

GOEDgedacht



Geïntegreerd Ontwerp En Duurzaam gedacht

Afstudeerproject duurzame energie in gebouwen, gericht op de toepassing van warmtepomptechnieken en zonlichtsystemen voor de bebouwde omgeving.

Datum: 9 juni 2008

*Duurzame energie
in opmars!*

GOEDgedacht.

Door de brede aandacht van duurzame energietoepassingen blijkt, dat er in de advies- en installatiewereld voor installatietechniek een tekort is aan goede inzichten en eenvoudige rekenmodellen hiervoor. Vaak is technische kennis hiervan en zijn toepassing voor een deel aanwezig bij leveranciers. In de praktijk blijkt echter dat deze leveranciers zich sterk op hun eigen producten richten. Hierdoor ontstaat een soort tunnelvisie, waardoor integratie van diverse aspecten zoals techniek, ontwerp en kosten beperkt is.

In het kader van de afstudeeropdracht aan de Hanzehogeschool, Brede Bachelor of Engineering, Installatietechniek is in dit rapport de technische informatie samengevat van de benoemde onderdelen. Bij deze opdracht hoort eveneens een rekenmodel dat gebruikt kan worden ter bepaling van haalbaarheidstudies voor toepassing van duurzame installatieconcepten.

Bedrijf

De afstudeeropdracht wordt uitgevoerd bij adviesbureau VanderWeele.

Adviesbureau VanderWeele is werkzaam op het gebied van installatietechniek en bouwfysica.

Zij adviseren en ontwerpen installaties voor gebouwen om te wonen en te werken.

In haar ontwerpvisie ligt de nadruk op de integratie van het bouwkundige en technische ontwerp van een gebouw en de gebouwgebonden installatie.

Naast integratie is energiezuinig ontwerpen van oudsher een basisgedachte binnen het bedrijf en is dit terug te vinden in de vele projecten die zij gerealiseerd hebben

Het resultaat van de afstudeeropdracht en vooral het rekenmodel zal worden ingezet om heldere en goede adviezen over duurzame installatieconcepten te ondersteunen.

Mentor: Janpiet van der Weele, 050 5711550.

Opleiding

Hanzehogeschool Groningen

Brede Bachelor of Engineering

Hogere Installatie Techniek

Begeleider: dhr. H. (Hans) van Walen, kamer C1.32, HG: 050 595 4647, M : 06 4248 1730

j.van.walen@pl.hanze.nl

Afstudeerder

Hans Klünder

Studentnummer 000299214

De Ploeg 1

9951 MJ Winsum

T 0595 444092

F 0595 441052

M 06 53433158

E hansklunder@planet.nl of h.klunder@st.hanze.nl

Inhoudsopgave

Voorwoord	4
Samenvatting	5
1 Inleiding	7
1.1 Opdracht	7
1.2 Doelstelling	7
2 Inventarisatie	8
2.1 Warmtepomptechnieken	8
2.1.1 Basisprincipes	8
2.1.2 Elektrische warmtepompen	9
2.1.3 Het afgiftesysteem	11
2.2 Bronsystemen	14
2.2.1 Inleiding	14
2.2.2 Verticale open bron	15
2.2.3 Verticale gesloten collector	16
2.2.4 Horizontale bodemcollector	17
2.2.5 Buitenlucht	18
2.2.6 Regeneratie	20
2.3 Zonlichtsystemen	21
2.3.1 Basisprincipes	21
2.3.2 Vlakke plaat collector	21
2.3.3 Vacuümbuis collector	22
2.3.4 Kenmerken en opbrengsten van zonlichtsystemen	22
3 Energiegebruik	26
3.1 Verwarming	26
3.1.1 Utiliteitsgebouwen	26
3.1.2 Woningen	27
3.2 Warm tapwater	28
3.2.1 Utiliteitsgebouwen	28
3.2.2 Woningen	28
4 Installatieconcepten	29
4.1 Basisprincipes	29
4.2 Richtlijnen voor basisconcepten	29
4.3 Keuzes en aandachtspunten	32
4.5 Installatieconcepten	34
4.6 Monovalent installatieconcept	34
4.7 Mono-energetisch installatieconcept	35
4.8 Bivalent installatieconcept	36
4.9 Bivalent installatieconcept met regeneratie van de bron	37
5 Rekenmodel	38
5.1 Opzet model	38
5.2 Stappenplan	38
5.3 Invulbladen	39
5.4 Resultaten	40
6 Conclusies	42
Begrippenlijst	45
Geraadpleegde literatuur en informatie	47
Bijlagen	48

Voorwoord

Duurzaamheid staat volop in de belangstelling. Vooral door de sterke stijging van de energieprijzen komen alternatieve opwekkingsystemen voor warmte en koude nadrukkelijk in beeld om toe te passen. Bij het adviesbureau zien we een sterke toename van de vraag om naast technische mogelijkheden ook de financiële kaders te toetsen en op te nemen in het advies. In het verleden werd er vrijwel alleen gesproken over terugverdiëntijden. Tegenwoordig wordt rendement op de investering en netto contante waarde ook in de afweging meegenomen.

Tot op heden is de toepassing van warmtepompsystemen met bron sterk gericht op de grotere projecten, vooral omdat dit financieel aantrekkelijk is.

Nu het begrip duurzaamheid meer inhoud krijgt en een verdere verlaging van de EPC in de woningbouw voor de toekomst verwacht wordt, zal de warmtepomp voor de woningbouw in Nederland ook meer terrein gaan winnen. In de ons omringende landen wordt dit al op grote schaal toegepast. In Nederland zijn we tot op heden nog steeds sterk gericht op aardgasgebruik voor warmte (gebruik van CV-ketels).

Het rapport is opgebouwd uit verschillende onderdelen.

- 1 Theoretische achtergronden van vooral warmtepomptechniek en zonlichtsystemen
- 2 Energieverbruik in bebouwde omgeving
- 3 Installatieconcepten
- 4 Het rekenmodel en een bijbehorende toelichting

De reikwijdte van het rapport beperkt zich tot de toepassing van systemen die in de praktijk gangbaar zijn. Daardoor krijgt de inhoud en het rekenmodel een hanteerbaar karakter. In de breedte van het rapport en het rekenmodel kan er nog verdere ontwikkeling plaatsvinden. Dit is dan vooral gericht op meer beschikbare informatie voor invoer in het rekenmodel.

Bij de totstandkoming wil ik vooral Janpiet van der Weele, Jos Bouwsema, Klaasje Bult en Bertus Schreuder van het adviesbureau bedanken voor de controle van de stukken en het geven van zinvolle tips die in de rapportage en het rekenmodel verwerkt zijn. Voor de toekomst zullen we met het bedrijf proberen om GOEDgedacht neer te zetten als GOEDgedaan.

Samenvatting

Bij toepassing van duurzame installatieconcepten speelt de financiële beoordeling een belangrijke rol. Voordat hiervan een vergelijking gemaakt kan worden met het rekenmodel is in dit rapport de techniek toegelicht en zijn inzichten gegeven in de energieverbuiken van gebouwen.

Van warmtepompen zijn de theoretische achtergronden bepaald en de verschillende typen toegelicht. Dit zijn,

- een lucht-lucht warmtepomp.
- een lucht-water warmtepomp.
- een water-water warmtepomp.

In de praktijk worden de 2 laatst genoemde systemen hoofdzakelijk toegepast in Nederland.

Het afgiftesysteem voor verwarming en koeling speelt een belangrijke rol. Omdat er lage verwarmingstemperaturen en hoge koeltemperaturen toegepast wordt, moet er veel oppervlakte voor afgifte aanwezig zijn. Een systeem met vloerleidingen (vloerverwarming en vloerkoeling) of leidingen in wanden is hiervoor zeer geschikt.

Voor vloerverwarming kan ca. 70W per m² aan warmte worden afgegeven. Voor koeling is dit ca. 20W per m² via de vloer. Deze wijze van koeling wordt steeds vaker in o.a. woningbouw toegepast.

Juist door de verwarmingstemperaturen laag (max. 35°C) en de koeltemperaturen hoog (12-18°C) te houden, is het mogelijk om met de opwekkingsystemen (warmtepomptechniek + bronsysteem) een hoogrendement te halen, waardoor voor de energielast aan aanzienlijk financieel voordeel kan opleveren.

Verder is onderzocht welke bronsystemen geschikt zijn. Daarbij zijn gesloten collectorsystemen en open bronnen met warmte-koude opslag in de bodem onderzocht. Gesloten collectorsystemen zijn tot ca. 25kW verwarming goed toepasbaar en het meest kostenefficiënt. Grotere bronsystemen (>25kW) worden over het algemeen als open bronsystemen uitgevoerd. Bij de dimensionering van gesloten collectorsystemen is het van belang om deze niet te klein te dimensioneren. Door lage temperaturen aan het einde van het stookseizoen is de kans dan aanwezig dat er bevriezing in de bodem ontstaat en het rendement van het systeem sterk daalt.

Open bronnen (die meer dan 10m³/h onttrekken) hebben de verplichting dat er een zogenaamde energetische balans moet zijn, waarbij de hoeveelheid warmte die wordt onttrokken ook weer teruggebracht moet worden. Dit kan door in de zomer te koelen, waardoor er feitelijk warmte in de bodem gebracht wordt.

Buitenlucht kan ook dienen als bron, echter is dit energetisch en financieel alleen aantrekkelijk boven een buitentemperatuur van ca. 3°C.

Thermische zonne-energie kan ook toegepast worden. Voor de zomermaanden is de overvloed aan zonnewarmte zeer goed toe te passen om warm water te bereiden. Eventuele extra energie kan ook in de bodem worden opgeslagen, waardoor dit in de winter benut kan worden.

Over het algemeen worden vlakke collectoren toegepast die ca. 1,15 GJ per jaar aan energie leveren. Vacuümbuissystemen hebben een hoger rendement (ca. 1,9 GJ per jaar) maar vragen een hogere investering. Voor een 1-gezinswoning is een collectoroppervlak van 4 m² optimaal in combinatie met een warmtepompconcept.

Voor de energiegebruiken is onderzocht welke waarden gelden voor utiliteitsbouw en woningbouw. Voor utiliteitsbouw varieert de gemiddelde waarde tussen 220 tot 500 MJ/m². Uitzondering hierop zijn o.a. ziekenhuizen waar het verbruik hoger ligt. Door aanscherping van de EPC en stijgende energieprijzen worden utiliteitsgebouwen steeds beter geïsoleerd en zal de energievraag voor nieuwbouw iets lager komen te liggen in de toekomst.

Voor moderne woningen ligt het verbruik op ca. 220 MJ/m².

Voor warm tapwaterverbruik per jaar kan ca. 5400MJ voor een 1 persoons huishouden tot ca. 7900MJ voor een gezinswoning worden aangehouden.

Dit komt overeen met ca. 200 tot 250m³ aardgasverbruik per jaar.

Voor de installatieconcepten zijn een aantal voorbeelden uitgewerkt van de volgende 3 concepten.

- monovalent, waarbij 1 energieopwekker toegepast wordt
- mono-energetisch, waarbij 1 energieopwekker toegepast wordt, maar meerdere bronnen voor energie (bv. aardwarmte + zonne-energie)
- bivalent, met 2 energieopwekkers (een warmtepomp + CV-ketel)

Het rekenmodel is opgezet vanuit een eenvoudige opzet, waarbij complexe achtergronden teruggebracht zijn naar eenvoudige vuistregels.

Voor de invoer kan het volgende ingevuld worden:

- algemene gegevens
- verwarming
- koeling
- warm tapwater
- energieverbruiken
- bronsysteem
- investering, kosten en energietarieven.

Als resultaten wordt het volgende getoond:

- energiekosten per jaar
- jaarlijkse cashflow
- terugverdiëntijd
- netto contante waarde van de investering
- interne rente
- bijdrage duurzaamheid (CO₂ reductie).

Tot slot is het rekenmodel ingevuld als casus van een kantoorgebouw van 5000m².

1 Inleiding

1.1 Opdracht

In de praktijk blijkt het moeilijk te zijn om een eenduidige heldere rekenmethodiek te hanteren. Dit resulteert in diverse calculatiemodellen met een sterke persoonlijke invulling van adviseurs en technici. Hierdoor is het lastig om een volledig antwoord te geven op de vraag vanuit de markt (financieel rekenmodel) waarop een besluitvorming kan plaatsvinden. Tevens wordt er vaak gebruik gemaakt van zeer indicatieve technische kentallen, tarieven, investeringen etc. De kwaliteit van de uitkomsten wordt sterk bepaald door de nauwkeurigheid van de eerder genoemde variabelen.

Op basis van dit gegeven is het de uitdaging om een model te ontwikkelen, waarmee door invulling van verschillende installatieconcepten snel de resultaten van energiebesparing, kosten en duurzaamheid worden doorgerekend. Hiervoor is het uiteraard nodig om onderzoek te doen naar de diverse methodieken. Hierbij moeten kentallen bepaald worden, waarmee in het rekenmodel gerekend wordt.

1.2 Doelstelling

Belangrijke doelstellingen binnen de opdracht zijn:

- a. verschillende installatieconcepten opzetten met gebruik van warmtepomptechniek en zonne-energie en afgiftesystemen.
- b. verschillende bronsystemen beoordelen en uitgangspunten vaststellen.
- c. kosten op investeringsniveau en exploitatie bepalen om binnen het rekenmodel te gebruiken.

De opdracht moet de volgende resultaten opleveren:

- een transparant rekenmodel voor woningbouw en utiliteitsbouw met uitkomsten ten aanzien van energiebesparing, financiële informatie en kaders voor duurzaamheid.
- technische informatie over het gebruik van warmtepomptechnieken.
- technische informatie over het gebruik van zonne-energie.
- kengetallen over energieverbruiken per m^2 (oppervlakte) en/of m^3 (inhoud).
- investeringsgetallen ten aanzien van traditionele installaties en duurzame installatieconcepten.

2 Inventarisatie

2.1 Warmtepomptechnieken

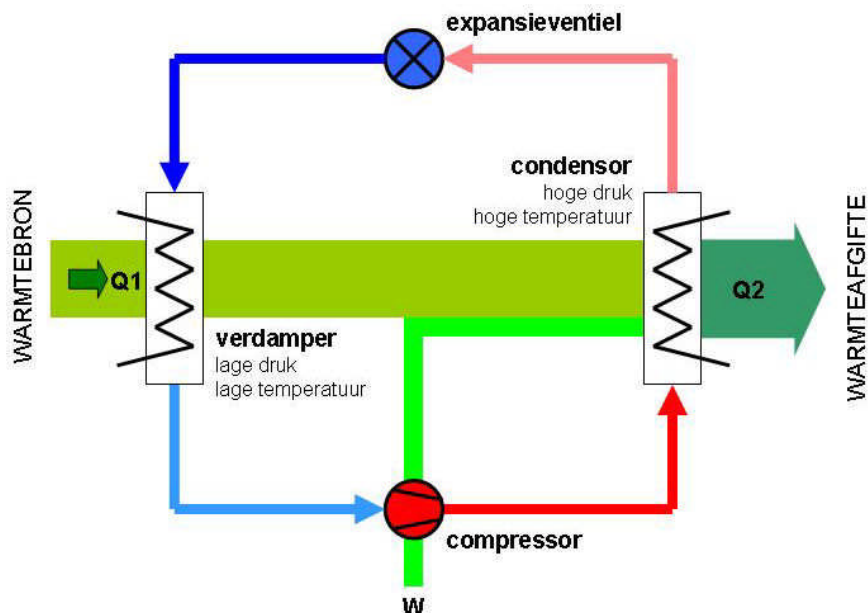
2.1.1 Basisprincipes

Gebruikmakend van de thermodynamica stroomt warmte van hoge temperatuur naar lage temperatuur (afkoeling). Om dit proces om te draaien zou je een pomp moeten gebruiken. Met een warmtepomp kan warmte met een lage temperatuur op een hogere temperatuur gebracht worden. Hiervoor wordt warmte van de directe omgeving gebruikt.

Warmtepompen kunnen op verschillende principes werken. De pomp kan werken door mechanische energie (compressorwarmtepomp) of door warmte (absorptiewarmtepomp). De warmtepompconcepten die in de afstudeerrapportage zijn opgenomen zijn compressorwarmtepompen met een elektrische compressor, kortweg elektrisch aangedreven warmtepomp genoemd.

Weringsprincipe

De warmtepomp bestaat uit een compressor, een condensor, een expansieventiel en een verdamper. Dit principe komt overeen met een koelmachine. Een warmtepomp bezit eveneens een koelmiddel (bv. r407). Het koelmiddel stroomt tussen de warmtebron en het afgiftesysteem (warmtewisselaar). Het principe staat in de onderstaande figuur aangegeven.



Het koelmiddel verdampt op lage druk in de verdamper en neemt warmte op (Q_1) vanuit de warmtebron. De compressor zuigt de gassen uit de verdamper en comprimeert de gassen, waardoor de temperatuur en het kookpunt verhogen. De compressor wordt elektrisch aangedreven en levert zogenaamde mechanische arbeid (W). Het koelmiddel stroomt als gas

onder hoge druk en hoge temperatuur door de condensor, waarbij warmte (Q_2) met een hogere temperatuur afgegeven wordt via het warmteafgiftesysteem. In het expansieventiel keert dit terug naar de oorspronkelijke druk. De afgegeven warmte is de opgenomen $Q_2 = Q_1 + W$.

Winstfactor (COP)

De compressor is het enige onderdeel dat (elektrische) energie verbruikt. Een deel van de warmte Q_2 wordt door de warmtebron Q_1 geleverd. De $COP = Q_2 / W$, dit is dus de verhouding tussen de afgegeven warmte en de toegevoerde warmte. Een hogere COP is dus gunstiger, omdat er in verhouding minder elektrische energie aan toegevoerd kan worden om een bepaalde hoeveelheid warmte te krijgen.

Een goede warmtepomp levert tussen de 3 tot 6 kWh energie (warmte) bij 1kWh opgenomen elektrische compressorenergie.

Om een gunstige COP te behalen is dit afhankelijk van de temperatuur van de warmtebron en de temperatuur van het afgiftesysteem. Hoe hoger de temperatuur van de warmtebron en hoe lager de temperatuur van het warmteafgiftesysteem, hoe hoger de COP. Verder speelt het een rol welke verschiltemperatuur van aanvoer en retour van toepassing is. Ideaal is een temperatuurverschil $\Delta T = 5K$.

In de praktijk blijkt dat een gebruik met een grondtemperatuur (ca. $12^\circ C$) en een vloer-/wandverwarmingsysteem (ca. $35^\circ C$) een goede combinatie voor toepassing van warmtepomptechniek is.

2.1.2 Elektrische warmtepompen

Binnen de opdracht worden alleen elektrische warmtepompen behandeld. Op hoofdlijnen is onderscheid te maken in de volgende types:

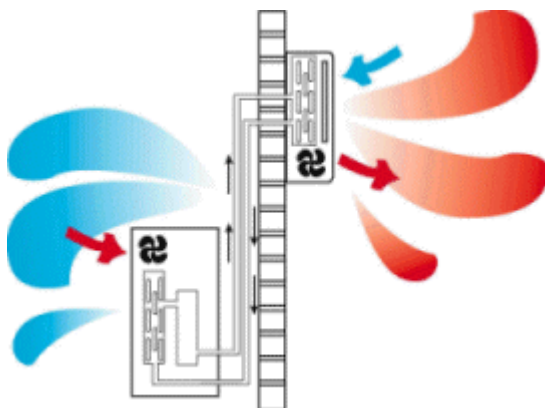
lucht – lucht warmtepomp

lucht – water warmtepomp

water – water warmtepomp

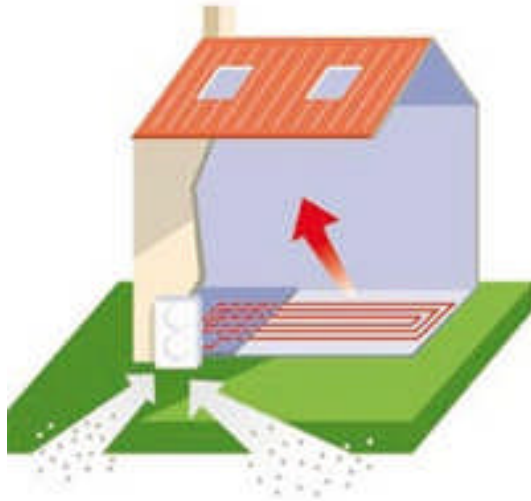
Lucht – lucht warmtepomp

Dit type warmtepomp haalt de energie uit de lucht en draagt dit direct over op de toevoerlucht. Dit principe is veel toegepast in luchtbehandelingsystemen voor bv. kantoorgebouwen. Dit principe wordt in de woningbouw vrijwel niet toegepast. Op dit principe wordt verder niet ingegaan, omdat dit in Nederland vrijwel niet als systeem wordt toegepast.



