

KLIMAATBEHEERSING 1

WARMTE-TECHNIEKEN

Ontwerp, aanleg, onderhoud en beheer

Fred de Lede
Jan Koopmans
Irene van Veelen
Rob van den Berge
Hans Wittens



WOORD VOORAF

Door de grote zorg en aandacht voor het ontwerp en de detaillering van een gebouw (en dus voor het bouwfysische gedrag) wordt de behoefte aan warmte en koude tot een minimum teruggebracht. Wel blijven in de meeste situaties klimaatinstallaties nodig om te voldoen aan behaaglijkheidseisen. Bij een minimale warmte- of koudevraag van een gebouw bieden eenvoudige klimaatinstallaties soms al uitkomst. Meestal gaat dit samen met een laag energie- en grondstoffenverbruik. Een behaaglijk gebouw is niet per definitie een gebouw vol complexe installaties.

Klimaatinstallaties hebben als taak de berekende tekorten of overschotten aan warmte, vocht en ventilatie te compenseren, tot het niveau waarbij de behaaglijkheid in een gebouw gedurende de gebruikperiode wordt gegarandeerd. In een vroeg stadium van het ontwerp kan met behulp van bouwfysische berekeningen een voorspelling worden gedaan over bijvoorbeeld de te verwachten warmtevraag van een gebouw (transmissieberekening), de optreden van de binnentemperaturen, de ventilatiebehoefte, de vochthuishouding, de akoestiek, de daglichttoetreding, enzovoort. Als ontwerpers onvoldoende zorg besteden aan het ontwerp en de detaillering van een gebouw (en dus ook aan de fysische vertaling), dan zal met klimaatinstallaties veel warmte en/of koude, vocht en/of droogte en ventilatielucht moeten worden aangevuld om aan behaaglijkheidseisen te voldoen. Dit heeft weer tot gevolg dat het energie- en grondstoffenverbruik veel hoger is dan nodig.

De laatste decennia besteedt men steeds meer aandacht aan het terugdringen van energieverbruik voor het verwarmen of koelen van gebouwen. Dit gebeurt enerzijds voor een kostenbesparing op lange termijn, anderzijds om het verbruik van fossiele brandstof en de uitstoot van CO₂ terug te dringen. Fossiele brandstof is schaars, maar uiteraard geldt dit voor de meeste zo niet alle grondstoffen.

Energiebesparing is een belangrijk thema in de hedendaagse bouw, binnen een breder kader van duurzaam bouwen. Denk maar aan de vele toetsingsmodellen die momenteel gebruikt worden, zoals Cradle-to-cradle, BREEAM, Greencalc en GPR. Wettelijk geldt in Nederland bij nieuwbouw de Energieprestatienorm, waarin het energiegebruik van gebouwen wordt begrensd. Deze norm is weer verplicht binnen Europees verband.

Technische installaties kunnen een grote invloed hebben op de bouwkundige planvorming en de architectuur van een gebouw. De architect moet om deze reden al in een vroeg stadium de consequenties overzien van de beslissingen die hij gedurende het ontwerpproces neemt. Klimaatinstallaties hebben binnen het ontwerpproces van gebouwen een zeer sterke samenwerking met enerzijds het gebouwontwerp (de integratie) en anderzijds de bouwfysica (de rekentechnieken).

Dit praktijkboek hebben wij geschreven om de theorie van warmtetechnieken te verduidelijken en de toepassingen van warmtetechnieken praktisch uit te leggen. De rode draad loopt van de theoretische verbrandingstechniek naar het praktische beheer van installaties. Verder schenken we de nodige aandacht aan wet- en regelgeving. *Warmtetechnieken* is fraai vormgegeven door uitgebreid kleurgebruik, overzichtelijke tabellen en functionele tekeningen. Wij hopen dat dit boek een onmisbaar naslagwerk wordt voor iedereen die in de praktijk met warmtetechnieken te maken heeft.

Januari 2014

Fred de Lede
Jan Koopmans
Irene van Veelen
Rob van den Berge
Hans Wittens

INLEIDING

Warmtetechnieken behandelt verwarmingsinstallaties in de gebouwde omgeving. Er zijn vier delen, die elk een thema behandelen. Het eerste deel gaat over warmteopwekking. We beginnen met wat geschiedenis van de verwarmingstechnieken. Diverse warmteopwekkers zoals gasgestookte ketels en warmtepompen komen daarbij aan bod. Ook gaan we bijvoorbeeld in op verbrandingstechnieken. Vervolgens behandelen we in het tweede deel warmtedistributiesystemen, inclusief leidingsystemen, expansievaten, pompen en regelingen. Voordat we in het derde deel ingaan op warmteafgiftesystemen zoals radiatoren, convectoren en vloer- en wandverwarming, staan we stil bij de behaaglijkheidscriteria en het maken van een warmteverliesberekening. Het vierde deel betreft de oplevering en het beheer van de installatie plus de huidige wet- en regelgeving voor stookruimten.

DEEL I – WARMTEOPWEKKING

Hoofdstuk 1 – Ontwikkeling van verwarmingstechnieken

In dit hoofdstuk behandelen we chronologisch de diverse systemen voor gebouwverwarming. De Romeinen zijn de grondleggers van het huidige cv-systeem. Door het ruim beschikbaar zijn van aardgas zijn er veel gasgestookte ketels, steeds meer in een condenserende uitvoering. Vanwege de uitputting van de fossiele brandstoffen en de toenemende verduurzaming zullen we steeds meer zonne-energie en bodemwarmte in combinatie met warmtepompen en geothermie inzetten.

Hoofdstuk 2 – Gasgestookte cv-ketels

In dit hoofdstuk beschrijven we uitgebreid de diverse uitvoeringen van gasgestookte cv-ketels. We gaan in op de atmosferische ketel, de overdrukkeketel en specifiek de compacte HR-ketelunit zoals deze op vele locaties wordt toegepast. Ook ketels met een ander medium dan water en de diverse rookgasafvoersystemen komen aan bod.

Hoofdstuk 3 – Warmtekrachtkoppeling en gasabsorptie

In dit hoofdstuk hebben we het over duurzame en energiebesparende warmteopwekking. We gaan in op de diverse uitvoeringsvormen van wkk-installaties, inclusief de HRe-ketel, en op gasabsorptiewarmtepompen. Daarbij geven we rekenvoorbeelden van energiebesparing versus investeringskosten.

Hoofdstuk 4 – Warmtepompen en warmte-koudeopslagsystemen

In dit hoofdstuk kijken we naar warmtepompen en wko-systemen. Via warmtepompen kunnen we via dezelfde installatie zowel warmte als koude opwekken, met 'gratis' energie. Deze energie onttrekken we aan de buitenlucht, bodem/grondwater of oppervlaktewater. Omdat deze energie laagwaardig is, waarderen we deze met behulp van een warmtepomp, meestal in de uitvoering van een koelmachine, op.

Hoofdstuk 5 – Zonne-energie

In dit hoofdstuk behandelen we zonnecollectoren. Deze kunnen we gebruiken voor de bereiding van tapwater en voor gebouwverwarming. In beide gevallen is complementaire verwarming door een ketelinstallatie of warmtepomp noodzakelijk, al is het maar om de watertemperatuur te regelen. We omschrijven de diverse systemen en hun aanleg en dimensionering.

Hoofdstuk 6 – Verbrandingstechnieken

In dit hoofdstuk leggen we zowel voor de gas- als oliebranderinstallatie uit hoe het ontsteken en ontbranden van een brandstof/lucht-mengsel plaatsvindt. Daarbij komen de chemische elementen die in lucht, gas/olie en rookgassen voorkomen aan bod. Ook hebben we het over de vorming en beheersing van NO_x.

DEEL II – WARMTEDISTRIBUTIE

Hoofdstuk 7 – Distributiesystemen

In dit hoofdstuk beschrijven we leidingsystemen, overdrachtsmedia, verdelers en aansluitmogelijkheden.

Hoofdstuk 8 – Cv-leidingen dimensioneren

In dit hoofdstuk behandelen we het berekenen van leidingweerstand en de eenmalige weerstanden door bochten, knieën, enzovoort. Daarbij gebruiken we diverse relevante tabellen.

Hoofdstuk 9 – Materialen voor verwarmingsinstallaties

In dit hoofdstuk gaan we in op materialen die we in de installatietechniek toepassen. De laatste decennia gebruiken we steeds meer kunststof. Door de betere isolatiewaarden worden lagere systeemtemperaturen mogelijk en wordt kunststof steeds interessanter. Diverse bevestigingsmaterialen komen beknopt aan bod.

Hoofdstuk 10 – Hydraulische schakelingen

In dit hoofdstuk bekijken we de regel- en aansluitmogelijkheden van installaties. Ook bespreken we het toepassen van twee- en driewegkleppen en het menginjectiesysteem.

Hoofdstuk 11 – Circulatiepompen

In dit hoofdstuk behandelen we de diverse pomptypen met de regelmogelijkheden in een installatie. Energieverbruik wordt steeds belangrijker. De plaatsing en regeling van pompen hebben een belangrijke invloed op het verbruik. Ook schenken we aandacht aan de nieuwe Erp-regeling voor circulatiepompen en aan de toepassing van de diverse pompuitvoeringen.

Hoofdstuk 12 – Expansievaten inclusief expansieautomaten

In dit hoofdstuk bespreken we de verschillende typen expansievaten en ontluchtingsvoorzieningen. Lucht in de installatie vermindert de werking van de installatie. De laatste decennia zijn de automatische ontluchtingssystemen onder de aandacht gekomen. Verder gaan we in op de plaatsing van een drukexpansivat en geven we een voorbeeld van een inhoudsberekening.

Hoofdstuk 13 – Beveiligingen

In dit hoofdstuk beschrijven we beveiligingen. Die zijn noodzakelijk om installaties veilig te kunnen laten functioneren. Warmwater, heetwater en stoom kunnen verbranding veroorzaken en tot explosies leiden. Aardgas kan ook explosies veroorzaken en een gevaar vormen bij inademing, zeker bij de vorming van koolmonoxide. We gaan in op druk-, temperatuur-, watergebrek- en vlambeveiligingen.

Hoofdstuk 14 – Regelingen en gebouwbeheersystemen

In dit hoofdstuk behandelen we regelingen die zorgen dat processen automatisch verlopen. In de gebouwde omgeving passen we eindeloos veel regelingen toe, van eenvoudig tot ingewikkeld. Denk bijvoorbeeld aan een thermostatische radiatorafsluiter die een vertrektemperatuur in stand houdt. We gaan in op de theorie van een regelkring, praktische toepassingen van regelingen en gebouwbeheersystemen.

DEEL III – WARMTEAFGIFTE

Hoofdstuk 15 – Thermisch comfort en behaaglijkheid

In dit hoofdstuk kijken we naar factoren die een rol spelen bij het realiseren van comfort en behaaglijkheid, behaaglijkheidscriteria en behaaglijkheidsmodellen. Met een verwarmingsinstallatie moeten we een comfortabel en behaaglijk binnenklimaat creëren voor de gebruiker van een gebouw. Hiervoor hebben we technische kennis nodig en dienen we op de hoogte te zijn van wat nou eigenlijk comfortabel en behaaglijk is voor de mens en wat niet.

Hoofdstuk 16 – Warmteverliesberekening

In dit hoofdstuk leggen we het maken van een transmissieberekening uit aan de hand van ISSO-publicatie 51. Verder geven we een berekeningsvoorbeeld van het opstellen van een eenvoudige schilberekening voor het vaststellen van de benodigde warmtecapaciteit bij de uitwerking van het voorlopige ontwerp.

*DEEL IV – OPLEVERING,
ONDERHOUD EN BEHEER***Hoofdstuk 17 – Radiatoren en buiselementen**

In dit hoofdstuk behandelen we de warmteafgifte van ribbenbuizen en radiatoren. Paneel- en kolomradiatoren komen aan bod en ook het gebruik van overtemperaturen voor de bepaling van de warmteafgifte van de radiatoren.

Hoofdstuk 18 – Convectoren

In dit hoofdstuk gaan we in op de toepassing en selectie van convectoropstellingen, het afgegeven vermogen, de juiste plaatsing van de convector bij raampartijen, de relatie tussen warmteafgifte en schachthoogte en de toepassing van ventilatorconvectoren met een lage inbouwhoogte.

Hoofdstuk 19 – Vloer- en wandverwarming

In dit hoofdstuk leggen we de toepassingsmogelijkheden, het ontwerp en de selectie van de vloer- en wandverwarmingssystemen uit. We geven een compleet berekeningsvoorbeeld. Ook gaan we in op de keuze van de hart-op-hartafstanden van de vloerverwarmingsbuis in relatie tot de ruimte en mediumtemperaturen.

Hoofdstuk 20 – Garantie, oplevering, bediening en onderhoud

In dit hoofdstuk behandelen we de garantie, de oplevering, de bediening en het onderhoud van installaties. Daarbij gaan we in op de inspectiemethoden die in Nederland vaak worden toegepast conform de BOEI-methode van de Rijksgedienst. Ook leggen we de toepassing van de NEN 2767 uit en het opstellen van een meerjarenbegroting.

Hoofdstuk 21 – Eisen aan stookinstallaties en -ruimten

In dit laatste hoofdstuk beschrijven we de veiligheidseisen die op gas stoken van toepassing zijn. Zo moeten we er zeker van zijn dat er voor het verbrandingsproces voldoende buitenlucht toegevoerd wordt naar het ketelhuis. Verder behandelen we de uit te voeren keuringen en inspecties.

Literatuur

In de literatuurlijst vermelden we de geraadpleegde en aanbevolen literatuur. De lezer kan hier de behandelde onderwerpen in terugvinden en aanvullende informatie.

Bijlage A – Lijst van symbolen

In bijlage A zetten we lettersymbolen van grootheden en eenheden uit het boek en teken-symbolen die we kunnen gebruiken bij het lezen en maken van installatietekeningen.

Bijlage B – Begrippenlijst

In bijlage B geven we een overzicht van warmtetechnische begrippen. Oorspronkelijk zijn het natuurkundige en scheikundige begrippen. We moeten ze hanteren voor het vastleggen van gegevens en het uitwerken van formules. Verder geven we een uitleg van natuurkundige wetten en komen er diverse formules aan bod.

Bijlage C – Formulier voor transmissieberekeningen

In bijlage C bieden we een kopieerbaar invulformulier voor transmissieberekeningen.

