

Basisprincipes van de pomptechniek

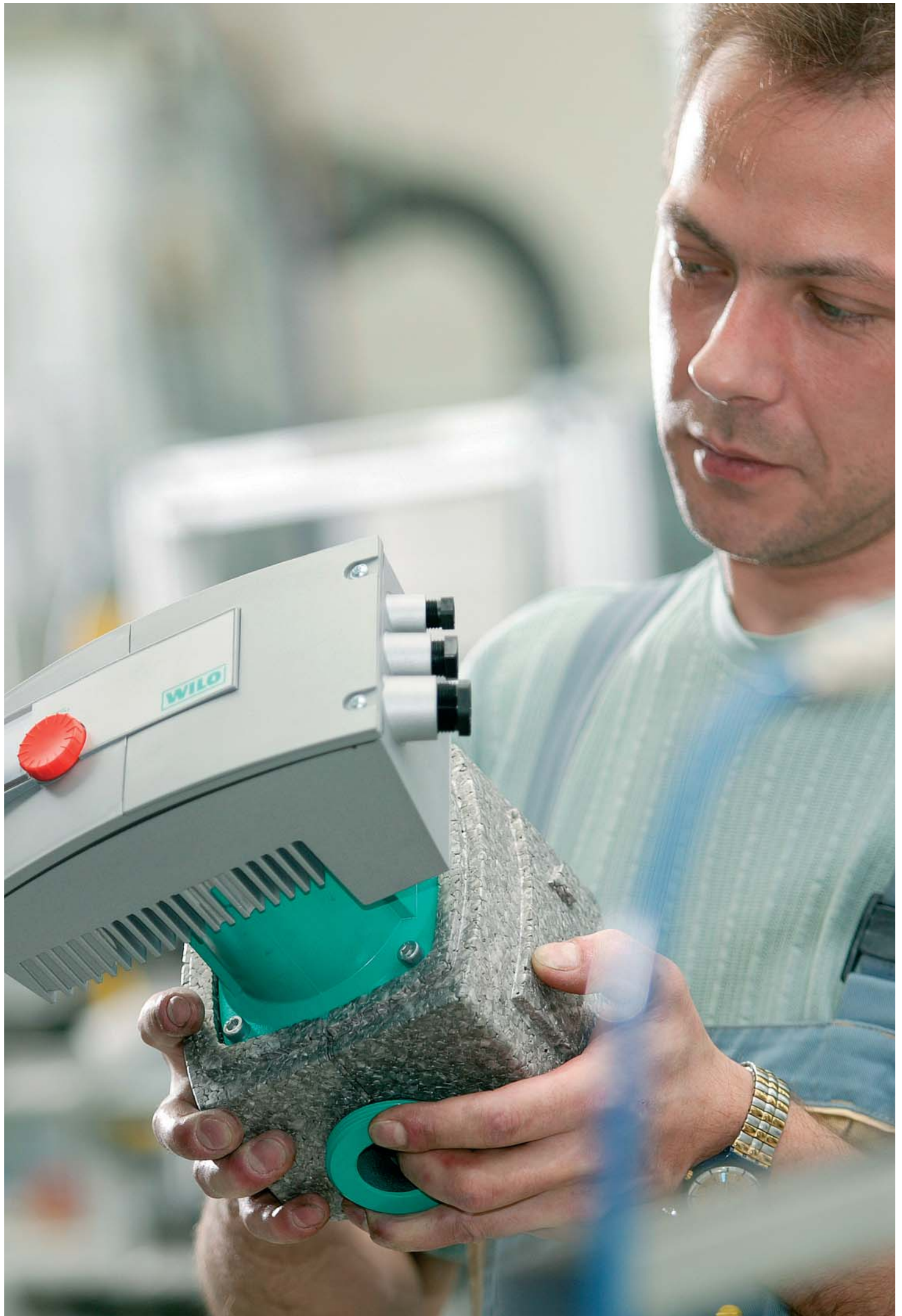
Elementair pompenhandboek



2006

Basisprincipes van de pomptechniek	5
Geschiedenis van de pomptechniek	7
Watervoorziening	7
Afvalwaterafvoer	8
Verwarmingstechniek	9
Pompsystemen	12
Open pompsysteem	12
Gesloten verwarmingssysteem	13
Water – ons transportmiddel	15
Soortelijke warmtecapaciteit	15
Volumetoename en -afname	16
Kookgedrag van water	17
Uitzetting van verwarmingswater en beveiliging tegen overdruk	18
Druk	19
Cavitatie	19
Ontwerp van centrifugaalpompen	21
Zelfaanzuigende en normaalzuigende pompen	21
Werking van centrifugaalpompen	22
Waaiers	22
Rendement	23
Opgenomen vermogen van centrifugaalpompen	24
Natloperpompen	25
Droogloperpompen	27
Hogedruk-centrifugaalpompen	29
Karakteristieken	31
Pompkarakteristiek	31
Installatiekarakteristiek	32
Werkingspunt	33
Pompselectie volgens warmtebehoefte	35
Weersschommelingen	35
Pomptoerentalschakeling	36
Traploze toerentalregeling	36
Regelingsmodi	37

Ruw pompontwerp voor standaard verwarmingsinstallaties	41
Pompdebiet	41
Pompopvoerhoogte	41
Toepassingsvoorbeeld	42
Effecten van het ruwe pompontwerp	43
Pomp-planningssoftware	43
Alles over hydraulica	45
Instelling van elektronisch geregelde circulatiepompen	45
Koppelen van meerdere pompen	46
Slotbeschouwingen	50
Wist U dat...?	51
Geschiedenis van de pomptechniek	51
Water – onze manier van transport	52
Ontwerpparameters	53
Karakteristieken	54
Pompcapaciteit volgens de warmtebehoefte	55
Ruw pompontwerp	56
Koppelen van meerdere pompen	57
Wettelijke eenheden, uittreksel voor centrifugaalpompen	58
Informatiemateriaal	59
Impressum	63



Principes van de pomptechniek

Alle mensen hebben pompen nodig om te leven en voor het comfort. Pompen verplaatsen het pompmedium: koud en warm, schoon en belast. Ze doen dit milieuvriendelijk en uiterst efficiënt.

Binnen de gebouwentechiek spelen pompen een belangrijke rol. Ze worden in verschillende toepassingen gebruikt. Het meest bekend en vertrouwd is de verwarmingscirculatiepomp. Deze pomp zal op de pagina's hierna een centrale plaats in de toelichtingen innemen.

Bovendien worden er pompen voor watervoorziening en afvalwater gebruikt:

- in drukverhogingsinstallaties die worden gebruikt als de waterdruk van het openbare distributienet niet voldoende is voor de watervoorziening van een gebouw;
- drinkwater-circulatiepompen die ervoor zorgen dat er op elk aftappunt altijd warm water beschikbaar is;
- vuilwateropvoerpompen die noodzakelijk zijn als er afvalwater onder het rioleringsniveau wordt verzameld;
- pompen in fonteinen of aquaria;
- pompen voor brandblusdoeleinden;
- pompen voor koudwater en koelwater;
- installaties voor regenwaterrecuperatie voor toiletspoeling, voor wasmachines, reinigingswerkzaamheden en irrigatie;
- en nog veel meer.

Hierbij dient in acht te worden genomen dat verschillende media ook verschillende viscositeiten hebben (b.v. fecaliën- of water-glycol-mengsels). Afhankelijk van het land moeten bepaalde normen en richtlijnen nageleefd en speciale pompen en technieken gekozen worden (b.v. explosiebeveiliging, drinkwaterverordening).



Deze brochure is bedoeld om iedereen die op dit moment met een opleiding, een cursus of omscholing bezig is, basiskennis op het gebied van pomptechniek te verschaffen. Met eenvoudige, verklarende zinnen, met tekeningen en met voorbeelden dient er een goede basis voor de praktijk te worden gegeven. Selectie en de doelmatige inzet van pompen moet hierdoor een dagelijks terugkerende vanzelfsprekendheid worden.

In het hoofdstuk Wist U dat...? kan door middel van het beantwoorden van vragen met vaste goede en foute antwoorden, zelf worden gecontroleerd in hoeverre de kennis is opgenomen.



Geschiedenis van de pomptechniek

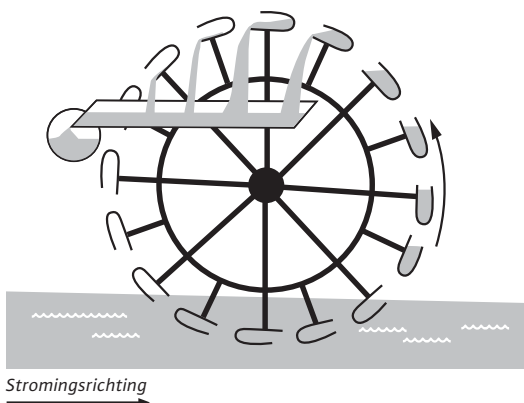
Watervoorziening

Als we aan een pomp en haar geschiedenis denken, dan is de eerste gedachte dat de mens al sinds onheuglijke tijden naar technische middelen heeft gezocht om vloeistoffen, in het bijzonder water, naar een hoger niveau te transporteren. Dat was bedoeld zowel voor het irrigeren van velden als voor het vullen van grachten om versterkte steden en burchten.

Het eenvoudigste schepgereedschap is de menselijke hand – en twee handen doen meer dan één!

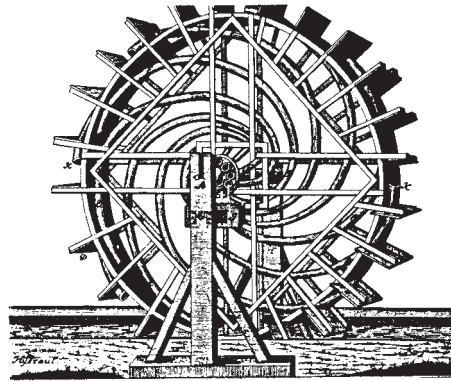
Zo kwamen onze prehistorische voorouders al vlug tot het inzicht om aarden potten tot troggen te vormen. De eerste stap voor de uitvinding van de kruik was gezet. Vervolgens werden er meerdere kruiken aan een ketting of aan een wiel gehangen. Mensen of dieren gebruikten hun kracht om deze schepinstallatie in beweging te zetten en om water op te voeren. Archeologische vondsten bewijzen dat dergelijke emmersystemen zowel in Egypte als in China rond 1000 v. Chr. hebben bestaan. De volgende tekening toont een reconstructie van een Chinees scheprad. Het gaat hierbij om een wiel met hierop geplaatste aarden potten die op het hoogste punt het water uitgoten.

Afbeelding van een Chinees scheprad.



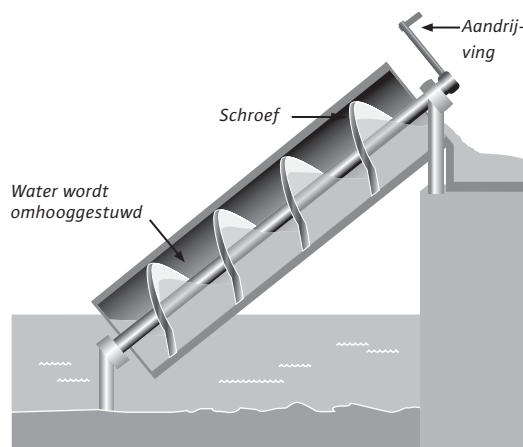
Een geniale verdere ontwikkeling vond plaats in het jaar 1724 van onze tijdrekening door Jacob Leupold (1674–1727), die gebogen buizen in een rad inbouwde. Door het draaien van het rad werd het water naar de middenas van het rad verplaatst. Het door een rivier stromende water vormt tegelijkertijd de aandrijving van deze opvoerinstallatie. Bijzonder opvallend aan deze constructie is de vormgeving van de gebogen buizen. Deze hebben een verbluffende gelijkenis met de vormgeving van de waaiers van onze huidige centrifugaalpomp.

Afbeelding buizenpompsysteem Jacob Leupold



Archimedes (287–212 v. Chr.), de wellicht grootste wiskundige en wetenschapper uit de oudheid, beschrijft rond 250 v. Chr. die naar hem genoemde Archimedische schroef. Door het draaien van een spiraal/wormschroef in een buis wordt water omhoog getransporteerd. Er stroomde echter altijd een bepaalde hoeveelheid water terug, omdat er nog geen goede afdichting bekend was. Zo ontstond een relatie tussen de hoek van de schroef en het debiet. Er kon worden gekozen tussen een grotere hoeveelheid of een grotere opvoerhoogte. Hoe steiler de schroef werd gezet, des te hoger verpompte deze bij afnemende hoeveelheid.

Afbeelding van de Archimedische schroef



Weer is er een verbluffende gelijkenis met de werking van onze huidige centrifugaalpomp. De later nog te beschrijven pompkarakteristiek vertoont dezelfde relatie tussen opvoerhoogte en debiet. In verschillende historische bronnen is ontdekt dat deze schroefpompen met een hoek tussen 37° en 45° werkten. Ze leverden hierbij opvoerhoogten tussen 2 m en 6 m en een maximale capaciteit van ongeveer 10 m³/h.

Zie ook hoofdstuk "Waaiers", pagina 22

Afvalwaterafvoer

Voor de mens was de watervoorziening altijd al een onderwerp dat van levensbelang was; over de afvalwaterafvoer werd pas later – bijna te laat – nagedacht.

Overall waar nederzettingen, dorpen en steden ontstonden, raakten weiden, straten en wegen vervuild door afval, uitwerpselen en afvalwater.

Stankoverlast, ziekten en epidemieën waren het gevolg. Rivieren en meren vervuilden, grondwater werd ondrinkbaar.

De eerste riolen werden in 3000–2000 v. Chr. gebouwd. Onder het paleis van Minos in Knossos (Kreta) zijn gemetselde riolen en buizen uit terracotta gevonden, waarin regenwater, bad- en afvalwater werd opgevangen en afgevoerd. De Romeinen bouwden in hun steden rioleringen op en onder de straten – de grootste en bekendste die deels nog goed bewaard is gebleven, is de Cloaca Maxima in Rome. Van hieruit werd het water de Tiber in geleid (ook in het Duitse Keulen zijn vandaag de dag nog begaanbare resten van onderaardse riolen uit de Romeinse tijd te vinden).

Aangezien er op het gebied van afvalwaterafvoer eeuwenlang geen verdere vooruitgang werd geboekt, kwam het afvalwater tot in de afgelopen eeuw ongezuiverd in beken, rivieren, meren, zeeën terecht. Met de industrialisering en de steeds sterker groeiende steden, werd een goed geregelde afvalwaterafvoer absoluut noodzakelijk.



Het eerste Duitse centrale riolerings- en zuiverings-systeem ontstond pas in 1856 in Hamburg. In Duitsland bestonden tot in de jaren 90 nog veel fecaliënsystemen bij het huis uit beer- en slibputten. Pas na wettelijke regelingen en regionale voorschriften moesten deze op het openbare rioolnet worden aangesloten.

Tegenwoordig is de afvoer van elk huis bijna altijd rechtstreeks op het openbare rioolnet aangesloten. Waar dit niet mogelijk is, worden opvoer- of drukafwateringssystemen gebruikt.

Het afvalwater uit industrie en huishoudens wordt door wijdvertakte rioleringen, detentiebekkens, zuiveringsinstallaties en filterbekkens geleid, waarbij dit biologisch of chemisch wordt gezuiverd. Vervolgens wordt het gezuiverde water weer in de natuurlijke waterkringloop gebracht.



Hierbij worden de meest verschillende pompen en pompsystemen gebruikt. Dit zijn bijvoorbeeld:

- opvoerinstallaties
- dompelpompen
- schachtpompen (met en zonder snijsysteem)
- ontwateringspompen
- roerderpompen enz.

Verwarmingstechniek

Hypocaust-verwarming

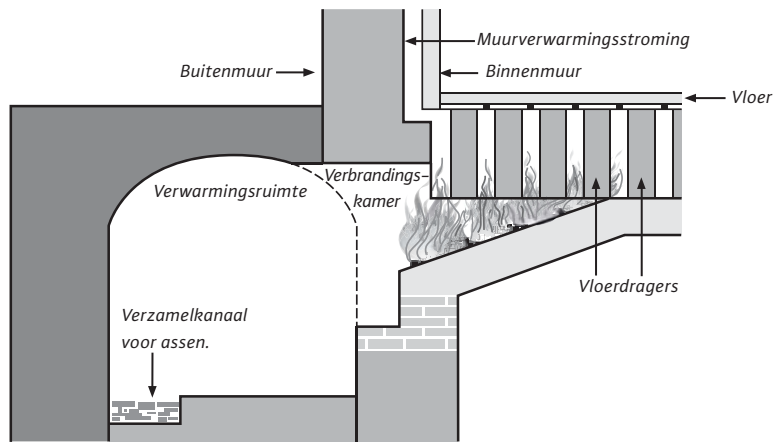
In Duitsland zijn de resten van zogenaamde hypocaust-verwarming uit de Romeinse tijd gevonden. Het gaat hierbij om een vroege vorm van vloerverwarming. De rookgassen van een open vuur werden door holle ruimten onder de vloeren geleid en verwarmden deze. De afvoer vond plaats via een muurverwarmingskanaal.

In latere eeuwen werden in het bijzonder in kastelen en burchten de schouwen van eveneens open haarden niet exact verticaal door het gebouw aangelegd. De warme afvoergassen werden in bochten langs de woonvertrekken geleid – dit was een eerste vorm van centrale verwarming. Ook werd er een systeemscheiding door gemetselde stenen ruimten in de kelders uitgevonden. Door het vuur werd de verse lucht verwarmd die vervolgens direct de verblijfsruimten kon worden binnengeleid.

Stoomverwarming

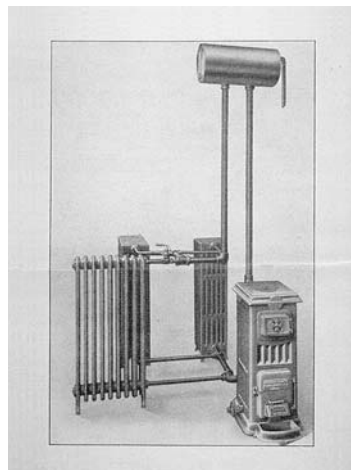
Met de verspreiding van de stoommachine in de tweede helft van de 18e eeuw werd de stoomverwarming ontwikkeld. Het in de stoommachine niet geheel gecondenseerde stroom werd door warmtewisselaars kantoren en woonvertrekken binnengeleid. Er ontstond o.a. het idee om met de restenergie van een stoomverwarming een turbine aan te drijven.

Afbeelding van een hypocaust-verwarming uit de Romeinse tijd



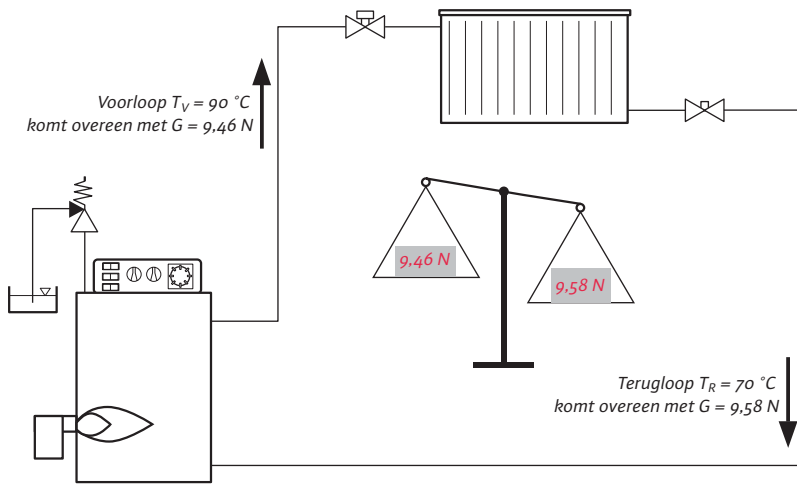
Thermosiphonverwarming

De volgende stap in de ontwikkeling was de zwaartekrachtverwarming. Uit ervaring bleek dat voor het bereiken van een kamertemperatuur van 20°C het water slechts tot ca. 90°C verwarmd hoefde te worden, dus tot net onder het kookpunt. In leidingen met een zeer grote diameter steeg het hete water. Als het een deel van zijn warmte had afgegeven (was afgekoeld), stroomde het door de zwaartekracht van de aarde weer terug de ketel in.



Thermosiphonverwarming met ketel, expansievat en radiator

Schema van een thermosiphonverwarming



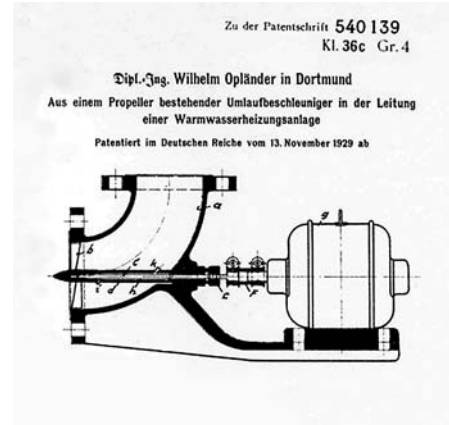
Het verschil in temperatuur en dus soortelijk gewicht zorgen voor de opgaande en neergaande beweging van het water.

Ook de trage aanloop van een dergelijke thermosiphoncirculatie leidde al aan het begin van de vorige eeuw tot overwegingen om zogenaamde circulatieversnellers in de leidingen van een verwarming in te bouwen.

Elektromotoren waren in die tijd als aandrijving niet geschikt, omdat deze met open sleepringankers werkten. In een verwarmingssysteem met water zou dit tot zeer ernstige ongevallen hebben kunnen leiden.

Eerste verwarmingscirculatiepomp

De uitvinding van de eerste ingekapselde elektromotor door de Zwabische ingenieur Gottlob Bauknecht, maakte het gebruik hiervan bij een circulatieversneller mogelijk. Een vriend van hem, de Westfaalse ingenieur Wilhelm Opländer, ontwikkelde een dergelijke constructie waarvoor hij in 1929 het patent kreeg.



