



Cascadesystemen

Inleiding

Koelsystemen waarbij in verschillende druktrappen van verdamperdruk naar condensordruk wordt gecombineerd, noemen we meertrapskoelsystemen. Als deze trappen van elkaar zijn gescheiden door een warmtewisselaar, spreken we van een cascadekoelsysteem. In dit eerste deel van een tweeluik gaan we hier op in.

Cascadekoelsystemen worden onder andere toegepast voor koeling op lagere temperatuur, bijvoorbeeld onder -40°C . Hierbij wordt gebruikgemaakt van koudemiddelen die geschikt zijn voor de druktrap. Cascadesystemen kunnen ook worden gebruikt om koudemiddelen te scheiden van producten of ruimten.

Een voor deze toepassing vaak gebruikte combinatie is NH_3/CO_2 . Op de werkvloer worden NH_3/CO_2 -systemen waarbij de CO_2 als koudedragers wordt gebruikt, ook vaak cascadesystemen genoemd, maar strikt genomen zijn ze dat niet. Bij deze systemen wordt de CO_2 niet in druk verhoogd om te condenseren. Dit zijn systemen met een verdampend koudemiddel als koudedragers.

Waarom cascade?

Over het algemeen wordt cascade toegepast om de best geschikte koudemiddelen voor de toepassing te combineren.

- Bij een lagetemperatuuroepassing zal het koudemiddel dat geschikt is voor de lagetemperatuurdruktrap vaak een erg hoge druk nodig hebben om te condenseren bij omgevingstemperaturen, terwijl het koudemiddel geschikt om te laten condenseren bij omgevingstemperaturen erg ijl zal zijn of een erg lage druk zal hebben om de lage temperatuur te kunnen creëren. Een mogelijke combinatie is bijvoorbeeld R290 in de hogedruktrap en R170 (ethaan) in de lagedruktrap.
- Bij een NH_3/CO_2 -koelsysteem wordt vaak voor cascade gekozen om het ammoniakvolume te beperken of om dit koudemiddel binnen de machinekamer te houden. Bijvoorbeeld vanwege vergunningen of omwille van veiligheidsredenen.
- In chemische processen kunnen cascadesystemen mogelijk voorkomen dat bij lekkage het koudemiddel in combinatie met het te koelen medium een ernstige chemische reactie teweegbrengt.

Waarom geen cascade?

- De warmtewisselaar eigen aan een cascadestelsel maakt dat er een temperatuurverschil zal zijn tussen de druktrappen. Hoe groter dit temperatuurverschil, hoe nadeliger dit zal zijn voor de energie-efficiëntie.
- Een cascadestelsel voegt extra complexiteit toe aan de installatie
- Een interne lekkage van de warmtewisselaar kan verregaande gevolgen hebben. NH_3 en CO_2 reageren met elkaar, wat resulteert in zogenaamde carbomaten.