HOOFDSTUK 1

ONTWIKKELING VAN VERWARMINGSTECHNIEKEN



ONTWIKKELING VAN VERWARMINGSTECHNIEKEN

De laatste tientallen jaren worden steeds meer efficiënte en energiezuinige verwarmingssystemen ontwikkeld en toegepast. Omdat de voorraden fossiele brandstoffen uitgeput raken en de CO₂-doelstellingen streng zijn, verschuift de aandacht nog meer naar klimaatneutrale warmtevoorzieningen. We zetten onder andere de condenserende gasgestookte ketels (HR) op grote schaal in. Die zijn zuinig maar verbruiken wel fossiele brandstof.

Het is noodzakelijk om het energieverbruik nog verder terug te dringen. Hiervoor moeten we van fossiele energiebronnen omschakelen naar duurzame, hernieuwbare energiebronnen. Voor gebouwverwarming gebruiken we steeds meer duurzame brandstoffen, zonne-energie en bodem- en aardwarmte.

In dit hoofdstuk gaan we in op:

- de geschiedenis van de verwarmingssystemen;
- de huidige generatie verwarmingssystemen;
- de duurzame ontwikkeling van verwarmingssystemen;
- geothermische energie (bodem- en aardwarmte);
- bio-energie als energiebron;
- de trias energetica.

1.1 GESCHIEDENIS VAN VERWARMINGSSYSTEMEN

Al ruim 2000 jaar bestaan er systemen voor het verwarmen van gebouwen, sinds de oude Romeinen hun beroemde thermen, publieke badhuizen, bouwden (zie afbeelding 1.1). Zij ontwikkelden een slim systeem om warmte centraal op te wekken en te distribueren naar diverse vertrekken van een gebouw. Lucht werd in de kelder verwarmd en van onderaf het gebouw in gebracht. De warme lucht droeg daarna de warmte over aan bouwkundige schachten. Door het verschil in dichtheid tussen koude en warme lucht steeg de lucht vanzelf op, zonder gebruik van ventilatoren.



Afbeelding 1.1: De restanten van een therm. Bron: Thermenmuseum Heerlen.

1.1 GESCHIEDENIS VAN VERWARMINGSSYSTEMEN

Rond 1900 maakten ook de eerste watervoerende verwarmingssystemen gebruik van dit verschil in dichtheid, zodat er geen pomp nodig was. Het transport van het warmwater via buizen berustte op natuurlijke circulatie door een temperatuur- en dichtheidsverschil tussen het warme aanvoerwater en het afgekoelde retourwater. Het dichtheidsverschil was echter klein, waardoor voor een goede circulatie ook de leidingweerstand zeer klein moesten zijn. Dit was mogelijk dankzij grote leidingdiameters. De buizen waren zowel qua diameter als wanddikte aanmerkelijk groter uitgevoerd dan de huidige leidingen.

Het systeem van natuurlijke circulatie was niet geschikt voor gebouwen met meerdere bouwlagen. Sinds de tweede helft van de 20e eeuw passen we daarom voor cv-systemen circulatiepompen toe. Voor hoogbouw zetten we aanvullend fundatiepompen in; zie hoofdstuk 11.

Vóór de grootschalige inzet van aardgas werden in Nederland in de jaren 1950 en 1960 vaste brandstoffen gestookt, zoals hout en kolen. Dit gebeurde met warmwaterketels, de zogeheten 'atmosferische toestellen'; zie hoofdstuk 2. Daarin werd de benodigde verbrandingslucht aangezogen door onderdruk. Die ontstond als gevolg van de thermische trek in de schoorsteen. Hoe hoger de schoorsteenhoogte was in combinatie met een hoge temperatuur van de rookgassen, des te meer onderdruk er werd opgewekt in het verwarmingstoestel.

De atmosferische warmwaterketels werden opgebouwd uit gietijzeren leden. Bij oudere installaties kun je ze af en toe nog tegenkomen. Aan hun robuuste uitvoering danken ze hun hoge leeftijd, vaak ouder dan 30 jaar. Het vervangen en slopen ervan wordt soms uitgesteld omdat daarbij asbest kan vrijkomen. Asbest verwijderen is duur en vereist vergunningen.

In een later stadium zijn overdrukketels toegepast (zie afbeelding 1.2). Daarin voert een ventilator de benodigde verbrandingslucht toe aan de ketelinstallatie. Hoge schoorstenen in combinatie met hoge rookgastemperaturen zijn niet meer noodzakelijk. Hierdoor kan de rookgas temperatuur verlaagd worden, voor het stoken van andere brandstoffen dan hout, kolen en (zwarte) olie. Lagere schoorsteentemperaturen hebben een hoger stookrendement tot gevolg. Aardgas bevat minder zwavel waardoor de rookgas temperatuur verder verlaagd kan worden, omdat een zuurdauwpunt ontbreekt; zie ook hoofdstuk 6. Moderne hoogrendements (HR) cv-ketels kunnen zo maximaal gebruikmaken van de warmtewinst door condensatie.



Afbeelding 1.2: Een overdrukketel. Bron: WTCB.

ONTWIKKELING VAN VERWARMINGSTECHNIEKEN

De werktuigkundige inzichten en mogelijkheden op het gebied van automatisering nemen steeds verder toe. De huidige cv-systemen functioneren volautomatisch en onbewaakt. In grotere gebouwen nemen we de regeling van cv-systemen vaak op in een gebouwbeheersysteem (GBS). Ook in woningen gebruiken we meer en meer intelligente regelaars die de ruimtetemperatuur regelen. Voor woningen, met name zorgwoningen of levensloopbestendige woningen, is verdere automatisering en besturing op afstand in opmars, de domotica (zie afbeelding 1.3).



Afbeelding 1.3: Een voorbeeld van domotica. Bron: Electra-Gigant.

1.2 HUIDIGE GENERATIE VERWARMINGSSYSTEMEN

In deze paragraaf geven we een kort overzicht van enkele bestaande middelen voor (energiezuinige) warmteopwekking:

- HR-ketels;
- warmtekrachtkoppeling en HRe-ketels;
- warmtepompen en bodemenergie;
- zonne-energie.

1.2.1 HR-KETELS

We passen intussen op grote schaal condenserende ketels, HR-ketels, toe om energie te besparen (zie afbeelding 1.4). De warmtewinst door condensatie bereiken we door de watertemperatuur te verlagen ten opzichte van de conventionele ketels. Conventionele ketels en installaties werden ontworpen op een aanvoer- en retourtemperatuur van 90/70 °C. Condensatie van de rookgassen bij gasgestookte ketels ontstaat pas bij een temperatuur lager dan ±56 °C; zie ook hoofdstuk 6. Deze lage temperatuur kunnen we alleen bereiken door:

- verlaging van de ketelwatertemperatuur via een variabele stooklijn;
- een modulerende branderregeling;
- een variabel pompdebiet;
- een afgiftesysteem voor lage temperaturen, zoals vloerverwarming of grote radiatoren.

De HR-ketels worden vermeld met het rendement op onderwaarde, bijvoorbeeld HR 107. Deze onderwaarde is de verbrandingswaarde zonder de latente warmte die vrijkomt bij condensatie. Hierdoor wordt er als het ware meer warmte uit gehaald dan mogelijk is op onderwaarde. Het rendement stijgt zo tot boven de 100%. De nieuwste generatie HR-ketels haalt 109% op onderwaarde.

1.2 HUIDIGE GENERATIE VERWARMINGSSYSTEMEN



Afbeelding 1.4: Een HR-ketel. Bron: Remeha.



Afbeelding 1.5: Een HRe-ketel. Bron: SenerTec.

1.2.2 WARMTEKRACHT-KOPPELING EN HRe-KETELS

Warmtekrachtkoppeling (wkk) combineert het gelijktijdig verbranden van brandstof met het aandrijven van een generator voor het opwekken van elektriciteit; zie hoofdstuk 3. Als we gelijktijdig behoefte hebben aan warmte en elektriciteit, kan wkk een interessant alternatief zijn. Mini-wkk's zijn de laatste jaren ook in opkomst binnen de woningbouw.

De HRe-ketel van SenerTec is voorzien van de Sterlingmotor en levert elektriciteit (zie afbeelding 1.5). Een nadeel van HRe-ketels is dat ze voldoende uren moeten draaien met weinig start-stops om rendabel elektriciteit op te kunnen wekken. Dat maakt ze geschikt voor grotere c.q. slecht geïsoleerde woningen en kleine utiliteit. De toepassing is momenteel in de testfase, maar kan in de toekomst een belangrijke aanvulling vormen.

1.2.3 WARMTEPOMPEN EN BODEMENERGIE

Warmtepompen zijn populair in zowel utiliteits- als woningbouw (zie afbeelding 1.6). In de jaren 1980-1990 stonden ze nog in de kinderschoenen, maar de techniek is intussen uitgewerkt en betrouwbaar. Een warmtepomp brengt warmte van een laagwaardig naar een bruikbaar niveau door met een compressor energie toe te voegen. Bodemwarmte, grondwater, ventilatielucht en (met een lagere opbrengst) buitenlucht zijn uitstekend geschikt als bronwarmte.

In kleinere installaties gebruiken we bodemwarmte met een gesloten bodemwarmtewisselaar. In grotere installaties doen we dit vaak via een open bronsysteem, waarbij we het water opslaan in aquifers, watervoerende lagen in de bodem. Een groot voordeel van bodemenergie en warmtepompen is dat we er relatief goedkoop mee kunnen koelen, want er is een kleinere koelmachine nodig. Meestal moet dit ook om de bodemtemperatuur weer in balans te brengen.



Afbeelding 1.6: Een Stiebel Eltron-warmtepomp.
Bron: TK Warmtepomptechniek.

1.2.4 ZONNE-ENERGIE

Uit de zon kunnen grote hoeveelheden energie worden betrokken voor zowel de verwarming van warmtapwater als de centrale verwarming. Het verwarmen van warmtapwater ligt het meest voor de hand, omdat we hiervan een voorraad kunnen opslaan. Voor de centrale verwarming ligt het minder voor de hand, omdat de zon het meest schijnt in de zomer terwijl dan het minst centrale verwarming nodig is. Zonne-energie kan echter goed gecombineerd worden voor warmtapwater en centrale verwarming. In perioden waarin er te weinig opbrengst is van de zonne-energie, verwarmen we bij met een andere warmteopwekker, meestal een gasketel.

Wie energie gaat opwekken via bijvoorbeeld zonnecollectoren of biogas, kan in aanmerking komen voor een subsidie via de SDE, Stimuleringsregeling Duurzame Energie (zie afbeelding 1.7). Deze regeling valt onder het ministerie van Economische Zaken. Subsidie is aan te vragen via uitvoeringsinstantie AgentschapNL. Een producent ontvangt vanaf 1 april 2013 voor:

- zonne-energie: 3,3 eurocent per kW;
- wind op land: 2,8 eurocent per kW;
- verbranding van vaste biomassa: 5,3 eurocent per kW;
- vergisting van GFT: 5,3 eurocent per kW;
- mestvergisting: 5,3 eurocent per kW;
- biogas: 7,0 eurocent per m³.



Afbeelding 1.7: Een windmolen. Bron: Essent.

1.3 DUURZAME ONTWIKKELING VAN VERWARMINGSSYSTEMEN

1.3.1 KLIMAATNEUTRALE VERWARMING

In deze paragraaf gaan we verder in op duurzame energie en alternatieve energiebronnen. Wat zijn de nieuwste ontwikkelingen op het gebied van duurzame energie? Welke alternatieve energiebronnen zijn er al? We behandelen hier de onderwerpen:

- klimaatneutrale verwarming;
- passieffhuis;
- energieprestatie-eisen.

Fossiele brandstoffen zoals aardgas en olie veroorzaken CO₂-uitstoot en dragen bij aan de opwarming van de aarde. Wetenschappers zijn het nog niet eens over hoe groot de gevolgen zijn van die opwarming. De grootste uitstoters van CO₂ zijn het verkeer en de gebouwde omgeving. De Europese Unie heeft vastgelegd dat ze in 2020 de CO₂-uitstoot met 17,7% (bijgesteld, was 20%) wil reduceren ten opzichte van 1990. Dit kan onder meer gerealiseerd worden door de bestaande gebouwen via renovatie zeer energiezuinig te maken.

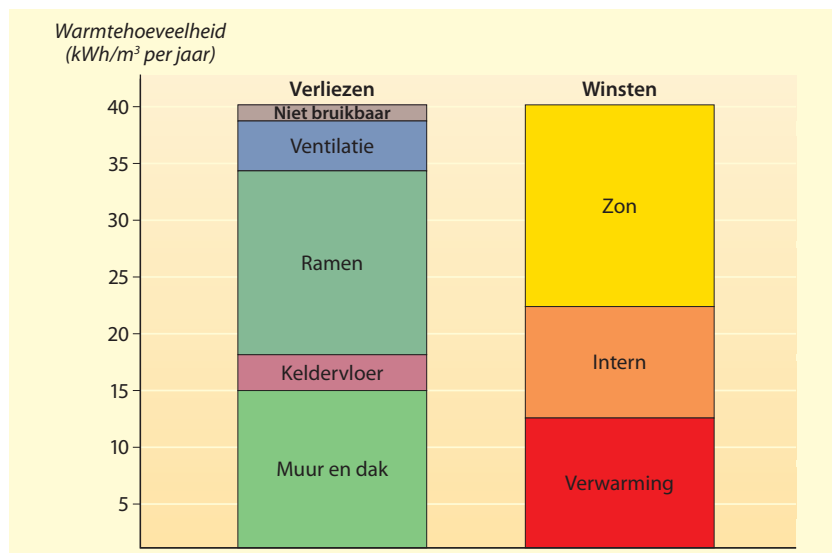
Steeds meer gebouwen zullen klimaatneutraal worden verwarmd, dus zonder CO₂-uitstoot en energieneutraal. De brandstofprijzen blijven stijgen en de CO₂-doelstellingen worden almaar strenger, onder andere vertaald in de wettelijke energieprestatie-eis van gebouwen. Daarom zullen bijvoorbeeld fossiele brandstoffen niet meer worden ingezet en zullen gebouwschillen hoogwaardig worden geïsoleerd.

Met slimme regelingen – onder andere smart grids – kunnen we opgeslagen warmte van de zon en aarde en/of restwarmte van industriële processen en stadsverwarming (afkomstig van elektriciteitscentrales) beter gebruiken en afstemmen op de gebruikers. Daarnaast zullen geothermische energie (warmte die op grote diepte uit de aarde wordt gehaald) en brandstofcellen vooral voor grote gebouwen worden ingezet. Nieuwe technieken worden steeds goedkoper en dus toegankelijker als ze grootschalig worden toegepast.

