

Koudemiddelpompen

Inleiding

Grote koelsystemen maken vaak gebruik van pompcirculatie om de verdamper van koudemiddel te voorzien. De wijze waarop een koudemiddelpomp wordt aangesloten is zeer belangrijk en mede afhankelijk van de constructie van de pomp.

De meeste koelinstallaties hebben een kringloop gebaseerd op directe expansie (DX). Deze installaties maken gebruik van een thermostatisch expansieventiel voor de verdamper. Thermostatische expansieventielen, mechanisch of elektronisch, zorgen voor oververhit, droog gas aan de uittrede van de verdamper dat door de compressor wordt aangezogen.

Expansieventielen zijn de scheiding tussen het hoge- en het lagedrukdeel van de installatie. Er is meestal voldoende drukverschil om koudemiddelvloeistof naar het expansieventiel te laten stromen en het expansieventiel goed te laten werken.

Pompcirculatie

Grotere systemen maken vaak gebruik van pompcirculatie om de verdamper van koudemiddel te voorzien. Pompcirculatie biedt belangrijke voordelen ten opzichte van DX-koeling, zoals een grote flexibiliteit in de opstelling van de verdamper, kleine temperatuurverschillen, betere benutting van het verdamperoppervlak en een mogelijke lage condensatietemperatuur. Bij een pompsysteem wordt vloeibaar koudemiddel vanuit een afscheider op verzadigingsdruk naar de verbruikers verpompt.

Het verpompen van verzadigde vloeistof stelt speciale eisen aan de toevoering van de pomp, want de vloeistof zal de neiging hebben te verdampen in de zuigaansluiting van de pomp. De gasbellen die hierbij worden gevormd kunnen de pomp beschadigen (cavitatie) en de pomp kan 'in het gas vallen'; er vormt zich dan zoveel gas in de pomp dat er geen vloeistof meer in de pomp kan stromen en de pomp geen debiet en geen druk meer levert. De wijze waarop een koudemiddelpomp op het vat wordt aangesloten is heel belangrijk en mede afhankelijk van de constructie van de pomp.

Centrifugaalpompen

De meest toegepaste koudemiddelpompen zijn uitgevoerd als centrifugaalpomp. Centrifugaalpompen zijn eenvoudig in te bouwen, hebben een lange levensduur en weinig onderhoud nodig. Tegenwoordig worden vooral semi-hermetische pompen toegepast die geen asafdichtingen hebben. De termen 'NPSH (Net Positive Suction Head) beschikbaar' en 'NPSH benodigd' worden in de koudetechniek niet vaak gebruikt maar zijn wel degelijk van toepassing. Het zijn belangrijke waarden om rekening mee te houden.

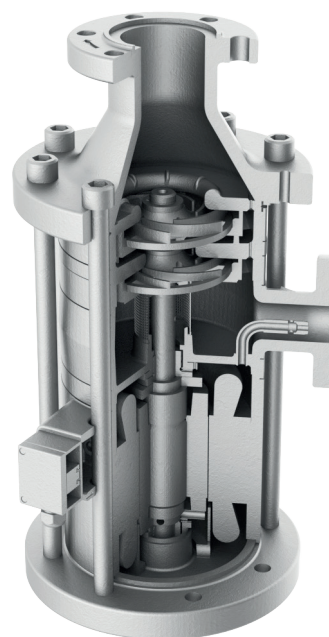


Fig. 1: Opengewerkte koudemiddelpomp.



De zuigzijde van de pomp

Ergens in de zuigzijde van de pomp zal de laagste druk optreden. Deze laagste druk moet altijd boven de verzadigde druk van de vloeistof liggen, om de vorming van dampbellen te voorkomen. NPSH geeft de benodigde druk aan op de intrede van de pomp boven ('positive') de verzadigingsdruk van de verpompte vloeistof. NPSH wordt uitgedrukt in meter vloeistofkolom (mvk) en wordt per pomp in het laboratorium vastgesteld.

Benodigde valhoogte

Een koudemiddelpomp zuigt het koudemiddel aan bij verzadigingstemperatuur, anders dan bijvoorbeeld een CV-pomp waar altijd een voordruk aanwezig is. Het spreekt voor zich dat de koudemiddelpomp altijd onder het vat moet worden geplaatst om een positieve druk ten opzichte van de verzadigingsdruk op de intrede van de pomp te verkrijgen. De beschikbare NPSH wordt beïnvloed door het drukverlies in de zuigleiding van de pomp.

