

**BIJLAGEN
ENERGIEVISIE**

**DE TRIJE TERPEN EN
HERSTRUCTURERINGS
LOCATIES
DONGERADEEL**

Ir. M. Mooij
Ir. F.P. Schipper

Oktober 2004
EIB03050
Copyright Ecofys 2004

in opdracht van:
SenterNovem en de gemeente Dongeradeel

Bijlage 1: Verklaring afkortingen

4AC	4 AC module zonnestroomsysteem
AKM	Absorptiekoelmachine
CKM	Compressiekoelmachine
CW	Comfortklasse warm tapwater
DAG	Daglichtschakeling verlichting
DI	Geïsoleerde buitendeur
EB	Elektrische tapwaterboiler
EPC	Energie Prestatie Coëfficiënt
EPL	Energie Prestatie op Locatie
EPN	Energie Prestatie Norm.
EWP	Elektrische warmtepomp
GAWP	Gasabsorptiewarmtepomp
GEB	Gebalanceerde ventilatie
HR	Hoog Rendement
HWK	HulpWarmteKetel
KL	Korte leidingen warm tapwater
KLW	Korte leidingen warm tapwater bij warmtedistributie
MA	Mechanische afvoer en natuurlijke toevoer
OEI	Optimalisatie Energie Infrastructuur.
PV	Photo Voltaïsch
PZE	Passieve zonne-energie
R3/R4/R5	Isolatiepakketten
REB	Regulerende energiebelasting
STEG	SToom En Gasturbine-installatie
VERT	Vertrekschakeling verlichting
WD	Warmtedistributie vanuit een STEG
WKK	Warmtekrachtkoppeling
WNF	Wereld Natuur Fonds
WOS	Warmte Overdracht Station
WP	Warmtepomp
WPC	Warmtepompcombi
WTW	Warmteterugwinning
WW	Warmtewisselaar
ZB	Zonneboiler

Bijlage 2: Maatregelen op stedenbouwkundig niveau

Passieve zonne-energie op woningen

- Woningen met veel **glas op het zuiden** maken optimaal gebruik van de warmtewinst door zoninstraling.
- Een **geringe afwijking** van 20 graden naar het zuidoosten of het zuidwesten in de oriëntatie van de woning is mogelijk. Bij een grotere afwijking is in het voorjaar en najaar van warmtewinst door de zon nog nauwelijks sprake, terwijl dan de warmtewinst het meest gewaardeerd wordt.
- Verder is de **afstand tot de omliggende bebouwing** en de doorsnede van de bouwblokken van belang. Tot een belemmeringhoek van 16 graden treedt er op de zuidgevel weinig beschaduwing op.

Actieve zonne-energie op woningen

- De opbrengst van **zonneboilers** en **PV** systemen zijn mede afhankelijk van de oriëntatie en de hellingshoek van het dak.
- **Optimaal voor een zonneboiler** is een dak georiënteerd tussen zuidwesten en zuidoosten en met een hellingshoek tussen de 35 en 50°, dan wel collectoren op een frame op een plat dak.
- **PV-panelen** kennen de grootste opbrengst bij een hellingshoek tussen de 15 en 55 graden.
- Een verticale of vrijwel verticale positie van PV panelen is mogelijk, maar de opbrengst is lager. Het geringere rendement wordt echter deels vergoed door het laten vervallen van de standaard gevelbekleding.

Beschaduwing

Beschaduwing van glasoppervlakken, zonnecollectoren en zonnepanelen moet worden voorkomen. Van invloed daarop zijn:

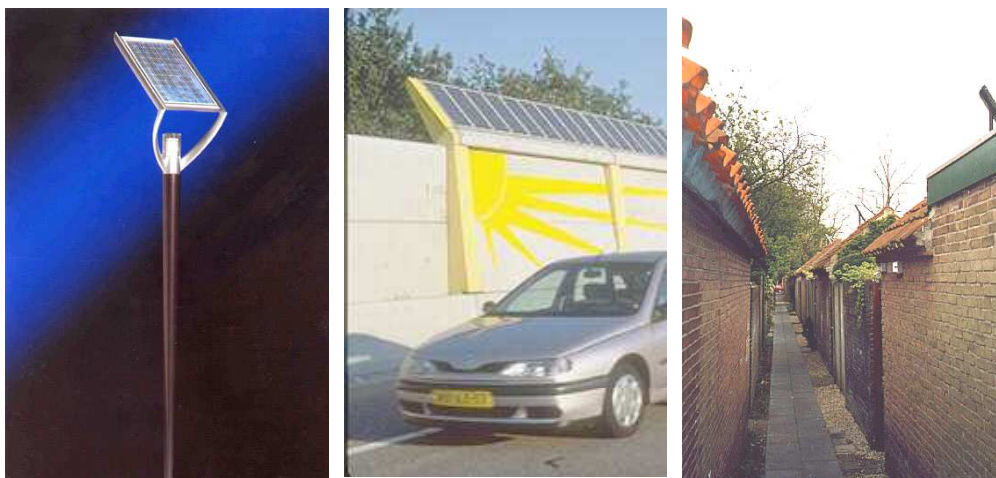
- De kapvorm en de plaats van **aanbouwen en losse bergingen**. Ook dakdoorvoeren en dakkapellen verdienen aandacht. Vooral bij zonnestroom kan een gedeeltelijke beschaduwing van een paneel al een sterke achteruitgang in de opbrengst betekenen.
- **Omliggende bebouwing**, let op de situering van hoogbouw en de gevolgen van beschaduwing in het stedenbouwkundige plan.
- **Bomen**. Het is verstandig in het stedenbouwkundig ontwerp rekening te houden met de positie en beschaduwing door bomen. Transparante bomen zoals berken hebben de voorkeur boven dicht gebladerde en vertakte bomen zoals linden.

- Een juiste keuze in **type en positie van bomen** kan er voor zorgen dat beschaduwing in de zomer oververhitting tegengaat, terwijl in het voor- en najaar wanneer de bomen geen blad dragen en de zon lager staat wel van de zoninstraling geprofiteerd kan worden. Verder kunnen bomen als windbreker het warmteverlies uit de woning beperken.

