modification process.  
 Change control process.  
 Production objectives, measurement, trending, and improvement.

### 9.3.6 Održavanje cjevovoda

[Antaki (2003), str. 62]

#### 2.2.6 Maintenance

Corrective: run-to-failure  
 Preventive: adjust or replace at fixed intervals.  
 Predictive: inspect and decide based on fitness-for-service analysis.  
 Active vs. reactive (corrective, run-to-failure) by system and by component.  
 Active: planned (fixed interval) vs. predictive (trended) maintenance.  
 Analysis and trending of maintenance history.  
 Reliability analysis.  
 Maintenance feedback and lessons learned process.  
 On-stream (in-service) or outage (shutdown) maintenance.  
 Sampling and corrosion monitoring.  
 Visual (external or internal, direct or remote).  
 Surface (liquid penetrant, magnetic particles, etc.).  
 Volumetric (radiography, ultrasonic, etc.)  
 Periodic hydrotest.  
 Fitness-for-service (run-or-repair) analysis: API-579, ASME XI, B31.G, etc.  
 Qualified welding or mechanical repairs  
 Corrosion repairs, lining and coating.  
 National Board certification of repair program.  
 Repair stamp (R, VR).  
 End of system or component life  
 Shutdown and disposition plan.  
 Maintenance records filing (electronic database) and retrieval logic.

### *9.3.7 Demontaža i odlaganje cjevovoda*

### *9.3.8 Loša i dobra rješenja*

## Dodaci

### Literatura

Antaki2003 (povjest, kratice organizacija, pregled propisa i norma), Ashby2002(materijali)/198,199,201,205,206,207,210,227,233,241,257,259,280,282,286,287,288,306,309, Dickenson1999 (boje, glosar, proizvođači), Ellenberger2005 (tekst, potpore, organizacija), Parisher2002 (glosar, detaljno), Prestly2008 (slike, majstor u kući), Wittel2009/632÷659, Woodson2009 (glosar, tekst),

Avallone2006/141÷146,324÷330,772÷811,1197÷1207, Böge2011/143÷144, Brown2005/182÷184,190÷193, Chandsekar2010/73÷80, Czichos2008/K70÷K72, D'Amelio2006/230÷296 (vremenske norme), Decker1987/478÷513, DIN2008/43,104,125÷138,196÷198,248÷253,256÷260,393÷394,426÷429,477÷478,638,650÷653, Dorf2005/ch40,41, Elcic1973/570÷634,1156÷1168, Fritz2008/238÷239,254, Grote2007/97÷102,651÷662,769÷771,775÷778, Haberhauer2011/42,100,103,262, Hering2004/42,79,98÷99,132,186÷190,201,338÷339,380÷384,1029÷1036, Hicks2004(proračuni)/189÷299,664÷790,988÷997,1041÷1077, Kraut1988/220÷221,228÷231,240÷241,243÷244,519, Kreith2005/277÷302, Künne12008/392÷421, Kutz1998/1663÷1680,1813÷1845, Kutz42005/726÷761, Lee1999 (fitinzi), Lingaiah2004/223÷242, Muhs2007(zadaci)/134÷136,229÷230,315÷316, Muhs(oznake, formule, norme)2006/230÷244, Muscroft2007 (slike, pitanja), Niemann2005/422÷425, Pandžić2008/227÷236, Smith2000/34÷46,146÷156,..., Steinhilper12008/287÷288,474, Timings2005/119÷122,240÷249,509÷513,527÷547, Vitas1990/229÷258,

1. **Spojevi cjevovoda** Decker/478-513, DIN/473-483, Lingaiah/223-242, Oberg/2526, Wittel/648-675,

1. **Fluidi** Carvill/157-182, Grote/93-115,
2. **Termoenergetika** Grote/641-748,
3. **Klimatizacija** Grote/749-844,
4. **Procesna tehnika** Grote/845-896,
5. **Turbostrojevi** Grote/1141-1225,

#### 9.1 Osnove cjevovoda

##### Osnove cjevovoda

Pandžić/228, Decker/478, Wittel/648/663-664, 11/655-664/1523-1525

#### 6. Opreme cjevovoda

Wittel/651-652/657-661,

#### 7. Nazivlje cjevovoda

Pandžić/228, Decker/478-479, Wittel/655-656,

#### 8. Armatura cjevovoda

Pandžić/230, Decker/502-503, 11/1679-1680, 18/90,

#### 9. Zaporni ventili

Pandžić/231-232, Decker/503-507, Wittel/652-653,

10. **Prirubnice** DIN/426-429,

#### Dodaci 9.

Budynas/1018

### Internet

[Wittel 2009, str. 659]:

[www.ava-alms.de](http://www.ava-alms.de) (AVA Armaturen Vertrieb Alms GmbH, Ratingen) – slike, armature - listovi sa crtežom i podacima  
<http://www.argus-fluidtechnik.de> (Argus, Ettlingen) – crijeva i spojke, skinuti katalozi  
[www.boehmer.de](http://www.boehmer.de) (Werner Böhmer GmbH, Sprockhövel) – slike, armature - listovi sa crtežom i podacima  
[www.duerholdt.de](http://www.duerholdt.de) (Franz Dürholdt GmbH & Co. KG, Wuppertal) – armature, tlakomjer, registracija za skidanje

