

Energievisie TU-Noord
Gemeente Delft
Delft

Deerns raadgevende ingenieurs bv
Rijswijk, 31 maart 2006

HOME PAGE	www.deerns.nl	
PROJECTNUMMER	160-05-00431-03	
STATUS	definitief	
DOCUMENTCODE	H:\PRJ\160\05\01431\03\RAPPORT\Laatste rapport\rapportage energievisie TU-Noord-4.doc	
AUTEUR	dr. ir. P.J.W. van den Engel / ir. P.A.L. Stoelinga	PARAAF
PROJECTLEIDER	ir. P.A. Buurman	PARAAF

INHOUDSOPGAVE

<i>Hoofdstuk</i>	<i>Pagina</i>
1 SAMENVATTING EN CONCLUSIES	3
2 INLEIDING	5
2.1. DOELSTELLING ENERGIEVISIE	5
2.2. AANPAK ENERGIEVISIE	6
2.3. UITGANGSPUNTEN	8
2.4. GEBOUWEN EN OPPERVLAKTES.....	8
3 SCHILISOLATIE BESTAANDE BEBOUWING	11
4. VARIANTEN ENERGIEBESPARING EN -OPWEKKING.....	15
4.1. HUIDIGE SITUATIE: CONVENTIONELE WARMTEOPWEKKING	15
4.2. TOEKOMSTIGE SITUATIE: WARMTEOPWEKKING	15
4.2.1. Variant 1 (referentie): Natuurlijke ventilatie met warmtepompboiler	17
4.2.2. Variant 2: Extra individuele woningmaatregelen	17
4.2.3. Variant 3: Energieopslag of onttrekking warmte uit de Schie.....	18
4.2.4. Variant 4: Warmtenet.....	19
5. VERGELIJKING ENERGIEVARIANTEN	21
5.1. ALGEMEEN.....	21
5.2. ENERGIE- EN VERMOGENSVRAAG	21
5.3. FINANCIËN	24
5.4. BEHEER.....	25
5.5. FUNCTIONEEL	26
5.6. OMGEVING.....	28
5.7. VERGELIJKINGSMATRIX	28
6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	32
BIJLAGEN	34
I: TOELICHTING EPL-METHODIEK EN RELATIE MET EPC	35
II: EPN-ANALYSE: VARIANT 1 - REFERENTIE	37
III: EPN-ANALYSE: VARIANTEN 3 EN 4 EN INVLOED PER MAATREGEL.....	41

IV: KOSTENEFFECTIVITEIT INDIVIDUELE ENERGIEBESPARENDE MAATREGELEN... 45

V: VERGELIJKINGSMATRIX VENTILATIE- EN OPWEKKINGSVARIANTEN 47

1 SAMENVATTING EN CONCLUSIES

In de energievisie van het TU-Noordgebied zijn de mogelijkheden van een betrouwbare en energie-efficiënte warmte- (of koude)leverantie in kaart gebracht en gerelateerd aan de bouwkundige mogelijkheden van de bestaande en nieuwe gebouwen.

Voor het TU-Noordgebied zijn een viertal varianten vastgesteld voor de energievoorziening en beoordeeld op technische, financiële, energetische en functionele aspecten. Het betreft de volgende varianten:

1. Referentie: natuurlijke ventilatie en warmtepompboiler
2. Extra individuele energiebesparende maatregelen (hogere isolatiegraad en zonnecollectoren)
3. Energieopslag in de bodem of warmteontrekking uit de Schie t.b.v. regeneratie van de bronnen in combinatie met warmtepompen
4. Warmtenet¹

Voor deze varianten is een uitgebreide vergelijkingsmatrix opgesteld (zie paragraaf 5.7 en bijlage V). Uitgaande van de energiedoelstelling van de gemeente Delft van een EPL van 7-7,5 voldoet alleen de vierde variant namelijk het aansluiten van het TU-Noordgebied op het te realiseren warmtenet (EPL = 7,2). De tweede en derde variant hebben een EPL voor het gebied van respectievelijk maximaal 6,6 en 6,9.

De keuze van het ventilatiesysteem beïnvloedt de hoogte van de EPL. Bij keuze voor natuurlijke toevoer ligt de EPL ca. 0,1 - 0,3 punten lager dan bij gebalanceerde mechanische ventilatie met warmteterugwinning. De nader beschouwde varianten hebben alleen natuurlijke toevoer en mechanische afvoer.

Op basis van de opgestelde vergelijkingsmatrix kan een gezamenlijk besluit genomen over de energievoorziening voor het TU-Noordgebied rekening houdend met een aantal fundamentele keuzes op het gebied van:

- de hoogte van de meerinvestering in energiebesparende maatregelen
- hoogte van de EPL

¹ In Delft wordt ook gesproken over warmtelevering op basis van industriewarmte.

- het toepassen van een collectief of individuele vorm van warmteleverantie
- het comfortniveau voor de woningen (actieve koeling of niet)

Het Noordelijk TU-gebied leent zich bij uitstek voor de toepassing van een warmtenet, wat betreft de bestaande bouw en restauratieprojecten. Voor de nieuwbouw is een systeem met individuele of collectieve warmtepompen en energieopslag ook een optie.

Op 15 maart 2006 is een vergadering met de betrokken projectontwikkelaars en de gemeente gehouden waarop – op basis van deze rapportage en aanvullende informatie – besloten is om te kiezen voor het warmtenet. Hiervoor wordt een intentieverklaring opgesteld die op 7 april 2006 zal worden ondertekend.

2 INLEIDING

Het Noordelijke deel van het TU-gebied ondergaat een ingrijpende functieverandering. De huidige onderwijs- en kantoorfuncties worden gewijzigd in voornamelijk woonfuncties. Het vernieuwingsproces wordt gefinancierd en gestuurd door particuliere ontwikkelaars die elk een deel van het gebied vernieuwen, in nauw overleg met de Gemeente Delft. Een deel van de bestaande bebouwing wordt gesloopt en er komt nieuwbouw voor in de plaats. Sommige nog open stukken worden bebouwd op basis van de in een eerdere fase ontwikkelde stedenbouwkundige visie.

De bestaande gebouwen met een monumentale waarde worden ingrijpend gerenoveerd om aan hun nieuwe functie te kunnen voldoen en om de energetische kwaliteit te waarborgen. Over het toelaatbare ingreepniveau van de bestaande gebouwen loopt een discussie met Monumentenzorg. Aan de buitenzijde moet het beeld van de gebouwen met een monumentenstatus zo veel mogelijk behouden blijven. Aan de binnenzijde zijn specifiek genoemde interieuronderdelen beschermd zoals sommige trappen en gangen. Het warmtenet van de TU zal in principe worden teruggebracht tot het verkleinde TU-gebied langs de Mekelweg, waar ook een tramlijn komt te lopen. Tijdelijke warmteleverantie aan de gebouwen in het TU-noordgebied is wel bespreekbaar.

Parallel aan de ontwikkeling van het noordelijke TU gebied is de Gemeente Delft bezig met de ontwikkeling van plannen voor een warmtenet voor grote delen van de stad Delft. Dit net onttrekt warmte aan de rioolwaterzuiveringsinstallatie in de Harnaschpolder met een gasmotor gestookte warmtepomp en dit is een kansrijke optie om op een energie-efficiënte wijze warmte aan het noordelijke TU gebied te leveren.

2.1. Doelstelling energievisie

Voor het TU-noord gebied dat wordt geherstructureerd is het gewenst dat een energievisie wordt ontwikkeld waarin de mogelijkheden van een betrouwbare en energie-efficiënte warmte- (of koude)leverantie wordt gerelateerd aan de bouwkundige mogelijkheden van de bestaande en nieuwe gebouwen.

In deze rapportage wordt weergegeven in hoeverre het mogelijk is om aan de energiedoelstelling van de Gemeente Delft te voldoen waarbij voor de locatie de EPL een waarde van

7,5 is gewenst. In dit onderzoek worden de energetische mogelijkheden van de locatie en de gebouwen in het gebied nader verkend teneinde de besluitvorming over de meest haalbare en optimale energievoorziening te ondersteunen.

2.2. Aanpak energievisie

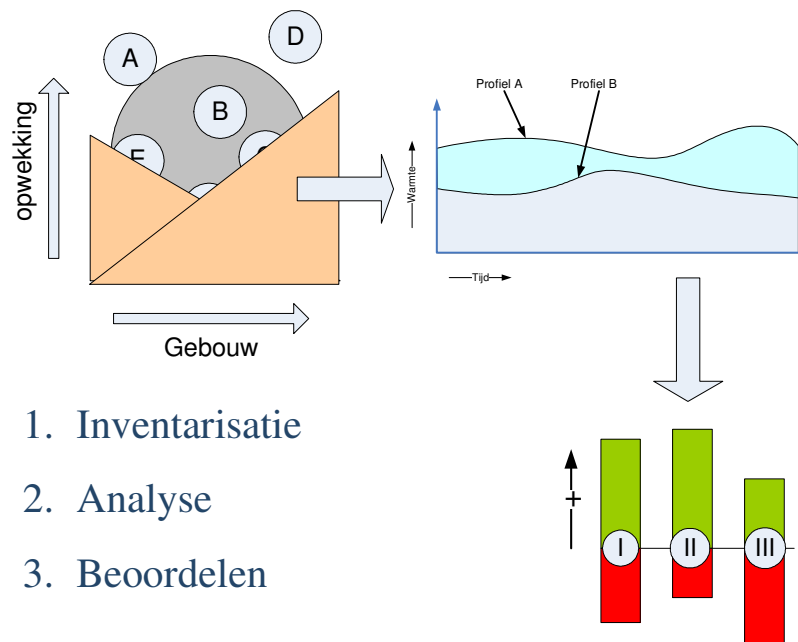
Om een geschikte energievoorziening voor het noordelijk TU gebied te kunnen bepalen, is het bepalen van de omvang (benodigd vermogen) en karakteristiek (temperaturen, verloop van de vraag over het jaar) van de warmte- en koude vraag een eerste vereiste. Om dit *energieprofiel* in beeld te krijgen, wordt met EPC berekeningen bepaald wat de energiebehoefte zal zijn, indien voldaan wordt aan de wettelijke eisen en het ambitieniveau voor het gebied én tegemoet gekomen wordt aan de eisen die de specifieke eigenschappen van de gebouwen stellen. Het zijn met name de bestaande gebouwen, deels monumenten die hierbij door hun bouwfysische en (soms) ruimtelijke beperkingen, extra aandacht vragen. Doordat er in principe verschillende mogelijkheden zijn om de energievraag binnen de eisen te krijgen, ontstaat een bandbreedte in het *energieprofiel*.

Met het zo bepaalde energieprofiel van warmte- en koudevraag worden vervolgens passende wijzen van energievoorzieningen geselecteerd en uitgewerkt. Door vergelijking en ranking ontstaat uiteindelijk de visie op de meeste gewenste energievoorziening voor het Noordelijk TU-gebied.

Deze aanpak leidt tot de volgende stappen:

1. Inventarisatie benodigde fases opdracht
2. Inventarisatie uitgangspunten betrokken partijen (gesprekken)
 - Gemeente Delft
 - Warmtebedrijf
 - TU-Delft
 - Blauwhoed/Eurowoningen
 - Duwo
 - Proper Stok
 - William Properties
3. Inventarisatie gebouwtypen, oppervlaktes en gewenst/mogelijk isolatieniveau
4. Tussentijds overleg met partijen m.b.t. uitgangspunten en verwachtingen
5. Onderzoek naar EPC, kosten/baten en vermogen

- Vereiste EPC in relatie tot EPL-eis gemeente
 - Effect woninggrootte
 - Effect hoogte verblijfsruimte
 - Effect ventilatiesysteem en isolatieniveau
 - Effect diverse overige energiebesparende maatregelen met name met betrekking tot warmtapwater
 - Twee energiezuinige opwekkingsvarianten bij wijkverwarming
 - Integreren ontwikkelde informatie in conceptrapportage
6. Uitwerking vergelijkingsparameters varianten
 7. Ontwikkeling transparant vergelijkingsmodel varianten
 8. Vastleggen in conceptrapportage
 9. Bespreking met partijen en vervaardigen definitieve rapportage



Figuur 1: Schematische weergave plan van aanpak

- a) Eerst is nagegaan of de energiegebruiken van de gebouwen wat functie, bouwkundige schil en opwekkingssysteem betreft binnen een classificering passen.
- b) Vervolgens zijn de energievraagpatronen geanalyseerd.
- c) Tenslotte is nagegaan welke maatregelenpakketten voldoen.

2.3. Uitgangspunten

De gemeente Delft streeft op basis van het klimaatplan Delft 2003-2012 een energieprestatie op locatie (EPL) van 7 tot 7,5 na. Hierbij hoort een EPC voor de woningen van ca. 0,4 tot 0,5.² Daarnaast wordt door de gemeente gevraagd bij nieuwbouw om de kwaliteit van de bouwkundige schil op een zodanig niveau te brengen dat met een conventionele warmteopwekking met een HR₁₀₇-ketel een EPC van 0,8 zou kunnen worden gehaald. Als aanvullend uitgangspunt voor het noordelijk TU-gebied geldt dat de gemeente wil vasthouden aan de nieuwbouweis bij functiewijziging. Deze energievisie onderzoekt in hoeverre dit voor de diverse planonderdelen mogelijk is.