Actieve zonne-energie op openbare werken

Het is mogelijk de openbare verlichting te voeden met zonnestroom. Hiervoor zijn drie mogelijkheden:

- Openbare verlichting met zonnepanelen ('**zonlichtmasten**') die aan het openbare net zijn gekoppeld. Overdag levert de zonlichtmast stroom aan het openbare net, 's nachts gebruikt de lamp van het net.
- Openbare verlichting met geheel **autonoom opererende lichtmasten**. In dit geval worden lichtmasten uitgerust met zonnepanelen die overdag een accu opladen. 's Nachts wordt de lamp gevoed uit de accu. Deze techniek wordt veel toegepast op locaties waar geen kabel gewenst wordt zoals wandelgebieden, kinderspeelplaatsen en achterpadverlichting.
- Een **zonnestroomcentrale** op een gescheiden locatie in of nabij de wijk, bijvoorbeeld aan een geluidsscherm. De opbrengst van het netgekoppelde systeem wordt in de energiebalans van de wijk meegenomen.



Figuur: Links: Zonlichtmast; Midden: Geluidsscherm; Rechts: Achterpadverlichting

Omgevingswarmte

Bij een warmtepomp kan gebruik worden gemaakt van de bodem of water als warmtebron. Daarbij valt te denken aan oppervlaktewater, huishoudwater, grondwater, asfaltcollectoren e.d. Als de temperatuur van de bron zich na elk stookseizoen herstelt is er sprake van een duurzame bron. De stedenbouwkundige heeft over het algemeen weinig te maken met warmtepomptoepassingen.

Windenergie

- **Windenergie** wordt in Nederland vooral toegepast in de windrijke gebieden (kustprovincies). Door gebrek aan ruimte wordt er momenteel ook naar binnenlandlocaties gezocht. Bij gebruik van hoge masten kunnen deze locaties vergelijkbare opbrengsten geven.
- Speciaal voor de **gebouwde omgeving** zijn **urban turbines** ontwikkeld, kleine windturbines die toepasbaar zijn op bijvoorbeeld daken. De urban turbine is ca. 3 m hoog en heeft een opbrengst van 2.500-3.500 kWh/jaar. Dit komt ongeveer overeen met het elektriciteitsverbruik van 1 huishouden.



Figuur: Neoga



Figuur: Turby

Toekomstwaarde

Zoals gezegd wordt met een stedenbouwkundig plan een structuur van bouwblokken en leidingtracés voor lange tijd vastgelegd. Correcties zijn achteraf niet meer mogelijk, of tegen zeer hoge kosten. Het stedenbouwkundig plan moet dus inspelen op te verwachten ontwikkelingen.

De kosten van zonnestroom zijn op het moment nog hoog. De prijs zal bij een bredere toepassing in de komende 10 jaar echter dalen. Ook subsidies en terugleververgoedingen betekenen een belangrijke stimulans. Omdat de oriëntatie van de woningen en de verschijningsvorm voor een langere periode wordt vastgelegd, dient reeds nu rekening gehouden te worden met het aanbrengen van een groter oppervlak met een gunstige oriëntatie voor zonnepanelen op/ aan de woningen.

Bijlage 3: Maatregelen in de energie-infrastructuur

Inleiding

De tweede en de derde stap van de Trias Energetica behandelen de invulling van de energiebehoefte. De gedachte is om zoveel mogelijk duurzame energie te gebruiken en waar nodig op een efficiënte wijze om te gaan met fossiele brandstoffen. Het geheel van energieopwekking en het distributiesysteem noemen we de **energie-infrastructuur**. Energie-infrastructuren kenmerken zich door:

- § De **opwekkingstechniek**,
- § De **brandstof** en de duurzaamheid van deze energiedrager,
- § De **schaalgrootte** van het systeem.

Energieopwekking

Een woning heeft behoefte aan **warmte** en **elektriciteit**. Elektriciteit wordt voornamelijk in grote centrales opgewekt. In Nederland zijn vrijwel alle woningen op het landelijke elektriciteitsdistributienetwerk aangesloten. Warmte laat zich echter slecht over grote afstanden transporteren. Bij bouwlocaties komt daarom de vraag naar voren op welke wijze de warmte opgewekt kan worden, met de milieutechnische en financiële aspecten.

Warmtevraag

Er zijn voor woningen twee toepassingen voor de warmte:

- **Ruimteverwarming** Om de temperatuur in de woning op peil te brengen en te houden, wordt warmte afgegeven via radiatoren, vloer- en/of wandverwarmingssystemen of via lucht. De keuze voor het warmte-afgiftesysteem wordt hoofdzakelijk bepaald door het te leveren temperatuurniveau. Bij hogere temperaturen ligt toepassing van radiatoren het meest voor de hand. Bij lagere temperaturen wordt overgegaan op vergrote radiatoren, vloer- en/of wandverwarming en kan ook luchtverwarming aantrekkelijk zijn.
- **Warmtapwaterbereiding** Om warmtapwater te maken moet het koude drinkwater (gemiddelde temperatuur ca. 10°C) worden opgewarmd tot minimaal 60 °C (wettelijk vereist). Dit betekent dat hiervoor altijd een hoge temperatuurbron noodzakelijk is.

Conversietechnieken

Voor de opwekking van warmte worden de volgende **technieken** onderscheiden:

- **Ketels** In ketels vindt directe omzetting plaats van fossiele energiedragers in warmte. De verbrandingswarmte in de rookgassen wordt overgedragen aan water. Ketels zijn er in alle soorten en maten, van zeer grote vermogens (honderden MW) tot de CV-ketel in de woning (10 kW)