[www.ERHARD.de](http://www.ERHARD.de) (ERHARD GmbH & Co. KG, Heidenheim) – skinut katalog, programi za izračunavanja, veće dimenzije  
[www.georgfischer.de](http://www.georgfischer.de) (Georg Fischer AG, Albershausen) – detaljno – plastika, temper lijev  
[www.ksb.de](http://www.ksb.de) (KSB Aktiengesellschaft, Frankenthal) – detaljno – pumpe, armatura  
[www.krombach.com](http://www.krombach.com) (Friedrich Krombach GmbH & Co. KG, Kreuztal) – skinute dimenzije i upute, detaljno armatura  
[www.lohse-gmbh.de](http://www.lohse-gmbh.de) (Martin Lohse GmbH, Heidenheim) – armature  
[www.sempell.com](http://www.sempell.com) (Sempell AG, Korschenbroich) – armature  
[www.vag-armaturen.com](http://www.vag-armaturen.com) (VAG-Armaturen GmbH, Mannheim) – armature  
[www.witzenmann.de](http://www.witzenmann.de) (Witzenmann GmbH, Pforzheim) – crijeva, kompenzatori, potpore – registracija  
<http://www.saint-gobain-hes.de/produkte> – oluci od lijeva, s izolacijama, listovi crtežom i podacima

## Oznake

*[Muhs (2006), str. 221]*

Formelzeichen	Einheit	Benennung
$a$	m/s	Fortpflanzungsgeschwindigkeit einer Druckwelle
$A$	mm <sup>2</sup>	Querschnittsfläche der Rohrwand
$c_1$	mm	Zuschlag zum Ausgleich der zulässigen Wanddicken-Unterschreitung
$c'_1$	%	zulässige Wanddicken-Unterschreitung
$c_2$	mm	Zuschlag für Korrosion bzw. Abnutzung
$d_a$	mm	Rohr-Außendurchmesser
$d_i$	m, mm	Rohr-Innendurchmesser
$d_m$	mm	mittlerer Rohrdurchmesser
$E$	N/mm <sup>2</sup>	Elastizitätsmodul
$F_{\theta}$	N	Längskraft im Rohr bzw. auf die Festpunkte infolge Temperaturänderung
$g$	m/s <sup>2</sup>	Fallbeschleunigung
$\Delta h$	m	geodätischer Höhenunterschied bei nicht horizontal verlaufenden Leitungen
$K$	N/mm <sup>2</sup>	Festigkeitskennwert
$k$	mm	mittlere Rauigkeitshöhe der Rohrwand
$k$	1	Faktor für die Rohrausführung bei der Berechnung der Stützpunktabstände
$L$	m	Abstand der Unterstützungspunkte
$l$	m	Länge der Rohrleitung
$\dot{m}$	kg/s	Massenstrom
$p_e$	N/mm <sup>2</sup>	Berechnungsdruck, als maximal möglicher innerer Überdruck
$p_{\max}, p_{\min}$	N/mm <sup>2</sup>	Maximaldruck, Minimaldruck; wobei $p_{\max} - p_{\min}$ Schwingbreite einer Druckschwingung
$\Delta p$	Pa	Druckverlust in der Rohrleitung durch Reibung und Einzelwiderstände
$\Delta p$	Pa	Druckänderung durch Druckstoß
$PFA$	bar	zulässiger Bauteilbetriebsdruck

Formelzeichen	Einheit	Benennung
$Re$	1	Reynolds-Zahl (Geschwindigkeit des strömenden Mediums $\times$ Rohrrinnendurchmesser/kinematische Viskosität), kennzeichnet den Strömungszustand
$R_m$	$N/mm^2$	Mindestzugfestigkeit
$S$	1	Sicherheitsbeiwert
$S_F$	1	Sicherheitsfaktor
$t$	mm	erforderliche Wanddicke (Bestellwanddicke, Nennwanddicke)
$t_R$	s	Reflexionszeit beim Druckstoß
$t_S$	s	Schließzeit des Absperr- bzw. Steuerorgans
$t_V$	mm	rechnerische Wanddicke ohne Zuschläge
$v$	m/s	Strömungsgeschwindigkeit (Mittelwert) des Mediums
$v_N$	1	Wertigkeit der Längs- bzw. Schraubenlinien-Schweißnaht
$\Delta v$	m/s	Änderung der Strömungsgeschwindigkeit durch einen Regelvorgang
$\dot{V}$	$m^3/s$	Volumenstrom
$\alpha$	$K^{-1}$	thermischer Längenausdehnungskoeffizient des Rohrwerkstoffes
$\zeta$	1	Widerstandszahl von Rohrleitungselementen
$\eta$	Pa s	dynamische Viskosität des strömenden Mediums
$\Delta t^\theta$	K	Temperaturdifferenz
$\lambda$	1	Rohrreibungszahl
$\nu$	$m^2/s$	kinematische Viskosität des strömenden Mediums
$Q, Q_{Luft}$	$kg/m^3$	Dichte des Mediums bzw. der umgebenden Luft
$\sigma_{Sch\ zul}$	$N/mm^2$	zulässige Dauerschwell- bzw. Zeitschwellfestigkeit