In een leidingbocht werd een pomprad in de vorm van een propeller ingebouwd. De aandrijving vond plaats via een afdgedichte as die door de elektromotor werd aangedreven.

Er werd toen echter nog niet gesproken over een pomp voor deze circulatieversneller. Dit begrip vond pas later ingang. Want, zoals hierboven beschreven, denken we bij pompen aan water opvoeren.

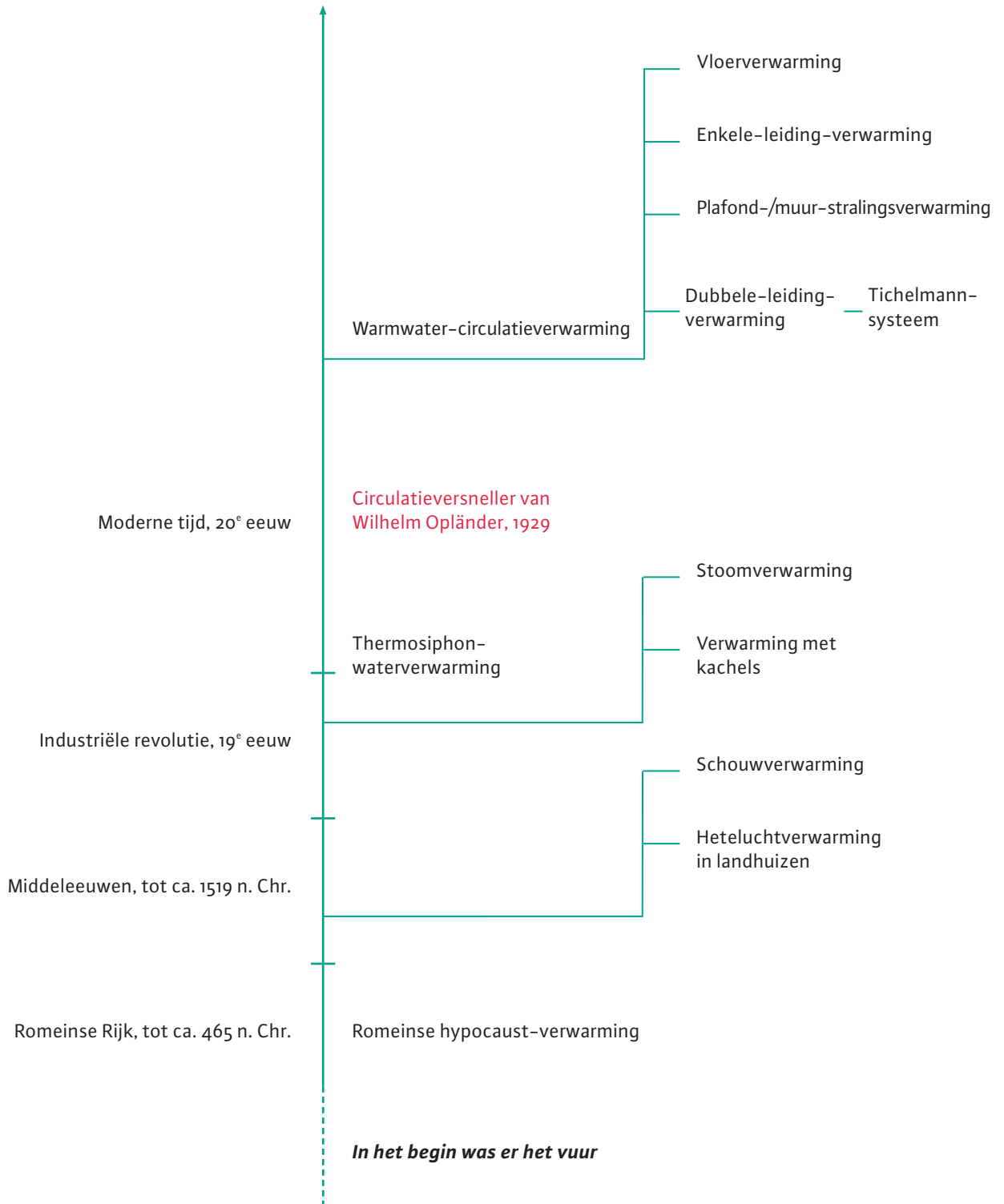
Deze circulatieversnellers werden tot ongeveer 1955 gebouwd en met behulp hiervan kon de verwarmingswatertemperatuur steeds lager worden ingesteld.

Vandaag de dag bestaan er een groot aantal verwarmingssystemen, waarvan de modernste met zeer lage watertemperaturen werken. Zonder het hart van een verwarmingsinstallatie, dus zonder de verwarmingscirculatiepomp, zou deze verwarmingstechniek niet mogelijk zijn.



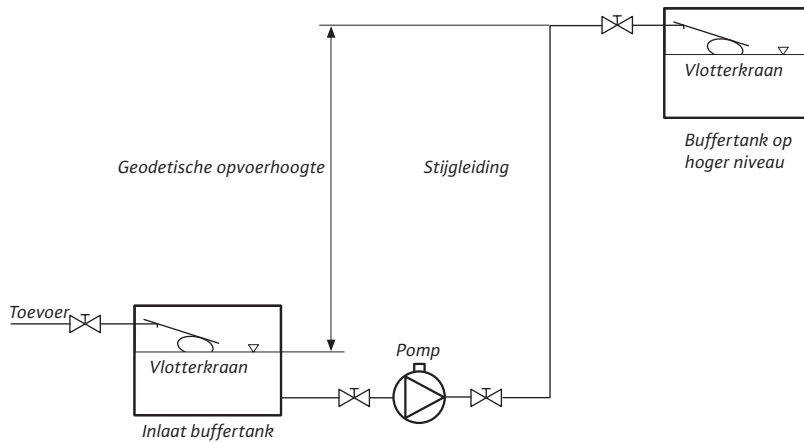
Eerste verwarmingscirculatiepomp
Krümmerpumpe, bouwjaar 1929,
HP type DN 67/0,25 kW

Ontwikkeling van het verwarmingssysteem



Pompsystemen

Open waterpompsysteem



Pompsysteem voor het transporteren van water naar een hoger niveau

Zie ook hoofdstuk "Pompselectie volgens warmtebehoefte", pagina 35

Open waterpompsysteem

De schematische weergave links laat zien welke constructie-elementen er bij een transportsysteem behoren, dat een vloeistof uit een laaggelegen toevoerreservoir naar een hogergelegen reservoir moet verpompen. De pomp transporteert het water uit het onderste reservoir naar de gewenste hoogte.

Hierbij is het niet voldoende om het debiet van de pomp aan de geodetische opvoerhoogte aan te passen. Want op het laatste aftappunt, b.v. een douche op de bovenste verdieping in een hotel, moet de druk nog sterk genoeg zijn. Ook met de wrijvingsverliezen die in de stijgleiding ontstaan, moet rekening worden gehouden.

$\text{Pompopvoerhoogte} = \text{geodetische opvoerhoogte} + \text{druk} + \text{leidingverliezen}$

Voor noodzakelijke onderhoudswerkzaamheden moeten de afzonderlijke leidingsegmenten door middel van kranen afgesloten kunnen worden. Dit geldt in het bijzonder voor pompen, omdat er anders voor een reparatie of een vervanging van de pomp grote hoeveelheden water uit de stijgleidingen moeten worden afgetapt.

Voorts moeten er in het lageregelegen toevoerreservoir en in het hogergelegen reservoir vlotterkleppen of andere regelementen worden voorzien, om een eventuele overloop te voorkomen.

Bovendien kan in de stijgleiding op een passende plaats een drukschakelaar worden ingebouwd, die de pomp uitschakelt als alle aftappunten zijn gesloten en er geen water meer wordt afgetapt.

Gesloten verwarmingssysteem

In de afbeelding rechts worden schematisch de functionele verschillen getoond tussen een verwarmingsinstallatie en een watertransportsysteem.

Terwijl het bij een waterpompsysteem om een open systeem met vrije uitloop (b.v. aftappunt in de vorm van een kraan) gaat, is een verwarmingsinstallatie een gesloten systeem.

Nog eenvoudiger is dit principe te begrijpen, als we ons voorstellen dat het verwarmingswater in de leidingen alleen gewoon in beweging wordt gehouden, ofwel circuleert.

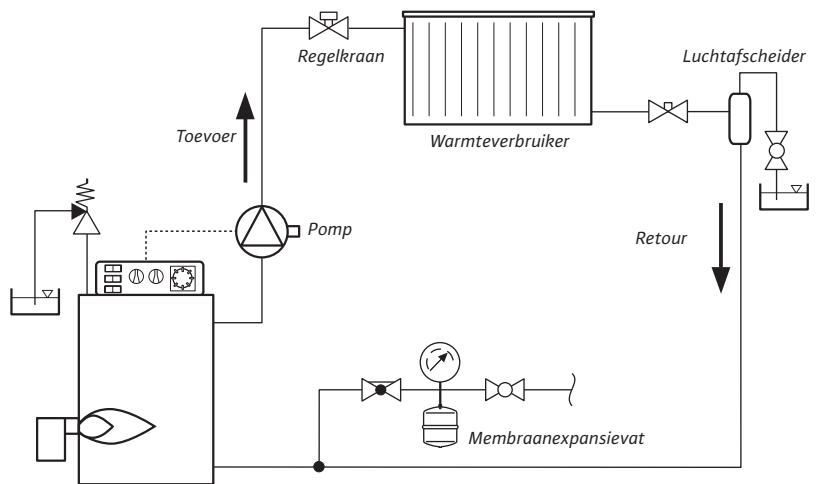
Het verwarmingssysteem kan in de volgende elementen worden onderverdeeld:

- warmtebron
- warmtetransport- en verdelingssysteem
- membraanexpansievat voor het vasthouden en regelen van de druk
- warmteverbruikers
- regelsysteem
- veiligheidsklep

Met **warmtebronnen** worden hier verwarmingsketels e.d. op gas, olie of vaste brandstof bedoeld. Hiertoe behoren ook elektrische nachtstroomkachels met centrale waterverwarming, wijkverwarmingsstations en warmtepompen.

Het **warmtetransport- en verdelingssysteem** omvat alle leidingen, verdeel- en verzamelstations en natuurlijk de circulatiepomp. De pompcapaciteit hoeft in een verwarmingsinstallatie slechts zodanig te worden ontworpen dat alle weerstanden van de installatie worden overwonnen. Met de hoogte van het gebouw wordt geen rekening genomen, want het water dat door de pomp de toevoerleiding in wordt geperst, duwt het water in de retourleiding terug naar de ketel.

Gesloten verwarmingssysteem



Het membraanexpansievat is verantwoordelijk voor het compenseren van het veranderende watervolume in de verwarmingsinstallatie, afhankelijk van de bedrijfstemperaturen, waarbij tegelijkertijd de druk stabiel moet worden gehouden.

Warmteverbruikers zijn de verwarmingsvlakken in de te verwarmen ruimten (radiatoren, convectoren, paneelverwarming enz.). Warmte-energie stroomt van punten met een hogere temperatuur naar punten met een lagere temperatuur en wel hoe groter het temperatuurverschil is, des te sneller. Deze overdracht vindt plaats door drie verschillende natuurkundige processen:

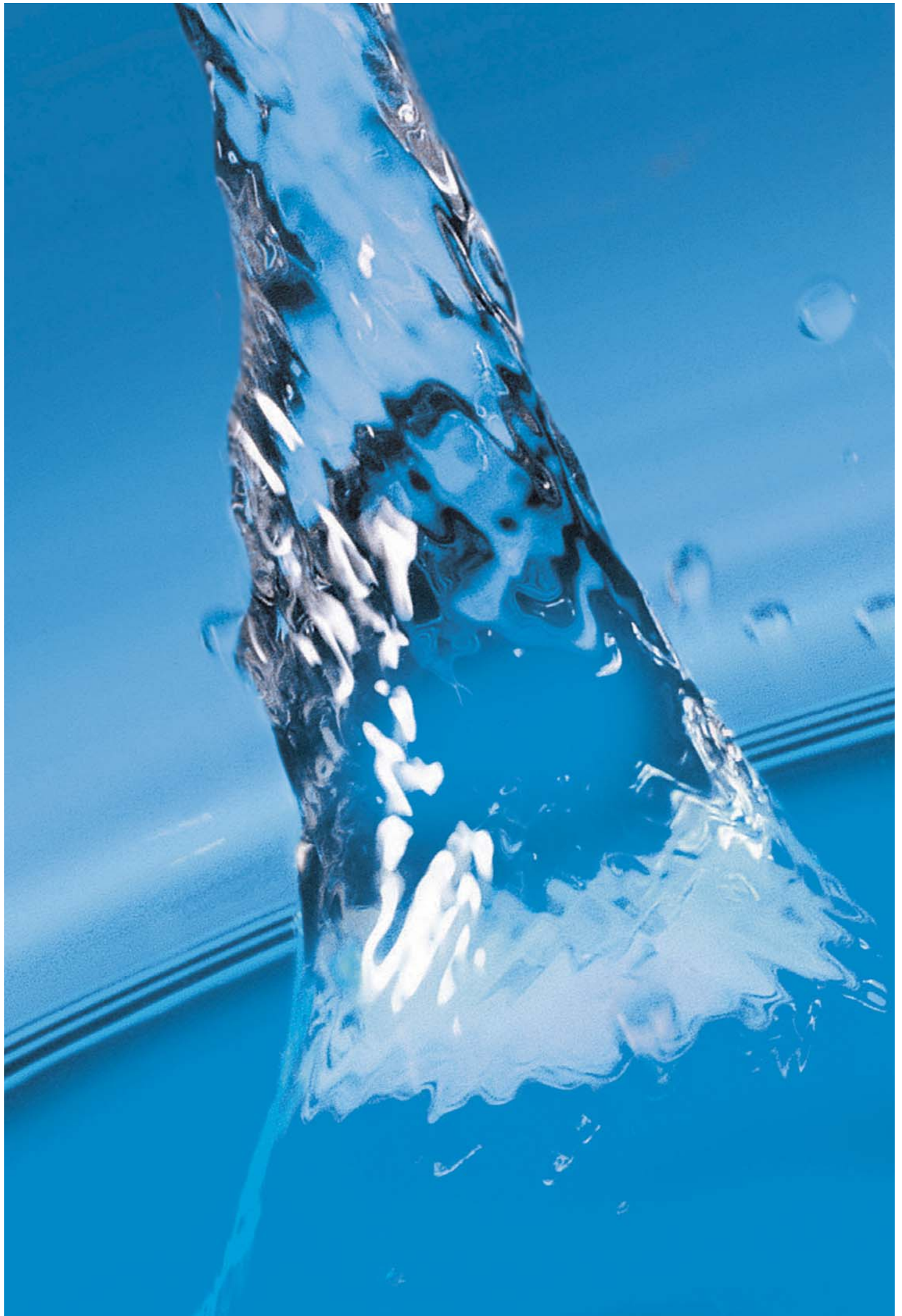
- warmtegeleiding
- convectie, d.w.z. opstijgende lucht
- warmtestraling.

Zonder een goede regeling wordt vandaag de dag geen enkel technisch probleem meer opgelost. Zo is het vanzelfsprekend dat er zich in elke verwarmingsinstallatie regelsystemen bevinden. Het eenvoudigst te begrijpen zijn wat dit betreft de thermostaatventielen om de kamertemperatuur constant te kunnen houden. Maar ook in de verwarmingsketels, in mengers en natuurlijk in pompen bevinden zich intussen hoogontwikkelde mechanische, elektrische en elektronische regelaars.

Circulatiesysteem aan de hand van een voorbeeld van een verwarmingsinstallatie

Om te onthouden:
Met de hoogte van het gebouw wordt geen rekening gehouden, want het water dat door de pomp de voorloopleiding in wordt geperst, duwt het water in de retourleiding terug naar de ketel.

Zie ook hoofdstuk "Ruw pompontwerp voor standaard verwarmingsinstallaties", pagina 41



Water – ons transportmiddel

In centrale verwarmingssystemen wordt water gebruikt om de warmte van de warmtebron naar de verbruiker te transporteren

De belangrijkste kenmerken van water zijn:

- warmtecapaciteit
- vergroting van volume zowel bij verwarming als bij afkoeling
- vermindering van dichtheid bij volumetoename en -afname
- kookgedrag onder uitwendige druk
- druk door zwaartekracht

Deze natuurkundige eigenschappen worden hieronder beschreven.



Soortelijke warmtecapaciteit

Een belangrijke eigenschap van elk warmtedragermedium is zijn vermogen om warmte vast te houden. Wordt dit gerelateerd aan de massa en het temperatuurverschil van de stof, dan spreekt men van de soortelijke warmtecapaciteit.

Het symbool hiervoor is c , de eenheid $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

De soortelijke warmtecapaciteit is de hoeveelheid warmte die nodig is om 1 kg van de stof (b.v. water) 1°C te verwarmen. Omgekeerd geeft de stof bij afkoeling dezelfde energie weer af.

Voor water geldt tussen 0°C en 100°C als gemiddelde soortelijke warmtecapaciteit:

$$c = 4.19 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \text{ of } c = 1.16 \text{ Wh}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

De toe- of afgevoerde hoeveelheid warmte Q , gemeten in J of kJ, is het product van de massa m , gemeten in kg, de soortelijke warmtecapaciteit c , en het temperatuurverschil $\Delta\vartheta$ gemeten in K.

Dit is het verschil tussen de toeloop- en retourtemperatuur in een verwarmingssysteem.

De formule luidt:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\vartheta$$
$$m = V \cdot \rho$$

V = watervolume in m^3

ρ = dichtheid kg/m^3

De massa m is het watervolume V , gemeten in m^3 , vermenigvuldigd met de dichtheid ρ van het water, gemeten in kg/m^3 . Zodoende kan de formule ook zo worden geschreven:

$$Q = V \cdot \rho \cdot c (\vartheta_v - \vartheta_R)$$

De dichtheid van het water verandert weliswaar met de watertemperatuur. Om de energie te kunnen bestuderen wordt echter vereenvoudigd **met $\rho = 1 \text{ kg}/\text{dm}^3$ tussen 4°C en 90°C gerekend.**

De natuurkundige begrippen energie, arbeid en hoeveelheid warmte zijn gelijk.

Voor het omrekenen van Joule in andere toegelaten eenheden geldt:

$$1\text{J} = 1\text{Nm} = 1\text{Ws} \text{ or } 1\text{MJ} = 0.278\text{kWh}$$

Om te onthouden:

De soortelijke warmtecapaciteit is de hoeveelheid warmte die nodig is om 1 kg van de stof (b.v. water) 1°C te verwarmen. Omgekeerd geeft de stof bij afkoeling dezelfde energie weer af.

ϑ = Theta
 ρ = Rho

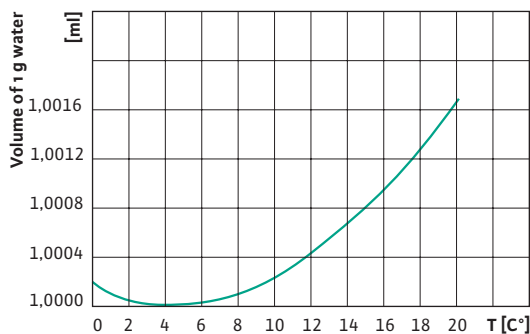
Volumetoename en -afname

Alle stoffen op aarde zetten bij verwarming uit en krimpen bij afkoeling. De enige stof die hierop een uitzondering is, is water. Deze bijzondere eigenschap heet anomalie van water.

Water heeft bij +4 °C de grootste dichtheid en wel: $1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ l} = 1 \text{ kg}$.

Ook als water beneden een temperatuur van +4 °C wordt afgekoeld, zet het uit. Aan deze anomalie van water hebben wij te danken dat rivieren en meren in de winter vanaf het oppervlak dichtvriezen. Ijsschotsen drijven daarom op het water en alleen zo kan de lentezon ervoor zorgen dat het ijs weer smelt. Dit zou niet kunnen, als het ijs – als het soortelijk gewicht zou toenemen – naar de bodem zou zinken.

Verandering in watervolume



Volumeverandering van water bij verwarmen/afkoelen
 Hoogste dichtheid bij 4 °C:
 $\rho_{\text{max}} = 1000 \text{ kg/m}^3$

Dit uitzettingsgedrag bevat echter ook gevaren. Zo springen automotoren en waterleidingen kapot als deze bevriezen. Om dit te voorkomen wordt er antivriesmiddel aan het water toegevoegd. In verwarmingssystemen is dit bijvoorbeeld glycol, waarvan de concentratie door de fabrikant wordt opgegeven.

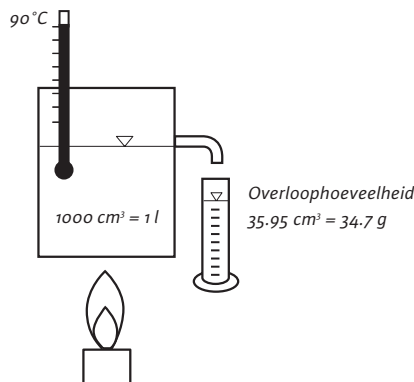
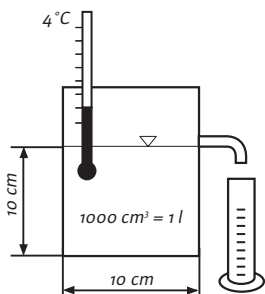
Wordt water van deze temperatuur ofwel afgekoeld ofwel verwarmd, dan neemt het volume toe, d.w.z. dat de dichtheid minder wordt en het soortelijk gewicht wordt minder.

Dit kan goed worden bestudeerd bij een reservoir met een gemeten overloop.

In het reservoir is exact 1.000 cm³ water bij een temperatuur van +4 °C. Wordt het water verwarmd, dan stroomt een gedeelte door de overloop het meetglas in. Als het water tot 90 °C wordt verwarmd, dan bevindt zich exact 35,95 cm³ in het meetglas, wat overeenkomt met 34,7 g.

Watervolume van 1000 cm³ bevat 1000 g bij 4 °C

1000 cm³ water bij 90 °C = 965,3 g



Bij verwarming of afkoeling van water, wordt de dichtheid lager, meer specifiek verhoogt het volume en vermindert de massa.

