

---

AFSTUDEERONDERZOEK

# EPC 0.0 WONINGEN IN DE VRIJE SECTOR

Onderzoek naar de haalbaarheid van EPC 0.0 woningen in de vrije sector in 2014

Student	Andres van den Hoorn
ID-nummer	489197
Groep	13.2
Mentor	ing. J.J.P. van Dalen
Co-mentor	ing. Ernest L.M. Boel
Datum	23 augustus 2013
Versie	02
Status	Definitief

---

## Voorwoord

Voor u ligt het resultaat van mijn afstudeeronderzoek 'EPC 0.0 woningen in de vrije sector'. Dit onderzoek heb ik uitgevoerd ter afsluiting van de duale opleiding Bouwmanagement Uitvoering (BMU) aan de Academie voor Bouw en Infra. De Academie voor Bouw en Infra is onderdeel van het instituut Built Environment. Hierin zijn de duale opleidingen van de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen georganiseerd.

Het afstudeeronderzoek is uitgevoerd bij Bouwbedrijf Mulder Elspeet B.V., een klein bedrijf met 10-15 werknemers. In de vrije sector wordt intensief samengewerkt met Ontwerpbureau Brummelhuis. Door de huidige malaise in de bouwsector is de vraag gerezen of het haalbaar is samen actief te worden in het marktsegment van de zeer energiezuinige woningen. Aangezien de bouw van 'normale' woningen stagneert, moeten er nieuwe kansen worden gecreëerd om de huidige economische crisis te doorstaan.

Hoewel mijn dagelijkse werkzaamheden bestaan uit het calculeren en voorbereiden bouwprojecten in grote en kleine vorm, heeft de energiezuinigheid van woningen mijn interesse, en dan met name het bouwfysische aspect. De uitdaging om een woning tot in detail perfect te bouwen, heeft mij geïntrigeerd. Bij de bouw van zeer energiezuinige woningen dient deze perfectie dan ook tot in detail aanwezig te zijn. Elke handeling heeft een reden waarover is nagedacht, met als resultaat een comfortabele woning die de opdrachtgever een prettige leefomgeving garandeert.

Allereerst gaat mijn dank uit naar mijn bedrijfsmentor en werkgever Jan Dijkgraaf. Ten allen tijde kon ik op medewerking rekenen, ook als het niet ideaal was voor het bedrijf. Zonder de tijd en ruimte die beschikbaar werd gesteld was het niet mogelijk deze opleiding met succes af te ronden. Ook Ontwerpbureau Brummelhuis, en in het bijzonder Wilko Beltman als EPC-deskundige, wil ik bedanken voor alle informatie en hulp bij het afstuderen rondom het onderwerp 'EPC'.

Mijn bijzondere dank gaat uit naar afstudeermentor Jan Pieter van Dalen. Met veel plezier kijk ik terug op de samenwerking tijdens het afstudeerproces. De deskundigheid die werd getoond in de verschillende overlegmomenten heeft mij geboeid. Mede door het hoge niveau van de begeleiding is de scriptie tot dit mooie resultaat gekomen. Daarnaast wil ik ook Ernest Boel bedanken die als co-mentor nauw bij het afstudeeronderzoek was betrokken. Zijn deskundigheid op dit gebied bleek een waardevolle aanvulling.

Ook gaat mijn dank uit naar mijn ouders die intensief hebben meegeleefd met de voortgang van mijn studie. In het bijzonder wil ik mijn vader noemen, hoofdvoerder bij Slokker Apeldoorn. Alle informatie die binnen mijn eigen organisatie niet beschikbaar was, maar wel bij zijn werkgever Slokker, werd door hem beschikbaar

gesteld. Met veel warmte denk ik terug aan de uren die we zaterdag samen hebben doorgebracht in de directieket op de bouw in Nijkerk om opdrachten voor de studie te maken.

Tot slot wil ik in het bijzonder mijn vrouw Gerrieke bedanken voor haar nooit aflatende steun tijdens mijn studie. Zonder deze steun had het niet gekund. Mijn studie kreeg altijd voorrang in het maken van keuzes. De zorg voor het gezin, het onderhouden van alle sociale contacten en de zwangerschap tijdens het afstuderen hebben erg veel energie gevraagd.

Ik wens u veel plezier toe bij het lezen van dit onderzoeksrapport.

Andres van den Hoorn

Nunspeet, augustus 2013

## 1. Inhoudsopgave

Voorwoord .....	2
1. Inhoudsopgave .....	4
2. Inleiding .....	6
2.1 Scriptie .....	6
2.2 Het Afstudeeronderzoek .....	6
2.2.1 Aanleiding afstudeeronderzoek .....	6
2.2.2 Probleemstelling afstudeeronderzoek .....	7
2.2.3 Doelstelling afstudeeronderzoek .....	7
2.2.4 Afbakening afstudeeronderzoek .....	7
2.2.5 Opzet afstudeeronderzoek .....	7
3. Samenvatting .....	8
4. De EPC .....	10
5. Ontwerp .....	12
5.1 Complexiteit en compactheid .....	12
5.2 Oriëntatie .....	13
5.3 Beschaduwning en zonwering .....	13
5.4 Deelconclusie 'Ontwerp' .....	14
6. Isolatie .....	15
6.1 Vloer .....	15
6.2 Gevel .....	16
6.3 Dak .....	19
6.3.1 Hellend dak .....	19
6.3.2 Plat dak .....	20
6.4 Kozijnen .....	21
7. Luchtdichtheid en ventilatie .....	23
7.1 Luchtdichtheid .....	23
7.2 Ventilatie .....	24
7.3 Deelconclusie .....	26
8. Installatie .....	27

8.1 Installatieonderdelen.....	27
8.2 Installatieconcepten .....	30
9. De PV-installatie .....	32
10. Totaalconcepten.....	34
10.1 Bouwkundig .....	34
10.2 Installatie .....	35
10.3 Toepassing PV-installatie .....	38
10.4 Voorlopige deelconclusie.....	39
10.5 Conceptverbetering .....	40
10.5.1 Ontwerp .....	40
10.5.2 Bouwkundig.....	41
10.5.3 Luchtdichtheid en ventilatie.....	42
11. Total Cost of Ownership (TCO).....	46
11.1 Concept 0.6.....	47
11.2 Kosten .....	47
11.3 Opbrengsten .....	49
11.4 Netto verbruikskosten o.b.v. 50 jaar .....	49
11.4 Terugverdientijd .....	50
11.5 Rentabiliteit van extra investering bij 50 jaar .....	53
11.6 Rentabiliteit van extra investering op looptijd <50 jaar .....	54
12. Conclusie en Aanbevelingen.....	56
12.1 Concepten.....	56
12.2 Invloedfactoren.....	56
12.2 Aanbevelingen. ....	58
Nawoord .....	59
Bronnen.....	60
Bijlage 1 Literatuur	
Bijlage 2 Onderzoek	
Bijlage 3 Proces	

## 2. Inleiding

*Dit hoofdstuk is een algemene inleiding op het afstudeeronderzoek. Het is het startpunt van de scriptie waarin de aanleiding, de probleemstelling en de doelstelling aan bod komen. Daarnaast ook de afbakening van het onderwerp en het opzetten van het onderzoek.*

### 2.1 Scriptie

Deze scriptie is de afsluiting van het afstudeeronderzoek naar “EPC 0.0 woningen in de vrije sector” die wordt uitgevoerd door de student die werkzaam is als calculator/werkvoorbereider bij Bouwbedrijf Mulder Elspeet b.v. (zie bijlage *Proces hfdst. 3*). De scriptie wordt onderbouwd door een literatuurstudie (Bijlage 1 Literatuur) en een empirisch onderzoek (Bijlage 2 Onderzoek). Naast deze bijlages is er ook een Bijlage 3 “Proces”. In deze bijlage is het afstudeerproces opgenomen en geeft inzicht in de werkwijze tijdens het afstuderen. De scriptie kan zelfstandig worden gelezen en is een samensmelting van de literatuurstudie en het empirisch onderzoek. De feitelijke onderbouwing van zaken die in de scriptie worden genoemd is gedetailleerd terug te vinden in de bijlages waar naar wordt verwezen. De scriptie is systematisch opgebouwd. Dat wil zeggen dat de invloedfactoren eerst afzonderlijk worden beschreven, waarna aan het eind naar totaalconcepten wordt toegewerkt (zie *figuur 1*).