## Podloge

Dickenson1999/852÷863,

### *Norme*

Dickenson1999/800÷814,

Normenausschuss Rohrleitungen und Dampfkesselanlagen (NARD) [www.nard.din.de](http://www.nard.din.de)

[*Muhs (2006), str. 231*]

Technische Regeln		Titel
DIN 1626	10.84	Geschweißte kreisförmige Rohre aus unlegierten Stählen für besondere Anforderungen; technische Lieferbedingungen
DIN 1628	10.84	Geschweißte kreisförmige Rohre aus unlegierten Stählen für besonders hohe Anforderungen; technische Lieferbedingungen
DIN 1629	10.84	Nahtlose kreisförmige Rohre aus unlegierten Stählen für besondere Anforderungen; technische Lieferbedingungen
DIN 1630	10.84	Nahtlose kreisförmige Rohre aus unlegierten Stählen für besonders hohe Anforderungen; technische Lieferbedingungen
DIN 2353	12.98	Lötlose Rohrverschraubungen mit Schneidring; vollständige Verschraubung und Übersicht
DIN 2403	03.84	Kennzeichnung von Rohrleitungen nach dem Durchflussstoff
DIN 2429-1	01.88	Grafische Symbole für technische Zeichnungen; Rohrleitungen; Allgemeines
DIN 2429-2	01.88	–; –; funktionelle Darstellung
DIN 2440	06.78	Stahlrohre; mittelschwere Gewinderohre
DIN 2441	06.78	Stahlrohre; schwere Gewinderohre
DIN 2442	08.63	Gewinderohre mit Gütevorschrift, Nenndruck 1 bis 100
DIN 2445-1	09.00	Nahtlose Stahlrohre für schwellende Beanspruchungen; warmgefertigte Rohre für hydraulische Anlagen, 100 bis 500 bar
DIN 2445-2	09.00	–; Präzisionsstahlrohre für hydraulische Anlagen, 100 bis 500 bar
DIN 2445 Beiblatt 1	09.00	–; Auslegungsgrundlagen
DIN 2460	01.92	Stahlrohre für Wasserleitungen
DIN 2470-1	12.87	Gasleitungen aus Stahlrohren mit zulässigen Betriebsdrücken bis 16 bar; Anforderungen an Rohrleitungsteile
DIN 2500	08.66	Flansche; allgemeine Angaben, Übersicht
DIN 2501-1	05.03	Flansche; Anschlussmaße
DIN 2512	05.03	Flansche; Konstruktionsmaße für Feder und Nut; Einlegeringe für Nutflansche PN 10 bis PN 160
DIN 2526	05.03	Flansche; Formen der Dichtflächen
DIN 2528	06.91	Flansche; verwendungsfertige Flansche aus Stahl; Werkstoffe
EDIN 2548	05.03	Integralflansche; PN 160

Technische Regel		Titel
EDIN 2549	05.03	<b>Integralflansche; PN 250</b>
EDIN 2550	05.03	<b>Integralflansche; PN 320</b>
EDIN 2551	05.03	<b>Integralflansche; PN 400</b>
DIN 2558	10.02	<b>Ovale Gewindeflansche, glatt; PN 6</b>
DIN 2559-2	02.84	<b>Schweißnahtvorbereitung; Anpassen der Innendurchmesser für Rundnähte an nahtlosen Stahlrohren</b>
EDIN 2627	05.03	<b>Vorschweißflansche, PN 400</b>
EDIN 2628	05.03	<b>Vorschweißflansche, PN 250</b>
EDIN 2629	05.03	<b>Vorschweißflansche, PN 320</b>
EDIN 2638	05.03	<b>Vorschweißflansche, PN 160</b>
DIN 2693	06.67	<b>Runddichtringe für Vorsprungflansche mit Eindrehung, Nenndrücke 10 bis 40</b>
DIN 2695	11.02	<b>Membran-Schweißdichtungen und Schweißringdichtungen für Flanschverbindungen</b>
DIN 2696	08.99	<b>Flanschverbindungen mit Dichtlinse</b>
DIN 2697	01.72	<b>Kammprofilierte Dichtringe und Dichtungen für Flanschverbindungen, Nenndruck 64 bis 400</b>
DIN 2999-1	07.83	<b>Whitworth-Rohrgewinde für Gewinderohre und Fittings; zylindrisches Innengewinde und kegeliges Außengewinde; Gewindemaße</b>
DIN 3202-4	04.82	<b>Baulängen von Armaturen; Armaturen mit Innengewinde-Anschluss</b>
DIN 3205-5	09.84	<b>Baulängen von Armaturen; Armaturen mit Rohrverschraubungs-Anschluss</b>
DIN 3320-1	09.84	<b>Sicherheitsventile; Sicherheitsabsperrentile; Begriffe, Größenabmessung, Kennzeichnung</b>
DIN 3352-1	05.79	<b>Schieber; allgemeine Angaben</b>
DIN 3357-1	10.89	<b>Kugelhähne; allgemeine Angaben für Kugelhähne aus metallischen Werkstoffen</b>
DIN 3357-2	12.81	<b>Kugelhähne aus Stahl mit Volldurchgang</b>
DIN 3357-3	12.81	<b>Kugelhähne aus Stahl mit reduziertem Durchgang</b>
DIN 3441-1	05.89	<b>Armaturen aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U); Anforderungen und Prüfung</b>
DIN 3441-3	08.84	<b>–; Membranarmaturen, Maße</b>
DIN 3441-4	06.78	<b>Armaturen aus PVC hart; Schrägsitzventile, Maße</b>
DIN 3442-1	05.87	<b>Armaturen aus Polypropylen (PP); Anforderungen und Prüfung</b>
DIN 3442-3	07.87	<b>–; Membranarmaturen, Maße</b>
DIN 3567	08.63	<b>Rohrschellen für DN 20 bis DN 500</b>
DIN 3570	10.68	<b>Rundstahlbügel für Rohre von DN 20 bis DN 500</b>
DIN 3840	09.82	<b>Armaturengehäuse; Festigkeitsberechnung gegen Innendruck</b>
DIN 3850	12.98	<b>Rohrverschraubungen; Übersicht</b>
DIN 3865	04.02	<b>Rohrverschraubungen; Dichtkegel 24° mit O-Ring, für Schneidringanschluss nach DIN EN ISO 8434-1</b>