Kookgedrag van water

Wordt water boven 90 °C verwarmd, dan kookt dit in een open reservoir bij 100 °C. Wordt tijdens het koken de watertemperatuur gemeten, dan blijft deze constant 100 °C, totdat het laatste restje is verdampt. De voortdurende warmtetoevoer wordt dus volledig gebruikt voor de verdamping van het water, dus voor verandering van de aggregatietoestand. Deze energie wordt ook met latente (verborgen) warmte aangeduid. Wordt de verwarming voortgezet, dan stijgt de temperatuur weer.

Voorwaarde voor het beschreven proces is dat er een normale luchtdruk (NN) van 1,013 hPa heerst, die op de waterspiegel rust. Bij elke andere luchtdruk komt het kookpunt verder van 100 °C af te liggen.

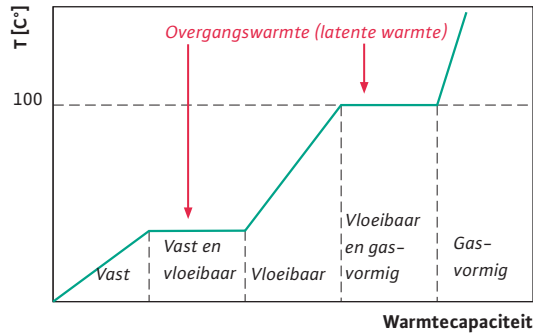
Een herhaling van de beschreven test op 3000 m hoogte toont aan dat water daar reeds bij 90 °C kookt. Oorzaak van dit gedrag is de met de toenemende hoogte dalende luchtdruk.

Hoe geringer de luchtdruk op het wateroppervlak is, des te lager ligt de kooktemperatuur. Omgekeerd wordt een stijging van de kooktemperatuur bereikt door een stijging van de druk die op de waterspiegel rust. Dit principe wordt bijvoorbeeld bij snelkookpannen toegepast.

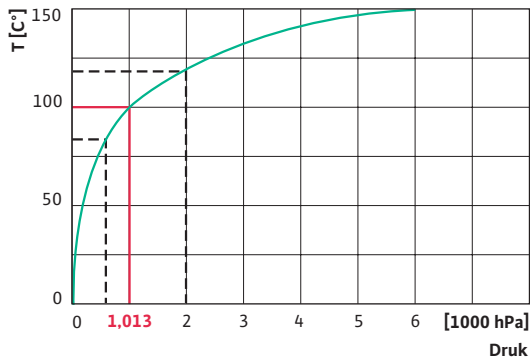
De grafiek hiernaast laat zien hoe de kooktemperatuur van water afhankelijk van de druk verandert.

Verwarmingssystemen werken bewust met overdruk. Zo worden er in kritieke toestanden geen dampbellen gevormd. Hierdoor wordt ook voorkomen dat van buitenaf lucht het watersysteem kan binnendringen.

Verandering van aggregatietoestand bij toenemende temperatuur



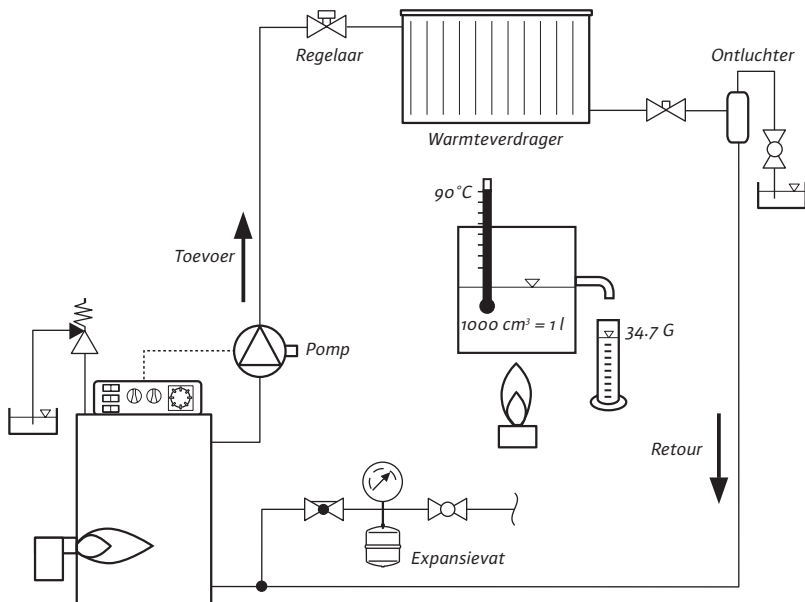
Kookpunt van water afhankelijk van de druk



Uitzetting van water en beveiliging tegen overdruk

Verwarmingssystemen werken met voorlooptemperaturen tot 90 °C. Het water wordt normaal gesproken bij een watertemperatuur van 15 °C bijgevuld en zet dan tijdens het verwarmen uit. Bij deze volumetoename mag er geen overdruk of wegstroming van het pompmedium ontstaan.

Afbeelding van een verwarmingsinstallatie met geïntegreerde veiligheidsklep



Als in de zomer de verwarming wordt uitgeschakeld, neemt het water weer zijn vroegere volume aan. Er moet dus een voldoende gedimensioneerd expansievat voor het uitzettende water beschikbaar zijn. Bij oudere verwarmingsinstallaties werden open expansievaten ingebouwd. Deze bevinden zich steeds op het hoogstgelegen punt van het verwarmingssysteem. Bij een stijgende verwarmingstemperatuur, dus bij uitzetting van het water, stijgt de waterspiegel in dit vat. Deze daalt weer zodra de verwarmingstemperatuur daalt.

Bij verwarmingsinstallaties van tegenwoordig worden membraanexpansievaten gebruikt.

Bij een verhoogde systeemdruk moet gegarandeerd zijn dat er geen ontoelaatbare drukbelasting van buisleidingen en andere installatieonderdelen kan ontstaan. Het is daarom voorschrift om een verwarmingsinstallatie met een veiligheidsklep uit te rusten.

Deze veiligheidsklep moet bij overdruk opengaan en het uitzettende water dat niet door het membraanexpansievat kan worden opgenomen aflaten. In een zorgvuldig geplande en onderhouden installatie zou deze bedrijfstoestand echter nooit mogen optreden.

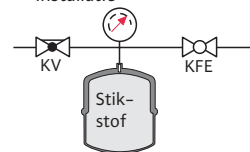
Wij hebben er tot nu toe bij onze overwegingen geen rekening mee gehouden dat de verwarmings-circulatiepomp de systeemdruk nog verder verhoogt.

Het samenspel van de maximale watertemperatuur, de pompkeuze, de grootte van het benodigde membraanexpansievat en het inschakelpunt van de veiligheidsklep moet zeer nauwkeurig worden bekeken. Een willekeurige keuze van de installatie-onderdelen – wellicht uitsluitend vanuit het oogpunt van de aanschafkosten – is onaanvaardbaar.

Bij aflevering is het vat met stikstof gevuld. De voordruk van het membraanexpansievat moet aan de verwarmingsinstallatie worden aangepast. Het uitzettende water uit het verwarmingssysteem komt in het vat terecht en drukt het gaskussen door een membraan samen. Gassen kunnen worden gecompriëerd, vloeistoffen daarentegen niet.

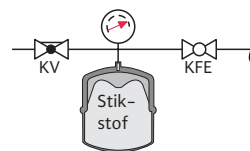
Compensatie van het zich wijzigende watervolume in de verwarmingsinstallatie:

(1) DET conditie bij installatie



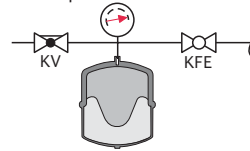
DET voordruk 1.0/1.5 bar

(2) Systeem gevuld / koud



Waterreserve DET inlaatdruk + 0.5 bar

(3) Systeem op maximale temperatuur



Watervolume = waterreserve + expansie

Om te onthouden:
De veiligheidsklep moet bij overdruk opengaan en het uitzettende water aflaten.

Druk

Definitie van druk

Druk is de gemeten statische druk van gasvormige en vloeibare stoffen in persreservoirs of buisleidingen ten opzichte van de atmosfeer (Pa, mbar, bar).

Rustdruk

Statische druk als er geen medium stroomt. Rustdruk = vulhoogte boven het desbetreffende meetpunt + voordruk in het membraanexpansievat.

Stromingsdruk

Dynamische druk als er een medium stroomt. Stromingsdruk = dynamische druk - drukverlies.

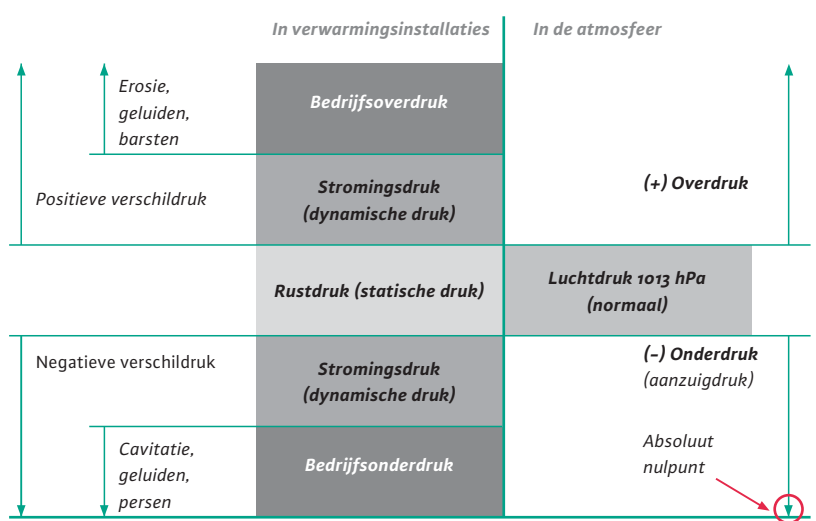
Pompdruk

Druk die aan de perszijde van de centrifugaalpompe bij bedrijf wordt opgewekt. Deze waarde kan afhankelijk van de installatie van de verschildruk afwijken.

Verschildruk

Opgewekte druk door de centrifugaalpompe voor het overwinnen van de som van alle weerstanden in een installatie. Gemeten tussen aanzuig- en perszijde van de centrifugaalpompe. Door de afname van de pompdruk op grond van de verliezen door de leidingen, de armaturen van de ketel en de verbruikers, heerst er op elk punt in de installatie een andere bedrijfsdruk.

Systeemdruk, drukopbouw



Bedrijfsdruk

Druk die bij bedrijf van een installatie of afzonderlijke deelsegmenten heerst of kan ontstaan.

Toelaatbare bedrijfsdruk

Uit veiligheidsoverwegingen vastgelegde maximale waarde van de bedrijfsdruk.

Cavities

Met cavities wordt de implosie van de gevormde dampbellen (holle ruimten) ten gevolge van plaatselijke onderdrukvorming onder de verdampingsdruk van de te transporteren vloeistof bij de waaierinlaat bedoeld. Dit leidt tot een verminderde capaciteit (opvoerhoogte), onrustige loopeigenschappen, een verminderd rendement, geluiden en materiaaldefecten (in de pompe).

Door de uitzetting en implosie van kleine lucht-bellen in gebieden met een hogere druk (b.v. nabij de waaieruitlaat), worden drukslagen veroorzaakt die het hydraulisch systeem kunnen beschadigen. De eerste tekenen hiervoor zijn geluiden of schade bij de waaierinlaat.

Een belangrijke waarde voor een centrifugaalpompe is de NPSH-waarde (Net Positive Suction Head). Deze geeft de minimale druk bij de pomptoeloop aan die deze pompeconstructie nodig heeft om cavitiesvrij te kunnen werken, d.w.z. de extra druk die nodig is om te voorkomen dat de vloeistof verdampt en om deze in vloeibare toestand te houden.

De NPSH-waarde wordt aan pompzijde door waaievorm, pomptoerental en aan omgevingszijde door mediumtemperatuur, waterafdekking en atmosferische druk beïnvloed.

Cavities voorkomen

Om cavities te voorkomen moet de pompevloeistof met een bepaalde toeloophoogte naar de centrifugaalpompe worden geleid. De grootte van deze minimale toeloophoogte is afhankelijk van temperatuur en druk van de pompevloeistof.

Andere mogelijkheden om cavities te voorkomen:

- statische druk verhogen
- mediumtemperatuur verlagen (dampdruk PD verlagen)
- pompe met een geringe NPSH-waarde (minimale toeloophoogte)



Ontwerp van centrifugaalpomp

In de branche van sanitair, verwarming en airconditioning worden op de meest uiteenlopende gebieden centrifugaalpomp gebruikt. Deze verschillen van elkaar in de wijze van constructie en in de wijze van energieomzetting.

Zelfaanzuigende en normaalzuigende pompen

Een zelfaanzuigende pomp is tot op zekere hoogte in staat om de zuigleiding te ontlichten, d.w.z. lucht te evacueren. Bij inbedrijfstelling moet de pomp eventueel meerdere malen worden gevuld. De max. zuighoogte bedraagt theoretisch 10,33 m en is afhankelijk van de luchtdruk (101 hPa = normaal).

Technisch gezien is echter slechts max. 7-8 m zuighoogte H_s bereikbaar. Deze waarde omvat niet alleen het hoogteverschil van het diepst mogelijke wateroppervlak tot aan de aanzuigopening van de pomp, maar ook de weerstandsverliezen in aansluitleidingen, pomp en armaturen.

Bij het selecteren van de pomp moet erop gelet worden dat de aanzuighoogte H_s in de berekening van de opvoerhoogte negatief moet worden ingerekend.

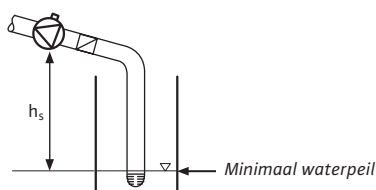
De zuigleiding dient minimaal met de nominale doorlaat van de pompaansluiting, indien mogelijk een waarde groter, te worden aangelegd en deze dient zo kort mogelijk gehouden te worden.

Bij een lange zuigleiding ontstaan er verhoogde wrijvingsweerstand door de zuighoogte H_s zeer nadelig wordt beïnvloed.

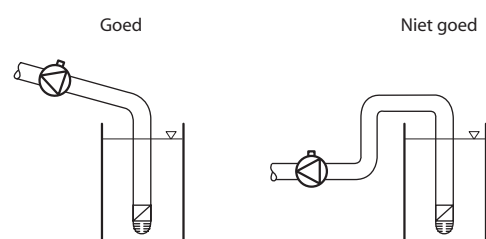
De zuigleiding moet constant stijgend naar de pomp toe worden aangelegd en bij gebruik van slangmateriaal als zuigleiding moet de voorkeur worden gegeven aan spiraalzuigslangen (dichtheid, sterkte). Lekkages moeten absoluut worden vermeden, omdat de pomp anders beschadigd kan raken en er bedrijfsstoringen kunnen optreden.

Bij zuigbedrijf is een voetventiel ter voorkoming van leegloop van de pomp en de zuigleiding aan te bevelen. Een voetventiel met zuigkorf beschermt bovendien de pomp en de hierachter gekoppelde systemen tegen grove verontreinigingen (bladeren, hout, stenen, ongedierte enz.). Kan er geen voetventiel worden gebruikt, dan moet bij zuigbedrijf een terugslagklep/-ventiel voor de pomp (pompaanzuigopening) worden geïnstalleerd.

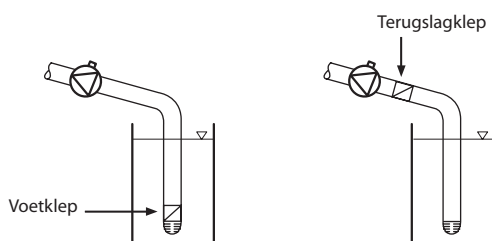
Zuighoogte van de pomp h_s



Plaatsing van de zuigleiding



Zuigbedrijf



Installatie met voetventiel of terugslagklep

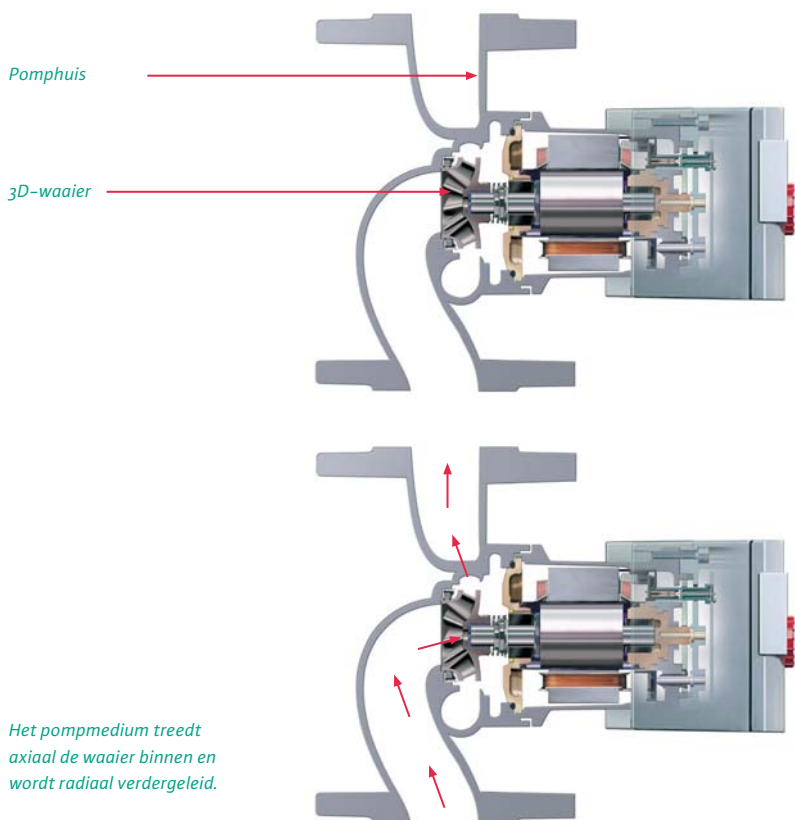
Een normaal aanzuigende pomp is niet in staat om lucht uit de zuigleiding te evacueren.

Bij normaal aanzuigende pompen moeten de pomp en de zuigleiding altijd compleet gevuld zijn.

Als er lucht door lekken, b.v. bij de stopbus van een afsluiter of door een niet-sluitend voetventiel in de zuigleiding, in de pomp terechtkomt, moeten de pomp en de zuigleiding weer opnieuw worden gevuld.

Werking van centrifugaalpomp

Doorsnede van een natloperpomp



Pompen zijn noodzakelijk om vloeistoffen te transporteren en de hierbij ontstane stromingsweerstand in het buizensysteem te overwinnen. Bij pompinstallaties met verschillende vloeistofniveaus komt hier nog het overwinnen van de geodetische hoogteverschillen bij.

Centrifugaalpomp zijn afgaande op de wijze van constructie en de wijze van energieomzetting, hydraulische stromingsmachines. Hoewel er een groot aantal constructiewijzen zijn, hebben alle centrifugaalpomp gemeen dat de vloeistof axiaal bij een waaier binnentreedt.

Een elektromotor drijft de pomp aan, waarop de waaier zit. Het door de aanzuigopening en de zuighals axiaal in de waaier binnentredende water wordt door de waaierschoepen in een radiale beweging omgeleid. De centrifugaalkrachten op de vloeistofdeeltjes zorgen bij de doorstroming van de schoepen zowel voor een verhoging van de druk alsook van de snelheid.

Na het uittreden uit de waaier wordt de vloeistof in het slakkenhuis verzameld. Hierbij wordt door de constructie van het huis de stromingssnelheid weer iets verminderd. Door de energieomzetting wordt de druk verder verhoogd.

Een pomp bestaat uit de volgende hoofdonderdelen:

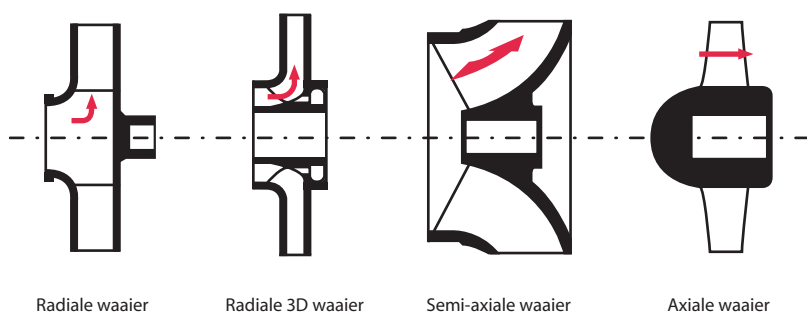
- pomphuis
- motor
- waaier

Waaiers

Er wordt een verschil gemaakt tussen open en gesloten waaiers en tussen de waaievormen.

De waaier van tegenwoordig is bij de meeste pompen een 3D-constructie die de voordelen van een axiaal rad en een radiaal rad met elkaar combineert.

Waaievormen



Pomprennement

Het rendement van elke machine is de verhouding van het afgegeven vermogen ten opzichte van het opgenomen vermogen. Deze verhouding wordt met de Griekse letter η (eta) aangeduid.

Omdat er geen aandrijving zonder verlies bestaat, is η daarom altijd kleiner dan 1 (100%). Bij een verwarmingscirculatiepomp bestaat het totale rendement uit het motorrendement η_M (elektrisch en mechanisch) en het hydraulische rendement η_P . De vermenigvuldiging van deze beide waarden resulteert in het totale rendement η_{tot} .

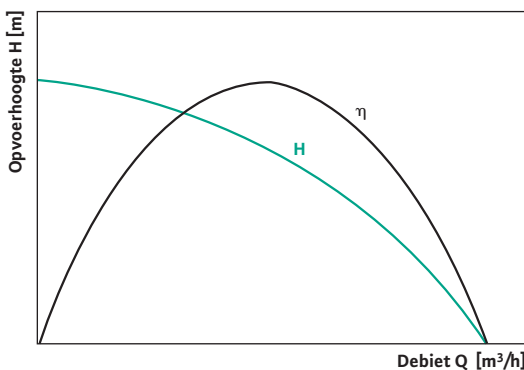
$$\eta_{tot} = \eta_M \cdot \eta_P$$

Deze rendementen kunnen bij de verschillende pomptypen en pompgrootten ver uiteen liggen. Voor natloperpompen liggen de rendementen η_{tot} tussen 5% en 54% (hoogrendement-pomp), voor droogloperpompen ligt de η_{tot} tussen 30% en 80%.