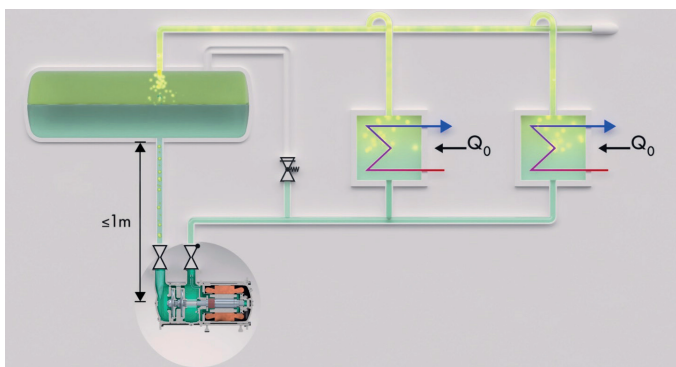


Fig. 2: Vuistregel: 1 meter valhoogte naar het hart van de pomp, bij CO₂ 1,5 meter.

In een koude-installatie wordt de zuig- of valleiding van een pomp, met altijd een kolkbreker op de intrede, geselecteerd op een lage stroomsnelheid (vuistregel is <0,3m/s) om te zorgen dat eventuele dampbellen opstijgen en niet worden meegezogen in de pomp. Deze lage stroomsnelheid geeft te verwaarlozen leidingverliezen. Als geen rekening gehouden wordt met de leidingverliezen, is de valhoogte van de pomp direct de beschikbare NPSH. Fabrikanten geven voor koudemiddelpompen de benodigde valhoogte op, deze zal altijd ruim bo-

ven de benodigde NPSH liggen. Als vuistregel wordt voor NH₃ een valhoogte van 1 meter aangehouden. Voor CO₂ is een valhoogte van 1,5 meter vereist. Een uitzondering is de nieuw ontwikkelde Witt NRP CO₂ pomp. De NRP heeft zulke goede eigenschappen dat hij vaak direct onder het vat gemonteerd kan worden. Indien de NRP "in het gas valt", dan zal de stroming weer op gang komen zodra er weer vloeistof op de zuigzijde wordt aangeboden. Het gas in de pomp wordt dan met de CO₂ vloeistof weggepompt. De NRP pomp is tegen deze -droogloop-omstandigheden goed bestand.

Rekenvoorbeeld

Welke invloed heeft het verhogen van de valhoogte van een pomp? We geven een rekenvoorbeeld: verzadigde ammoniak van -10°C heeft een verzadigingsdruk van 2,907 bar. Bij een valleiding van 1 meter en geen leidingverlies in de valleiding met zuigafsluiter wordt de druk op de intrede van de pomp:

$$\begin{aligned} P_0 + h \cdot \rho \cdot g \\ &= 2,9071 \cdot 10^5 \text{ Pa} + 1 \text{ m} \cdot 652,069 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 297,1 \text{ kPa} = 2,971 \text{ bar} \end{aligned}$$

1 meter valhoogte levert een 'extra' druk van 0,064 bar, bij -10°C verzadiging komt dit overeen met circa 0,5 K.

Dezelfde berekening uitgevoerd voor NH₃ bij -40°C geeft een wijziging van 1,8 K. Anders gezegd: bij de pompintrede heeft de vloeistof met een temperatuur van -10°C een schijnbare onderkoeling van 0,5 K en bij -40°C een schijnbare onderkoeling van 1,8 K. Bij het opschakelen van compressortrappen kan de druk in de afscheider plotseling dalen. Als de drukdaling in de afscheider bij deze temperaturen meer dan 0,5 K resp. 1,8 K is, kan er damp bij de intrede van de pomp ontstaan.

Bij CO₂ geeft deze berekening heel andere waarden. De drukken van CO₂ zijn zeer verschillend van de NH₃-drukken. Uitgaande van de 1,5 meter valhoogte die voor CO₂ wordt voorgeschreven, is de waarde bij To = -10°C 0,18 K en bij -40°C bedraagt hij 0,48 K. Het nog verder verhogen van de valhoogte heeft dus relatief weinig zin om meer schijnbare onderkoeling te verkrijgen.