Technische Regel		Titel
DIN 3900	06.01	Lötlose Rohrverschraubungen mit Schneidring; Einschraubstutzen der Reihe LL mit kegeligem Einschraubgewinde
DIN 3901	09.01	Lötlose Rohrverschraubungen mit Schneidring; Einschraubstutzen mit zylindrischem Einschraubgewinde für Einschraubzapfen Form A
DIN 4279-4	11.75	Innendruckprüfung von Druckrohrleitungen für Wasser; Stahlrohre mit und ohne Bitumenauskleidung
DIN 8061	08.94	Rohre aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid; allgemeine Qualitätsanforderungen, mit Beiblatt 1
DIN 8062	11.88	Rohre aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U, PVC-HI); Maße
DIN 8072	07.72	Rohre aus PE weich; Maße
DIN 8073	03.76	Rohre aus PE weich; allgemeine Güteanforderungen, Prüfung
DIN 8074	08.99	Rohre aus Polyethylen (PE); PE 63, PE 80, PE 100, PE-HD; Maße
DIN 8076-1	03.84	Druckrohrleitungen aus thermoplastischen Kunststoffen; Klemmverbinder aus Metall für Rohre aus Polyethylen (PE); allgemeine Güteanforderungen, Prüfung
DIN 8077	07.99	Rohre aus Polypropylen (PP); PP-H100, PP-B80, PP-R80; Maße
DIN 16962-1 bis DIN 16962-13		Rohrverbindungen und Rohrleitungsteile für Druckrohrleitungen aus Polypropylen (PP), Typ I und II; Maße, Rohrbogen, T-Stücke, Flansche, Winkel, Muffen usw.
DIN 16963-1 bis DIN 16963-15		Rohrverbindungen und Rohrleitungsteile für Druckrohrleitungen aus Polyethylen hoher Dichte (HDPE), Typ I und II; Rohrbogen, T-Stücke, Winkel, Muffen, Flansche, Rohrverschraubungen usw.
DIN 17455	02.99	Geschweißte kreisförmige Rohre aus nichtrostenden Stählen für allgemeine Anforderungen; technische Lieferbedingungen
DIN 17457	07.85	Geschweißte kreisförmige Rohre aus austenitischen nichtrostenden Stählen für besondere Anforderungen; technische Lieferbedingungen
DIN 20018-1,-2,-3	04.03	Schläuche mit Textileinlagen; maximaler Arbeitsdruck PN 10/16, PN 40 und PN 100
DIN 20066	10.02	Fluidtechnik; Schlauchleitungen; Maße; Anforderungen
DIN 24312	09.85	Fluidtechnik; Druck; Werte, Begriffe
DIN 28601	06.00	Rohre und Formstücke aus duktilem Gusseisen; Schraubmuffen-Verbindungen; Zusammenstellung, Muffen, Schraubringe, Dichtungen, Gleitringe