**Figuur 1.** Bovenstaande afbeelding geeft de route weer naar het eindproduct.

### 2.2 Het Afstudeeronderzoek

#### 2.2.1 Aanleiding afstudeeronderzoek

De aanleiding voor het afstudeeronderzoek is de teruggang in de bouwwereld als gevolg van de economische crisis. Het aantal opdrachten voor de bouw van vrijstaande woningen neemt af en neemt de concurrentie toe. Om bestaansrecht te hebben, zullen er nieuwe bronnen moeten worden aangeboord waarmee de omzet kan worden gegarandeerd. Eén van deze bronnen is de markt van zeer energiezuinige woningen. Momenteel is alle aandacht van Bouwbedrijf Mulder Elspeet gericht op het prijstechnisch gunstig behalen van de norm EPC 0.6, maar de concurrentie biedt inmiddels ook de mogelijkheid tot EPC 0.0 aan. Met dit afstudeeronderzoek zal worden onderzocht waar de mogelijkheden liggen om de uitvoering in EPC 0.0 in 2014 aan te bieden. Op deze manier kan de samenwerking met Ontwerpbureau Brummelhuis (*voor toelichting: zie Bijlage 3 Proces, hfdst. 3*) worden uitgebreid om zo de omzet te vergroten.

### 2.2.2 Probleemstelling afstudeeronderzoek

De probleemstelling rond EPC 0.0 woningen bestaat uit de volgende onderdelen

- welke factoren invloed hebben op deze energieprestatie.
- welke kosten verbonden zijn aan deze factoren.
- kunnen er EPC 0.0-concepten worden ontwikkeld.

### 2.2.3 Doelstelling afstudeeronderzoek

De doelstellingen van het afstudeeronderzoek zijn:

- het in kaart brengen van de belangrijkste invloedfactoren op de energieprestatie.
- bepalen van de kosten van EPC-reducerende maatregelen.
- het samenstellen van meerdere complete EPC 0.0-concepten.
- uitbrengen van advies aan Bouwbedrijf Mulder Elspeet en ontwerpbureau Brummelhuis op welke wijze duurzaam en betaalbaar kan worden voldaan aan de gestelde EPC 0.0-eis.

### 2.2.4 Afbakening afstudeeronderzoek

Het afstudeeronderzoek is gericht op de haalbaarheid van een EPC 0.0-woning in de vrije sector. Daarbij zal het onderzoek zich richten op de woningen die in samenwerking met Ontwerpbureau Brummelhuis worden ontwikkeld en gerealiseerd. De invulling zal praktisch van aard zijn en gericht op de haalbaarheid van het energie-concept. Daarnaast spelen ook de financiële aspecten een belangrijke rol, zowel op korte als op langere termijn. Aangezien elk project vrijwel uniek is, zullen de energieconcepten zoveel mogelijk breed toepasbaar moeten zijn om interessant te zijn voor de uitvoering. Uitvoeringsvarianten die zeer project-specifiek zijn, zullen dan ook zijdelings aan de orde komen, maar zal verder niet diep op worden ingegaan.

### 2.2.5 Opzet afstudeeronderzoek

#### *Literatuurstudie*

In dit afstudeeronderzoek wordt eerst een theoretische basis gelegd in de vorm van een literatuurstudie. Deze basis is opgenomen in de bijlage 'Literatuur'. Op basis van gerelateerde onderzoeken kan worden bepaald op welke manier(en) het mogelijk is te voldoen aan de gestelde eis van EPC 0.0.

#### *Emperisch onderzoek*

Met de kennis uit het theoretisch onderzoek wordt er een emperisch onderzoek uitgevoerd waarbij de effecten op de energieprestatie worden doorberekend. Het berekenen van de energiebesparende maatregelen wordt gedaan met behulp van het softwareprogramma Uniec2.0. De uitkomsten van dit onderzoek zijn opgenomen in de bijlage 'Onderzoek'.

#### *Scriptie*

Als afsluiting van de literatuurstudie en het emperisch onderzoek is de scriptie geschreven. De literatuurstudie en het emperisch onderzoek zijn de bronnen van deze scriptie. Op basis van de opgedane kennis worden er concepten ontwikkeld die kunnen worden toegepast bij woningen in de vrije sector.

### 3. Samenvatting

Sinds 15 december 1995 bestaat in Nederland de energieprestatie-eis (EPC). De term 'EPC' staat voor EnergiePrestatieCoëfficiënt. Deze index drukt een waarde zonder eenheid uit dat de energetische prestatie van de woning uniform toetst, gecorrigeerd op verlies- en gebruiksoppervlak. De basis voor het stellen van deze eis is het beleid van de overheid met betrekking tot het klimaat. In de loop der jaren is deze eis meerdere malen aangescherpt met als doel het bevorderen van het gebruik van duurzame energie en het verminderen van het gebruik van fossiele brandstoffen. De huidige energieprestatienorm is opgenomen in NEN7120 Energieprestatie Gebouwen (EPG), welke per 1 april 2013 van kracht is. Deze norm bevat de bepalingmethode voor de Energieprestatie Coëfficiënt (EPC), welke per 1 januari 2011 vastgesteld is op EPC 0.6. Voor 2020 ligt de eis van EPC 0.0.

De energieprestatie van een woning wordt door meerdere factoren beïnvloedt. De hoofdzaken zijn: ontwerp, thermische schil (vloer, gevel, dak, kozijnen) en installatie. Deze hoofdzaken kunnen onderverdeeld worden in verschillende kleine onderdelen die elk hun inbreng hebben in de energetische prestatie van een woning. Met name het onderdeel 'Installaties' heeft grote invloed op deze energieprestatie. Aangezien de gebouwgebonden installatie altijd enige mate van energie zal gebruiken, is het noodzakelijk om een woning te voorzien van een energie-opwekkende installatie die het gebouwgebonden energieverbruik compenseert. Het is dan ook onmogelijk om zonder PV-panelen te gaan werken bij een EPC 0.0.

Het ontwerp vormt de uitgangspositie van de energieprestatie. De opdrachtgever bepaalt echter grotendeels hoe het ontwerp gaat worden. Alleen sturing in het ontwerp is mogelijk om te voorkomen dat er een slechte uitgangspositie wordt gecreëerd en er veel kosten moeten worden gemaakt om te voldoen aan de gevraagde energieprestatie-eis. Daarnaast vormen oriëntatie, beschaduwing en zonwering invloedrijke factoren op de energieprestatie. Het toepassen van ruime overstekken kan daarbij een dubbele functie vervullen: vormgeving en zonwering. Om een goede uitgangspositie te creëren voor de energieprestatie is het van belang in het ontwerp stadium rekening te houden met de ligging van de kavel. Op basis daarvan kan het ontwerp worden bepaald en er rekening worden gehouden met de indeling van de woning en de plaats van gevelopeningen.

Het bouwkundige deel heeft in bepaalde mate invloed op de energieprestatie van een woning. Het vormt de basis waarop verder wordt gewerkt richting het concept EPC 0.0. Op basis van het onderzoek zijn er diverse waarden ontwikkeld die als ideaal uitgangspunt kunnen dienen voor het ontwikkelen van het EPC 0.0-concept.

- vloer  $R_c 5.0m^2.K/W$
- gevel  $R_c 6.0m^2.K/W$
- dak  $R_c 5.0m^2.K/W$
- kozijn  $U_{glas} = 0.6W/m^2.K$



Ook de luchtdichtheid van de woning kan een groot aandeel leveren bij de energieprestatie van de woning. Het toepassen van qv10 0.4 geeft de meest ideale uitgangspositie.

Het laatste component in het geheel is de installatie. Deze heeft grote invloed op de energieprestatie van een woning en vormt daarmee een belangrijk onderdeel. De installatie is de belangrijkste invloedfactor in het geheel, ook al is de installatie afhankelijk van een goede uitgangspositie vanuit het bouwkundige deel. Op installatiegebied is er een groot aantal mogelijkheden om de gestelde norm van EPC 0.0 te behalen.. Het toepassen van een eenvoudige installatie met enkel een HR107-ketel en een ventilatiesysteem voldoet niet bij een EPC 0.0-variant. Het is noodzakelijk om gebruik te maken van een innovatieve installaties die tevens is voorzien van een pv-installatie.

Op basis van het onderzoek is gebleken dat het mogelijk is met meerdere concepten een woning te bouwen met EPC 0.0. De kosten die verbonden zijn aan een EPC 0.0-concept lopen zeer uiteen. Bij het bouwkundige deel moeten er diverse extra kosten worden gemaakt om een goede uitgangspositie te creëren. Hieronder vallen extra kosten voor het toepassen hoogwaardiger isolatie, betere luchtdichtheid en een lagere U-waarde voor glas.