Bij monumenten met bijbehorende hogere verbouwkosten en eventuele beperkingen m.b.t. de isolatiemogelijkheden is dit niet altijd haalbaar, zodat hiervoor de mogelijkheid van ontheffing bestaat.

Voor utiliteitsbouw is de minimeis van de gemeente dat de EPC 12% lager uitkomt dan de eis uit het Bouwbesluit, bij toepassing van een VR-ketel.

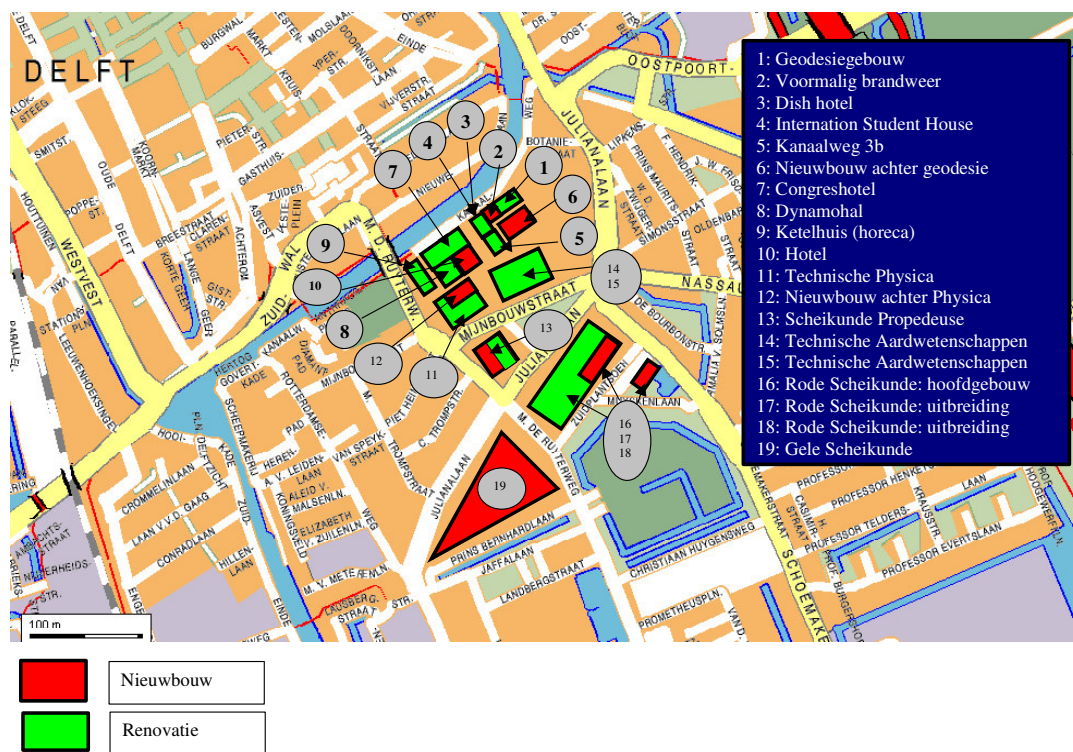
Gebruikte documenten ten behoeve van opstellen energievisie:

- Gemeente Delft. Ontwikkelingsplan noordelijk TU-gebied. Januari 2005.
- Gemeente Delft. Klimaatplan Delft 2003 – 2012. September 2003.
- Gemeente Delft. Bestemmingsplan TU-noord. September 2005.
- HoSt. Benutten industriële restwarmte voor verwarming van woningen en een ziekenhuis, Gemeente Delft. 23 september 2005.
- Gemeente Delft. Warmte voor Delft. October 2005.
- Gemeente Delft. Warmte voor Delft. 1^e voortgangsrapportage. Januari 2006.

2.4. Gebouwen en oppervlaktes

In de volgende figuur is weergegeven om welke gebouwen het gaat:

² Tenzij warmte en elektriciteit (deels) op duurzame wijze wordt opgewekt en afhankelijk van het gekozen referentieniveau.



Figuur 2: Bouwontwikkelingen in het noordelijke TU-gebied

In een tabel wordt nader weergegeven wat de oppervlaktes en aantallen te bouwen eenheden zijn. Tevens het jaar van de start van de (ver)bouw aangegeven.

Tabel 1: Bouwontwikkelingen in het noordelijke TU-gebied

Kaart	Proj-ID	Straatnaam	Nr. gebouwnaam	Partij	Monument	Renovatie/ restauratie/ nieuwbouw	Type	aanti	gbo	bvo	planning
1	304	kanaalweg	4 Geodesiegebouw	DUWO	ja	Bestaand	kantoor			2.485	
2	305	kanaalweg	3k Voormalig brandweer	DUWO	nee	Nieuwbouw	st.huisv/kantoor	40		2.000	
3	302	kanaalweg	3 Studenten voorm. Dish Hotel	DUWO	nee (deels)	Renovatie	studentenhuisvesting	55		2.750	2007
4	303	kanaalweg	3 International Student House	DUWO	nee (deels)	Renovatie	ISH/kantoor			1.700	
5	?	kanaalweg	3a/3b Kanaalweg 3b	DUWO	nee (deels)	Renovatie	studentenhuisvesting	99		5.425	
6	306	kanaalweg	? Nieuwbouw achter geodesie, Botaniehof	DUWO	nee	Nieuwbouw	studentenhuisvesting	220		11.000	
7	300	kanaalweg	2b/2c Congreshotel	DUWO	ja	Restauratie	hotel			3.000	
8	301	kanaalweg	2b Dynamohal	DUWO	ja	Restauratie	kantoor			900	
9	317	kanaalweg	2a Horeca (ketelhuis)	DUWO	ja	Restauratie	horeca			800	
10	?	kanaalweg	2d-2f Hotel	DUWO	nee	Nieuwbouw	hotel			3.000	
11	307	mijnbouwplein	11 Voorm. Technische Physica	DUWO	ja	Restauratie	studentenhuisvesting	120		7.200	2008
12	308	mijnbouwplein	? Nieuwbouw achter Physica, Mijnbouwplaats	DUWO	nee	Nieuwbouw	studentenhuisvesting	120		6.000	2008
13	309	de vries van heijstplantsoen	? Voorm. Scheikunde Propedeuse	DUWO	nee (deels)	Nieuwb/Rest	studentenhuisvesting	225		11.500	2007
14	314	mijnbouwstraat	120 Voorm. Technische Aardweten.	Proper Stok	ja	Restauratie	appartementen	46	5.750	8.214	09/2007
15	315	mijnbouwstraat	120 Voorm. Technische Aardweten.	Proper Stok	ja	Restauratie	techniekmuseum		5.750	8.214	09/2007
16	310	julianalaan	132 Voorm. Rode Scheikunde: uitbreiding	William Propert. nee	Nieuwbouw	appartementen		30	3.000	3.300	07/2008
17	311	julianalaan	132 Voorm. Rode Scheikunde	William Propert. nee	Nieuwbouw	appartementen		90	9.000	9.900	01/2008
18	312	julianalaan	132 Voorm. Rode Scheikunde	William Propert. ja	Restauratie	appartementen		178	20.000	25.000	07/2008
19	313	julianalaan	Voorm. Gele Scheikunde	Blauwh./Eurow. nee	Nieuwbouw	woningbouw		182		33.670	2012
TOTAAL									146.059		
Renovatie										9.875	
Renovatie, beperkingen monument										55.814	
Nieuwbouw										80.370	
										146.059	

Uit het overzicht valt af te leiden dat 55% uit nieuwbouw en 45% uit bestaande bouw, renovatie of restauratie bestaat. Bij 38% van het gebouwoppervlak is een discussie gaande of te verwachten over het toelaatbare isolatieniveau.

Tevens kan worden gezien dat 92% van het gebied uit woonfuncties bestaat. Voor het opstellen van de energievisie is de woonfunctie daarom als uitgangspunt genomen.

3 SCHILISOLATIE BESTAANDE BEBOUWING

Uit de oppervlakte-inventarisatie blijkt dat 45% van het gebied uit bestaande te renoveren gebouwen en 55% uit nieuwbouw bestaat.

Uitgangspunt schilisolatie

Uitgangspunt voor de renovatie van de bestaande TU-panden en de nieuwbouw is dat het casco in combinatie met een conventionele warmteopwekking leidt tot een EPC van 0,8. Voldaan moet worden aan artikel 5.14 van het Bouwbesluit waarin wordt gesteld dat Burgemeester en Wethouders geen ontheffing van de EPC-eis (nader omschreven in artikelen 5.12 en 5.13) mogen verlenen bij een ingrijpende verbouwing.

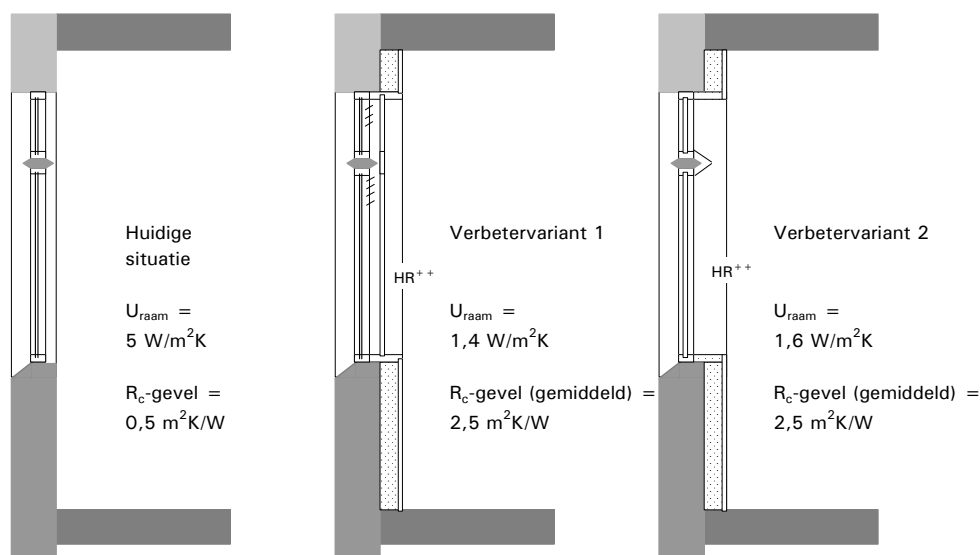
Om dit te realiseren zijn de volgende bouwkundige uitgangspunten wenselijk bij een glaspercentage van 40 - 50%:

- een gemiddelde Rc-waarde van de gevel van tenminste 2,5 m²K/W
- een Rc-waarde van het dak en de vloer van 4,0 m²K/W
- een U-waarde van het raam van 1,6 W/m²K

Dit betekent dat bij de oudbouw de gevel aan de binnenzijde moet worden geïsoleerd en worden voorzien van HR⁺⁺-glas en goede dampremming. Aan de buitenzijde is isolatie niet mogelijk vanwege het monumentale karakter van de gevels. Isolatie is zowel wenselijk vanwege het energiegebruik als het comfort.



Figuur 3: Voorbeeld gevel TU-gebouw



Figuur 4: Mogelijke renovatieopties van de gevel³

Er zijn hierbij de volgende hoofd-opties (zie figuur 3):

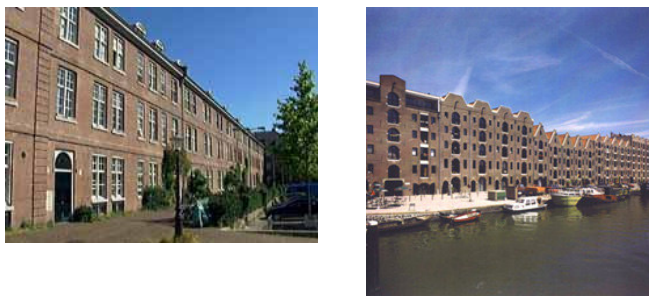
- toevoegen van een “binnengevel”, bijv. volgens het houtskeletbouwprincipe,
- het bestaande enkel glas vervangen door HR^{++} -glas, waarbij de isolatie rechtstreeks tegen de gevel wordt aangebracht en koudebruggen worden geïsoleerd.

Een punt van aandacht is de koudebrug tussen vloer en gevel. De gemiddelde R_{c} -waarde van de gevel moet minimaal $2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ zijn.

Isolatie niveau

Bij de renovatie van de oude gebouwen staat de discussie over de monumentale waarde van de gevels centraal. Bij het oude TU-hoofdgebouw (Rode Scheikunde) waarbij stalen ramen met enkel glas en spouwmuren zijn toegepast is een discussie met Monumentenzorg gestart over toelaatbare verbeteropties. Isolatie van de begane grondvloer en de kap is in principe mogelijk. Gesproken wordt over de mate van isolatie van de gevel aan de binnenzijde. Over de monumentale en bouwfysische uitgangspunten (condensrisico's) moet eerst overeenstemming worden bereikt. In de gevel is het toepassen van vacuüm beglazing een optie.