ONTWIKKELING VAN VERWARMINGSTECHNIEKEN

1.3.2 PASSIEFHUIS

'Passiefhuis' is een verfijning van de term 'lage-energiegebouw'. Passiefhuizen of -gebouwen hebben een energiebehoefte voor ruimteverwarming van maximaal 15 kWh per m² vloeroppervlak per jaar. Het in Duitsland ontwikkelde concept 'passief bouwen' neemt de gratis warmte van zon, bewoners en hun apparatuur als vertrekpunt voor de warmtehuishouding van een gebouw. Door die energie zonder extra inspanning (passief) te gebruiken, wordt een verwarming (bijna) overbodig (zie afbeelding 1.8).



Afbeelding 1.8: Energieverliezen en -winsten in een passiefhuis. Bron: Multicomfort.

Zowel particuliere woningen als kantoren, scholen, enzovoort kunnen volgens de passiefhuis-norm worden gebouwd. Bijkomend voordeel is dat deze gebouwen een comfortabel binnenklimaat in de winter en zomer kunnen realiseren zonder een 'klassiek' verwarmings- of koel-systeem.

Een passiefhuis is door de hoogwaardige isolatie en aanvullende maatregelen ongeveer 20% duurder dan een niet-passief gebouw van dezelfde omvang. De architectonische vrijheid van passiefhuizen is daarbij zeer groot, al moet er wel aan een aantal basisprincipes worden voldaan:

- maximaal isoleren;
- ventilatie met warmteterugwinning;
- efficiënte zonnebenutting;
- luchtdicht bouwen (dubbele naad- en kierdichting).

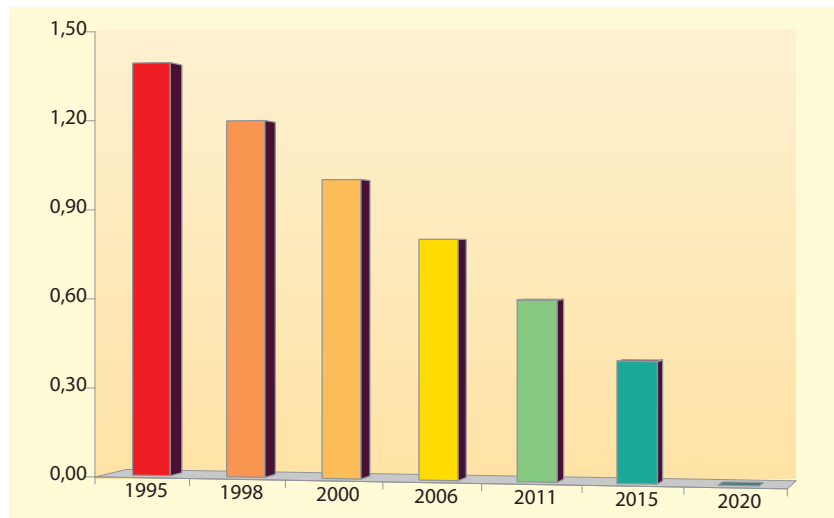
Als aanvulling zijn efficiënte huishoudelijke apparaten (energielabel A) wenselijk. Hun energieverbruik telt echter niet mee in het behalen van het normverbruik van 15 kWh/m²·a.

1.3.3 ENERGIEPRESTATIE-EISEN

De in het Bouwbesluit opgenomen energieprestatiecoëfficiënt (epc) vereist dat voor nieuwe gebouwen en woningen de energieprestatie wordt berekend. De epc is het quotiënt van het berekende verbruik gedeeld door het normverbruik. Voor nieuwbouwwoningen is de epc per 1 januari 2011 omlaag gebracht van 0,8 naar 0,6. Met deze norm is het niet meer mogelijk om nog traditioneel te bouwen zonder toepassing van nieuwe, soms alternatieve technieken. Denk bijvoorbeeld aan warmtepompen en zonne-energie.

De Nederlandse overheid wil dat in 2015 de epc verder daalt naar 0,4 en vervolgens naar 0 in 2020 (zie afbeelding 1.9). Nederlandse bouwers, van de architect tot de adviseur en aannemer, zullen nu al moeten nadenken over maatregelen om dit te kunnen realiseren. Alternatieve brandstoffen die we steeds meer gebruiken om zowel de energieprestatie van gebouwen als de CO₂-uitstoot te verlagen zijn vooral bio-energie en bodemwarmte in combinatie met warmtepompen.

1.4 GEOTHERMISCHE ENERGIE: BODEM- EN AARDWARMTE



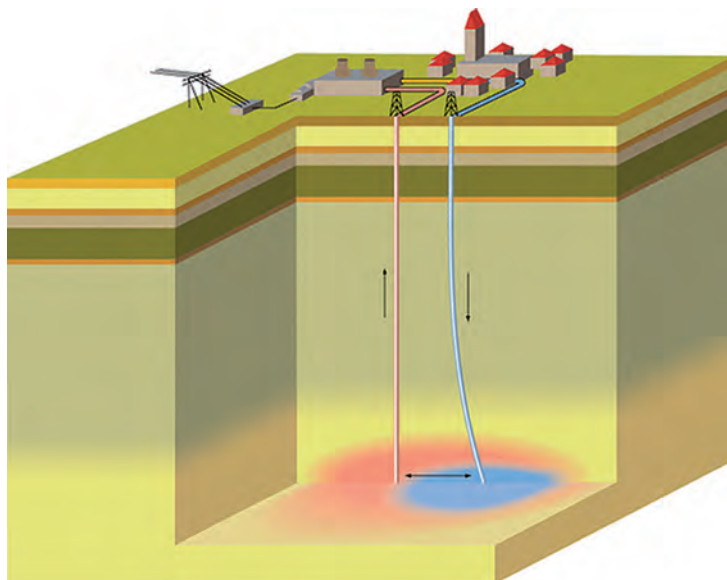
Afbeelding 1.9: Ontwikkeling van de epc-eis voor nieuwbouwwoningen. Bron: www.bbn.nl.

1.4 GEOTHERMISCHE ENERGIE: BODEM- EN AARDWARMTE

Diep in de aarde bevindt zich een enorm energiepotentieel: geothermische energie. Deze zit zowel in de bodem (bodemwarmte) als dieper in de aarde (aardwarmte). Ze is bruikbaar voor verwarming.

De bovenste laag van de aarde, de bodem, wordt verwarmd door de zon. Met een warmtepomp kunnen we de temperatuur verhogen tot bruikbare warmte. Na enkele honderden meters diepte komt de warmte uit het binnenste van de aarde. Een deel van die aardwarmte verwarmt het grondwater. In Nederland is het grondwater op een diepte van 500 m warm genoeg om in te zetten als verwarming. In landen zoals IJsland is aardwarmte zichtbaar, in de vorm van vulkanen en geisers.

Geothermische energie heeft een belangrijk voordeel boven andere vormen van hernieuwbare energie zoals wind, water en zon: ze varieert niet door wisselende weersomstandigheden. Reden genoeg dus om technieken te ontwikkelen waarmee we deze energiebron optimaal kunnen toepassen. Het gebruik van aardwarmte staat nog in de kinderschoenen, al realiseren we er momenteel reeds relatief kleinschalige projecten mee. In de toekomst zijn er misschien grootschalige projecten mee mogelijk, zoals de energievoorziening van industriële omgevingen of complete woonwijken (zie afbeelding 1.10).



Afbeelding 1.10: Geothermische energie voor een woonwijk. Bron: www.kennislink.nl.

ONTWIKKELING VAN VERWARMINGSTECHNIEKEN

**1.5 BIO-ENERGIE
ALS ENERGIEBRON**

Voordat mensen de fossiele brandstoffen ontdekten, gebruikten zij alleen bio-energie als energiebron. Denk aan suikerriet, olie uit de koolzaadplant, houtsnippers, gras, houtskool, gedroogde mest en dierlijke vetten (zie afbeelding 1.11). Deze energiedragers worden wereldwijd nog volop gebruikt, voornamelijk in landen waarin fossiele energie (olie) te duur is. Hout dient bijvoorbeeld om vuur te maken waarop gekookt kan worden. In onder andere India worden op het platteland faecaliën (menselijke uitwerpselen) in minivergisters vergist tot brandbaar methaangas. Mest van koeien, varkens of kippen wordt vaak ook toegepast als biobrandstof.



a Suikerriet



b Koolzaad



c Houtsnippers



d Gras

Afbeelding 1.11: Biobrandstoffen. Bron: Columbus (a), Panoramio (b) en BeGreen (c).

Drie soorten biomassa

Energie uit plantaardig materiaal, biomassa, noemt men ook wel bio-energie. De oorsprong van de biomassa is zonne-energie. Met zonlicht zetten planten via fotosynthese koolstofdioxide en water om in energierijke stoffen zoals cellulose, suiker en zetmeel. Bij dit proces komt zuurstof vrij. Als plantaardig materiaal (hout/cellulose) verbrandt, komt de opgeslagen energie vrij in de vorm van warmte.

Veel biomassa is afval. Denk bijvoorbeeld aan gft-afval, snoeihout, oud papier, rioolwaterzuiveringsslib en baggerspecie. Een tweede categorie biomassa bestaat uit snelgroeiende bomen en planten die speciaal geteeld worden om energie te leveren, zoals olifantengras, energimaïs, koolzaad, populier en wilg. We spreken dan van energieteelt. Een derde categorie biomassa bestaat uit algen. In tegenstelling tot de andere categorieën vormt zij geen probleem voor de mondiale voedselproductie. In Nederland is een bedrijf gevestigd dat gespecialiseerd is in industriële algenproductie voor de biomassa-industrie.

Voor- en nadelen van bio-energie

Bio-energie wordt op grote schaal ingezet als duurzame energie. Een voorbeeld: ethanol wordt geproduceerd uit suiker of granen, terwijl biodiesel wordt gemaakt van plantaardige olie. Die groene brandstoffen worden steeds meer vermengd met gewone benzine of diesel om geleidelijk het energiegebruik te verduurzamen. In Duitsland wordt biobrandstof met 10% bio-ethanol al verplicht verkocht bij tankstations met de aanduiding E10.

Maar het gebruik van bio-energie heeft ook nadelen. Om te beginnen komt bij de verbranding van biomassa koolstofdioxide vrij. Daarnaast maakt de biomassa onderdeel uit van een ecologische kringloop. Wordt een element uit die kringloop gehaald, zoals door houtkap, dan valt er geen dood blad meer op de bodem (voedsel voor bodemdieren), verdwijnen het bodemleven en de hele humuslaag en treedt er bodemerrosie op.

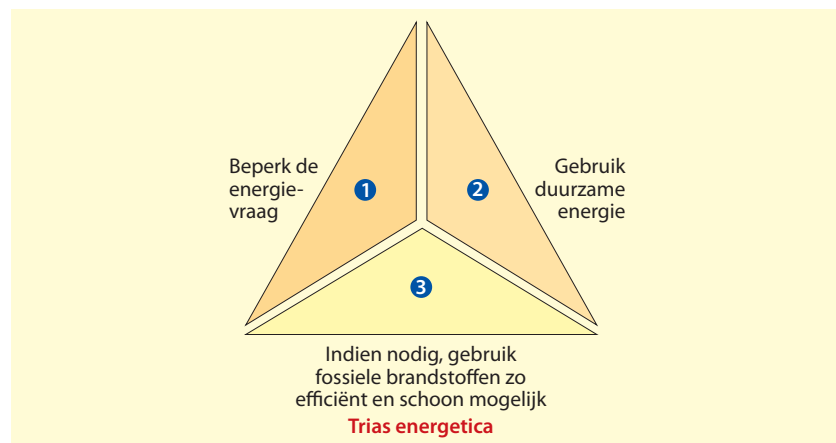
Zo groeide er in Nederland vóór de Gouden Eeuw vooral bos op de Veluwe. Door de groot-schalige houtkap voor scheepsbouw en brandstof bevinden zich daar nu grote duingebieden met zand en heide. Aan de andere kant van de Atlantische Oceaan, in Brazilië, verdwijnen in hoog tempo beschermde oerbossen. De plattelandsbewoners worden er zo beroofd van de houtskool, die nu dient als goedkope energiebron voor hoogovens.

Het energiegebruik van de mens is zo groot, dat wanneer in de energiebehoefte zou worden voorzien met bio-energie in plaats van fossiele brandstoffen, de bossen overal snel zouden verdwijnen. Bio-energie uit hout en plantaardig materiaal is geen oneindig hernieuwbare brandstof. Bovendien zouden arme landen door de grootschalige teelt van bio-energie-gewassen niet meer voedselgewassen kunnen telen, wat de mondiale welvaartverschillen nog verder zou vergroten.

1.6 TRIAS ENERGETICA

De trias energetica is een denkmodel dat ontwikkeld is door Novem, tegenwoordig Agent-schapNL. Het maakt duidelijk wat je kunt doen om spaarzaam en duurzaam met energie (en grondstoffen) om te gaan. De driehoek in afbeelding 1.12 bestaat uit drie onderdelen:

- Beperk de energievraag.
- Gebruik duurzame energie.
- Indien nodig, gebruik fossiele brandstoffen zo efficiënt en schoon mogelijk.



Afbeelding 1.12: Trias energetica.

Deze driehoek vormt een krachtenveld. Het is niet zo dat we op alle velden maximaal moeten inzetten. Soms kan het beter zijn om één driehoek maximaal te gebruiken en in de andere twee driehoeken niets bijzonders te doen. Vaak is dit een financiële afweging.

ONTWIKKELING VAN VERWARMINGSTECHNIEKEN

Stap 1: beperk energievraag

De ontwerper van een gebouw kan de energievraag helpen beperken door bijvoorbeeld het gebouw:

- goed te laten isoleren met dikke isolatiepakketten en HR++(+)-glas;
- op het zuiden te oriënteren.

De gebruiker van een gebouw kan veel besparen door bijvoorbeeld:

- de thermostaat lager te zetten;
- lampen uit te doen wanneer ze niet nodig zijn;
- goed ketel- en ventilatiesysteemonderhoud.

Stap 2: gebruik duurzame energie

Duurzame energie is energie van bronnen die niet 'op' kunnen raken en het milieu weinig belasten. Zonne-energie van zonnepanelen en windenergie van windmolens zijn bekende voorbeelden van energie uit duurzame bronnen. Maar er zijn meer mogelijkheden, zoals het gebruik van geothermische energie. De benodigde technieken worden steeds verder ontwikkeld en we passen ze al heel verschillend toe.

Een eenmalige investering in het gebruik van duurzame energie levert uiteindelijk een flinke besparing op. Bijvoorbeeld gebouweigenaren, projectontwikkelaars en aannemers moeten op de langere termijn leren denken, omdat veel technieken zich dan later terugverdienen.