Technische Regel		Titel
DIN 28602	05.00	Rohre und Formstücke aus duktilem Gusseisen; Stopfbuchsenmuffen-Verbindungen; Zusammenstellung, Muffen, Stopfbuchsenring, Dichtung, Hammer-schrauben und Muttern
DIN 28603	05.02	Rohre und Formstücke aus duktilem Gusseisen; Steckmuffen-Verbindungen; Zusammenstellung, Muffen und Dichtungen
DIN EN 288-1 bis DIN EN 288-9		Anforderung und Anerkennung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe; allgemeine Regeln, Schweißanweisung, Schweißverfahrensprüfungen, Schweißzusätze usw.
DIN EN 545	09.02	Rohre, Formstücke, Zubehörteile aus duktilem Gusseisen und ihre Verbindungen für Wasserleitungen; Anforderungen und Prüfverfahren
DIN EN 764-1 bis DIN EN 764-7		Druckgeräte; Terminologie, Größen, Symbole; technische Lieferbedingungen, Betriebsanleitungen, Sicherheitseinrichtungen usw.
DIN EN 805	03.00	Wasserversorgung; Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden
DIN EN 969	11.95	Rohre, Formstücke, Zubehörteile aus duktilem Gusseisen und ihre Verbindungen für Gasleitungen; Anforderungen und Prüfverfahren
DIN EN 1057	05.96	Kupfer und Kupferlegierungen; nahtlose Rundrohre aus Kupfer für Wasser- und Gasleitungen für Sanitärinstallationen und Heizungsanlagen
DIN EN 1092-1	06.02	Flansche und ihre Verbindungen; runde Flansche für Rohre, Armaturen, Formstücke und Zubehör; Stahlflansche, nach PN bezeichnet
DIN EN 1092-2	06.97	–; –; Gusseisenflansche
DIN EN 1171	01.03	Industriearmaturen; Schieber aus Gusseisen
DINV ENV 1591-1	10.01	Flansche und ihre Verbindungen; Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtung; Berechnungsmethode, mit Beiblatt 1: Hintergrundinformationen
DINV ENV 1591-2	10.01	–; –; Dichtungskennwerte
DIN EN 10224	07.03	Rohre und Fittings aus unlegierten Stählen für den Transport wässriger Flüssigkeiten einschließlich Trinkwasser
DIN EN 10305-1	02.03	Präzisionsstahlrohre; technische Lieferbedingungen; nahtlose kaltgezogene Rohre
DIN EN 10305-2	02.03	–; –; geschweißte und kaltgezogene Rohre
DIN EN 10305-3	02.03	–; –; geschweißte und maßgewalzte Rohre

Technische Regel		Titel
DIN EN 10305-4	10.03	–; –; nahtlose kaltgezogene Rohre für Hydraulik- und Pneumatik-Druckleitungen
DIN EN 10305-5	08.03	–; –; geschweißte und maßumgeformte Rohre mit quadratischem oder rechteckigem Querschnitt
DIN EN 10305-6	03.00	–; –; geschweißte kaltgezogenen Rohre für Hydraulik- und Pneumatik-Druckleitungen
DIN EN 12449	10.99	Kupfer und Kupferlegierungen; nahtlose Rundrohre zur allgemeinen Verwendung
DIN EN 13709	01.03	Industriearmaturen; Absperrventile und absperzbare Rückschlagventile aus Stahl
DIN EN 13789	01.03	Industriearmaturen; Ventile aus Gusseisen
DIN EN 13480-1	08.02	Metallische industrielle Rohrleitungen; Allgemeines
DIN EN 13480-2	08.02	–; Werkstoffe
DIN EN 13480-3	08.02	–; Konstruktion und Berechnung
DIN EN ISO 1127	03.97	Nichtrostende Stahlrohre; Maße, Grenzabmaße und längenbezogene Masse
DIN EN ISO 6708	09.95	Rohrleitungsteile; Definition und Auswahl von DN (Nennweite)
DIN EN ISO 8434-1	11.97	Metallische Rohrverschraubungen für Fluidtechnik und allgemeine Anwendung; 24°-Schneidringverschraubung
DIN EN ISO 8434-4	09.00	–; Schweißnippel mit Dichtkegel und O-Ring für 24°-Konusanschluss
DIN ISO 10763	12.98	Fluidtechnik; nahtlose und geschweißte Präzisionsstahlrohre; Maße und Nenndrücke
EDIN ISO 12151-2	11.99	Leistungsanschlüsse für Fluidtechnik und allgemeine Anwendungen; Schlaucharmaturen; Schlaucharmaturen mit 24°-Dichtkegel mit O-Ring nach ISO 8434-1 und ISO 8434-4
EDIN ISO 12151-3	11.99	–; –; Schlaucharmaturen mit Flansch nach ISO 6162