In tabel 1 zijn de waarden voor de schijnbare onderkoeling per mvk voor NH₃ en CO₂ bij verschillende verzadigingstemperaturen aangegeven.

	Temperatuur						
	-40°C	-30°C	-20°C	-10°C	0°C	10°C	20°C
Koude-middel							
NH ₃	1,84	1,17	0,76	0,54	0,39	0,29	0,22
CO ₂	0,32	0,22	0,17	0,12	0,12	0,08	0,06

Tabel 1: Schijnbare onderkoeling per mvk.

Gasbellen door drukdaling

Daalt de druk in de afscheider door het bijschakelen van een compressorstap, dan verdampt een deel van de vloeistof. Daalt de druk ver genoeg, dan ontstaan ook bellen bij de intrede van de pomp. Of deze bellen in de pomp komen of in de pomp ontstaan en de pomp 'in het gas laten vallen' is mede afhankelijk van de grootte van de compressorstap die wordt bijgeschakeld ten opzichte van een aantal systeemparemeters, waaronder de grootte van de gasruimte in de afscheider, de hoeveelheid vloeistof in de afscheider en de snelheid waarmee dampbellen in de pompzuigleiding kunnen stijgen tegen de vloeistofstroom in.

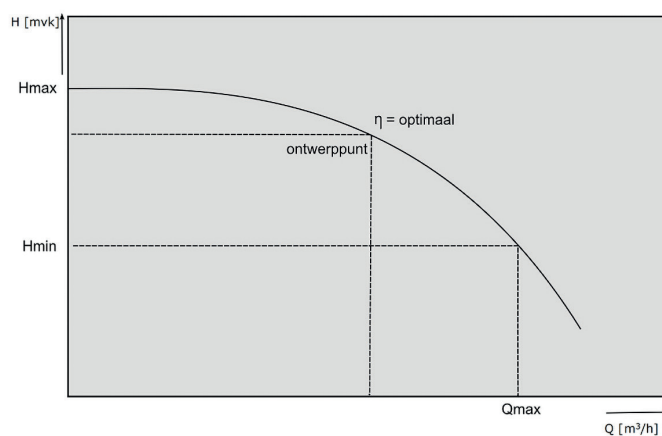
Bij de selectie van compressoren moet gelet worden op de grootte van de stappen die kunnen worden bijgeschakeld. Ook moet gelet worden op de snelheid waarmee dit gebeurt; tussen bijgeschakelingen moet de vloeistof eerst tot rust kunnen komen.

De perszijde van de pomp

Een goed ontwerp van het leidingwerk aan de zuigzijde van de pomp is één van de factoren om gas in de pomp te voorkomen. Dit is belangrijk voor de levensduur van de pomp. Aan de perszijde van de pomp zijn andere factoren belangrijk. Om te zorgen dat alle verdampers voldoende vloeistof krijgen, moet de pomp het drukverlies van het leidingwerk met appendages en eventuele statische hoogte tussen de opstelling van de pompen en de verdampers kunnen overbruggen.

Pompdruk en opvoerhoogte

Het drukverschil dat pompen kunnen leveren wordt vaak opgegeven in meters vloeistof kolom (mvk of mvk). Dit drukverschil wordt de opvoerhoogte genoemd. De eigenschappen van een pomp worden gepresenteerd in de Q-h grafiek, op de horizontale as staat het debiet Q, meestal in m³/h, op de verticale as wordt de opvoerhoogte H in mvk gegeven (grafiek 1).



Grafiek 1: Q-h kromme van een pomp.