Ook binnen de karakteristiek van de pomp verandert rendement op elk punt van haar curve tussen nul en een maximale waarde.

Als de pomp tegen een gesloten ventiel werkt, wordt er weliswaar een hoge pompdruk bereikt, maar omdat er geen water stroomt, is het effect van de pomp nul. Hetzelfde geldt bij een open buis. Ondanks een grote hoeveelheid water wordt er geen druk opgebouwd en wordt er dus geen rendement bereikt.

Pompkarakteristiek en rendement



Het beste totale rendement van de verwarmingscirculatiepomp ligt in de middelste karakteristiekenschaar. In de catalogi van de fabrikanten zijn deze optimale werkpunten bij elke pomp speciaal gemarkeerd.

Een pomp werkt nooit op een enkel gedefinieerd punt. Daarom moet er bij het ontwerp op worden gelet dat het bedrijfspunt van de verwarmingspomp zich voor het grootste gedeelte van de verwarmingsperiode in het middelste derde deel van de pompkarakteristiek bevindt. Dan werkt de pomp in het gebied met het beste rendement.

Het pomprennement wordt met behulp van de volgende formule bepaald:

$$\eta_P = \frac{Q \cdot H \cdot \rho}{367 \cdot P_2}$$

- η_P = pomprennement
- Q [m³/h] = debiet
- H [m] = opvoerhoogte
- P_2 [kW] = vermogen bij de pompas
- 367 = omrekeningsconstante
- ρ [kg/m³] = dichtheid van het pompmedium

Het rendement (of het vermogen) van een pomp is afhankelijk van de constructie hiervan.

De volgende tabellen geven een overzicht van de rendementen afhankelijk van het gekozen motorvermogen en de pompconstructie (nat-/droogloper).

Rendementen bij standaard-natloperpompen (richtwaarden)

Pompen met motorvermogen P_2	η_{tot}
tot 100 W	ca. 5 % – ca. 25 %
100 tot 500 W	ca. 20 % – ca. 40 %
500 tot 2500 W	ca. 30 % – ca. 50 %

Rendementen bij droogloperpompen (richtwaarden)

Pompen met motorvermogen P_2	η_{tot}
tot 1.5 kW	ca. 30 % – ca. 65 %
1.5 tot 7.5 kW	ca. 35 % – ca. 75 %
7.5 tot 45.0 kW	ca. 40 % – ca. 80 %

Opgenomen vermogen van centrifugaalpompen

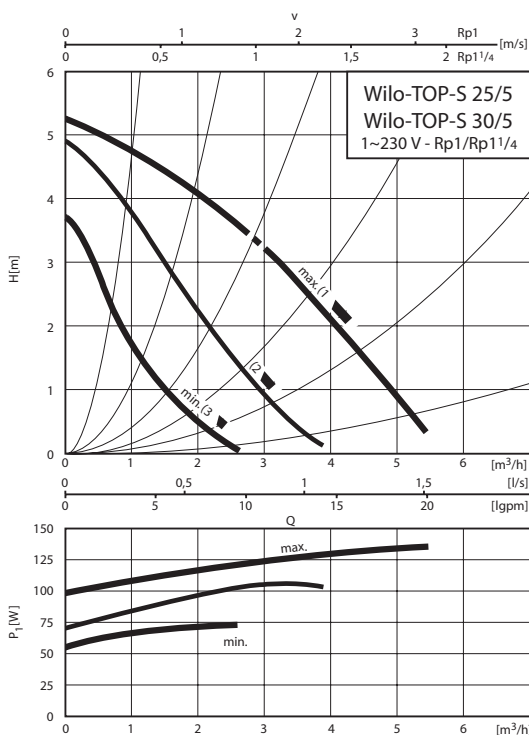
Een elektromotor drijft, zoals beschreven, de pomp aan, waarop de waaier zit. De in de pomp opgewekte drukverhoging en het door de pomp verpompte debiet zijn het hydraulische resultaat van de elektrische aandrijfenergie. De door de motor benodigde energie wordt met opgenomen vermogen P_1 van de pomp aangeduid.

Zie ook hoofdstuk "Karakteristieken", pagina 31

Vermogenskarakteristieken van de pompen

De vermogenskarakteristieken van centrifugaalpompen worden in een grafiek weergegeven: op de verticale as, de ordinaat, wordt het opgenomen vermogen P_1 van de pomp in watt [W] genoteerd. Op de horizontale as, de abscis, wordt – net als bij de nog te behandelen pompkarakteristiek – het debiet van de pomp in kubieke meter per uur [m³/h] genoteerd. De schaalindeling wordt hierbij in dezelfde schaal gekozen. Deze beide karakteristieken worden in catalogi vaak onder elkaar weergegeven zodat het verband goed zichtbaar is.

Karakteristiek Wilo-TOP-S



Versand tussen pompkarakteristiek en vermogenskarakteristiek

Zie ook hoofdstuk "Traploze toerentalregeling", pagina 36

Het verloop van de vermogenskarakteristiek toont de volgende verbanden: bij een gering debiet heeft de motor het geringste opgenomen vermogen. Dit neemt toe met toenemende debiet. Hierbij verandert het benodigde vermogen in een duidelijker sterkere verhouding dan het debiet.

De invloed van het motortoerental

Wordt bij voor het overige gelijkblijvende installatievoorwaarden het toerental van de pomp veranderd, dan verandert het opgenomen vermogen P praktisch proportioneel met de derde macht van het toerental n .

$$\frac{P_1}{P_2} \approx \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

Met deze kennis kan de pomp zinvol worden geregeld en kan de verwarmingsenergiebehoefte worden aangepast. Wordt het toerental verdubbeld, dan neemt het debiet in dezelfde verhouding toe. De opvoerhoogte neemt toe tot het viervoudige. De noodzakelijke aandrijfenergie bedraagt dan ongeveer het achtvoudige. Wordt het toerental verminderd, dan worden het debiet, de opvoerhoogte in het buizenstelsel en het benodigde vermogen in dezelfde, zoals hierboven beschreven, verhoudingen gereduceerd.

Van de constructie afhankelijke vaste toerentalen

Een kenmerkend verschil tussen centrifugaalpompen is de opvoerhoogte, afhankelijk van de gebruikte motor en het vooraf vastgelegde vaste toerental. Hierbij wordt bij een snel lopende pomp met een toerental van $n > 1500 \text{ min}^{-1}$ van een snelloper en bij een langzaam lopende pomp met een toerental van $n < 1500 \text{ min}^{-1}$ van een traagloper gesproken.

De motorconstructie van de traagloper is iets geavanceerder en daarom kan de prijs van deze pompen iets hoger uitvallen. Maar daar waar de verwarmingscirculatieomstandigheden het gebruik van een langzaam lopende pomp mogelijk of zelfs noodzakelijk maken, leidt de snellere pomp tot een onnodig hoog stroomverbruik. De voor een toerentalreducering noodzakelijke hogere aanschafkosten leiden tot aanzienlijke besparingen bij de aandrijfenergie. De meerkosten zijn dus snel terugverdiend.

Bij een geregelde toerentalreducering conform de afname van de verwarmingsbehoefte levert de traploze regeling van de pompelektronica een duidelijke besparing op.

Natloperpompen

Door het inbouwen van een natloperpomp, naar keuze in de voorloop of terugloop, wordt het water snel en intensief verplaatst. Hierbij kunnen buisleidingen met kleine buisdiameters worden gebruikt. De kosten voor de verwarmingsinstallatie worden hierdoor minder. In de leidingen van het verwarmingssysteem bevindt zich zodoende aanzienlijk minder water. De verwarming kan sneller op temperatuurschommelingen reageren en kan beter worden geregeld.

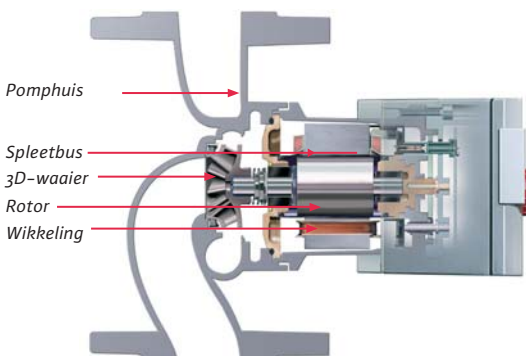
Kenmerken

De waaier van een centrifugaalpomp wordt gekenmerkt door een radiale versnelling van het water. De as die de waaier aandrijft, is gemaakt van roestvrij staal; de lagers van deze as zijn gemaakt van gesinterde kool of van keramisch materiaal. De rotor van de motor die op de as zit, loopt in het pompmedium. Het water smeert de lagers en koelt de motor.

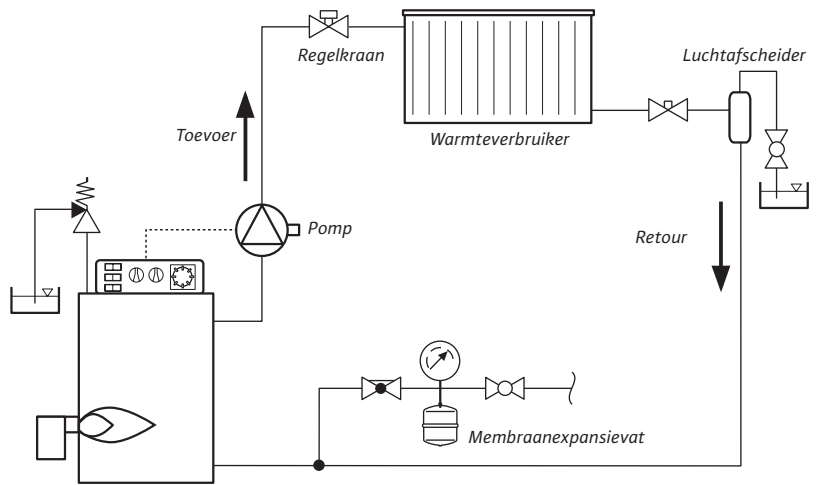
Voor de afscherming naar de stroomgeleidende stator van de motor zorgt een gespleten bus. Deze is van niet-magnetiseerbaar roestvrij staal of koolstofvezel vervaardigd en heeft een wanddikte van 0,1 tot 0,3 mm.

Voor bijzondere doeleinden (b.v. watertransport-systemen) worden pompmotoren met een vast toerental gebruikt.

Als de natloperpomp bijvoorbeeld in een verwarmingskringloop wordt ingezet, dus om de radiatoren met warmte-energie te voorzien, moet deze zich aanpassen aan de veranderlijke warmtebehoefte van het huis. Afhankelijk van de buitentemperatuur en de externe warmte is een verschillende hoeveelheid toegevoegde warmte nodig. De vóór de radiatoren ingebouwde thermostaatventielen bepalen de te verpompen hoeveelheid.



Pompverwarmingssysteem



Motoren van natloperpompen worden daarom in meerdere toerentaltrappen geschakeld. Deze toerentalomschakeling kan met schakelaars of stekkers handmatig worden uitgevoerd. Automatisering is door aanvullende externe schakel- en regelsystemen mogelijk, die afhankelijk van tijd, drukverschil of temperatuur werken.

Sinds 1988 bestaan er constructies met geïntegreerde elektronica die het toerental traploos regelen.

De elektrische aansluiting van natloperpompen wordt afhankelijk van de grootte en de benodigde pompcapaciteit uitgevoerd met wisselstroom 1~230 V of met draaistroom 3~400 V.

Kenmerkend voor natloperpompen zijn een stille werking en bovendien het ontbreken van een asafdichting.

De huidige generatie van natloperpompen is volgens het modulaire principe opgebouwd. Alle modules worden afhankelijk van de pomp-grootte en de noodzakelijke pompcapaciteit variabel samengesteld. Hierdoor kan de pomp door bepaalde onderdelen te vervangen indien nodig eenvoudiger worden hersteld.

Een belangrijk kenmerk van deze constructie is de eigenschap om automatisch te ontluichten bij de inbedrijfstelling.

Voordelen: kleinere buisleiding-diameters, minder waterinhoud, snel reactievermogen op temperatuurschommelingen, geringe installatiekosten.



Eerste volledig elektronische natloperpomp met geïntegreerde, traploze toerentalregeling.

Inbouwstanden

Natloperpompen worden tot een nominale aansluitdoorlaat van R 1 1/4 als pompen met schroefdraadverbinding geleverd. Grotere pompen worden met flensaansluitingen gemaakt. Deze pompen kunnen zonder montagesteun horizontaal of verticaal in de leiding worden ingebouwd.

Zoals reeds gezegd, worden de lagers van de circulatiepomp door het pompmedium gesmeerd. Bovendien dient het medium om de motor te koelen. Daarom moet de circulatie door de gespleten bus continu gegarandeerd zijn.

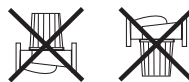
Verder moet de pomp als altijd horizontaal geplaatst zijn (natloperpompen, verwarming). Inbouw met verticaal staande of hangende as resulteert in onstabiel bedrijf, waardoor de pomp sneller uitvalt.

Zie de inbouw- en bedieningshandleidingen voor de details betreffende de inbouwstanden.

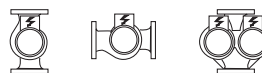
De beschreven natloperpompen vertonen door hun constructie goede loopeigenschappen. Ze zijn relatief goedkoop te vervaardigen.

Inbouwstanden voor natloperpompen (verkort)

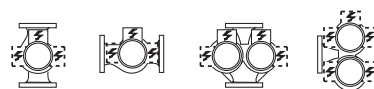
Niet toegestane inbouwstanden



Zonder beperking toegestaan voor pompen met traploze regeling



Zonder beperking toegestaan voor pompen met 1-, 3- of 4-toerentaltrappen



Droogloperpompen

Kenmerken

Voor het verpompen van grote volumestromen worden droogloperpompen gebruikt. Ook voor het verpompen van koelwater en agressieve media zijn droogloperpompen beter geschikt. In tegenstelling tot natloperpompen komt het pompmedium niet met de motor in contact; vandaar de naam droogloperpomp.

Een ander verschil met de natloperpomp is de afdichting van het watergeleidende pomphuis/as naar de atmosfeer toe. Deze wordt uitgevoerd door een stopbuspakking of door een glijringafdichting.

De motoren van standaard-droogloperpompen zijn normale draaistroommotoren met een vast basistoerental. De regeling hiervan vindt standaard plaats via een externe elektronische toerentalverandering. Tegenwoordig bestaan er droogloperpompen met geïntegreerde elektronische toerentalregelingen, die door de technische ontwikkeling voor steeds grotere motorvermogens beschikbaar zijn.

Het totale rendement van droogloperpompen is aanzienlijk beter dan dat van natloperpompen.

Bij de droogloperpompen wordt hoofdzakelijk verschil gemaakt tussen drie verschillende constructieve uitvoeringen:

Inline-pompen

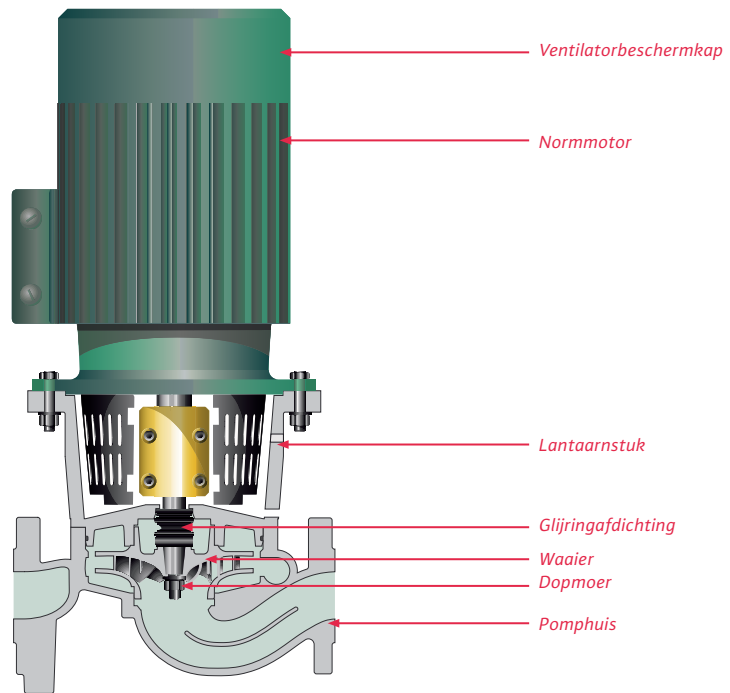
Als aanzuigopening en persopening op één as liggen en dezelfde nominale doorlaat hebben, worden deze pompen inline-pompen genoemd. Inline-pompen hebben een luchtgekoelde en vastgeflenste standaardmotor.

In de gebouwtechniek heeft deze constructiewijze voor grotere capaciteiten ingang gevonden. Deze pompen kunnen direct in de buisleiding worden ingebouwd. Ofwel wordt de buisleiding door consoles opgevangen ofwel wordt de pomp op een fundament of een eigen console gemonteerd.

Blokpompen

Blokpompen zijn eentraps lagedruk-centrifugaalpompen in blokconstructie met luchtgekoelde standaardmotor. Het slakkenhuis heeft een axiale aanzuigopening en een radiaal geplaatste persopening. De pompen zijn standaard met hoek- of motorpoten uitgerust.

Opbouw van een droogloperpomp



Normpompen

Bij deze centrifugaalpompen met axiale inlaat zijn de pomp, de koppeling en de motor op een gezamenlijke basisplaat gemonteerd en dus alleen geschikt voor opbouw op een fundament.

Afhankelijk van het pompmedium en de bedrijfsomstandigheden worden deze met een glijringafdichting of met een stopbus uitgerust. Hierbij bepaalt de verticaal staande persopening de nominale doorlaat van de pomp. De horizontale aanzuigopening is normaal gesproken één nominale-doorlaatwaarde groter.

Zie ook hoofdstuk "Asafdichting", pagina 28

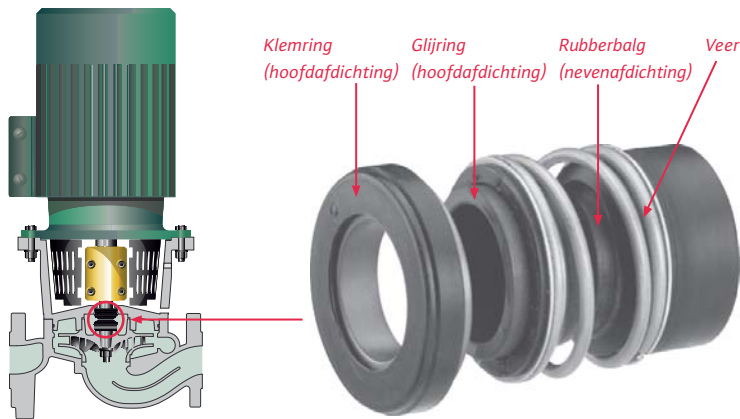
Om te onthouden:

Glijringafdichtingen zijn slijtageonderdelen. Droogloop is niet toegestaan en leidt ertoe dat de afdichtingsvlakken kapotgaan.

Asafdichting

Zoals reeds gezegd kan de asafdichting naar de atmosfeer toe door middel van een glijringafdichting of een stopbuspakking (in het bijzonder bij normpompen naar keuze) worden uitgevoerd. Hieronder worden deze beide afdichtingsmogelijkheden nader verklaard.

Glijringafdichting in een droogloperpomp



Glijringafdichtingen

In de basisconstructie bestaan glijringafdichtingen uit twee ringen met zeer fijn gepolijste afdichtingsvlakken. Deze worden door een veer samengedrukt en lopen in bedrijf tegen elkaar. Glijringafdichtingen zijn dynamische afdichtingen en worden gebruikt voor het afdichten van roterende assen bij middelgrote tot hogere drukken.

Het afdichtingsgedeelte van de glijringafdichting bestaat uit twee vlakgeslepen, slijtagearme vlakken (b.v. ringen van siliciumcarbide of kool) die door axiale krachten worden samengedrukt. De glijring (dynamisch) roteert met de as, terwijl de klemring (statisch) stationair in het huis is geplaatst.

Tussen de glijvlakken wordt een dunne waterfilm gevormd die dient om te smeren en te koelen.

In bedrijf kunnen verschillende soorten wrijving van de glijvlakken ten opzichte van elkaar worden gevormd: gemengde wrijving, grensmeerfilmwrijving, droge wrijving, waarbij de zogenaamde droge wrijving (geen smeerfilm) ertoe leidt dat de glijvlakken direct kapotgaan. De standtijden (bedrijfsduur) zijn afhankelijk van de bedrijfsomstandigheden, zoals samenstelling en temperatuur van het pompmedium.

Stopbussen

Materiaal voor stopbussen zijn bijvoorbeeld hoogwaardige synthetische garens zoals Kevlar® of Twaron®, PTFE, garens van geëxpandeerd grafiet, synthetische mineraalvezelgarens en vlechtwerk van natuurlijke vezels zoals hennep, katoen of ramee. Het stopbusmateriaal is leverbaar per meter of als persgietringen, in droge uitvoering of voorzien van op het gebruiksdoel afgestemde impregneringen. Bij metergoed wordt er eerst een ring gesneden en gevormd. Vervolgens wordt de stopbusring om de pompas gemonteerd en met behulp van het drukstuk aangedrukt.

Inbouwstanden

Toelaatbare inbouwstanden

- Inline-pompen zijn ontworpen voor directe horizontale en verticale inbouw in een buisleiding.
- Hierbij moet een vrije ruimte worden voorzien voor het uitbouwen van motor, lantaarnstuk en waaier.
- Wordt de pomp gemonteerd, dan moet de buisleiding spanningsvrij zijn en moet de pomp eventueel op de pomppoten steunen.