Lucht – water warmtepomp

Dit type warmtepomp gebruikt als energiebron (Q1) de buitenlucht en draagt de warmte (Q2) over aan een watervoerend circuit.



In de winter kan de buitentemperatuur zeer laag zijn. Wil men voldoende warmte uit deze lucht kunnen halen moet de warmtepomp groot gedimensioneerd worden. Dit betekent dan ook, dat de warmtepomp een groot gedeelte van het jaar sterk overgedimensioneerd is. Dit gaat ten koste van de COP en is dus niet ideaal. Daarom is het beter om deze warmtepomp in een bivalente opstelling met bv. een CV-ketel toe te passen. Hierdoor kan de warmtepomp kleiner gedimensioneerd worden en zal het andere toestel bijspringen indien de warmtepomp niet voldoende vermogen kan leveren.

Water – water warmtepomp

Dit type warmtepomp gebruikt als energiebron (Q1) een watervoerend medium. Hierbij kan gedacht worden aan grondwatersystemen of gesloten systemen, die warmte opnemen vanuit de bodem. Verder zijn er ook nog mogelijkheden om bv. zeewater of rivierwater, indirect via een warmtewisselaar, hiervoor te gebruiken. Vooral bij gebruik van bodem en/of grondwatersystemen geeft dit het gehele jaar door een vrij constante temperatuur van ca. 12°C, onafhankelijk van de buitentemperatuur. Dit is ook het geval bij zeer lage buitentemperaturen. Bij een goede dimensionering van de warmtepomp kan een gunstige COP [$>4,5$] behaald worden.

Systeemvergelijk

De verschillende warmtebronnen voor de elektrische warmtepompen kennen eveneens verschillende rendementen. In de onderstaande tabel staan de verschillen aangegeven.

	WP buitenlucht	WP-bodem horizontaal	WP-bodem verticaal	WP grondwater	HR CV-ketel
COP	3,2 (2-35°C)	4,5 (0-35°C)	4,5 (0-35°C)	5,6 (10-35°C)	
SPF	2,7	3,2	3,6	3,0 - 3,8	
PER	1,1	1,3	1,4	1,2 - 1,5	0,9

COP	Coëfficiënt of Performance	<i>winstfactor</i>
SPF	Seasonal Performance Factor	<i>gemiddelde winstfactor of het gehele jaar</i>
PER	Primary Energy Ratio	<i>primaire energieprestatie</i>

2.1.3 Het afgiftesysteem

Laag Temperatuur Verwarming

Voor verwarming zijn warmtepompen vooral geschikt als ze gecombineerd worden met vloer- en/of wandverwarming. Het begrip LTV (Laag Temperatuur Verwarming) wordt veel toegepast en kent aanvoertemperaturen van maximaal 55°C. Courante systemen voor LTV zijn: vloerverwarming, wandverwarming, overgedimensioneerde radiatoren en convectoren. Zoals al uitgelegd in 2.1.1. is een zo laag mogelijke afgiftetemperatuur gewenst om een zo hoog mogelijke COP te halen. Bij een efficiënte toepassing van warmtepompen moeten we zelfs streven naar ZLTV (Zeer Lage Temperatuur Verwarming) en blijven vloer- en wandverwarming als geschikte systemen over. Hierbij moet rekening worden gehouden met een klein temperatuurverschil tussen aanvoer en retour.

Om het afgiftesysteem goed te kunnen bepalen moet een warmteverliesberekening worden uitgevoerd. Juist bij ZLTV systemen is de exactheid van de berekening bepalend of ook bij lage buitentemperaturen voldaan wordt aan de comforteisen. Een indicatieberekening is als rekenmodel aan dit verslag toegevoerd.

De onderstaande tabel geeft een duidelijke richtlijn voor de aanleg van een ZLTV systeem. Voor een ZLTV systeem kan het beste een maximale temperatuur van 35°C worden aangehouden om een zo goed mogelijk rendement te behalen.

water temperatuur (°C)	ruimte temperatuur (°C)	Capaciteit (watt/m2)			
		hart op hart buisafstand (mm)			
		200	150	100	50
30	20	48	55	63	75
35	20	73	84	97	113
40	20	97	112	129	150
45	20	121	140	162	188
50	20	146	168	194	226

aantal meter buis per m2	5,0 m	6,7 m	10,0 m	20,0 m
--------------------------	-------	-------	--------	--------

Correctiefactoren (indicatief)	
Tegels 15mm dik	0,95
Linoleum	0,87
Laminaat 10mm dik	0,82
Parket 15mm dik	0,77
Vloerbedekking 5mm dik	0,75
vloerbedekking 10mm dik	0,61

Aandachtspunten

Een nadeel van ZLTV systemen is de traagheid hiervan. Feitelijk is het zo, dat het klimaat in de woning of het gebouw als 1 klimaatzone gezien moet worden. De thermische schil ligt zeer nadrukkelijk bij de vloer, gevel en dak. Binnen deze zone zijn de temperatuurverschillen minimaal. De gedachte, dat de slaapkamer een temperatuur heeft die enkele graden lager is en op deze wijze regelbaar is moeten we anders uitleggen. Praktisch is het verstandig om bv. woningen altijd op een temperatuur van 20°C te ontwerpen in de aanleg van het afgiftesysteem. Voor het benodigde verwarmingsvermogen bij -10°C kan dan een reductiefactor worden toegepast op basis van temperatuurverschil [ΔT] tussen de ruimten, verwarmingscapaciteit per m³ [W/m³] en inhoud [m³]. Een rekenblad is als bijlage toegevoegd.

Verder is mogelijke koudeval en koudestraling bij ramen een aandachtspunt. Bij de aanleg in vloeren heeft het voorkeur om een verdicht gelegde zone bij de ramen op te nemen (afhankelijk van het glastype, waar HR++ glas wordt aanbevolen). Het onderstaande overzicht geeft aandachtspunten voor ZLTV systemen. Het doel hierbij is om warmtevraag terug te dringen en comfort te bevorderen.

Aandachtspunten ZLTV systemen
Zorg voor goed geïsoleerde vloer, gevels en dak [$R_c > 3.5$]. Toepassing bij bestaande, slecht geïsoleerde woningen/gebouwen is beperkt.
Pas HR++ glassoorten toe om warmteverlies en koudestraling tegen te gaan.
Combineer ZLTV met een gebalanceerd ventilatiesysteem, voorzien van warmteterugwinning [WTW] met bypass.
Reserveer ruimte voor een verdeler per bouwlaag [600x600x200mm].
Indien er sprake is van woningscheidende muren tussen woningen wordt aanbevolen thermische isolatie aan te brengen om onderling [extra] warmteverlies te voorkomen.
Houdt rekening met het soort vloerbedekking en pas een reductiefactor toe [zie tabel onder 2.1.3].

Een goede regeling en/of instelmogelijkheid is nodig. De mogelijkheden en aandachtspunten hiervan moeten met de gebruiker worden besproken.

Geef voorlichting aan de gebruiker over verwarmen, koelen en ventilatiegedrag.

Natuurlijke koeling

Door steeds betere isolatie en het benutten van passieve zonne-energie [PZE] ontstaat in de winterperiode een energetisch voordeel. In de zomerperiode ontstaat er echter een risico voor oververhitting. In de huidige energieprestatienorm wordt hier ook rekening mee gehouden. In het rekenmodel hiervoor [EPC] worden deze risico's berekend.

Toepassing van warmtepomptechniek in combinatie met een ZLTV systeem biedt ook de mogelijkheid om het afgiftesysteem te benutten voor koeling. Indien er een bronsysteem beschikbaar is wordt zelfs gebruik gemaakt van vrije koeling m.b.v. de grondtemperatuur. Het water wordt dan niet langs de warmtepomp geleid, maar via een warmtewisselaar vindt energieuitwisseling via het afgiftesysteem plaats, waardoor de warmte aan de ruimte wordt onttrokken. Deze beperkte koeling zal in de zomerperiode extra comfort bieden en wordt in de toekomst een belangrijker verkoopargument.

Een bijkomend voordeel is, dat de temperatuurbalans in de bodem enigszins hersteld wordt. Dit noemt men regeneratie van de bodem. Onder 2.2 wordt dit verder uitgelegd.

De onderstaande tabel geeft indicatief de haalbare koelvermogens bij toepassing van vloerkoeling. Eventuele koeling via de wand en via de lucht zijn buitenbeschouwing gelaten.

vloer temperatuur (°C)	ruimte temperatuur (°C)	overdracht coëfficiënt	opname (W/m²)
20	21	5,6	5,6
20	22	5,6	11,2
20	23	5,6	16,8
20	24	5,6	22,4
20	25	5,6	28,0
20	26	5,6	33,6
20	27	5,6	39,2

Gemiddeld kan een opname worden aangehouden van 20 W/m²

Voor het bepalen van de opname is de volgende formule toegepast:

$$Q = (T_{\text{ruimte}} - T_{\text{vloer}}) * \text{overdrachtscoëfficiënt}$$

De toepassing van een buffer

Vaak is er in installaties met een warmtepompsysteem behoefte aan een buffer. Dit heeft een aantal doelen:

- 1 het realiseren van een scheiding tussen het primaire en secundaire circuit, waardoor er minder aan/uitschakelingen plaatsvinden en pendelgedrag wordt voorkomen, door dat het beter regelbaar wordt.
- 2 de buffer kan benut worden om warm tapwater voor te verwarmen of als koppeling met thermische zonne-energie.
- 3 grotere benutting van het nachttarief van elektriciteit door in de nacht de buffer op temperatuur te brengen en dit overdag te benutten. In de praktijk blijkt hiervoor een zeer grote buffer nodig te zijn en levert dit financieel weinig voordeel op.

Buffervaten zijn vaak hoog en smal om een goede gelaagdheid van watertemperaturen te krijgen met bovenin het warmere water en onderin het koude water. Verder moet een buffervat voorzien zijn van een aftapmogelijkheid, meetaansluitingen voor temperatuurmeting en regeling van de warmtepomp en natuurlijk een hoogwaardige isolatie.

Voor het dimensioneren van warmtebuffers bij warmtepompen is er een benaderingsformule om de inhoud te bepalen.

$$V_{buffer} = Q * 3,6 / c * (\Delta T_c * 2 * n_{ss})$$

- | | |
|--------------|---|
| Q | afgifte verwarmingsvermogen warmtepomp [kW] |
| c | soortelijke warmte [J/kg.K] (water = 4180) |
| ΔT_c | temperatuurverschil tussen aanvoer en retour op de warmtepomp [K] |
| n_{ss} | maximaal toelaatbare start/stops per uur |
| 3,6 | omrekenfactor die de uitkomst in kg omzet naar m ³ en de blokkeringtijd omzet van seconden naar uur. |

2.2 Bronsystemen

2.2.1 Inleiding

Voordat wordt overgegaan om de broncapaciteit te bepalen moet een nauwkeurige warmteverliesberekening zijn gemaakt en dient het toe te passen installatieconcept bekend te zijn.

Daarbij kan over het algemeen onderscheid gemaakt worden tussen woningbouw en utiliteitsbouw.

De toepassingsgebieden zijn veelal als volgt gesplitst:

Woningbouw

- verticale gesloten collector
- horizontale bodemcollector
- bij grootschalige, centrale warmteopwekking open bron.

Utiliteitsbouw

- open bron
- bij zeer kleine utiliteitsprojecten verticale gesloten collector.

De keuze is grotendeels afhankelijk vanwege het kostenaspect. Bij kleinere vermogens wordt meestal een gesloten systeem toegepast.

Indien er sprake is van koeling wordt de capaciteit van de bron meestal hierop afgestemd. Voor koeling is meer massastroom (volume) koud water nodig om het gewenste effect te verkrijgen. Door het kleine temperatuurverschil $[\Delta T]$ zal de massastroom $[m]$ toenemen.

$$Q = V * c * \rho * \Delta T$$

Q	vermogen [W]
V	volumestroom [m ³ /s]
c	soortelijke warmte [J/kg.K] (water = 4180)
ρ	soortelijke massa [kg/m ³] (water = 1000)
ΔT	temperatuurverschil [K]

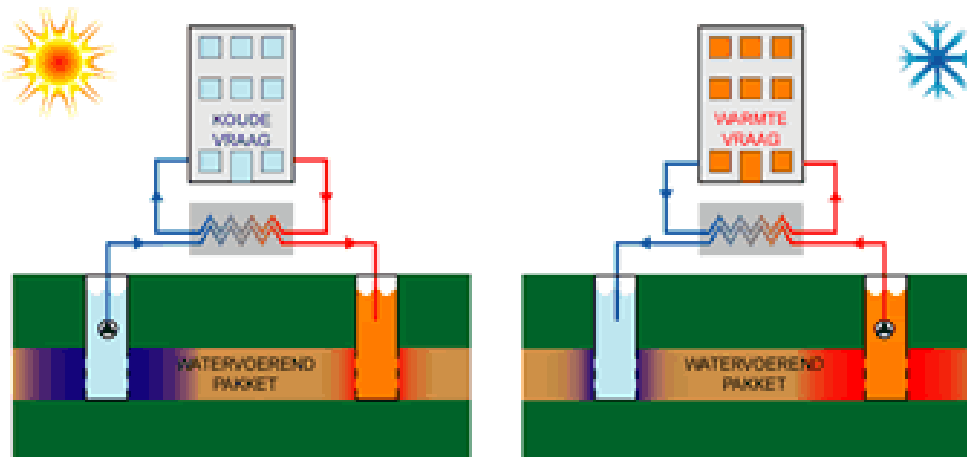
Indien ΔT kleiner wordt, zal de V groter moeten zijn.

2.2.2 Verticale open bron

Dit type bron wordt toegepast bij grotere vermogens. Er bestaan 2 typen bronnen, een doubletbron en een monobron.

Doubletbron

Een doubletbron bestaat uit een 'warme' en een 'koude' bron. In de zomer wordt uit de koudebron onttrokken en in de warme bron geïnfiltrerd. In de winter wordt deze situatie omgedraaid. De onderstaande schema's geven dit principe weer.



Dit principe is gebaseerd op een opslagvariant. Er bestaat ook de mogelijkheid om een recirculatievariant toe te passen. Hierbij wordt het grondwater altijd 1 richting opgepompt. Deze systematiek wordt veel toegepast in industriële processen en wordt in dit rapport buiten beschouwing gelaten. De andere variant wordt in bebouwde omgeving toegepast.

Monobron

De monobron is een bijzondere opslagvariant. In plaats van een aparte koude en warme bron, wordt in een monobron in 1 boorgat een warme bron en een koude bron aangebracht. Deze 2

bronnen zijn boven elkaar geplaatst in hetzelfde watervoerend pakket (aquifer). Daarbij is de warme bron aan de bovenzijde geplaatst en de koude bron daaronder.

Een monobron wordt toegepast tot ca. 300kW en heeft de volgende voordelen:

- lage investeringskosten en daardoor een snellere terugverdientijd
- minder ruimte nodig
- kortere terreinleidingen.

Bij toepassing van een monobronsysteem is een voldoende dik watervoerend pakket nodig.

De capaciteit van de bronnen wordt zoals eerder aangegeven over het algemeen bepaald door de koudevraag. Door in de utiliteitsbouw gebruik te maken van o.a. luchtbehandeling met geïntegreerde koeling is het mogelijk een hogere ΔT toe te passen en daarmee het volume terug te brengen.

rekenvoorbeeld

$$V = Q / (c * \rho * \Delta T * 1/3600)$$

Q	vermogen [W]
V	volumestroom [m ³ /s]
c	soortelijke warmte [J/kg.K] (water = 4180)
ρ	soortelijke massa [kg/m ³] (water = 1000)
ΔT	temperatuurverschil [K]

Bij 100 kW en een temperatuurverschil van 5K geldt een volumestroom $q_v = 4,78$ l/s of 17,22 m³/h.

Bronsystemen in de uitvoeringsvorm zoals beschreven worden toegepast vanaf ca. 20kW koel- en verwarmingsvermogen.

2.2.3 Verticale gesloten collector

Dit type bron wordt veel toegepast bij woningen en kleine utiliteitsgebouwen met een geringe warmtevraag.

De ondergrond speelt daarbij een belangrijke factor. In de onderstaande tabel worden de vermogens aangegeven waarmee gerekend kan worden.

Ondergrond	specifiek warmteonttrekkingvermogen (dubbele U-buis en ca. 2000 draaiuren)
kiesel, zand droge grond	20 W/m1
kiesel, zand watervoerend	55-65 W/m1
klei, leem vochtig	30-40 W/m1

Algemeen kan gesteld worden, dat hoe meer water er in de bodem zit, de capaciteit toeneemt. In Nederland kan grofweg een onderscheid gemaakt worden tussen zandgronden, veengronden en kleigronden

De temperatuur van de grond ligt normaal tussen 10°C en 14°C. Bij een correcte dimensionering van de collector zakt de temperatuur aan het einde van het stookseizoen tot

om en nabij het vriespunt en zal dit bij het begin van het stookseizoen de grond weer op de normaalwaarden moeten liggen. Deze balans is zeer belangrijk en daardoor verdient het de voorkeur om de bron iets over te dimensioneren. Indien de bron te klein ontworpen wordt, zal het medium (water + glycol) zover kunnen afkoelen dat de bodem bevroest. Hierdoor zal het energierendement sterk dalen.

rekenvoorbeeld

Uitgaande van een warmtevraag van ca. 8kW in de woning wordt bij een COP van 4 ca. 6kW uit de bodem onttrokken. Bij een warmteonttrekking van 35W/m¹ (natte grond) is een lengte benodigd van ca. 172 meter. Indien de COP toeneemt, zal er meer warmte uit de bodem worden onttrokken en moet de collector ruimer gedimensioneerd worden.

Voor een gemiddelde energiezuinige (EPC-0,8) woning moet gerekend worden op een collector (sonde) lengte van tussen de 150-200 meter.

Energiepalen

Deze wijze van energieonttrekking is in principe ook mogelijk met zogenaamde heipalen, waarin een buizenet is opgenomen. Van dit onderwerp is weliswaar informatie verzameld, maar in dit rapport niet verder uitgewerkt. De reden hiervan is, dat voor het rekenmodel het een gelijkwaardige oplossing biedt als een verticale collector. De uitvoeringsvorm is anders. Veel informatie hierover is te vinden door het handboek energiepalen te downloaden vanaf het internet. Dit TNO rapport nr R2003/456 is via de site van Senter Novem (www.senternovem.nl) verkrijgbaar.

2.2.4 Horizontale bodemcollector

Horizontale grondwarmtewisselaars bestaan uit een netwerk van buizen, een leidingnet dat op een diepte van minimaal 1 meter (onder de vorstgrens) in de bodem wordt ingegraven. Indien mogelijk moet het netwerk onder het waterpeil worden aangebracht. Dit systeem kan alleen worden toegepast indien men over voldoende grondoppervlakte beschikt.

Bij toepassing van een horizontale bodemcollector wordt gebruik gemaakt van de warmtegeleiding van de bodem. Deze hangt af van de samenstelling en het vochtgehalte van de bodem.

De volgende waarden kunnen aangehouden worden.

Ondergrond	q _e specifiek warmteonttrekkingvermogen
droge zandgrond	10-15 W/m ²
natte zandgrond	15-20 W/m ²
droge leemgrond	20-25 W/m ²
natte leemgrond	25-30 W/m ²
bodem met grondwater	30-40 W/m ²

Bij de dimensionering van de collector gelden dezelfde randvoorwaarden als bij een verticale collector., waarbij als richtlijn wordt aangehouden dat 1 buiscircuit ca. 100m is. Daarbij geldt min of meer het uitgangspunt dat hoe dikker de buis hoe minder buislengte per m2. Verder moet er voldoende ruimte tussen de buizen worden aangebracht om bevriezing te voorkomen. Hiervoor wordt de volgende tabel aangehouden bij de berekeningen.