Stap 3: indien nodig, gebruik fossiele stoffen zo efficiënt en schoon mogelijk

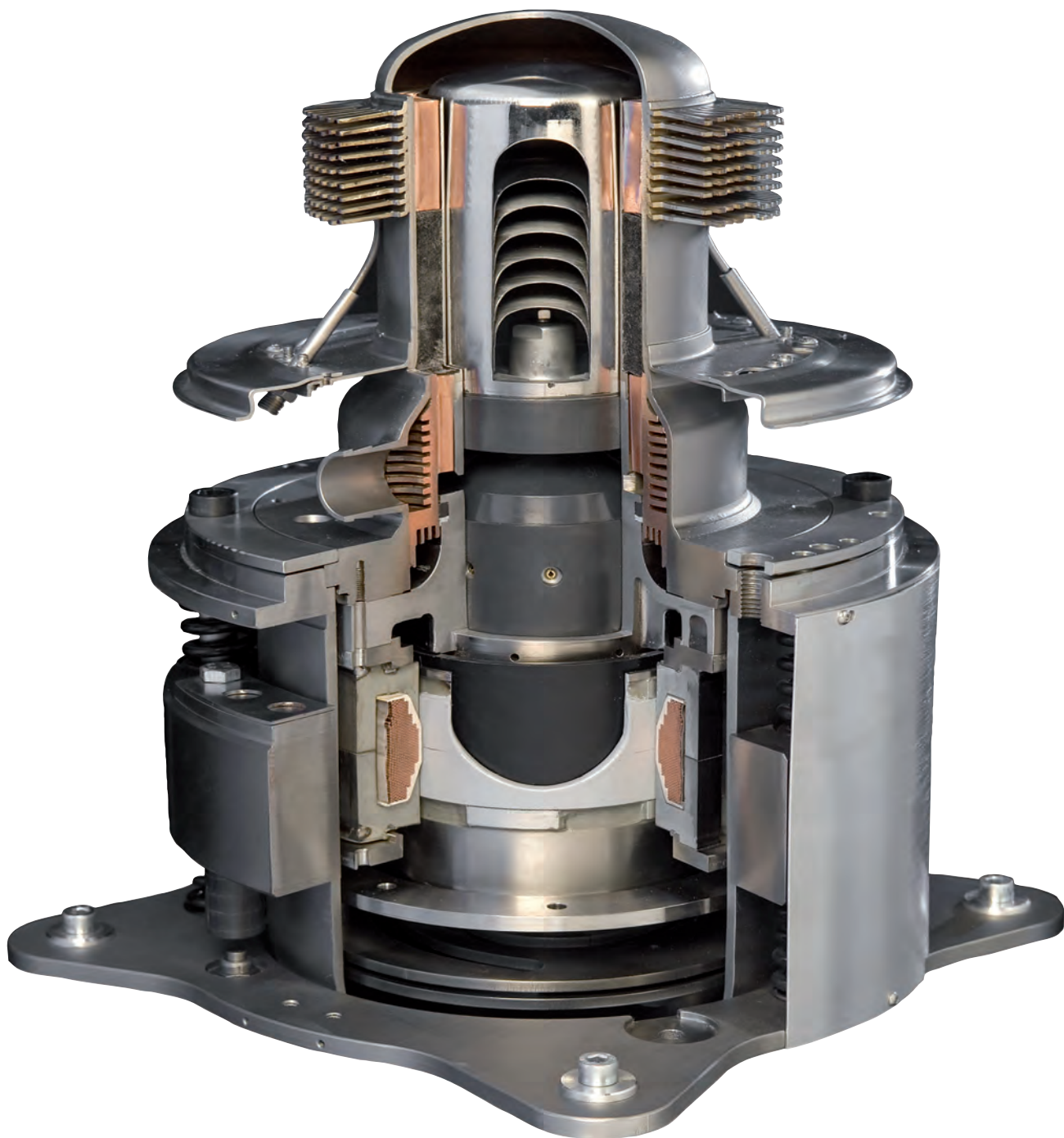
Energie van 'eindige' bronnen moeten we zo slim mogelijk gebruiken. Onder eindige bronnen vallen niet alleen fossiele brandstoffen, maar ook grondstoffen als uranium. Deze energiebronnen raken ooit op en zijn bovendien belastend voor het milieu, in het geval van kernafval zelfs vele tienduizenden jaren lang.

We moeten de eindige energie zo verstandig mogelijk inzetten, bij woningen bijvoorbeeld door middel van:

- een HR-ketel (geeft met weinig gas veel warmte);
- zuinige elektrische apparaten, zoals pompen met een energielabel A.

HOOFDSTUK 3

WARMTEKRACHTKOPPELING EN GASABSORPTIE



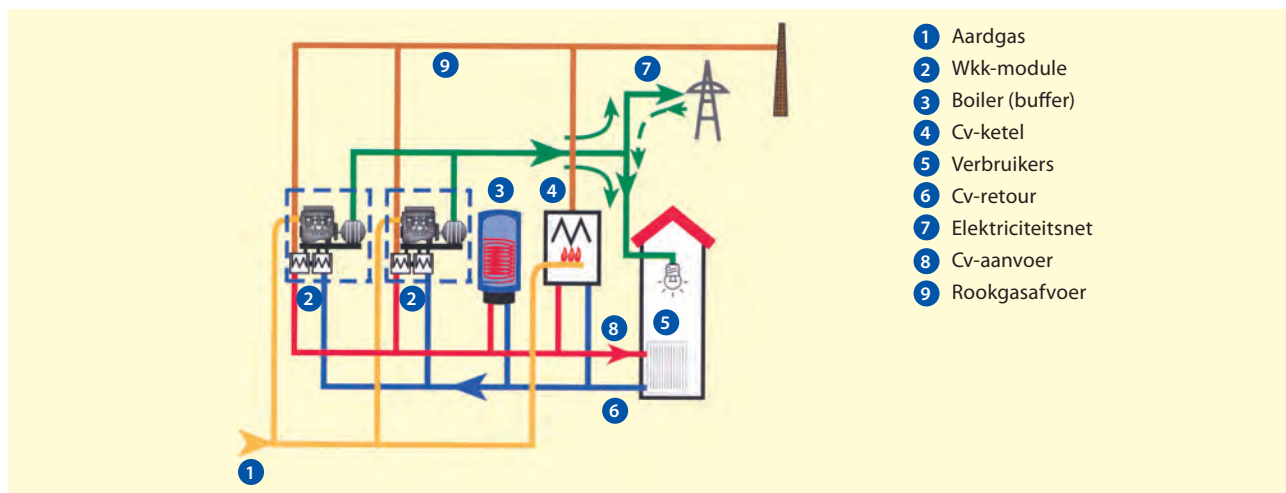
Warmtekrachtkoppeling (wkk) is het opwekken van elektriciteit door een motor of turbine, met gelijktijdig gebruik van de ontwikkelde warmte. Dit levert een zeer hoog rendement op doordat de meeste 'verliezen' (de vrijgekomen warmte) nuttig worden gebruikt. Er bestaan vele uitvoeringen van wkk-installaties, voor kleine huishoudelijke tot zeer grote industriële toepassingen. Vroeger waren het met name de grotere gebouwen, ziekenhuizen en industrieën waarvoor wkk werd gebruikt, maar tegenwoordig zijn er ook kleine wkk-installaties voor kleinere utiliteitsgebouwen en woningen. De nieuwste mini-wkk's kennen we als HRe-ketels. Nog een vorm van duurzame en energiebesparende warmteopwekking is de toepassing van gasabsorptiewarmtepompen.

Dit hoofdstuk gaat over:

- de werking van warmtekrachtkoppeling;
- uitvoeringsvormen van de wkk-opwekker;
- de gasabsorptiewarmtepomp.

De basis van warmtekrachtkoppeling met een motor is dat deze draait om stroom te genereren (zie afbeelding 3.1a). De daarbij vrijkomende warmte gebruiken we voor verwarmingsdoeleinden.

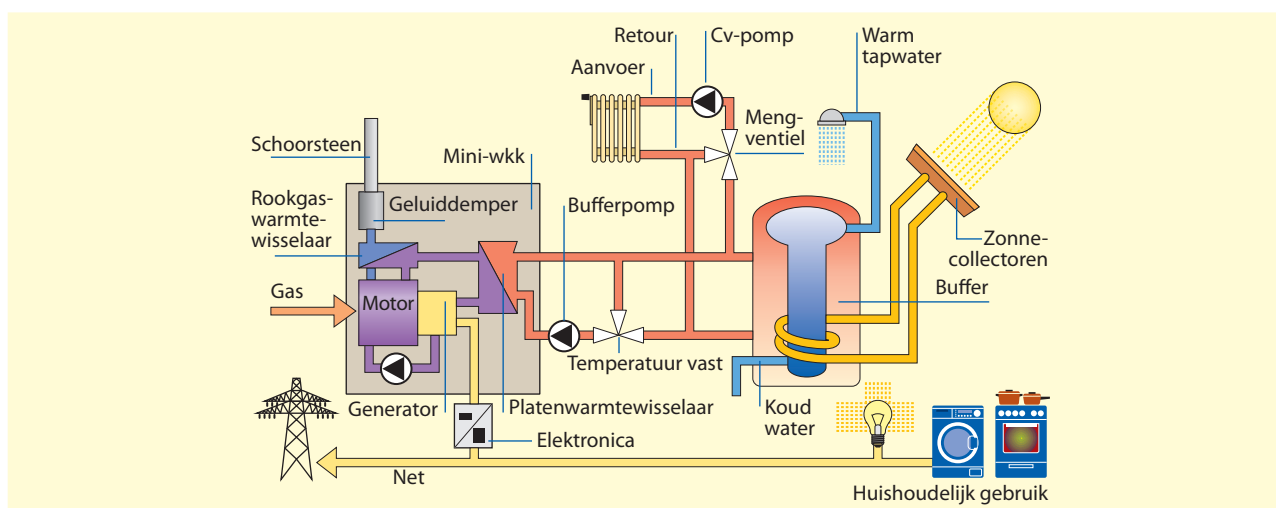
3.1 WERKING VAN WARMTEKRACHTKOPPELING



a Principeschema van wkk

Wkk-installaties halen een hoger rendement op fossiel brandstofverbruik dan de afzonderlijke conventionele opwekkingen, indien er een juiste balans is tussen de gelijktijdige behoefte aan warmte en stroom. Hiervoor wordt de afzonderlijke opwekking van elektriciteit vergeleken met een conventionele elektriciteitscentrale, met een landelijk gemiddeld opwekkingsrendement van 39%. Dit op basis van diverse brandstoffen, waaronder steenkool. De motor is voor grotere systemen meestal een cilinderbrandingsmotor (gas, diesel), in kleinere systemen bijvoorbeeld een Stirlingmotor; zie de HRe-ketel.

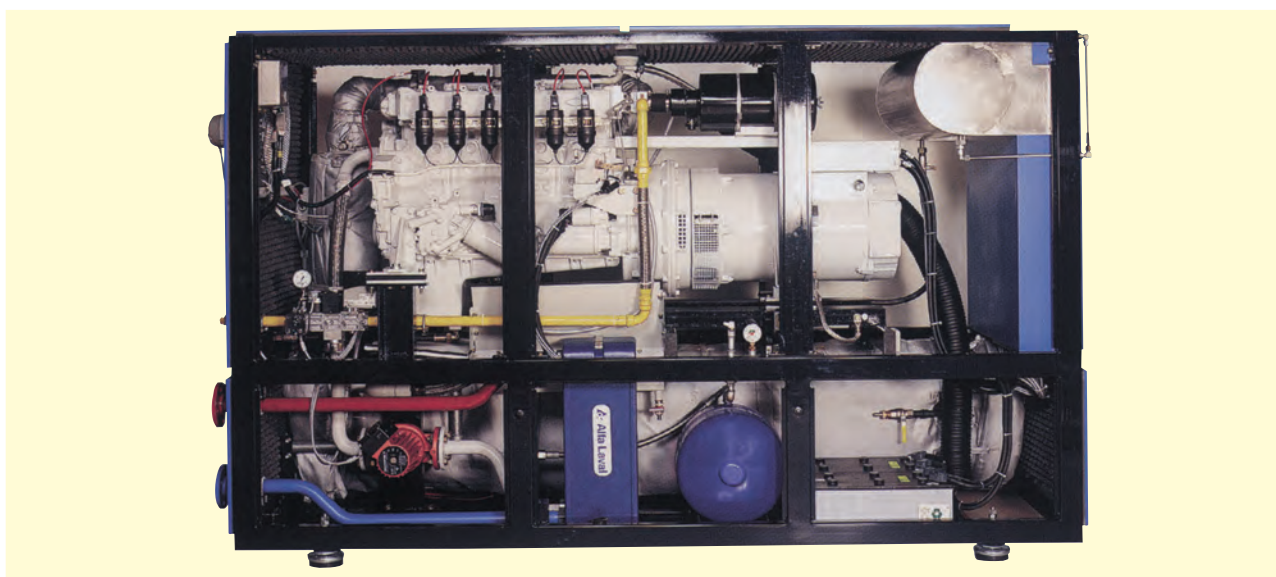
Bij de huishoudelijke installatie van afbeelding 3.1b wordt stroom geleverd aan het openbare net of de eigen gebruikers, maar er is ook stroom nodig voor de besturingstechniek.



b Principeschema van een wkk-installatie in een woning



c Buitenkant van Buderus Loganova, voor grotere woning- en utiliteitsprojecten



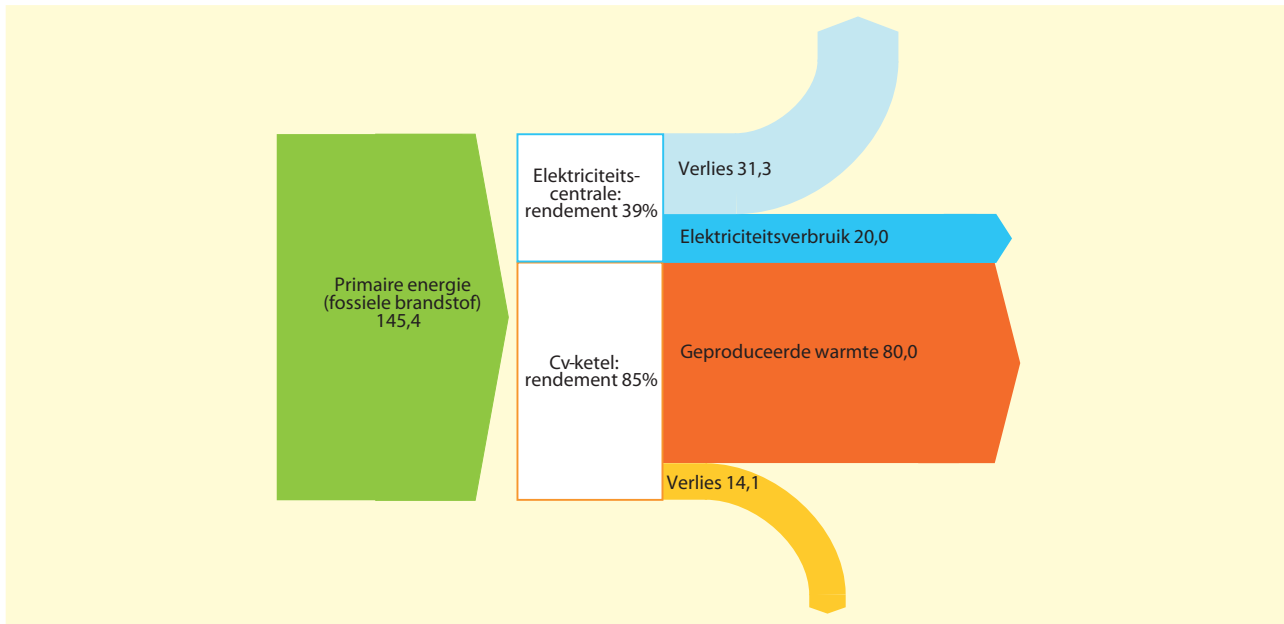
d Binnenkant van Buderus Loganova

Afbeelding 3.1: Wkk-installaties. Bron: Nefit (a, c en d) en www.ecovisie.nl (b).