Niet-toegestane inbouwstanden

- Inbouw met motor en aansluitdoos naar beneden gericht is niet toegestaan.
- Vanaf een bepaald motorvermogen dient over de inbouwstand met horizontale pompas overleg te worden gepleegd met de fabrikanten

Bijzonderheden bij blokpompen

- Blokpompen moeten op toereikende fundamenten of consoles worden geplaatst.
- Inbouw met blokpompen met motor en aansluitdoos naar beneden gericht is niet toegestaan. Elke andere inbouwstand is mogelijk.

Zie de inbouw- en bedieningshandleidingen voor de details betreffende de inbouwstanden.

Hogedruk-centrifugaalpompen

Typische constructiekenmerken van deze pompen zijn de geschakelde opbouw met waaiers en trapsgewijze kamers.

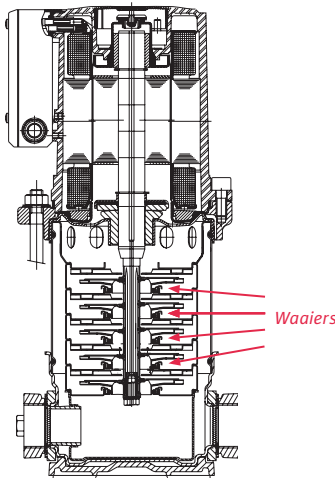
Het debiet van een pomp is o.a. afhankelijk van de grootte van de waaiers. Voor de opvoerhoogte van hogedruk-centrifugaalpompen zorgen meerdere, achter elkaar geplaatste waaiers/leiwielen. Hier wordt de bewegingsenergie deels in de waaier en deels in het hierachter geplaatste leiwiel in druk omgezet.

Door de meerdere trappen kunnen de hogedruk-centrifugaalpompen drukniveaus bereiken, die bij het gebruik van ééntraps lagedruk-centrifugaalpompen onhaalbaar zijn.

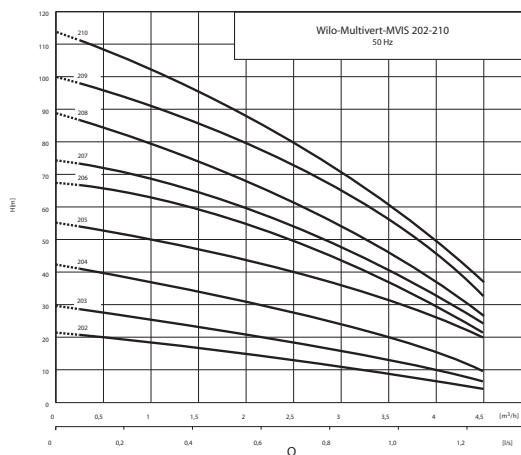
Zeer grote typen kunnen zelfs 20 trappen hebben. Daarmee kunnen opvoerhoogten tot 250 m worden bereikt.

De beschreven hogedruk-centrifugaalpompen behoren bijna uitsluitend tot de familie van de droogloperpompen. In de afgelopen tijd is men erin geslaagd om deze ook met natlopermotoren uit te rusten.

Doorsnedetekening van een hogedruk-centrifugaalpom



Karakteristiek hogedruk-centrifugaalpom



Voorbeeld van een hogedruk-centrifugaalpom met natlopermotor



Karakteristieken

Pompkarakteristiek

De drukverhoging in de pomp wordt met opvoerhoogte aangeduid.

Definitie van opvoerhoogte

De opvoerhoogte van een pomp H is de mechanische energie die door de pomp in de vloeistof wordt overgedragen, gerelateerd aan de gravitaire energie van de vloeistof, onder de plaatselijke graviteit.

$$H = \frac{E}{G} \text{ [m]}$$

E = bruikbare mechanische energie [$N \cdot m$]
 G = gewichtsbelasting [N]

Hierbij zijn de in de pomp opgewekte drukverhoging en het debiet van de pomp van elkaar afhankelijk. Deze afhankelijkheid wordt in een diagram als pompkarakteristiek weergegeven.

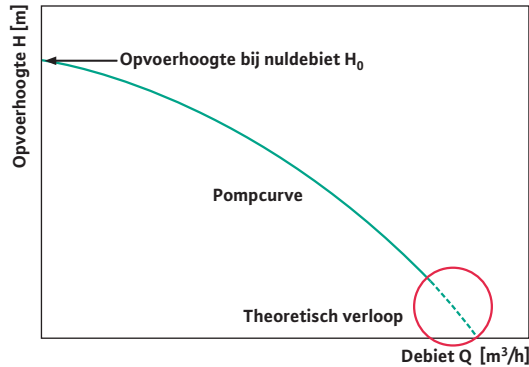
Op de verticale as, de ordinaat, wordt de opvoerhoogte H van de pomp in meter [m] genoteerd. Andere schaalindelingen zijn mogelijk. Hierbij gelden de volgende omrekeningswaarden:

$$10 \text{ m} = 1 \text{ bar} = 100.000 \text{ Pa} = 100 \text{ kPa}$$

Op de horizontale as, de abscis, bevindt zich de indeling voor het debiet Q van de pomp in kubieke meter per uur [m^3/h]. Een andere asschaalindeling, bijvoorbeeld [l/s], is mogelijk.

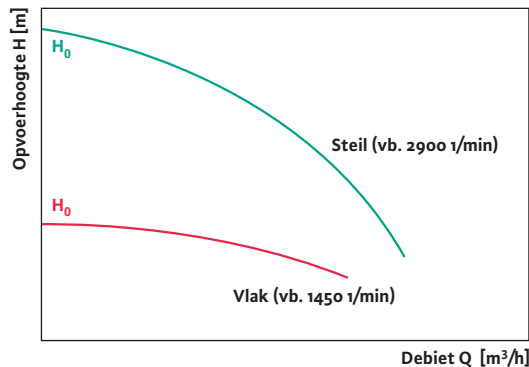
Het verloop van de karakteristiek toont de volgende verbanden: de elektrische aandrijvingsenergie wordt (met inachtneming van het totale rendement) in de pomp in de hydraulische energievormen drukverhoging en beweging omgezet. Loopt de pomp tegen een gesloten ventiel, dan ontstaat de maximale pompdruk. Men spreekt dan van nul-opvoerhoogte H_0 van de pomp. Wordt het ventiel langzaam geopend, dan begint het pompmedium te stromen. Hierdoor wordt een deel van de aandrijvingsenergie in bewegingsenergie omgezet. De oorspronkelijke druk kan dan niet meer worden vastgehouden. De pompkarakteristiek krijgt een dalend verloop. Theoretisch wordt het snijpunt van de pompkarakteristiek met de debiet-as bereikt, als het water alleen nog maar bewegingsenergie heeft en er geen druk meer wordt opgebouwd. Aangezien een leidingsysteem echter altijd een inwendige weerstand heeft, eindigen de werkelijke pompkarakteristieken voor het bereiken van de debiet-as.

Pompkarakteristiek



Vorm van de pompkarakteristiek

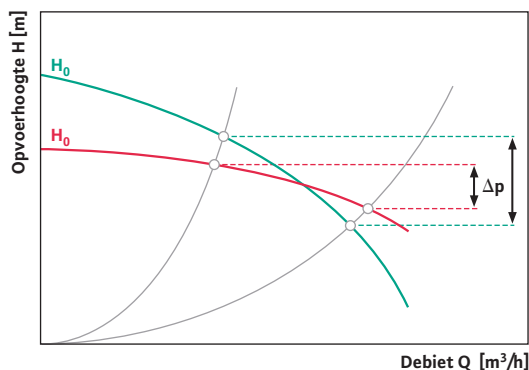
De volgende afbeelding toont de verschillende steilheid van pompkarakteristieken, die bijvoorbeeld afhankelijk van het motortoerental kunnen ontstaan.



Verschillende steilheid, bijvoorbeeld afhankelijk van het motortoerental bij gelijk pomphuis en gelijke waaier

Hierbij ontstaan afhankelijk van de steilheid en de bedrijfspuntverandering verschillende debiet- en drukveranderingen.

- vlak verlopende karakteristiek
 - grotere debietverandering, maar kleine drukverandering
- steil verlopende karakteristiek
 - kleinere debietverandering, maar grote drukverandering

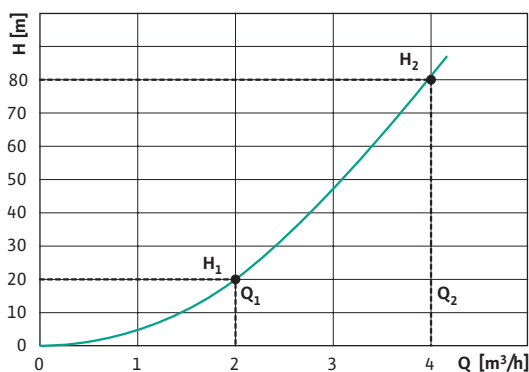


Verschillende debiet- en drukveranderingen

Installatiekarakteristiek

De inwendige wrijvingsweerstand in de leiding leidt tot drukverlies van het verpompte medium overeenkomend met de gehele lengte. Dit drukverlies is bovendien afhankelijk van de temperatuur van het stromende medium, de viscositeit hiervan, de stroomsnelheid, de armaturen, de aggregaten en de wrijvingsweerstand in de leiding bestaande uit buisdiameter, buisruwheid en buislengte. Deze wordt in een installatiekarakteristiek weergegeven. Hiervoor wordt hetzelfde diagram als voor de pompkarakteristiek gebruikt.

Installatiekarakteristiek



Het verloop van de karakteristiek toont de volgende verbanden:

De oorzaak van de wrijvingsweerstand in de leiding is de wrijving van het water langs de buiswanden, de wrijving van de waterdruppels tegen elkaar en de vormveranderingen van de leiding. Bij een verandering van het debiet, bijvoorbeeld door het openen en sluiten van de thermostaatventielen, verandert ook de snelheid van het water en dus de wrijvingsweerstand van de buis. Aangezien de onveranderde buisdiameter als een doorstroomd vlak beschouwd moet worden, verandert de weerstand kwadratisch. Grafisch gezien resulteert dit daarom in de vorm van een parabool.

Wiskundig blijkt hieruit het volgende verband:

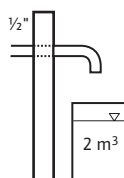
$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^2$$

Resultaat

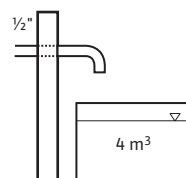
Wordt het debiet in het buizenstelsel gehalveerd, dan daalt de opvoerhoogte tot een vierde. Wordt het debiet verdubbeld, dan wordt de opvoerhoogte met het viervoudige verhoogd. Als voorbeeld hiertoe dient het uitlopen van water uit een aftapventiel. Bij een voordruk van 2 bar, wat overeenkomt met een pompopvoerhoogte van ca. 20 m, levert een aftapventiel DN 1/2 een debiet van 2 m³/h. Om dit debiet te verdubbelen moet de voordruk van 2 bar worden verhoogd tot 8 bar.

Uitloop uit een aftappunt bij verschillende voordrukken

Voordruk 2 bar
Uitloop 2 m³/h



Voordruk 8 bar
Uitloop 4 m³/h



Bedrijfspunt

Daar waar de pompkarakteristiek en de installatiekarakteristiek elkaar kruisen, bevindt zich het actuele bedrijfspunt van de verwarmings- of watervoorzieningsinstallatie.

Dat wil zeggen dat er op dat punt een evenwicht heerst tussen het aangeboden vermogen van de pomp en het verbruikte vermogen van het buizenstelsel. De pompvoerhoogte is altijd net zo groot als de doorstromingsweerstand van de installatie. Dit resulteert dan in het debiet dat door de pomp geleverd kan worden.

Hierbij moet in acht worden genomen dat het debiet niet lager mag zijn dan een bepaald minimaal debiet. Anders kan er oververhitting in de pompruimte ontstaan, waardoor de pomp kapot kan gaan. Neem hierbij de gegevens van de fabrikant in acht. Een bedrijfspunt buiten de pompkarakteristiek leidt ertoe dat de motor beschadigd raakt.

Door de verandering van de capaciteit tijdens het bedrijf, verandert ook het bedrijfspunt voortdurend. De planner moet een ontwerp-bedrijfspunt vinden dat is afgestemd op de maximale eisen. Bij verwarmingscirculatiepompen is dat de benodigde warmte van het gebouw, bij drukverhogingsinstallaties is dat de piekdoorstroming voor alle aftappunten.

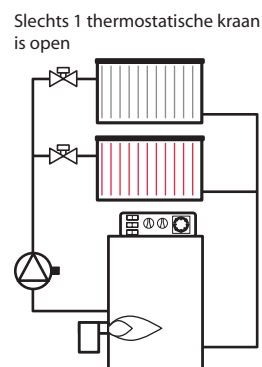
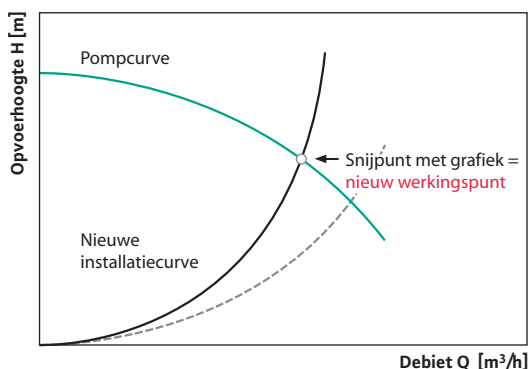
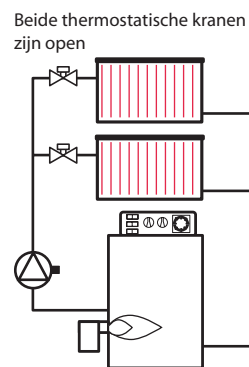
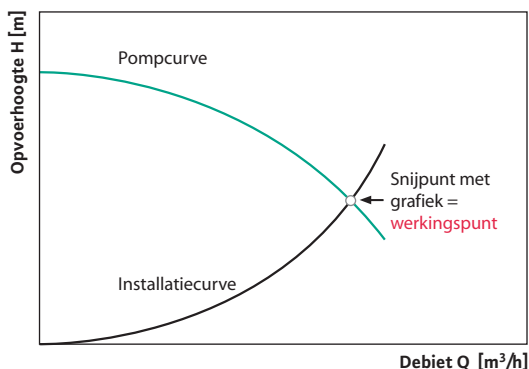
Alle andere bedrijfspunten die in het praktische bedrijf optreden, liggen in de karakteristiek links van dit ontwerp-bedrijfspunt.

De beide afbeeldingen rechts laten zien dat de verandering van het bedrijfspunt ontstaat door de verandering van de doorstromingsweerstand.

Bij verschuiving van het bedrijfspunt, naar links vanaf het ontwerp-punt, wordt de opvoerhoogte van de pomp automatisch verhoogd. Hierbij ontstaan er stromingsgeluiden in de ventielen.

De aanpassing van de opvoerhoogte en het debiet aan de behoefte vindt plaats door het inbouwen van geregelde pompen. Hierbij worden tegelijkertijd de bedrijfskosten aanzienlijk gereduceerd.

De automatische wijziging van het werkpunt





Pompselectie volgens warmtebehoefte

Aangezien wij in ons klimatologisch gebied vier duidelijke jaargetijden kennen, schommelen de buitentemperaturen aanzienlijk. Van zomerse temperaturen van 20 °C tot 30 °C zakt de thermometer in de winter tot -15 °C tot -20 °C of nog lager. Deze schommelingen zijn echter voor de binnentemperatuur van woonruimten onaanvaardbaar. Eerst was er het vuur dat de grotten verwarmde. Later werden er verwarmingssystemen ontwikkeld die in het eerste deel van dit handboek zijn beschreven.

Weersschommelingen

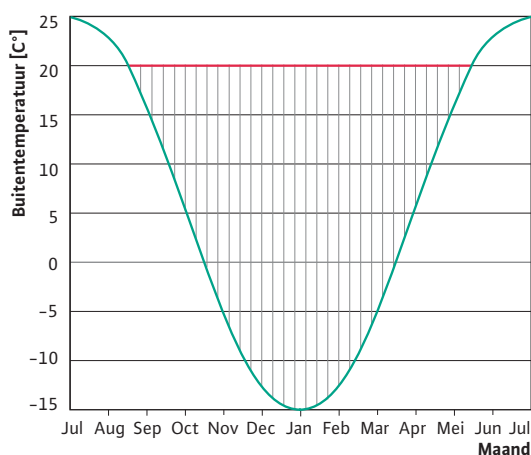
In de afbeelding rechts laat de verticale arcering duidelijk zien dat bij de seizoensgebonden schommelende buitentemperaturen een sterk verschillende verwarmingsbehoefte noodzakelijk is.

Toen de hiervoor gebruikte energie (hout, kolen en het begin van de verwarming met olie, maar ook de door de overheid gesubsidieerde verwarming ten tijde van de DDR) zeer weinig kosten, was het niet belangrijk hoeveel er werd verstoekt. In het ergste geval werden de ramen geopend. Deze regeltechniek werd schertsend tweepuntsregeling - raam open / raam dicht - genoemd.

Tijdens de eerste oliecrisis in 1973 onderkende men de noodzaak om zuinig met energie om te gaan.

Een goede warmte-isolatie van gebouwen is intussen vanzelfsprekend geworden. De wettelijke voorschriften werden voortdurend aan de bouwtechnische ontwikkelingen aangepast. Uiteraard verliep de verwarmingstechnische vooruitgang parallel hieraan. Eerst werden de thermostaatventielen breed op de markt geïntroduceerd, waardoor de kamertemperatuur aan de wensen van de bewoner kon worden aangepast.

Buientemperatuur afhankelijk van het jaargetijde



Het gearceerde vlak moet door verwarmingsenergie worden opgevuld.

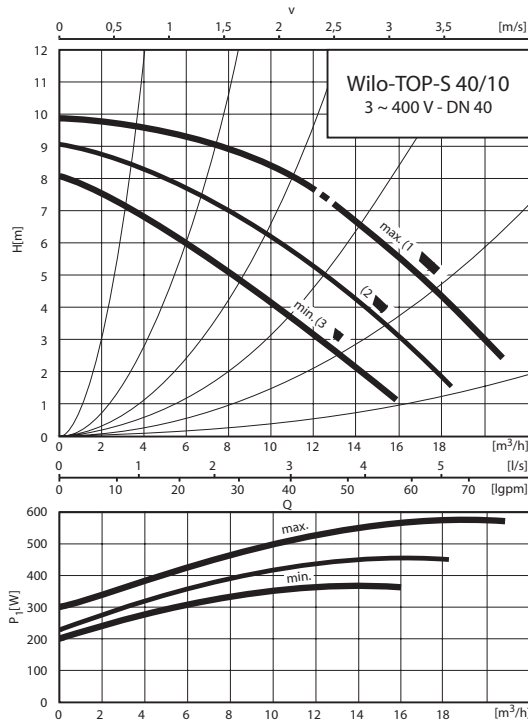
Doordat de hoeveelheid verwarmingswater hierdoor werd gesmoord, werd de pompdruk van de pomp met vast toerental verhoogd (langs de pompkarakteristiek), waardoor er stromingsgeluiden in de ventielen ontstonden. Vervolgens werd de ontlastingsklep uitgevonden en ingebouwd om deze overdruk af te bouwen.

Zie ook hoofdstuk "Bedrijfspunt", pagina 33

Pomptoerentalschakeling

De pompfabrikanten bieden natloperpompen met handmatig schakelbare toerentaltrappen aan. Zoals in de voorafgaande hoofdstukken is beschreven, wordt – gerelateerd aan de doorlaat van het pompmedium van de thermostaat- en regelventielen – het debiet kleiner met het toerental. Zo kan de circulatiepomp direct op de regeling van de kamertemperatuur reageren.

Pompkarakteristiek Wilo-TOP-S



Wilo-TOP-S natloperpomp met 3 instelbare snelheden

Om het toerental van motoren te kunnen veranderen, zijn deze binnenin uit verschillende wikkelingspakketten opgebouwd. Als er minder water door de verwarmingsbuizen stroomt, wordt er ook een kleinere leidingweerstand opgebouwd, zodat de pomp met een geringere opvoerhoogte kan werken. Tegelijkertijd wordt het opgenomen elektrische motorvermogen aanzienlijk gereduceerd.

Intussen zijn voor de toerental-trapschakelingen van de verwarmingscirculatiepompen uitgebreide regelapparaten ontwikkeld. Zo kan de circulatiepomp direct op de regeling van de kamertemperatuur reageren. De ontlastingsklep is daardoor overbodig. De regelapparaten veranderen het toerental automatisch afhankelijk van

- de tijd
- de watertemperatuur
- de verschildruk
- en andere specifiek voor de installatie zijnde parameters.

Traploze toerentalregeling

In de eerste helft van de jaren 80 is men er reeds in geslaagd om droogloperpompen met grote motorvermogens traploos aan de verwarmingsbehoefte aan te passen. Voor de regeling hiervan werden elektronische frequentieomvormers gebruikt.

Voor een uitleg van deze techniek verwijzen wij naar de bekende stroomfrequentie van 50 Hz (Hertz). Dat wil zeggen dat de stroom 50 keer per seconde wisselt tussen een plus- en een minpool. Met dezelfde snelheid wordt de rotor van de pompmotor bewogen.

Met behulp van elektronische elementen is het mogelijk om de stroom sneller of langzamer te maken, dat wil zeggen de frequentie bijvoorbeeld tussen 100 Hz en 0 Hz traploos in te stellen.

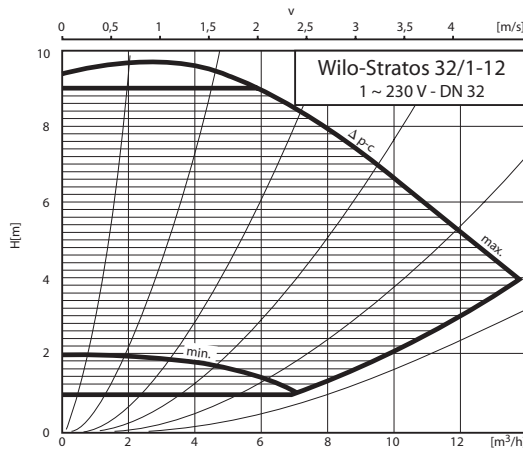
Om motorische redenen wordt de frequentie in verwarmingsinstallaties echter niet lager dan 20 Hz, dus niet minder dan 40% van het maximale toerental ingesteld. Aangezien het maximale verwarmingsvermogen alleen voor de koudste dagen wordt berekend, zal het in bijzondere gevallen noodzakelijk blijken motoren met de maximale frequentie aan te drijven.