- **Warmtekrachtkoppeling (WKK)** Dit is een combinatie van opwekking van kracht (meestal in de vorm van elektriciteit) en benutting van de hierbij vrijkomende warmte. Een warmtekrachteenheid produceert dus tegelijkertijd warmte en elektriciteit. Het totaalrendement van warmtekrachtkoppeling (optelsom van het elektrische en thermische rendement) ligt hoger dan dat van zogenaamde gescheiden opwekking (elektriciteitsopwekking in een centrale en decentrale warmteproductie m.b.v. CV-ketels). Warmtekracht wordt zowel toegepast in de industrie als in de gebouwde omgeving in uiteenlopende vermogens. Grotere installaties (meer dan 2 MWe) werken op basis van gasturbines en/of stoomturbines. Middelgrote en kleinere installaties werken op basis van verbrandingsmotoren. Er vinden momenteel ontwikkelingen plaats om warmtekracht toe te passen op woningniveau. We spreken dan over micro-WKK (1 kWe).
- § **Warmtepompen** Warmtepompen zijn apparaten die het mogelijk maken omgevingswarmte op te waarden tot een bruikbaar temperatuurniveau. Doordat warmtepompen warmte aan de omgeving onttrekken produceren ze meer warmte dan voor de aandrijving van het apparaat nodig is. Dus door warmte aan de omgeving (lucht, oppervlaktewater of bodem) te onttrekken en deze warmte af te staan aan het verwarmingssysteem levert een warmtepomp een bijdrage aan de warmtebehoefte van een woning of van een wijk.
- **Brandstofcellen** De brandstofcel is een techniek die nog in het stadium van ontwikkeling is. Een brandstofcel is een toestel dat rechtstreeks warmte en/of elektriciteit produceert uit waterstofgas. Het gas wordt via een elektrolytische reactie met lucht omgezet in water. Er vindt geen verbranding plaats; de rechtstreekse omzetting maakt een hoog rendement mogelijk. In vergelijking met verbrandingstechnologie is de uitstoot van CO₂ minder en zijn er vrijwel geen andere emissies. Een brandstofcel is een vorm van efficiënte en schone conversietechnologie.

Energiedrager

De **energiedrager** is brandstof om de behoefte aan ruimteverwarming, tapwaterverwarming, kracht/licht en koeling te verzorgen. De koolstofinhoud van de brandstof bepaalt samen met de efficiëntie van de energieomzetting de duurzaamheid van de energievoorziening.

- **Aardgas** Aardgas komt voor het overgrote deel uit de aardgasvelden in Groningen. Behalve voor ruimteverwarmings- en warmtapwater installaties zijn er wasmachines, vaatwasmachines en koelkasten die op gas werken. Deze zijn in Nederland echter nog nauwelijks te koop. De duurzaamheid van de gasinfrastructuur kan door de bijmenging van waterstof of biogas met 10% tot 15% toenemen. Bij een volledige overschakeling naar duurzaam gas moeten gasverbrandingstoestellen echter vervangen worden.
- **Elektriciteit** Het is mogelijk voor ruimte- en tapwaterverwarming elektriciteit te gebruiken. Omdat het elektrisch rendement van een elektriciteitscentrale rond de 50% ligt, zal om all-electric systemen te kunnen laten concurreren met andere opties de energieomzetting zeer efficiënt moeten gebeuren. Warmtepompen zijn daarvoor de

aangewezen techniek. Een all-electric energievoorziening heeft als voordeel dat de duurzaamheid door de inkoop van Groene Stroom zonder fysieke omschakeling verhoogd kan worden.

- **Bio-energie** Bio-energie kan, afhankelijk van de conversieroute, in warmte en/ of elektriciteit omgezet worden. Veelal vindt een verbouwing van bio-energie elders plaats. De gemeente kan een actieve rol hebben door snoeiafval te leveren aan de bio-energiecentrale.
- **Restwarmte** Warmte die vrijkomt bij bijvoorbeeld elektriciteitsproductie of afvalverbranding kan benut worden voor de verwarming van woon- en bedrijfslocaties. Voorbeelden zijn de warmtelevering in Utrecht/ Nieuwegein, Den Haag en Rotterdam.
- **Waterstof** Waterstof kan door reforming van aardgas geproduceerd worden. Hierbij komt echter CO₂ vrij. CO₂ neutraal waterstof kan geproduceerd worden door vergassing van bio-energie. Het is ook mogelijk om waterstof te produceren uit duurzame energiebronnen zoals uit bijvoorbeeld wind en PV.

Schaalgrootte

Warmtesystemen (en in de utiliteitsbouw ook de koudesystemen) variëren in de schaal van **individuele** systemen tot de schaal van **collectieve** systemen voor enkele tot duizenden woningen.

Individuele systemen

- § **Gas infrastructuur** Traditioneel vindt de omzetting naar warmte op woningniveau plaats vanuit gas. Huidige gas CV-ketels behalen een zeer hoog rendement, ook voor tapwaterverwarming. Individuele gasabsorptiewarmtepompen zijn te beschouwen als de opvolger van de hoogrendements CV-ketel. Deze komen meer en meer op de markt. Daarnaast zullen de micro-warmtekrachten in de komende jaren hun intrede doen.
- § **All-electric infrastructuur** Een tweede individuele infrastructuur is het all-electric systeem. Warmte produceren met elektriciteit is op zichzelf weinig milieuvriendelijk en duur. Met een warmtepomp is wel een efficiënte energieomzetting mogelijk, doordat de warmtepomp duurzame omgevingswarmte benut. Deze bron kan per woning aangelegd worden, maar in projectmatige toepassingen is het een optie om een collectief broncircuit aan te leggen. Dit is in feite een zeer lage temperatuur warmtedistributienet (rond de 10 graden), uit ongeïsoleerde leidingen.
- § **Waterstof infrastructuur** Fabrikanten van CV installaties werken aan een groeiscenario. Eerst worden brandstofcellen geïntroduceerd met een aardgasreformer gecombineerd met een brandstofcel. Het uiteindelijke doel is om de systemen alleen uit te rusten met een brandstofcel die gevoed wordt met waterstof die geproduceerd wordt uit een centraal (op bijv. wijkniveau) opgestelde reformer. Dit betekent dat er een waterstofnetwerk aanwezig moet zijn die de waterstof transporteert naar de gebruiker. Met weinig modificaties kan het merendeel van de aardgasleidingen gebruikt worden voor waterstoftransport. Wanneer aardgasleidingen

aan vernieuwing toe zijn is het nadrukkelijk aan te raden deze direct geschikt te maken voor transport van waterstof.

Warmtenetten

Warmtelevering kan centraal, decentraal en op blokniveau plaatsvinden.