³ Indien er een condensrisico bij de vloer is (koudebrug, geen vloerverwarming) wordt de aansluiting bij de vloer soms apart geïsoleerd.



Figuur 5: Voorbeelden van monumenten die aan de binnenzijde van de gevel zijn geïsoleerd en van dubbel glas zijn voorzien, de Oranje Nassau Kazerne en het Entrepotdok in Amsterdam.



Figuur 6: Voorbeeld van een proefopstelling van een klimaatgevel (overdruksysteem, mechanische toevoer en natuurlijke afvoer via de spouw) bij een monument, de Politieacademie in Apeldoorn waar stalen ramen zijn toegepast. De U-waarde van het raam is vergelijkbaar met die van blank dubbel glas.

Bovenstaande voorbeelden laten zien dat bij monumenten verschillende niveaus van isolatie mogelijk zijn wat van geval tot geval bekeken moet worden.

De mogelijkheid bestaat dat een aantal gebouwen het vereiste isolatieniveau niet zal halen. Indien bij het TU-hoofdgebouw bijvoorbeeld alleen vacuüm beglazing wordt toegepast en daarnaast gebalanceerde mechanische ventilatie met warmteterugwinning en een HR₁₀₇-ketel is de EPC nog altijd 1,36 i.p.v. 0,8.

Zonder maatregelen aan de gevel is de EPC met een dergelijk ventilatiesysteem 2,35. Bovendien is het toepassen van laagtemperatuur- of middentemperatuurverwarming dan geen optie.

Bij de volgende voorwaarden is het nog wel mogelijk om bij Rode Scheikunde een EPC van lager dan 0,8 te halen:

- beperkte isolatie van de gevel (vergelijkbaar met vacuümbeglazing),
- beperking van de infiltratie van buitenlucht (Q_{v10} -waarde) bij stalen ramen tot 100 dm³/s),⁴
- toepassing van vloerverwarming en convectoren,
- aansluiting op een warmtenet (70°C).

Het bijbehorende warmtegebruik in aardgasequivalenten is weergegeven in tabel 2.

Tabel 2: Overzicht mogelijke warmteverbruiken voor een monument

Geen isolatie, HR ₁₀₇ -ketel, WTW-ventilatie	EPC = 2,36	32 a.e./m ²
Geen gevelisolatie, wel vacuümglas, HR ₁₀₇ -ketel, WTW-ventilatie	EPC = 1,36	17 a.e./m ²
Geen gevelisolatie, wel vacuümglas, Warmtenet (70°C), WTW-ventilatie	EPC = 0,74	9 a.e./m ²

⁴ Tussen verkeersruimte en gevel of woning kunnen ook maatregelen worden genomen.

4. VARIANTEN ENERGIEBESPARING EN -OPWEKKING

4.1. Huidige situatie: conventionele warmteopwekking

In het gebied bevindt zich een gas- en elektriciteitsnet waarop kan worden aangesloten. Tevens worden de Gele en Rode Scheikunde gebouwen van warmte voorzien door de warmtecentrale van de TU. Op dit moment is het beleid van de TU dat geen warmte wordt geleverd aan gebouwen die geen deel uitmaken van de TU, tenzij de gebouwen tot het kerngebied van de TU behoren en er geen andere opties zijn. Mettertijd zal dus op een andere wijze in de warmtelevering moeten worden voorzien. Wel is het een optie dat tijdelijk warmte wordt geleverd door de TU, zolang er geen warmtenet ligt. Hiervoor is voldoende reservevermogen beschikbaar.

4.2. Toekomstige situatie: warmteopwekking

In het kader van de energievisie zijn een viertal energievarianten vastgesteld, uitgaande van woningen met natuurlijke luchttoevoer en mechanische afvoer⁵:

Variant 1 (referentie): Een HR₁₀₇-ketel, een warmtepompboiler t.b.v. warmtapwaterverwarming en lage temperatuur verwarming (LTV).

Variant 2: In de vorm van extra individuele woningmaatregelen naast een HR₁₀₇-ketel en een warmtepompboiler en LTV: Meer isolatie en zonnecollectoren.

Variant 3: Warmtepompen, energieopslag in de bodem en LTV (45/35°C).

Variant 4: Centrale warmteopwekking met gasmotor warmtepompen (warmtenet). Hoge temperatuurverwarming (70/40°C).

De keuzes voor welke individuele maatregelen toereikend zijn om de verlangde EPC-verlaging te realiseren zijn onderbouwd door een EPN-studie welke is weergegeven in bijlage III. In de bijlage III en V zijn – om het beeld zo compleet mogelijk te maken - verge-

⁵ In de praktijk zal er waarschijnlijk een mengvorm van ventilatiesystemen ontstaan. Bij gevels met een hoge geluidsbelasting of grote beperkingen m.b.t. luchttoevoeropeningen in de gevel zal eerder voor gebalanceerde mechanische ventilatie dan voor natuurlijke toevoer worden gekozen.

lijkbare varianten weergegeven die uitgaan van gebalanceerde mechanische ventilatie met HR-warmteterugwinning. Hierbij is nagegaan wat het effect is van warmteterugwinning bij ventilatielucht op de EPN, EPL en energievraag.

Van de varianten die dieper zijn geanalyseerd is in een overzicht weergegeven wat de eigenschappen zijn:

Tabel 3: Eigenschappen onderzochte varianten

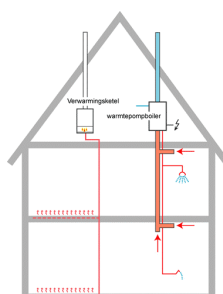
	Variant 1 HR + WPB	Variant 2 ZBC + WPB	Variant 3 EO + WP	Variant 4 WN
Gebalanceerde ventilatie				
HR ₁₀₇ -ketel	+	+		
LTV	+	+	+	
Warmtepompboiler	+	+		
U-glas = 1,2 W/m ² K	+	+	+	+
R _c = 2,5 m ² K/W	+		+	+
R _c = 5 m ² K/W		+		
Zonnegascombi/collector 4 m ²		+		
Q _{v10} -waarde 50 dm ³ /s	+	+	+	+
Warmtepomp + energieopslag			+	
Warmtenet				+

Een aantal varianten zijn buiten beschouwing gelaten namelijk:

- Een collectieve HR107-ketel: De verwachting is dat het rendement van een collectieve HR₁₀₇-ketel vergelijkbaar is met die van een individuele ketel. Een nadeel is het transportverlies. Besluitvorming over de opwekking kan in een later stadium plaatsvinden indien meer in detail naar de opwekking per complex wordt gekeken.
- Een collectieve warmtepomp per complex: Deze variant is een alternatief voor een individuele warmtepomp per woning. De verschillen met betrekking tot kosten en baten met een individuele warmtepomp per woning zijn klein en nader onderzoek op dit punt draagt in dit stadium niet bij tot meer inzicht in de belangrijkste keuzemogelijkheden.
- Bio-brandstofcellen of bio-warmtekrachtkoppeling. Dit is een optie indien een warmtenet niet realiseerbaar is.
- Windturbines lijken zeer beperkt toepasbaar gezien de hoge bebouwingsdichtheid van het gebied.
- PV-panelen zijn weliswaar – zeker op de nieuwbouw- toepasbaar maar nog steeds kostbaar. Deze zijn optioneel wel mogelijk.

4.2.1. Variant 1 (referentie): Natuurlijke ventilatie met warmtepompboiler

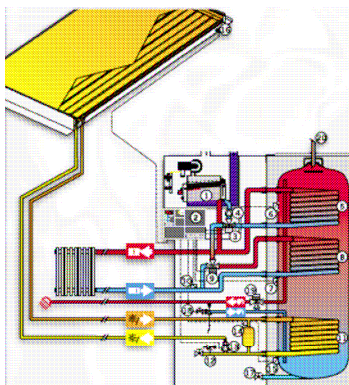
Als referentie wordt uitgegaan van een woning met natuurlijke ventilatie en een warmtepompboiler t.b.v. warmtapwater, een HR₁₀₇-ketel en een R^c-waarde van 2,5 m²K/W en HR⁺⁺-glas. Natuurlijke ventilatie is gekozen vanwege de hogere luchtkwaliteit in de woningen en de voorkeuren van betrokken partij(en) o.a. DUWO. De warmtepompboiler is toegepast in de referentie omdat deze als enige optie zowel bij nieuwbouw als bij renovatie zorgt voor een EPC van 0,8. De hoge tapwatervraag ligt ten grondslag aan deze uitkomst. De warmtepompboiler onttrekt warmte uit de afvoerlucht.



Figuur 7: Referentie: natuurlijke ventilatie, HR-ketel en warmtepompboiler

4.2.2. Variant 2: Extra individuele woningmaatregelen

Voor deze variant worden er in de woningen extra maatregelen genomen om een lagere EPC te realiseren. In de eerste plaats wordt de isolatiegraad verhoogd van 2,5 m²K/W naar 5,0 m²K/W. Daarnaast wordt er 4 m² zonnecollectoren geplaatst ten behoeve van de ruimteverwarmings- en warmtapwatervraag.



Figuur 8: Zonneboilercombi

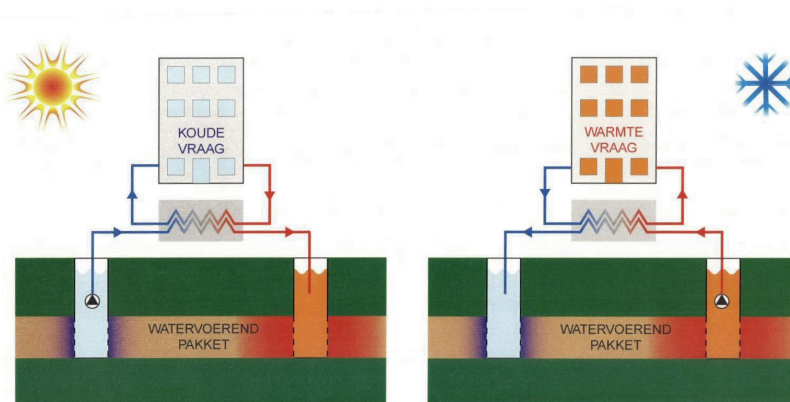
De zonnecollector levert warmwater dat in een buffervat wordt opgeslagen. Deze warmte kan zowel voor warmtapwater als voor ruimteverwarming worden benut.

4.2.3. Variant 3: Energieopslag of onttrekking warmte uit de Schie

Een optie die heel geschikt is voor de locatie is toepassing van warmtepompen voor ruimteverwarming en warmtapwater waarbij warmte wordt onttrokken uit een aquifer (warme bron). De Schie kan worden gebruikt om de warme bronnen te regenereren, zodat ze niet te veel afkoelen aangezien er een veel grotere warmte- dan koudevraag is.



Figuur 9: Warmte – en koudeopslag aangevuld met warmteonttrekking uit de Schie



Onderzocht is wat het effect is op de EPC van het volgende opwekkingssysteem:

- een individuele warmtepomp voor ruimteverwarming⁶,
 - o het opwekkingsrendement is gerelateerd aan grondwater
 - o de aanvoertemperatuur is onder 45°C
 - o de COP is 4,5 (primair energetisch rendement 177%)

⁶ Het is ook mogelijk om per complex een collectieve warmtepomp neer te zetten. Deze variant wordt vergelijkbaar geacht, behalve wat betreft ruimtegebruik per woning.

- een warmtepomp met COP voor opwekking van warmtapwater met een COP van 2,4 (primaire energetisch rendement = $2,4 \times 39\% = 93\%$). Een COP van 2,4 is haalbaar voor elektrische warmtepompen met een niet al te hoog prijsniveau die het warmtapwater kunnen opwarmen volgens de GIW-eisen (58°C, voorgeschreven tapvolume).

Een belangrijk voordeel van dit systeem is dat ook koude kan worden geleverd via koude bronnen en uit het leidingnet. In de zomer wordt bij warmtapwaterafgifte koude opgewekt die ook voor koeling kan worden gebruikt. Koeling is voor kantoren en woningen een comfortverhogende faciliteit die in principe geen extra investering vraagt.

Een variant is een centrale gasmotor gedreven warmtepomp op het noordelijk TU-terrein die warmte en koude aan de gebouwen levert. Ook hier zijn aquifers nodig en kan de Schie voor regeneratie van de aquifers zorgen.

4.2.4. Variant 4: Warmtenet

De Gemeente Delft wil vanuit de rioolwaterzuivering in de Harnaschpolder (AWZI, 2 miljoen inwoners-equivalenten) warmte onttrekken uit het rioolwater t.b.v. ca. 20.000 woningen. Dit water heeft een temperatuur van 12 tot 21°C. De warmte wordt opgewekt met centrale gasmotor gedreven warmtepompen, die in de omgeving van de rioolwaterzuivering zijn opgesteld. Het temperatuurniveau van het water uit de warmtepomp kan worden verhoogd tot 73°C met de warmte van de gasmotor en via eventuele bijstook met gasketels. Er kan rekening houden met transportverliezen - 70°C aan de woning worden geleverd. De retourtemperatuur is 40°C.