## Pregled vrsta cijevi [Witel (2011), str. T-188÷T-189]

TB 18-1 Rohrarten – Übersicht

Rohrart Benennung	Technische Liefer- bedingungen	Maßnom	Werkstoffe Beispiele	Anwendung
nahtlose Stahlrohre für Druckbeanspruchung (für Gefahrenkategorie I bis III)	DIN EN 10216-1	DIN EN 10220	P195TR1 P265TR2	unlegierte Stähle bei Raumtemperatur $d_a = 10,2$ bis 711 mm
	DIN EN 10216-2	DIN EN 10220	16Mo3 X11CrMo9-1+NT	warmfeste Stähle für höhere Temperaturen, $d_a = 10,2$ bis 711 mm
	DIN EN 10216-3	DIN EN 10220	P275NL1 P690QH	legierte Feinkombustähle für höhere Beanspruchung, $d_a = 10,2$ bis 711 mm
	DIN EN 10216-4	DIN EN 10220	P265NL X10Ni9	kaltzähe Stähle für tiefe Temperaturen $d_a = 10,2$ bis 711 mm
	DIN EN 10216-5	DIN EN 10220	X2CrNi18-9	nichtrostende Stähle $d_a = 10,2$ bis 711 mm
geschweißte Rohre für Druckbeanspruchung (für Gefahrenkategorie I bis III)	DIN EN 10217-1	DIN EN 10220	P195TR1 P265TR2	unlegierte Stähle bei Raumtemperatur $d_a = 10,2$ bis 2 540 mm, Güte TR1 und TR2
	DIN EN 10217-2	DIN EN 10220	P195GH 16Mo3	warmfeste Stähle für höhere Temperaturen, $d_a = 10,2$ bis 508 mm
	DIN EN 10217-3	DIN EN 10220	P275NL1 P460NL2	legierte Feinkomstähle für höhere Beanspruchung, HWF: $d_a = 10,2$ bis 508 mm SAW: $d_a = 406,4$ bis 2 540 mm
	DIN EN 10217-4	DIN EN 10220	P215NL P265NL	kaltzähe Stähle für tiefe Temperaturen, $d_a = 10,2$ bis 508 mm
	DIN EN 10217-5	DIN EN 10220	P235GH P265GH 16Mo3	unterpulvergeschweißte Rohre für höhere Temperaturen (mit Längs- bzw. Spiralnaht) $d_a = 406,4$ bis 2 540 mm
	DIN EN 10217-6	DIN EN 10220	P215NL P265NL	unterpulvergeschweißte Rohre für tiefe Temperaturen (mit Längs- bzw. Spiralnaht) $d_a = 406,4$ bis 2 540 mm
geschweißte Rohre für den Maschinenbau und allgemeine technische Anwendungen	DIN EN 10296-1	DIN EN 10220	E235 E335K E420M	unlegierte und legierte Stähle bei Raumtemperatur $d_a = 10,2$ bis 2 540 mm
nahtlose Rohre für den Maschinenbau und allgemeine Anwendungen	DIN EN 10297-1	DIN EN 10220	E335K2 34CrMo4 16MnCr5	legierte und unlegierte Stähle bei Raumtemperatur, $d_a = 26,9$ bis 610 mm (teilweise zur Wärmebehandlung geeignet)
Rohre und Fittings für den Transport wässriger Flüssigkeiten und Trinkwasser, verfügbar mit Beschichtung und Auskleidung	DIN EN 10224	DIN EN 10224	L235 L275 L355	nahtlose und geschweißte Rohre aus unlegierten Stählen $d_a = 26,9$ bis 2 743 mm
Stahlrohre für Rohrleitungen für brennbare Medien	DIN EN 10208-1	DIN EN 10220	L235GA L360GA	unlegierte nahtlose und geschweißte Stahlrohre in der Anforderungsklasse A $d_a = 33,7$ bis 1 626 mm
	DIN EN 10208-2	DIN EN 10220	L245NB L360QB L555MB	unlegierte und legierte nahtlose und geschweißte Stahlrohre in der Anforderungsklasse B $d_a = 33,7$ bis 1 626 mm
nahtlose kaltgezogene Präzisionsstahlrohre	DIN EN 10305-1	DIN EN 10305-1	E235 E410 42CrMo4 15S10	Fahrzeugbau, Möbelindustrie, allgemeiner Maschinenbau glatte Oberfläche ( $Ra \leq 4 \mu\text{m}$ ), maßgenau. $d. = 4$ bis 260 mm