- Onder **centrale levering** wordt verstaan warmtelevering voor de gehele wijk (1.000 tot 10.000 woningen, vermogen van enkele tot tientallen MW) binnen één distributiesysteem. De warmte kan afkomstig zijn van bijvoorbeeld een industrie, bio-energie of restwarmte van een elektriciteitscentrale (STEG: SToom En Gas eenheid).
- **Decentrale warmtelevering** kan plaatsvinden bij groepen woningen met een omvang van circa 200 tot 500 stuks (vermogen van een half tot enkele MW). De benodigde warmte kan opgewekt worden in stations die aangesloten zijn op het distributienet. In zo'n station kan gebruik gemaakt worden van verschillende technieken zoals bijvoorbeeld een warmtekrachtkoppeling met een gasmotor (WKK), of een warmtepomp met een hulpwarmteketel.
- Een warmtedistributiesysteem op **blokniveau** bestaat uit een warmtekrachteenheid of een warmtepomp met een klein warmtenet (10 tot 40 woningen, vermogen tot 100 kW).

De volgende factoren zijn van invloed op de haalbaarheid van een warmtenet:

- **Woningdichtheid**; hoe meer woningen per hectare, des te korter zijn vanzelfsprekend de distributieleidingen per woning. 30 woningen per hectare is een veel aangehouden minimum dichtheid.
- **Bouwblok lengte**; korte bouwblokken betekent meer distributieleidingen tussen de blokken. Door het verlengen van een bouwblok worden met een geringe extra leidinglengte meer woningen aangesloten.
- **Warmteleveringstemperatuur**: Warmtedistributie op een hogere temperatuur geeft meer warmteverlies in de distributieleidingen en meer isolatiekosten ten opzichte van een lage temperatuursysteem.
- **Schaalgrootte** van het systeem. Over het algemeen is bij een grootschalig systeem de energieomzetting efficiënter.

Individueel versus collectief

Bij de keuze tussen een individueel systeem of een collectief systeem spelen meerdere overwegingen een rol. Het milieurendement en de kosten zullen belangrijke beslissingscriteria zijn. Maar omdat de energie-infrastructuur een lange periode dienst moet doen, zijn bij de flexibiliteit en de mogelijkheden om de energievoorziening in de toekomst verder te verduurzamen punten om in overweging te nemen

- **Verduurzaming** Bij een collectief systeem kan de duurzaamheid van het net verhoogd worden, door een naar een efficiëntere conversietechniek of naar een andere brandstof te switchen. Daarnaast kan de schaalgrootte van het net aangepast worden door lokale warmtenetten te koppelen of een grootschalige net te splitsen. Bij individuele systemen is veel minder sturing mogelijk. Het zal de afweging van de individuele consument zijn om in de toekomst te kiezen voor de meest duurzame

installatie, bijvoorbeeld een gasgestookte warmtepomp, of de goedkoopste CV-ketel. Ook een aanpassing van netten naar de woningen zal een complexe operatie zijn. Het huidige aardgasnet is niet zonder meer geschikt voor waterstofgas en het elektriciteitsnet zal niet berekend zijn op een grootschalige overschakeling op elektrische warmtepompen. Overigens is ook de duurzaamheid van een warmte-infrastructuur niet geheel zonder risico's. Er moeten met de warmteleverancier afspraken gemaakt te worden over het minimaal in stand houden van het overeengekomen duurzaamheidsniveau, ook wanneer een (rest)warmtebron wegvalt.

- **Ruimtebeslag** Individuele systemen vragen om een opstelruimte in de woning, bij een CV-ketel veelal op de zolder vanwege de rookgasafvoer, bij een warmtepomp eerder op de begane grond, nabij de warmtebron. Bij een collectief systeem is het ruimtebeslag in de woning veel geringer, ook al omdat vaak minder aanvullende installaties (warmteterugwinning, zonneboiler) nodig zijn om dezelfde energieambitie te behalen. Voor het ruimtebeslag in de wijk geldt uiteraard het omgekeerde: er moet in bouwblokken of in de openbare ruimte rekening gehouden worden met ketel- en pomphuisjes. Warmtedistributieleidingen liggen bij voorkeur in de kruipruimte van woningen.
- **Koken** Bij een warmtenet is het niet rendabel om alleen voor het koken een gasleiding naar de woningen aan te leggen. Bewoners moeten elektrisch koken. Elektrisch koken kost twee- tot viermaal zoveel primaire energie als koken op gas. In de praktijk kiest 27% van de bewoners die wel op gas kan koken er voor om elektrisch te koken [ECN-C-01-072].
- **Keuzevrijheid consument** De consument is momenteel al vrij in de keuze van de groene stroomleverancier. In 2004 gaan ook de grijze stroom en gasmarkt open. Consumenten kunnen op dat moment van leverancier switchen. Bij een warmtenet blijft de consument gebonden aan de leverancier van de warmte gebonden. Warmtetarieven zijn weliswaar aan de gastarieven gekoppeld, maar de warmteprijs zal niet steeds de scherpste gasprijs kunnen volgen.

EPL

De wijze van energieopwekking en de energiedrager bepalen de duurzaamheid van een locatie. De duurzaamheid van een locatie wordt uitgedrukt in de EPL, de **EnergiePrestatie op Locatie**. Daarnaast is de energiezuinigheid van de woning van invloed op de EPL. De EPC is een maat voor deze energiezuinigheid. Bijgaande tabel geeft een indicatie van de EPL van verschillende energie-infrastructuren, zowel individuele als collectieve systemen, bij een bouwkundige EPC van 1,0 (R3 pakket) en van 0,7 (R4 WTW pakket). Een bouwkundige EPC wil zeggen de EPC van de woning wanneer deze van gaslevering en een HR ketel zou zijn voorzien.