Buistype	g_{buis} [m2 buis/m2]
PE 20x2,0	3
PE 25x2,3	2
PE 32x2,9	1,5

rekenvoorbeeld

$$A_e = Q / q_e$$

A_e benodigd oppervlakte [m2]

Q vermogen [W]

q_e specifiek warmteonttrekingsvermogen [W/m2]

$$X = A_e * g_{\text{buis}} / 100$$

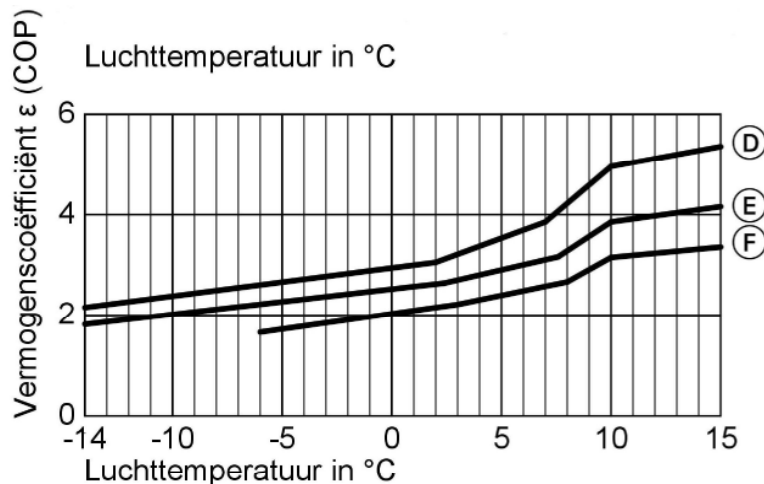
g_{buis} buislengte per m2 [$m_{\text{buis}}/m2$]

Uitgaande van een warmtevraag van ca. 8kW in de woning wordt bij een COP van 4 ca. 6kW uit de bodem onttrokken. Bij een warmteonttrekking van natte leemgrond met 25W/m2 is een oppervlakte van 240m2 nodig. Indien de COP toeneemt, zal er meer warmte uit de bodem worden onttrokken en moet de collector ruimer gedimensioneerd worden.

Op basis van deze oppervlakte en de toepassing van 32mm buizen zijn er 4 lussen nodig.

2.2.5 Buitenlucht

Buitenlucht is overvloedig aanwezig, echter met een sterk wisselende temperatuur. Daardoor zal de COP van de warmtepomp met buitenlucht als warmtebron sterk wisselen gedurende het stookseizoen. Een efficiënte COP [>3] is te behalen bij een buitentemperatuur vanaf >2°C. De hiernavolgende grafiek geeft dit weer.



- (A) Verwarmingsvermogen
- (B) Elektr. opgenomen vermogen
- (D) $T_{HV} = 35\text{ °C}$
- (E) $T_{HV} = 45\text{ °C}$
- (F) $T_{HV} = 55\text{ °C}$

Dimensioneren

De buitenluchttemperatuur kan variëren tussen -15 °C en $+35\text{ °C}$. Dit betekent dat de warmtepomp voldoende capaciteit moet bezitten om aan de warmtevraag te kunnen voldoen. Het dilemma hierbij is, dat bij een lage buitentemperatuur de grootste warmtevraag aanwezig is, terwijl het rendement van de warmtepomp juist dan laag is. Daarbij geldt ook nog, dat het aantal uren in deze situatie zeer beperkt is.

De warmtepompen die hier het best aan voldoen zijn zogenaamde inverter gestuurde toestellen. Deze warmtepompen hebben een soort modulerende werking door de compressorcapaciteit te variëren. De dimensionering (bepaling van de warmtecapaciteit) van de warmtepomp gebeurt bij -10 °C buitentemperatuur.

Uitvoering en opstelling

De warmtepomp kan zowel buiten als binnen geplaatst worden. Ook gescheiden opstelling is mogelijk, waarbij de verdampers buiten staat en de rest van de warmtepomp binnen. Luchtaanvoer en -afvoer mogen elkaar niet hinderen. Bij binnenopstelling liggen aanvoer en afvoer dan ook bij voorkeur in een ander gevelvlak. Een afvoer voor condensatiewater is noodzakelijk.

Ontdooisysteem

Warmtepompen met buitenlucht als warmtebron zijn voorzien van een ontdooisysteem. De waterdamp in de buitenlucht zet zich af bij lage temperaturen tussen 0 °C en 5 °C op de warmtewisselaar van het buitendeel en vormt een ijslaag. Deze vormt een isolatielaag op de warmtewisselaar wat de warmte-uitwisseling vermindert. Hiervoor is een ontdooiing voorzien van deze warmtewisselaar. De ontdooiing gebeurt door kortstondig de werking van de warmtepomp om te draaien. Deze ontdooiing gebeurt voornamelijk tussen -3 °C en 4 °C .

Luchtcapaciteit

Bij de toepassing van luchtwarmtepompen kan als vuistregel worden aangehouden, dat per kW warmtevermogen een luchtcapaciteit van ca. 250 m³/h nodig is. Voor een woning met een warmtepomp van 8kW is indicatief een buitenunit nodig volgens onderstaande berekening.

$$qv = 250 \text{ m}^3/\text{h} * Q = 250 * 8 = 2000 \text{ m}^3/\text{h}$$

2.2.6 Regeneratie

Van de omschreven bronsystemen is duidelijk onderscheid te maken tussen een open systeem en een gesloten systeem. Voor een open systeem (bron > 10m³/h) is een thermische balans noodzakelijk en verplicht conform vereiste vergunningen. Dit kan per provincie enigszins verschillen en moet van tevoren goed onderzocht worden.

Voor gesloten systemen is deze thermische balans niet strikt verplicht gesteld. In een goed ontwerp moet hier echter wel aandacht worden besteed. Indien dit niet gebeurt is er een kans dat de bodem bevriest en het warmtepompconcept slecht functioneert.

Bij gesloten collectorsystemen wordt veelal een mengsel gebruikt van water en glycol. Dit mengsel, ook wel brein genoemd, kan een temperatuur van enkele graden onder nul bereiken. Hierbij ontstaat ook het gevaar, dat de bodem kan bevriezen.

Hierna volgt een overzicht van aandachtspunten voor de verschillende systemen:

Open bronsysteem

- Thermische balans verplicht
- Tussen pompput en retourput moet een afstand van minimaal 15 meter worden aangehouden. Naarmate de vermogens toenemen zal de onderlinge afstand groter worden.

Gesloten bronsysteem

- De collector moet niet te krap ontworpen worden. Indien de berekeningen plaatsvinden met de ondergrenswaarde van de mogelijk energieopname, kan worden aangenomen dat er enige overdimensionering aanwezig is.

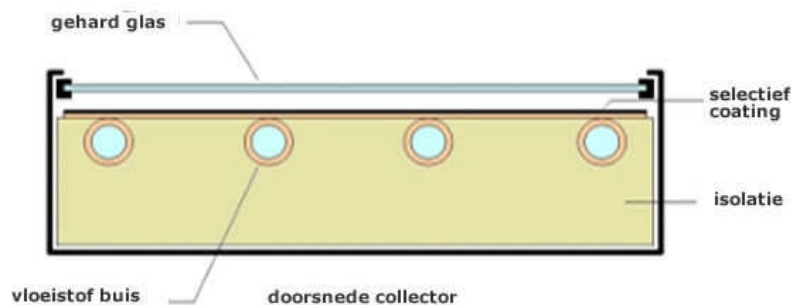
2.3 Zonlichtsystemen

2.3.1 Basisprincipes

Zonne-energie is evenals aardwarmte vrijwel onbeperkt beschikbaar. Dit betekent dus, dat als je zonne-energie kunt opvangen, deze energie gebruikt kan worden voor verwarmen. Een donker oppervlak absorbeert het licht dat op dit oppervlak valt. De licht energie wordt omgezet naar warmte en het oppervlak wordt opgewarmd. Het zonnepaneel vangt deze warmte op en doormiddel van een mengsel van water met glycol (leegloopsystemen niet) wordt de warmte getransporteerd via een warmte wisselaar naar de installatie voor verwarming.

2.3.2 Vlakke plaat collector

Een vlakke plaat zonnecollector bestaat uit een bak met een zwarte bodem (de absorber). Onder deze zwarte bodem zit nog een geïsoleerde laag. Door deze zwarte bodem en de isolerende laag wordt de warmte vastgehouden (een witte bodem zou de warmte reflecteren). In de bak ligt een buis waar water doorheen stroomt. De bak wordt afgesloten met een glazen plaat zodat de warmte wordt vastgehouden. Wanneer de zon op de plaat schijnt wordt de lucht in de bak verwarmd en door de warme lucht wordt het water in de buis verwarmd. Met een pomp wordt het warme water naar de installatie gepompt.

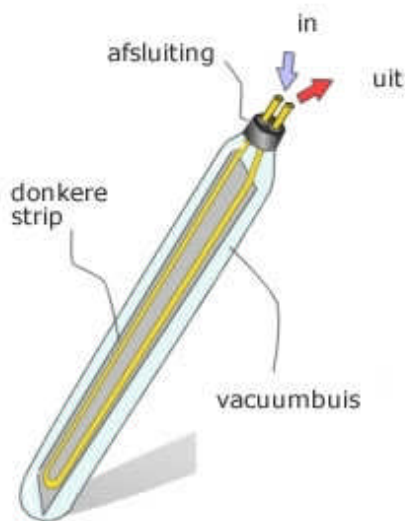


2.3.3 Vacuümbuis collector

Dit zijn hoog rendement zonnepanelen met heatpipes. Dit type zonnepanelen bestaan uit meerdere buizen van glas die naast elkaar zijn geplaatst. De glazen buizen bestaan uit dubbel glas waar tussen het vacuüm zich bevindt. Vacuüm is een uitstekende isolator en hierdoor wordt de warmte extreem goed vast gehouden. Aan de binnenzijde van het glas is een speciale absorptie coating aangebracht, waardoor het opnamerendement nog beter wordt.

In de glazen buis bevindt zich een koperen absorber (=de heatpipe). De heatpipe geeft een zeer goede warmte geleiding en opname in de glazen buis, de warmte wordt verzameld in de top van de heatpipe. De bovenste punt van de heatpipe wordt in de koperen zonnecollector geplaatst waarna alle warmte wordt overgedragen aan het circulerende water van en naar de boiler/voorraadvat.

vacuumbuis



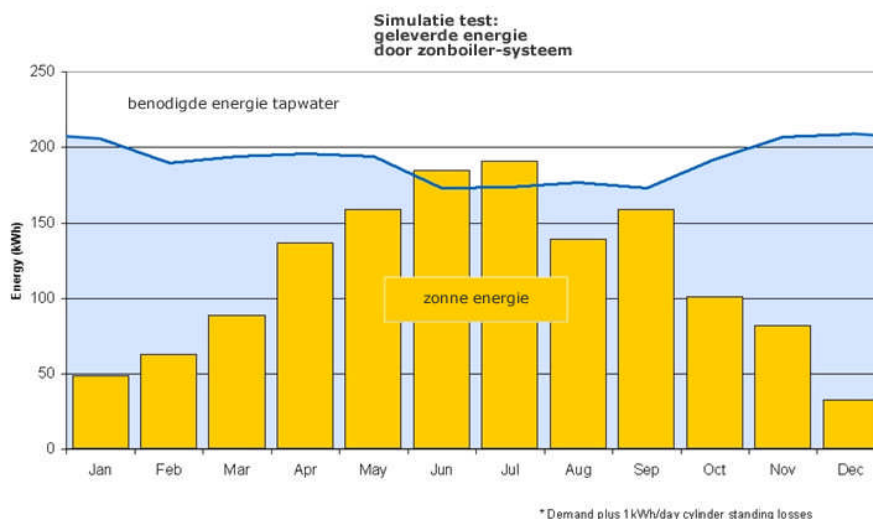
2.3.4 Kenmerken en opbrengsten van zonlichtsystemen

Van de zonnecollectoren wordt de vlakke plaatcollector meestal toegepast. Dit heeft vooral te maken met de gunstige prijsstelling ten opzichte van een vacuümcollector.

In de onderstaande tabel staan de kenmerken van de systemen aangegeven.

	Voordelen	Nadelen
Vlakke-plaat collector	Eenvoudig Stevig In dakvlak te integreren Rendabele prijsstelling	Benodigd dakvlak oppervlak groter.
Vacuüm-buis collector	Gemakkelijke renovatie Goed in industriële toepassingen	Complexe techniek Gevoelig (vacuüm) Moeilijk integreerbaar in dakvlak Hoge investering

Zonlichtsystemen worden vooral toegepast om warm tapwater op te wekken. Hiervoor kan er afstemming plaatsvinden op een gemiddelde behoefte zoals in de onderstaande grafiek staat aangegeven.



Uit deze grafiek is op te maken, dat er een aanzienlijk verschil is van zonne-energie in de zomer en in de winterperiode. De collectorcapaciteit wordt meestal afgestemd op het warmwaterverbruik. In de praktijk komt dit neer op een collectoroppervlak van 2,5 tot 4 m² per woning.

Door de collector iets groter uit te voeren is het mogelijk om de extra warmteopbrengst, die in de zomerperiode ontstaat te benutten in het warmtepompconcept door dit deels in de bodem terug te brengen en zodoende de thermische balans te verbeteren. Uiteindelijk zal hierdoor in de winterperiode een gunstiger rendement voor de warmtepomp ontstaan.

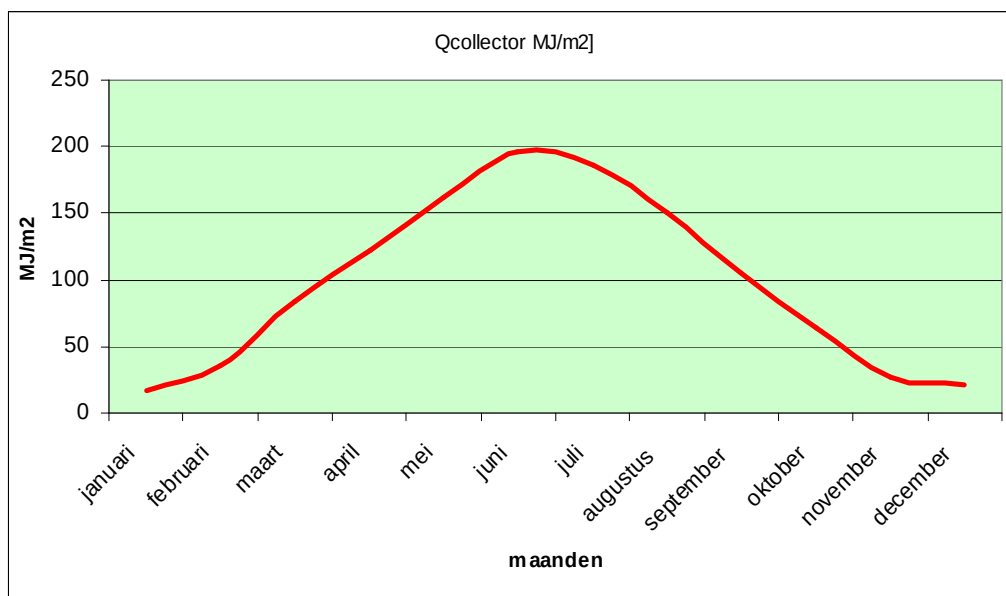
Opbrengsten

	opbrengst per jaar [GJ/m ²]
Vlakke plaat collector	1,15
Vacuümbuis	1,65

Ter vergelijking is voor een gemiddelde woning voor verwarming ca. 20-30GJ per jaar nodig voor verwarming en warm tapwater. Indien deze warmte volledig gebufferd kan worden, is een vlakke plaatradiator ca. 17 tot 26 m² collectoroppervlakte nodig voor dezelfde hoeveelheid energie. Praktisch geeft dit het probleem, dat de warmte in de hoogzomer in overvloed beschikbaar is, terwijl dit slechtst deels benut kan worden. Door de extra warmte in de bodem op te slaan kan het gebruik van zonnecollectoren een betere energiebalans in bodem geven. In de zomer wordt extra warmte in de bodem gebracht, terwijl dit in de winter weer benut wordt voor de warmtepomp die op zijn beurt met een gunstige COP kan werken.

In de hiernavolgende tabellen is uiteengezet wat de gemiddelde zonne-energie is, die beschikbaar komt op de collector per m².

maand	Q_{zon} [kWh/m ²]	Q_{zon} [MJ/m ²]	$Q_{\text{collector}}$ MJ/m ²	
Januari	24	86	17	
Februari	49	176	35	
Maart	77	277	83	
april	97	349	122	
mei	129	464	163	
juni	136	490	196	
juli	129	464	186	
augustus	120	432	151	
september	83	299	105	
oktober	59	212	64	
november	38	137	27	
december	29	104	21	
	970	kWh	1170	MJ
	3,49	GJ	1,17	GJ



Rekenvoorbeeld woning

Voor woningen is een gebruikelijke maat die toegepast wordt 2,75 of 4m² collectoroppervlakte. Indien we uitgaan van een collectoroppervlak van 4m² zal het 'overschot' aan energie alleen in de maanden juli en augustus aan de orde zijn.

Acollector = 4 m²

Q juli-augustus = 1526 MJ ; warm water Q = 1318 MJ

Q rest = 208 MJ = 0,2 GJ.

Dit komt overeen met ca. 1% van de warmtebehoefte per jaar. Hieruit kan geconcludeerd worden dat wanneer er zonnewarmte binnen een duurzaam energieconcept met warmtepomp systemen wordt toegepast, de keuze voor een groter collectoroppervlakte zinvoller kan zijn. Onder installatieconcepten (hoofdstuk 4) wordt hierop verder ingegaan.

In de onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven wat de opbrengsten zijn bij een toenemend collectoroppervlakte. Hieruit is ook op te maken dat logischerwijs een collector van 4 m² een goede balans vormt tussen opbrengst en warm tapwatergebruik. Vanaf het voorjaar tot het najaar wordt deze energie efficiënt gebruikt. In een gemiddelde woning is de energiebehoefte voor warm water per maand ca. 660 MJ. In de tabel staat donker gekleurd aangegeven waar een efficiënte inzet mogelijk is.

Grotere collectoroppervlaktes zullen in de zomerperiode en fors overschot geven, maar kunnen in eerste instantie niet ingezet worden voor de warmwatervoorziening.

A_{collector}										
[m2]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Jan	17	35	52	69	86	104	121	138	156	173
Feb	35	71	106	141	176	212	247	282	318	353
Mrt	83	166	249	333	416	499	582	665	748	832
Apr	122	244	367	489	611	733	856	978	1100	1222
Mei	163	325	488	650	813	975	1138	1300	1463	1625
Jun	196	392	588	783	979	1175	1371	1567	1763	1958
Jul	186	372	557	743	929	1115	1300	1486	1672	1858
Aug	151	302	454	605	756	907	1058	1210	1361	1512
Sep	105	209	314	418	523	627	732	837	941	1046
Okt	64	127	191	255	319	382	446	510	573	637
Nov	27	55	82	109	137	164	192	219	246	274
Dec	21	42	63	84	104	125	146	167	188	209
MJ	1170	2340	3509	4679	5849	7019	8189	9359	10528	11698
GJ	1,17	2,34	3,51	4,68	5,85	7,02	8,19	9,36	10,53	11,70

3 Energiegebruik

3.1 Verwarming

Voor de verwarming van gebouwen en de benodigde energiewaarden per jaar is de laatste jaren een verandering merkbaar. Dit heeft te maken met aanscherping van regelgeving (Energieprestatie EPC) en de stijging van de energieprijzen. In Nederland is de verwarmingsmethodiek vrijwel alleen afgestemd op aardgasgebruik. Omdat de energiekosten sterk zijn gestegen en dat gasverbranding direct bijdraagt tot een bepaalde CO₂ uitstoot, zijn alternatieve energiebronnen sterk in opkomst, waaronder de warmtepomp.