Ook bij de installatie moeten er diverse extra investeringen worden gedaan om tot het gewenste resultaat te komen. Een innovatieve installatie is noodzakelijk om een EPC 0.0-concept samen te stellen dat minder dan 40m<sup>2</sup> pv-paneel nodig heeft. Warmtepompen met als bron de bodem of ventilatieafvoerlucht vormen solide onderdelen in een EPC 0.0-installatieconcept. Totaal zal er een extra investering van ongeveer 25% moeten worden gedaan bij een woning van 600m<sup>3</sup> inhoud (=modaal) ten opzichte van een woning met EPC 0.6. Deze investering kan echter wel worden terugverdient als gevolg van lagere verbruikskosten, en opbrengsten uit de pv-installatie. De terugverdientijd voor een EPC 0.0-concept ten opzichte van EPC 0.6 ligt tussen de 15 en 25 jaar, afhankelijk van het gekozen concept.

De keuze voor een concept is afhankelijk van de voorkeuren/mogelijkheden van de opdrachtgever. De keuze voor een concept wordt bepaald door:

- beschikbare ruimte ten behoeve van pv-installatie
- budget van de opdrachtgever
- beoogde terugverdientijd van de extra investering
- persoonlijke voorkeur van de opdrachtgever voor een bepaald concept

## 4. De EPC

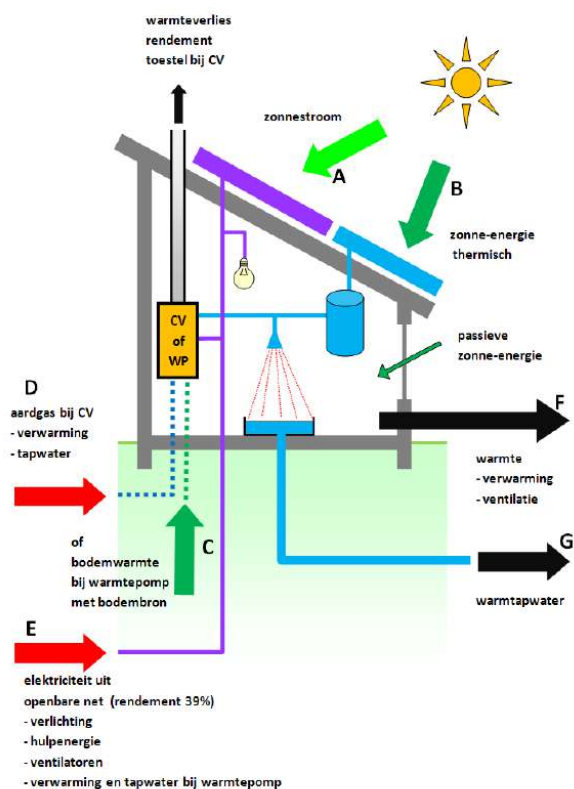
*Dit hoofdstuk is een uitzetting van het functioneren van de EPC. Hierin worden de onderdelen besproken die deel uit maken van de energieprestatie van een woning. Zie Bijlage 'Literatuur' voor een uitgebreide versie.*

Op 15 december 1995 kwam de eerste energieprestatie-eis in Nederland. Deze eis maakt deel uit van het Bouwbesluit en vormt een onderdeel waaraan dient te worden voldaan bij de bouw van een woning. Voor het vaststellen van deze prestatie heeft het NEN een norm ontwikkeld. Per 1 april 2013 is dit de NEN7120, deze vervangt de NEN 5128 (woningbouw) en NEN2916 (utiliteitsbouw). De basis voor het stellen van deze eis is de noodzaak tot energiebesparing na de energiecrisis. Door eisen te stellen aan de energiezuinigheid van woningen wil de overheid toepassing van duurzame energie bevorderen en het gebruik van fossiele brandstoffen verminderen. Sinds de invoering van de eerste eis is deze meerdere malen aangescherpt. De doorgaande aanscherping van de norm heeft als gevolg dat er steeds meer maatregelen benodigd zijn en dat een energiezuinig ontwerp steeds belangrijker is geworden.

De term 'EPC' staat voor EnergiePrestatieCoëfficiënt. Deze index drukt een waarde zonder eenheid uit dat de energetische prestatie van de woning uniform toetst, gecorrigeerd op verlies- en gebruiksoppervlak. De energieprestatie van de woning gaat alleen over het gebouwgebonden energieverbruik. Onder het gebouwgebonden energieverbruik vallen:

- verwarming
- hulpenergie verwarming (pompen e.d.)
- warmtapwater
- bevochtiging
- ventilatoren
- verlichting
- zomercomfort en koeling

Het onderdeel bevochtiging valt officieel onder de onderdelen van gebouwgebonden energieverbruikers, maar wordt in de praktijk bij woningbouw nauwelijks toegepast.



**Figuur 2. Warmtebalans in woning. (Bron: Op weg naar minimum energie woningen met EPC ≤ 0)**

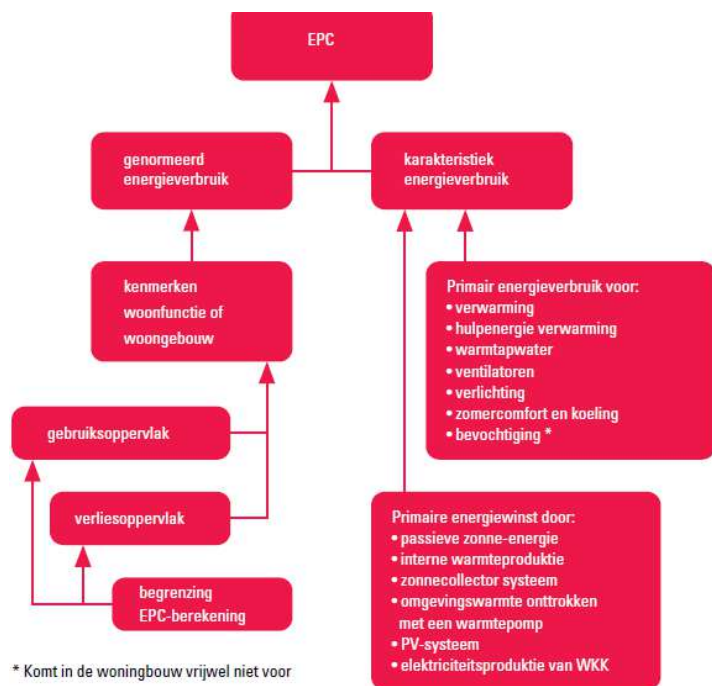
Wanneer een woning een EPC 0.0 heeft, dan kan gesteld worden dat het genormeerd energieverbruik (in MegaJoule) van de gebouwgebonden onderdelen minimaal gelijk of lager is dan de hoeveelheid energie die de woning zelf duurzaam opwekt (in MegaJoule). Duurzaam opgewekte energie is energie uit zon, wind en water.

Om de norm hanteerbaar te maken is de weging van gebruiksoppervlak en verliesoppervlak ingevoerd. Hierdoor kunnen woningen met verschillende oppervlakten maar met gelijke voorzieningen en oriëntatie een (ongeveer) gelijke EPC geven. Een grote woning kan op die manier een gelijke EPC halen als een kleine woning, met dezelfde voorzieningen en oriëntatie.

$$EPC_{woon} = \frac{E_{pTot}}{(310 \times A_g + 85 \times A_v + 9000) \times C_{EPCwoon}}$$

EPC woon	= energie prestatie coëfficiënt
EpTot	= totale energieverbruik bepaald NEN7120 (MJ)
Ag	= gebruiksoppervlak in m <sup>2</sup>
Av	= verliesoppervlakte in m <sup>2</sup>
C EPC woon	= correctiefactor

De energieprestatie wordt bepaald aan de hand van een genormeerd- en karakteristiek energieverbruik (zie figuur 3). Het werkelijk energieverbruik (karakteristiek) wordt gedeeld door het referentiegebruik (genormeerd). Het karakteristiek energieverbruik wordt bepaald aan de hand van NEN7120 en geldt als het 'werkelijk' energieverbruik. Het genormeerd verbruik is in feite het budget dat tegenover het werkelijk energieverbruik staat. Dit budget wordt bepaald aan de hand van de energieprestatie-eis, gebruiksoppervlak en het verliesoppervlak. Een laag verbruik tegenover een groot budget betekend een lage EPC-woon-waarde. Om een laag verbruik te realiseren ten opzichte van een hoog budget kan er bijv. gebruik worden gemaakt van een systeem dat energie opwekt. Energie die op het perceel duurzaam wordt opgewekt mag van het verbruik worden afgetrokken.