Tabel: Invloed energievraag en energie-infrastructuur op de EPL

Energie-infrastructuur			EPL	
Distributie	Opwekking	Brandstof	EPC 1,0 R3	EPC 0,7 R4, WTW
Gas	HR-ketel	Gas	5,7	6,7
All-electric en broncircuit	Individuele warmtepomp	Elektriciteit	7,1	7,4
Warmte	Warmtelevering uit STEG (250 MW op 5km)	Restwarmte	7,5	7,6
Warmte	Warmtekracht met hulpketels	Gas	5,9	6,5
Warmte	Warmtekracht met hulpketels	Bio-energie en gas	10,0	10,0
Warmte	Bio-energie ketel	Bio-energie	8,3	8,2
Warmte	Collectieve warmtepomp met hulpketels	Elektriciteit en gas	5,9	6,5

De verkennende berekeningen laten zien dat de energiedrager van grote invloed op de EPL is. De bio-energieconcepten behalen de hoogste waarden. In het bio-energie warmtekracht concept wordt zowel de warmtevraag als de elektriciteitsvraag uit duurzame bronnen ingevuld, met andere woorden een EPL van 10. Bij bio-energieverbranding in ketels wordt de bio-energie alleen voor de warmteproductie gebruikt. Ook het restwarmte concept scoort goed door de duurzaamheid van de bron. Van de overige concepten behaalt alleen het individuele warmtepompen een EPL van boven de 7.

Bijlage 4: Maatregelen op woningniveau

Inleiding

De **Trias Energetica** geeft aan dat een duurzame energievoorziening begint met het treffen van energiebesparende maatregelen. Op woningniveau bestaan vele energiebesparingsmogelijkheden.

- **Ontwerpmaatregelen.** Aandachtspunten zijn bijvoorbeeld de oriëntatie op de zon en de lengte van warmwaterleidingen.
- **Bouwkundige maatregelen.** Daarbij kan gedacht worden aan de isolatiegraad van gevels, vloeren, daken en beglazing.
- **Installatietechnische maatregelen.** Bijvoorbeeld een warmteterugwinsysteem. Daarmee wordt de energievraag belangrijk verlaagd.

Dit onderdeel beschrijft kort de energiebesparende technieken. In uitgebreidere vorm staan deze maatregelen beschreven in de door Ecofys voor Novem geschreven Duurzame Energie planner (www.novem.deplanner.nl).

Vervolgens worden met deze technieken pakketten samengesteld. Van deze pakketten wordt voor een viertal woningtypen de invloed op het energiegebruik en de EPC gegeven, tezamen met de meerinvesteringskosten.

Energiebesparende maatregelen

Ontwerpmaatregelen

Het woningontwerp is van invloed op de energiezuinigheid. Vaak heeft de stedenbouwkundig hier al een belangrijke invloed op.

Compactheid

- Als **maat voor de compactheid** van een woning wordt de verhouding tussen het oppervlak van de schil en het gebruiksoppervlak aangehouden. Hoe lager dit verhoudingsgetal is, hoe lager het energiegebruik omdat dan relatief weinig warmte door de gebouwschil verloren gaat.
- **Geschakeld en gestapeld bouwen** en het verminderen van sprongen in gevels en daken leidt tot een kleiner verliesoppervlak per woning.

Passieve zonne-energie

- Het **energieverlies** door glas is in alle windrichtingen ongeveer even groot, maar de **warmtewinst** is het grootst wanneer glas op het zuiden is gericht.
- Een goede **zuidoriëntatie** geeft de maximale instraling in de winter en weinig oververhitting in de zomer, omdat de zon in de zomer hoog staat. Een **westoriëntatie** geeft sneller oververhitting vanwege de laagstaande zon.
- Het ‘verplaatsen’ van glas van de noordkant naar de zuidkant in een woning heeft dus een **gunstig effect op de energiebehoefte**. Overigens is de kwaliteit van isolerend glas tegenwoordig zo hoog, dat aan uitzicht en lichttoetreding aan de noordzijde geen concessies nodig zijn.
- **Verblijfsruimten** hebben de meeste baat bij passieve zonne-energie. De woningplattegrond moet afgestemd zijn op de glasverdeling. Verblijfsruimten liggen daarom zoveel mogelijk aan de zuidkant en verkeersruimten aan de noordkant van de woning.
- Passieve zonne-energie heeft niet alleen voordeel voor het verwarmen van de woning, maar door betere **daglichttoetreding** kan er ook een besparing zijn op verlichting.
- Wanneer deze woning **op het zuiden** is georiënteerd is de EPC ongeveer 0,03 tot 0,04 gunstiger is dan wanneer dezelfde woning **op het oosten of westen** is georiënteerd.
 - Wanneer er in totaal **meer glas** in een woning wordt toegepast, is het effect groter. Bij een totaal glasoppervlak van 22 m² (16 m² op zuid en 6 m² op noord) is het verschil in EPC tussen zuid- en westoriëntatie ongeveer 0,06.
 - **Zeer veel glas op het zuiden** levert weinig tot geen energiewinst meer op, terwijl het risico op hoge temperaturen in de zomer toeneemt.

Serre

- Een serre is **geen verblijfsruimte**. In voor en najaar kan een serre als aangename ruimte dienen, maar de serre mag nooit ten koste gaan van de afmetingen van de woning zelf. Dit om te voorkomen dat bewoners de serre permanent bij de (te krappe) woonkamer gaan trekken, met een veel hoger energiegebruik tot gevolg.
- De EPC invloed van een **serre is minimaal**. De beperking van warmteverlies weegt niet op tegen verminderde zontoetreding in de woning.

Zonering en compartimentering

- **Verblijfsruimten** (woonkamer, slaapkamers) liggen uit energetische overwegingen bij voorkeur aan de zonzijde van de woning, en utilitaire ruimten (keuken, badkamer en toilet) en verkeersruimten aan de andere zijde.
- Compartimentering houdt in dat **koude vertrekken** worden afgescheiden van **verwarmde vertrekken** zodat het wegstromen van warmte naar de koude gebieden zoveel mogelijk wordt voorkomen.
- Voorbeelden zijn een niet verwarmde **bijkeuken** die via een dichte wand met afsluitbare deur van de verwarmde keuken wordt afgescheiden en een **trap** vanuit een hal als verbinding tussen een warme woonkamer en koudere slaapverdieping.