Er bestaat een groot verschil in energieverbruik voor verwarming tussen oude gebouwen en nieuwbouw. Doordat we woningen tegenwoordig veel beter isoleren en gebruik maken van warmteterugwinning en hoogrendement-toestellen zorgen we voor vraagreductie. Dit levert direct energiebesparing op en daarmee een reductie op de CO₂ uitstoot.

3.1.1 Utiliteitsgebouwen

Voor utiliteitsgebouwen is het verbruik afhankelijk van de volgende aspecten:

- isolatiewaarde van het gebouw
- wijze van ventilatie en warmteterugwinning
- bedrijfstijden
- vrijkomende interne warmtelast
- al dan niet koeling

Op basis van kentallen is de onderstaande tabel samengesteld.

winkel	m ³ a.e./m ²	warmte [MJ/m ²]	kWh _e /m ²	koude [MJ/m ²]
winkels algemeen tot 20 werknemers	18	570	30	108
winkels algemeen > 20 werknemers	7	222	25	90
supermarkt	16	506	60	216
onderwijs				
basisschool	10	317	15	54
middelbare school	11	348	18	63
voortgezet onderwijs MBO/HBO	18	570	18	63
universiteit	9	285	15	54
energiezuinige scholen	8	253	20	72
kantoren				
kantoor 200 - 500 m ²	17	538	18	63
kantoor 500 - 10.000 m ²	9	285	20	72
kantoor > 10.000 m ²	8	253	20	72
verzekerings / bankkantoor	10	317	23	81

Zorg				
verpleging + gehandicaptenzorg	15	475	18	63
verzorgingstehuis	15	475	10	36
ziekenhuis	30	950	23	81
psychiatrisch ziekenhuis	20	633	20	72

3.1.2 Woningen

Voor woningen is het verbruik sterk afhankelijk van de bewoner en moet uitgegaan worden van een gemiddeld verbruik. Daarbij spelen de volgende aspecten een rol:

- isolatiewaarde van de woning
- type ketel cq. warmteopwekking
- wijze van ventilatie

Op basis van kentallen van nieuwbouw is de onderstaande tabel samengesteld.

woningen met EPC = 0.8 inclusief gebalanceerde ventilatie	verwarming[MJ/m ²]	m ³ a.e./m ²
appartementen	220	7,0
galerij flatwoning (tussenwoning)	175	5,5
hoek gezinswoning	185	5,8
tussen gezinswoning	165	5,2
2 onder 1 kap gezinswoning	190	6,0
vrijstaande woning	330	10,4

Bij bepaling van de energiewaardes van oudere woning bepaald worden zal dit sterk kunnen afwijken. Richtwaarden hiervoor staan in de onderstaande tabel aangegeven.

Oudere woningtypes	slecht geïsoleerd enkel glas	matig geïsoleerd enkel glas	matig geïsoleerd dubbel glas	goed geïsoleerd dubbel glas
	[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	[MJ/m ²]
tussen gezinswoning	428	395	354	304
hoek gezinswoning	502	436	428	370
vrijstaande woning	683	617	601	560
galerij flatwoning tussenverdieping	329	288	272	230
galerij flatwoning dak	568	453	436	403
appartementwoning	502	411	354	337

Informatie: 31,65 MJ = 1 m³ aardgas equivalent

3.2 Warm tapwater

3.2.1 Utiliteitsgebouwen

Voor de meeste utiliteitsgebouwen is er slechts een geringe vraag naar een warmwatervoorziening. Daardoor gebeurt dit meestal met behulp van elektrische (close-in) boilers. Een uitzondering hierop vormen zorginstellingen en hotels. Hier worden vaak centrale warmwatervoorzieningen toegepast met een warmwater circulatienet.

Voor de zorg is per bed ca. 100 tot 200 liter water per dag benodigd; ca. 50% hiervan is warm water.

Utiliteit	[kWh]	[MJ]	m ³ a.e.
zorginstelling per bed	3000	10800	341
hotel per gast	2500	9000	284

3.2.2 Woningen

Voor woningen wordt de warmwaterbehoefte veelal bepaald door het aantal bewoners. Derhalve is onderscheid gemaakt tussen een standaard gezinswoning en 1 of 2-persoons huishoudens.

Woningen	[kWh]	[MJ]	m ³ a.e.
gezinswoning	2200	7920	250
1 persoons huishouden	1500	5400	171
2 persoons huishouden	1750	6300	199

4 Installatieconcepten

4.1 Basisprincipes

Voor de warmteopwekking kan in feite onderscheid worden gemaakt tussen opwekking van warmte voor verwarming van ruimten en opwekking van warmte voor warm tapwater.

Voor verwarming van tapwater moeten relatief hoge temperaturen worden toegepast. Het warme water moet minimaal 60°C zijn om legionellabesmetting tegen te gaan. Voor ruimteverwarming kunnen veel lagere temperaturen toegepast worden van ca. 30-35°C.

Daarom is het van belang om voor ieder project deze 2 onderdelen te scheiden en het installatieconcept hierop toe te spitsen. Dit vraagt inbreng van de technisch ontwerper.

In eerste instantie kan onderscheid gemaakt worden tussen woningbouw en utiliteit. Verder is binnen de utiliteitsbouw een splitsing mogelijk, waarbij gekeken wordt naar projecten waar veel warmwatervraag is. Hierbij moet vooral gedacht worden aan zorggebouwen met een centrale warmwatervoorziening.

4.2 Richtlijnen voor basisconcepten

Voor de uitwerking van een ontwerp noemen we dit het BOA principe. Dit staat voor:

- B Bron
- O Opwekking
- A Afgifte.

In de benaderingswijze wordt gestart vanuit A (Afgifte) door de toepassing te beoordelen en de afgiftesystematiek (vermogens e.d.). Daarna kan gekeken worden naar de opwekking. Is een monovalente oplossing met alleen een warmtepomp zinvol en mogelijk of moet er bijvoorbeeld een CV-ketel aan toegevoegd worden. Ten slotte kan de warmtebron bepaald worden. Daarbij wordt eveneens gekeken naar de toepassing, vermogensbehoefte etc.

Op hoofdlijnen kan er in de keuze van bepaalde installatieconcepten de volgende splitsing gemaakt worden:

a. Woninginstallaties

Woningen vragen tegenwoordig door een goede isolatie en een hoogwaardige warmterugwinning uit ventilatielucht een gering verwarmingsvermogen. Voor de warmwatervoorziening is er een aanzienlijke warmtecapaciteit nodig om warm water te maken. Bij toepassing van een warmtepomp is een voorraadboiler voor warm tapwater nodig.

Bij grootschalige woongebouwen is een gezamenlijke warmteopwekking interessant. Hierbij gelden in principe dezelfde richtlijnen, echter zal de keuze voor het type bronsysteem anders zijn. Bij een grotere broncapaciteit >10m³/h gelden een vergunningsplicht in het kader van de wet. Daarbij is een thermische balans in de bodem verplicht en spelen aspecten als koeling en regeneratie een rol.

- b. Utiliteitsgebouwen met uitsluitend verwarming (en koeling)
In principe zijn hier verschillende toepassingen mogelijk in zowel monovalente, als bivalente opstelling. De keuze voor een gunstig afgiftesysteem is erg bepalend voor een hoge COP, waardoor er in verhouding zeer efficiënt gestookt kan worden. Energiebalans in de bodem begint een belangrijke rol te spelen. De toepassing van zonnecollectoren voor regeneratie van de bodemtemperatuur is een mogelijkheid.
- c. Utiliteitsgebouwen met verwarming (en koeling) en warm tapwater
Dit betreft vooral gebouwen voor zorg en sportzalen. Afhankelijk van het project moet een afweging plaatsvinden over de samenstelling van het installatieconcept. Zo zal in de zorg de warmwatervraag regelmatig zijn en kan met behulp van buffers de vraag gedekt worden. Verwarming van een zorggebouw is bijna vergelijkbaar met een woningomgeving qua warmtevraag.
Voor bv. een sporthal zal de warmwatervraag bestaan uit piekmomenten. Daarbij is het zinvol om naast een buffer eveneens te beschikken over een hoogtemperatuur opwekking zoals een gasboiler. Hiermee kan in korte tijd veel warm water geproduceerd worden.

Met behulp van de tabel 'selectierichtlijnen installatieconcepten' kan een basiskeuze gemaakt worden.

Selectietabel concepten

omschrijving	Warmte	Koude	Warm water	Bron			Opwekking			Afgifte		toelichting
				lucht	bodem	zon	mono-valent	mono-energetisch	bi-valent	oppervlakte	lucht	
Woonfunctie												
<i>woningen</i>	ja	optie	ja									voor de warmwatervoorziening rekening houden met een voorraadvoorziening
<i>woongebouwen</i>	ja	optie	ja									voor de warmwatervoorziening rekening houden met een voorraadvoorziening. Eventueel kan zonne-energie gebruikt worden voor regeneratie van de bodem en warm tapwater
Bijeenkomstfunctie	ja	optie	beperkt									
Celfunctie	ja	optie	ja									voor de warmwatervoorziening rekening houden met een voorraadvoorziening
Gezondheidszorg												
<i>wonen en zorg</i>	ja	optie	ja									voor de warmwatervoorziening rekening houden met een voorraadvoorziening. Eventueel kan zonne-energie gebruikt worden voor regeneratie van de bodem en warm tapwater
<i>verpleegtehuis</i>	ja	ja	ja									voor de warmwatervoorziening rekening houden met een voorraadvoorziening. Eventueel kan zonne-energie gebruikt worden voor regeneratie van de bodem en warm tapwater
Industriefunctie	n.t.b.	n.t.b.	n.t.b.									
Kantoorfunctie	ja	ja	beperkt									
Logiesfunctie	ja	optie	ja									voor de warmwatervoorziening rekening houden met een voorraadvoorziening
Onderwijsfunctie	ja	optie	beperkt									
Sportfunctie	ja	optie	ja									voor de warmwatervoorziening rekening houden met een voorraadvoorziening. Zonne-energie voor warm-tapwater.
Winkelfunctie	ja	ja	beperkt									
Overige gebruiksfunctie	n.t.b.	n.t.b.	n.t.b.									

basiskeuze
 mogelijke keuze
 bij voorkeur niet toepassen

4.3 Keuzes en aandachtspunten

Bij de verschillende keuzemogelijkheden is het van belang goed te inventariseren hoe het gebruik zal zijn. In alle hierna opgenomen installatieconcepten staat een buffer opgenomen. Het is dus van belang de waterinhoud van de installatie vooraf te bepalen en te toetsen aan de eerder toegelichte buffercapaciteit. Vooral bij kleinere installaties, waar de warmtepomp monovalent staat opgesteld is een buffer gewenst. Bij toepassing van een warmwatervoorraadvat (woningbouw) kan de buffer kleiner zijn, omdat de capaciteit altijd aan het warme water toegevoerd kan worden.

Bij gesloten bronsystemen is het van belang om de collector iets groter te dimensioneren. Indien de collector te klein is, zal er bevriezing in de bodem kunnen ontstaan, waardoor het rendement van de warmtepomp sterk daalt en de collector op den duur niet meer goed functioneert.

Regeneratie

Bij grotere bronsystemen geldt vaak een vergunningsplicht. Een verplichting binnen deze vergunning is, dat er een thermische balans vereist is. Dit betekent dat de onttrokken warmte in de winter, tijdens de zomerperiode teruggebracht moet worden.

Voor al bij woningprojecten met warmwatervoorziening is de warmte-energievraag groter dan de koude-energievraag. De verhouding in deze situatie is ca. 2,5:1. Dus zal er onbalans ontstaan. Deze onbalans kan teruggebracht worden door bv. zonnecollectoren op te stellen en de warmte terug te voeren in de bodem. De infiltratietemperatuur mag maximaal 25°C zijn. Andere mogelijkheid is het koelen van ventilatielucht, waardoor er warmte door het systeem wordt opgenomen.

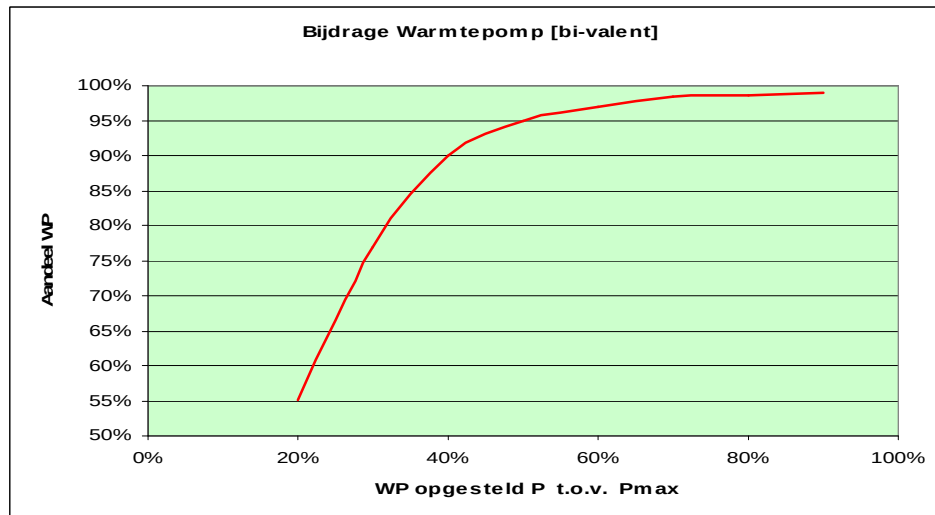
Vermogensverhoudingen

Bij de keuze van een bivalente opstelling met bv. een warmtepomp en een CV-ketel wordt de warmtepomp als preferent toestel aangewezen. Dit betekent, zodra er warmtevraag is, de warmtepomp hierin voorziet. Op den duur zal de warmtepomp niet meer voldoende capaciteit kunnen leveren en springt de CV-ketel bij. In de praktijk blijkt echter dat al met een gering vermogensaandeel van de warmtepomp het grootste gedeelte van het jaar gedekt is.

De onderstaande tabel en grafiek geven deze situatie weer. Vaak wordt gekozen voor een verhouding 40% warmtepompcapaciteit en 60% CV-capaciteit. Dit betekent dan, dat 90% van de jaarbehoefte met de warmtepomp gedekt kan worden. Dit levert een aantal voordelen op:

- kleiner warmtepompvermogen
- investering lager voor de warmtepomp
- elektriciteitsaansluiting lager
- veel draaiuren met relatief weinig start/stops, wat gunstig is voor de levensduur.

Opgesteld warmtepomp vermogen	Dekking jaarbehoefte warmtevraag
20%	55%
30%	77%
40%	90%
50%	95%
60%	97%
70%	98%
80%	99%
90%	99%



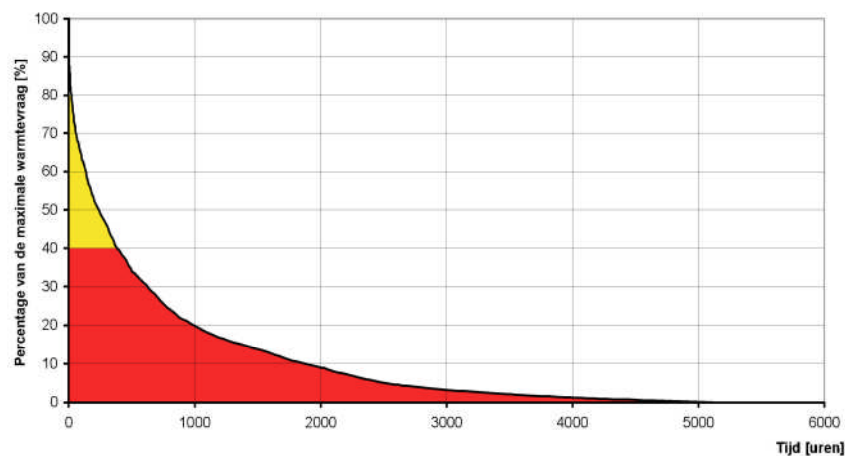
Duurbelastingskromme

Met behulp van een duurbelastingskromme wordt de verhouding warmtepomp-CV goed aangegeven.

Naarmate de buitentemperatuur hoger is, zal de benodigde capaciteit afnemen. Slechts enkele uren per jaar wordt 100% vermogen gevraagd (allen bij extreme koude)

Ook belangrijk is het opgesteld warmtepompvermogen t.o.v. het maximum benodigde vermogen.

In de onderstaande grafiek is te zien hoe deze verhoudingen in een bi-valente opstelling liggen.



Het rode gedeelte voorziet het warmtepompgebruik bij 40% vermogen en het gele gedeelte wordt gedekt door de CV-ketel met 60% vermogen.

4.5 Installatieconcepten

Zoals eerder aangegeven is de keuze van het juiste installatieconcept afhankelijk van verschillende kenmerken. Belangrijke criteria zijn

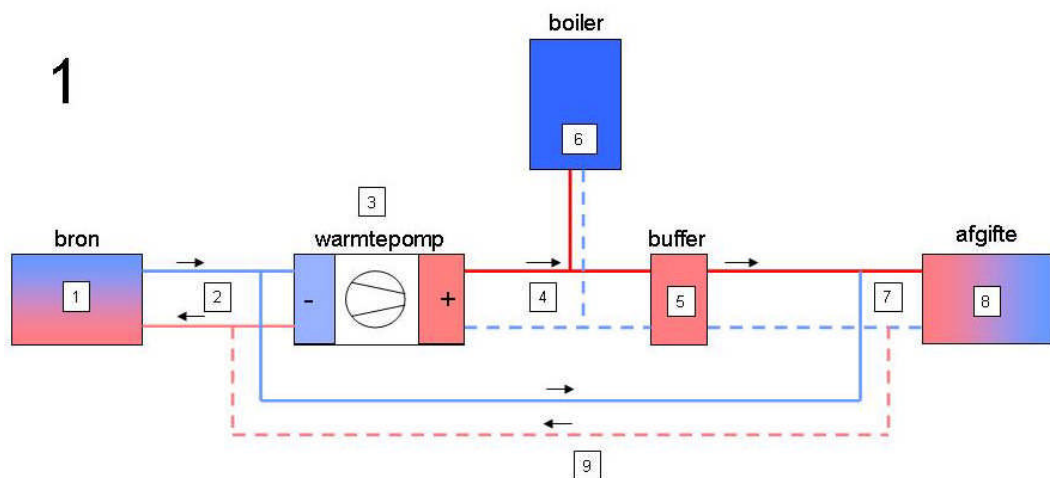
- a. het gebruik
- b. de benodigde capaciteit
- c. financiën en dubo ambities.

De eerder aangegeven selectietabel kan een handig hulpmiddel zijn bij het zoeken naar een passend concept.

Hierna zijn er enkele concepten uitgewerkt, waarbij verschillende combinaties mogelijk zijn. De juiste combinatie moet afgestemd worden op de toepassing. De voorbeelden geven een aantal basisvarianten weer en kunnen op verschillende punten uitgebreid en/of aangepast worden.

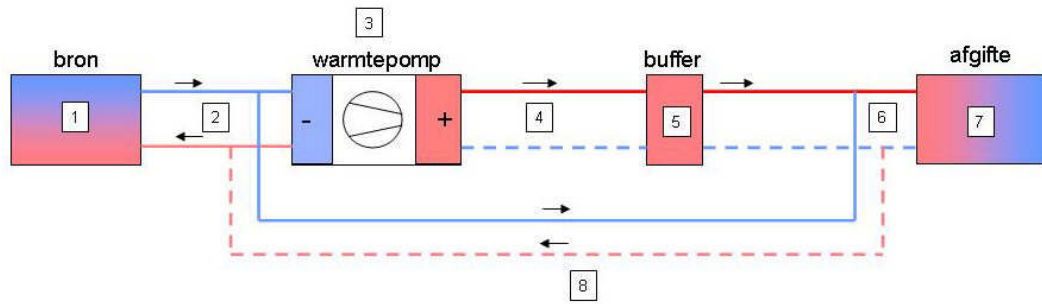
4.6 Monovalent installatieconcept

Kenmerkend van een monovalent systeem is, dat de warmtepompinstallatie als enige warmteopwekker de gehele warmtebehoefte van het gebouw of woning moet dekken. In de praktijk betekent dit, dat de warmtepomp relatief veel vermogen heeft, waardoor bij een te kleine buffer pendelgedrag ontstaat. Het is dus van belang om een voldoende groot buffer toe te passen.