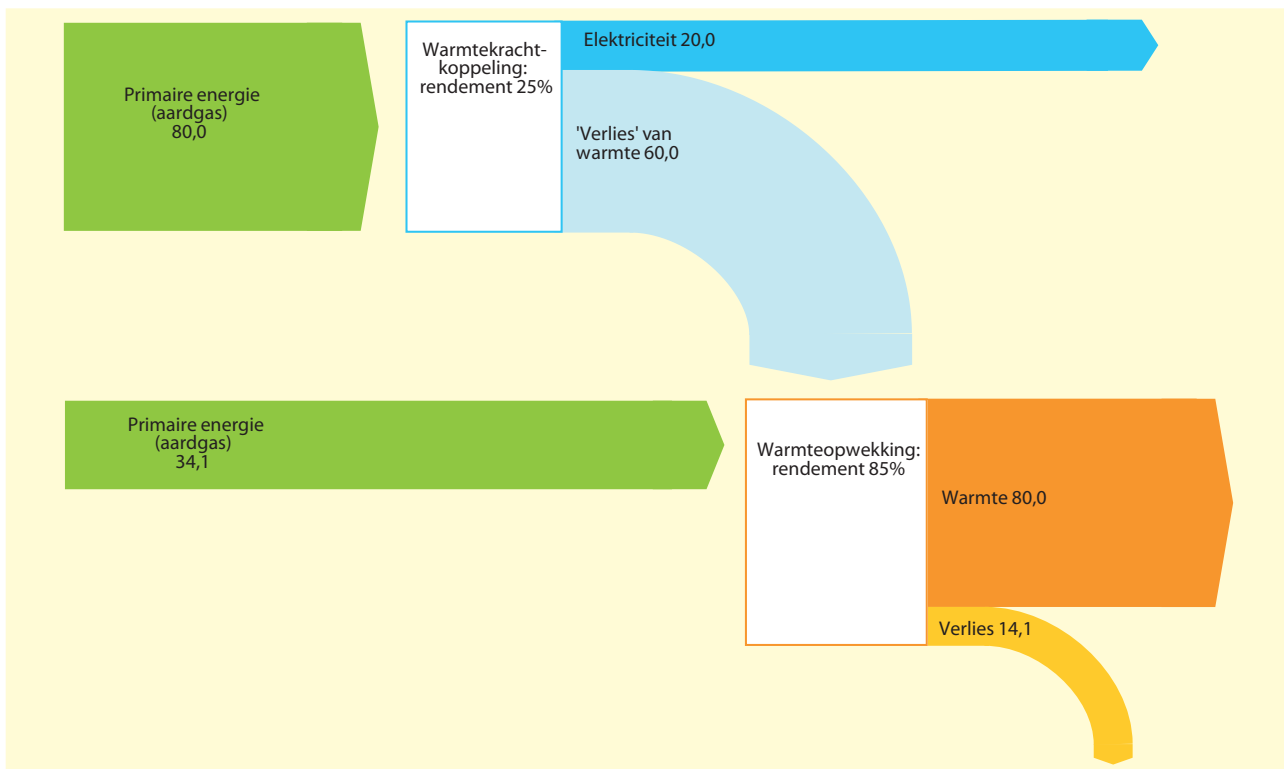
3.1.1 RENDEMENT EN EXPLOITATIEKOSTEN

We vergelijken hier het opwekkingsrendement van een wkk-installatie met die van een conventionele installatie. De conventionele opwekking bestaat in het onderstaande voorbeeld uit elektriciteit van het openbare net en warmte uit een gasgestookte HR-ketel. Voor de elektriciteitsopwekking via een centrale is gerekend met een opwekkingsrendement van 39%. Voor warmteopwekking met een gestookte ketel is gerekend met een gemiddeld opwekkingsrendement van 85%.

In afbeelding 3.2 tonen we de rendementsvergelijking schematisch in een Sankey-diagram. De pijlen geven energiehoeveelheden weer. De dikte van de pijl staat in verhouding tot de hoeveelheid.



a Conventionele opwekking door een elektriciteitscentrale en cv-ketel



b Opwekking door een wkk-installatie

Afbeelding 3.2: Primaire energie voor de opwekking van 80 eenheden warmte en 20 eenheden elektriciteit.

De berekening gaat uit van de opwekking van 80 eenheden warmte en 20 eenheden elektriciteit, in totaal dus 100 eenheden. Bij de wkk-installatie wordt elektriciteit opgewekt met een rendement van 25%, wat slechter is dan het rendement van 39% van een centrale. De vrijgekomen warmte wordt echter gebruikt voor de warmteproductie, zodat daar slechts 34,1 eenheden energie moeten worden toegevoerd voor het verkrijgen van 80 eenheden warmte. In totaal worden bij wkk dus:

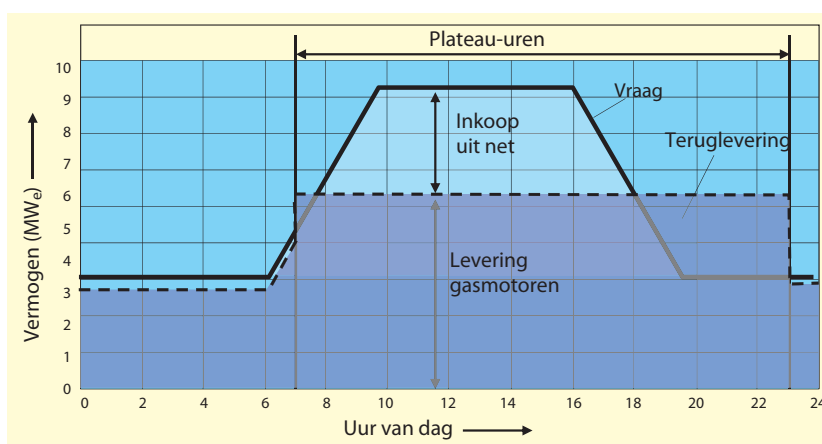
$$80 + 34,1 = 114,1 \text{ eenheden fossiele energie}$$

toegevoerd voor het opwekken van 100 eenheden stroom en warmte. In het schema van de conventionele opwekking is duidelijk te zien dat er 145,4 eenheden aan fossiele energie nodig zijn voor dezelfde opbrengst. De rendementen zijn op bovenwaarde.

Wanneer we de stroom niet nuttig kunnen gebruiken, leveren we deze terug aan het elektriciteitsnet. Wkk kan pas rendabel draaien bij voldoende warmtevraag. Hierdoor is wkk minder geschikt voor zeer energiezuinige woningen, omdat de warmtevraag te laag is. Bij een hogere warmtevraag ook in de zomer, zoals voor het verwarmen van een zwembad of warmtapwater, nemen de draaiuren toe en kan een wkk rendabel draaien.

3.1.2 HAALBAARHEID VAN WKK

In vollast bedraagt het rendement van de huidige generatie motoren ongeveer 40%. Een belastingduurkromme van zowel de warmtebehoefte als de elektriciteitsbehoefte kan inzicht geven in de inzetbaarheid en haalbaarheid van een wkk-installatie. In de 24-uursbelastingduurkromme van afbeelding 3.3 is te zien welke elektriciteit moet worden aangevuld door bijvoorbeeld de inkoop van stroom wanneer de wkk op vollast draait; zie ook paragraaf 2.7 voor een duurkromme over een veel langere periode.



Afbeelding 3.3: 24-uursbelastingduurkromme van het elektriciteitsverbruik. Bron: GasTerra.

Bij het ontbreken van warmtevraag in de zomer kan een wkk-installatie eigenlijk niet rendabel draaien. Om dit te ondervangen, kunnen we warmte blijven leveren aan bijvoorbeeld een absorptiekoelmachine. (Absorptiekoeling is een proces waarvoor warmte nodig is; daar gaan we niet nader op in.) Hierdoor kunnen we vaak ondanks het slechte rendement van absorptiemachines een acceptabel jaarrendement met de wkk-installatie bereiken. Daarnaast kunnen we warmte leveren om in de bodem op te slaan met een bodemopslagsysteem (wko); zie hoofdstuk 4. Het onbeperkt laden van warmte in de bodem is echter niet mogelijk, omdat de bodemtemperatuur en met name hierbij de grondwatertemperatuur in balans moet blijven.

Naast de belastingduurkrommen helpt een exploitatieoverzicht de haalbaarheid van wkk te onderzoeken. In een haalbaarheidsonderzoek vergelijken we de exploitatiekosten van een wkk-installatie met de kosten van een conventionele installatie. Tabel 3.1 toont een exploitatieoverzicht van een conventionele warmteopwekking waarbij elektriciteit wordt ingekocht. Tabel 3.2 toont een exploitatieoverzicht van een installatie gebaseerd op eigen elektriciteitsopwekking via wkk, in dit geval met een gasmotor. Het warmte- en elektriciteitsverbruik zijn in beide gevallen hetzelfde, namelijk 1.098.906 kWh warmteverbruik en 500.000 kWh elektriciteitsverbruik.

		HR-ketel	E-net	Prijseenheid €	Jaarkosten €
Elektriciteitinkoop	kWh _e		500.000	0,15	75.000
Aardgasverbruik	m ³ ₀	125.000		0,40	50.000
Stookrendement	%	90			
Warmwateropwekking	kWh _{th}	1.098.906			
Verbrandingswaarde	kJ/m ³ ₀	35.165			
Energiekosten	€				125.000
De 'e' van kWh _e staat voor elektrisch, de 'th' van kWh _{th} voor thermisch.					

Tabel 3.1: Exploitatiekosten op jaarbasis bij conventionele opwekking (zonder wkk).

		Gasmotor		Prijseenheid €	Jaarkosten €
Elektriciteitopwekking	kWh _e		599.403		0
Elektriciteitinkoop	kWh _e		–99.403	0,07	–6.958
Aardgasverbruik	m ³ ₀	204.545		0,40	81.818
Stookrendement	%	55	30		
Warmwateropwekking	kWh _{th}	1.098.906			
Verbrandingswaarde	kJ/m ³ ₀	35.165	35.165		
Energiekosten	€				74.860
De 'e' van kWh _e staat voor elektrisch, de 'th' van kWh _{th} voor thermisch.					

Tabel 3.2: Exploitatiekosten op jaarbasis bij wkk-opwekking.

De HR-ketel heeft een gemiddeld jaarrendement van 90% op bovenwaarde, de gasmotor een gemiddeld jaarrendement van 55% voor warmteopwekking en 30% voor elektriciteitsopwekking op bovenwaarde. De wkk zorgt jaarlijks voor (€ 125.000 – € 74.860 =) € 50.140 minder energiekosten. Er zal moeten worden onderzocht of deze wkk-variant een gunstige terugverdientermin heeft. Hierbij zal de investering in een gasmotor afgezet moeten worden tegen de te bereiken energiebesparing.

De hier gebruikte prijzen (prijsspeil 2012) zijn bedoeld voor grootverbruikers en exclusief btw. Voor kleinverbruikers en huishoudens liggen de prijzen veel hoger, waardoor het plaatje er heel anders uit komt te zien. Bovendien is dit een toepassing voor zogeheten 'eilandverbruik', waarbij er geen elektriciteit ingekocht hoeft te worden, wat in de praktijk niet altijd te realiseren is. Er wordt in dit voorbeeld elektriciteit teruggeleverd waarvoor een lager tarief van toepassing is.

Het exploitatieoverzicht geeft inzicht in de jaarlijkse energiekosten. Dit kunnen we uitbreiden met operationele kosten en de emissies van NO_x en CO₂. Aan de hand van kengetallen brengen we dan de kosten van de installatie in kaart. Belangrijk is om de jaarverbruiken te hantieren met ook een jaargemiddeld rendement van de ketels en gasmotor. Via de exploitatiekosten op jaarbasis, waarin mede afschrijvingen en onderhoudskosten zijn opgenomen, kunnen we een keuze maken op economische gronden. Een doelstelling om te besparen op fossiele energie kan hierbij eveneens doorslaggevend zijn. Alternatieven voor de opwekking van energie kunnen we zo correct op de voor- en nadelen beoordelen.

3.2 UITVOERINGS- VORMEN VAN WKK-OPWEKKER

Er zijn twee typen opwekkers om elektriciteit te produceren:

- de gasmotor voor de levering van warmwater;
- de gasturbine voor de levering van stoom of heetwater voor grote installaties.