Het voordeel van dit systeem dat de watertemperatuur voldoende hoog is om ook warmtapwater te kunnen leveren, waarbij er geen naverwarming nodig is i.v.m. legionella. Ook kunnen kleine groepen woningen worden aan gesloten. De COP voor warmtapwaterbereiding is relatief hoog t.o.v. gebruikelijke warmtepompsystemen. Het primaire energetisch opwekkingsrendement is 173%.⁷

⁷ Op dit moment is er bij de Gemeente Delft nog geen keuze gemaakt tussen aansluiting op de rioolwaterzuivering van de Harnaschpolder of op het warm industriewater dat wordt afgestaan door DSM Gist. Aansluiting op Harnaschpolder biedt op dit moment evenwel de meeste leveringszekerheid op lange termijn (50 jaar) en is daarom als uitgangspunt genomen ook al is het opwekkingsrendement daarvan lager.



Figuur 10: Warmtenet

Het rendement van 173% wordt genoemd in de rapportage van HoSt en is gerelateerd aan een aanvoertemperatuur van 70°C i.p.v. 73°C. M.b.t. de hoogte van het rendement is voorzichtigheid op zijn plaats en aanvullend onderzoek is nodig om dit te onderbouwen.⁸

Voor de EPC-berekeningen wordt een kwaliteitsverklaring afgegeven, zodat met het hoge opwekkingsrendement kan worden gerekend.⁹

⁸ Bij wijze van voorbeeld wordt een mogelijke COP van de centrale warmtepomp weergegeven: Indien door een WK-eenheid 39% elektriciteit wordt opgewekt en de (gemiddelde) COP gelijk is aan 4,4 (gerelateerd aan de opgewekte elektriciteit) wordt het primair energetisch rendement 173% zowel voor ruimteverwarming als warmtapwateropwekking.

⁹ De EPN rekent voor externe warmtelevering met een warmtepomp met een rendement van 100%. Dit komt mede omdat de mogelijkheid bestaat dat de leverantie binnen 30 jaar zou kunnen stoppen en voorkomen moet worden dat bouwkundig te weinig aan de woning zou gebeuren. Aangezien binnen 30 jaar stopzetting van warmteleverantie bij warmteonttrekking uit een rioolwaterzuivering niet waarschijnlijk is, kan t.b.v. de EPC- en EPL-bepaling worden gerekend met het hoge rendement.

5. VERGELIJKING ENERGIEVARIANTEN

5.1. Algemeen

Op basis van de voorgaande analyse kunnen de diverse varianten naast elkaar worden gezet. De parameters aansluitkosten, investeringskosten en woonlasten worden gekwantificeerd. De overige worden alleen kwalitatief vergeleken.

Uitgangspunt is dat aan het Bouwbesluit wordt voldaan zowel voor de nieuwbouw als de oudbouw (met een grotere vrije hoogte van de verblijfsruimten). 92% van het gebied heeft een woonfunctie, zodat bij de EPN-studie de woonfunctie als uitgangspunt wordt genomen, gebaseerd op een referentiewoning.

Daarnaast wordt nagegaan wat het effect op het energiegebruik en het verwarmingsvermogen is indien slechts gedeeltelijk wordt geïsoleerd, vanwege beperkingen die voortvloeien uit de monumentale status van het gebouw.

De volgende aspecten worden besproken: Energiegebruik (§ 5.2), Financiën (§ 5.3), Beheer (§ 5.4), Functioneel (§ 5.5) en Omgeving (§ 5.6). Het geheel wordt afgewogen in een vergelijkingsmatrix (§ 5.7).

5.2. Energie- en vermogensvraag

Bij het opstellen van de energetische vergelijking is het uitgangspunt dat 55% nieuwbouw en 45% renovatie is, waarbij de te renoveren gebouwen wat isolatieniveau betreft zonder uitzondering het Bouwbesluitniveau halen.

Per besproken variant met natuurlijke luchttoevoer en mechanische afvoer is de volgende warmtevraag aanwezig (primaire energie):

Tabel 4: Overzicht verwarmingsenergiegebruiken per variant:

Variant 1: 288 MJ/m² (= 8,2 a.e./m²)

Variant 2: 252 MJ/m² (= 7,2 a.e./m²)

Variant 3: 219 MJ/m² (= 6,2 a.e./m²)

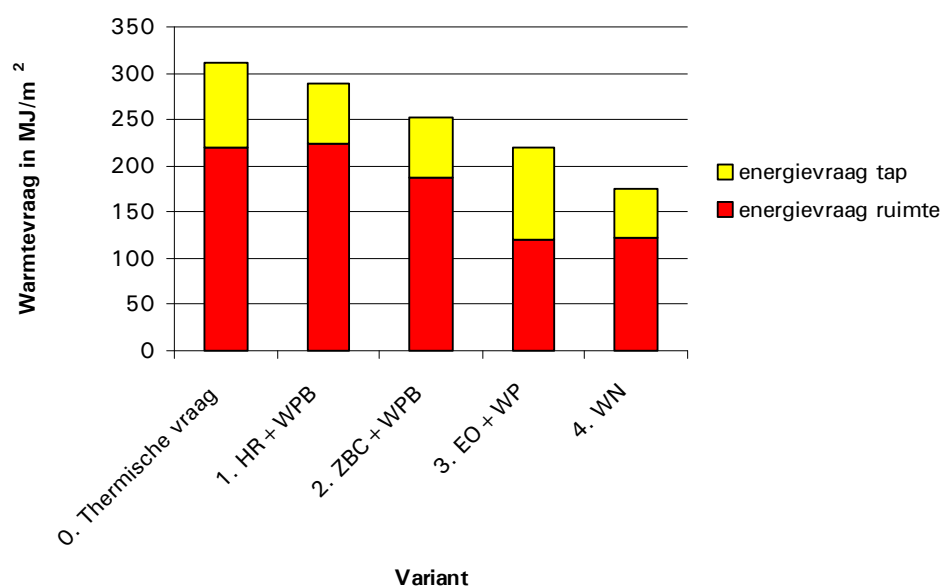
Variant 4: 176 MJ/m² (= 5,0 a.e./m²)

M.a.w. voor een woning van 100 m² daalt het energiegebruik van 820 naar 500 m³ aardgas equivalent voor ruimteverwarming en warmtapwater (inclusief pompenergie).

Het variant 4, het warmtenet, heeft per woning het laagste energiegebruik.

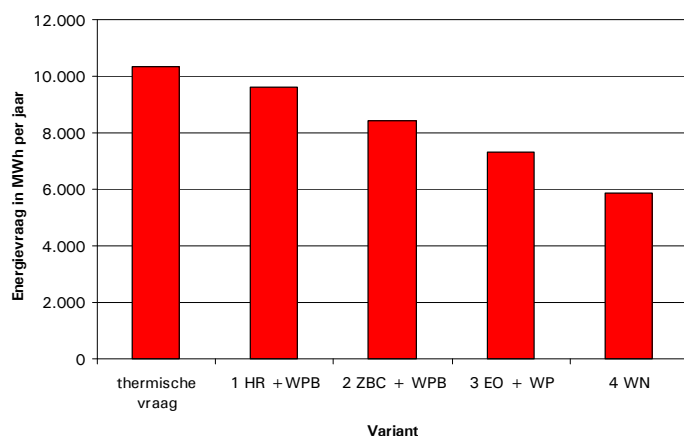
In de volgende figuur is weergegeven hoe de energievraag voor ruimte- en tapwaterverwarming is verdeeld per variant t.o.v. de thermische warmtevraag. De thermisch warmtevraag is de warmtevraag voor ruimteverwarming en warmtapwater bij een fictief opwekkingsrendement van 100%.

De energievraag per variant is de energievraag indien rekening wordt gehouden met het specifieke opwekkingsrendement van de desbetreffende variant.



Figuur 11: Verdeling warmte-energievraag per variant t.o.v. de thermische warmtevraag

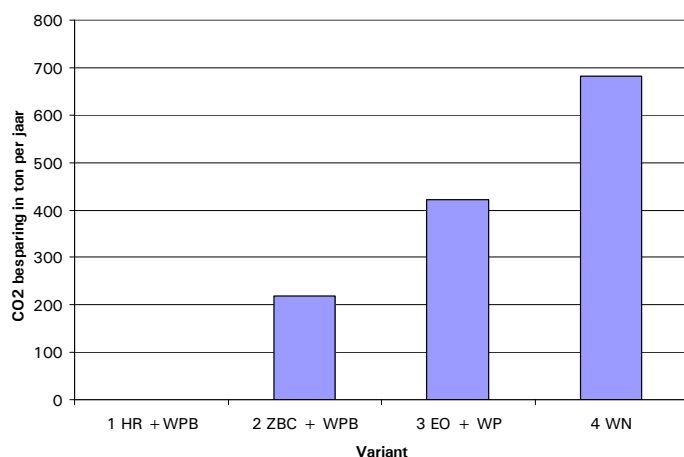
Voor de hele wijk wordt weergegeven wat het effect is op de warmtevraag:



Figuur 12: Warmtevraag in de wijk

In bovenstaande figuur is eerst de thermische warmtevraag weergegeven. Daarnaast is de warmtevraag in primair energie voor de verschillende varianten geplaatst, als alle gebouwen wat isolatie betreft juist aan het Bouwbesluitniveau voldoen.¹⁰

Ten opzichte van de referentievariant is de volgende hoeveelheid CO₂-besparing mogelijk in ton per jaar:



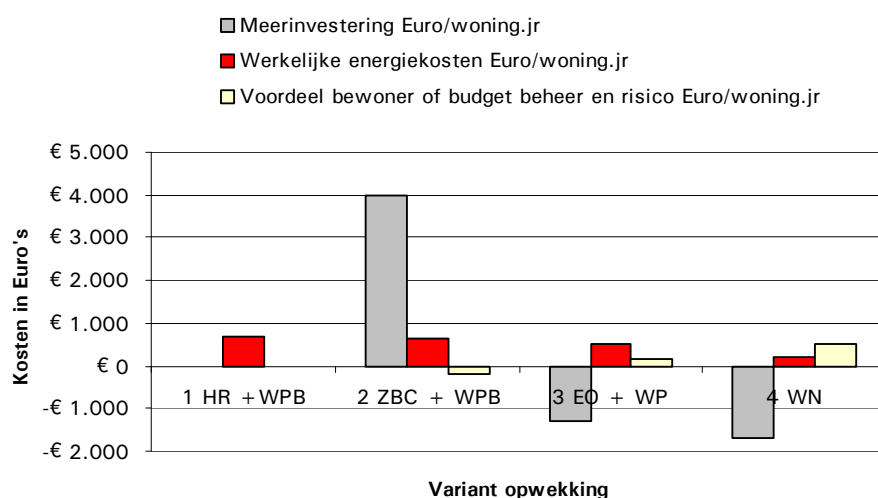
Figuur 13: CO₂-besparing in ton per jaar voor de drie energiezuinige varianten

¹⁰ Gebleken is overigens dat om aan een EPC van 0,8 te voldoen bij een gevelisolatie volgens het Bouwbesluit van R_e van 2,5 m²K/W en een U-waarde van het glas van 1,2 W/m²K, ook hoogrendement warmtapwateropwekking bij een HR₁₀₇-ketel nodig is.

Het benodigde verwarmingsvermogen van de wijk is 8,7 MW indien de wijk volledig wordt voorzien van natuurlijke toevoer en mechanische afvoer en 6,6 MW bij HR-warmteterugwinning en isolatie conform het Bouwbesluitniveau.

5.3. Financiën

In een grafiek is weergegeven wat de kosten en baten zijn van elke variant (natuurlijke toevoer):



Figuur 14: Investerings- en exploitatiekosten per woning

- De energiekosten betreffen hier vaste en variabele kosten en kosten voor onderhoud van de ketel.
- De meer- of minderinvestering betreft de eventuele investering boven of onder de 6.000 Euro die voor de ketel met gasaansluiting + warmtepompboiler is aangehouden. De investering kan door de bewoner/eigenaar worden gedaan of door de leverancier van energie.
- Uit de grafiek blijkt dat de collectieve energie-opwekkingssystemen (varianten 3 en 4) gunstig scoren, de investering is lager dan voor een HR₁₀₇ ketel en een warmtepompboiler.¹¹

¹¹ Indien woningen worden voorzien van gebalanceerde mechanische ventilatie met warmteterugwinning is de investering voor de verwarmingssystemen 3 en 4 wel hoger dan voor individuele systemen. In dat geval wordt geen warmtepompboiler toegepast.

- De combinatie van individuele maatregelen per woning (variant 2) kost de bewoner meer dan het oplevert (voordeel bewoner is negatief).

De kosten en EPC-verbeteringen zijn in detail per maatregel onderzocht en worden in bijlagen III en IV weergegeven. Uit het onderzoek is gebleken dat sommige maatregelen een relatief hoge investering vragen of niet leiden tot voldoende EPC-reductie teneinde voor zowel nieuwbouw als renovatie tenminste een EPC van 0,8 te halen, dan wel tot een substantiële vermindering van de waarde van 0,8 te komen.¹²

5.4. Beheer

Indien er sprake is van collectieve voorzieningen moet er een garantie worden gegeven dat warmte ook daadwerkelijk wordt geleverd. Er is nog geen wettelijke regeling voor warmte. De komende warmtewet zal de eindgebruiker beschermen op het gebied van leveringszekerheid en kosten.