Koudemiddel pompen zijn in veel gevallen geschikt voor meerdere koudemiddelen. De Q-h grafiek met de opvoerhoogte in mvk geldt voor alle koudemiddelen. De opvoerhoogte van de pomp in mvk is altijd de zelfde ongeacht het medium dat verpompt wordt. Het drukverschil dat de pomp levert, wordt bepaald door de dichtheid van de verpompte vloeistof en is eenvoudig te berekenen met de volgende formule:

formule 1
$$dP = h \cdot \rho \cdot g \text{ [Pa]}$$

waarbij

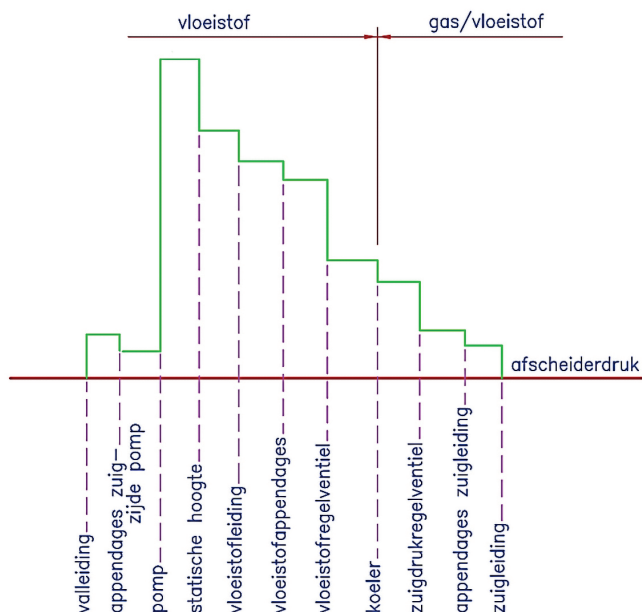
h = de opvoerhoogte mvk of meter vloeistof kolom
 ρ = dichtheid van de verpompte vloeistof [kg/m³]
 g = versnelling van de zwaartekracht 9,81 m/s²

Verschillende koudemiddelen geven een verschillend drukverschil:

Een pomp met een opvoerhoogte van 30mvk levert bij het verpompen van Ammoniak van -10°C een drukverschil van: $dP = 30 \cdot 652,06 \cdot 9,81 = 1,92 \times 10^5 \text{ [Pa]} = 1,92 \text{ bar}$

Dezelfde pomp met 30m_{vk} opvoerhoogte die CO₂ bij -10°C verpompt levert een aanzienlijk hoger drukverschil: $dP = 30 \cdot 982,93 \cdot 9,81 = 2,89 \times 10^5 [\text{Pa}] = 2,89\text{bar}$

Het drukverlies in de pompleiding wordt veroorzaakt door verschillende factoren. Deze factoren worden weergegeven in onderstaande grafiek 2.



Grafiek 2: Overzicht van de verschillende weerstanden in een pompcirculatiesysteem

De hoogste kolom in de grafiek 2 is de opvoerhoogte van de pomp. De kolommen die hier op volgen zijn de verschillende factoren die de opvoerhoogte “verbruiken”.

In de eerste plaats dient rekening gehouden te worden met de statische hoogte indien er een hoogte verschil is tussen de pomp en de verdamper. De statische hoogte in meters kan direct van de opvoerhoogte van de pomp in m_{vk} worden afgetrokken als de pomp lager gemonteerd is dan de verdamper. Staan de pompen hoger dan de verdamper, dan kunnen de meters worden opgeteld, behalve als de natte retour zich opvult met vloeistof. Als de natte retour zich opvult zal de verdampersdruk stijgen met opgebouwde vloeistofkolom en zal de pomp deze extra druk moeten leveren. Met formule 1 kan de opvoerhoogte van de pomp

berekend worden. Het statisch drukverschil door de hoogte van de verdamper, verandert niet als de capaciteit van de installatie wijzigt. Bij de overige weerstanden in de pomppersleiding is dat duidelijk anders, deze zijn allemaal afhankelijk van de snelheid in de leiding, dus van de doorstromende hoeveelheid vloeistof.

De volgende belangrijke factor is het leidingverlies dat per leidingdeel berekend wordt met de formule:

$$\text{formule 2: } dP = Z \cdot l / 2 \cdot \rho \cdot v^2 [\text{Pa}]$$

waarin

Z = weerstandscoefficiënt

ρ = dichtheid van de vloeistof [kg/m^3]

v = snelheid van de vloeistof [m/s]

De parameter v , de snelheid van de vloeistof, is afhankelijk van de hoeveelheid vloeistof die verpompt wordt en de gekozen leidingdiameter. De hoeveelheid vloeistof, in kg/s, is afhankelijk van de koelcapaciteit en het benodigde circulatievoud (CV). Verdamper in een ammoniak koelinstallatie vragen vaak een CV van 3; de voor de koelcapaciteit benodigde hoeveelheid vloeistof wordt 3 voudig naar de verdampers gepompt, 1 deel verdampt, 2 delen komen via de natte retour als vloeistof terug naar de afscheider. Bij CO₂ wordt vaak met een CV van 1,5 gerekend.