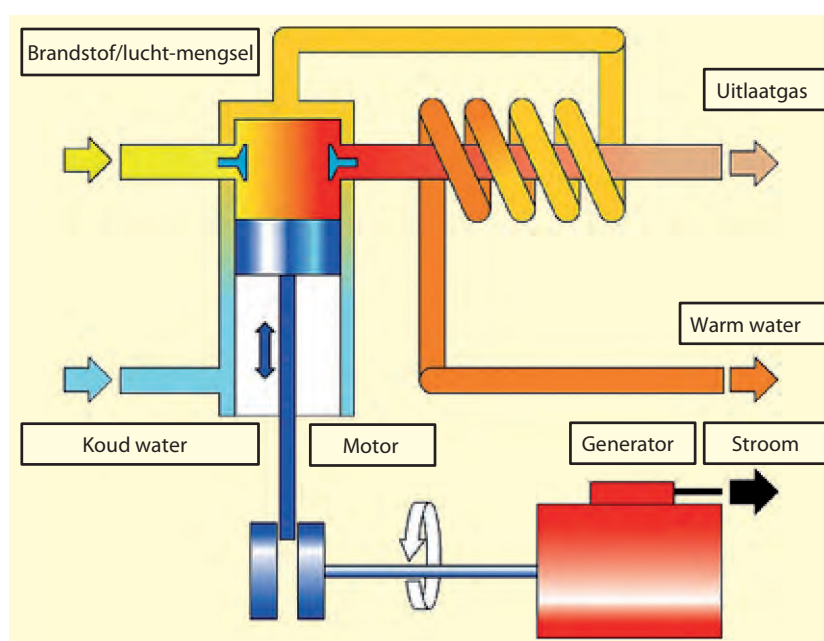
De veel toegepaste gasmotoren kunnen worden onderverdeeld in:

- de cilinder(gas)motor, voor grotere vermogens;
- de Stirlingmotor, voor kleinschalige toepassingen zoals woningen. Dit type met een hete-luchtmotor is in de handel gebracht als HRe-ketel of micro-wkk.

Daar gaan we in deze paragraaf op in. We eindigen met een uitleg van de werking van gasabsorptiewarmtepompen.

3.2.1 WKK MET CILINDERGASMOTOR

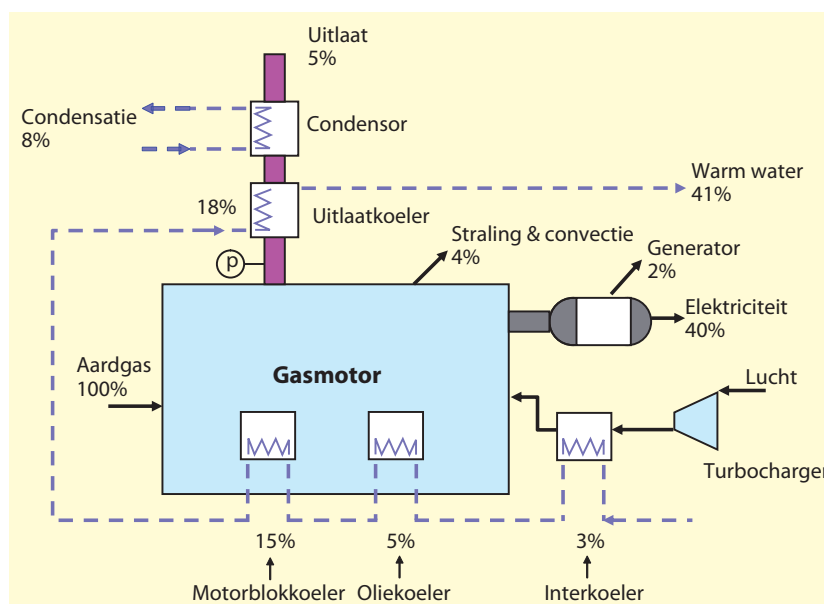
In een cilindergasmotor wordt het (aard)gas tot ontsteking gebracht en verbrand. Aan de aandrijfas hiervan is een generator gekoppeld die zorg draagt voor de elektrische stroomopwekking (zie afbeelding 3.4).



Afbeelding 3.4: Principe van een cilindermotor van wkk. Bron: www.meeroverepb.be.

De gasmotor wordt gekoeld met water (zie afbeelding 3.5) om:

- de motortemperatuur te begrenzen;
- de olie te koelen, wat noodzakelijk is om de door wrijving van de bewegende delen ontstane warmte af te voeren;
- de gecompriëerde lucht van de turbo te koelen, zodat meer zuurstof aan het proces kan worden toegevoegd voor een betere verbranding.



Afbeelding 3.5: Warmtebronnen van een gasmotor. Bron: GasTerra.

Ten slotte worden de rookgassen via een schoorsteen afgevoerd. Al deze vier warmtesoorten worden gebruikt voor het opwekken van warmwater via warmtewisselaars. In volgorde van temperatuurniveau zijn dat achtereenvolgens:

- de turbokoeler (50 °C);
- de oliekoeler (ongeveer 70 °C);
- de motorwaterkoeler (ongeveer 90 °C);
- de rookgaskoeler (ongeveer 180 °C).

Afbeelding 3.6 toont een wkk uit Duitsland van Volkswagen, waarin gebruik wordt gemaakt van dezelfde zuinige techniek als in dieselauto's. De wkk heeft een vermogen van 20 kW elektrisch en 34 kW thermisch. Er is in Duitsland bovendien een huishoudelijke wkk van Vaillant op de markt met motortechniek van Honda, die in tegenstelling tot de Nederlandse HRe-ketels geen gebruik maakt van een Stirlingmotor (zie afbeelding 3.7). Producten uit de Duitse markt zijn echter niet direct in Nederland verkrijgbaar, dit is mede afhankelijk van de vraag.

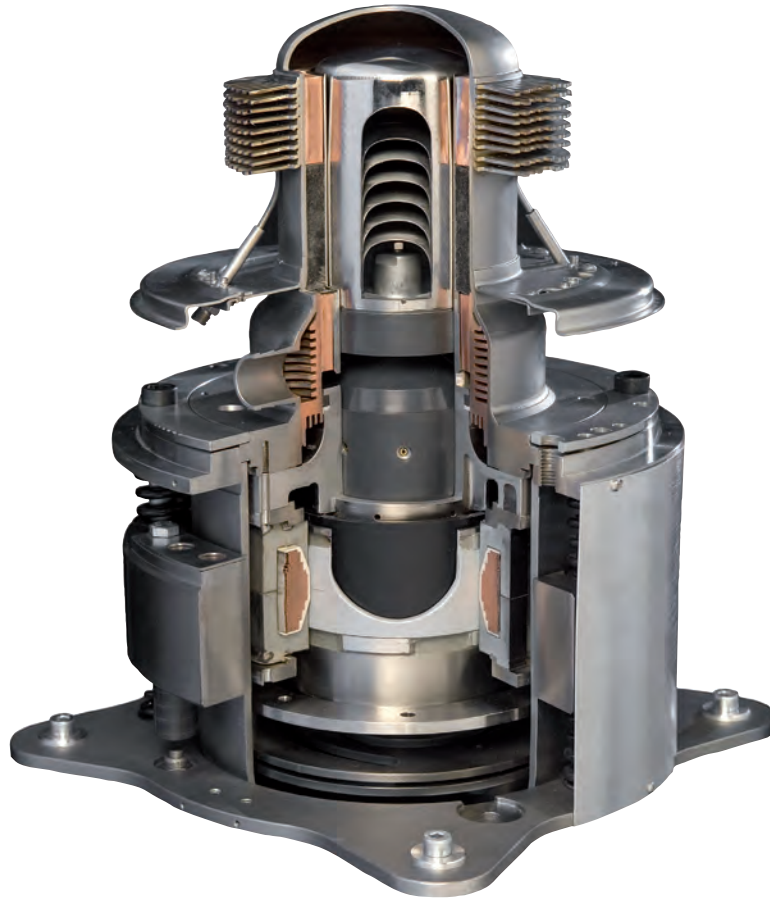


Afbeelding 3.6: Wkk van Volkswagen met beproefde dieselmotortechniek, alleen op de Duitse markt verkrijgbaar. Bron: Volkswagen.

Afbeelding 3.8 toont een gasmotor voor een grote wkk-installatie. Om de warmtelevering uit te breiden, ook buiten het stookseizoen, is het verwarmen van warmtapwater mogelijk bij bijvoorbeeld gezondheidsinstellingen. Indien er onvoldoende vraag aan elektriciteit is, kan het overschot aan elektriciteit worden geleverd aan het openbare net. Het is verder mogelijk om de gasmotor terug te regelen of uit te schakelen. De terugleververgoedingen zijn dan meestal bepalend. In deellast heeft een gasmotor een slechter rendement, zodat dit niet altijd een aantrekkelijke keuze is.

3.2.2 HRe-KETEL EN STIRLINGMOTOR

De Stirlingmotor of heteluchtmotor is een lineaire vrije zuigermotor. In de branderkop zit heliumgas dat afwisselend van buitenaf verwarmd of gekoeld wordt. Door het uitzetten en krimpen van het gas ontstaat een beweging in de vrije zuiger. De zuiger is verbonden aan een platte veer die ervoor zorgt dat de beweging zo min mogelijk gedempt wordt. Verder beweegt de zuiger zich langs een magnetische spoel waardoor er stroom wordt opgewekt. Deze stroom van 230 V met 50 Hz (de zuiger maakt dus 3000 op en neer gaande bewegingen per minuut) kan direct op het net worden aangesloten. De elektriciteit wordt met een hoog rendement opgewekt en de restwarmte wordt gevoed aan het cv-systeem.

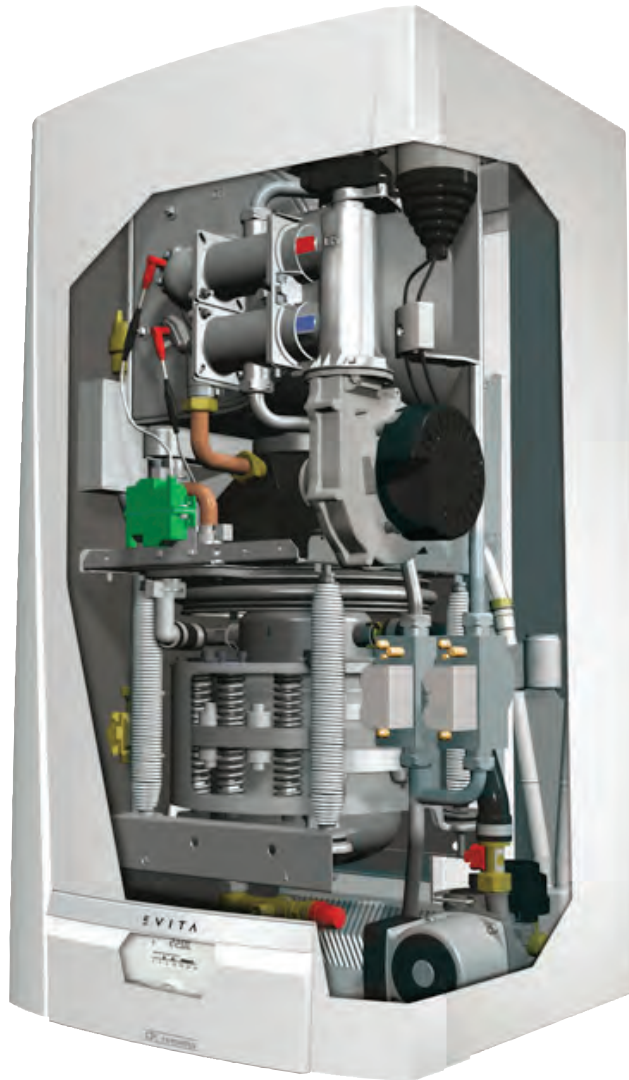


Afbeelding 3.7: Doorsnede van een Stirlingmotor.
Bron: Remeha.



Afbeelding 3.8: Grote wkk-installatie. Bron: Ener-G Nedalo.

De kleine Stirlingmotor in de HRe-ketel levert 6 kW thermisch vermogen en 1 kW elektrisch vermogen. Doordat er weinig bewegende delen zijn, is de motor heel onderhoudsarm. De kracht van de HRe-ketel zit in lange continue draaiuren zonder veel stops, omdat hij na iedere stop gemiddeld 10 min nodig heeft om weer volledig operationeel te zijn en stroom te leveren (zie afbeelding 3.9).



Afbeelding 3.9: HRe-ketel. Bron: Remeha.

De Stirlingmotor wordt gestart bij een warmtevraag voor ruimteverwarming. Bij warmtapwatervraag wordt de motor niet gestart, omdat deze vraag vaak kort duurt en dus veel ongunstige start-stops tot gevolg heeft. Hierdoor zou het rendement van de HRe-ketel dalen. Voor warmtapwater en aanvullende ruimteverwarming (meer dan wat de Stirlingmotor levert) is aanvullend een HR-warmtewisselaar opgenomen, die werkt zoals een gewone cv-ketel.

In elke HRe-ketel zit een intelligente regeling die bepaalt welke bedrijfswijze het minste energie vergt. Het kan bijvoorbeeld voordeliger zijn om 's nachts het huis op temperatuur te houden met de Stirlingmotor, dan 's ochtends met maximaal vermogen (met de HR-warmtewisselaar) het huis op te stoken. Hierdoor wordt met een klein vermogen verwarmd, maar tegelijkertijd meerdere uren elektriciteit opgewekt. In totaal is de inkoop van energie daarvoor lager, wat direct geld oplevert (afhankelijk van de terugleververgoeding van elektriciteit aan het net). Daarnaast ziet de regeling erop toe dat het efficiënt genoeg is om de Stirlingmotor aan te zetten. Vanwege het steeds verder teruglopende vermogen voor ruimteverwarming in nieuwbouwwoningen, is een HRe-ketel daar moeilijker inzetbaar dan in wat oudere woningen met een grotere warmtevraag.

3.2.3 GASTURBINE- INSTALLATIE

In een gasturbine wordt lucht gecomprimeerd en samen met gas verbrand voor het opwekken van mechanische energie, die kan worden omgezet in elektrische energie. De verbranding van het gas vindt plaats in de straalbuis van de turbine. Bij verbranding expandeert het gas en door deze expansie worden schoepen aangedreven. De mechanische energie van de draaiende schoepen kan worden omgezet in elektrische energie.

Gasturbines hebben een schone verbranding en produceren lagere emissies dan bijvoorbeeld gasmotoren. Een gasturbine heeft ook een grote brandstofflexibiliteit en kan werken op aardgas en andere, milieuvriendelijkere brandstoffen.

De warmtekrachtkoppeling met een gasturbine passen we in de gebouwde omgeving alleen toe voor grote en omvangrijke installaties, bijvoorbeeld in academische ziekenhuizen. De gasturbine drijft de generator aan. De grote hoeveelheid ontwikkeld rookgas wordt naar een afgassenketel gevoerd. Dit is meestal een stoom- of heetwaterketelinstallatie; zie ook subparagraaf 2.5.2. Vanwege de zeer specifieke werking van deze turbines en de ingewikkelde samenhang met de andere installaties, zoals de stoomketel, gaan we in dit boek niet verder in op de werking van deze wkk's.

3.2.4 MINI-WKK

Naast grootschalige wkk-installaties op basis van gasturbines, zijn er mini-wkk-installaties met minigasturbines in ontwikkeling voor het huishoudelijke niveau (zie afbeelding 3.10). Deze mini-wkk's worden in de praktijk op diverse locaties getest door de ketelfabrikanten. Het zal nog wel enkele jaren duren voor de mini-wkk is uitontwikkeld en direct beschikbaar is voor de markt.