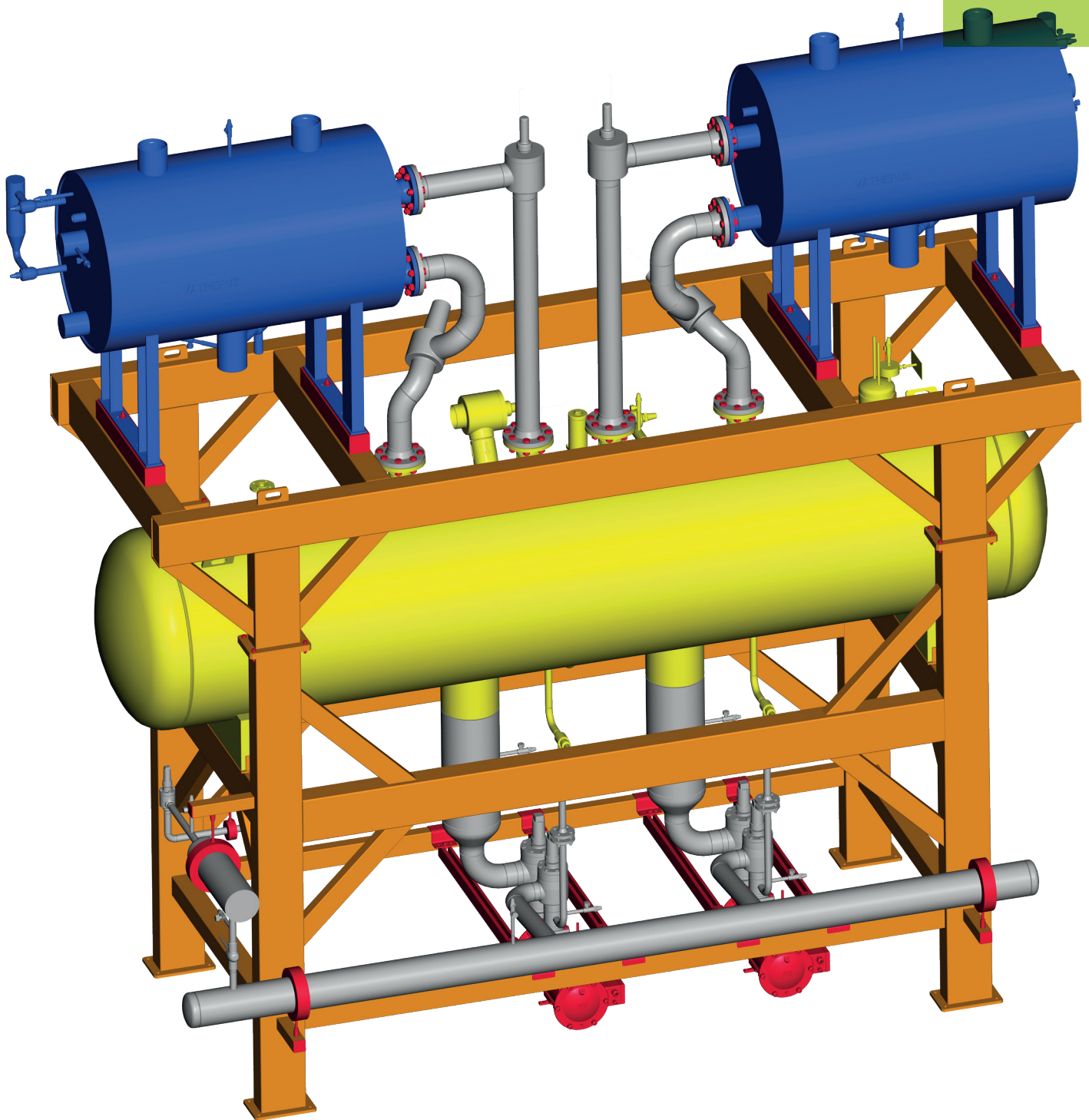


Fig. 1: Cascadesysteem met i-Qplates.

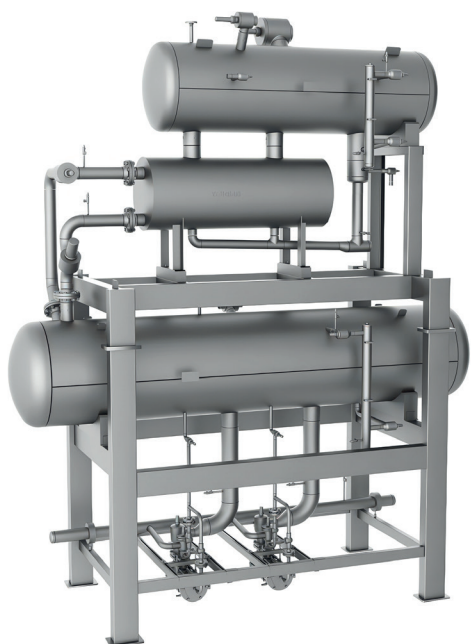


Fig. 2: Voorbeeld van cascade met shell and plate.

Ammoniak/CO₂-cascade pompssystemen

Dit artikel gaat verder in op ammoniak/CO₂-cascadepompssystemen. Dit type cascade is de laatste vijftien jaar steeds vaker toegepast, vooral in de Benelux en met name bij grotere koelsystemen van boven de 1MW. Regelgeving en veiligheidsoverwegingen hebben hier grote invloed op gehad.

- Mogelijke bezwaren tegen een installatie met enkel ammoniak:
 - Bij verdampingstemperaturen lager dan -33°C zal een ammoniakinstallatie in het vacuüm werken.
 - Een relatief grote ammoniakinhoud.
- Redenen om geen installatie met enkel CO₂ te bouwen kunnen zijn:
 - Om CO₂ te kunnen condenseren bij hogere omgevingstemperaturen zal een CO₂-installatie transkritisch moeten draaien. Op die momenten is de stroomopname hoog. De vermogensaansluiting voor de koelinstallatie moet hier voldoende groot voor zijn.

- Een industrieel cascadesysteem heeft doorgaans een beter rendement.
- Hoewel er steeds grotere CO₂-compressoren komen, moeten vaak veel compressoren worden geïnstalleerd om het benodigde koelvermogen te genereren.