Monovalent concept met koeling, warmtepomp, warmwaterboiler

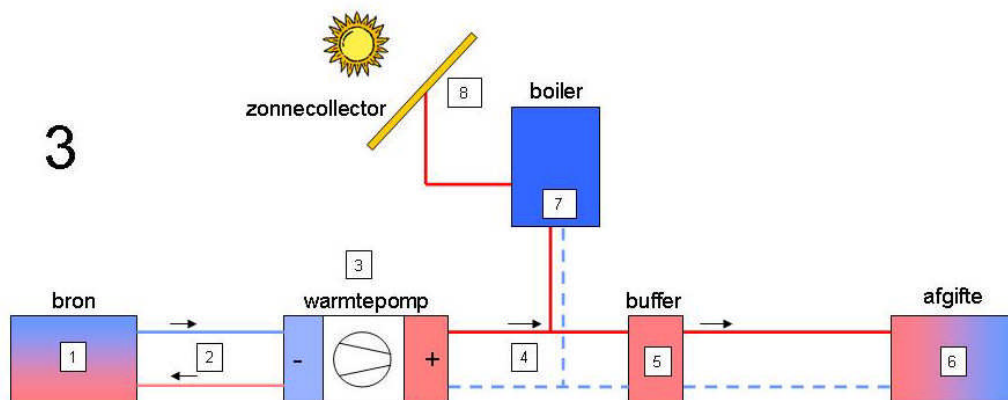
2



Monovalent concept met koeling, warmtepomp

4.7 Mono-energetisch installatieconcept

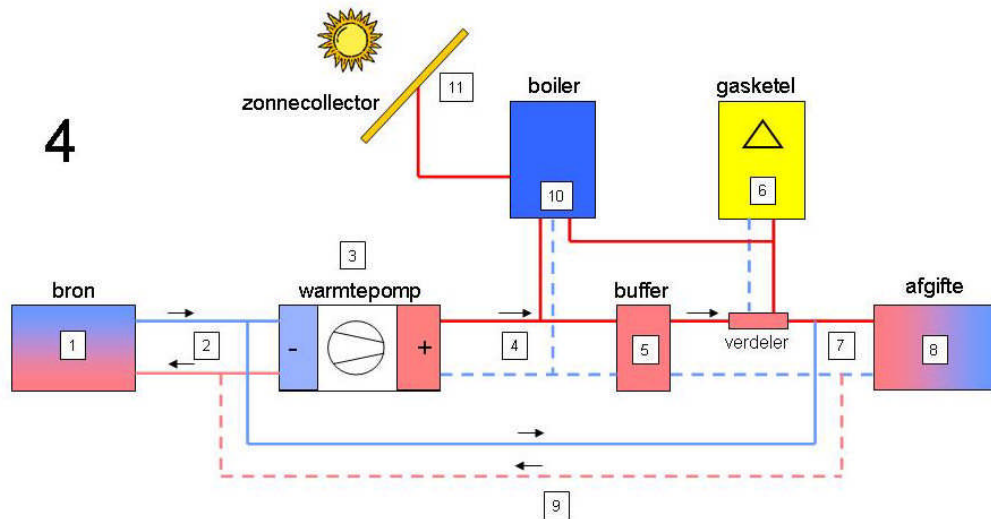
Kenmerkend voor dit systeem is, dat de warmtepompinstallatie wordt aangevuld met een externe verwarmer. Dit kan bv. een elektrische naverwarming zijn of een zonlichtsysteem voor de warmwatervoorziening. In de praktijk wordt een warmtepompvermogen van ca. 70-85% van de maximale warmteverliezen aangehouden. Daarmee wordt ca. 95% van de jaarbehoefte gedekt. Het overige vermogen wordt elektrisch gecompenseerd.



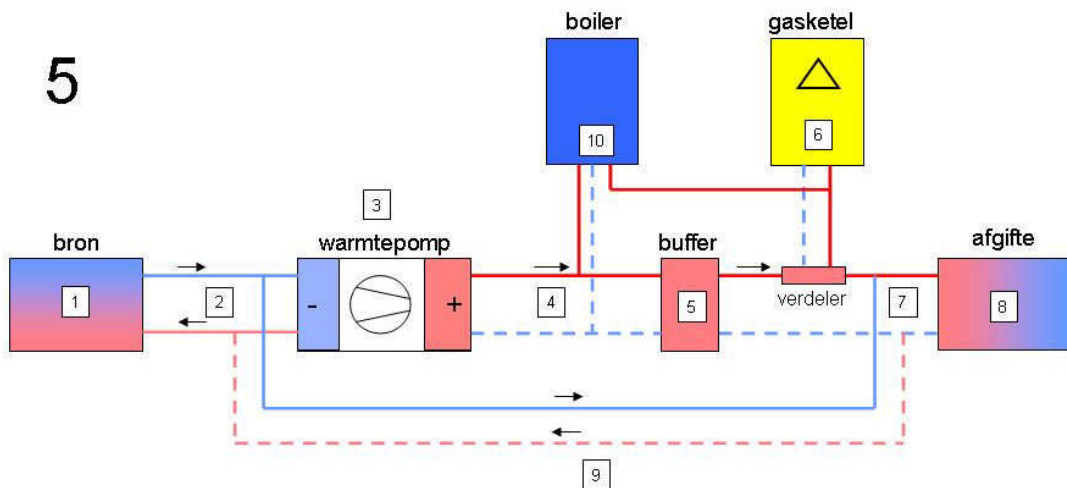
mono-energetisch concept met warmtepomp, warmwaterboiler en zonne-energie

4.8 Bivalent installatieconcept

Deze installatie is hier opgebouwd uit 2 verwarmingstoestellen. In eerste instantie zal de warmtepomp een groot gedeelte van het jaar de energievraag dekken. Indien de energievraag groter wordt, zal bv. een CV ketel bijspringen voor het resterende gedeelte van de vraag. Deze samenstelling kan ook goed functioneren bij grotere vermogens en veel warmwatervraag. De CV-ketel kan dan ook voorzien in verwarming van de warmwaterboiler.

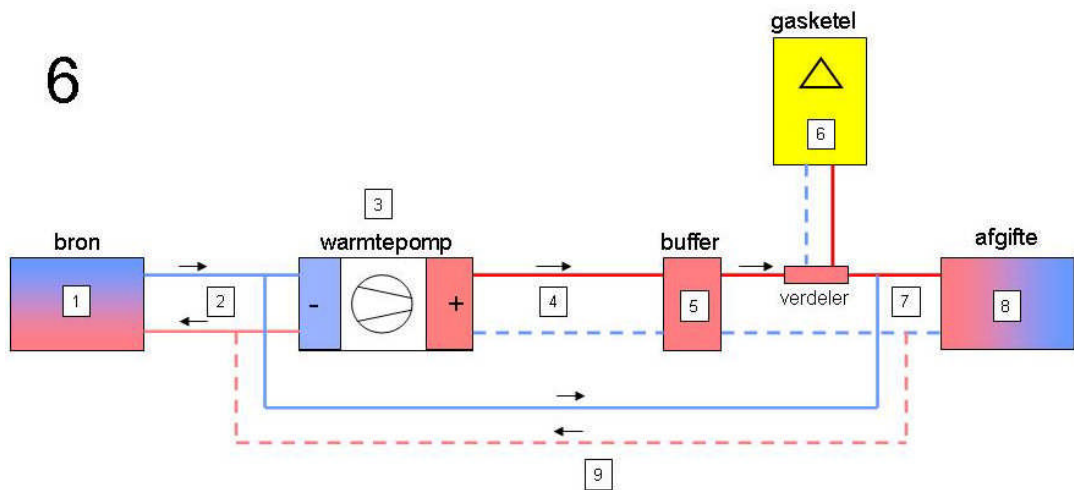


Bivalent concept met koeling, warmtepomp, warmwaterboiler, gasketel, zonne-energie



Bivalent concept met koeling, warmtepomp, warmwaterboiler en gasketel

6

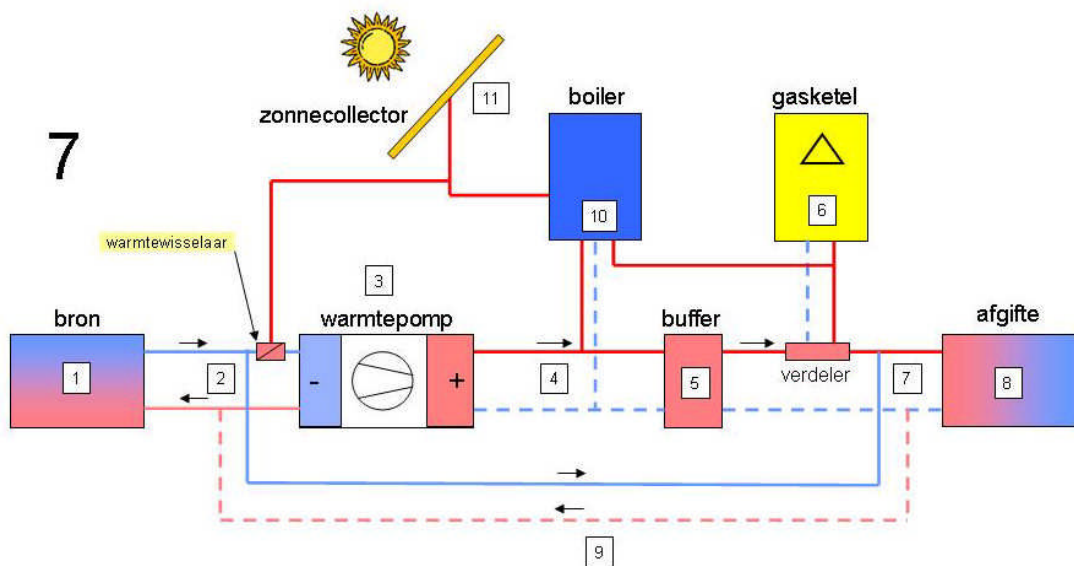


Bivalent concept, warmtepomp en gasketel

4.9 Bivalent installatieconcept met regeneratie van de bron

De opstelling is denkbaar indien er gebruik gemaakt wordt van grotere bronsystemen, waarbij er een thermische balans nodig is en dit niet met het afgiftesysteem in het gebouw gerealiseerd kan worden. Dit doet zich tegenwoordig veel voor in o.a. woningbouwprojecten, waar gestreefd wordt naar een duurzame toepassing met gebruikmaking van een bodemopslagsysteem. De zonnecollector kan dienen om warm tapwater te verwarmen, maar zal zodra het warme tapwater op temperatuur is zijn warmte aan de warmtepomp en/of bron kunnen toevoeren. Zo zal de volledige energieopname in de collector benut worden.

7

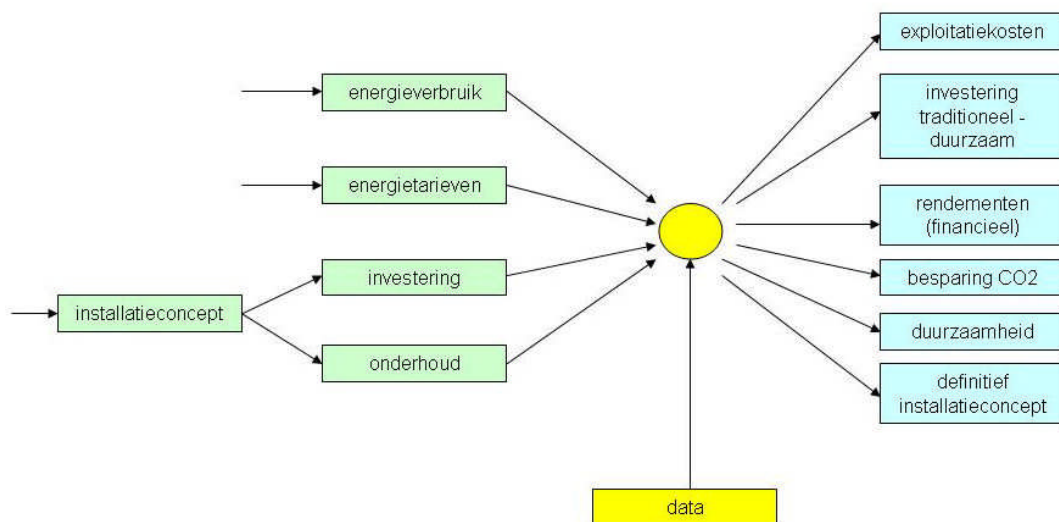


Bivalent concept met koeling, warmtepomp, warmwaterboiler, gasketel, zonne-energie met regeneratie van de bron

5 Rekenmodel

5.1 Opzet model

Voor het rekenmodel is het onderstaande schema als eerste basis gehanteerd. In de opzet is er sprake van invoer enerzijds en beschikbare data anderzijds. Deze data is terug te vinden in de diverse tabellen zoals opgenomen in de bijlagen. In de definitieve opzet (zie als bijlage) zijn er enkele verschuivingen en aanvullingen op dit onderstaande model. Deze aanpassingen zijn voortgekomen uit voortschrijdend inzicht tijdens het ontwerp.



5.2 Stappenplan

Het gebruik van het rekenmodel vereist het volgende stappenplan.

- A. Bepaal het gebouwtype, de mogelijkheden voor verwarmen en de warmwatervoorziening en maak een keuze voor woningen of utiliteit. En woongebouw met 1 energievoorziening kan beschouwd worden als een utiliteitsgebouw.
- B. Bepaal de wijze van verwarmen en koelen [afgiftesysteem].
- C. Bepaal het warmteverlies en de koelvraag.
- D. Bepaal het traditioneel installatieconcept als referentie en het meest geschikte duurzame installatieconcept.
- E. Bepaal de energiewaarden m.b.v. kentallen.
- F. Bepaal de energietarieven [info via de energiebedrijven].
- G. Bepaal het type bronsysteem en neem bijbehorende kentallen over in het model.
- H. Bepaal de investering van de traditionele- en de duurzame installatie m.b.v. kentallen of eventueel beschikbare prijsinformatie.
- I. Bepaal het onderhoud aan de installaties [bivalente systemen vergen iets meer onderhoud!].
- J. Benoem eventuele aandachtspunten die relevant kunnen zijn voor de uitkomsten van het rekenmodel.

- K. Maak eventueel meerdere berekeningen op basis van verschillende installatieconcepten die met elkaar vergeleken kunnen worden.

5.3 Invulbladen

Algemene projectgegevens

Hier worden vermeld het project, datum en referentie. Dit wordt ingevuld boven de grijze balk. Op alle andere bladen worden deze gegevens overgenomen.

Bij dit blad is het mogelijk om projectspecifieke zaken te vermelden die belangrijk kunnen zijn voor een algehele beoordeling als installatietechnicus.

Hier kan algemene informatie over de verwarmingsinstallatie worden beschreven. Ook kunnen conclusies uit resultaten achteraf hier vermeld worden.

Bouwfysische kwaliteiten worden aangegeven en dienen als informatie. Bij de toepassing van duurzame opwekking past lage temperatuur afgifte. Een voorwaarde hierbij is een zeer goede bouwfysische kwaliteit.

Indien een gebouw slecht geïsoleerd is wordt een laagtemperatuursysteem afgeraden.

Verwarming

Hier wordt een opsomming gedaan van verschillende gebouwdelen of gebouwen. Er kan een keuze gemaakt worden voor kentallen op basis van m^2 of m^3 .

Voor specifieke projecten, waarbij de ventilatie een belangrijke rol speelt kan de capaciteit worden ingevuld. Normaliter wordt hier een waarde van het bouwbesluit opgenomen. Deze eisen zijn te vinden op www.bouwbesluitonline.nl.

Het percentage van warmteterugwinning kan ingevuld worden. Bij vermogen kan een percentage ingevuld worden als bijstelling op de berekende waarde. Dit kan bv. het geval zijn als een deel (bv. 40%) van het bouwwerk geventileerd wordt.

Koeling

Koeling bij duurzame concepten vindt vaak plaats met vloerkoeling of bv. betonkernactivering. De massa zal afhankelijk van het temperatuurverschil tussen beton en lucht meer of minder warmte opnemen (=koelen).

Vaak vindt koeling plaats op basis van lucht. Deze gegevens kunnen evenals bij verwarming (ventilatie) worden ingevuld. De koelcapaciteit wordt hierbij berekend.

Tapwater

Tapwaterverbruik als kental zijn beschikbaar voor woningen en zorg. Deze gegevens kunnen uit de tabel met kentallen worden overgenomen. In een later invulblad kan worden aangegeven of dit door een warmtepomp wordt opgewekt of niet. Vaak wordt bij bivalente opstellingen warmwater met aardgas verwarmd. In woningbouw kan een warmtepomp met buffer ook warm tapwater opwekken.

Energieverbruik

Dit invulblad staat los van de eerdere invulbladen en ten aanzien van het jaarverbruik ligt er geen directe koppeling wat betreft de verwarming. Hier moeten specifieke kentallen worden ingevoerd. Bij warm tapwater kan worden ingevuld of de opwekking met warmtepomptechniek plaatsvindt. Indien dit met 'nee' beantwoord is, wordt ervan uitgegaan dat opwekking met aardgas plaatsvindt, eventueel ondersteund met een zonlichtsysteem.

Koeling wordt overgenomen vanuit een vorig invulblad. Bij koeling wordt uitgegaan van een aantal vollasturen van de koelcapaciteit per jaar. Voor gebouwen ligt dit gemiddeld tussen de 500 en 700 uur per jaar.

Bij de samenstelling van het installatieconcept kan een verdeling worden gemaakt tussen warmtepomp en CV-ketel. Achter de infoknop is terug te vinden wat het aandeel is bij een bepaalde samenstelling. Het is van belang dit correct over te nemen.

In dit blad wordt daarna een vergelijking gedaan tussen een traditioneel en duurzaam concept.

Bij toepassing van een combiwarmtepomp voor woningbouw, waarmee ook warm tapwater wordt opgewekt moet rekening worden gehouden met een elektrische naverwarming in het voorraadvat. Hiervoor wordt een toeslag van 20% aangehouden.

Binnen een opzet, waarbij zonne-energie wordt toegepast voor warm tapwater kan het aantal m² collectoroppervlak worden ingevoerd. Dit wordt omgerekend naar een reductie op het aardgasverbruik.

Ook is het mogelijk om bij een monovalente toepassing van een warmtepomp bewust te kiezen om het incidentele tekort bij extreme koude elektrisch na te verwarmen. Dit wordt berekend en kan overgenomen worden indien van toepassing.

Bronstelsysteem

Bij de bronsystemen wordt bepaald welke capaciteit nodig is. Afhankelijk van het temperatuurverschil wordt het debiet bepaald. De hoogste waarde is bepalend voor een correcte keuze.

Bij gesloten collectorsystemen (tot ca. 20kW) geldt een andere benadering. Daar wordt bepaald hoeveel lengte collectorslang nodig is. Dit is afhankelijk van grondsamenstelling. Waarden hiervoor zijn terug te vinden onder de info knop.

Kosten

Om uiteindelijk een juist kostenbeeld te krijgen voor investering en exploitatie, moet een nauwkeurige kostenraming worden opgesteld. Kentallen kunnen overgenomen worden via de info knop.

Andere onderdelen zijn vaste exploitatiekosten en energietarieven.

5.4 Resultaten

Inventarisatie gegevens

Hier worden de verschillen getoond tussen een traditioneel en het gekozen duurzaam concept, vertaald naar waarden van aardgasverbruik en elektriciteitsverbruik.

Energiekosten

Op basis van de energietarieven en verbruiken wordt berekend wat de financiële besparingen zijn.

Investering

Hier worden alle kosten weergegeven van investeringen. De installatiekosten worden overgenomen uit de eerdere invulbladen en overige kosten kunnen hier toegevoegd worden.