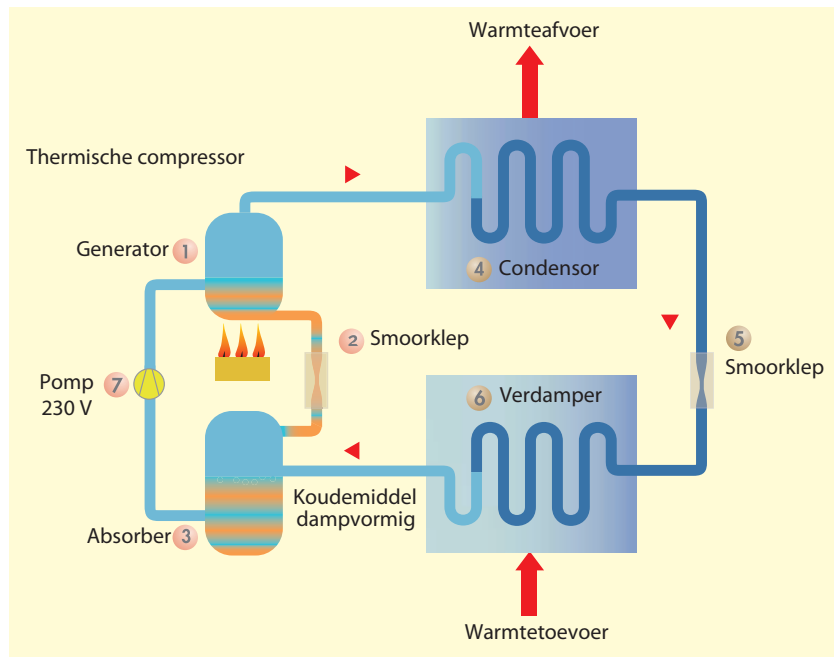
Afbeelding 3.10: Minigasturbine (demonstratiemodel). Bron: GasTerra.

3.3 GASABSORPTIE- WARMTEPOMP

De laatste jaren worden weer gasabsorptiewarmtepompen gebruikt. In de jaren 1970-1980 werden ze vaak toegepast voor koeling, vooral in veel kantoorgebouwen. Tegenwoordig krijgen ze een nieuwe toepassing door ze te koppelen aan een centrale verwarmingsinstallatie met HR-ketels. Zo kan het rendement van een installatie worden vergroot tot 165%.

Gasabsorptiewarmtepompen zijn te vergelijken met elektrische warmtepompen. Een wezenlijk verschil is dat gasgestookte warmtepompen worden aangedreven met een gasvlam en niet met elektriciteit. Bovendien is de traditionele elektrische compressor vervangen door een thermodynamische compressor, die door warmtetoevoer in staat is om energie te verpompen. Deze absorptie is een geoptimaliseerd proces waarbij ammoniak (koudemiddel) oplost in water (absorptiemiddel), zoals weergegeven door afbeelding 3.11.

De ammoniak wordt gebruikt als koudemiddel om warmte te onttrekken aan een warmtebron. Het mengsel wordt verwarmd door de gasbrander in de generator. Het koudemiddel verdampt en wordt gescheiden van het water (1). Het water gaat via een smookklep (2) naar de absorber (3). De ammoniakdamp gaat naar de condensor (4) waar deze condenseert en de condensatiewarmte aan het cv-water afgeeft. Via een andere smookklep (5) gaat de vloeistof naar de verdamper (6) waar ze onder het opnemen van warmte uit de buitenlucht verdampt. De damp gaat daarna naar de absorber (3) en komt daar in contact met het ammoniakarme water. Hier vindt de absorptie van het koudemiddel in de oplossing plaats, waaraan het proces zijn naam dankt: de damp wordt door het water geabsorbeerd, waardoor een ammoniakvrije oplossing ontstaat. De warmte die hierbij vrijkomt wordt evenals de restwarmte van de generator aan het cv-water overgedragen. Dit verhoogt het rendement van de warmtepomp. De rijke oplossing wordt door de vloeistofpomp (7) naar de generator (1) gebracht en het proces begint van voren af aan.



Afbeelding 3.11: Werking van de gasabsorptiewarmtepomp. Bron: Remeha.

Door Remeha worden twee typen gasabsorptiewarmtepompen geleverd, met een lage of hoge temperatuur, afhankelijk van het betreffende verwarmingssysteem (zie afbeelding 3.12). De warmtepompen zijn verkrijgbaar met een capaciteit van 35 kW. We kunnen meerdere apparaten koppelen om grotere vermogens te verkrijgen. Vuistregel: voor een optimaal rendement moeten we ongeveer 25% van het totaal geïnstalleerde vermogen uitvoeren met gasabsorptiewarmtepompen.



Afbeelding 3.12: Gasabsorptiewarmtepomp GAS HP. Bron: Remeha.

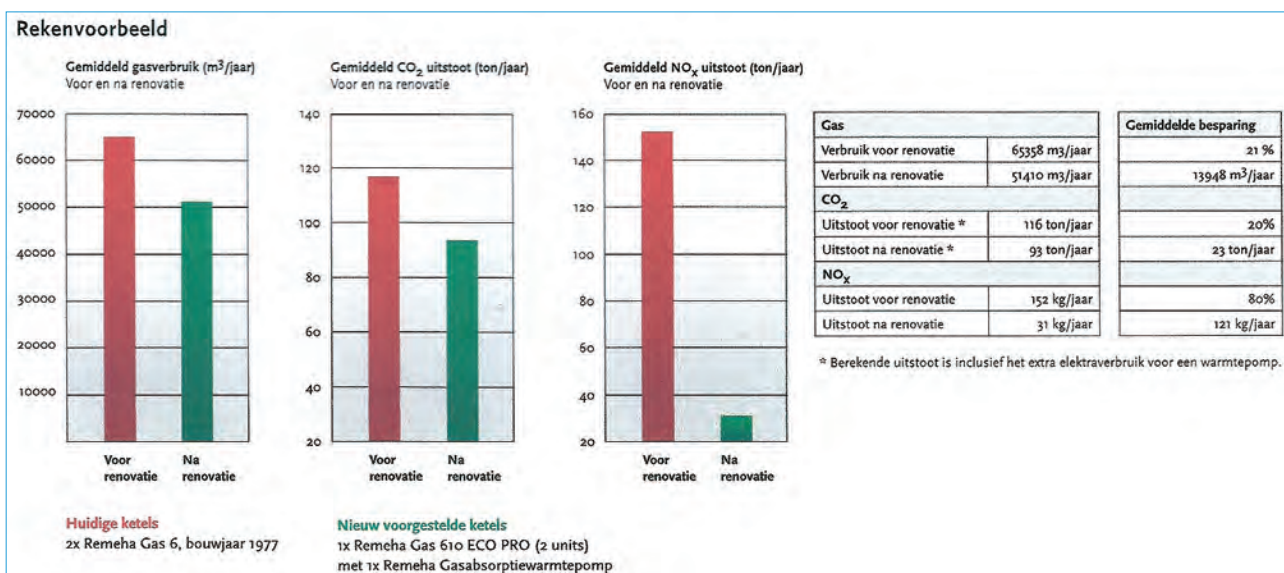
Dankzij gasabsorptiewarmtepompen verbetert in de meeste gevallen het energielabel, vaak een reden om tot aanschaf ervan over te gaan. De CO₂-uitstoot zal er behoorlijk door dalen, wat de duurzaamheid van een ontwerp ten goede komt. De terugverdientijd van de investering in gasabsorptiewarmtepompen is ongeveer 15 tot 20 jaar. Over de economische levensduur hebben we nog geen gegevens, omdat deze nieuwe generatie pompen relatief maar recentelijk verkrijgbaar is en er nog slechts een beperkt aantal projecten is uitgevoerd. We mogen een levensduur van minimaal ongeveer 15 jaar verwachten.

Gasabsorptiewarmtepompen kunnen we toepassen in nieuwe installaties van bijvoorbeeld kantoorgebouwen en zwembaden en bij renovaties. Ze zijn geschikt voor buitenopstelling en vormen een goede aanvulling op bestaande installaties of bij de renovatie van een stookruimte. Er is geen krachtstroom nodig. Door meerdere warmtepompen op een skid zoals in afbeelding 3.13 te plaatsen, kunnen we de installatietijd aanzienlijk verminderen. Zo is het kantoor van Grontmij Nederland in Alkmaar voorzien van een cv-installatie gecombineerd met een gasabsorptie-installatie, samengebouwd op een skid met drie gasabsorptiewarmtepompen van Remeha. Hierdoor is het energielabel verbeterd van D naar B. In deze situatie zijn de VR-ketels vervangen door HR-ketels plus de gasabsorptiewarmtepompen.

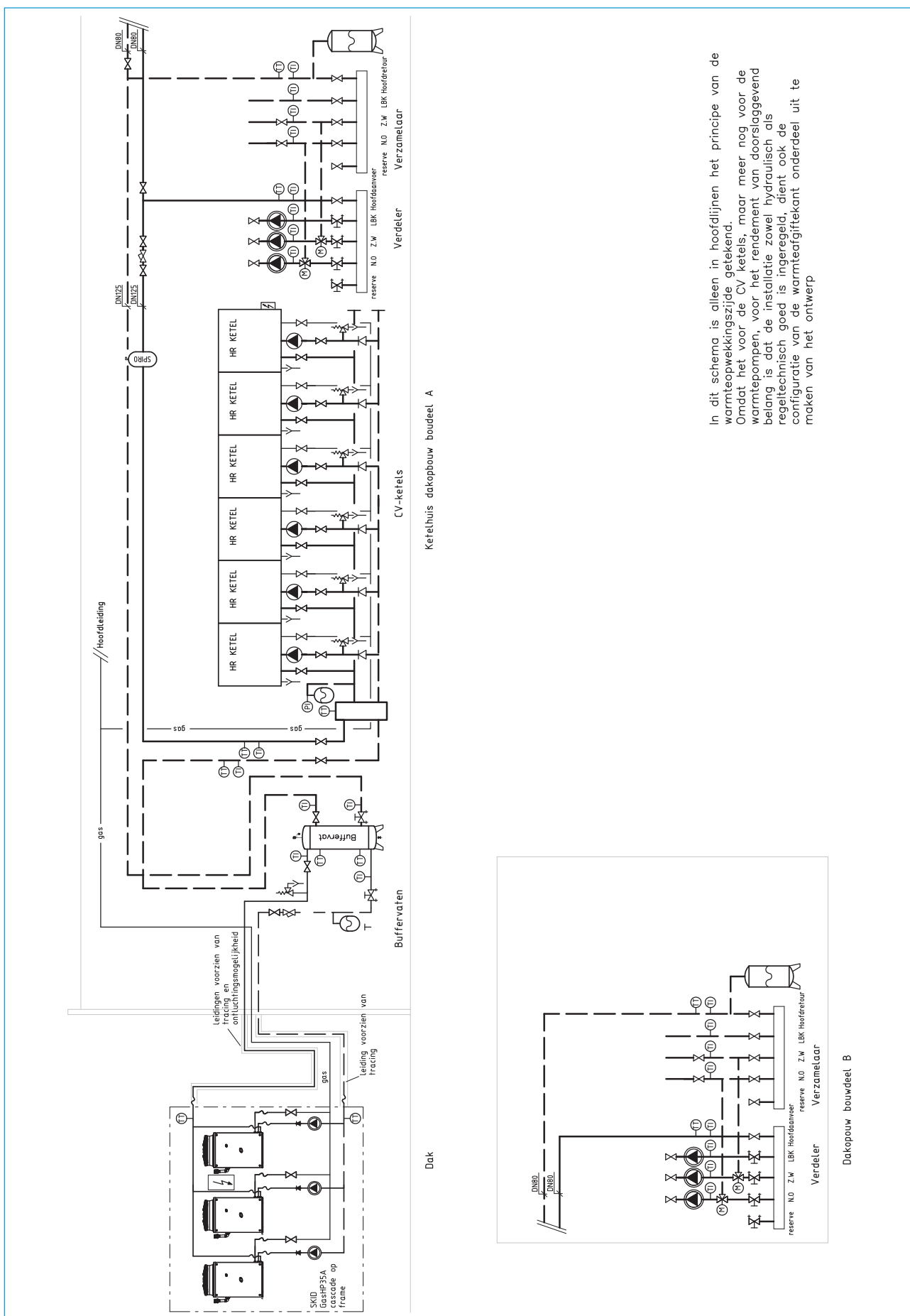


Afbeelding 3.13: Gasabsorptiewarmtepompen op een skid. Bron: Grontmij.

Afbeelding 3.14 biedt een rekenvoorbeeld voor een vergelijking tussen twee conventionele cv-ketels en een HR-ketel in combinatie met een gasabsorptiewarmtepomp. Afbeelding 3.15 toont een prinseschema van de cascade van HR-ketels en gasabsorptiewarmtepompen.



Afbeelding 3.14: Vergelijking tussen een conventionele uitvoering en een uitvoering met een HR-ketel plus gasabsorptiewarmtepomp. Bron: Remeha.



Afbeelding 3.15: Cascade van HR-ketels in combinatie met gasabsorptiewarmtepompen.