Leidinglengtes

- **Kortere leidinglengtes** voor warm tapwater leiden tot energie- en waterbesparing. Warm water dat na het sluiten van de kraan in een lange leiding tussen de ketel en het tappunt blijft staan koelt af. Bovendien wordt het water bij een volgende tapping slecht benut omdat het te koud is geworden.
- Wanneer de **leidinglengtes relatief kort** zijn, geeft dit ten opzichte van de forfaitaire leidinglengtes een verbetering van ca. 0,03 op de EPC.

Bouwkundige maatregelen

Isolatie van gesloten bouwdelen

- Een **hogere thermische isolatiewaarde** vermindert de energievraag en het energieverbruik van een woning.
- Omdat isolatie **meer dan 50 jaar kan meegaan** is de keuze voor een hogere isolatiegraad een goede investering voor de langere termijn.
- In het **Bouwbesluit** staat een minimum eis voor de isolatie van dichte delen in de gebouwschil. Er geldt dat de warmteweerstand (**Rc**) **tenminste 2,5 m²K/W** moet zijn.
- In **de praktijk** worden veel woningen voorzien van isolatiewaarden in de gebouwschil met een Rc van 3,0 m²K/W en hoger. Dit komt overeen met 120 mm glaswol of steenwol. Deze Rc-waarde wordt door het Nationaal Pakket Duurzaam Bouwen Woningbouw als vaste maatregel voorgeschreven.
- Bij een **Rc van 5,0 m²K/W** is het transmissieverlies al zeer gering. De besparingsinvloed van het verder verhogen van de warmteweerstand is gering.
 - **Verhogen thermische isolatie.** Van Rc gevel/ vloer/ dak = 3,0 m²K/W naar Rc = 4,0 m²K/W geeft voor een Novem referentie tussenwoning een EPC verbetering van ca. 0,05; de meerkosten bedragen € 900,-.

Buitendeur

- **Geïsoleerde deuren** behoren bij een goed isolatiepakket. Een standaard gesloten deur behaalt een warmtedoorgangscoefficiënt (U-waarde) van 4,2 W/m²K. Door schuimvulling zijn U-waarden onder de 2,0 W/m²K mogelijk.
- Een **geïsoleerde deur** (Udeur = 2,0 W/m²K) geeft ten opzichte van een ongeïsoleerde deur (Udeur = 3,4 W/m²K) een verbetering van de EPC van ca. 0,02.

Isolatie van transparante delen

- Een **beter isolerende glassoort** heeft een groot effect op de energievraag. Dit komt omdat normaal dubbelglas in de woningen vaak een 'zwakke energieschakel' is. Veel woningen worden momenteel al van HR⁺⁺ beglazing voorzien.
- Een volgende stap is **drievoudige beglazing**, in geïsoleerde kozijnprofielen. Deze producten zijn echter nog kostbaar.

Installatietechnische maatregelen

Ventilatiesystemen

Hieronder wordt kort ingegaan op de meest voorkomende ventilatiesystemen:


- **Natuurlijke toevoer en mechanische afvoer.**
 - Natuurlijke toevoer van ventilatielucht vindt plaats via **ventilatioeroosters**.
 - **Afvoer van de ventilatielucht** geschiedt via een ventilator met een kanalenstelsel vanuit ten minste keuken, badkamer en wc.
 - **Moderne ventilatoren** worden in gelijkstroomuitvoering geleverd. Dit geeft een EPC verbetering van ca. 0,02.
 - **Winddrukgerogeld toevoerroosters** zorgen ervoor dat bij een hoge winddruk niet teveel koude toevoerlucht de woning binnentreedt. De meerprijs voor deze roosters is gering.
 - **Vraaggestuurde ventilatie**
 - **Bij vraaggestuurde roosters** wordt de toevoer door middel van een controle unit aangepast aan de ventilatiebehoefte. De kosten van dit systeem komen overeen met een gebalanceerd ventilatiesysteem met warmteterugwinning.
 - Toevoegen van **vraaggestuurde roosters** bij mechanisch ventilatie geeft een verbetering van de EPC van ca. 0,13. Hiervoor is wel een gelijkwaardigheidsverklaring nodig. De meerkosten bedragen € 2.500,-.
 - **Gebalanceerd ventilatiesysteem met warmteterugwinning.**
 - Bij **gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning** (WTW) wordt de warmte uit afvoerlucht gebruikt als voorverwarming van de koude verse ventilatielucht. De afvoerlucht zelf wordt naar buiten afgevoerd, alleen de warmte uit die lucht wordt teruggewonnen. Er kunnen **rendementen** tot 95% worden behaald.
 - Een **goede luchtdichtheid** is een voorwaarde voor een goed functionerend gebalanceerd ventilatiesysteem.
 - **Gebalanceerde ventilatie** met een rendement van 95% in plaats van natuurlijke toevoer met mechanische afvoer geeft een EPC die circa 0,15 lager is. De meerkosten bedragen € 2.600,-.

Invloed maatregelpakketten

Referentiewoningen

Omdat concrete woningontwerpen voor het project ontbreken, is de invloed van energiebesparingsmaatregelen onderzocht aan de hand van Novem en SBR referentiewoningen. Voor meer informatie over de Novem referentiewoningen-reeks zie www.epn.novem.nl.

Tabel: Oppervlaktegegevens [m²] referentiewoningen

	<i>Novem referentiereeks</i>			<i>SBR</i>
	Galerijwoningen complex	Tuinkamer-tussenwoning	2/1 kap woning	Vrijstaande woning
				
Gebruiksoppervlakte	1.795,6	111,4	133,7	194,4
verliesoppervlakte	2.060,6	148,3	236,3	315,4
begane grondvloer	448,9	46,8	52,7	76,7
dakoppervlakte	465,0	57,2	67,3	90,7
totaal dichte delen	909,2	44,0	107,9	127,4
ramen voorgevel	97,4	4,9	11,1	10,3
ramen achtergevel	221,8	9,4	8,9	16,6
ramen linker zijgevel	5,8	0	4,4	6,0
ramen rechter zijgevel	47,1	0	0	2,2
oppervlakte dichte deuren	85,4	3,6	5,5	3,9

Uitgangspunten maatregelenpakketten

Bij de samenstelling van maatregelenpakketten gelden twee overwegingen:

- De **Trias Energetica**. Vraagreducerende maatregelen zijn relatief voordelig, kennen een lange levensduur zonder onderhoud en zijn in later stadium niet meer aan te brengen.
- De **toekomstwaarde** van de woningen. Woningen worden voor een lange periode bebouwd. Het verdient aanbeveling om te anticiperen op toekomstige technieken, die nu mogelijk nog te kostbaar zijn, en op vervangings- en onderhoudscycli. Door een zongerichte oriëntatie van dakvlakken en het lage-temperatuurverwarmingssysteem is de woning voorbereid op toekomstige efficiënte (duurzame-)energiesystemen, zoals PV en warmtepompen.