Rohrart Benennung	Technische Liefer- bedingungen	Maßnorm	Werkstoffe Beispiele	Anwendung
geschweißte maßgewalzte Präzisionsstahlrohre	DIN EN 10305-3	DIN EN 10305-3	E155 E355	wie DIN EN 10305-1 $d_a = 6$ bis 193,7 mm
Präzisionsstahlrohre für Hydraulik und Pneumatik	DIN EN 10305-4	DIN EN 10305-4	E215 E235 E355	nahtlose kaltgezogene Rohre $d_a = 4$ bis 80 mm
	DIN EN 10305-6	DIN EN 10305-6	E155 E195 E235	geschweißte kaltgezogene Rohre $d_a = 4$ bis 80 mm
geschweißte Rohre aus nicht- rostenden Stählen für allgemeine Anforderungen	DIN 17455	DIN EN ISO 1127	X6Cr17 X5CrNi18-10 X2CrNiMo17-12-2	Lebensmittel-, Pharma-, Automobilindustrie, Hausinstallation Berechnungsspannung 80 % ( $\nu = 0,8$ ) $d_a = 6$ bis 1016 mm
geschweißte Rohre aus nicht- rostendem Stahl	DIN EN 10312	DIN EN ISO 1127	X5CrNi18-10	Transport von Wasser und anderen wässrigen Flüssigkeiten
nahtlose Stahlrohre für schwellende Beanspruchung	DIN 2445-1 DIN EN 10216-1	DIN EN 10220	P195TR2 P235TR2	hydraulische Hochdruckanlagen bis 500 bar warmgefertigte Rohre $d_a = 21,3$ bis 355,6 mm
	DIN 2445-2 DIN EN 10305-4	DIN EN 10305-4	E235 E355	hydraulische Hochdruckanlagen bis 500 bar Präzisionsstahlrohre $d_a = 4$ bis 50 mm
Stahlrohre für Wasserleitungen	DIN EN 10216-1 DIN EN 10217-1	DIN 2460	P195TR1 P235TR1	Trinkwasserleitungen, meist mit Umhüllung und Auskleidung, bis 120 °C DN 80 bis DN 2000 (geschweißt) DN 80 bis DN 500 (nahtlos) PN 16 bis PN 125
Gasleitungen aus Stahlrohren	DIN EN 10216-1 DIN EN 10217-1	DIN 2470-1	P195TR1 P235TR1	Öffentliche Gasversorgung DN 25 bis > DN 600 $\leq 16$ bar, $\leq 120$ °C
Rohre aus unleg. Stahl mit Eignung zum Schweißen und Gewindeschneiden	DIN EN 10255	DIN EN 10255	S195T	Transport von flüssigen und gasförmigen Medien. Nicht für Trinkwasser. $d_a = 10,2$ bis 165,1 mm (R1/8 bis R6)
Gewinderohre mit Güte- vorschrift	DIN EN 10216-1 DIN EN 10217-1	DIN 2442	P195TR1 P235TR1	Flüssigkeiten, Luft und ungefährliche Gase Ausführung: nahtlos und geschweißt $d_a = 10,2$ bis 165,1 mm PN 1 bis PN 100
Rohre und Formstücke aus duktilen Gusseisen	DIN EN 545	DIN EN 545	$R_m \geq 420$ N/mm <sup>2</sup>	Wasserleitungen, oberirdisch oder erdverlegt, DN 40 bis DN 2000 Muffenrohre bis 64 bar Flanschrohre PN 10 bis PN 40
	DIN EN 969	DIN EN 969		Transport von Luft oder brennbaren Gasen bis zu einem Druck von 16 bar oberirdisch oder erdverlegt DN 40 bis DN 600
nahtlose Rohre aus Kupfer und Kupferlegierungen	DIN EN 12449	DIN EN 12449	Cu-DHP, CuFe2P, CuSn6, CuZn37, CuZn38Mn1Al	allgemeine Verwendung $d_a = 3$ bis 450 mm, $t = 0,3$ bis 20 mm
nahtlose Rohre aus Kupfer	DIN EN 1057	DIN EN 1057	CW024A (Cu-DHP)	Kalt- und Warmwasseranlagen, Heizungssysteme, gasförmige und flüssige Hausbrennstoffe, Abwasser $d_a = 6$ bis 267 mm
nahtlose Rohre aus Aluminium, gezogen	DIN EN 754-7	DIN EN 754-7		Rohrleitungen, auch bei tiefen Temperaturen $d_a = 3$ bis 350 mm
nahtlose Rohre aus Aluminium, stranggepresst	DIN EN 755-7	DIN EN 755-7	ENAW-1080A-H1 12	Rohrleitungen, auch bei tiefen Temperaturen $d_a = 8$ bis 450 mm $-270$ °C bis 100 °C
Rohre aus Polypropylen	DIN 8078	DIN 8077	PP-H100 PP-B80 PP-R80	Rohrleitungen für Säuren, Laugen, schwache Lösungsmittel, Gas, Wasser, Getränke $d_a = 100$ bis 1000 mm, PN 2,5 bis PN 20 $-10$ °C bis 80 °C