BEDRIJVEN



Alklima / Mitsubishi Electric Cooling & Heating

Van Hennaertweg 29
2952 CA Alblasserdam
Postbus 1176
3350 CD Papendrecht
(078) 615 00 00
info@alklima.nl
www.alklima.nl



Alpha-InnoTec

Nathan Import/Export BV
Impact 73
6921 RZ Duiven
(026) 445 98 45
info@nathan.nl
www.nathan.nl



Amfra

Signaal 7
1446 WT Purmerend
Postbus 155
1440 AD Purmerend
(0299) 46 37 63
info@amfraeurope.nl
www.dethermostaat.nl



Beekink Installatieadviseurs

Kleinpolderlaan 6
2911 PA Nieuwerkerk aan den IJssel
(0180) 31 10 64
info@beekink.com
www.beekink.com



Belimo

Radeweg 25
8171 MD Vaassen
Postbus 300
8160 AH Epe
(0578) 57 68 36
info@belimo.nl
www.belimo.nl



Betonson

Gebouw Villa 2000
Ekkersrijt 7005-7023
5692 HB Son
Postbus 5
5690 AA Son
(0499) 48 64 86
info@betonson.com
www.betonson.com



Biddle

Markowei 4
9288 HA Kootstertille
Postbus 15
9288 ZG Kootstertille
(0512) 33 55 55
info@biddle.nl
www.biddle.nl



Biral Pompen

Printerweg 13
3821 AP Amersfoort
Postbus 2650
3800 GE Amersfoort
(033) 455 94 44
info@biral.nl
www.biral.nl



Bosch Industriekessel

Nürnberger Straße 73
91710 Gunzenhausen
Duitsland
(00 49) 983 15 60
www.bosch-industrial.com



Bosman Bedrijven

Sluisjesdijk 138
3087 AL Rotterdam
Postbus 59288
3008 PG Rotterdam
(010) 429 32 05
info@bosmanbedrijven.nl
www.bosmanbedrijven.nl



Brugman Radiatorenfabriek

Boskampstraat 26
7651 AM Tubbergen
Postbus 9
7650 AA Tubbergen
(0546) 62 93 20
info@brugman.net
www.brugman.net/nl



Buderus/Nefit

Zweedsestraat 1
7418 BG Deventer
Postbus 3
7400 AA Deventer
(0570) 60 22 00
info@buderus.nl
www.buderus.nl



**Burgerhout**

Dr. A.F. Philipsweg 41
9403 AD Assen
Postbus 77
9400 AB Assen
(0592) 34 30 43
info@burgerhout.nl
www.burgerhout.nl

**Bureau Veritas**

Computerweg 2
3821 AB Amersfoort
Postbus 2620
3800 GD Amersfoort
(088) 450 55 00
info@bureauveritas.nl
www.bureauveritas.nl

**Caleffi**

Moesdijk 10-12
6004 AX Weert
Postbus 10357
6000 GJ Weert
(0495) 54 77 33
info.nl@caleffi.com
www.caleffi.nl

**Coolmark**

Zweth 6
2991 LH Barendrecht
Postbus 393
2990 AJ Barendrecht
(0180) 751 300
info@coolmark.nl
www.coolmark.nl

**Cox Geelen**

Emmastraat 92
6245 HZ Eijsden
Postbus 6
6245 ZG Eijsden
(043) 409 95 00
info@coxgeelen.nl
www.coxgeelen.nl

**Danfoss**

Vareseweg 105
3047 AT Rotterdam
Postbus 218
3100 AE Schiedam
(010) 249 20 00
info@danfoss.nl
www.danfoss.com/holland



ECO Steam Groep

Hectorstraat 23
5047 RE Tilburg
Postbus 899
5000 AW Tilburg
(013) 583 94 40
info@ecotilburg.com
www.ecotilburg.com/nl



Econosto Nederland

Cypresbaan 63
2908 LT Capelle aan den IJssel
Postbus 8988
3009 TJ Rotterdam
(010) 284 11 00
info@econosto.com
www.econosto.nl



Ener-G Nedalo

Rendementsweg 4
3641 SK Mijdrecht
Postbus 4
3640 AA Mijdrecht
(0297) 29 32 00
info@energ.nl
www.energ.nl



Elco Heating Solutions

Rendamax BV
Hamstraat 76
6465 AG Kerkrade
Postbus 1035
6460 BA Kerkrade
(045) 751 86 00
heatingsolutions@nl.elco.net
www.elco.nl



Electra-Gigant

Venenweg 17i
1161 AK Zwanenburg
(020) 497 16 83
info@electra-gigant.nl
www.electra-gigant.nl



Eriks

Toermalijnstraat 5
1812 RL Alkmaar
Postbus 280
1800 BK Alkmaar
(072) 514 15 14
info@eriks.nl
www.eriks.nl

**Essent**

Willemsplein 4
5211 AK Den Bosch
(088) 851 10 00
www.essent.nl

**Ferroli**

Konijnenberg 24
4825 BD Breda
Postbus 3364
4800 DJ Breda
(076) 572 57 25
info@ferroli.nl
www.ferroli.nl

**Flamco**

Amersfoortseweg 9
3751 LJ Bunschoten
Postbus 502
3750 GM Bunschoten
(033) 299 75 00
info@flamco.nl
www.flamco.nl

**GasTerra**

Rozenburglaan 11
9727 DL Groningen
Postbus 477
9700 AL Groningen
(050) 364 86 48
communicatie@gasterra.nl
www.gasterra.nl

**Gea Happel**

Rivium Oostlaan 11
2909 LL Capelle aan den IJssel
(010) 235 06 06
rivium.hnl@geagroup.com
www.gea-happel.nl

**GeoComfort**

Dorpsstraat 30
7234 SP Wichmond
(0575) 44 11 86
geocomfort@geocomfort.nl
www.geocomfort.nl

**Georg Fischer**

Lange Veenteweg 19
8161 PA Epe
Postbus 35
8160 AA Epe
(0578) 67 82 22
nl.ps@georgfischer.com
www.gfps.com



Geotherm Energy Systems

Produktieweg 12
3751 LN Bunschoten
(033) 247 00 30
info@geotherm.nl
www.geotherm.nl



Grontmij Nederland

De Holle Bilt 22
3732 HM De Bilt
(030) 220 79 11
info@grontmij.nl
www.grontmij.nl



Grundfos

Veluwezoom 35
1327 AE Almere
Postbus 22015
1302 CA Almere
(088) 478 63 36
info@grundfos.com
nl.grundfos.com



Hanwel Nederland

Jan Tinbergenstraat 209
7559 SP Hengelo
Postbus 122
7570 AC Oldenzaal
(074) 265 00 00
verkoop@hanwel.com
www.hanwel.com



Hazel

Floridadreef 98
3565 AM Utrecht
Postbus 9437
3506 GK Utrecht
(030) 252 25 14
info@hazel.nl
www.hazel.nl



Henrad

Herenthoutseweg 210
B-2200 Herentals
België
(00 32) 14 21 20 75
info@henrad.com
www.henrad.com



Honeywell

Laarderhoogtweg 18
1101 EA Amsterdam
Postbus 12683
1100 AR Amsterdam
(020) 565 69 11
info@honeywell.nl
www.honeywell.nl

**ISSO**

Kruisplein 25 p
3014 DB Rotterdam
Postbus 577
3000 AN Rotterdam
(010) 206 59 69
info@isso.nl
www.isso.nl

**Jaga**

De Meerheuvel 6
5221 EA Den Bosch
Postbus 2032
5202 CA Den Bosch
(073) 631 23 60
info@jaga.nl
www.jaga.nl

**Johnson Controls**

Avelingen West 5
Postbus 356
4200 AJ Gorinchem
(0183) 66 76 00
info.johnsoncontrols.nl
www.johnsoncontrols.nl

**Kampmann GmbH**

Nassauplein 30
2585 EC Den Haag
(070) 311 41 74
info@kampmann.nl
www.kampmann.nl

**Kenteq**

Olympia 6-8
1213 NP Hilversum
Postbus 81
1200 AB Hilversum
(088) 444 99 00
serviceteam@kenteq.nl
www.kenteq.nl



Technology for Building Automation

Kieback & Peter

Edisonweg 24
8071 RC Nunspeet
Postbus 18
8070 AA Nunspeet
(0341) 27 80 20
info@kieback-peter.nl
www.kieback-peter.de/nl-nl



Kiwa

Sir Winston Churchilllaan 273
2288 EA Rijswijk
Postbus 70
2280 AB Rijswijk
(070) 414 44 00
info@kiwa.nl
www.kiwa.nl



Monarch

Verrijn Stuartweg 43
1112 AW Diemen
Postbus 174
1110 AD Diemen
(020) 699 74 01
info@monarch.nl
www.monarch.nl



Nathan Oventrop

Impact 73
6921 RZ Duiven
Postbus 1008
6920 BA Duiven
(026) 445 98 45
info@nathan.nl
www.nathan.nl/nl/oventrop1.html



NEN

Vlinderweg 6
2623 AX Delft
Postbus 5059
2600 GB Delft
(015) 269 03 91
klantenservice@nen.nl
www.nen.nl

ODS

klöckner & co multi metal distribution

ODS

Donk 6
2991 LE Barendrecht
Postbus 69
2990 AB Barendrecht
(0180) 64 09 11
info@odsbv.nl
www.odsbv.nl



Paepens

Ten Beukeboom 19
B-9400 Ninove
België
(00 32) 54 31 88 80
info@paepens.be
www.paepens.be

**PenTec**

Edisonweg 7
3442 AC Woerden
Postbus 118
3420 DC Oudewater
(0182) 50 31 00
info@pentecbv.nl
www.pentecbv.nl

**Pomprevisie**

Agnes Bartoutslaan 22
3342 GE Hendrik-Ido-Ambacht
Postbus 390
3340 AJ Hendrik-Ido-Ambacht
(078) 681 80 63
info@pomprevisie.nl
www.pomprevisie.nl

**Priva**

Zijlweg 3
2678 LC De Lier
Postbus 18
2678 ZG De Lier
(0174) 52 26 00
contact.priva@priva.nl
www.priva.nl

**Quinn**

Quinn Radiators
Leukaard 1
B-2440 Geel
België
(00 32) 14 50 00 11
sales@quinn-radiators.net
www.quinn-radiators.net

**Radson**

Vogelsancklaan 250
B-3520 Zonhoven
België
(00 32) 11 81 31 41
info@radson.be
www.radson.com/nl

**Reflex Nederland**

Kerkstraat 2a
2971 AL Bleskensgraaf
(0184) 67 05 30
info@reflexnederland.nl
www.reflexnederland.nl



REHAU

Watergoorweg 79
3861 MA Nijkerk
Postbus 1052
3860 BB Nijkerk
(033) 247 99 11
nijkerk@rehau.com
www.rehau.nl



Remeha

Marchantstraat 55
7332 AZ Apeldoorn
Postbus 32
7300 AA Apeldoorn
(055) 549 69 69
remeha@remeha.com
www.remeha.nl



Sanbra Fyffe

Conex Works
Santry Avenue, Santry
Dublin 9
Ierland
(0353) 18 42 62 55
sales@sanbra-fyffe.ie
www.sanbrafyffe.ie



Siemens

Prinses Beatrixlaan 800
2595 BN Den Haag
Postbus 16068
2500 BB Den Haag
(070) 333 33 33
www.siemens.nl



SenerTec Kraft-Wärme Energiesysteme

Carl-Zeiss-Straße 18
97424 Schweinfurt
Duitsland
(00 49) 97 21 65 10
info@senertec.de
www.senertec.de



Spirotech

Churchillaan 52
5705 BK Helmond
Postbus 207
5700 AE Helmond
(0492) 57 89 89
info@spirotech.nl
www.spirotech.nl



Standard Fasel

Krommewetering 13
3543 AP Utrecht
Postbus 2435
3500 GK Utrecht
(030) 244 92 11
www.standardfasel.nl

**TA Hydronics / TA Heimeier**

Röntgenweg 20
2408 AB Alphen aan den Rijn
Postbus 188
2400 AD Alphen aan den Rijn
(0172) 49 20 41
info.nl@tahydrronics.com
www.tahydrronics.com/nl

**Tema Techniek**

Dorpsdijk 35
6915 AC Lobith
(0316) 54 46 26
info@tematechniek.nl
www.tematechniek.nl

**Testo**

Randstad 21-53
1314 BH Almere
Postbus 1026
1300 BA Almere
(036) 548 70 00
info@testo.nl
www.testo.nl

**Thermaflex Isolatie**

Veerweg 1
5145 NS Waalwijk
Postbus 531
5140 AM Waalwijk
(0416) 74 40 00
www.thermaflex.nl

**TK Warmtepomptechniek**

Haven 15
4941 DE Raamsdonksveer
(0162) 68 76 13
info@warmtepomptechniek.eu
www.warmtepompinstallateur.nl

**Ubbink**

Verhuellweg 9
6984 AA Doesburg
Postbus 26
6980 AA Doesburg
(0313) 48 02 00
info@ubbink.nl
www.ubbink.nl

**Unical AG**

Via Roma 123
46033 Casteldario, Mantova
Italië
(00 39) 376 66 05 56
info@unical-ag.com
www.unical-ag



Uponor

Industriestrasse 56
D-97437 Hassfurt
Duitsland
(00 49) 95 21 69 00
info.de@uponor.com
www.uponor.nl



Vaillant

Paasheuvelweg 42
1105 BJ Amsterdam
Postbus 23250
1100 DT Amsterdam
(020) 565 92 00
info@vaillant.nl
www.vaillant.nl

Van Harlingen Grondwater Management

Van Harlingen Grondwater Management

Deken Zondaglaan 51
2114 EB Vogelenzang
(023) 584 11 22
info@vhgm.nl
www.vhgm.nl



Veldberg

Vissersdijk Beneden 68
3319 GW Dordrecht
(078) 618 20 80
info@veldberg.nl
www.veldberg.nl



Verco

Industrielaan 27-31
B-9800 Deinze
België
(00 32) 93 86 48 46
info@verco.eu
www.verco.eu



Viessmann

Lisbaan 8
2908 LN Capelle aan den IJssel
Postbus 332
2900 AH Capelle aan den IJssel
(010) 458 44 44
info-nl@viessmann.com
www.viessmann.nl



VSH Fittings

Oude Amersfoortseweg 99
1212 AA Hilversum
Postbus 498
1200 AL Hilversum
(035) 688 42 11
info@vsh.nl
www.vsh.nl

weijers **waalwijk****Weijers Waalwijk**

Cartografenweg 18
5141 MT Waalwijk
Postbus 91
5140 AB Waalwijk
(0416) 34 07 55
info@weijers-waalwijk.nl
www.weijers-waalwijk.nl

Well Control BV**Wellcontrol**

Ploeggang 8
8431 NG Oosterwolde
(0516) 43 38 81
info@wellcontrol.nl
www.wellcontrol.nl

WEM[®]
WANDVERWARMING**WEM Wandverwarming**

Laagstraat 10
5256 PJ Heusden
Malingréstraat 8
5256 KK Heusden
(0416) 53 19 02
wem@wandverwarming.nl
wandverwarming.nl

Wienerberger**Wienerberger**

Waalbandijk 18
4062 PR Zennewijnen
(088) 118 56 80
gebakkenbestrating@wienerberger.com
www.gebakken-bestrating.com

wilo**Wilo**

Rak 18
1551 NA Westzaan
(088) 945 60 00
info@wilo.nl
www.wilo.nl

 wtcb.be
Onderzoekt • Ontwikkelt • Informeert**WTCB**

Lozenberg 7
B-1932 St-Stevens-Woluwe, Zaventem
België
(00 32) 27 16 42 11
info@bbri.be
www.wtcb.be

WTH
VLOERVERWARMING & -KOELING**WTH**

Mijlweg 75
3316 BE Dordrecht
Postbus 491
3300 AL Dordrecht
(078) 651 06 40
www.wth.nl