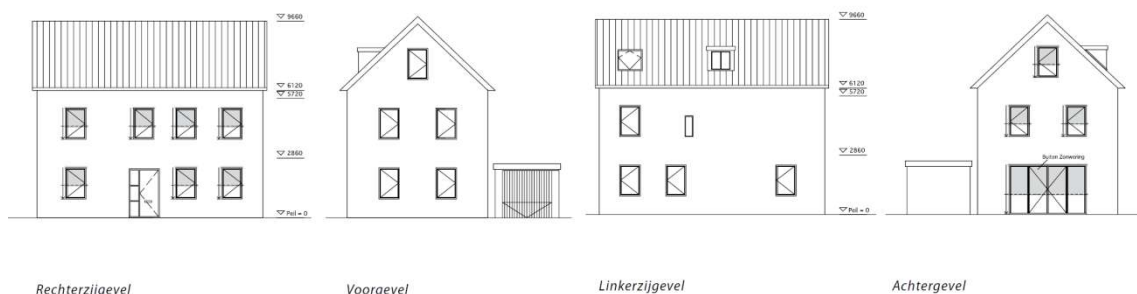


Figuur 3. Principe opbouw EPC-berekening. (Bron: EnergieVademecum 2010)

## 5. Ontwerp

*Na de theoretische achtergronden rond de EPC en de berekeningsmethode te hebben behandeld, komt in dit hoofdstuk de praktijk naar voren. Op basis van het literatuuronderzoek en het empirisch onderzoek wordt bepaald welke invloed ontwerp-gerelateerde zaken zoals complexiteit en compactheid, oriëntatie en beschaduwing en zonwering hebben op de energieprestatie. Deze uitwerking vormt het eerste deel van het beantwoorden van de doelstelling “het in kaart brengen van de belangrijkste invloedfactoren op de energieprestatie en de daaraan verbonden kosten”.*

Het ontwerp van een woning is zeer persoonsgebonden. Tegelijkertijd is het ontwerp een factor die veel invloed heeft op de energieprestatie van een woning. Hoe groot deze invloed is, blijkt uit het feit dat de maatregelen die worden genomen bij de vrijstaande modelwoning van Agentschap NL een veel groter effect hebben dan bij een doorsnee vrijstaande woning. Dit heeft alles te maken met het ontwerp van de woning. Deskundigen hebben daarom veel kritiek op het ontwerp van Agentschap NL omdat het niet realistisch zou zijn. Het EPC-effect van een bepaalde maatregelen is dankzij het ontwerp zo groot dat met een paar eenvoudige aanpassingen aan de nieuwe eis EPC 0.6 kan worden voldaan. In de praktijk zijn de effecten minder als gevolg van een ongunstiger ontwerp. Er moeten daarom meer maatregelen worden getroffen om dezelfde energieprestatie te realiseren.



**Figuur 4. Concept vrijstaande woning Agentschap NL. (Bron: Agentschap NL)**

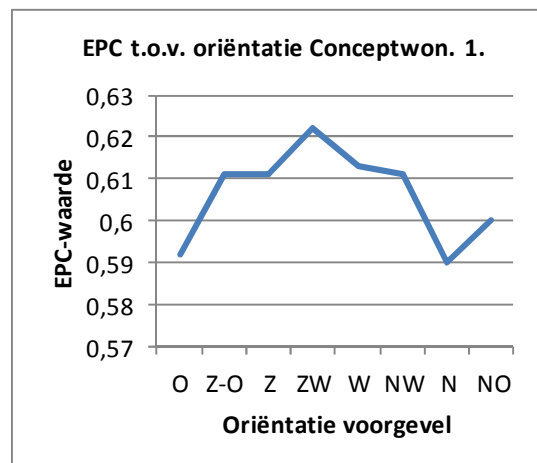
### 5.1 Complexiteit en compactheid

De basis van de energieprestatie wordt gevormd door het ontwerp van de woning. Aan de hand van vloer-, gevel- en dakoppervlak wordt het hoogte van het energiebudget vastgesteld. Een grote woning krijgt meer budget dan een kleine woning. In eerste instantie wordt er op basis deze budget-opbouw gedacht dat het ontwerpen van een grote woning ook een goede uitgangspositie geeft voor de energieprestatie. Dat is niet het geval, omdat de praktijk uitwijst dat bij een groot ontwerp het energieverlies groter is dan het extra budget. Een compacte woning heeft daarom de beste uitgangspositie voor een goede energieprestatie (zie ook *Figuur 4, modelwoning vrijstaand type Agentschap NL*).

Een groot energiebudget geeft in feite een minder goede uitgangspositie omdat het budget minder snel groeit dan het energieverlies door het verliesoppervlak. Met name de uitbouwen zoals erkers en serres geven veel verliesoppervlak tegenover een laag gebruiksoppervlak. Hieruit kan geconcludeerd worden dat een eenvoudig model, zonder uitbouwen en dergelijke de beste uitgangspositie geeft. Naast het feit dat erkers en serres ongunstig zijn voor het verliesoppervlak, geeft het bij de bouw ook een verhoogde kans op koudebruggen. De onderbrekingen die in de thermische schil moeten worden gemaakt vormen risicopunten. Bij dergelijke uitbouwen liggen veelal stalen balken die een koudebrug kunnen veroorzaken. Ook vormen de inwendige en uitwendige hoeken bouwfysisch zwakke punten omdat dit in de praktijk de meest lastige onderdelen zijn om kwalitatief goed werk af te leveren.

## 5.2 Oriëntatie

De oriëntatie van een woning in niet altijd te beïnvloeden. Vaak zijn de kavels zodanig verdeeld dat er maar op één manier een woning kan worden gebouwd. Toch is het belangrijk om al in een vroeg stadium te kijken naar de oriëntatie van de woning. Zo blijkt uit de literatuurstudie (*Bijlage Literatuur hfdst. 5.1*) dat binnen het onderdeel 'ontwerp' naast de vormgeving, de oriëntatie het meest invloed heeft op de energieprestatie van de woning. Het draaien van een woning op de kavel kan zeker gevolgen hebben voor de EPC. Deze verschillen worden veroorzaakt door het ontwerp van de woning. Veel ramen op het noorden geeft per definitie een slecht uitgangspositie omdat kozijnen een zwak punt vormen in de geïsoleerde schil. Aangezien de noordzijde de meest koude zijde van een woning is, kost dat punten in de EPC.



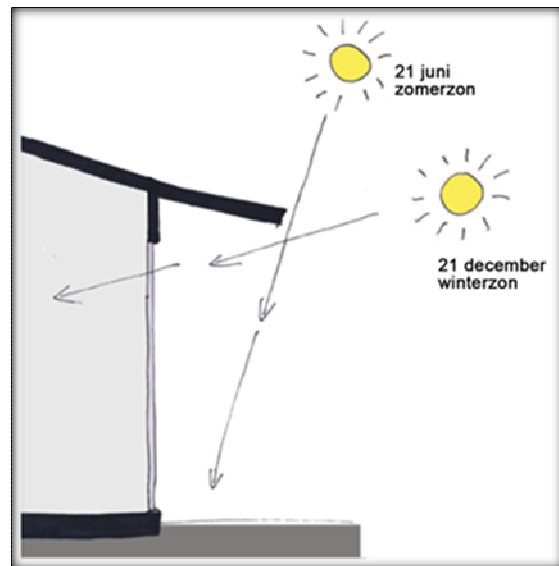
Figuur 5. Onderzoeksresultaat. Bron 1.

Het samenspel tussen vormgeving en oriëntatie kan veel voordeel opleveren voor de energieprestatie. Uit het onderzoek (*Bijlage Onderzoek, hfdst. 4.1*) blijkt dat een gunstige oriëntatie ten opzichte van een ongunstige een verschil van EPC 0.03 kan opleveren, zowel positief als negatief (*zie figuur 5*). Wanneer bij het ontwerp stadium de oriëntatie en vormgeving goed op elkaar worden afgestemd, kan dit gunstig zijn voor de EPC-score en kan veel geld worden bespaard om tot hetzelfde eindresultaat te komen.