## **Pitanja i zadaci**

### **Zadaci iz proračuna statičkih brtvljenih spojeva**

## Literatura

1. Antaki G. A.: Piping and Pipeline Engineering – Design, Construction, Maintenance, Integrity, and Repair; Marcel Dekker, 2003.
2. Ashby M. F., Johnson K.: Materials and Design – The Art and Science of Material Selection in Product Design; Butterworth-Heinemann, 2002.
3. Avallone E. A., Baumeister T. Sadegh A.: Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers 11th Edition; McGraw-Hill Professional 2006.
4. Bickford J.: Gaskets and Gasketed Joints; CRC, 1997.
5. Böge A.: Handbuch Maschinenbau – Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbau-Technik, 20. Auflage; Vieweg+Teubner, 2011.
6. Brown T. H. Jr.: Mark's Calculations For Machine Design; McGraw-Hill, 2005.
7. Chandsekaran V. C.: Rubber Seals for Fluid and Hydraulic Systems; Elsevier , 2010.
8. Czichos H., Hennecke M.: Hütte - Das Ingenieurwissen 33. Auflage; Springer, 2008.
9. D'Amelio J.: Mechanical Estimating Manual - Sheet Metal, Piping and Plumbing; Fairmont - CRC, 2006.
10. Decker K.-H.: Elementi strojeva, 3. izdanje; Golden marketing - Tehnička knjiga, 2006.
11. Dickenson C. T.: Valves, Piping and Pipeline Handbook, 3<sup>rd</sup> Edition; Elsevier Science, 1999.
12. DIN – Deutsches Institut für Normung: Klein Einführung in die DIN-Normen, 14. Auflage; B.G.Teubner – Beuth, 2008.
13. Dorf C.: The Engineering Handbook, 2nd Edition; CRC, 2004.
14. Elčić Z., Grubješić N., Kostelić A., Mađarević B., Oberšmit E., Račić V., Sentič B., Skalicky B., Vojta D.: Praktičar 3 – Strojstvo 2; Školska knjiga, 1973.
15. Ellenberger J. P.: Piping Systems and Pipeline – ASME B31 Code Simplified; McGraw-Hill, 2005.
16. Fritz A. H., Schulze G.: Fertigungstechnik; 8. Auflage; Springer, 2008.
17. Grote K.-H., Feldhusen J.: Dubbel - Taschenbuch für den Maschinenbau, 22. Auflage; Springer, 2007.
18. Haberhauer - Maschinenelemente – Gestaltung Berechnung Anwendung, 16. Auflage; Springer, 2011.
19. Hering E., Schröder B.: Springer Ingenieurtabellen; Springer, 2004.
20. Hicks T. G.: Standard Handbook of Engineering Calculations, 4th Edition; McGraw-Hill, 2004.
21. Kolumbić Z., Kozak D.: Fizika – podloge za studij strojarstva; Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, 2010.  
<http://www.sfsb.hr/~zkolum/Fizika/>
22. Kolumbić Z., Tomac N.: Materijali – podloge za diskusiju; Odsjek za politehniku Filozofskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, 2005. <http://www.ffri.uniri.hr/~zvonomir/Materijali>
23. Kraut B.: Strojarski priručnik, 9. izdanje; Tehnička knjiga, 1988.

24. Kreith F., Goswami D. Y.: The CRC Handbook of Mechanical Engineering, 2<sup>nd</sup> Edition; CRC 2005.
25. Künne B.: Köhler Rognitz Maschinenteile Vol 1, 10. Auflage; Vieweg + Teubner, 2008.
26. Kutz M.: Mechanical Engineers' Handbook – Four Volume Set, 3rd Edition – Volume 4: Energy and Power; Wiley, 2005.
27. Kutz M.: Mechanical Engineers' Handbook, 2nd Edition; Wiley, 1998.
28. Lee R. R.: Pocket Guide to Flanges, Fittings, and Piping Data, 3rd Edition; Gulf Professional, 1999.
29. Lingaiah K.: Machine Design Databook, 2<sup>nd</sup> Edition; McGraw-Hill, 2002.
30. Muhs D., Wittel H., Jannasch D., Becker M., Voßiek J.: Roloff/Matek Maschinenelemente – Interaktive Formelsammlung auf CD-ROM, 8. Auflage; Vieweg, 2006.
31. Muhs D., Wittel H., Jannasch D., Voßiek J.: Roloff/Matek Maschinenelemente – Aufgabensammlung – Aufgaben, Lösungshinweise, Ergebnisse, 14. Auflage; Vieweg, 2007.
32. Muscroft S.: Plumbing – For Level 2 Technical Certificate and NVQ, 2<sup>nd</sup> Edition; Elsevier Newness, 2007.
33. Niemann G., Winter H., Höhn B.-R.: Maschinenelemente – Band 1 – Konstruktion und Berechnung von Verbindungen, Lagern, Wellen, 4. Auflage; Springer, 2005.
34. Pandžić J., Pasanović B.: Elementi strojeva – udžbenik s DVD-om za 2. razred tehničkih škola u području strojarstva i brodogradnje; Neodidacta, 2008.
35. Parisher R. A., Rhea R. A.: Pipe Drafting and Design, 2<sup>nd</sup> Edition; Gulf Professional Publishing – Butterworth-Heinemann, 2002.
36. Prestly D. R.: Do-It-Yourself – Plumbing for Dummies; Wiley 2007.
37. Smith E. H.: Mechanical Engineer's Reference Book 12th Edition; Butterworth-Heinemann, 2000.
38. Timings R.: Mechanical Engineer's Pocket Book, 3rd Edition; Newnes, 2005.
39. Vitas D. J., Trbojević M. D.: Masinski elementi I, 10. izdanje; Naucna knjiga, 1990.
40. Wittel H., Muhs D., Jannasch D., Voßiek J.: Roloff/Matek Maschinenelemente – Lehrbuch und Tabellenbuch – Normung, Berechnung, Gestaltung, 19. Auflage; Vieweg + Teubner, 2009.
41. Woodson D.R.: 2009 international plumbing codes handbook; McGraw-Hill Professional, 2009.