Jaarlijkse cashflow

Op basis van de ingevoerde gegevens wordt de cashflow berekend. Optioneel kunnen andere kosten hieraan toegevoegd worden. Belangrijk hier is om aan te geven of er sprake is van belasting. Bij profit organisaties wordt de cashflow als winst aangemerkt en moet hierover vennootschapsbelasting betaald worden. Hiervoor kan tot € 25.000,00 een percentage van 20% worden aangehouden. Voor non-profit organisaties zoals overheden is dit percentage 0%.

Rentepercentages

Hier wordt het rentepercentage ingevuld wat normaliter door de geldverstrekker in rekening wordt gebracht. Ook staat onder dit onderdeel het percentage dat de energieprijzen per jaar naar verwachting stijgen.

Technische levensduur

Over het algemeen wordt voor technische installaties een levensduur van 15 jaar aangehouden. Voor een bronsysteem kan zelfs 30 jaar worden aangehouden. Dit is van belang indien vervangingswaarde op termijn doorgerekend wordt.

Snelle terugverdiëntijd

De snelle terugverdiëntijd wordt berekend door de investering te delen door de cashflow. Dit staat los van financiële waarden zoals rendement.

Netto contante waarde

Het begrip (netto) contante waarde is een belangrijk financieel begrip. Kasstromen (cash-flows) die op verschillende tijdstippen plaatsvinden worden naar 1 tijdstip contant gemaakt en worden vervolgens opgeteld. Dit maakt het mogelijk om te beoordelen of bijvoorbeeld opbrengsten op termijn kosten van nu kunnen dekken. Een voorbeeld: je overweegt de cv-ketel in de woning te vervangen door een energiezuiniger concept en je wilt weten of dit financieel verantwoord is. Je kunt dan de jaarlijkse besparingen stuk voor stuk contant maken. Al deze contante waarden mogen vervolgens bij elkaar worden opgeteld. Wanneer de som van al deze contante waarden hoger is dan de kosten van de nieuwe cv-ketel is de investering verantwoord. Afhankelijk van het aantal jaren verandert deze waarde, waarbij logischerwijze toetsing plaatsvindt op de technische levensduur.

Interne rente

Dit is de berekende waarde van de rentabiliteit van de (meer)investering. In feite dus het rendement.

Bijdrage duurzaamheid

Hierin wordt berekend wat de CO₂ uitstoot is van de verschillende concepten en wordt de reductie bepaald. De uitstoot is bepaald op basis van primaire uitstoot. Dit betekent voor de elektrische energie de uitstoot die in de opwekkingcentrale plaatsvindt.

Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen de mogelijkheid van inkoop grijze stroom en groene stroom.

Om aan het begrip CO₂ een 'gevoel' toe te kennen is er een vertaling gemaakt naar aantallen bomen die per jaar de uitstoot van CO₂ uit de lucht via fotosynthese weer omzetten naar zuurstof (O₂).

Ook is het uitgedrukt in CO₂ uitstoot dat door auto's uitgestoten wordt voor het aantal kilometers dat gereden wordt.

6 Conclusies

Algemeen uitgangspunt

Bij duurzame installatieconcepten levert integraal ontwerpen, waarbij het bouwkundige- en installatietechnische ontwerp hand in hand gaan, het beste resultaat voor duurzaamheid en kostenefficiëntie. Een voorwaarde om bv. ZLTV systemen toe te passen is een thermisch zeer goed bouwkundig ontwerp. Dit past in de filosofie van het trias energetica principe.

Dit principe kent 3 stappen om duurzaam te ontwerpen.

Stap 1 Beperk de vraag naar energie

Dit kan door een goede oriëntatie, goede isolatie, warmteterugwinning op de ventilatielucht en o.a. gebruik maken van passieve zonne-energie. Hierdoor is de vraag naar energie al tot een minimum teruggebracht. Een goed voorbeeld hiervan zijn o.a. passief huizen.

Stap 2 Vul de energievraag zoveel mogelijk in met duurzame oplossingen

Dit kan door gebruik te maken van energie uit de omgeving, zoals aardwarmte, zonne-energie en mogelijk windenergie.

Stap 3 Vul de resterende vraag in met hoogrendement apparatuur

Denk hierbij aan HR cv ketel.

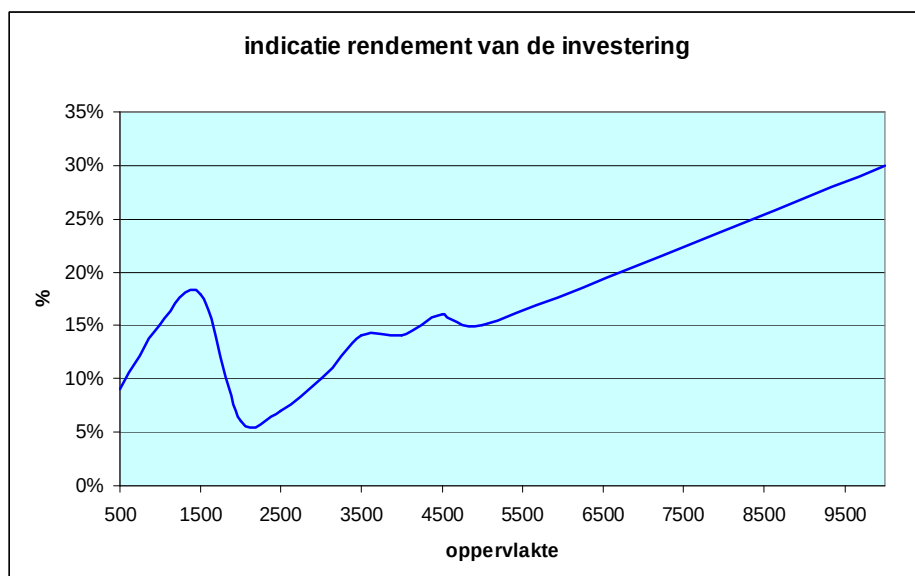
Toepassing aardwarmte-energie

Uit de gegevens en berekeningen blijkt, dat een bodembronsysteem de meest optimale combinatie met een warmtepomp is om een gunstige COP (>3) te halen. Voor bronsystemen tot ca. 20 kW is een gesloten collector financieel het meest aantrekkelijk. Bij grotere vermogens wordt vaker gebruik gemaakt van open bronnen.

De capaciteit van de opwekkingsinstallatie wordt bepaald door het gebouwoppervlak.

Toepassing van een duurzaam concept met bronsysteem laat een wisselend beeld laten zien, indien naar het rendement van de investering wordt gekeken. Er zijn gebouwen vergeleken waar zowel warmte als koudevraag is (bv. kantoorgebouwen).

Uit de onderstaande grafiek is op te maken dat gebouwen van 2000 tot 3000m² een aanzienlijk lager rendement laten zien. Dit komt door de relatief hoge investeringskosten van een bronsysteem bij deze omvang. Boven 3500m² loopt het rendement op en tot 1500m² is het door toepassing van gesloten collectorsystemen ook interessant.



Gebouwen zonder koeling

Vergelijkingen voor gebouwen, waarbij in een traditioneel concept geen koeling wordt toegepast, blijkt financieel niet aantrekkelijk. In alle varianten waarbij een warmtepomp alleen voor verwarming wordt toegepast blijkt de investering zich niet terug te verdienen. In een dergelijke situatie kan dit alleen uit overweging van duurzaamheid gedaan worden.

Een voorbeeld hiervan is de woningbouw. De meerinvestering van een warmtepompconcept heeft een terugverdientijd die overeenkomt met de technische levensduur. Bij toepassing van vloerkoeling (aan te bevelen vanwege regeneratie!) spelen comfortaspecten ook mee. Verder kan gesteld worden dat de waarde van de woning zal stijgen door een hoog comfortniveau en lage energielasten.

Zonlichtsystemen

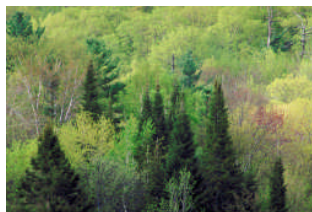
Zonlichtsystemen kunnen bijdragen aan de warmwateropwekking op duurzame wijze. Nog efficiënter zijn deze systemen in te zetten door de warmte secundair aan de warmtepomp en bron toe te voeren indien het warmte tapwater op temperatuur is. De bodem krijgt extra warmte toegevoerd wat de energetische bodembalans gunstiger maakt en waarvan in de winterperiode geprofiteerd wordt. De meest kostenefficiënte opstelling is 4m^2 collectoroppervlakte voor een gezinswoning. Ca 50% van de energie [ca. 3GJ] wordt daarbij benut voor warm water en de andere 50% [3GJ] voor regeneratie van de bodem en/of ondersteuning van het primaire circuit van de warmtepomp. Het totale rendement van geproduceerde warmte door zon is in dit geval 100% voor het totale concept.

Duurzaamheid

Indien niet naar de investeringen gekeken wordt, maar naar de mogelijkheden om CO_2 reductie te realiseren is warmtepomptechniek een heel goed alternatief.

Bij inkoop van grijze stroom is de reductie 30-50% op de CO_2 uitstoot. Bij inkoop van groene stroom kan dit zelfs oplopen tot 90%. Daarmee kan geconcludeerd worden dat warmtepomptechniek een prima alternatief is om een aardgasloze woning te realiseren en een forse reductie op CO_2 uitstoot te realiseren.

Voor een gezinswoning van ca. 150m^2 is een reductie realiseerbaar van 3 ton CO_2 , wat overeenkomt met de CO_2 opname van ca. 100 bomen per jaar of de uitstoot die een normale auto produceert bij ca. 13.300km.



Rekenmodel

Het rekenmodel is als Excel sheet opgezet en op CD-rom als bijlage bij dit rapport toegevoegd. Voor de invoer is kennis van zaken van belang. Dit rapport is ondersteunend om inzicht te krijgen in de diverse onderdelen om tot een passend duurzaam installatieconcept te komen. Hierdoor wordt met de groene velden aangegeven waar belangrijke keuzes gemaakt kunnen worden. De beschikbaarheid van het rekenmodel kan niet gezien worden als een standaard tool welke door een leek ingevuld kan worden. Met het rekenmodel kan vooral op een snelle wijze de resultaten van verschillende modellen met elkaar vergeleken worden.

Tot slot

Zoals eerder aangegeven is het interessant om te laten onderzoeken wat de waarde is van woningen met een duurzaam installatieconcept met lage energielasten en een hoog comfortniveau door de koeling. Steeds beter geïsoleerde woningen hebben het nadeel dat er een risico van oververhitting in de zomer is. De koeling kan daar comfortverhogend werken.

Begrippenlijst

Aanvoertemperatuur

Temperatuur van het verwarmingsmedium (meestal water) bij uitrede uit het warmteopwekkingssysteem.

Aardgasloze woning

Een woning zonder aardgasaansluiting.

Afgifte(systeem)

Het geheel van warmtegebruikers, waaronder ruimteverwarming en warmtapwaterverwarming.

Belastingduurkromme

Karakteristiek waarmee wordt weergegeven hoeveel uren, cumulatief per jaar, een bepaald vermogen nodig is.

Bivalent systeem

Combinatie van (warmte)opwekkers (bv. warmtepomp + ketel). Met bivalent systeem werken de opwekkers met verschillende energiebronnen (bv. elektrische warmtepomp + gasgestookte ketel).

BOA

Deze term wordt als afkorting voor Bron – Opwekking - Afgifte, refererend aan de drie hoofdonderdelen waaruit een warmtepompsysteem is opgebouwd.

Bron

De bron levert de warmte op lage temperatuur die door de warmtepomp op hogere temperatuur wordt gebracht. Als bronnen onderscheiden we o.a. bodem, grondwater en buitenlucht.

Combiwarmtepomp

Een combiwarmtepomp is warmtepomp die warmte levert voor zowel ruimteverwarming als warmtapwaterbereiding.

Grijze stroom

Stroom dat door conventionele elektriciteitscentrales geproduceerd wordt.

Groene stroom

Stroom dat op 'groene' wijze, CO₂ neutraal opgewekt wordt.

Gelaagdheid

Dit komt voor in een boiler, waarbij in het vat de bovenkant warmer is dan onderin. Het verschil in temperatuur in de verschillende lagen noemt men gelaagdheid.

Heatpipe

Bij het heatpipe-systeem voor zonne-energie wordt de buis niet direct door het vloeistofmedium doorstroomd. In een speciale absorber circuleert een middel, dat bij zonne-instraling verdampt en de warmte door een warmtewisselaar aan het verwarmingsysteem afgeeft.

m¹

eenheid van een strekkende meter.

Monovalent systeem

Enkelvoudige (warmte)opwekker (bv. warmtepomp) die in de (warmte)behoefte voorziet.

Mono-energetisch systeem

Warmteopwekkingssysteem waarbij de verschillende opwekkers op dezelfde wijze gevoed worden, bv. elektrische warmtepomp en zonne-energie of elektrische bijstook.

Pendelen

Het niet of onvoldoende uitdempen van de regeling na een regelactie. Hierdoor kan een toestel onnodig vaak aan- en uitspringen. Dit heeft meestal een negatief effect op de werking.

Regeneratie

Het proces waarbij de bodem thermisch weer geregenereerd wordt. Dit gebeurt door in de zomerperiode extra warmte in de bodem wordt terug gebracht of in de winter extra koude. De energie die onttrokken wordt moet ook weer worden teruggebracht.

Geraadpleegde literatuur en informatie

Naslagwerken en informatiebronnen:

- ISSO handboek installatietechniek deel 1 en 2, ISBN 90-9006977, ir. W.H. Knoll, ir. E.J. Wagenaar;
- Cijfers en tabellen 2007, Senter Novem;
- Alpha Innotec, documentatie warmtepompen (Duits);
- Cursusmateriaal "integraal ontwerp van installaties met WKO-installaties", Nederlandse vereniging voor ondergrondse energieopslagsystemen, 2005;
- Viessmann ontwerphandleiding zonlichtsystemen;
- Viessmann ontwerphandleiding warmtepompsystemen;
- TVVL, diverse artikelen uit TVVL magazine;
- IBK Compac koudetechniek & Airconditioning;

Internet

- www.zonnecollector.com
- www.senternovem.nl
- www.viessman.nl
- www.techneco.nl
- www.helios.nl
- www.warmtepomp.startpagina.nl
- www.wikipedia.com
- www.top50solar.nl

Bijlagen

Casus

Een kantoorgebouw van 5000m² dat voorzien is van een luchtbehandelingssysteem met verwarming en koeling en vloerverwarming als verwarmingsysteem. Het gebouw is zeer goed geïsoleerd en voorzien van hoogwaardig isolerend glas en daarmee wordt verwacht dat de verwarming per jaar 10% gunstiger ligt dan gangbare kentallen.

Op de luchtbehandelingskast wordt een warmteterugwinning toegepast van 90%.

Tabellen

Van alle informatie die verzameld is, is dit opgemaakt in diverse tabelvormen. Deze tabelvormen zijn allen toegevoegd.

- systeemvergelijk energieprestatie verschillende warmtepompsystemen en HR CV ketel
- vermogensbepaling van de warmtevraag voor verschillende type woningen en gebouwen
- aandachtspunten zeer lage temperatuurverwarming
- afgiftesysteem verwarming en koeling via de vloer
- basislast bij toepassing van een warmtepomp
- zonlichtsystemen
- selectietabel installatieconcepten
- gesloten collectorsystemen
- warmwaterverbruik
- energieverbruik woningen
- energieverbruik utiliteit
- prijzen CV-ketels
- prijzen en vermogens van bronsystemen
- prijzen van warmtepompsystemen

Rekenmodel

Op CD-rom bijgevoegd met wachtwoord 'goedgedaan'

DUURZAME ENERGIE

Algemene projectgegevens

Project Casus kantoorgebouw 5000m²
Datum 9 juni 2008
Referentie rekenmodel duurzame opwekking

algemeen	verwarming	koeling	tapwater	energie	bron	kosten	resultaat
----------	------------	---------	----------	---------	------	--------	-----------

Korte beschrijving van het project

verwarming

verwarming vindt plaats met vloerverwarming.

koeling

koeling vindt plaats via de vloer en op de ventilatielucht.

warm tapwater

warm tapwater is zeer beperkt en wordt m.b.v. elektrische boilers opgewekt

Bouwfysische kwaliteiten

isolatie	matige isolatie $R_c < 2,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	☒
	goede isolatie $2,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} > R_c < 4 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	☐
	matige isolatie $R_c > 4 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	☐
glastype	isolatieglas dubbel glas $U = 2.8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	☐
	isolatieglas HR+ $U = 1.6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	☒
	isolatieglas HR++ $U = 1.2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	☐
ventilatiesysteem	toevoerroosters in de gevel + mechanische afzuiging	☐
	zelfregulerende roosters + mechanische afzuiging	☐
	CO ₂ gestuurde roosters + mechanische afzuiging	☐
	gebalanceerde ventilatie met WTW	☒

Opmerkingen

In deze casus is voor het jaarverbruik een iets lagere energiewaarde gehanteerd. Door een goede isolatie en hoogwaardig glas, alsmede de hoge interne warmtelast van het kantoor zal de warmtevraag lager liggen. De geconstateerde ombalans in de bodem vraagt in eerste instantie om maatregelen. In de praktijk is het verstandig om een voorziening op te nemen, waardoor er bv. een noodkoeler (luchtventilator) geplaatst kan worden of zonnecollectoren. Definitief kan de onbalans pas na een aantal jaren worden vastgesteld en zijn maatregelen vooraf niet verstandig.

DUURZAME ENERGIE

Verwarming

Project Casus kantoorgebouw 5000m²
Datum 9 juni 2008
Referentie rekenmodel duurzame opwekking

algemeen	verwarming	koeling	tapwater	energie	bron	kosten	resultaat
----------	------------	---------	----------	---------	------	--------	-----------

Transmissiegegevens

info

omschrijving	A [m ²]	hoogte [m ¹]	W/m ²	W/m ³	
kantoor	5000	2,7		38	513000 W
					W
					W
					W
					W
					W
vermogen					513000 W

Ventilatie

ventilatie BB	1,3	l/s/m ²		
ventilatiehoeveelheid	23400	m ³ /h		
Temperatuurverschil	30	K	[bij -10°C buiten en +20°C binnen = ΔT 30K]	
warmteterugwinning	90%			
vermogen			80%	19094 W

Totale vermogen voor ruimteverwarming

532094 W

Waarde voor berekening [handmatig invoeren met mogelijkheid tot bijstelling]

532100 W

DUURZAME ENERGIE

Koeling

Project Casus kantoorgebouw 5000m²
Datum 9 juni 2008
Referentie rekenmodel duurzame opwekking

algemeen	verwarming	koeling	tapwater	energie	bron	kosten	resultaat
----------	------------	---------	----------	---------	------	--------	-----------

Gegevens

gebouwtype zie onder verwarming
oppervlakte 5000 m²

Vloerkoeling

capaciteit **info** **20** W/m²
vermogen 100000 W

Luchtbehandeling

ventilatie **1,3** l/s/m²
ventilatiehoeveelheid 23400 m³/h
Temperatuurverschil **14** K [bij 30°C buiten en +18°C inblaas = ΔT 12K]
vermogen **100%** 78624 W

Aanvullende koeling

1			W
2			W
3			W
4			W
5			W

Totale vermogen voor koeling

178624 W

Waarde voor berekening [handmatig invoeren met mogelijkheid tot bijstelling]

178700 W

DUURZAME ENERGIE

Tapwater

Project Casus kantoorgebouw 5000m2
Datum 9 juni 2008
Referentie rekenmodel duurzame opwekking

algemeen	verwarming	koeling	tapwater	energie	bron	kosten	resultaat
Gegevens				info			
gezinswoning		stuks		7920	[MJ] p.j.		MJ
1 persoon woning		stuks		5400	[MJ] p.j.		MJ
2 persoonswoning		stuks		6300	[MJ] p.j.		MJ
zorgunit		stuks		10800	[MJ] p.j.		MJ
--		stuks			[MJ] p.j.		MJ

Totale energiebehoefte voor warm tapwater

MJ

Waarde voor berekening [handmatig invoeren met mogelijkheid tot bijstelling]

MJ

DUURZAME ENERGIE

Energieoverzicht

Project Casus kantoorgebouw 5000m2
Datum 9 juni 2008
Referentie rekenmodel duurzame opwekking

algemeen	verwarming	koeling	tapwater	energie	bron	kosten	resultaat
----------	------------	---------	----------	---------	------	--------	-----------

Verwarming

omschrijving	aantal	A [m ²]	MJ/m ²	totaal
kantoor	1	5000	250	1250000 MJ
				MJ
				MJ
				MJ
				MJ
				MJ

info energie utiliteit

info energie woningen

Warm tapwater

Totale energiebehoefte voor warm tapwater	MJ	
Warmteopwekking met warmtepomp [ja/nee]	nee	MJ

Koeling

Totale vermogen voor koeling	178700 W	
koellasturen	700 uur	
	125090 kWh	450324 MJ

Samenstelling Installatieconcept

	info		
Aandeel warmtepomp	40%	90%	
Aandeel CV	60%	10%	
Vereist opgesteld vermogen	532100 W		
Aandeel warmtepomp	212840 W		215 kW
Aandeel CV	319260 W		320 kW

DUURZAME ENERGIE

Energieoverzicht

Project Casus kantoorgebouw 5000m2
Datum 9 juni 2008
Referentie rekenmodel duurzame opwekking

Verbruik traditioneel concept

		η	
verwarming	1250000 MJ	100%	39494 m ³ a.e.
warm tapwater	MJ	90%	m ³ a.e.
koeling			125090 kWh

Verbruik duurzaam concept

verwarming	1250000 MJ
warm tapwater	MJ
toeslag leidingverliezen	
totale verwarmingsbehoefte	1250000 MJ

primaire opwekking

warmtepompandeel	90%	1125000 MJ
COP van de warmtepomp	4	
broncapaciteit	843750 MJ	
elektrische energie	281250 MJ	78125 kWh
toeslag naverwarming tapwater	20%	MJ kWh

Waarde voor berekening [handmatig invoeren met mogelijkheid tot bijstelling]

78200 kWh

secundaire opwekking met HR cv-ketel

CV-ketel aandeel	10%	
verwarming	125000 MJ	
warm tapwater	MJ	
totaal	125000 MJ	3949 m ³ a.e.

zonlichtsystemen

collectoroppervlak zonneboiler	m2	info	
energiewinst zonnecollector	MJ		m ³ a.e.