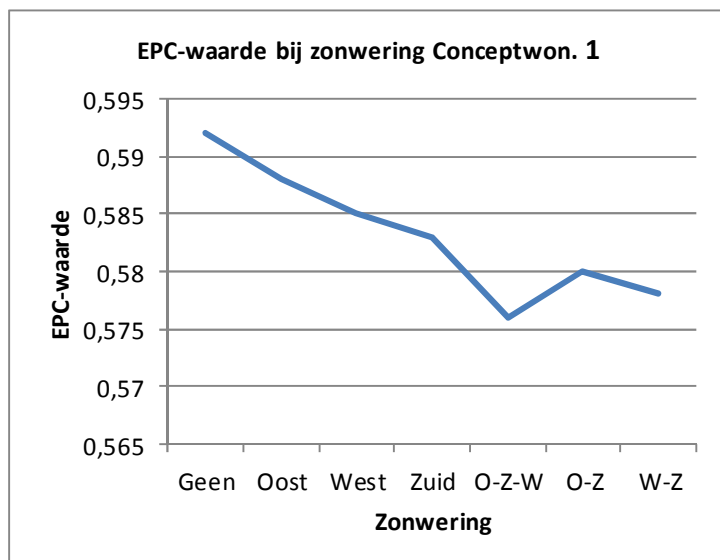
## 5.3 Beschaduwning en zonwering

Bij een doordacht ontwerp kan er gebruik worden gemaakt van zonne-energie, ook wel passieve energie genoemd. Er hoeft in feite zelf niets voor te worden gedaan (passief). De overstekken van een woning kunnen daarin een dubbele functie bekleden. Ten eerste zijn ze een onderdeel van de vorm van de woning, maar hebben daarnaast ook een zonwerende functie. In de jaargetijden dat de zon niet hoog aan de hemel staat, schijnt de zon eenvoudig naar binnen. De lage zon verwarmt de woning als het via de glasopeningen naar binnen schijnt. In de zomer kan deze zon veranderen in een bron die zorgt voor overhitting door dezelfde

glasopeningen en is koeling noodzakelijk. Koeling kost energie, en dat dient te worden vermeden. Het is belangrijk alleen van de zon gebruik te maken als het gunstig is voor het energieverbruik. Om de zomerzon te weren kan er gebruik worden gemaakt van beschaduwing van overstekken. De zon staat in de winter veel lager dan in de zomer en kan daarom 'onder' de overstekken schijnen (zie figuur 6). In de zomer staat de zon veel hoger en kan het overstek de stralen belemmeren om in de woning te schijnen. Een alternatief is het toepassen van zonwering. Dat deze zonwering wel degelijk effect op de energieprestatie is wel gebleken bij het onderzoek. In het meest gunstige geval kan het een reductie opleveren van 0.06 (Bijlage Onderzoek hfdst. 4.4). In dat geval wordt een hele woning voorzien van zonwering. In de praktijk kan dat echter wel op problemen stuiten, bijvoorbeeld bij dubbel deuren op het zuiden. Het is onpraktisch deze deuren te voorzien van zonwering omdat dat de doorgang belemmerd. Het toepassen van zonwering is dan ook zeer projectgebonden, maar dient wel elke keer als invloedfactor te worden meegenomen omdat het positief kan bijdragen aan de energieprestatie.



Figuur 6. Stand zon t.o.v. overstek  
Bron: olga-architect.nl



Figuur 7. Onderzoeksresultaat. Bron 2.

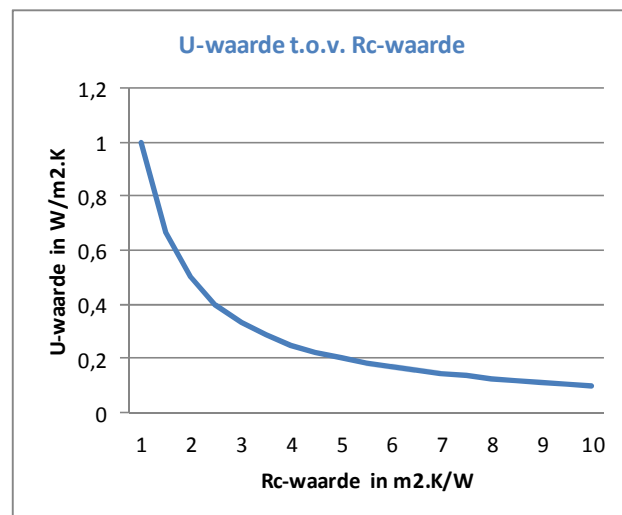
### 5.4 Deelconclusie 'Ontwerp'

Het ontwerp vormt de uitgangspositie van de energieprestatie. De opdrachtgever bepaalt echter grotendeels hoe het ontwerp gaat worden. Alleen sturing in het ontwerp is mogelijk om te voorkomen dat er een slechte uitgangspositie wordt gecreëerd en er veel kosten moeten worden gemaakt om te voldoen aan de gevraagde energieprestatie-eis. Daarnaast vormen oriëntatie en beschaduwing en zonwering invloedrijke factoren op de energieprestatie. Het toepassen van ruime overstekken kan daarbij een dubbele functie vervullen: vormgeving en zonwering. Om een goede uitgangspositie te creëren voor de energieprestatie is het van belang in het ontwerp stadium rekening te houden met de ligging van de kavel. Op basis daarvan kan het ontwerp worden bepaald en er rekening worden gehouden met de indeling van de woning en de plaats van gevelopeningen.

## 6. Isolatie

*In dit hoofdstuk worden de bouwfysische aspecten van een EPC 0.0-woning besproken. Hieronder vallen het isoleren van vloer, gevel, dak en kozijnen, maar ook luchtdichtheid. Deze zaken vormen de basis van wooncomfort en hebben daarnaast invloed op de energieprestatie van een woning. Op basis van het literatuuronderzoek en het empirisch onderzoek kan worden aangetoond welke maatregelen aansluiten bij een uitgekiend EPC 0.0-concept. Deze uitwerking vormt het tweede deel van het beantwoorden van de doelstelling “het in kaart brengen van de belangrijkste invloedfactoren op de energieprestatie en de daaraan verbonden kosten”.*

De isolaties in vloer, gevel en dak zijn de jas van een woning. Hoe dikker de jas, hoe minder energie er verloren gaat via deze schil. Toch vormt de mate van het isoleren een punt van discussie onder de deskundigen (*Proces hfdst. 5.3*). De mensen die het ‘Passief Bouwen’ aanhangen (*Bijlage Literatuur hfdst. 4.3*), gaan voor een extreem dik isolatiepakket. Zij zijn van mening dat alle energie die via de geïsoleerde schil een woning verlaat, onnodig energieverlies is. De deskundigen die in de lijn denken van de EPC zijn van mening dat een stevig isolatiepakket voldoende is vanwege het exponentiele verband dat de verhouding tussen U-waarde en Rc-waarde weergeeft (*Onderzoek hfdst. 5*). Hoewel de mate van isolatie een discussiepoint vormt, is iedereen van mening dat isolatie in combinatie met goede luchtdichtheid en detaillering noodzakelijk is voor een prettige klimaat in een woning.

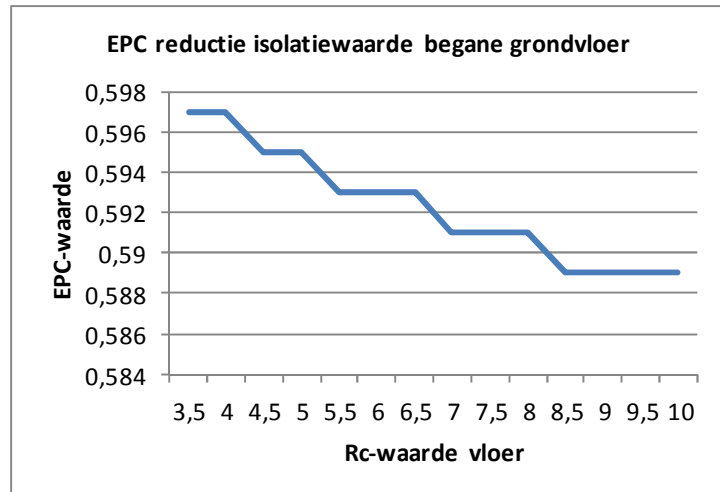


Figuur 8. Weergave exponentieel verband tussen U- en Rc-waarde. Bron 3.