Terwijl twintig jaar geleden hiervoor nog zeer grote omvormeenheden nodig waren, is men er intussen in geslaagd om deze frequentieomvormers zo klein te maken dat deze in de aansluitdoos direct op een pomp kunnen functioneren, zoals bijvoorbeeld bij een Wilo-Stratos.

Een geïntegreerde traploze, van de verschildruk afhankelijke toerentalregeling zorgt ervoor dat een eenmaal ingestelde opvoerhoogte constant wordt gehouden, om het even welk debiet afhankelijk van het weer en het gebruik moet worden geleverd.

In 2001 heeft een nieuwe technische innovatie haar intrede gedaan in de natlopertechniek. De nieuwste generatie, ook hoogrendement pomp genoemd, heeft als voordeel dat door de nieuwste ECM-technologie (Electronic-Commutated-Motor ook permanentmagneet-motor genoemd) enorme stroombesparingen bij een uitstekend rendement bereikt kunnen worden.

Karakteristiekenschaar van een Wilo-Stratos



Traploze toerentalregeling bij de hoogrendement-pomp Wilo-Stratos

Bij kleine pompen was deze traploos geregelde toerentalaanpassing al sinds 1988 mogelijk, echter met een andere elektronische techniek. De toentertijd hiervoor ingezette elektronica, faseaansnijdingsbesturing, is vergelijkbaar met de dimmerregeling bij verlichting.

Zie ook hoofdstuk "Natloperpompen", pagina 25

Regelingsmodi

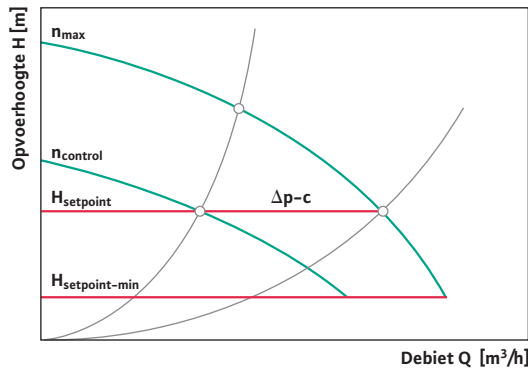
Bij de tegenwoordig verkrijgbare elektronisch geregelde pompen kunnen op de elektronica verschillende bedrijfs- en regelingsmodi worden ingesteld.

We maken hierbij verschil tussen regelingsmodi die door de pomp automatisch kunnen worden uitgevoerd en bedrijfsmodi waarbij de pomp niet automatisch wordt geregeld, maar door middel van externe aansturing op een bepaald bedrijfspunt wordt ingesteld.

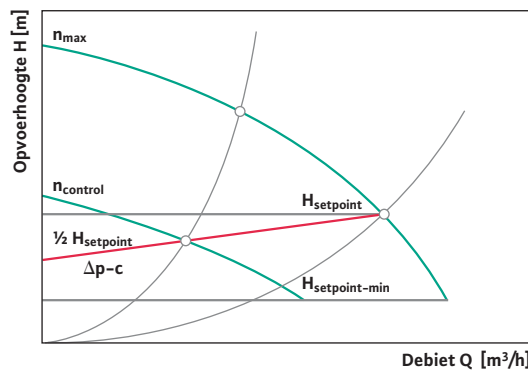
Hierna een overzicht van de meest voorkomende regelings- en bedrijfsmodi. Door aanvullende besturingen en regelapparaten kunnen nog een groot aantal andere gegevens worden verwerkt en overgedragen.

Karakteristieken regelingsmodi

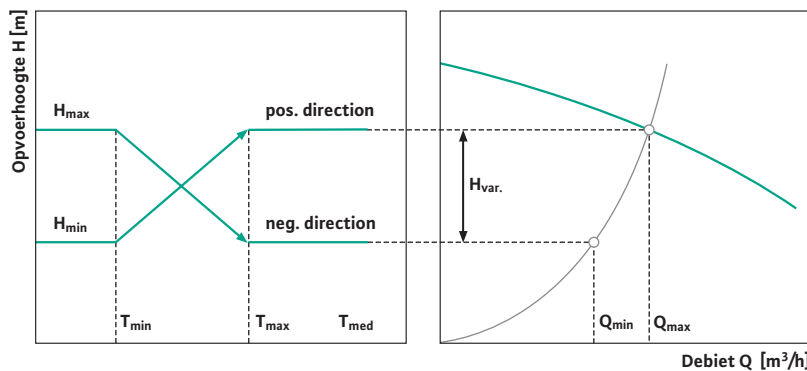
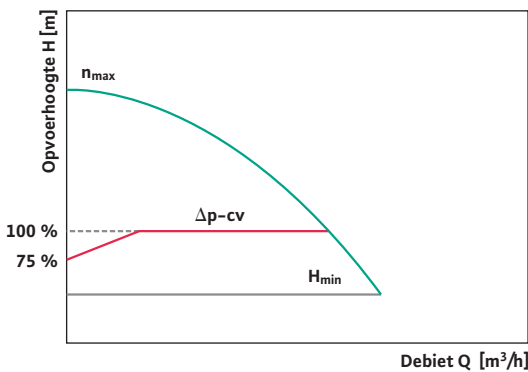
Verschuldruk constant: $\Delta p-c$



Verschuldruk variabel: $\Delta p-v$



Verschuldruk constant/
variabel: $\Delta p-cv$



Temperatuurafhankelijke
verschuldrukregeling: $\Delta p-T$
afhankelijk van de hieruit
resulterende capaciteit

De te kiezen regelingsmodi zijn:

$\Delta p-c$ – verschuldruk constant

De elektronica houdt de door de pomp opgewekte verschuldruk over het toelaatbare debietbereik constant op de ingestelde waarde H_s tot aan de maximaal-karakteristiek.

$\Delta p-v$ – verschuldruk variabel

De elektronica verandert de door de pomp aan te houden gewenste verschuldruk bijvoorbeeld lineair tussen H_s en $1/2 H_s$. De gewenste verschuldruk H neemt met het debiet Q af c.q. toe.

$\Delta p-cv$ – verschuldruk constant/variabel

Bij deze regelingsmodus houdt de elektronica de door de pomp opgewekte verschuldruk tot een bepaald debiet constant op de ingestelde verschuldruk (H_s 100%). Daalt het debiet verder, dan verandert de elektronica de door de pomp aan te houden verschuldruk lineair bijvoorbeeld tussen H_s 100% en H_s 75%.

$\Delta p-T$ – temperatuurgestuurde verschuldrukregeling

In deze regelingsmodus verandert de elektronica de door de pomp aan te houden gewenste verschuldruk afhankelijk van de gemeten mediumtemperatuur.

Bij deze regelfunctie zijn twee instellingen mogelijk:

- Regeling met positieve werking
Bij stijgende temperatuur van het pompmedium wordt de gewenste verschuldruk lineair tussen H_{min} en H_{max} verhoogd. Toepassing bijvoorbeeld bij standaardketels met glijdende voorlooptemperatuur.
- Regeling met negatieve werking
Bij stijgende temperatuur van het pompmedium wordt de gewenste verschuldruk lineair tussen H_{min} en H_{max} verlaagd. Toepassing bijvoorbeeld bij HR-ketels, waarbij een bepaalde minimale teruglooptemperatuur moet worden aangehouden om een zo hoog mogelijk warmterendement van het verwarmingsmedium te bereiken. Hiertoe moet de pomp absoluut in de terugloop van de installatie worden ingebouwd.

De te kiezen bedrijfsmodi zijn:

Automatische reductie (Autopilot)

De nieuwe elektronisch geregelde pompen op het gebied van natlopers zijn voorzien van een automatische reductie (Autopilot). Bij het reduceren van de voorlooptemperatuur schakelt de pomp over op een gereduceerd constant toerental bedrijf (zwakke belasting door fuzzy-regeling). Deze instelling zorgt ervoor dat het energieverbruik van de pomp tot een minimum wordt gereduceerd en is in de meeste gevallen de optimale instelling.

De automatische reductie Autopilot mag alleen worden vrijgegeven, als hydraulische afregeling van de installatie is uitgevoerd. Als dit niet in acht wordt genomen, kunnen slecht gevoede installatieonderdelen bij vorst bevriezen.

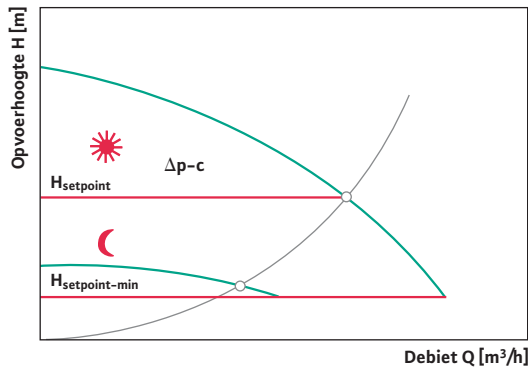
Manueel

Deze bedrijfsmodus is bij elektronisch geregelde pompen vanaf een bepaald motorvermogen beschikbaar. Het toerental van de pomp wordt constant gehouden tussen n_{min} en n_{max} , op de elektronicamodule van de pomp in te stellen. De bedrijfsmodus handinstelling desactiveert de verschuldrukregeling op de module.

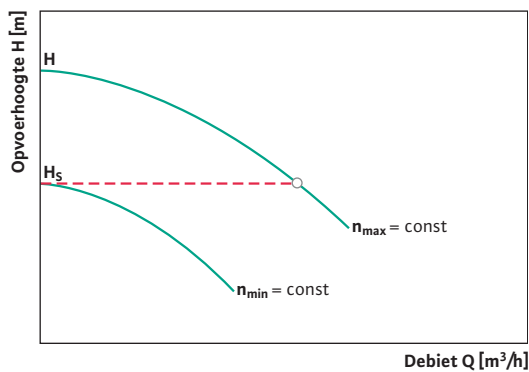
DDC (Direct Digital Controls) en GA-aankoppeling (aankoppeling aan de gebouwautomatisering)

Bij deze bedrijfsmodus wordt de gewenste waarde via een gebouwenbeheersysteem doorgegeven aan de elektronica van de pomp. De gewenste waarde wordt via een vergelijking van gewenste en werkelijke waarden door het gebouwenbeheersysteem (GBS) overgenomen en kan vervolgens als analoog signaal 0-10 V/0-20mA, c.q. 2-10 V/4-20mA of als digitaal signaal (interface PLR of LON op de pomp) worden overgedragen.

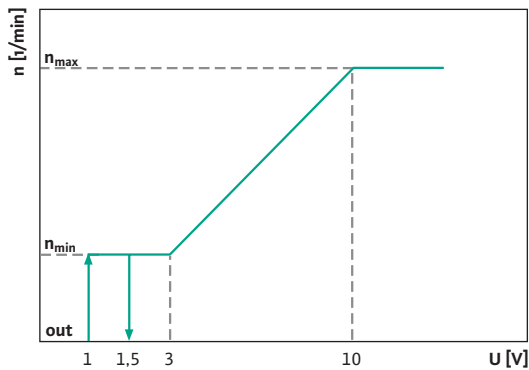
Karakteristieken regelingsmodi



Bedrijfsmodus automatische reductie (Autopilot)



Bedrijfsmodus manueel



Bedrijfsmodus DDC – analoge besturing



Ruw pomptwerp voor standaard verwarmingsinstallaties

Het debiet dat een verwarmingspomp moet leveren, is afhankelijk van de warmtebehoefte van de te verwarmen ruimte. De opvoerhoogte daarentegen wordt door de aanwezige wrijvingsweerstand van de buizen bepaald. Bij een nieuwe verwarmingsinstallatie kunnen deze waarden eenvoudig met behulp van zeer betrouwbare computerprogramma's worden berekend. Bij het saneren van aanwezige verwarmingsinstallaties wordt deze berekening al moeilijker. Voor bepalen van de noodzakelijke debietgegevens kunnen verschillende ruwe berekeningen worden uitgevoerd.

Pompdebiet

Als er in een verwarmingssysteem een nieuwe circulatiepomp moet worden ingebouwd, dan wordt de grootte hiervan afgestemd op het debiet met de volgende formule bepaald:

$$Q_{PU} = \frac{Q_N}{1,163 \cdot \Delta\vartheta} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

Q_{PU} = debiet van de pomp in het ontwerp punt in $[\text{m}^3/\text{h}]$

Q_N = warmtebehoefte van het te verwarmen oppervlak in $[\text{kW}]$

1,163 = soortelijke warmtecapaciteit in $[\text{Wh}/\text{kgK}]$

$\Delta\vartheta$ = ontwerptemperatuurverschil tussen voor- en terugloop van de verwarming in $[\text{K}]$, hierbij kan worden uitgegaan van 10 - 20 K voor standaardinstallaties.

Pompopvoerhoogte

Om het pompmedium naar elk punt van de verwarming te kunnen transporteren, moet de pomp de som van alle weerstanden overwinnen. Ingeval de weg van het buizenstelsel en de nominale doorlaten van de aangelegde buizen moeilijk is vast te stellen, geldt deze formule als ruwe berekening van de opvoerhoogte:

$$H_{PU} = \frac{R \cdot L \cdot ZF}{10.000} \quad [\text{m}]$$

R = Wrijvingsverlies in de rechte buis $[\text{Pa}/\text{m}]$
Hierbij kunnen voor standaardinstallaties 50 Pa/m tot 150 Pa/m worden aangehouden (afhankelijk van het bouwjaar van het huis, oudere huizen hebben op grond van de gebruikte grotere nominale doorlaten een kleiner drukverlies 50 Pa/m).

L = Lengte van de ongunstigste verwarmingslijn $[\text{m}]$ voor voor- of terugloop of: (lengte van het huis + breedte van het huis + hoogte van het huis) x 2

ZF = Vermenigvuldigingsfactor voor
Bochten/kranen $\approx 1,3$
Thermostaatventiel $\approx 1,7$
Zijn o.a. deze inbouwelementen aanwezig, dan kan een ZF van **2,2** worden gebruikt.
Bochten/kranen $\approx 1,3$
Thermostaatventiel $\approx 1,7$
Driewegventiel $\approx 1,2$
Zijn o.a. deze inbouwelementen aanwezig, dan kan een ZF van **2,6** worden gebruikt.

10,000 = Omrekeningsfactor Pa naar m

Toepassingsvoorbeeld

De warmtebron in een oudere meergezinswoning heeft volgens berekening of bestaande gegevens een vermogen van 50 kW.

Bij een temperatuurverschil $\Delta\vartheta$ van 20 K ($\vartheta_{\text{voorloop}} = 90^\circ\text{C} / \vartheta_{\text{terugloop}} = 70^\circ\text{C}$), levert dit het volgende op:

$$Q_{\text{pU}} = \frac{50 \text{ kW}}{1,163 \cdot 20 \text{ K}} = 2,15 \text{ m}^3/\text{h}$$

Moet hetzelfde gebouw met een kleiner temperatuurverschil worden verwarmd (bijv. 10 K), dan moet de circulatiepomp het dubbele debiet, dus 4,3 m³/h kunnen leveren om de vereiste warmte-energie van de warmtebron naar de verbruikers te transporteren.

Gesteld dat het drukverlies in de leiding door wrijving in ons voorbeeld 50 Pa/m is, de buisleidingslengte voor de voor- en terugloop 150 m bedraagt en de toeslagfactor 2,2 is, omdat er geen driewegventiel is ingebouwd, dan resulteert dit in de opvoerhoogte H:

$$H_{\text{pU}} = \frac{50 \cdot 150 \cdot 2,2}{10.000} = 1,65 \text{ m}$$



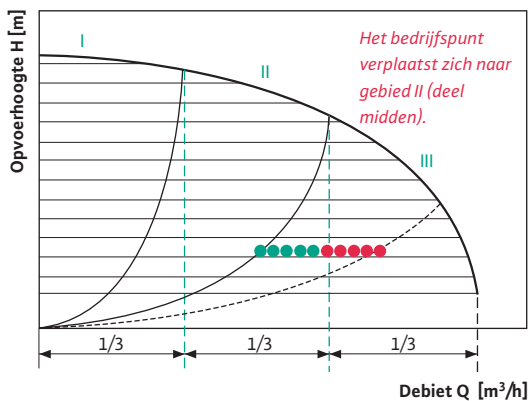
Uit het hoofdstuk ‘Ontwerp van centrifugaal-pompen’ weten wij dat het rendementverloop afhankelijk is van de pompkarakteristiek. Als er rekening wordt gehouden met het rendementverloop bij de keuze van de pomp, dan is te zien dat het middelste deel van de karakteristiek het energetisch gezien gunstigste ontwerpgebied vormt. Het ontwerppunt moet dus bij installaties met variabel debiet in het rechter deel liggen, aangezien het bedrijfspunt van de verwarmings-circulatiepomp naar het middelste deel gaat en zich voor 98% van de bedrijfstijd daar bevindt.

De installatiekarakteristiek wordt steiler naarmate de drukval in de installatie toeneemt, bijvoorbeeld door het sluiten van thermostaatventielen.

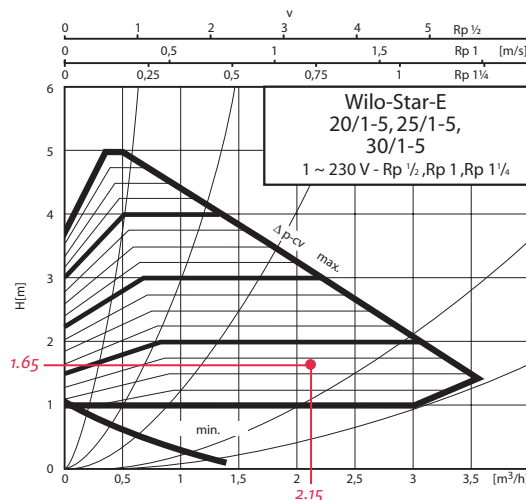
Dus levert dit uit de berekende gegevens voor de opvoerhoogte H en het debiet Q volgens de catalogus voor het ruwe pompontwerp het volgende op:

Bedrijfspunt in de karakteristiekschaar van de pomp bij variabel debiet

- **Gebied I (deel links)**
Kies een kleinere pomp, als het bedrijfspunt in dit gebied ligt.
- **Gebied II (deel midden)**
De pomp werkt voor 98% van de bedrijfstijd in het optimale bedrijfsgebied.
- **Gebied III (deel rechts)**
De geregelde pomp werkt alleen in het ontwerppunt (warmste/koudste dag van het jaar) in het ongunstigste gebied, dat wil zeggen gedurende 2% van de bedrijfstijd.



Karakteristieken Wilo-EasyStar



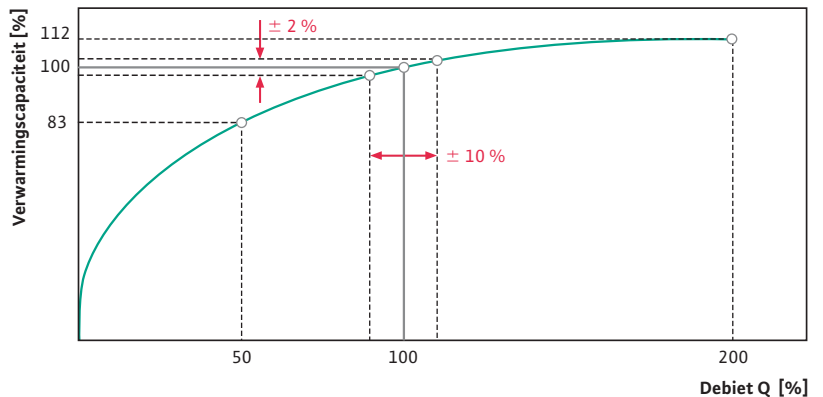
Effecten van het ruwe pompontwerp

Als de warmtebehoefte van een gebouw in een onbekend leidingstelsel alleen met behulp van een ruwe berekening kan worden bepaald, dan is het natuurlijk de vraag wat de effecten hiervan zullen zijn. De afbeelding rechts toont de typische vermogenscurve van een radiator in een ruimte.

In dit diagram zijn de volgende verbanden te zien: wordt het debiet Q met 10% verminderd, dan neemt het verwarmingsvermogen van de radiatoren slechts met 2% af. Hetzelfde geldt als het debiet Q met ongeveer 10% wordt verhoogd. In dat geval zullen de radiatoren slechts ongeveer 2% meer verwarmingsenergie kunnen afgeven. Zelfs bij een verdubbeling van het debiet zal het verwarmingsvermogen slechts met ongeveer 12% worden verhoogd!

De reden hiervoor is dat watersnelheid in de radiatoren direct afhankelijk is van het debiet. Een hogere doorstroomsnelheid betekent dus een kortere verblijfstijd van het water in de

Radiator-bedrijfsdiagram



radiatoren. Hierdoor heeft het pompmedium dus minder tijd om warmte aan de radiator en dus de ruimte af te geven.

Voorbeeld voor een radiator-bedrijfsdiagram 90/70 °C, kamertemperatuur 20 °C

Het is dus absoluut verkeerd om de pomp op grond van een zogenaamde "angsttoeslag" groter dan noodzakelijk te dimensioneren.

Zelfs een duidelijke onderdimensionering heeft slechts relatief geringe gevolgen: bij een debiet van 50% zullen de radiatoren nog ca. 83% verwarmingsenergie aan de ruimte kunnen afgeven.

Pomp-planningssoftware

Met pomp-selectiesoftware zoals Wilo-Select beschikt u over een complete en effectieve selectie-service. Vanaf de berekening tot aan het ontwerp van de pomp en de bijbehorende documentatie hebt u alle noodzakelijke gegevens tot uw beschikking.