Warmtenet

In het geval van het warmtenet moet er onderscheid worden gemaakt tussen degene die de warmte levert (distributie) en degene die warmte opwekt. De samenwerking tussen deze partijen moet zodanig zijn dat de gebruiker betaalt voor zijn gebruik aan één leverancier waarbij ook duidelijk is wie in geval van storingen kan worden aangesproken. Dit is de warmtedistributeur.

Energieopslag, warmte-onttrekking uit de Schie en warmtepompen

Toepassing van energieopslag, warmte-onttrekking uit de Schie en warmtepompen maakt - net als bij een warmtenet - meestal nodig dat een externe partij de organisatie, financiering en exploitatie van de warmteleverantie op zich neemt.

De meest voorkomende mogelijkheid is dat de warmteleverancier eigenaar is van de warmtepomp. Indien er per complex een collectieve warmtepomp is betaalt de bewoner alleen voor de hoeveelheid geleverde warmte, net zoals bij een warmtenet. In het geval van energieopslag en warmtepompen is het wel een optie dat de bewoner eigenaar is van de warmtepomp (deel hypotheek) en dat hij alleen betaalt voor de geleverde elektriciteit, aangeboden warmte en/of koude en onderhoud. Dit geldt alleen voor eigenaar/bewoners.

¹² Dit geldt vooral voor te renoveren gebouwen en gebouwen met natuurlijke toevoer.

5.5. Functioneel

Comfort

Wat betreft comfort is energieopslag en warmtepompen gunstig omdat in de zomer ook kan worden gekoeld. Dit heeft ook een gunstig effect op de EPC aangezien bij de vernieuwde EPC-berekening ervan wordt uitgegaan dat in een woning koeling wordt toegepast¹³. Bij locale warmtepompen vraagt beperking van geluidshinder aandacht.

Temperatuur en vermogen verwarming

Het is mogelijk om beperkt geïsoleerde monumentale gebouwen zowel met het warmtenet als met locale warmtepompen te verwarmen. Het warmtenet is hierbij gunstiger omdat de aanvoertemperatuur hoger is (70°C i.p.v. 45°C), zodat minder hoeft te worden geïnvesteerd in aanvullende verwarming zoals convectoren.

Architectuur, bouwkunde en ruimtegebruik

Wat betreft architectuur is er in principe een grote mate van vrijheid.

- Indien zonnecollectoren worden toegepast moet hiermee vanaf het begin rekening worden gehouden, wat betreft architectonische integratie. Bij monumentale panden het waarschijnlijk niet mogelijk om zonnecollectoren in het zicht toe te passen. In dat geval is het – bij eenzelfde complex - ook mogelijk om op aangrenzende nieuwbouw collectoren aan te brengen.
- Bij toepassing van individuele warmtepompen is ruimte nodig voor plaatsing van de warmtepomp (l x b x h = 1 x 1 x 2 m) en voor ruimte ervoor ten behoeve van werkzaamheden.

Bouwfysica

Bij isolatie van oude gebouwen moet condensatie in de constructie bij isolatie aan de binnenzijde worden voorkomen. Zorgvuldige dampremming (a) en voorkomen dat vocht in een constructie (b) wordt opgesloten, zijn oplossingen. Bij systeem a worden de koude oppervlaktes ingepakt in isolatie, op zodanige wijze dat er geen kans op schimmelvorming aan het oppervlak bestaat.

Bij systeem b is er sprake van een open structuur in de isolatielaag op de gevel. Vocht kan uit de isolerende laag verdampen. Deze methode is vooral geschikt voor relatief dunne

¹³ Vrije koeling met lucht is hierbij ook een optie, maar ook hiervoor wordt energiegebruik in rekening gebracht.

isolatielagen (isolerende binnenmuursteen of Thermoputz, een isolatiepleister van styreen-korrels met bindmiddel¹⁴).

Aangezien het enkel glas de laagste isolatiewaarde heeft is het nodig om te onderzoeken of het mogelijk is om dubbel glas toe te passen in de vorm van vacuüm-glas, dubbel glas met smalle spouw of glas aan de binnenzijde. De spouw kan hierbij ook als luchttoe- of afvoer worden benut.

De locatie van het gebouw en de gevel is van invloed op de keuze van het ventilatiesysteem. Bij een sterk geluidsbelaste gevel kan het voordelig zijn te kiezen voor gebalanceerde mechanische ventilatie indien de keuze voor suskasten geen optie is.

Fasering

Alle beschouwde varianten kunnen worden toegepast, ondanks de fasering van de realisatie. Vooral bij collectieve installaties vraagt fasering van de aanleg veel aandacht en dit moet goed aansluiten op de periode van (ver)bouw van de woningen of er moeten tijdelijke voorzieningen kunnen worden getroffen. In dat geval kan door de TU-Delft wellicht tijdelijk warmte worden geleverd. Het is altijd mogelijk tijdelijk warmte te leveren met een gasketel, mogelijk de bestaande ketels.

Bij collectieve systemen moeten gedetailleerde afspraken worden gemaakt met de distributeur van warmte m.b.t. leidingaanleg en capaciteit van de warmteleverantie.

Flexibiliteit

Flexibiliteit wordt hier onderverdeeld in een aantal aandachtspunten:

- Planning

Bij individuele warmteopwekking is de mate van flexibiliteit in de plannen en planning groot. Duidelijk moet zijn of gas en elektriciteit of alleen elektriciteit wordt geleverd.

- Warmtevraag

In het geval van een collectief net moet een uitspraak worden gedaan welke woningen wel en welke niet worden aangesloten. Dit is van invloed op de dimensionering van leidingen. Rekening moet daarbij worden gehouden met een mogelijk hoge warmtevraag voor ruimte- en warmtapwaterverwarming. De piek van de warmtevraag hangt af van de doelgroep (CW-klasse warm tapwater), de mate van isolatie van het gebouw en het gekozen ventilatiesysteem.

- Aanvoertemperatuur

¹⁴ Dit is toegepast bij de restauratie van het Begijnhof in Amsterdam.

Een hogere aanvoertemperatuur zoals de 70°C bij het warmtenet geeft een zekere vrijheid bij monumenten om minder te isoleren dan het Bouwbesluit nodig maakt (mocht dat niet anders kunnen) en draagt bij aan de flexibiliteit van het ontwerp.

- Functiewijziging

Indien er door functiewijziging in de bouwopgave een grote vraag naar koeling zou ontstaan is een systeem met energieopslag en warmtepompen in het voordeel.

5.6. Omgeving

Toepassing van een warmtenet of warmtepompen heeft als voordeel dat er geen emissies van NO_x, SO₂ en zure lucht in de omgeving van de gebouwen is. Uitstoot van rookgassen is er zowel bij individuele als collectieve ketels.

Bij toepassing van warmtepompen is aandacht voor beperking van geluid belangrijk.

5.7. Vergelijkingsmatrix

De differentiatie per gebouw(en)complex wordt op hoofdlijnen aangegeven. Onderscheid wordt gemaakt tussen nieuwbouw, volledig gerenoveerde oudbouw, oudbouw met beperkte isolatie en bestaande bouw.

Tabel 5: Indeling gebouwen in categorie		m ² b.v.o.
305 Voormalige brandweer	Nieuwbouw	2.000
306 Botaniehof	Nieuwbouw	11.000
? Hotel	Nieuwbouw	3.000
308 Mijnbouwplaats	Nieuwbouw	6.000
309 Voorm. Scheikunde Propedeuse	Nieuwbouw/Restauratie	11.500
310 Voorm. Rode Scheikunde: uitbr.	Nieuwbouw	3.300
311 Voorm. Rode Scheikunde	Nieuwbouw	9.900
313 Voorm. Gele Scheikunde	Nieuwbouw	33.670
302 Studenten voorm. Dish Hotel	Renovatie	2.750
303 International Student House	Renovatie	1.700
? Kanaalweg 3b	Renovatie	5.425
300 Congreshotel	Restauratie	3.000
307 Voorm. Technische Physica	Restauratie	7.200
314 Voorm. Technische Aardweten.	Restauratie	8.214
315 Voorm. Technische Aardweten.	Restauratie	8.214
301 Dynamohal	Restauratie	900
317 Horeca (ketelhuis)	Restauratie	800
312 Voorm. Rode Scheikunde	Restauratie	25.000
304 Geodesiegebouw	Bestaand	<u>2.485</u> +
		146.059

Het totale oppervlak b.v.o kan op de volgende wijze worden ingedeeld:

Nieuwbouw	80.370 m ²
Renovatie	9.875 m ²
Renovatie met beperkingen monument	55.814 m ²

In principe maakt het niet uit of er sprake is van nieuwbouw of renovatie zodra wat betreft de isolatie van de schil van de woning aan het Bouwbesluit wordt voldaan, zodat dit onderscheid verder niet wordt uitgewerkt.

Wel is het van belang of er sprake is van een monument met beperkte mogelijkheden tot isolatie of van bestaande bouw. In het geval van beperkte isolatie wordt het toepassen van laagtemperatuurverwarming moeilijker en is dit kostenverhogend. Als bij bestaande bouw de installatie niet op laagtemperatuurverwarming is uitgelegd heeft het weinig zin dit toe te passen.

Er is een vergelijkingsmatrix is opgesteld (tabel 6) waarin de al eerder besproken varianten worden vergeleken. Uitgegaan is van 55% nieuwbouw (ruimtehoogte 2,6 m) en 45% renovatie (ruimtehoogte 5 m), natuurlijke toevoer en mechanische afvoer en vrije koeling met buitenlucht.¹⁵

Tabel 6: Vergelijking opwekkingsvarianten

1. Referentie HR107-ketel, een warmtepompboiler, R_c -gevel 2,5 m²K/W en HR⁺⁺-glas.
 2. Een variant met individuele energiebesparing met een HR107-ketel (zonneboilercombi), een R_c van de schil van de woning van 5 i.p.v. 2,5 m²K/W, een warmtepompboiler en een zonnecollector van 4 m².
 3. Individuele warmtepompen, energieopslag in de bodem en warmteonttrekking uit de Schie.
 4. Een warmtenet gevoed door een gasmotor gedreven warmtepomp.
- De investering opwekking zijn de kosten van het systeem omgeslagen over de aansluitingen, wat door de warmteleverancier zou kunnen worden omgezet in een vergelijkbare aansluitbijdrage. Bij de varianten 1 en 2 is de investering opwekking inclusief de aansluitbijdrage t.b.v. het gasnet.

¹⁵ In bijlage V wordt ook het energetische effect van woningen met HR-warmteterugwinning weergegeven. De EPL-waarde ligt in dat geval 0,3 hoger voor de collectieve vormen van warmte-energieopwekking.

			Variant	1	2	3	4
			Omschrijving	HR + WPB	ZBC + WPB	EO + WP	WN
Energie	EPC	[-]		0,76	0,65	0,63	0,54
	EPL	[-]		6,1	6,5	6,6	6,9
	NO _x uitstoot	g/jr/woning		389	340	295	238
	CO ₂ uitstoot	kg/jr/woning		1.258	1.101	956	769
	energiegebruik	MJ/m2		288	252	219	176
Financieel	investering opwekking	[euro/jr/woning]		€ 6.000	€ 10.000	€ 4.700	€ 4.310
	meer- of minderinvestering	[euro/jr/woning]		€ -	€ 4.000	€ 1.300	€ 1.690
	energiekosten W + TW bewoner (NMDA)	[euro/jr/woning]		€ 682	€ 630	€ 682	€ 682
	werkelijke energiekosten W + TW opwekking	[euro/jr/woning]		€ 682	€ 630	€ 510	€ 180
	voordeel bewoner	[euro/jr/woning]		€ -	€ 215	€ -	€ -
	budget voor beheer en risico exploitant	[euro/jr/woning]		€ -	€ -	€ 173	€ 500
Functioneel	ruimtegebruik in woning	[-]		-	-	-	+
	comfort (binnentemperatuur)	[-]		-	-	++	-
	flexibiliteit	[-]		+	+	0	-
	faseerbaarheid	[-]		++	++	-	-
	betrouwbaarheid	[-]		++	++	+	+
	leveringszekerheid	[-]		++	++	+	+
Beheer	onderhoudbaarheid	[-]		++	++	+	++
	keuzevrijheid afnemers	[-]		+	+	-	-
	uitbesteding	[-]		0	0	+	++
Omgeving	infrastructuur	[-]		+	+	-	-

Toelichting: HR = Hoog Rendement Ketel
 WPB = Warmtepompboiler
 ZBC = Zonneboilercombi
 EO = Energieopslag
 WP = warmtepomp
 WN = warmtenet

Kleurgebruik vergelijkingsmatrix

 is beter dan  is beter dan 

- Een EPL-ambitie van 7,5 is met natuurlijke toevoer niet haalbaar. Een EPL-waarde van 6,9 is in dat geval het hoogste niveau dat met een warmtenet wordt bereikt.
- Een warmtenet levert de beste EPL-prestatie, maar het ontbreken van leverantie van koude moet voor het comfort als een nadeel worden gezien. Als actieve koeling in het plan wordt opgenomen wordt de EPL daarbij lager en de meerinvestering hoger.¹⁶
- De opgeven kosten van het warmtenet worden door ons geraamd op 4.310,- Euro per woning, inclusief individuele meters in de woning en distributienet in het TU-noordgebied.