Drie typen systemen

Algemeen kunnen we drie vaak gebruikte typen onderscheiden

1. Shell and tube met variant spraycooler

- Vaak zware en grote apparaten.
- Kunnen met tussencircuits gebouwd worden als bescherming tegen schade bij interne lekkage, maar hebben dan hoger temperatuurverschil.

2. Shell and plate

- Gelast en onderhoudsvrij.
- Compact.

3. Plate and frame

- De toepassing van pakkingen maakt dat deze niet als onderhoudsvrij kunnen worden beschouwd.
- Kans op interne lekkage is klein.
- Complete opbouw vraagt meer hoogte.

Om een installatie energetisch zo gunstig mogelijk te laten werken, is een klein temperatuurverschil wenselijk. Vaak wordt bij het ontwerp gestreefd naar een verschil van 3 tot 5K. Als de installatie in bedrijf is, is de maximale capaciteit vaak niet nodig. Idealiter wordt naar een zo klein mogelijk temperatuurverschil gestreefd waarbij de NH₃-verdampingstemperatuur wordt afgestemd op de CO₂-condensatietemperatuur. Als een installatie naar verwachting slechts korte periodes in vollast werkt, kan in de ontwerpfase worden gekozen om op een groter temperatuurverschil te selecteren. Voor een temperatuurverschil tussen NH₃ en CO₂ van 3K tegenover 5K is een veel groter warmtewisselend oppervlak nodig.



Fig. 3: Voorbeeld van cascade met plate en frame.

Opstelling van cascadekoelsysteem

• NH_3 -zijdig (verdampend)

Bij een cascadowisselaar met een afzonderlijke afscheider kan de wisselaar ofwel thermosiphon of met een pomp worden gevoed. Bij thermosiphon zal de wisselaar onder of naast de afscheider moeten worden geplaatst. Met een pomp zijn er minder beperkingen van plaatsing, maar is wel een pomp nodig.

• CO_2 -zijdig (condenserend)

Deze zijde kan ook thermosiphon aangesloten worden, waarbij het CO_2 -gas vanuit een reservoir omhoog naar de wisselaar stroomt en onderaan de wisselaar als condensaat de wisselaar weer verlaat. Een andere optie is dat het persgas van de compressoren direct de wisselaar instroomt. Bij persgas direct naar de cascade is het van belang te controleren of de condities overeenkomen met de maximale werkingscondities van de wisselaar.

Hoge ontwerpdruk

De kostprijs in acht nemend, is het wenselijk om de ontwerpdruk laag te houden. CO_2 heeft een hogere werkdruk dan de meeste andere koude-

middelen. Voor de cascadowisselaar zijn aan de CO_2 -zijde ontwerpdrukken tussen de 40 en de 63 Bar gangbaar. Vanwege het risico dat bij uitval van de NH_3 -installatie de CO_2 -druk te hoog wordt, kan gekozen worden om een noodkoeling te installeren.

Ontdooiing

Om bij een cascade de aangesloten verdamper te kunnen ontdooien, zijn temperaturen boven 0°C nodig. Als de ruimtetemperatuur boven de 0°C blijft, kan het al volstaan om de koudemiddeltoevoer naar de verdamper te stoppen om hem te ontdooien. Bij lagere temperaturen is er een warmtebron nodig. Ontdooien kan dan op verschillende manieren:

- **Met elektrische verwarmingselementen**
- **Middels een extra circuit in de koeler waardoor een vorstvrije koudedrager stroomt.**
Deze koudedrager wordt door een warmtebron opgewarmd. Wanneer een ontdooiing nodig is, zal een systeem met pompen en ventielen de warme koudedrager door een separaat circuit in de koeler laten stromen, teneinde deze te ontdooien.
- **Middels persgasontdooiing.**
De condensatietemperatuur van de CO_2 -compressor ligt vaak onder de 0°C . Er zijn een aantal mogelijkheden om een voldoende hoge condensatietemperatuur te bereiken. Voor deze oplossingen is het wel belangrijk dat de maximaal toelaatbare drukken en temperaturen van de compressor(en), verdamper(s) en de cascade-wisselaar(s) steeds in acht worden genomen.
 - Eén of meerdere compressoren tijdelijk naar een hogere condensatiedruk regelen. Dit kan bijvoorbeeld worden gerealiseerd door een regelventiel in de persleiding van de compressor te monteren. Voor het ventiel is de condensatiedruk hoog genoeg om te kunnen ontdooien. Door de druk te regelen, zal het gas dat niet nodig is om te ontdooien via het regelventiel naar de condensor stromen.
 - Toepassing van een ontdooicompressor. Deze compressor zuigt gas aan vanuit het CO_2 -pompvat of afscheider en perst dit naar een hogere druk die voldoende hoog is om te kunnen ontdooien. De compressor is enkel bedoeld voor de ontdooifunctie en idealiter voor-