Waarde voor berekening [handmatig invoeren met mogelijkheid tot bijstelling]

3949 m³ a.e.

secundaire opwekking elektrisch

energieaandeel	10%	
energiewaarde verwarming	125000 MJ	34722 kWh

Waarde voor berekening [handmatig invoeren met mogelijkheid tot bijstelling]

kWh

DUURZAME ENERGIE

Bronstelsysteem

Project Casus kantoorgebouw 5000m²
Datum 9 juni 2008
Referentie rekenmodel duurzame opwekking

algemeen	verwarming	koeling	tapwater	energie	bron	kosten	resultaat
----------	------------	---------	----------	---------	------	--------	-----------

Algemene informatie bronsystemen

Bij de toepassing van bodembronsystemen is er een relatie tussen vermogen, en type bron. Dit is gekoppeld aan de investering. Bij vermogen < 20kW wordt meestal een gesloten collector toegepast. Voor een vermogen 20kW < P < 50kW kan een grondwaterbron worden toegepast. Bij vermogens > 55kW wordt meestal gebruik gemaakt van aquifers. Bij de bepaling van het debiet van de bron is meestal de koelvraag leidend **[aandachtspunt]**.

Piekvermogens

P _{verwarming}	212840 W		213 kW
COP	4	broncapaciteit >	160 kW
ΔT	5 K	< tussen intrede en uitrede warmtepomp	
debiet q _v	28 m ³ /h		
P _{koeling}	178700 W		179 kW
ΔT	6 K	< tussen aanvoer en retour afgifte	
debiet q _v	26 m ³ /h		

Waarde voor berekening [handmatig invoeren met mogelijkheid tot bijstelling]

28 m³/h

Gesloten verticale collector

info

diepte boring	50 m ¹
type grond	klei, leem vochtig
warmteontrekking	30 W/m ¹
benodigde lengte	5321 m ¹
boringen / lussen	54 stuks
werkelijke lengte	5400 m ¹

Regeneratie (verplicht bij warmte-koude opslag in de bodem bij grotere installaties)

voor verwarming wordt uit de bodem onttrokken	843750 MJ
aan energie wordt ingebracht (koeling)	450324 MJ
balanswaarde	393426 MJ
compensatiemaatregelen voor regeneratie	327,855 m ² zonnecollector
	262,284 m ² asfaltcollector

DUURZAME ENERGIE

Kosten

Project Casus kantoorgebouw 5000m2
 Datum 9 juni 2008
 Referentie rekenmodel duurzame opwekking

algemeen	verwarming	koeling	tapwater	energie	bron	kosten	resultaat
----------	------------	---------	----------	---------	------	--------	-----------

Basisgegevens

P_{verwarming} 533 kW
 P_{koeling} 179 kW

Traditioneel installatieconcept

omschrijving		aantal	kosten	totaal
CV ketel 530kW	info	1	€ 30.000	€ 30.000
koelmachine 180kW		1	€ 25.000	€ 25.000
				€ -
				€ -
				€ -
				€ -
				€ -
				€ -
				€ -
				€ -

totaal investering € 55.000

Duurzaam installatieconcept

omschrijving		aantal	kosten	totaal
warmtepomp 215kW	info	1	€ 28.000	€ 28.000
CV ketel 320kW	info	1	€ 22.000	€ 22.000
bronsysteem 30m3/h	info	1	€ 114.500	€ 114.500
kostenpost regeneratie		1	€ 15.000	€ 15.000
				€ -
				€ -
				€ -
				€ -
				€ -
				€ -

totaal investering € 179.500

DUURZAME ENERGIE

Kosten

Project Casus kantoorgebouw 5000m2
Datum 9 juni 2008
Referentie rekenmodel duurzame opwekking

Vaste exploitatiekosten

<i>traditioneel</i>		<i>aantal</i>	<i>kosten</i>	<i>totaal</i>
onderhoud CV-ketels		1	€ 900	€ 900
onderhoud koelmachine		1	€ 1.500	€ 1.500
				€ -
				€ -
				€ -
totaal per jaar				€ 2.400

<i>duurzaam concept</i>		<i>aantal</i>	<i>kosten</i>	<i>totaal</i>
onderhoud warmtepomp		1	€ 1.680	€ 1.680
onderhoud CV-ketel		1	€ 660	€ 660
onderhoud bron		1	€ 1.145	€ 1.145
				€ -
				€ -
totaal per jaar				€ 3.485

Energietarieven

Elektriciteit	0,15	[€/kWh]
Elektriciteit dalstarief	0,06	[€/kWh]
Elektriciteit plateautarief	0,11	[€/kWh]
Aardgas	0,50	[€/m3]
Warmte	17,55	[€/GJth]
Koude	13,89	[€/GJth]

DUURZAME ENERGIE

Resultaten

Project Casus kantoorgebouw 5000m2
Datum 9 juni 2008
Referentie rekenmodel duurzame opwekking

algemeen	verwarming	koeling	tapwater	energie	bron	kosten	resultaat
----------	------------	---------	----------	---------	------	--------	-----------

Inventarisatie gegevens

	<i>traditioneel</i>	<i>duurzaam</i>
verwarming	39494 m ³ a.e.	3949 m ³ a.e.
warm tapwater	m ³ a.e.	
koeling	125090 kWh	963 kWh
warmtepomp		78200 kWh
pompenergie bron		2752 kWh
elektrische naverwarming		kWh

Energiekosten

<i>specificatie energie</i>	<i>traditioneel</i>	<i>duurzaam</i>		<i>tarief</i>	<i>traditioneel</i>	<i>duurzaam</i>
gasverbruik	39494	3949	m ³ a.e.	€ 0,50	€ 19.747	€ 1.975
electriciteitsverbuik	125090	81916	kWh	€ 0,15	€ 18.764	€ 12.287
warmte			GJ	€ 17,55	€ -	€ -
koude			GJ	€ 13,89	€ -	€ -
totaal				€	38.511	€ 14.262

Investerings

	<i>traditioneel</i>	<i>duurzaam</i>	<i>totaal</i>
installatieconcept	€ 55.000	€ 179.500	€ 124.500
advies en ontwerp			€ -
bouwkundige kosten			€ -
subsidie			€ -
opbrengst oude installatie			€ -
totaal			€ 124.500

DUURZAME ENERGIE

Resultaten

Project Casus kantoorgebouw 5000m2
Datum 9 juni 2008
Referentie rekenmodel duurzame opwekking

Jaarlijkse cashflow van de investering

	<i>traditioneel</i>	<i>duurzaam</i>	<i>cashflow</i>
energie	€ 38.511	€ 14.262	€ 24.249
vaste exploitatiekosten	€ 2.400	€ 3.485	€ 1.085-
afschrijving	€ -	€ -	€ -
overig	€ -	€ -	€ -
resultaat voor belasting			€ 23.164
belasting		20%	€ 4.633
resultaat na belasting			€ 18.531

Rentepercentages

rente op de investering	6%
prijsstijging energie per jaar	3%

Technische levensduur

technische levensduur van de installatie	15 jaar
--	---------

Snelle terugverdientijd

TVT berekend (totaal investering / cash flow) 6,7 jaar

Netto contante waarde

5 jaar	€ 39.528-
10 jaar	€ 27.977
15 jaar	€ 86.454
20 jaar	€ 137.112

Interne rente

5 jaar	-7%
10 jaar	11%
15 jaar	15%
20 jaar	17%

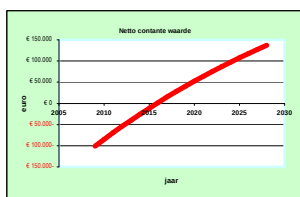
DUURZAME ENERGIE

Resultaten

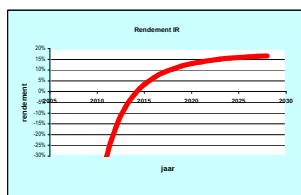
Project Casus kantoorgebouw 5000m2
Datum 9 juni 2008
Referentie rekenmodel duurzame opwekking

Financiële berekening interne rente en netto contante waarde

			<i>cashflow</i>	<i>netto contante waarde</i>	<i>interne rente [rendement]</i>
Investering		2008	€ 124.500-		
casflow-voordeel	jaar	2009	€ 18.531	€ 100.960-	-85%
casflow-voordeel	jaar	2010	€ 19.087	€ 84.935-	-53%
casflow-voordeel	jaar	2011	€ 19.659	€ 69.362-	-30%
casflow-voordeel	jaar	2012	€ 20.249	€ 54.231-	-16%
casflow-voordeel	jaar	2013	€ 20.857	€ 39.528-	-7%
casflow-voordeel	jaar	2014	€ 21.482	€ 25.241-	-1%
casflow-voordeel	jaar	2015	€ 22.127	€ 11.358-	3%
casflow-voordeel	jaar	2016	€ 22.791	€ 2.132	6%
casflow-voordeel	jaar	2017	€ 23.474	€ 15.240	9%
casflow-voordeel	jaar	2018	€ 24.179	€ 27.977	11%
casflow-voordeel	jaar	2019	€ 24.904	€ 40.353	12%
casflow-voordeel	jaar	2020	€ 25.651	€ 52.380	13%
casflow-voordeel	jaar	2021	€ 26.421	€ 64.065	14%
casflow-voordeel	jaar	2022	€ 27.213	€ 75.421	15%
casflow-voordeel	jaar	2023	€ 28.030	€ 86.454	15%
casflow-voordeel	jaar	2024	€ 28.871	€ 97.176	16%
casflow-voordeel	jaar	2025	€ 29.737	€ 107.594	16%
casflow-voordeel	jaar	2026	€ 30.629	€ 117.717	16%
casflow-voordeel	jaar	2027	€ 31.548	€ 127.554	16%
casflow-voordeel	jaar	2028	€ 32.494	€ 137.112	17%



grafische weergave netto contante waarde



grafische weergave rendement (IR)

DUURZAME ENERGIE

Resultaten

Project Casus kantoorgebouw 5000m²
Datum 9 juni 2008
Referentie rekenmodel duurzame opwekking

Bijdrage duurzaamheid

traditioneel

39494 m ³ a.e.	⇒	70,3 ton CO ₂
125090 kWh		70,8 ton CO ₂

duurzaam [inkoop grijze stroom]

3949 m ³ a.e.	⇒	7,0 ton CO ₂
81916 kWh		46,4 ton CO ₂

reductie

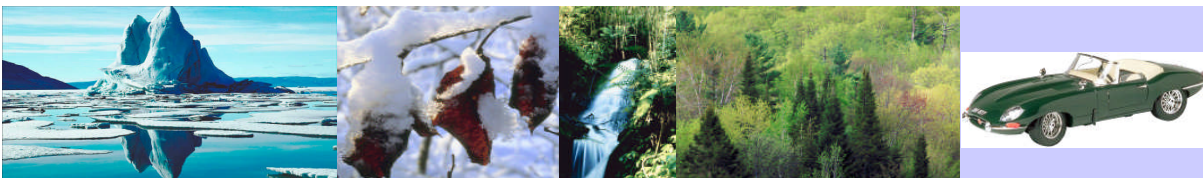
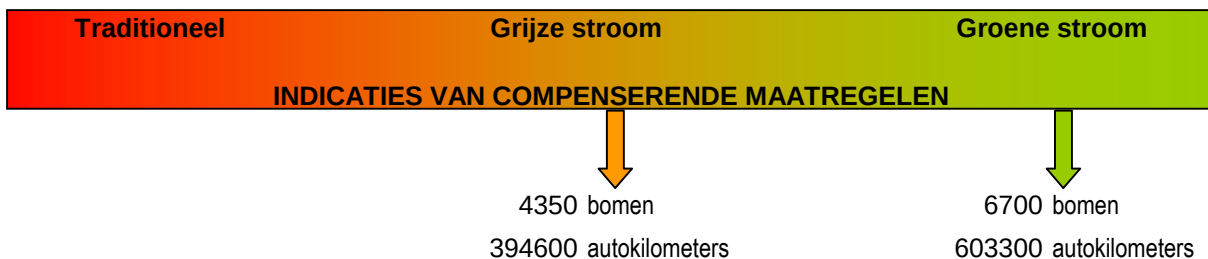
87,7 ton CO ₂
62%

duurzaam [inkoop groene stroom]

3949 m ³ a.e.	⇒	7,0 ton CO ₂
81916 kWh		ton CO ₂

reductie

134,1 ton CO ₂
95%

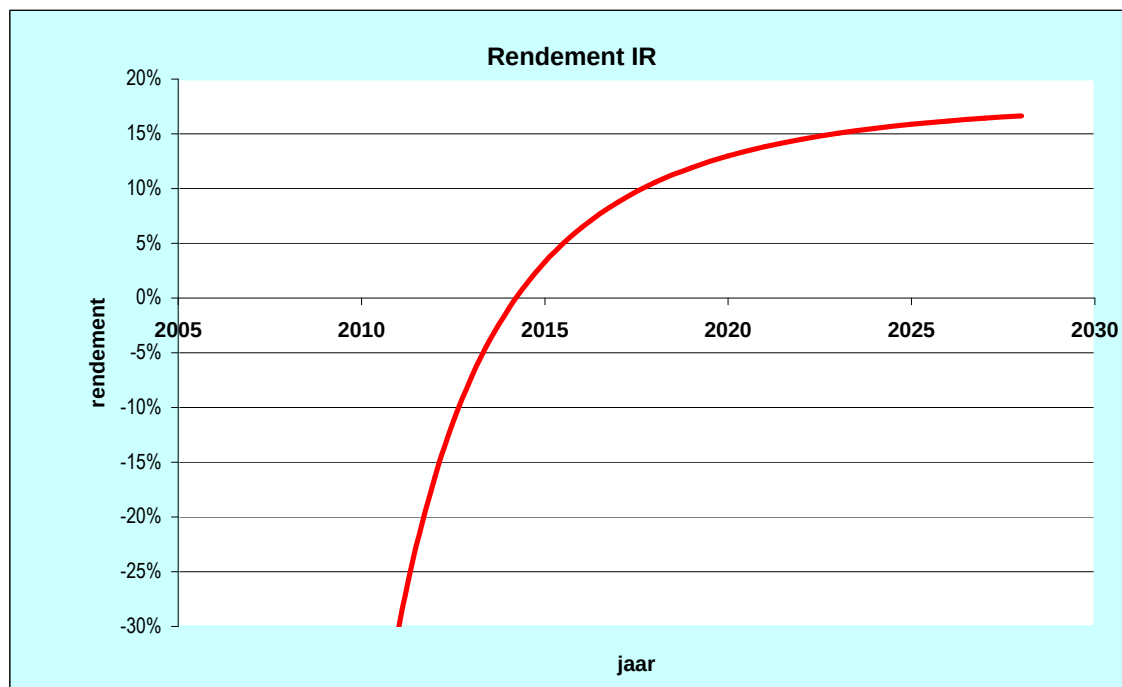


DUURZAME ENERGIE

Resultaten

Project Casus kantoorgebouw 5000m2
Datum 9 juni 2008
Referentie rekenmodel duurzame opwekking

algemeen	verwarming	koeling	tapwater	energie	bron	kosten	resultaat
----------	------------	---------	----------	---------	------	--------	-----------



Systeemvergelijk energiestatistiek

	WP buitenlucht	WP-bodem horizontaal	WP-bodem verticaal	WP grondwater	HR CV-ketel
COP	3,2 (2-35°C)	4,5 (0-35°C)	4,5 (0-35°C)	5,6 (10-35°C)	
SPF	2,7	3,2	3,6	3,0 - 3,8	
PER	1,1	1,3	1,4	1,2 - 1,5	0,9

COP	Coefficiënt of Performance	<i>winstfactor</i>
SPF	Seasonal Performance Factor	<i>gemiddelde winstfactor of het gehele jaar</i>
PER	Primary Energy Ratio	<i>primaire energiestatistiek</i>

Warmtevermogen

indicatie vermogen woningen	[W / m ²]
Passief huis	10
Laagenergiehuis	40
Nieuwbouw [EPC=0,8]	50
Huis normale isolatie	80
Ouder huis	120

← let op, op basis van m2

indicatie vermogen utiliteit	[W / m ³]
Verzorgingshuis	50
Kantoren	38
Scholen	60
Sportaccomodaties	45
Ziekenhuizen	64
kerken	48
Zwembaden	80
Energiezuinig gebouw	20-30

← let op, op basis van m3

Zeer lage temperatuur verwarming

Aandachtspunten ZLTV systemen
Zorg voor goed geïsoleerde vloer, gevels en dak [$R_c > 3.5$]. Toepassing bij bestaande, slecht geïsoleerde woningen/gebouwen is beperkt.
Pas HR++ glassoorten toe om warmteverlies en koudestraling tegen te gaan.
Combineer ZLTV met een gebalanceerd ventilatiesysteem, voorzien van warmteterugwinning [WTW] met bypass.
Reserveer ruimte voor een verdeler per bouwlaag [600x600x200mm].
Indien er sprake is van woningscheidende muren tussen woningen wordt aanbevolen thermische isolatie aan te brengen om onderling [extra] warmteverlies te voorkomen.
Houdt rekening met het soort vloerbedekking en pas een reductiefactor toe [zie tabel onder 2.1.3].
Een goede regeling en/of instelmogelijkheid is nodig. De mogelijkheden en aandachtspunten hiervan moeten met de gebruiker worden besproken.
Geef voorlichting aan de gebruiker over verwarmen, koelen en ventilatiegedrag.