Als de hoeveelheid vloeistof bekend is kan een leidingdiameter gekozen worden.

Over het algemeen wordt een snelheid van 1m/s in de vloeistof leiding aangehouden. Ervaring leert dat deze snelheid een acceptabel drukverlies per meter leiding geeft. Als de verdamper ver van de pompen verwijderd zijn, dus lange leidingen, dan kan het nodig zijn om de snelheid in de pompleiding te verlagen om het drukverlies in de pompleiding beperkt te houden. Uit formule 2 blijkt dat het drukverlies toe- of afneemt met het kwadraat van de snelheid. Een verdubbeling van de snelheid geeft daarmee een viervoudige toename van het drukverlies.

De vloeistofleiding is volledig gevuld met koudemiddelvloeistof die een schijnbare onderkoeling heeft. De druk bij de uitrede van de pomp is gelijk aan de afscheiderdruk plus de opvoerhoogte,

dit betekent dat de druk in de vloeistofleiding hoger is dan de verzadigingsdruk. De vloeistofleiding kan daarom dalen en stijgen zonder dat verdamping van de vloeistof optreedt. Als er “zakken” in de vloeistofleiding zitten, dan dient hier in wel een aftap voorzien te worden.

Drukverlies door appendages

In de vloeistofleiding worden verschillende appendages gemonteerd, bij de verdamper achtereenvolgens: een handafsluiter, filter, magneetventiel, inregelventiel en vaak een terugslagklep. In de hoofdleiding kunnen ook afsluiters en/of filters gemonteerd worden. Al deze appendages leveren een drukverlies dat wordt berekend met behulp van de Kvs waarde volgens de formule:

$$\text{formule 3: } dP = \rho / 1000 * (v / Kvs)^2$$

v = volumestroom [m^3/h]

ρ = dichtheid van de vloeistof [kg/m^3]

Kvs = kengetal [m^3/h] geeft de doorstromende hoeveelheid water per uur aan bij een drukverschil van 1 bar over het appendage.

De Kvs van een afsluiter wordt gegeven bij 100% geopende afsluiter, de Kvs van een filter wordt gegeven bij schoon filter. De Kvs waarde wordt door de fabrikant bepaald en wordt vermeld in de documentatie.

Vloeistofinregelventiel

Een bijzondere appendage in de vloeistofleiding is het vloeistofinregelventiel. Dit ventiel heeft een instelbare Kv waarde waarmee het circulatievoud over de verdamper wordt ingesteld. Het vloeistofdrukverschil over de verdamper dat minimaal nodig is om het gewenste circulatievoud te realiseren moet bekend zijn. Met het inregelventiel wordt de beschikbare pompdruk zo ver gereduceerd dat de benodigde druk op de verdeler van de verdamper bereikt wordt en de juiste hoeveelheid vloeistof in de verdamper komt. Als het inregelventiel te ver is opgedraaid, dan zal te veel vloeistof door de verdamper gaan. Deze verdamper kan dan mogelijk niet goed werken omdat er te veel vloeistof door heen gaat en deze “niet de kans krijgt” om