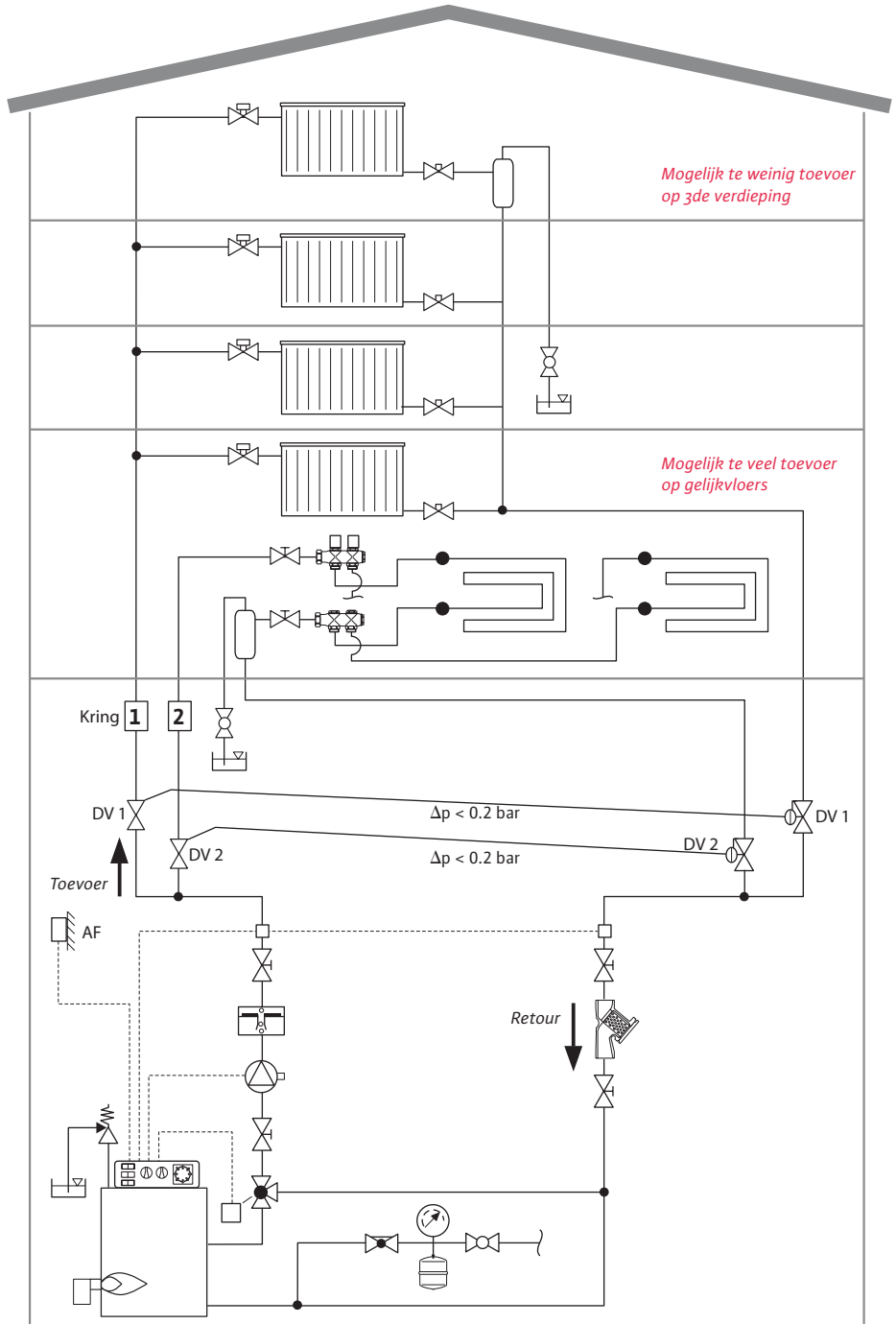
De Wilo-Select Classic is een selectiesoftware voor pompen, systemen en componenten. Hiermee kunt u de volgende menupunten praktijkgericht bewerken:

- berekening
- ontwerp
- catalogus & artikelonderzoek
- pompvervanging
- documentatie
- stroomkosten- en afschrijvingsberekeningen
- levenscycluskosten (Life Cycle Costs)
- data-export naar Acrobat PDF, DXF, GAEB, Datnorm, VDMA, VDI, CEF
- automatische internet-update



Schematische weergave van een verwarmingsinstallatie met de mogelijkheid tot hydraulische afregeling

-  Luchtafseparator op de hoogste positie in de installatie
-  KFE kraan
-  Thermostatische kraan (TV)
-  Retour stopkraan
-  Regelkraan
-  Magneetventiel
-  Retour stopkraan
-  Verschildrukregelaar (DV)
-  Circulator met regelaar
-  Begrenzer (SB)
-  3-weg ventiel
-  Filter
-  Membraanexpansievat (DET) met KV aansluiting en KFE kraan
-  Veiligheidsventiel
-  Overloopreservoir



Tot de efficiënte werking van een pomp behoort de hydraulische afregeling.

Alles over hydraulica

Om een zo geluidsarm mogelijke en optimale warmteverdeling te bereiken is hydraulische afregeling noodzakelijk.

Tegelijkertijd moet deze hydraulische afregeling voorkomen dat de verbruikers te weinig of te veel gevoed worden.

Het nominale debiet voor het voeden van de lijnen wordt door de pomp aan het buizenstelsel geleverd. De verbruikers (b.v. radiatoren) hebben echter slechts een evenredig vermogen nodig, dat afhankelijk is van de grootte en het vermogen van de radiator en de instelling van het thermostaat- en regelventiel.

Zodat elke afzonderlijke verbruiker met het juiste debiet en de juiste druk wordt gevoed, kunnen drukverschilregelaars, lijnregelventielen, thermostaat- en regelventielen met instelling vooraf of instelbare terugloopschroefverbindingen worden ingebouwd.

Op de ventielen en regelaars kunnen conform de gegevens van de fabrikant (ontwerpverschildruk tussen 40 en 140 mbar) de instellingen voor verbruikers worden aangepast. Voorts moeten de verbruikers tegen een te hoge pompdruk worden beveiligd. De max. pompdruk voor bijvoorbeeld thermostaatventielen mag de 2 m niet overschrijden. Wordt deze druk door de constructie van de installatie overschreden, dan moeten er verschil-drukregelaars in de stijglijnen worden opgenomen zodat deze grenswaarde wordt aangehouden.

*Zie ook hoofdstuk
"Toepassingsvoorbeeld",
pagina 42*

Instelling van elektronisch geregelde circulatiepompen

De huidige circulatiepompen met elektronische toerentalregeling bieden een zeer eenvoudige mogelijkheid om de noodzakelijke opvoerhoogte op een onbekende installatie in te stellen:

- Voorwaarde is dat de leidingen zorgvuldig zijn afgeregeld en dat het systeem is ontvlucht. Alle regelventielen moeten worden geopend.
- Voor het instellen van de opvoerhoogte hebben de pompen instelknoppen op de elektronica, afhankelijk van de fabrikant met of zonder schaalindeling. Er wordt begonnen met de kleinste instelling van de opvoerhoogte. Bij de ongunstigste radiator van het gehele verwarmingssysteem bevindt zich een collega met een walkietalkie.
- Na de eerste melding dat er geen warm verwarmingswater bij dit ver weg gelegen punt aankomt, wordt de opvoerhoogte met de instelknop langzaam verhoogd. Hierbij moet rekening worden gehouden met de traagheid van het verwarmingssysteem.
- Op het moment, waarop ook de ongunstigste radiator met verwarmingsenergie wordt gevoed, kan de instelling worden beëindigd.

Koppelen van meerdere pompen

Alle uiteenzettingen tot nu toe hadden telkens betrekking op één centrifugaalpomp. Er zijn in de praktijk echter bedrijfssituaties, waarin een pomp alleen niet aan de gestelde eisen kan voldoen.

In dergelijke gevallen worden twee of meer pompen geïnstalleerd. Afhankelijk van het doel worden de pompen in serie of parallel geschakeld.

Alvorens in te gaan op de details van de bedrijfsfuncties, wijzen we op een principiële, maar vaak gehoorde fout: het is verkeerd om te beweren dat in het algemeen twee gelijke pompen in serieschakeling een dubbele opvoerhoogte en dat twee gelijke pompen in parallelschakeling het dubbele debiet zouden leveren.

Dit is theoretisch weliswaar mogelijk, maar constructief en installatietechnisch gezien niet te realiseren.

Pompen in serieschakeling

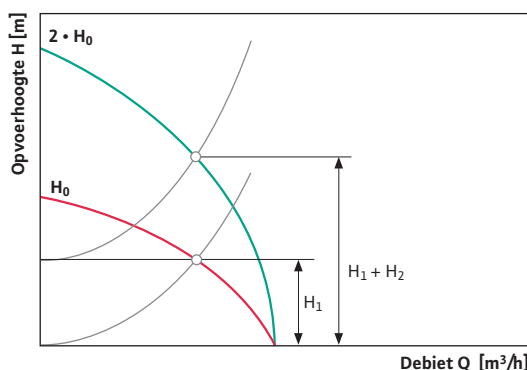
Als twee pompen achter elkaar worden ingebouwd, dan worden de pompkarakteristieken bij elkaar opgeteld, dat wil zeggen dat als ze tegen een gesloten schuif werken, de opgewekte druk wordt opgeteld. De nul-opvoerhoogte bij twee even grote pompen wordt dus verdubbeld.

Als we nu het andere extreme punt bekijken, dat wil zeggen bij drukloos verpompen, dan kunnen twee pompen geen grotere hoeveelheid vloeistof transporteren dan slechts één pomp.



Serieschakeling van twee in een huis geïnstalleerde pompen met gelijk debiet – opvoerhoogten worden opgeteld op punten van gelijk debiet

Pompkarakteristiek bij serieschakeling



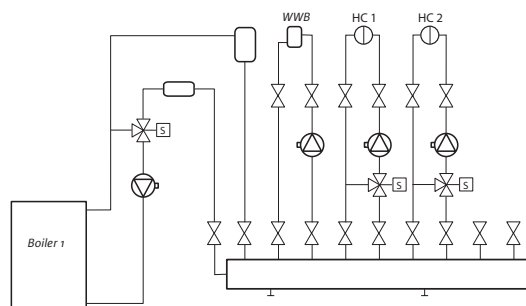
In de praktijk betekent dit dat er voor beide delen van de hydraulische arbeid evenredige verhogingen ontstaan:

- Op de verticale as van het karakteristiekdiagram – dus voor de opvoerhoogte H – geldt, dat hoe verder naar links de installatiekarakteristiek zich bevindt, des te sterker de verhoging is.
- Op de horizontale as van het karakteristiekdiagram – dus voor het debiet Q – geldt dat de verhoging uiterst gering uitvalt.

Toepassingsvoorbeeld: meer-pompen kringlopen (pompen in serieschakeling)

In grote verwarmingsinstallaties worden om regeltechnische redenen meerdere verwarmingskringen aangelegd. Soms zijn ook meerdere ketels geïnstalleerd.

Installatievoorbeeld met meerdere verwarmingskringlopen



De pompen voor de warmwaterbereiding (WWB) en voor de verwarmingskringen HK_1 en HK_2 werken onafhankelijk van elkaar. De circulatiepompen zijn ontworpen om de desbetreffende systeemweerstand te overwinnen. Elk van deze drie pompen is in serie geschakeld met de ketelkringpomp KP. Deze heeft de taak om de reeds in de ketelkring optredende weerstand te overwinnen.

Bij de voorafgaande theoretische beschouwingen werd uitgegaan van even grote pompen. Zoals in het afgebeelde schema kunnen echter de debieten voor elke pomp anders zijn.

Een groot gevaar bestaat bij deze installatie als de debieten niet zorgvuldig op elkaar worden afgestemd. Wordt door de ketelkringpomp een te hoge pompdruk opgewekt, dan kunnen een of alle verdelerpompen een te grote voordruk bij de zuigaansluiting krijgen. Deze werken dan niet meer als pomp, maar als turbine (generatorisch bedrijf). Ze worden in gang geduwd. Hierdoor treden zeer snel bedrijfsstoringen en defecten aan de pomp op. (Op het oplossen van problemen van de hydraulische ontkoppeling kan hier niet worden ingegaan.)

Pompen in parallelschakeling

Als twee pompen parallel aan elkaar worden ingebouwd, dan worden de pompkarakteristieken bij elkaar opgeteld, dat wil zeggen dat als ze zonder druk, dus tegen een open buis werken, het debiet wordt opgeteld. Het maximale debiet bij twee even grote pompen wordt dus verdubbeld.

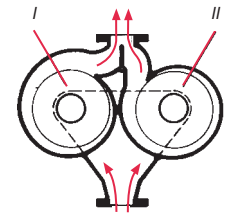
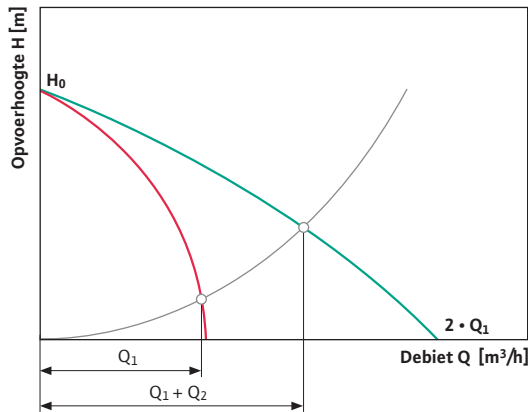
Er is al op gewezen dat dit karakteristiekpunt slechts een theoretische grenswaarde is.

Bij bestudering van het andere extreme punt, dat wil zeggen bij de nul-opvoerhoogte, kunnen twee parallel werkende pompen geen grotere opvoerhoogte leveren dan slechts één pomp.

In de praktijk betekent dit dat er voor beide delen van de hydraulische arbeid ook hier evenredige verhogingen ontstaan:

- Op de horizontale as van het karakteristiekdiagram – dus voor het debiet Q, dat hoe verder naar rechts de installatiekarakteristiek zich bevindt, des te sterker de verhoging is.
- Op de verticale as – dus voor de opvoerhoogte H – geldt dat de verhoging het sterkst is in het midden van de karakteristieken.

Karakteristiek voor parallelbedrijf



Beide pompen in werking

Parallelschakeling van 2 pompen met dezelfde karakteristiek

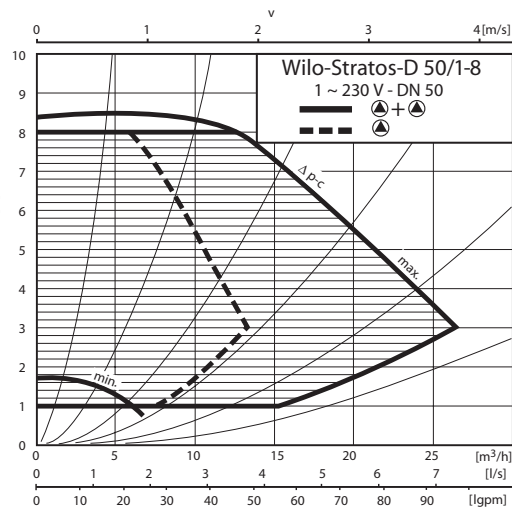
Toepassingsvoorbeeld: parallelbedrijf

Als de verwarmingsenergiebehoefte zijn hoogste waarde bereikt, werken de pompen I en II samen in parallelbedrijf. De hiervoor noodzakelijke regelapparaten zijn bij moderne pompen in opsteekmodules c.q. in de elektronicamodule met desbetreffende toebehoren opgenomen

Aangezien elk van de beide in de dubbele pomp gemonteerde afzonderlijke pompen weer in meerdere trappen schakelbaar is of traploos geregeld wordt, levert dit een breed spectrum van de pomp-aanpassing aan de verwarmingsbehoefte op.

Dit blijkt uit de volgende karakteristiek. De stippellijn is de karakteristiek bij afzonderlijk bedrijf van een van de beide pompen. De dikke zwarte lijn is de gezamenlijke pompkarakteristiek bij opgeteld bedrijf.

Karakteristiek Wilo-Stratos D



Parallelschakeling van twee pompen met gelijk vermogen – daadwerkelijke toename van het debiet

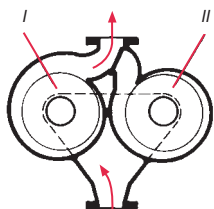
Bij uitval van een pomp is nog meer dan 50% van het debiet beschikbaar. Volgens het radiatorbedrijfsdiagram betekent dit dat er nog altijd een verwarmingsvermogen van meer dan 83% door de radiator kan worden afgegeven.

Zie hoofdstuk "Effecten van het ruwe pompontwerp", pagina 43

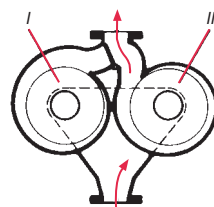
Toepassingsvoorbeeld: hoofd- en reservepomp

Het doel van de verwarming is om de woningen in het koude jaargetijde te verwarmen. Daarom is het aan te bevelen om voor een eventuele storing in elke verwarmingskring een reservepomp in te bouwen. Dit geldt bijvoorbeeld voor meergezinswoningen, ziekenhuizen of openbare instellingen.

Anderzijds ontstaan er door het inbouwen van een tweede pomp inclusief de bijbehorende armaturen en de regeling duidelijk hogere installatiekosten. Een goed compromis vormen de door de industrie aangeboden dubbele pompen. In één huis zijn twee waaiers met hun aandrijfmotoren ondergebracht.



In reservebedrijf lopen de beide pompen I en II afwisselend (bijvoorbeeld elk 24 uur). De andere pomp staat dan stil. Het terugstromen van het verpompte medium door de stilstaande pomp wordt voorkomen door een standaard ingebouwde omkeerklep.



Pomp I of pomp II in bedrijf

Als, zoals aan het begin van dit hoofdstuk is beschreven, een van de beide pompen uitvalt, dan wordt er automatisch overgeschakeld op de bedrijfsklare pomp.

Piekbelastingbedrijf met meerdere pompen

Bij installaties met een groot debiet worden ook meerdere afzonderlijke deellastpompen geïnstalleerd, bijvoorbeeld een ziekenhuis met 20 gebouwen en een centraal ketelhuis.

In het volgende voorbeeld zijn grote droogloperpompen met geïntegreerde elektronica parallel aan elkaar geïnstalleerd. Afhankelijk van de eisen kunnen dergelijke piekbelastingsinstallaties uit twee of meer even grote pompen bestaan.

De regeling houdt in combinatie met de verschilddruksensor de totale pompdruk constant ($\Delta p-c$).

Het is daarbij volkomen irrelevant welke debieten de thermostaatventielen bij alle radiatoren doorlaten en hoeveel van de vier pompen op dat moment in bedrijf zijn.

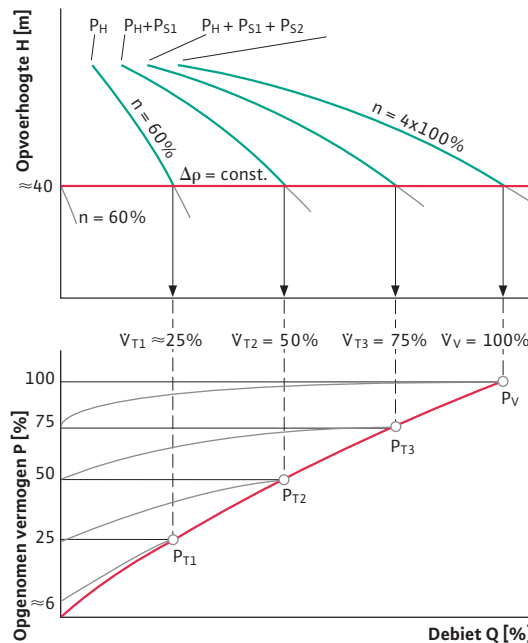
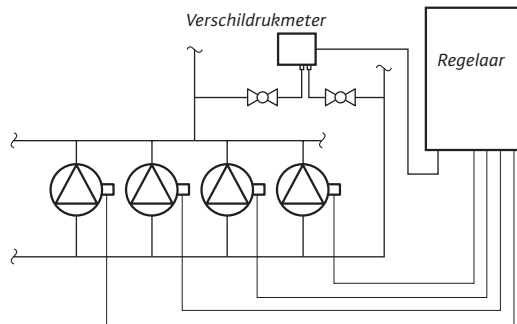
Als in een dergelijke installatie een hydraulische afregeling plaatsvindt, dan worden deze schakelingen ook gebruikt om via een analyse van het slechtste punt de toevoer zeker te stellen. Hierbij wordt – zoals de naam al zegt – de signaalgever bij het slechtst te voeden punt van de installatie geïnstalleerd. Het stuursignaal van de signaalgever wordt dan naar het schakelapparaat geleid en wordt daar aan de omstandigheden en de traagheid van de installatie aangepast. De aangesloten pompen worden dan door het stuurapparaat via de bijvoorbeeld geïntegreerde elektronica dienovereenkomstig aangestuurd.

De in het voorbeeld weergegeven totale installatie wordt als volgt geregeld:

De grondlastpomp PH met geïntegreerde elektronica wordt traploos tussen het maximale toerental $n = 100\%$ en een minimaal toerental $n = 40\%$ geregeld, aangestuurd door de verschildruksensor DDG. Hierdoor beweegt het deellast-debiet zich glijdend in het gebied $Q_{T1} < = 25\%$. Als een debiet $Q_T > 25\%$ nodig is, dan wordt ook de eerste pieklastpomp met eveneens geïntegreerde elektronica P_{S1} met volledig toerental ingeschakeld. De hoofdpomp PH blijft traploos geregeld, zodat de invloed hiervan ook het totale debiet tussen 25% en 50% afgestemd op de behoefte instelt.

Dit proces wordt herhaald door het eveneens inschakelen van de deellast-pompen met geïntegreerde elektronica P_{S2} en P_{S3} , telkens met volledig toerental. De maximale warmtebehoefte van het gehele ziekenhuis wordt gedekt, als alle vier de pompen met hun grootste vermogen werken – dan leveren ze de vollast-debiet V_V . Op dezelfde wijze worden piekbelastingpompen met geïntegreerde elektronica P_{S3} tot en met P_{S1} bij gereduceerde warmtebehoefte weer uitgeschakeld.