Energievraag maatregelpakketten

Als eerste is de invloed van vier isolatieniveaus en de invloed van warmteterugwinning aan de hand van NEN 5128:2001 onderzocht voor de vier referentiewoningen.

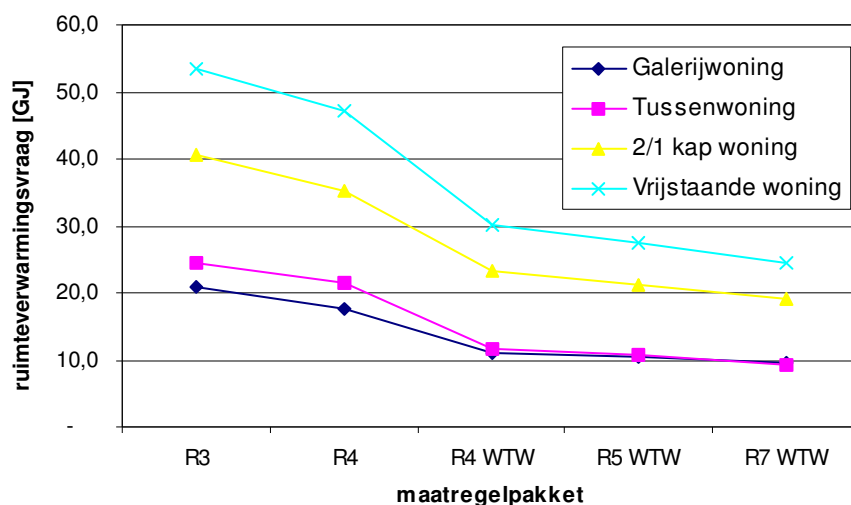
Tabel: Overzicht maatregelen woningen

Onderdeel	Omschrijving	
Basis maatregelen		
Ontwerp		Tuingevel op het zuiden
Isolatie	R3	Vloer $R_c=3,5$ gevel $R_c=3,0$ dak $R_c=3,5$ (m^2K/W), HR-glas, $U=2,3$ W/m^2K , $ZTA=0,7$ ($U_{glas}=1,7$) Geïsoleerde buitendeur, $U=2,0$ W/m^2K
Ventilatie	MA	Mechanische afvoer van ventilatielucht, met $q_{v,10}=1,0$ $dm^3/s/m^2$, ventilatoren gelijkstroom forfaitair, niet uitschakelbaar
Verwarming	RAD <55	Vergrote radiatoren/ convectoren, afgiftetemperatuur < 55 graden
Warm water	KL	Korte warmwaterleidingen, naar badkamer 3 m en keuken 8 m
Opties		
Isolatie en beglazing	R4	Vloer $R_c=4,0$ gevel $R_c=3,0$ dak $R_c=4,0$ (m^2K/W), HR++-glas, $U=1,7$ W/m^2K , $ZTA=0,6$ ($U_{glas}=1,2$) Geïsoleerde buitendeur, $U=2,0$ W/m^2K
	R5	Vloer $R_c=5,0$ gevel $R_c=3,5$ dak $R_c=5,0$ (m^2K/W) HR++-glas, $U=1,7$ W/m^2K , $ZTA=0,6$ ($U_{glas}=1,2$) Geïsoleerde buitendeur, $U=2,0$ W/m^2K
	R7	Vloer $R_c=7,0$ gevel $R_c=4,0$ dak $R_c=7,0$ (m^2K/W) HR++-glas, $U=1,7$ W/m^2K , $ZTA=0,6$ ($U_{glas}=1,2$) Geïsoleerde buitendeur, $U=2,0$ W/m^2K
Ventilatie	WTW	Warmteterugwinning uit ventilatielucht, $\eta=90\%$, $q_{v,10}=0,625$ $dm^3/s/m^2$, ventilatoren gelijkstroom forfaitair, niet uitschakelbaar

Tabel: Energievraag [GJ] referentiewoningen.

		Referentiewoning			
		Galerij-woningen	Tussen-woning	2/1 kap woning	Vrijstaande woning
Elektriciteit [kWh]		3.185	4.199	4.817	6.499
Warm tapwater		5,9	8,7	10,5	15,2
Ruimteverwarming	R3	20,8	24,5	40,6	53,5
	R4	17,6	21,5	35,3	47,3
	R4 WTW	11,0	11,8	23,4	30,0
	R5 WTW	10,4	10,6	21,3	27,4
	R7 WTW	9,5	9,2	19,1	24,5

Figuur: Energievraag ruimteverwarming referentiewoningen



De figuur laat zien dat in de energievrage voor ruimteverwarming enorme besparingsmogelijkheden liggen. Het R7 WTW pakket komt tot minder dan de helft van het R3 pakket. Warmterugwinning zorgt voor de grootste energiebesparing. Isolatie niveaus boven de R4 dragen steeds minder bij in het verlagen van de energievrage dan de stap van R2,5 of R3 naar R4. De kosten lopen daarentegen wel sterker op. Een maatregel die nog een belangrijke besparing kan opleveren is drievoudige beglazing. Dit is echter in Nederland nog geen algemeen toegepast product, waardoor de kosten relatief nog hoog liggen.

De warm tapwatervrage kan de ontwerper vooral beïnvloeden door de leidinglengte tussen het tappunt en de ketel c.q. het invoerpunt van het collectieve warmwater systeem. Bij zeer energiezuinige woningen overstijgt de warm tapwatervrage de ruimteverwarmingsvrage. Er is een warmterugwinsysteem ontwikkeld dat de warmte uit afvoerwater van de douche benut, maar deze verkeert nog in de demonstratiefase.