¹⁶ Bij toepassing van een compressiekoelmachine i.p.v. vrije koeling. Proper Stok heeft al aangegeven koeling in de woning te overwegen.

- Uit de vergelijking van varianten blijkt dat het met economische individuele oplossingen voor zowel nieuw- als oudbouw niet goed mogelijk is om een EPL-waarde van ca. 7 te realiseren.

6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Algemeen

- Bij toepassing van een warmtenet is een EPL van 6,9 - 7,2 haalbaar, afhankelijk van het ventilatieprincipe van de woningen, zonder aanvullende bouwkundige voorzieningen boven het Bouwbesluitniveau. Deze vorm van energieleverantie levert de meeste energiebesparing op tegen de laagste kosten en heeft daarom de voorkeur.
Een belangrijk bijkomend voordeel van dit systeem is de relatief hoge aanvoertemperatuur van 70°C (MTV), waarbij er meer opties zijn bij verwarming van monumenten t.o.v. 45°C (LTV) en waarmee op een economische wijze warmtapwater kan worden geleverd.
- Bij toepassing van energieopslag, warmteonttrekking uit de Schie en warmtepompen is een EPL van 6,6 – 6,9 haalbaar, afhankelijk van het ventilatieprincipe. Ruimtekoeling is met dit systeem eveneens mogelijk. Een lokaal warmtenet met gasmotor gedreven warmtepompen is hierbij een mogelijke uitvoeringsvariant.
- Bij toepassing van individuele oplossingen (meer isolatie, een zonnecollector en een warmtepompboiler) is een gemiddelde EPL van 6,5 – 6,6 haalbaar, afhankelijk van het ventilatieprincipe. Wat kosteneffectiviteit betreft zijn collectieve vormen van energieopwekking gunstiger.

Gebouwen

- Bij de bestaande te renoveren of te restaureren gebouwen is het uitgangspunt dat voldaan wordt aan het Bouwbesluit. Voor zover dit niet haalbaar is moet wordt gestreefd naar een zo hoog mogelijk isolatieniveau en goede kierdichting teneinde de gebouwen nog met een collectief verwarmingssysteem (MTV) te kunnen verwarmen.

Warmtelevering

- Voordelen voor de bestaande bouw van een warmtenet zijn:
 - o De bestaande bouw is aangewezen op hoge temperatuurverwarming, hetgeen alleen met een individueel systeem of met een warmtenet kan worden gerealiseerd.

- Een warmtenet leidt tot een grote besparing, die vooral voor de monumenten niet op andere wijze kan worden gerealiseerd.
 - Een warmtenet leidt tot een minimum aan of tot het vervallen van ruimtebeslag en voorzieningen in de appartementen (opstelplaats, rookgasafvoer, etc.).
 - Een collectief systeem past bij studentenhuysvesting. Warmtepompen zijn minder geschikt voor warmtapwaterbereiding en een hoog gebruik. Het warmtenet doet dit goed.
-
- Indien door de ontwikkelaars wordt gekozen voor aansluiting op het warmtenet is het gewenst dat de diverse ontwikkelaars een intentieverklaring ondertekenen om deel te nemen aan het warmtenet. Hierbij is voor elke ontwikkelaar het niet-meer-dan-anders-principe voor kosten van aansluiting en energie het uitgangspunt. Aan de ontwikkelaars moet daarbij door de warmteleverancier de zekerheid van tijdige beschikbaarheid van warmte worden gegarandeerd.
 - De gemeente moet een kwaliteitsverklaring opstellen t.b.v. de energieprestatiewaardering van het warmtenet in de EPC-berekening voor nieuwe bouwvergunningaanvragen.

BIJLAGEN

I: TOELICHTING EPL-METHODIEK EN RELATIE MET EPC

Teneinde te voldoen aan het ambitieniveau van de Gemeente Delft m.b.t. de EPL-waarde van 7,5 is een lagere EPC voor de woningen nodig dan 0,8.

Het resultaat van de EPL-berekening de EPL-score is een maat voor verbruik van fossiele brandstoffen voor een hele bouwlocatie inclusief de energievoorziening die voor en/of in deze locatie is aangelegd. Hierbij geldt: hoe hoger de EPL-score, des te lager het verbruik. De EPL kent een schaal van 0 tot 10, waarbij 10 staat voor een ideaalsituatie waarbij geen fossiele brandstoffen meer worden gebruikt.

Rekenmethode

De EPL-score wordt als volgt berekend:

$$EPL_{bb} = EPL_{nb} = 10 - 4 \cdot \frac{B_{locatie, keuze}}{B_{locatie, referentie}}$$

$B_{locatie, keuze}$ = brandstofverbruik van een locatie met een bepaalde keuze voor energievoorzieningen;

$B_{locatie, referentie}$ = referentie brandstofverbruik van een locatie.

waarin:

$$B_{gebouw} = E_{elektriciteitsvraag} * C_{elektriciteit} + E_{warmtevraag} * C_{warmte} + E_{gasvraag} * C_{warmte}$$

E_x = energievraag voor energiedrager x (gas, elektrisch, warmte).

C_x = correctiefactor van energiedrager x.

Energievraag (E_x)

De energievraag van de wijk wordt bepaald uit de energiegebruiken per gebouw (EPC-waarde + gebouwgebonden energiegebruik). Daarnaast wordt rekening gehouden met het energiegebruik voor straatverlichting en bemaling (forfaitaire waarden uit de EPL: 0,54 GJ/woning per jaar).

Voor (gebouwgebonden) huishoudelijk elektriciteitsgebruik (wasmachines, e.d.) moet rekening worden gehouden met 2.015 kWh = 18.598 MJ (referentie Greencalc⁺).

Correctiefactor (C_x)

C_x is de correctiefactor van energiedrager x. Deze factor corrigeert het brandstofverbruik van de betreffende energiedrager. Niet elke energiedrager heeft dezelfde brandstofinhoud. Deze C-factor is afhankelijk van het type drager, de distributieverliezen en de productiewijze. Voor energie afkomstig uit duurzame bronnen zoals wind, zon, biomassa, etc. heeft deze factor de waarde 0.

De volgende C-factoren worden gehanteerd:

Tabel 7: Overzicht C-factoren EPL-berekening

<i>Energiedrager</i>	<i>C-factor</i>
Elektriciteit	
best beschikbare techniek	29,9
duurzame bronnen	0
Anders	eigen waarde
Gas	
Aardgas	15
ecogas ¹ uit duurzame bronnen	0
Anders	eigen waarde
Warmte	
WK-STEg 250 MW _e	6
WK-STEg 50 MW _e	11
AVI	9
kolencentrale met restwarmte-benutting	14
Gasmotor	13
elektrische warmtepomp	11
elektrische warmtepomp op duurzaam	0
opgewekte elektriciteit	
biomassa WK-installatie	0
grootschalige zonneboilers	1
grootschalige zonneboilers met duurzaam	0
opgewekte elektriciteit	
Anders	eigen waarde

¹ ecogas is waterstof dat met minimale CO₂-emissies naar de lucht uit duurzame bronnen is geproduceerd.

Meer informatie over EPL en het OEI-rekenmodel is vinden op
<http://www.senternovem.nl/gemeenten>

Om een EPL van 7,5 te realiseren is een EPC van maximaal ca. 0,39 nodig indien de wijk voornamelijk uit woningen bestaat en er geen duurzame energieopwekking op wijkniveau is. Tot eind 2005 volstond een EPC van maximaal ca. 0,49 om een EPL van 7,5 te realiseren maar door de verlaging van de EPC van woningen van 1 naar 0,8 stijgt ook de EPC-eis (het referentieniveau is veranderd). In het projectteam moet worden overlegd in hoeverre een lagere EPL-score dan 7,5 acceptabel is en welke dat is.

II: EPN-ANALYSE: VARIANT 1 - REFERENTIE

Referentiewoning van 100 m² voor oudbouw en nieuwbouw

Nagegaan is wat nodig voor een appartement van 100 m² met om de vereiste EPC van 0,8 te halen. Eerst is een woning met mechanische toe- en afvoer met warmteterugwinning vergeleken met een woning met natuurlijke toevoer en mechanische afvoer.

Weergegeven wordt wat de uitgangspunten zijn van de nieuwbouw en oudbouw referentiewoning met gebalanceerde mechanische ventilatie en warmteterugwinning:

Bouwkundig

Transmissie

- Gevel op het noorden en het zuiden (2 x 50 m²) met 50% glas:
 - o R_c-gevel = 2,5 m²K/W
 - o U-raam (HR⁺⁺ + houten kozijn) = 1,6 W/m²K
 - o Glaspercentage 50%
 - o Buitenzonwering op het zuiden
- Dak met een oppervlak van 100 m²: R_c-dak = 4,0 m²K/W

Infiltratie

50 dm³/s bij 10 Pa (klasse 2 NEN2686, dubbele naad- en kierdichting)¹⁷

Thermische capaciteit

Traditioneel, gemengd zwaar

Verwarming

- HR-107-ketel (ventilator, elektronica, circulatiepomp, pompregeling)
- Laagtemperatuurverwarming
- Vloer- en/of wandverwarming

Warmtapwater

- Warmtepompboiler (opwekkingsrendement 143%)
- Forfaitaire leidinglengtes, leidingdiameter < 10 mm

¹⁷ Aanbevolen waarde volgens de NEN 5128, maart 2004.

- CW-klasse 4 (maximum CW-klasse in de EP)¹⁸

Ventilatie

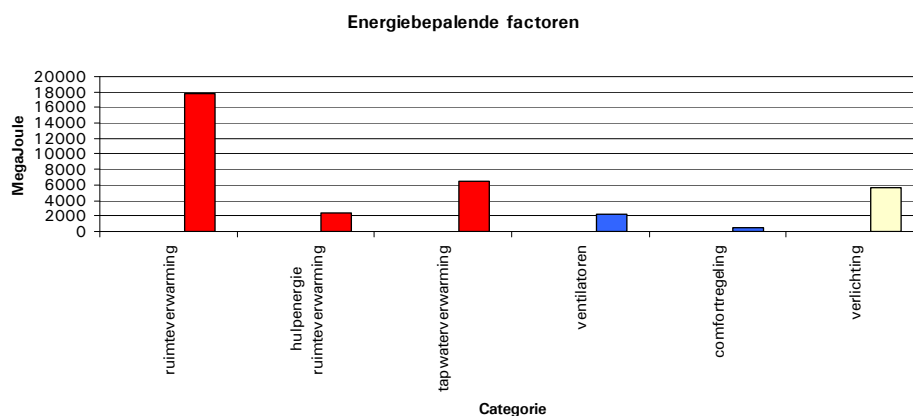
- Natuurlijke toevoer
- Gelijkstroomventilatoren

Koeling

- Vrije koeling

Resultaat

Het resultaat van de berekening is dat met deze uitgangspunten er voor de nieuwbouw, met warmteterugwinning bij ventilatielucht, een EPC-waarde van maximaal 0,80 wordt geleverd. Benodigd is voor de nieuwbouw 348 MJ/m², waarvan de warmtevraag 288 MJ/m² is (inclusief pompenergie). In de volgende figuur is weergegeven hoe deze energie is verdeeld:



Figuur 15: Verdeling energieposten bij de nieuwbouw-referentiewoning van 100 m².

Duidelijk zichtbaar is dat ruimteverwarming de grootste verliespost is. Bij woningen met gebalanceerde mechanische ventilatie met HR-warmteterugwinning, zonder warmtepomp-boiler, is tapwaterverwarming de grootste verliespost.

¹⁸ In de aanbesteding van het warmtenet is een CW-klasse van 3 aangehouden, met een mogelijkheid om de capaciteit van de levering van warm tapwater uit te breiden tot CW-klasse 6.

Conclusie

Het blijkt dat ook voor de bestaande bouw en een ruimtehoogte van 5 m met bovengenoemd pakket de EPC van 0,80 kan worden gerealiseerd.

Gevoeligheidsanalyse grootte woning

Nagegaan is wat de invloed is van de grootte van de woning op het energiegebruik. De referentiewoning is verkleind van 100 m² (noord-zuidoriëntatie) verkleind naar 50 m² (noord-zuidoriëntatie) of 25 m² (studentenkamer oriëntatie noord of zuid).

Conclusie

De invloed van de grootte blijkt verwaarloosbaar te zijn, behalve bij kleine wooneenheden op het noorden.

Vergelijking ventilatiesystemen en vermogen

Onderscheid wordt gemaakt tussen:

- A. Woningen met gebalanceerde mechanische ventilatie en warmteterugwinning.
- B. Woningen met natuurlijke toevoer en mechanische afvoer.