Afgiftesysteem warmte

water temperatuur (°C)	ruimte temperatuur (°C)	Capaciteit (watt/m ²)			
		hart op hart buisafstand (mm)			
		200	150	100	50
30	20	48	55	63	75
35	20	73	84	97	113
40	20	97	112	129	150
45	20	121	140	162	188
50	20	146	168	194	226

aantal meter buis per m ²	5,0 m	6,7 m	10,0 m	20,0 m
--------------------------------------	-------	-------	--------	--------

Correctiefactoren (indicatief)	
Tegels 15mm dik	0,95
Linoleum	0,87
Laminaat 10mm dik	0,82
Parket 15mm dik	0,77
Vloerbedekking 5mm dik	0,75
vloerbedekking 10mm dik	0,61

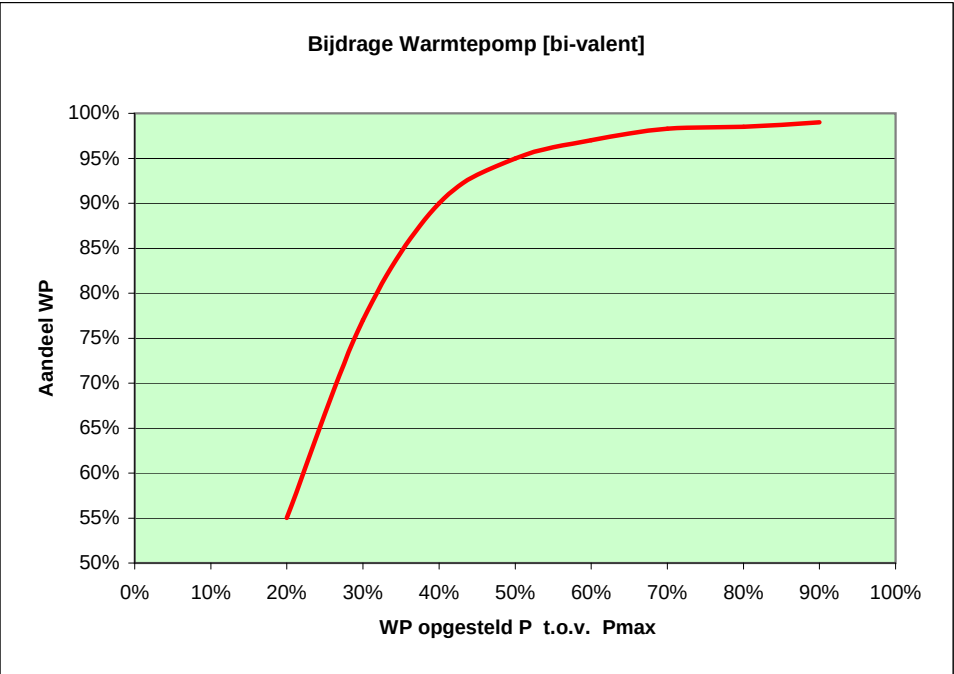
Afgiftesysteem koeling

vloer temperatuur (°C)	ruimte temperatuur (°C)	overdracht coëfficiënt	afgifte (W/m ²)
20	21	5,6	5,6
20	22	5,6	11,2
20	23	5,6	16,8
20	24	5,6	22,4
20	25	5,6	28,0
20	26	5,6	33,6
20	27	5,6	39,2

Gemiddeld kan een afgifte worden aangehouden van 20W/m²

Warmtepomp basislast

Opgesteld warmtepomp vermogen	Dekking jaarbehoefte warmtevraag
20%	55%
30%	77%
40%	90%
50%	95%
60%	97%
70%	98%
80%	99%
90%	99%

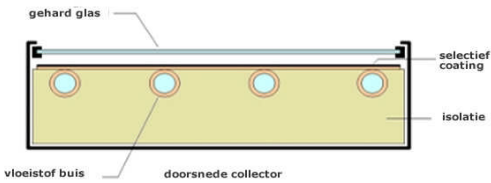
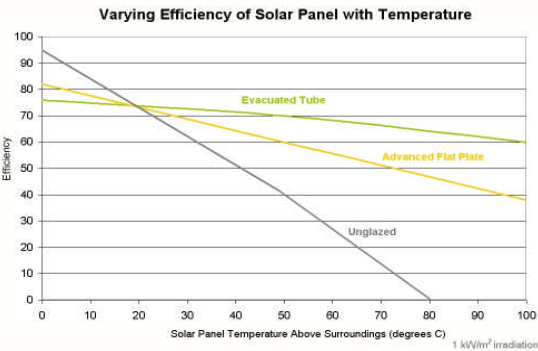
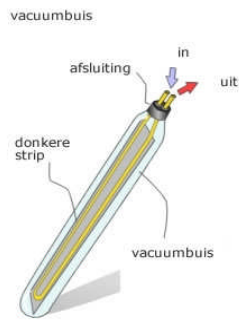
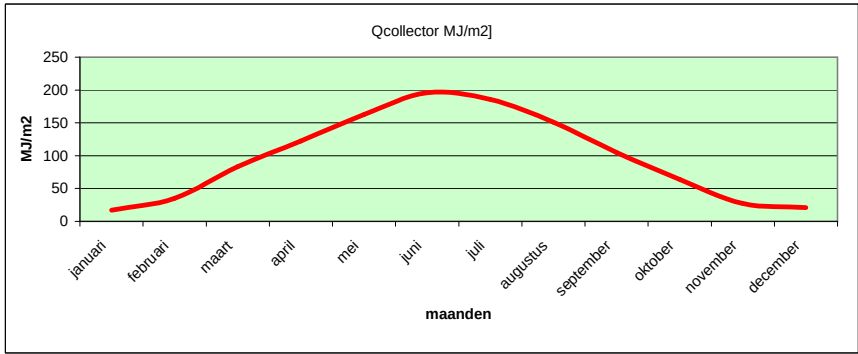


Zonlichtsystemen

	opbrengst per jaar [GJ/m²]
Vlakke plaat collector	1,15
Vacuumbuis	1,65

maand	Q _{zon} [kWh/m²]	Q _{zon} [MJ/m²]	Q _{collector} MJ/m²	A _{collector} (vlakke plaat collector)										
				[m2]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
januari	24	86	17		17	35	52	69	86	104	121	138	156	173
februari	49	176	35		35	71	106	141	176	212	247	282	318	353
maart	77	277	83		83	166	249	333	416	499	582	665	748	832
april	97	349	122		122	244	367	489	611	733	856	978	1100	1222
mei	129	464	163		163	325	488	650	813	975	1138	1300	1463	1625
juni	136	490	196		196	392	588	783	979	1175	1371	1567	1763	1958
juli	129	464	186		186	372	557	743	929	1115	1300	1486	1672	1858
augustus	120	432	151		151	302	454	605	756	907	1058	1210	1361	1512
september	83	299	105		105	209	314	418	523	627	732	837	941	1046
oktober	59	212	64		64	127	191	255	319	382	446	510	573	637
november	38	137	27		27	55	82	109	137	164	192	219	246	274
december	29	104	21		21	42	63	84	104	125	146	167	188	209
	970	kWh	1170	MJ	1170	2340	3509	4679	5849	7019	8189	9359	10528	11698
	3,49	GJ	1,17	GJ	1,17	2,34	3,51	4,68	5,85	7,02	8,19	9,36	10,53	11,70

warmwater gemiddeld	2200	7920	MJ p.j.
per woning	183	660	MJ p.m.



Selectietabel concepten

omschrijving	Warmte	Koude	Warm water	Bron			Opwekking			Afgifte		toelichting
				lucht	bodem	zon	mono-valent	mono-energetisch	bi-valent	oppervlakte	lucht	
Woonfunctie												
woningen	ja	optie	ja									voor de warmwatervoorziening rekening houden met een voorraadvoorziening
woongebouwen	ja	optie	ja									voor de warmwatervoorziening rekening houden met een voorraadvoorziening. Eventueel kan zonne-energie gebruikt worden voor regeneratie van de bodem en warm tapwater
Bijeenkomstfunctie	ja	optie	beperkt									
Celfunctie	ja	optie	ja									voor de warmwatervoorziening rekening houden met een voorraadvoorziening
Gezondheidszorg												
wonen en zorg	ja	optie	ja									voor de warmwatervoorziening rekening houden met een voorraadvoorziening. Eventueel kan zonne-energie gebruikt worden voor regeneratie van de bodem en warm tapwater
verpleegtehuis	ja	ja	ja									voor de warmwatervoorziening rekening houden met een voorraadvoorziening. Eventueel kan zonne-energie gebruikt worden voor regeneratie van de bodem en warm tapwater
Industriefunctie	n.t.b.	n.t.b.	n.t.b.									
Kantoorfunctie	ja	ja	beperkt									
Logiesfunctie	ja	optie	ja									voor de warmwatervoorziening rekening houden met een voorraadvoorziening
Onderwijsfunctie	ja	optie	beperkt									
Sportfunctie	ja	optie	ja									voor de warmwatervoorziening rekening houden met een voorraadvoorziening. Zonne-energie voor warm-tapwater.
Winkelfunctie	ja	ja	beperkt									
Overige gebruiksfunctie	n.t.b.	n.t.b.	n.t.b.									

basiskeuze
 mogelijke keuze
 bij voorkeur niet toepassen

Verticale bodemcollector

Ondergrond	specifiek warmteonttrekkingvermogen (dubbele U-buis en ca. 2000 draaiuren)
kiesel, zand droge grond	20 W/m1
kiesel, zand watervoerend	55-65 W/m1
klei, leem vochtig	30-40 W/m1

Horizontale bodemcollector

Ondergrond	specifiek warmteonttrekkingvermogen
droge zandgrond	10-15 W/m2
natte zandgrond	15-20 W/m2
droge leemgrond	20-25 W/m2
natte leemgrond	25-30 W/m2
bodem met grondwater	30-40 W/m2

Buistype	gbuis, [m2 buis/m2]
PE 20x2,0	3
PE 25x2,3	2
PE 32x2,9	1,5

Warmwaterverbruik

Utiliteit	[kWh] p.j.	[MJ] p.j.	m ³ a.e.
zorginstelling per bed	3000	10800	341
hotel per gast	2500	9000	284

Woningen	[kWh] p.j.	[MJ] p.j.	m ³ a.e.
gezinswoning	2200	7920	250
1 persoons huishouden	1500	5400	171
2 persoons huishouden	1750	6300	199

Energieverbruik woningen

woningen met EPC = 0.8 inclusief gebalanceerde ventilatie	verwarming[MJ/m ²]	m ³ a.e./m ²
appartementen	220	7,0
galerij flatwoning	175	5,5
hoek gezinswoning	185	5,8
tussen gezinswoning	165	5,2
2 onder 1 kap gezinswoning	190	6,0
vrijstaande woning	330	10,4

Oudere woningtypes	slecht geïsoleerd enkel glas	matig geïsoleerd enkel glas	matig geïsoleerd dubbel glas	goed geïsoleerd dubbel glas
	[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	[MJ/m ²]
tussen gezinswoning	428	395	354	304
hoek gezinswoning	502	436	428	370
vrijstaande woning	683	617	601	560
galerij flatwoning tussenverdieping	329	288	272	230
galerij flatwoning dak	568	453	436	403
appartementwoning	502	411	354	337

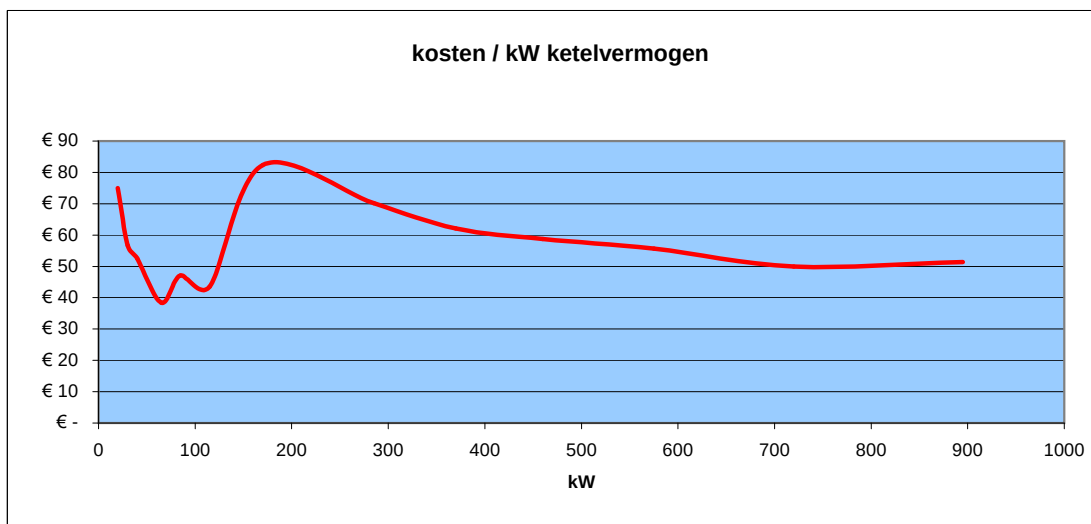
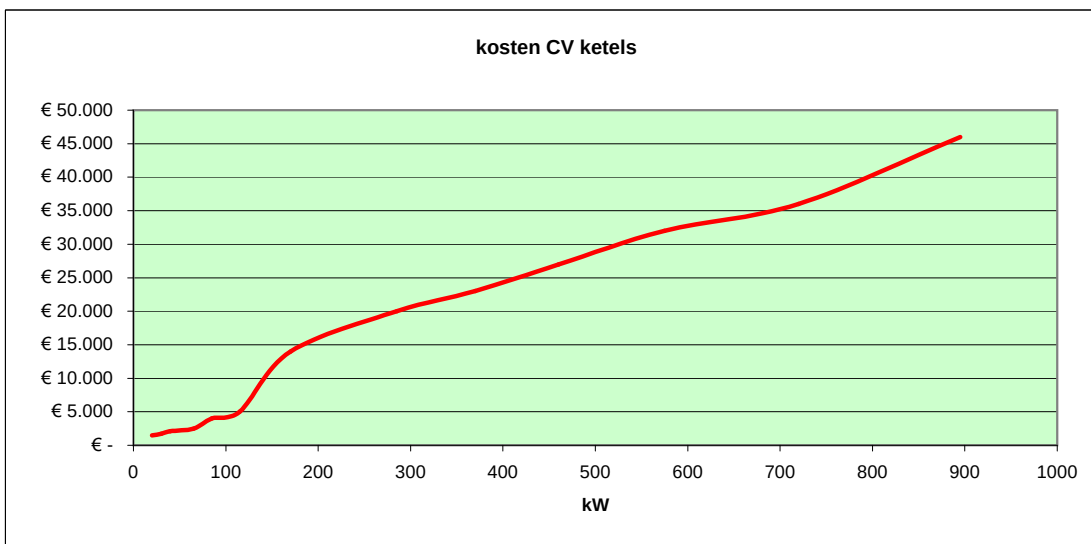
Energieverbruik utiliteit

winkel	m ³ a.e./m ²	warmte [MJ/m ²]	kWh _e /m ²	koude [MJ/m ²]
winkels algemeen tot 20 werknemers	18	570	30	108
winkels algemeen > 20 werknemers	7	222	25	90
supermarkt	16	506	60	216
onderwijs				
basisschool	10	317	15	54
middelbare school	11	348	18	63
voortgezet onderwijs MBO/HBO	18	570	18	63
Universiteit	9	285	15	54
energiezuinige scholen	8	253	20	72
kantoren				
kantoor 200 - 500 m ²	17	538	18	63
kantoor 500 - 10.000 m ²	9	285	20	72
kantoor > 10.000 m ²	8	253	20	72
verzekerings / bankkantoor	10	317	23	81
zorg				
verpleging + gehandicaptenzorg	15	475	18	63
verzorgingstehuis	15	475	10	36
ziekenhuis	30	950	23	81
psychiatrische ziekenhuis	20	633	20	72

Prijzen CV-ketels

[2008]

CV-ketel [kW]	gemiddelde prijs	€/kW
20	€ 1.500	€ 75
30	€ 1.700	€ 57
40	€ 2.100	€ 53
65	€ 2.500	€ 38
85	€ 4.000	€ 47
115	€ 5.000	€ 43
170	€ 14.000	€ 82
285	€ 20.000	€ 70
370	€ 23.000	€ 62
460	€ 27.000	€ 59
575	€ 32.000	€ 56
720	€ 36.000	€ 50
895	€ 46.000	€ 51

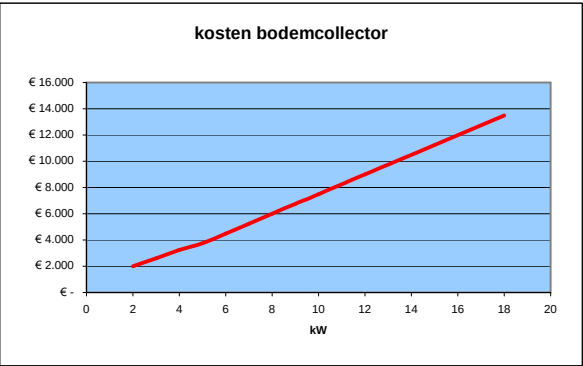


Prijzen bronsystemen

[2008]

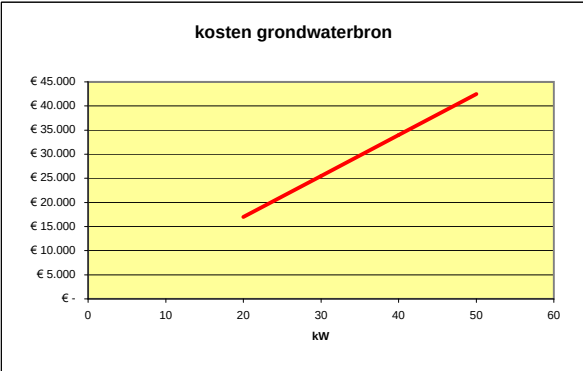
gesloten collector		
€	750	per kW

vermogen [kW]	lengte [25W/m ¹]	kosten
2	80	€ 2.000
3	120	€ 2.600
4	160	€ 3.250
5	200	€ 3.750
6	240	€ 4.500
7	280	€ 5.250
8	320	€ 6.000
9	360	€ 6.750
10	400	€ 7.500
12	480	€ 9.000
15	600	€ 11.250
18	720	€ 13.500

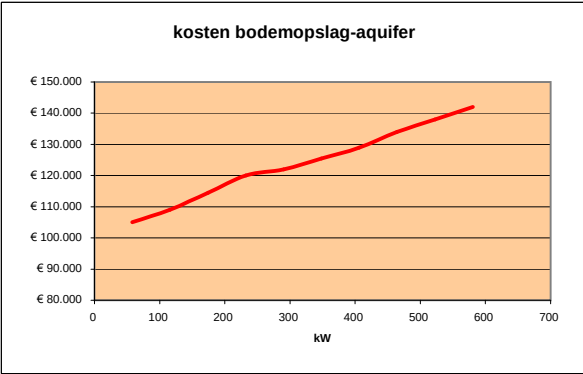


grondwaterbron		
€	850	per kW

vermogen [kW]	diepte	kosten
20	40	€ 17.000
30	40	€ 25.500
40	40	€ 34.000
50	40	€ 42.500



bodemopslag-aquifer					
m ³ /h	kW	diepte [m ¹]	kosten	extra /m ¹	€ / m1
10	58	40-60	€ 105.000	€ 480	€ 1.809
20	116	40-60	€ 109.000	€ 500	€ 939
30	174	40-60	€ 114.500	€ 540	€ 657
40	232	40-60	€ 120.000	€ 560	€ 517
50	290	40-60	€ 122.000	€ 580	€ 420
60	348	40-60	€ 125.500	€ 600	€ 360
70	406	40-60	€ 129.000	€ 620	€ 317
80	464	40-60	€ 134.000	€ 640	€ 289
90	523	40-60	€ 138.000	€ 660	€ 264
100	581	40-60	€ 142.000	€ 680	€ 245



Prijzen warmtepompen

[2008]

combiwarmtepompen (woningbouw) [kW]	gemiddelde prijs	€/kW
3	€ 4.500	€ 1.500
5	€ 4.750	€ 950
9	€ 5.000	€ 556

warmtepomp water-water [kW]	gemiddelde prijs	€/kW
3	€ 3.900	€ 1.300
6	€ 4.100	€ 683
11	€ 5.200	€ 473
14	€ 6.200	€ 443
20	€ 7.500	€ 375
25	€ 9.000	€ 360
36	€ 11.000	€ 306
53	€ 15.000	€ 283
70	€ 18.000	€ 257
88	€ 20.000	€ 227
105	€ 22.000	€ 210
195	€ 27.000	€ 138
250	€ 32.000	€ 128

warmtepomp lucht-water [kW]	gemiddelde prijs	€/kW
10	€ 6.800	€ 680
15	€ 7.600	€ 507
20	€ 9.000	€ 450
27	€ 11.000	€ 407