Meerinvesteringskosten maatregelpakketten

De genoemde meerkosten zijn afkomstig uit de literatuur, kostenramingen en ervaringen uit gerealiseerde projecten. Door bijvoorbeeld de bouwsystematiek en het woningontwerp kunnen verschillen in de kosten optreden.

- **Subsidies** zijn niet in de bedragen opgenomen. In 2003 gelden voor nieuwbouwwoningen EPR subsidies voor zonneboilers, PV en warmtepompen. Regeringsplannen voorzien in de afschaffing van de EPR.
- De meerkosten betreffen de **directe meerkosten** van de maatregel zelf, geen secundaire effecten zoals een groter volume bij een zwaardere isolatie of de opstelplaats van een zonneboiler of een CV-ketel.
- Bij warmtelevering is een **aansluitbijdrage** van € 3.000 aangehouden, enigermate oplopend bij energiezuinige woningen. De aansluitbijdragen voor gas en elektriciteit zijn op respectievelijk € 400 en € 600 gesteld.

Tabel: Meerkosten [€] referentiewoningen ten opzichte van wettelijk niveau

		Referentiewoning			
		Galerij-woningen	Tussen-woning	2/1 kap woning	Vrijstaande woning
Gas	R3	-	-	-	-
	R4	828	883	1.402	1.807
	R4 WTW	2.178	2.323	3.082	3.607
	R5 WTW	2.418	2.811	3.816	4.558
	R7 WTW	3.027	3.915	5.362	6.646
Gas met ZB	R3	600	1.000	1.000	1.000
	R4	1.428	1.883	2.402	2.807
	R4 WTW	2.778	3.323	4.082	4.607
	R5 WTW	3.018	3.811	4.816	5.558
	R7 WTW	3.627	4.915	6.362	7.646
Individuele warmtepomp	R4 WTW	8.225	8.883	9.954	11.329
	R5 WTW	8.465	9.371	10.688	12.280
	R7 WTW	9.074	10.475	12.234	14.368
Warmtelevering	R3	600	600	600	600
	R4	1.428	1.483	2.002	2.407
	R4 WTW	3.278	3.423	4.182	4.707
	R5 WTW	3.518	3.911	4.916	5.658
	R7 WTW	4.127	5.015	6.462	7.746

EPC invloed maatregelpakketten

De energieprestatiecoëfficiënt (**EPC**) is een maat voor de energie-efficiëntie van dat gebouw, inclusief technische installaties. Architectonische, bouwkundige en installatietechnische maatregelen zijn van invloed op de EPC. Energie is daarmee een integraal onderdeel van het ontwerp- en bouwproces van een woning. In het **Bouwbesluit** is sinds 1 januari 2000 een maximaal toelaatbare EPC van 1,0 opgenomen. In onderstaande tabel staat de EPC vermeld voor de 4 referentiewoningen, binnen een drietal energie-opwekkingroutes:

- **Gaslevering** met een HR-107 ketel in de woning;
- **HR ketel in combinatie met een zonneboiler** voor het tapwater, met een collectoroppervlak van 2,8 m²;
- **Warmtelevering**. De EPC invloed van warmtelevering is afhankelijk van de wijze van energieopwekking. Dat kan een collectieve warmtepomp of warmtekrachtenheid zijn. De hier vermelde waarden vormen een gemiddelde tussen deze systemen.

Tabel: EPC [-] referentiewoningen

		Referentiewoning			
		Galerijwoningen	Tussenwoning	2/1 kap woning	Vrijstaande woning
Gas	R3	1,07	0,92	1,03	1,00
	R4	0,98	0,86	0,95	0,94
	R4 WTW	0,82	0,70	0,80	0,78
	R5 WTW	0,80	0,68	0,77	0,75
	R7 WTW	0,77	0,65	0,73	0,72
Gas met ZB	R3	0,99	0,83	0,96	0,95
	R4	0,89	0,76	0,87	0,87
	R4 WTW	0,73	0,60	0,72	0,71
	R5 WTW	0,73	0,58	0,68	0,69
	R7 WTW	0,74	0,55	0,65	0,65
Individuele warmtepomp	R4 WTW	0,58	0,51	0,55	0,54
	R4 WTW	0,56	0,50	0,53	0,53
	R7 WTW	0,55	0,48	0,51	0,51
Warmtelevering	R3	0,98	0,83	0,95	0,92
	R4	0,89	0,77	0,87	0,85
	R4 WTW	0,73	0,62	0,72	0,70
	R5 WTW	0,71	0,59	0,69	0,67
	R7 WTW	0,68	0,57	0,65	0,64

De tabel laat zien dat met een efficiënt ontwerp en een R3/ R4 isolatieniveau binnen gaslevering juist aan de wettelijke EPC eisen voldaan kan worden. Voor lagere waarden zijn binnen gaslevering aanvullende installatietechnische voorzieningen nodig, zoals een zonneboiler of een warmteterugwinsysteem. Warmtelevering geeft een aanzienlijke EPC verlaging. Ten opzichte van de gassituatie bedraagt de daling ruim 0,15 EPC-punt.

Invloed van PV op de EPC

Onderstaande figuur geeft de EPC invloed van fotovoltaïsche zonne-energie weer. Er is gestart met referentiewoningen die een EPC van 1,0 behalen. De grootte van het PV systeem staat in Watt-peak (Wp) vermeld. Ter illustratie: 1 m² multikristallijn PV, het meest voorkomende type, komt overeen met 100 Wp.

PV kan een EPC daling geven van 0,20 EPC punt voor een galerijwoning tot 0,15 EPC punt voor een vrijstaande woning. De grafiek laat zien dat vanaf een bepaalde systeemgrootte PV niet langer in een verdere EPC daling resulteert. Vanaf dat punt is de totale (gebouwgebonden) elektriciteitsvraag van de woning met PV ingevuld. Een standaard PV pakket van 4 m² geeft een EPC daling van 0,08 punt voor een galerijwoning, 0,06 EPC punt voor de tussenwoning, 0,05 voor een 2/1 kap tot 0,04 EPC punt voor de vrijstaande woning.

Figuur: EPC invloed PV voor referentiewoningen