zien voor een breed capaciteitsbereik. Het volume aan gas voor een ontdooiproces kan flink variëren. Ook moeten voorzieningen worden getroffen om ervoor te zorgen dat de compressor droog gas aan zuigt (bijvoorbeeld een afscheidingssysteem of zuiggasverhitting).

- o Toepassing van een persgasgenerator. Deze oplossing bestaat zowel uit een af te sluiten vaatje als een warmtewisselaar. Het vaatje wordt op niveau gevuld met vloeibaar CO₂ uit het pompvat. Zodra er voldoende vloeistof is gevuld, wordt het vaatje met automatische ventielen afgesloten. De warmtewisselaar zal nu het vaatje opwarmen, waardoor de druk zal stijgen tot een druk die voldoende hoog is om te kunnen ontdooien. Als warmtebron voor de warmtewisselaar kan bijvoorbeeld de condensorwarmte van de hogedruktrap worden gebruikt. De persgasgenerator dient zorgvuldig te worden geselecteerd aan de hand van de te verwachten benodigde dooicapaciteit. Idealiter is het vat groot genoeg om een ontdooiproces mee uit te voeren.

Voor persgasontdooisystemen bij NH₃-koelsystemen zijn er al een aantal beproefde oplossingen om het condensaat dat tijdens het ontdooien van een koeler ontstaat met een vlotter af te voeren (fi-

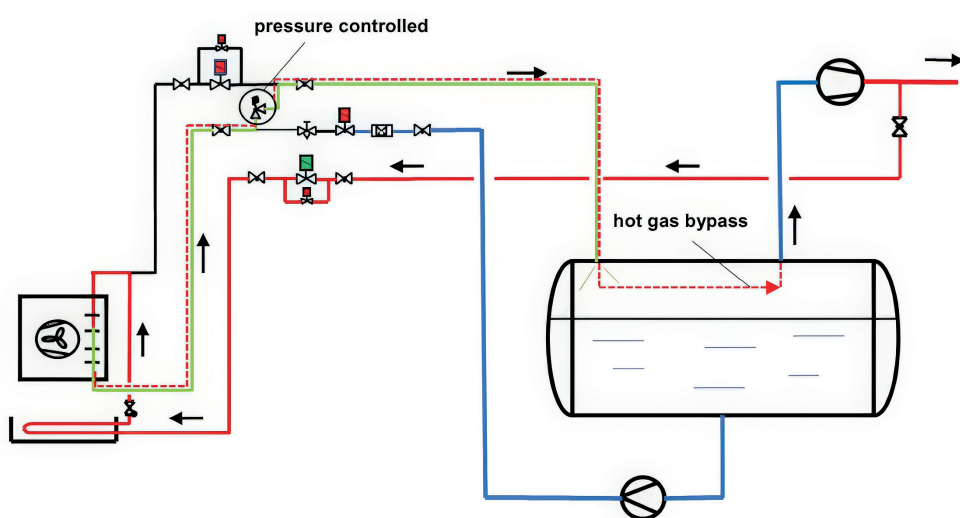
guur 4). Bij CO₂ gebeurt dit tot op heden nog vooral met drukgeregelde overstortventielen (figuur 5), bij gebrek aan geschikte vlotters voor deze condities.

Zuigasoververhitting

Compressorfabrikanten adviseren bij CO₂ om in zuigasoververhitting te voorzien. Een belangrijke reden is om de olieuitstoot te beperken. Een eigenschap bij pompsystemen is dat de zuiggas-temperatuur gelijk is aan de verzadigingstemperatuur. Daarom wordt er vaak een warmtewisselaar voorzien in de droge zuigleiding (figuur 6). Als warmtebron kan de vloeistof tussen condensor en expansieventiel worden gebruikt; de vloeistof wordt dan onderkoeld. Een andere warmtebron kan condensatiewarmte zijn. De mate waarin het gas oververhit moet worden, verschilt vaak van fabrikant tot fabrikant, maar hangt ook af van de verdampingstemperatuur.