### 6.1 Vloer

De vloer is, naast de gevel en het dak, een deel van de thermische schil van een woning. Ondanks het feit dat de vloer een groot deel uitmaakt van deze schil, wordt er over het algemeen weinig aandacht aan dit bouwdeel gegeven. De reden hiervan is de gedachte dat warmte stijgt. Warmteverlies via de begane grondvloer is dus niet aannemelijk omdat de begane grondvloer het laagste punt is van de thermische schil. Deze gedachte wordt ook bevestigd door de resultaten van het onderzoek (*Bijlage Onderzoek, hfdst. 6.3*). De daling van de EPC ten opzichte van de extra isolatie is minimaal. Het hoogwaardig isoleren van de begane grondvloer is dan ook niet direct de eerste plaats waar de energiebesparing moet worden gezocht. De kosten voor de EPC-reductie liggen dan ook vrij hoog (tussen €100 – 150/m<sup>2</sup>). Het hoogwaardig isoleren van de

begane grondvloer stuit in de praktijk nauwelijks op problemen. De dikte neemt toe naarmate de isolatiewaarde stijgt. Daarnaast wordt er boven een isolatiewaarde  $R_c 5.0\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$  overgestapt op een ander type isolatie waardoor de extra dikte minder wordt. Op basis van het onderzoek (*Bijlage Onderzoek hfdst. 6.3*) wordt geconcludeerd dat een vloer met een isolatiewaarde van  $R_c 5.0\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$  de meest gunstige oplossing is, zowel praktisch als financieel. Op dit punt is de



Figuur 9. Onderzoekresultaat. Bron 4.

toename in dikte minimaal ( $R_c 3.5\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$  15cm wit naar  $R_c 5.0\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$  17cm grijs) en is deze vloerisolatiewaarde goed verkrijgbaar. Hoewel volgens het onderzoek isolatiewaarde  $R_c 5.5\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$  financieel gunstiger is dan  $R_c 5.0\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ , is de keuze voor de  $R_c 5.0\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$  beter omdat  $R_c 5.5\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$  in de praktijk niet goed verkrijgbaar is. Op basis van de literatuurstudie en het empirisch onderzoek wordt er gekozen voor een isolatiewaarde  $R_c 5.0\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ . Deze keuze wordt gemaakt om de volgende redenen:

- Minimale diktetoename ten opzichte van standaard vloer  $R_c 3.5\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$
- Isoleren heeft wel degelijk zin, maar een stevig pakket is voldoende. Deze keuze ligt in lijn met het onderzoek van Nieman Raadgevende Ingenieurs die concluderen dat een stevig isolatiepakket wel degelijk nut heeft.
- Praktische uitvoerbaarheid is goed.

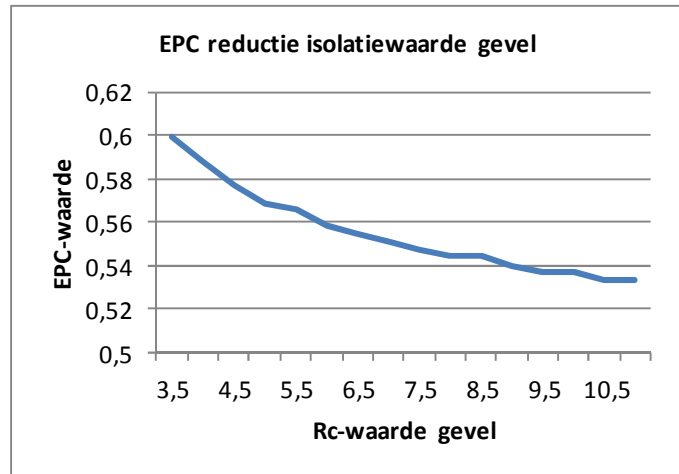
## 6.2 Gevel

De isolatie in de spouwmuur spreekt tot verbeelding. Wanneer een woning wordt gebouwd met een stevig pakket isolatie in de spouw, dan wekt dat de indruk dat de toekomstige bewoner niet hoeft te vrezen voor de winterse kou. In principe is dat ook waar. Het goed isoleren van de spouw staat in lijn met de Trias Energetica waarbij het beperken van de energievraag de basis is. De isolatie in de spouwmuur heeft meerdere functies, zo blijkt uit de literatuurstudie (*Bijlage Literatuur hfdst. 5.3*). Het is niet alleen het rechthoekige weerstand bieden tegen warmte die de woning via de schil wil verlaten (geleiding), maar ook het voorkomen van energieverlies als gevolg van straling. Belangrijk is dat de isolatie goed aaneengesloten wordt aangebracht omdat hierdoor koudebruggen worden voorkomen (*Bijlage Literatuur hfdst. 5.3.3*).

Hoewel de eigenaar van de rekensoftware Uniec2.0 in een interview (*Bijlage Proces hfdst. 5.3*) aangeeft dat het doorgedreven isoleren van de spouwmuur niet realistisch is, begint Agentschap NL bij de EPC 0.4 modelwoning als eerste met het hoger isoleren van de spouwmuur (van  $3.5\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$  naar  $5.0\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ ). Dat deze stap niet vreemd is, blijkt wel uit het onderzoek dat is gedaan naar het effect van spouwisolatie (*Bijlage Onderzoek hfdst. 6.2*). De EPC-reductie die plaatsvindt tot een isolatiewaarde  $R_c 5.0\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$  zijn erg interessant om toe te passen

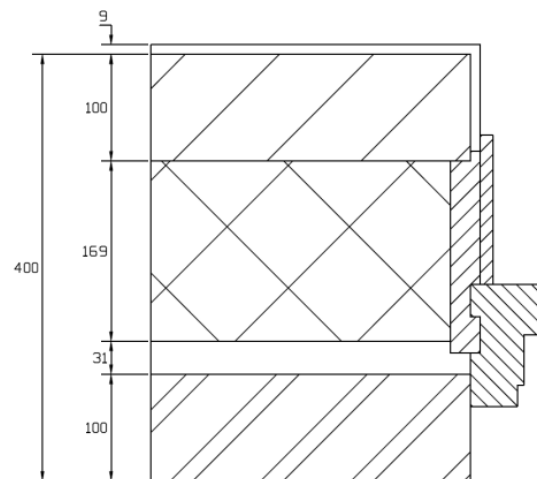


in een financieel voordelig EPC-concept. Uit onderzoek van ingenieurs van Nieman (*Bijlage Literatuur hfdst. 5.3.2*) blijkt dat er naast het spanningsveld tussen Passief Bouwen en EPC ook een spanningsveld is met de praktijk. De ingenieurs van Nieman concluderen uit onderzoek dat juist het bewonersgedrag bepalend is voor de energieprestatie van de woning. Het degelijk isoleren van een woning kan daarom meer waardevol zijn dan de software in eerste instantie doet blijken.



Figuur 10. Onderzoeksresultaat. Bron 5.

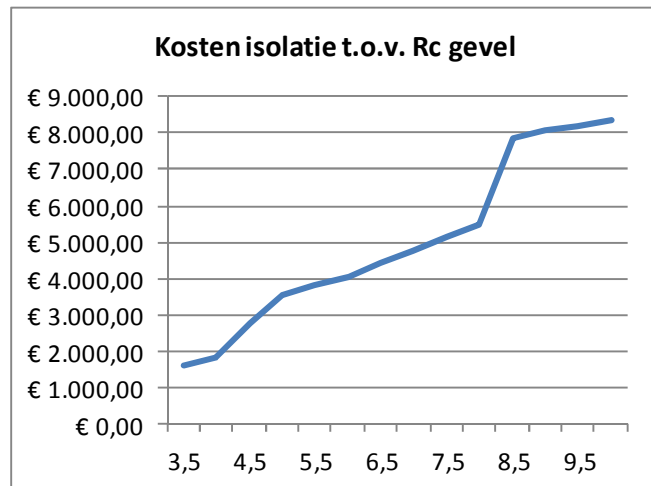
Een spouwmuur kan tot enorme isolatiewaardes worden gebracht. In het onderzoek (*Bijlage Onderzoek hfdst. 6.2*) is gebleken dat isolatiewaarden tot  $R_c 10.0\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$  prima haalbaar zijn. Aan deze zeer hoge isolatiewaarden zijn wel gevolgen verbonden. Zo wordt de spouwmuur bij  $R_c 10.0\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$  minimaal 440mm breed. Deze spouwbreedtes hebben tot gevolg dat het gebruiksoppervlak van een woning afneemt en dat bijv. de vensterbanken breder worden. Bij een spouwmuurbreedte van 440mm wordt uitgegaan dat het binnenspouwblad 100mm dik is. Om constructieve redenen kan deze dikte oplopen met 120, 140 of tot maximaal 200mm. Deze laatste dikte komt echter niet vaak voor.