Traploos geregelde installatie met meerdere pompen



- Legende:**
 P_H = hoofdpomp
 P_S = piekbelastingpomp 1-3
 V_V = vollast-debiet
 V_T = deellast-debiet
 P_V = opgenomen vermogen vollast
 P_T = opgenomen vermogen deellast

Om een zo gelijkmatig mogelijke bedrijfstijd van alle circulatiepompen te bereiken, wordt de taak van de geregelde hoofdpomp dagelijks roulerend doorgegeven.

Uit het onderste diagramma blijkt welke grote besparingen, afhankelijk van het type pomp, ook bij het opgenomen vermogen kunnen worden bereikt.

Voor grote installaties is het voordeel van jarenlange geringe bedrijfskosten belangrijker dan lage investeringskosten. Want de vier kleinere pompen met geïntegreerde elektronica en besturing kunnen meer kosten dan één grote pomp zonder besturing. Wordt echter gekeken naar een bedrijfsperiode van tien jaar, dan kunnen de besparingen een meervoud bedragen van de investeringskosten voor besturing en pompen met geïntegreerde elektronica. Een ander bijkomend effect is een betere voeding van de installatie met minder geluid en een verhoogd rendement door verbeterde toevoer naar de verbruikers. Dit kan zelfs leiden tot een duidelijke besparing op de primaire energie.

Slotbeschouwingen

In dit elementair pompenhandboek “Principes van de pomptechniek” is, beginnend bij vroege ontwikkelingen en eenvoudige verbanden en later voortgezet met zeer geavanceerde voorbeelden, een overzicht gegeven van hoe en waar pompen kunnen en moeten worden gebruikt.

De complexe verbanden van het pompbedrijf zijn verduidelijkt en tevens is aangegeven welke bedrijfsverbeteringen er tegenwoordig door elektronische regelingen mogelijk zijn.

Gerelateerd aan een verwarmingsinstallatie in een gebouw is de circulatiepomp qua grootte en aanschafkosten een van de kleinste elementen van het totale systeem. Maar zij zorgt er wel voor dat alle andere elementen correct kunnen functioneren. Vergeleken met het menselijk lichaam kan dus gezegd worden: de pomp is het hart van de installatie!

Wist u dat?

Wie wil, kan met behulp van de volgende vragen zijn kennis over de “Principes van de pomptechniek” testen.

Geschiedenis van de pomptechniek

Vragen over de onderwerpen:

- Watervoorziening
- Waterafvoer
- Verwarmingstechniek



Vraag 1:

- Pompen waren al in de oudheid bekend. (1)
- Pompen zijn uitgevonden ten behoeve van de verwarming (2)
- Met pompen kan alleen water worden getransporteerd. (3)

Vraag 2:

- Archimedes vond het scheprad uit (1)
- De Chinezen vonden de centrifugaalpomp uit (2)
- De hoek van de Archimedische schroef bepaalt de te leveren hoeveelheid (3)

Vraag 3:

- In 1856 werden de eerste riolen gebouwd (1)
- De Cloaca Maxima ontstond in Rome (2)
- Een opvoerinstallatie moet bij elke afvoer worden gemonteerd. (3)

Vraag 4:

- De Germanen kenden al centrale verwarming (1)
- De Romeinen bouwden al vloerverwarming (2)
- In de 17^e eeuw werden de huizen door stoommachines verwarmd. (3)

Vraag 5:

- In thermosiphonverwarmingen worden zware, krachtige verwarmingspompen ingebouwd (1)
- Stoomverwarmingen werken tussen 90 °C en 100 °C (2)
- Door circulatiepompen zijn pas laagtemperatuurverwarmingssystemen mogelijk (3)

Vraag 6:

- Pompen worden al eeuwenlang gebruikt:
- om water te transporteren (1)
 - bij stoomverwarmingen (2)
 - bij zwaartekrachtverwarmingen (3)

Vraag 7:

- De in 1929 gepatenteerde circulatieversneller
- was de verdere ontwikkeling van de vaak gebruikte verwarmingspomp (1)
 - was de eerste buisbouw pomp voor verwarmingen (2)

Vraag 8:

- Verwarmingcirculatiepompen zijn in het menselijk lichaam te vergelijken met:
- de armen (1)
 - het hart (2)
 - het hoofd (3)

Vraag 9:

- De voordelen van de verwarmingcirculatiepompen zijn gelegen:
- in geringere installatiekosten (1)
 - in aangepaste bedrijfskosten (2)
 - in aan te passen regelingen (3)
 - in al deze zaken (4)

Vraag 9: nr. 4
Vraag 8: nr. 2
Vraag 7: nr. 2
Vraag 6: nr. 1
Vraag 5: nr. 3
Vraag 4: nr. 2
Vraag 3: nr. 2
Vraag 2: nr. 3
Vraag 1: nr. 1
Antwoorden:

Water – ons transportmiddel



- Vragen over de onderwerpen:
- Warmtecapaciteit
 - Volumetoename en -afname
 - Druk

Vraag 1:

Water zet uit:

- bij verwarming boven 0 °C (1)
- bij afkoeling onder 0 °C (2)
- bij verwarming of afkoeling vanaf + 4 °C (3)

Vraag 2:

De volgende begrippen betekenen hetzelfde:

- arbeid, vermogen en rendement (1)
- arbeid, energie en hoeveelheid warmte (2)
- arbeid, zin en plezier (3)

Vraag 3:

Bij verwarming

- wordt het soortelijk gewicht van water minder (1)
- wordt het soortelijk gewicht van water meer (2)
- behoudt water zijn dichtheid (3)

Vraag 4:

Bij het bereiken van de kooktemperatuur

- blijft de watertemperatuur stijgen (1)
- blijft de watertemperatuur op het kookpunt (2)
- daalt de watertemperatuur weer (3)

Vraag 5:

Cavitatie kan worden voorkomen door

- keuze van een pomp met geringe NPSH-waarde (1)
- de statische druk te verlagen (2)
- de dampdruk PD te verhogen (3)

Vraag 6:

De in het water beschikbare warmte-energie is afhankelijk van

- de warmtecapaciteit van het water (1)
- de massa van het verplaatste water (2)
- het temperatuurverschil tussen voor- en terugloop (3)
- de combinatie van de drie genoemde invloedsfactoren (4)

Vraag 7:

Zwaartekrachtverwarmingen werken beter

- bij kleinere buisleidingweerstand (1)
- bij grotere buisleidingweerstand (2)

Vraag 8:

De veiligheidsklep

- dient voor het be- en ontluichten van de installatie (1)
- beschermt tegen een ontoelaatbare drukbelasting in het systeem (2)
- is bij de inbouw van elektronische pompen nutteloos (3)

Antwoorden:
 Vraag 1: Nr. 3
 Vraag 2: Nr. 2
 Vraag 3: Nr. 1
 Vraag 4: Nr. 2
 Vraag 5: Nr. 1
 Vraag 6: Nr. 4
 Vraag 7: Nr. 1
 Vraag 8: Nr. 2

Constructiekenmerken

Vragen over de onderwerpen:

- Zelfaanzuigende en normaal aanzuigende pompen
- Natloperpompen
- Droogloperpompen



Vraag 1:

De zuighoogte

- is afhankelijk van de luchtdruk (1)
- bedraagt theoretisch 10,33 m (2)
- is van invloed op de opvoerhoogte (3)
- de beweringen 1 – 3 zijn correct (4)

Vraag 2:

Zelfaanzuigende pompen

- zijn beperkt in staat om de zuigleiding te ontlichten (1)
- moeten een zo kort mogelijke zuigleiding hebben (2)
- moeten voor inbedrijfstelling gevuld worden (3)
- alle bovengenoemde punten zijn correct (4)

Vraag 3:

Het verwarmingswater in de spleetbusruimte van natloperpompen

- dient voor koeling en smering (1)
- ondersteunt de opvoerhoogte (2)
- is eigenlijk helemaal niet nodig (3)

Vraag 4:

De voordelen van een natloperpomp zijn:

- goede rendementen (1)
- hoge verwarmingskringtemperaturen (2)
- stille werking en geen onderhoud (3)

Vraag 5:

De aanbevolen inbouwstand van een droogloper-inlinepomp

- is met verticale asplaatsing (1)
- is met horizontale asplaatsing (2)
- kan, behalve met de motor naar beneden, willekeurig worden gekozen. (3)

Vraag 6:

Droogloperpompen worden gebruikt

- bij kleine volumestromen (1)
- bij grote volumestromen (2)
- bij ontbrekende motorsmering (3)

Vraag 7:

Het rendement van de pomp is de verhouding

- van de persopening tot de zuigopening (1)
- van het aandrijfvermogen tot het afgegeven vermogen (2)
- van het afgegeven tot het opgenomen vermogen (3)

Vraag 8:

Het beste rendement van een centrifugaalpompligt

- in het linker deel van de karakteristiek (1)
- in het middelste deel van de karakteristiek (2)
- in het rechter deel van de karakteristiek (3)

Vraag 9:

Glijringafdichtingen

- bestaan uit synthetische vezels of uit hennep (1)
- zijn aslagers (2)
- worden bij droogloperpompen gebruik (3)

Antwoorden:
Vraag 1: Nr. 4
Vraag 2: Nr. 4
Vraag 3: Nr. 3
Vraag 4: Nr. 3
Vraag 5: Nr. 3
Vraag 6: Nr. 2
Vraag 7: Nr. 3
Vraag 8: Nr. 2
Vraag 9: Nr. 3

Karakteristieken



Vragen over de onderwerpen:

- Pompkarakteristiek
- Installatiekarakteristiek/buizenstelselkarakteristiek
- Bedrijfspunt

Vraag 1:

Elektrische aandrijfenergie

- wordt in hoge druk omgezet (1)
- wordt in drukverhoging en beweging omgezet (2)
- wordt uit hydraulische energie gewonnen (3)

Vraag 2:

Op de assen van het karakteristiekdiagram staan:

- verticaal de opvoerhoogte en horizontaal het debiet (1)
- verticaal het debiet en horizontaal de opvoerhoogte (2)
- verticaal de energie en horizontaal het medium (3)

Vraag 3:

De installatiekarakteristiek toont:

- de toename van de weerstand ten opzichte van het debiet (1)
- de toename van het debiet ten opzichte van de druk (2)
- de verandering van het debiet met de watersnelheid (3)

Vraag 4:

De leidingweerstand verandert

- lineair met het debiet (1)
- kwadratisch met het debiet (2)
- kubisch met het debiet (3)

Vraag 5:

De door de verwarmingscirculatiepomp geleverde opvoerhoogte moet worden ontworpen

- voor de gebouwhoogte (1)
- voor de leidingweerstand (2)
- voor de beide hierboven genoemde waarden (3)

Vraag 6:

Het door de verwarmingscirculatiepomp geleverde debiet moet worden ontworpen

- voor een gemiddelde buitentemperatuur (1)
- voor de gewenste binnentemperatuur (2)
- voor de berekende warmtebehoefte (3)

Antwoorden:
 Vraag 1: Nr. 2
 Vraag 2: Nr. 1
 Vraag 3: Nr. 1
 Vraag 4: Nr. 2
 Vraag 5: Nr. 2
 Vraag 6: Nr. 3

Pompaanpassing aan de verwarmingsbehoefte

Vragen over de onderwerpen:

- Weersschommelingen
- Pomptoerentalregeling
- Traploze toerentalregeling
- Regelingsmodi



Vraag 1:

De verwarmingsbehoefte van een gebouw

- is steeds gelijk (1)
- verandert met het jaargetijde (2)
- stijgt van jaar tot jaar (3)

Vraag 2:

Bij veranderde verwarmingsbehoefte

- regelen de thermostaatventielen (1)
- regelen de ramen = open/dicht (2)
- wordt de systeemdruk geregeld (3)

Vraag 3:

Het toerental van pompen wordt veranderd

- om het noodzakelijke debiet aan te passen (1)
- om de ontlastingsklep te ontlasten (2)
- om een verkeerde pompaanleg te corrigeren (3)

Vraag 4:

Het veranderen van het pomptoerental

- gebeurt steeds handmatig (1)
- gebeurt steeds automatisch (2)
- gebeurt afhankelijk van de uitrusting handmatig of automatisch (3)

Vraag 5:

De traploze toerentalregeling

- is beter dan de trapschakeling (1)
- is slechter dan de trapschakeling (2)
- levert dezelfde resultaten als de trapschakeling (3)

Vraag 6:

Bij elektronisch geregelde circulatiepompen

- kan de warmtebehoefte worden ingesteld (1)
- kan de levensduur worden ingesteld (2)
- kan de opvoerhoogte worden ingesteld (3)

Vraag 7:

Regelingsmodus $\Delta p-c$ = verschildruk constant

- het debiet wordt door een constant toerental verhoogd (1)
- het toerental past zich aan het benodigde debiet aan (2)
- de voordruk van het membraanexpansievat in een gesloten systeem blijft altijd constant (3)

Vraag 8:

De bedrijfsmodus automatische reductie (Autopilot)

- wordt door een tijdschakelklok vooraf ingesteld (1)
- is afhankelijk van de kamertemperatuur (2)
- mag alleen in hydraulisch afgeregelde verwarmingsinstallaties worden vrijgeschakeld (3)

Vraag 9:

Nieuwste ECM pomptechnologie (HR)

- de rotor bestaat uit een permanente magneet (1)
- bespaart tot 80% bedrijfskosten vergeleken met tot nu toe gebruikelijke pompen (2)
- het draaien van de rotor wordt door elektronische commutatie opgewekt (FU) (3)
- de punten 1-3 zijn van toepassing op de op dit moment zuinigste natloperpompen (4)

Antwoorden:
Vraag 1: Nr. 2
Vraag 2: Nr. 1
Vraag 3: Nr. 3
Vraag 4: Nr. 3
Vraag 5: Nr. 1
Vraag 6: Nr. 3
Vraag 7: Nr. 2
Vraag 8: Nr. 3
Vraag 9: Nr. 4

Ruw pompontwerp



Vragen over de onderwerpen:

- Pompdebiet
- Pompopvoerhoogte
- Pompontwerp
- Hydraulische afregeling

Vraag 1:

De keuze van een verwarmingscirculatiepomp gebeurt

- volgens de opgegeven nominale doorlaat (1)
- vanuit het oogpunt van de prijs (2)
- met inachtneming van de vermogensgegevens (3)

Vraag 2:

Bij verhoging van het debiet met 100%

- wordt het verwarmingsvermogen met ca. 2% gereduceerd (1)
- neemt het verwarmingsvermogen met ca. 12% toe (2)
- blijft het verwarmingsvermogen gelijk (3)

Vraag 3:

Bij twijfel bij de aanleg van een verwarmingspomp

- wordt de kleinste pomp gekozen (1)
- wordt de grootste pomp gekozen (2)
- wordt de goedkoopste pomp gekozen (3)

Vraag 4:

In een watertransportsysteem moet de pomp-opvoerhoogte worden afgestemd

- op de geodetische hoogte (1)
- op de rest-stromingsdruk (2)
- op de buiswrijvingsweerstand (3)
- op de som van de waarden 1 tot en met 3 (4)

Vraag 5:

Bij verwarmingsinstallaties moet de opvoerhoogte worden afgestemd

- op de geodetische hoogte (1)
- op de rest-stromingsdruk (2)
- op de buiswrijvingsweerstand (3)
- op de som van de waarden 1 tot en met 3 (4)

Vraag 6:

Waarom worden verwarmingsinstallaties afgeregeld?

- Om een optimale warmteverdeling te bereiken (1)
- Installatie moet geluidsarm werken (2)
- Verbruikers moeten tegen te weinig of te veel toevoer worden beschermd (3)
- Alle voornoemde punten zijn correct en belangrijk (4)

Vraag 7:

Hoe wordt een elektronische pomp bij onbekende gewenste opvoerhoogte correct ingesteld?

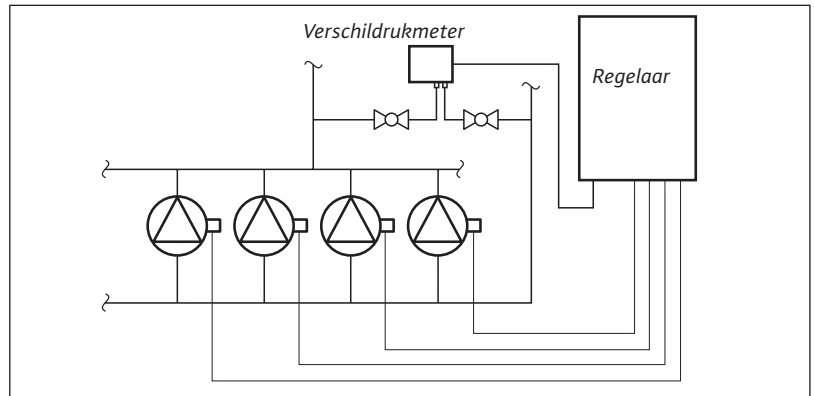
- Het beste met een tweede persoon (1)
- Na zorgvuldige ontluchting en hydraulische afregeling (2)
- Er wordt met de laagste instelwaarde van de pomp begonnen (3)
- Zodanig dat de ongunstigste radiator met voldoende verwarmingsenergie wordt gevoed (4)
- De instelling is afgerond als aan alle vier de punten is voldaan (5)

Antwoorden:
 Vraag 1: Nr. 3
 Vraag 2: Nr. 2
 Vraag 3: Nr. 1
 Vraag 4: Nr. 4
 Vraag 5: Nr. 3
 Vraag 6: Nr. 4
 Vraag 7: Nr. 5

Koppelen van pompen

Vragen over de onderwerpen:

- Pompen in serieschakeling
- Pompen in parallelschakeling
- Piekbelastingsbedrijf met meerdere pompen



Vraag 1:

Worden twee pompen in serie geschakeld, dan

- wordt de opvoerhoogte verdubbeld (1)
- wordt het debiet verdubbeld (2)
- zijn de veranderingen afhankelijk van de installatiekarakteristieken (3)

Vraag 2:

Bij serieschakeling van pompen bestaat het gevaar

- van generatorisch bedrijf – pomp wordt “in gang geduwd” (1)
- dat de pompcapaciteiten elkaar opheffen (2)
- dat het systeem te weinig gevoed wordt (3)

Vraag 3:

Worden twee pompen parallel geschakeld, dan

- wordt de opvoerhoogte verdubbeld (1)
- wordt het debiet verdubbeld (2)
- zijn de veranderingen afhankelijk van de installatiekarakteristieken (3)

Vraag 4:

Dubbele pompen kunnen werken:

- overwegend in reserve-bedrijf (1)
- overwegend in samentellend bedrijf (2)
- naar keuze in beide bedrijfsmodi (3)

Vraag 5:

Door in grote installaties de noodzakelijke pompcapaciteit over meerdere pompen te verdelen

- worden de bedrijfskosten gereduceerd (1)
- wordt de levensduur van de pompen verlengd (2)
- zowel 1 als 2 is correct (3)

Vraag 6:

Hoe wordt de regelingsmodus genoemd, waarbij de signaalgever verder verwijderd van het schakelapparaat in de installatie wordt gemonteerd?

- Zwaartepuntregeling (1)
- Moeilijke regeling (2)
- Slechtste-punt-regeling (3)

Vraag 7:

Waarop moet bij parallelschakeling van de pompen via een stuurapparaat worden gelet?

- De pompen moeten even groot zijn (1)
- Het mogen alleen langzaamlopers zijn (2)
- Het mogen alleen snellopers zijn (3)

Vraag 7: Nr. 1
 Vraag 6: Nr. 3
 Vraag 5: Nr. 3
 Vraag 4: Nr. 3
 Vraag 3: Nr. 3
 Vraag 2: Nr. 1
 Vraag 1: Nr. 3
 Antwoorden:

Wettelijke eenheden, uittreksel voor centrifugaalpomp

Fysische grootheid	Symbool	Legale eenheden		Eenheden niet langer toegelaten	Aanbevolen eenheden	Opmerkingen	
		SI eenheid	Andere legale eenheden (onvolledige listing)				
Lengte	l	m	meter	km, dm, cm, mm, μm		m	Basiseenheid
Volume	V	m^3		dm^3 , cm^3 , mm^3 , liter (1 l = 1 dm^3)	cbm, cdm, ...	m^3	
Debiet	Q	m^3/s		m^3/h , l/s		l/s en m^3/s	
Volumestroom	V						
Tijd	t	s	Seconde	s, ms, μs , ns, ... min, h, d		s	Basiseenheid
Snelheid	n	tps		tpm		tpm	
Massa	m	kg	Kilogram	g, mg, μg , Ton (1 t = 1,000 kg)	Pound, Hundred-weight	kg	Basiseenheid De massa van een item wordt gewicht genoemd
Dichtheid	ρ	kg/m^3		kg/dm^3		kg/dm^3 en kg/m^3	De aanduiding "specifiek gewicht" wordt niet langer gebruikt wegens veranderd (zie DIN 1305).
Kracht	F	N	Newton (= $\text{kg m}/\text{s}^2$)	kN, mN, μN , ...	kp, Mp, ...	N	De gravitatie- kracht is het product van de massa m en de locale gravitatie constante
Druk	P	Pa	Pascal (= N/m^2)	Bar (1 bar = 10^5 Pa)	kp/cm ² , at, m waterkolom Torr, ...	bar	1 at = 0.981 bar = $9.81 \cdot 10^4$ Pa 1 mm Hg = 1.333 mbar 1 mm waterkolom = 0.098 mbar
Energie	W,	J	Joule (= Nm = Ws)	kJ, Ws, kWh, ...	kp m, kcal, cal WE	J en kJ	1 kp m = 9.81 J 1 kcal = 4.1868 kJ
Arbeid	Q			1 kW h = 3,600 kJ			
Opvoerhoogte	H	m	Meter		M Fl. S.	m	De opvoerhoogte is de arbeid die wordt geleverd op een vloeistof in J = Nm in functie van de gravitatieconstante
Vermogen	P	W	Watt (= J/s = N m/s)	MW, kW	kp m/s, pk	kW	1 kp m/s = 9.81 W 1 pk = 736 W
Temperatuurverschil	T	K	Kelvin	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{K}$, deg.	K	Basiseenheid