Olief in het CO₂-pompsysteem

Ondanks alle voorzorgsmaatregelen zal er toch nog olie uit de CO₂-compressor(en) in het CO₂-pompsysteem terechtkomen. Deze olie mag maar in een beperkte hoeveelheid in het pompsysteem blijven. Daarom is een olieretoursysteem nodig. Bij oplosbare oliesoorten is de olie vermengd in de CO₂; daarom is er een zogenaamde 'olierectifier' nodig om de olie van het koudemiddel te scheiden.



Deelstroom van de CO₂-vloeistof

'Olierectifier' is een functionele beschrijving. Er zijn allerlei oplossingen op de markt. Wat ze gemeen hebben, is dat ze een deelstroom van de CO₂-vloeistof laten verdampen en oververhitten. De deelstroom waarvan de CO₂ is verdamppt, wordt naar een vat gevoerd waar het CO₂-gas weer naar de afscheider of compressor

Fig. 4: Ontdooing met persgas en overstort.

stroomt. De olie zal achterblijven in het vat. Vanuit dit vat kan de afgescheiden olie weer worden teruggevoerd naar de compressor.

Warmtebron voor de 'rectifier'

Als warmtebron voor de 'rectifier' zijn er verschillende mogelijkheden, zoals een luchtkoeler, die de warmte uit de machinekamer haalt, of een vloeistofonderkoeler die de warmte vanuit de vloeistofstroom van de condensor naar het expansieventiel haalt door de vloeistof te onderkoelen. Belangrijk is dat de warmtebron in staat is de vloeistof volledig te laten verdampen.

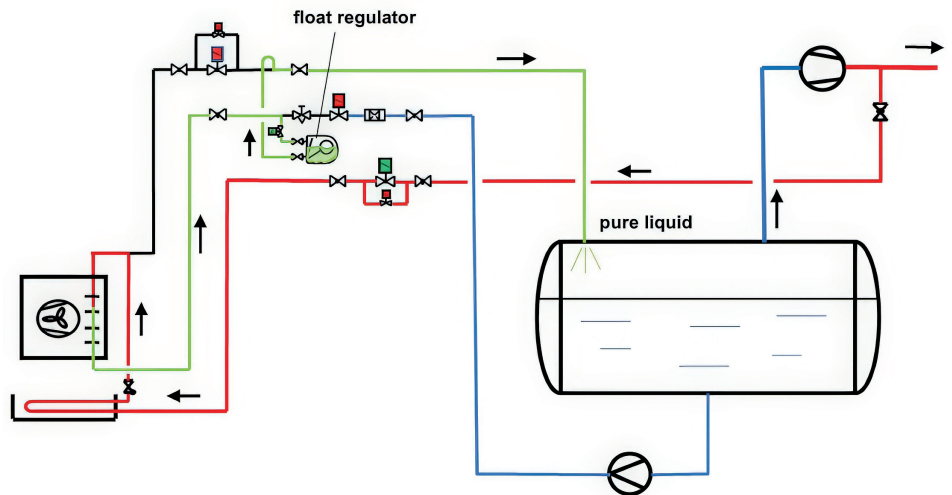


Fig. 5: Ontdooing met persgas en vlotter overstort.

- 1 Warmtewisselaar
- 2 Zuiggas
- 3 Condensaat
- 4 Expansieventiel

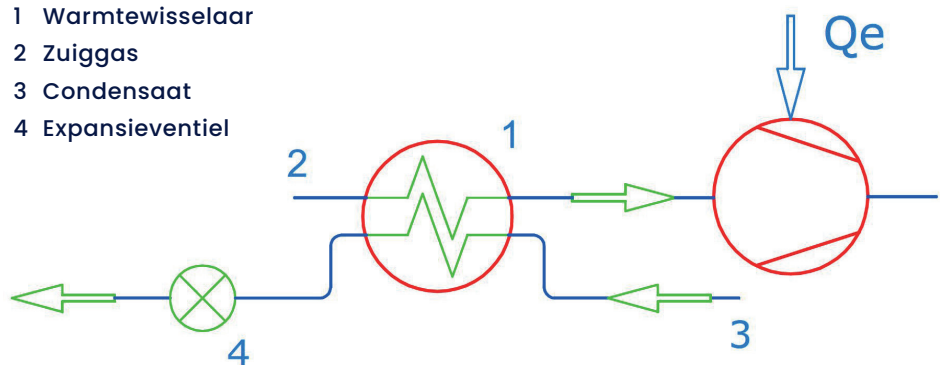


Fig. 6: Interne warmtewisselaar in de droge zuigleiding.

” **Vaak wordt voor cascade gekozen om het ammoniakvolume te beperken.** ”



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.