Figuur 11. Horizontale doorsnede van spouwmuur met aansluiting op kozijn. Spouwmuurbreedte 400mm. (Bron: eigen getekend detail)

Spouwisolatie kan in verschillende soorten materiaal worden toegepast. Voor lage isolatiewaarden kan gebruik worden gemaakt van glaswol of steenwol. Deze materialen halen per cm geen hoge isolatiewaarden, maar zijn wel relatief goedkoop (*Bijlage Onderzoek, hfdst. 6.2, figuur 11*). Met deze materialen kan op een goedkope manier worden voldaan aan de eisen van het Bouwbesluit (minimaal  $R_c 3,5\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$ ). Om hogere isolatiewaarden te behalen moet er overgestapt worden op ander materiaal met een hogere warmteweerstand waardoor met een dunnere isolatieplaat een hogere isolatiewaarde kan worden gerealiseerd. Uit het onderzoek blijkt dat de toepassing van deze hoogwaardiger isolatieplaat noodzakelijk is om binnen redelijke spouwbreedtes te blijven.

Om isolatiewaardes te halen van  $R_c 8.0m^2.K/W$  en hoger moet er overgestapt worden op het 2-laags aanbrengen van isolatie. Gevolg hiervan is dat de post arbeid enorm toeneemt en daardoor de prijs per  $m^2$  isolatie een stuk hoger wordt, zie Figuur 12 (*Bijlage Onderzoek hfdst. 6.2*). Op basis van het onderzoek kan dan ook worden geconcludeerd dat het isoleren van een spouwmuur met een isolatiewaarde hoger dan  $R_c 8.0m^2.K/W$  niet interessant is. Dat heeft 3 redenen:



Figuur 12. Onderzoeksresultaat. Bron 6.

- de EPC-reductie wordt boven  $R_c 8.0m^2.K/W$  minder
- de kosten per  $m^2$  isoleren stijgen explosief
- de spouwmuur wordt zodanig breed dat het verlies aan gebruiksoppervlak te groot wordt.

Verder blijkt uit het onderzoek dat de grafiek (*Bijlage Onderzoek, hfdst. 6.2, figuur 11*) meerdere sprongen maakt. Deze sprongen staan ook voor keuzemomenten. Om tot een keuze te komen voor de toepassing van een bepaalde isolatiewaarde dienen meerdere zaken te worden afgewogen, waaronder:

- praktische uitvoerbaarheid
- kosten
- EPC-reductie
- spouwbreedte

Op basis van de literatuurstudie en het empirisch onderzoek wordt er gekozen voor een isolatiewaarde  $R_c 6.0m^2.K/W$ . Deze keuze wordt gemaakt om de volgende redenen:

- Geen ultra isolatie ( $R_c 8.0+ m^2.K/W$ ), dit ligt in de lijn van de denkwijze van Uniec2. Deze denkwijze wordt ondersteund door het exponentiele verband tussen U-waarde en Rc-waarde.
- Isoleren heeft wel degelijk zin, maar een stevig pakket is voldoende. Deze keuze ligt in lijn met het onderzoek van Nieman Raadgevende Ingenieurs die concluderen dat een stevig isolatiepakket ( $R_c 5.0+ m^2.K/W$ ) wel degelijk nut heeft.
- Een spouwbreedte van 350mm is acceptabel en in de bouwwereld al breed toegepast. Alleen wordt er bij deze spouwmuurbreedte nog veel gewerkt met glas/steenwol, maar in dit concept wordt de hoogwaardige PIR Kingspan Kooltherm K8 toegepast
- Volgens het onderzoek zijn de kosten van de reductie per 0.001 op dit punt het meest gunstig binnen PIR-isolatie
- Praktische uitvoerbaarheid met betrekking tot spouwlatten, aftimmering en vensterbanken is goed.

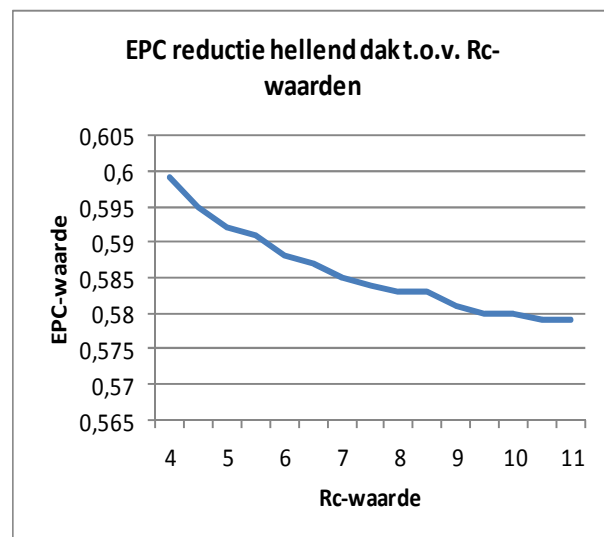
## 6.3 Dak

### 6.3.1 Hellend dak

Het ontwerp van een woning bepaald de grootte van het dakoppervlak. Omdat warmte stijgt, is het dak het bouwdeel waar de kans op energieverlies groot is als gevolg van warmtetransmissie. Het dakoppervlak kan bestaan uit een hellend en een plat dak. In theorie lijkt het dat de mogelijkheden met betrekking tot het isoleren van het dak enorm zijn (*Bijlage Literatuur hfdst. 5.4*). De praktijk blijkt in het onderzoek anders te zijn (*Bijlage Onderzoek hfdst. 6.4*). Het hoogwaardig isoleren van daken is in theorie heel aantrekkelijk omdat het eenvoudig is een enorme dikke doos vol isolatie op een woning te leggen. Met name bij de prefab daken is het mogelijk ter plaatse van het overstek en de goot een verjonging te maken waardoor er wel kan worden gewerkt met standaard boeidelen. Van buitenaf zou er van dit dikke isolatiepakket dus weinig te zien zijn.

Om een kapconstructie te maken met een zeer hoge isolatiewaarde, moet er gebruik worden gemaakt van een dik pak isolatie (15-25cm). Waar bij de spouwmuren wordt gekozen voor een harde plaat, wordt er bij de daken gebruik gemaakt van een zachte plaat met meer dikte. Gevolg is dat de houtconstructie genoodzaakt is met deze extra dikte mee te gaan. In de praktijk zijn deze extra hoge houten liggers moeilijk verkrijgbaar en moet er met alternatieven worden gewerkt, zoals samengestelde liggers. De productie hiervan is echter nog zo klein, dat de kosten hoog zijn.

De lijn die EPC-reductie weergeeft in figuur 11 (*Bijlage Onderzoek hfdst. 6.4*) geeft hetzelfde principe weer als bij de gevelisolatie. Naarmate de isolatiewaarde stijgt wordt de reductie minder. Ook hier worden tot een  $R_c 5.0m^2.K/W - 6.0m^2.K/W$  de grootste EPC-reducties gerealiseerd. Daarboven worden de intervallen steeds kleiner. Uit het onderzoek blijkt dat de kosten voor de EPC-reductie veel van elkaar verschillen. De toepassing van de materialen is daar de oorzaak van (*Bijlage Onderzoek hfdst. 6.4*).



Figuur 13. Onderzoeksresultaat. Bron 7.

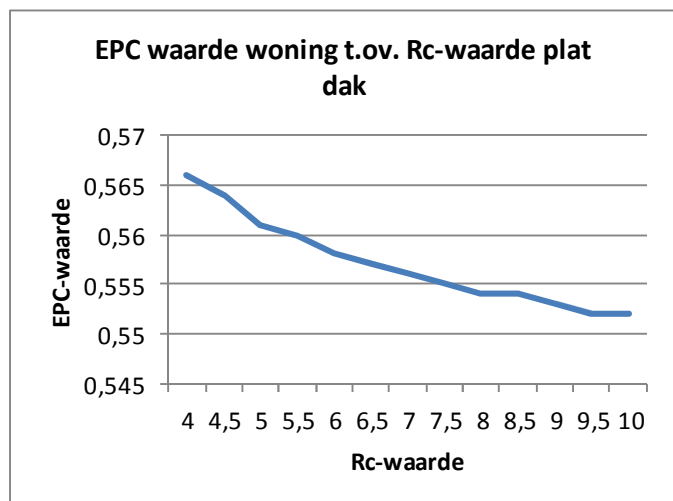
Om tot een ideale isolatiewaarde te komen, moeten er meerdere punten worden overwogen. Dit betreft zowel de hellende- als de platte daken. Zo moet er rekening worden gehouden met:

- praktische uitvoerbaarheid
- kosten
- EPC-reductie

### 6.3.2 Plat dak

Een plat dak is eenvoudiger te isoleren dan een hellend dak. Bij een plat dak hoeft er geen rekening te worden gehouden met de kapconstructie en is het eenvoudig mogelijk meerdere lagen over elkaar aan te brengen. Hierdoor kunnen zeer hoge isolatiewaarden worden gehaald, tot  $R_c 10.0m^2.K/W$ . De waardering van de rekensoftware is echter lager dan bij een hellend dak. Gevolg van deze beperkte EPC-reductie is dat de kosten in verhouding met de reductie erg hoog zijn:  $\text{€}175 - \text{€}350 / 0.001$  (Bijlage Onderzoek hfdst. 6.4). Het is de vraag of het verantwoord is op een plat dak met hoge isolatiewaarde te gaan werken. Het ligt voor de hand om het geld in bouwdeelen te investeren die een hoger rendement geven.