Het maakt voor het energiegebruik, het benodigde verwarmingsvermogen en de warmwatertemperaturen veel uit of wordt gekozen voor een ventilatiesysteem met warmteterugwinning of niet. Ook spelen bewonersvoorkeuren, onderhoud en luchtkwaliteit een rol.

Bij de keuze voor een bepaald ventilatiesysteem is het belangrijk om weten wat van invloed is op het benodigde verwarmingsvermogen en de temperaturen van het verwarmingswater. Van invloed zijn:

1. transmissiewarmteverlies
2. ventilatiewarmteverlies
3. infiltratiewarmteverlies
4. warmteverlies naar de burens (zekerheidsklasse A)
5. opwarmtoeslag

Indien de factoren 1 t/m 4 worden meegewogen ontstaat het volgende beeld:

Tabel 8: Vergelijking vermogens per m² voor variantoplossingen

	WTW	Natuurlijke toevoer
2,6 m hoge verblijfsruimten ¹⁹	46 W/m ²	66 W/m ²
5 m hoge verblijfsruimten	61 W/m ²	81 W/m ²
5 m hoge verblijfsruimten (beperkte isolatie) ²⁰	108 W/m ²	128 W/m ²

De genoemde vermogens zijn niet bepalend voor de keuze voor de besproken opwekkingsvarianten, deze zijn overal toepasbaar.

Bij woningen met gebalanceerde mechanische ventilatie met warmteterugwinning is het mogelijk om een lichte overdruk toe te passen, waardoor er minder warmteverlies door infiltratie is.

Indien laag temperatuurverwarming (LTV, $\leq 55^{\circ}\text{C}$) wordt toegepast in een beperkt geïsoleerd monument is wel meer oppervlak aan verwarming nodig. Het is dan vaak niet meer mogelijk om de ruimte alleen met vloerverwarming op temperatuur te houden. Een belangrijke mede bepalende factor is hierbij de mate van kierdichting. Indien de stalen ramen niet worden voorzien van extra ramen aan de binnenzijde is een q_{v10} -waarde van lager dan 50 dm³/s moeilijk haalbaar, waardoor het moeilijk is om LTV toe te passen.

Bij monumenten is toepassing van een middentemperatuur systeem (MTV, 70°C)²¹ zoals het warmtenet gunstiger omdat dan ook kleinere convectoren kunnen worden toegepast en aanwezige ledenradiatoren zouden mogelijk kunnen worden hergebruikt.

¹⁹ Uitgegaan van zeer goede kierdichting ($q_{v10} < 50 \text{ dm}^3/\text{s}$). Bij gebalanceerde ventilatie wordt verondersteld dat de infiltratie extra klein is door lichte overdruk.

²⁰ Uitgegaan wordt van goede kierdichting ($q_{v10} < 100 \text{ dm}^3/\text{s}$).

²¹ De EPN kent alleen laag- en hoogtemperatuursystemen, waarbij 55°C de grens is.

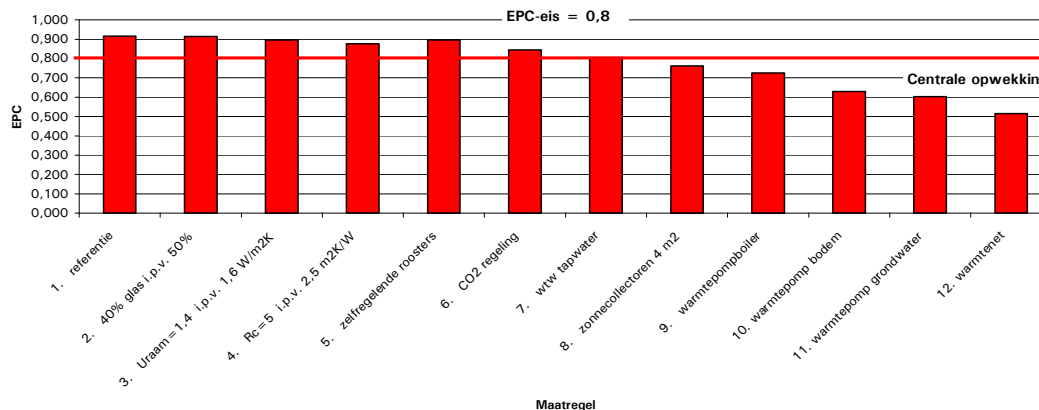
III: EPN-ANALYSE: VARIANTEN 3 EN 4 EN INVLOED PER MAATREGEL

Met is EPN berekeningen is nagegaan wat het effect is van verschillende maatregelen.

De besproken vier energievarianten zijn afgeleid uit deze EPN-berekeningen.

Tabel 9: Nieuwbouw, natuurlijke toevoer en mechanische afvoer. Vrije hoogte verblijfsgebied 2,6 m.

			EPC	
Individuele voorzieningen energiebesparing	Bouwkundig	1. referentie	0,916	meerdere maatregelen nodig
	Bouwkundig	2. 40% glas i.p.v. 50%	0,914	
	Bouwkundig	3. $U_{raam} = 1,4$ i.p.v. $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$	0,895	
	Bouwkundig	4. $R_g = 5$ i.p.v. $2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$	0,876	
	Ventilatie	5. zelfregelende roosters	0,895	
	Ventilatie	6. CO_2 regeling	0,845	
Individuele voorziening	Warmtapwater	7. wtw tapwater	0,806	
	Warmtapwater	8. zonnecollectoren 4 m^2	0,762	
	Warmtapwater	9. warmtepompboiler	0,726	
	Warmteopwekking	10. warmtepomp bodem	0,630	
	Warmteopwekking	11. warmtepomp grondwater	0,604	
	Warmteopwekking	12. warmtenet	0,515	
Centrale voorzieningen				



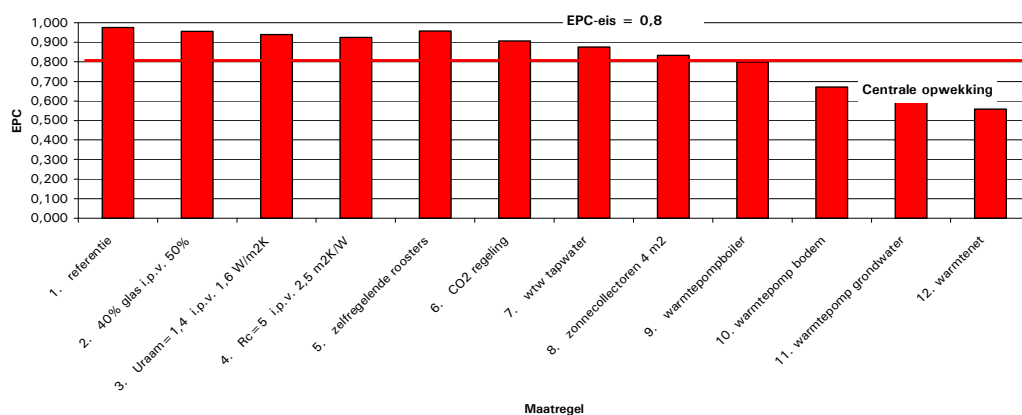
Figuur 16: Effect energiebesparende maatregelen en warmteopwekking nieuwbouw met natuurlijke luchttoevoer

Conclusie

Uit bovenstaande gegevens blijkt dat bij een appartement (referentie) van 2,6 m hoog met natuurlijke toe- en mechanische afvoer geen EPC van 0,8 kan worden gerealiseerd. Er zijn meerdere maatregelen nodig of er moet een warmtepompboiler of zonnecollector worden toegepast.

Tabel 10: Renovatie, natuurlijke toe- en mechanische afvoer. Vrije hoogte verblijfsgebied 5 m.

			EPC	
Individuele voorzieningen energiebesparing	Bouwkundig	1. referentie	0,976	meerdere maatregelen nodig
	Bouwkundig	2. 40% glas i.p.v. 50%	0,956	
	Bouwkundig	3. $U_{raam} = 1,4$ i.p.v. $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$	0,940	
	Bouwkundig	4. $R_c = 5$ i.p.v. $2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$	0,926	
	Ventilatie	5. zelfregelende roosters	0,958	
	Ventilatie	6. CO_2 regeling	0,908	
	Warmtapwater	7. wtw tapwater	0,876	
	Warmtapwater	8. zonnecollectoren 4 m^2	0,833	
Individuele voorziening	Warmteopwekking	9. warmtepompboiler	0,799	Centrale opwekking
	Warmteopwekking	10. warmtepomp bodem	0,671	
Centrale voorzieningen	Warmteopwekking	11. warmtepomp grondwater	0,641	
	Warmteopwekking	12. warmtenet	0,558	



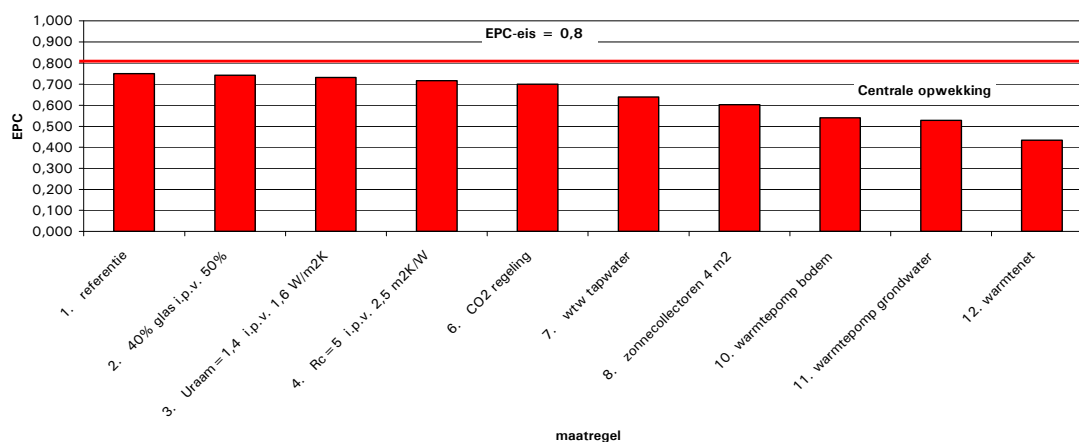
Figuur 17: Effect energiebesparende maatregelen en warmteopwekking renovatie met natuurlijke luchttoevoer

Conclusie

Uit bovenstaande gegevens blijkt dat bij een appartement (referentie) van 5 m hoog met natuurlijke toevoer en mechanische afvoer niet aan de EPC-eis van 0,8 kan worden voldaan. Er zijn meerdere maatregelen nodig of er moet een warmtepompboiler worden toegepast.

Tabel 11: Nieuwbouw, mechanische toe- en afvoer en HR-warmteterugwinning. Vrije hoogte verblijfsgebied 2,6 m.

			EPC
Individuele voorzieningen energiebesparing	Bouwkundig	1. referentie	0,749
	Bouwkundig	2. 40% glas i.p.v. 50%	0,742
	Bouwkundig	3. $U_{\text{raam}} = 1,4$ i.p.v. $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$	0,731
	Bouwkundig	4. $R_o = 5$ i.p.v. $2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$	0,716
	Ventilatie	6. CO_2 regeling	0,699
	Warmtapwater	7. wtw tapwater	0,639
	Warmtapwater	8. zonnecollectoren 4 m^2	0,602
	Warmteopwekking	10. warmtepomp bodem	0,539
Individuele voorziening	Warmteopwekking	11. warmtepomp grondwater	0,527
Centrale voorzieningen	Warmteopwekking	12. warmtenet	0,434



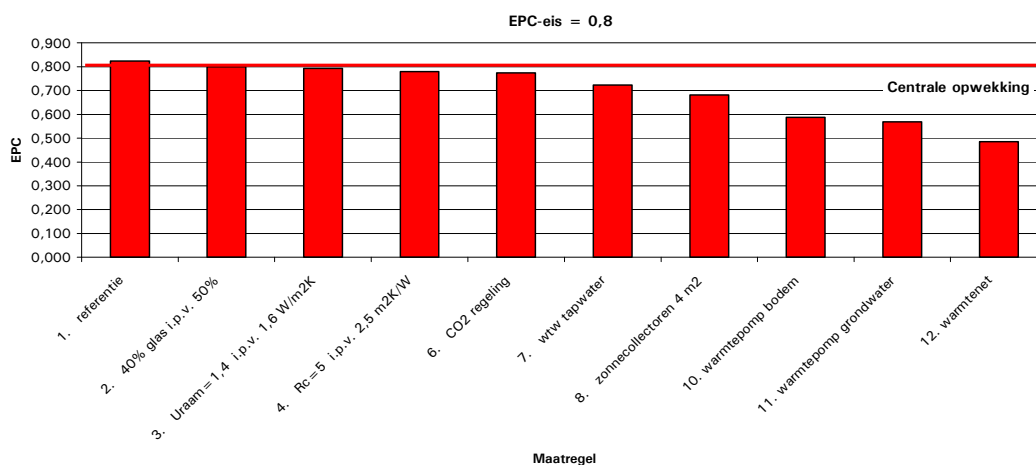
Figuur 18: Effect energiebesparende maatregelen en warmteopwekking nieuwbouw met ventilatie met warmteterugwinning

Conclusie

Uit bovenstaande gegevens blijkt dat bij een appartement (referentie) van 2,6 m hoog met gebalanceerde ventilatie en HR-warmteterugwinning ruim aan de EPC-eis van 0,8 kan worden voldaan.