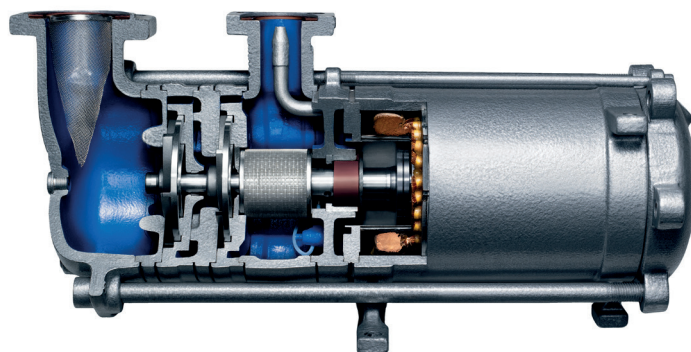


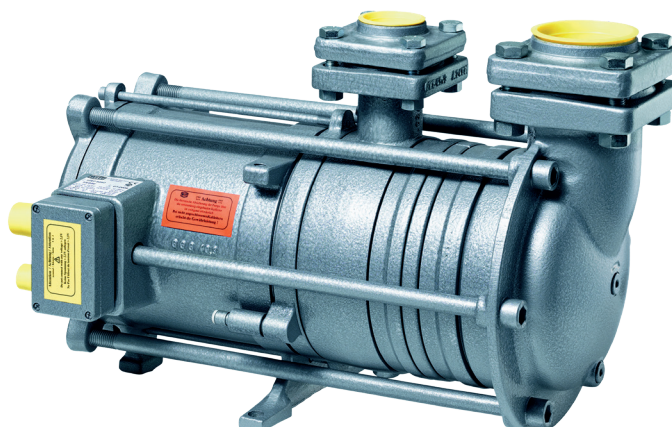
Fig. 2: Witt Hermetische koudemiddelpomp type HRP.

te verdampen. De andere verdamperen kunnen te weinig vloeistof krijgen waardoor het benodigde circulatievoud niet gehaald wordt en ze niet de capaciteit halen waarvoor ze zijn uitgelegd. Het juist instellen van de inregelventielen is belangrijk om de juiste hoeveelheid koudemiddel naar alle verdamperen te laten stromen.

Uit grafiek 2 blijkt dat ook het drukverlies in de retourleiding naar de afscheider, de natte retour, mede bepalend is voor de benodigde opvoerhoogte. Het drukverlies in de retourleiding, inclusief het eventueel aanwezige zuigdrukregelventiel, bepaalt de druk in de verdamper. Als de druk in de verdamper door de drukverliezen in de retourleiding 1K hoger is dan in de afscheider, dan betekent dit bij NH_3 op $-10^\circ C$ een extra benodigde opvoerhoogte van 0,12bar (1,9m) en bij CO_2 0,76bar (7,9m) extra.

Kortom, bij het bepalen van de persleiding van een pomp is ook de natte retourleiding een factor van belang.

Tegenwoordig wordt in de meeste pompkoelinstallaties een hermetische pomp toegepast. De elektrische aandrijving wordt door koudemiddel gekoeld. Hiervoor is een minimaal debiet van de pomp noodzakelijk.



Om dit debiet te waarborgen wordt in de pompersleiding een overstort opgenomen die bij een ingestelde persdruk vloeistof overstort naar de lage druk. Ook kan hiervoor een overstort met een smoorplaat worden toegepast, deze laat constant een hoeveelheid vloeistof vanuit de pers naar de lage druk. Er zijn pompen waarbij het maximale debiet begrensd moet worden. Hiermee wordt voorkomen dat het drukverlies in de zuig zo groot wordt dat gas gevormd wordt. De max-blende zorgt er ook voor dat de pomp altijd voldoende drukverschil levert om intern vloeistof over het motordeel te pompen voor voldoende koeling. Nog een functie van de Q-max-blende kan zijn het beperken van het benodigde vermogen van de pomp. Het vermogen van de pomp is afhankelijk van de

opvoerhoogte en het debiet ($P_{th}[W] = Q[m^3/s] * dP[-Pa]$)

Voor het berekenen van het leidingwerk wordt meestal een selectieprogramma gebruikt. Als alle appendages en leidingen in een het selectieprogramma zijn ingevoerd, dan zal het drukverlies over het systeem gegeven worden en kan een geschikte pomp op basis van de benodigde opvoerhoogte en debiet gekozen worden.

Een goed ontworpen afscheider, goed ontworpen en geïnstalleerd leidingwerk en een goede regeling die waarborgt dat de pomp in zijn curve draait zal bijdragen aan een lang en gelukkig pompleven.

” Pompcirculatie biedt belangrijke voordelen zoals kleine temperatuurverschillen en een lage condensatietemperatuur. ”



Wijbenga B.V.

De Aaldor 12 | 4191 PC Geldermalsen | Nederland

+31 (0)345 681 549 | info@wijbenga.nl | www.wijbenga.nl

© Copyright Wijbenga B.V. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de rechthebbende.