Tabel 12: Renovatie, mechanische toe- en afvoer en HR-warmteterugwinning. Vrije hoogte verblijfsgebied 5 m.

			EPC
Individuele voorzieningen energiebesparing	Bouwkundig	1. referentie	0,824
	Bouwkundig	2. 40% glas i.p.v. 50%	0,799
	Bouwkundig	3. $U_{\text{raam}} = 1,4$ i.p.v. $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$	0,793
	Bouwkundig	4. $R_o = 5$ i.p.v. $2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$	0,780
	Ventilatie	6. CO_2 regeling	0,774
	Warmtapwater	7. wtw tapwater	0,724
	Warmtapwater	8. zonnecollectoren 4 m^2	0,681
	Warmteopwekking	10. warmtepomp bodem	0,588
Individuele voorziening	Warmteopwekking	11. warmtepomp grondwater	0,569
Centrale voorzieningen	Warmteopwekking	12. warmtenet	0,485



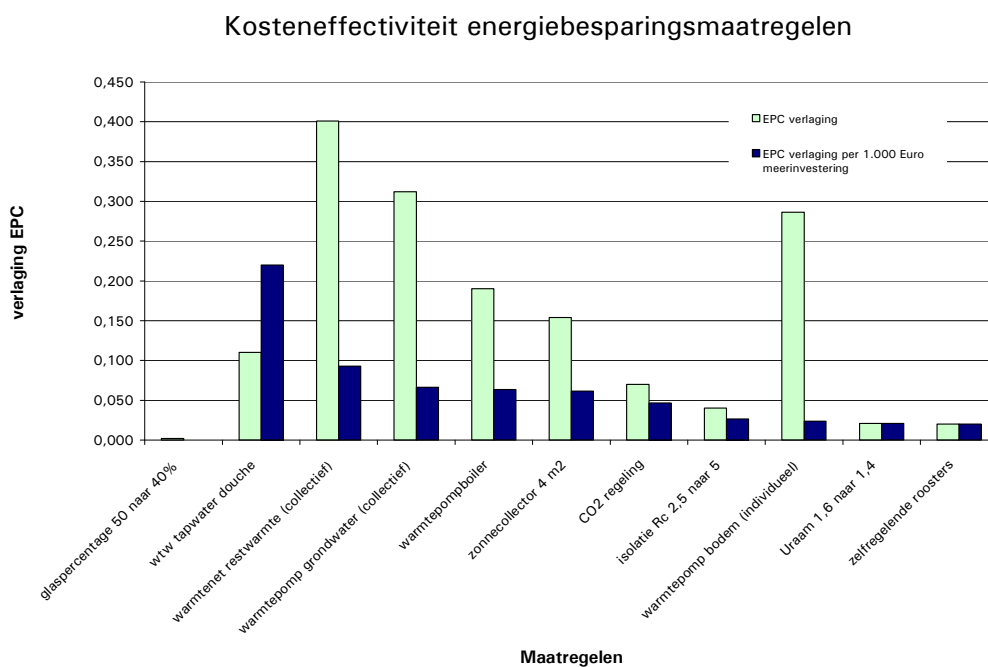
Figuur 19: Effect energiebesparende maatregelen en warmteopwekking renovatie met ventilatie met warmteterugwinning

Conclusie

Uit bovenstaande gegevens blijkt dat bij een appartement (referentie) van 5 m hoog met gebalanceerde ventilatie en HR-warmteterugwinning vrijwel aan de EPC-eis van 0,8 kan worden voldaan.

IV: KOSTENEFFECTIVITEIT INDIVIDUELE ENERGIEBESPARENDE MAATREGELEN

Weergegeven wordt de kosteneffectiviteit per energiebesparingsmaatregel bij woningen met natuurlijke luchttoevoer ten opzichte van een referentiewoning zonder warmtepomp-boiler.



Figuur 20: Weergave kosteneffectiviteit maatregelen

Tabel 13: Weergave meerinvestering in relatie tot de EPC-verlaging

referentie	EPC verlaging	EPC verlaging per 1.000 Euro meerinvestering
7 wtw tapwater douche	0,110	0,220
12 warmtenet restwarmte (collectief)	0,401	0,093
11 warmtepomp grondwater (collectief)	0,312	0,066
9 warmtepompboiler	0,190	0,063
8 zonnecollector 4 m2	0,154	0,062
6 CO2 regeling	0,070	0,047
4 isolatie Rc 2,5 naar 5	0,040	0,027
10 warmtepomp bodem (individueel)	0,286	0,024
3 Uraam 1,6 naar 1,4	0,021	0,021
5 zelfregelende roosters	0,020	0,020

Uit bovenstaande energiebesparings/investeringsanalyse blijkt dat een warmtenet, een warmtepompboiler, een warmtepomp op het grondwater en een zonnecollector relatief gunstig scoren wat betreft prijs/prestatieverhouding.

Warmteterugwinning van tapwater bij de douche scoort het gunstigst. Hoewel hier nog geen officiële waardering voor in de EPN is, kan wel worden gerekend met een gelijkwaardigheidsverklaring. Het is met deze maatregel alleen niet mogelijk om de vereiste EPC- te halen bij renovatie. Daarom is bij de te vergelijken varianten gekozen voor de warmtepompboiler.

(Electronische) zelfregelende roosters en een CO₂-regeling zijn minder gunstig. Dit geldt ook voor verhoging van het isolatieniveau of een individuele warmtepomp per woning met een bodemwarmtewisselaar. Aangezien een verhoging van het isolatieniveau al door de diverse partijen wordt overwogen is deze optie wel meegenomen in het pakket van variant 2.

Aanpassing van het glaspercentage van 50 naar 40% heeft weinig invloed op de EPC. Het voordeel van een beter isolerend kozijn met een U-waarde van 1,8 i.p.v. 2,4 W/m²K is beperkt. De meerkosten worden bepaald door de materiaalkeuze (hardhout, kunststof) en detaillering en kunnen mogelijk ook door verminderd onderhoud worden terugverdiend.

V: VERGELIJKINGSMATRIX VENTILATIE- EN OPWEKKINGSVARIANTEN

Vergeleken zijn woningen met gebalanceerde mechanische ventilatie en HR-warmteterugwinning en woningen met natuurlijke toevoer en mechanische afvoer (tabel 11). De referentiewoning met gasketel is hierbij daarnaast vergeleken met woningen met drie vormen van warmteopwekking. Bij het opstellen van de energetische vergelijking is het uitgangspunt dat 55% nieuwbouw en 45% renovatie is, waarbij de te renoveren gebouwen wat isolatieniveau betreft het Bouwbesluitniveau halen. In de na de tabel weergegeven figuren wordt verduidelijkt wat de invloed is van de diverse maatregelen op de EPL- en EPC-waarde.

Tabel 14: Energetische vergelijking opwekkingsvarianten (isolatie Bouwbesluitniveau).

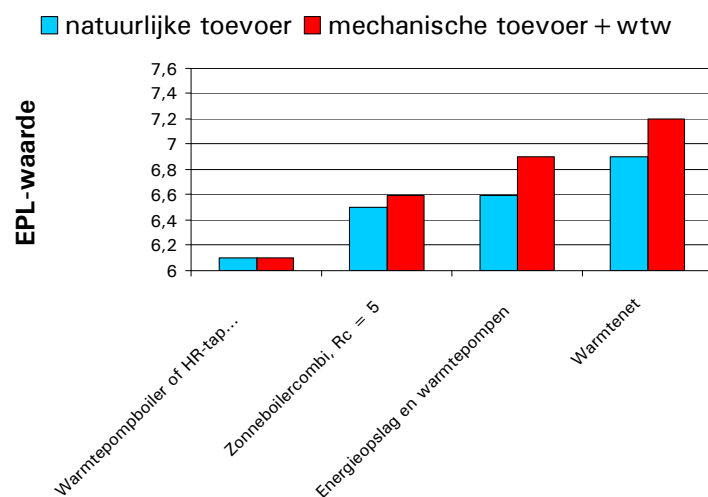
- Referentievariant met een hoogrendementsketel en indien nodig ook een warmtepompboiler = HR of HR + WPB
- Variant met daarbij individuele maatregelen, verbeterde isolatie en een zonnecollector, = HR + WPB + Rc + zon of HR = Rc + zon
- Variant warmtepompen + energieopslag = EO + WP
- Variant warmtenet = WKK + WP

1. Natuurlijke ventilatie						2. Gebalanceerde ventilatie					
Energie en vermogensvraag											
tapwaterverwarming woning	MJ/m2	92				MJ/m2	92				
wijkenergievraag tapwater	MWh	3.067				MWh	3.067				
ruimteverwarming woning	MJ/m2	219				MJ/m2	124				
wijkenergievraag ruimteverw.	MWh	7.288				MWh	4.127				
wijkenergievraag totaal	MWh	10.355				MWh	7.193				
vermogen woning	Wth/m2	73				Wth/m2	55				
vermogen wijk	MWth	8,7				MWth	6,6				
Primaire energieopwekking		HR + WPB	HR + WPB + Rc + zon	EO + WP	WKK + WP			HR	HR + Rc + zon	EO + WP	WKK + WP
Energetische vergelijking											
tapwater	MJ/m2	64	64	99	53	MJ/m2	155	94	99	53	
	GJ	7.712	7.712	11.880	6.372	GJ	18.600	11.245	11.880	6.372	
	MWh	2.142	2.142	3.300	1.770	MWh	5.167	3.124	3.300	1.770	
ruimte	MJ/m2	224	188	120	123	MJ/m2	127	101	68	70	
	GJ	26.910	22.587	14.414	14.791	GJ	15.237	12.084	8.219	8.421	
	MWh	7.475	6.274	4.004	4.109	MWh	4.233	3.357	2.283	2.339	
totaal	GJ	34.623	30.300	26.294	21.163	GJ	33.837	23.329	20.099	14.793	
	MWh	9.617	8.417	7.304	5.879		9.399	6.480	5.583	4.109	
varianten		HR + WPB	HR + WP + Rc + zon	EO + WP	WKK + WP			HR	HR + Rc + zon	EO + WP	WKK + WP
primair rendement		tapwater	143%	143%	93%	173%	tapwater	59%	98%	93%	173%
		ruimte	55%	66%	103%	100%		98%	123%	181%	176%
		totaal	75%	85%	98%	122%	totaal	110%	111%	185%	252%
EP	EPC	0,76	0,65	0,63	0,54	EPC	0,77	0,62	0,55	0,46	
	EPL	6,1	6,5	6,6	6,9	EPL	6,1	6,6	6,9	7,2	

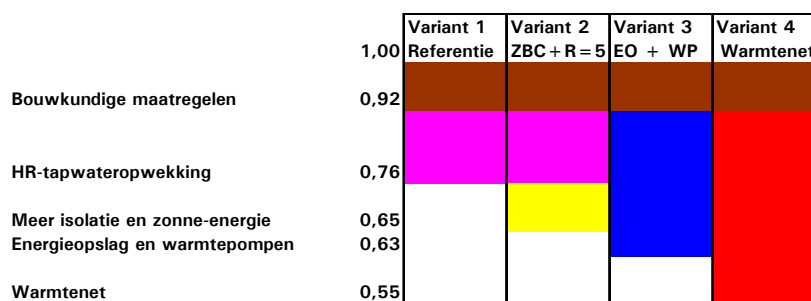
Conclusie

Bij een gemengde toepassing van ventilatieprincipes is:

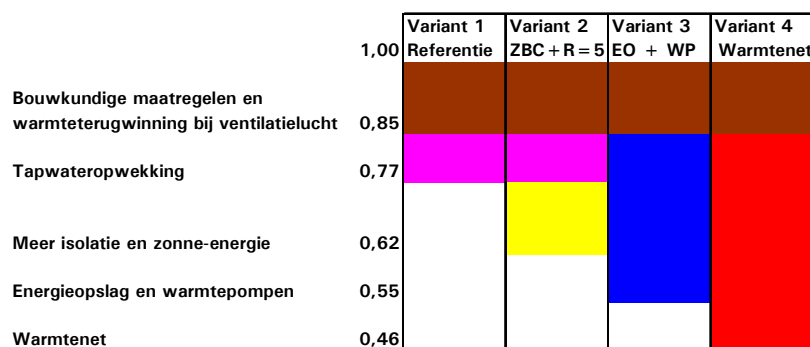
- Bij een warmtenet de gemiddelde EPL 7,1
- Bij energieopslag en warmtepompen en energieopslag de gemiddelde EPL 6,8
- Bij individuele maatregelen de gemiddelde EPL 6,6



Figuur 21: Vergelijking EPL-waarde van de 4 varianten bij twee ventilatiesystemen.



Figuur 22: Effect van diverse maatregelen per variant op de EPC bij natuurlijke luchttoevoer.



Figuur 23: Effect van diverse maatregelen per variant op de EPC bij gebalanceerde mechanische ventilatie met warmteterugwinning.