Net als bij de spouwmuur is ook hier  $R_c 8.0m^2.K/W$  een punt waarop kan worden gezegd dat meer isoleren niet is aan te raden (Bijlage Onderzoek, hfdst. 6.4, figuur 28). De EPC-reductie loopt op bepaalde punten terug naar 0. Ook in deze grafiek is de bekende lijn te zien van waarbij de hogere isolatiewaarde minder reductie geven.



Figuur 14. Onderzoeksresultaat. Bron 8.

Om tot een goed isolatieconcept te komen moeten ook hier meerdere factoren worden afgewogen. Een combinatie van praktisch uitvoerbaarheid, kosten en EPC-reductie vormen de hoofdredenen om te kiezen voor een bepaalde isolatiewaarde.

Op basis van de literatuurstudie en het empirisch onderzoek wordt er gekozen voor een isolatiewaarde  $R_c 5.0m^2.K/W$ . Deze keuze wordt gemaakt om de volgende redenen:

- Praktisch is deze isolatiewaarde nog goed uitvoerbaar, zowel bij een hellend dak als een plat dak. Bij een hellend dak zijn de bijbehorende houten liggers zijn goed verkrijgbaar. Bij een plat dak kan er nog met een enkele laag worden geïsoleerd.
- De kosten zijn bij deze waarde laag vergeleken met de stap naar  $R_c 6.0m^2.K/W$  omdat bij  $R_c 6.0m^2.K/W$  moet worden overgestapt op hogere sporen in verband met de isolatiedikte.
- De kosten per 0.001 reductie zijn bij deze waarde het meest gunstig.

## 6.4 Kozijnen

Kozijnen vormen een vast onderdeel in de schil van een woning. Om via deze schil zo min mogelijk energie verloren te laten gaan is het belangrijk dat alle componenten meewerken aan een goed resultaat. De isolatiewaarde van een kozijn wordt weergegeven met een U-waarde. Het ombouwen van een U-waarde naar een Rc-waarde is eenvoudig met de formule:  $R_c = 1/U$ . De eis voor transparante delen is in 2013 aangepast naar  $U \leq 1,65 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ . Wanneer dit omgerekend wordt naar een Rc-waarde, wordt dit  $R_c = 1/1.65 = 0.6 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ . In vergelijking met een omliggende spouwmuur met een Rc-waarde van bijvoorbeeld  $5.0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  vormt een kozijn een serieuze zwakke schakel. Het verlagen van de U-waarde, en daarmee verhogen van de Rc-waarde, is een voor de hand liggende maatregel om de bouwkundige schil tot een beter geïsoleerd geheel te maken.

Het verhogen van de isolatiewaarde van een kozijn kan op 2 manieren worden gedaan:

- toepassen van triple-glas in standaard kozijn (figuur 16)
- toepassen van triple-glas in geïsoleerd kozijn (figuur 15)

Het toepassen van triple-glas in een standaard kozijn in de meest interessante optie omdat glas het grootste oppervlak van een kozijn beslaat en daarom veel invloed heeft op de totale isolatiewaarde van het kozijn. Daarnaast is deze optie interessant omdat het op deze manier voor Bouwbedrijf Mulder Elspeet mogelijk blijft de kozijnen zelf te blijven maken,



Figuur 15. Geïsoleerd kozijn. (Bron: [www.passiefkozijn.nl](http://www.passiefkozijn.nl))



Figuur 16. Ongeïsoleerd kozijn. (Bron: [www.passiefhuismarkt.nl](http://www.passiefhuismarkt.nl))

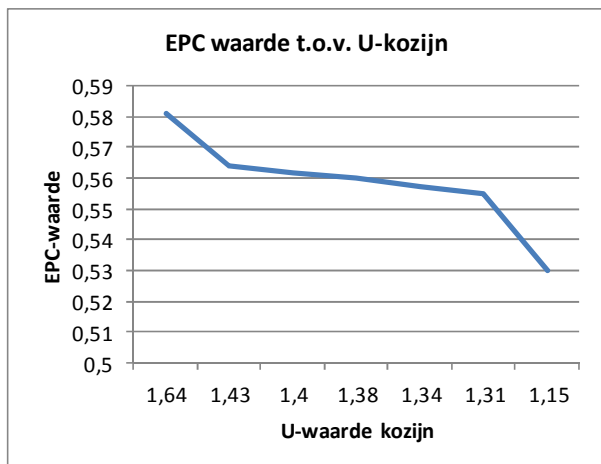
zoals nu ook het geval is. Omdat er bij de huidige werkmethode wordt gewerkt met het meest hoogwaardige 2-bladige glas (dubbel glas, HR++ glas met  $U=1.0-1.1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ) is de overstap naar triple-glas noodzakelijk. Om het mogelijk te maken met 3-bladig glas te werken zal de profilering van de kozijnen moeten worden aangepast.

U-waarde	Glas compositie	Spouwdikte	Totale glasdikte
<b>0.6 W/m<sup>2</sup>K</b>	4mm low-e / 15mm + argon / 4mm / 15mm + argon / 4mm low-e	2 x 15mm	42mm
<b>0.7 W/m<sup>2</sup>K</b>	4mm low-e / 12mm + argon / 4mm / 12mm + argon / 4mm low-e	2 x 12mm	36mm
<b>0.8 W/m<sup>2</sup>K</b>	4mm low-e / 10mm + argon / 4mm / 10mm + argon / 4mm low-e	2 x 10mm	32mm
<b>1.0 W/m<sup>2</sup>K</b>	4mm low-e / 8mm + argon / 4mm / 8mm + argon / 4mm low-e	2 x 8mm	28mm

Figuur 17. Toelichting opbouw en vulling van glas bij verschillende U-waarden. (Bron: [www.evmglass.com](http://www.evmglass.com))

Wanneer er wordt gekozen voor triple-glas in een geïsoleerd kozijn, is Bouwbedrijf Mulder Elspeet genoodzaakt de kozijnen bij een leverancier te bestellen en deze niet meer zelf te maken omdat het maken van isolatie in het kozijn niet tot de mogelijkheden behoort. Dit betekent omzetverlies bij het extern afnemen van kozijnen. De voorkeur ligt bij dan ook bij het zelf produceren van deze triple-glas-kozijnen. Ook voor de toekomst zal deze toepassing erg belangrijk zijn omdat hiermee ook collega-aannemers mee kunnen worden bediend.

Uit het onderzoek blijkt (*Bijlage Onderzoek, hfdst 7*) dat de EPC-reductie bij de toepassing van kozijnen met triple-glas aanzienlijk is. Wanneer er overgestapt wordt van  $U_{\text{kozijn}}=1.64\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$  naar  $U_{\text{kozij}}=1.31\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$  geeft dat een EPC-reductie van 0.025. Wanneer deze wordt weggezet tegenover de meerkosten ten opzichte van de standaard kozijnen, kost deze reductie €130,00/0.001 reductie. In vergelijking met het isoleren van de woning, liggen deze reductiekosten bij het kozijn lager. Het toepassen van  $U=1.15\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$  is volgens het onderzoek nog een



Figuur 18. Onderzoeksresultaat. Bron 9.

stap te ver omdat nog niet kan goed kan worden aangetoond of standaard kozijnen met triple-glas voldoen aan deze waarde. Om met deze isolatiewaarde te kunnen werken zal er verder onderzocht moeten worden of het mogelijk is met deze U-waarde te kunnen rekenen. De toepassing van een standaard meranti kozijn met triple-glas is wel in een EPC-berekening in te voeren en vormt daarom het uitgangspunt bij dit onderdeel.

De keuze voor de isolatiewaarde van een kozijn is erg belangrijk omdat het onderdeel uitmaakt van de thermische schil van een woning. Daarmee hangt dan ook direct de energieprestatie van een woning samen. Het toepassen van deze hoogwaardig isolerende kozijnen dient dan ook geen aparte optie te zijn, maar een vast onderdeel. Alleen op basis van deze solide isolerende schil is het mogelijk om een EPC 0.0-woning te bouwen waarbij de bouwkundige basis een stevig fundament vormt. Het standaard toepassen van kozijnen met triple-glas zal in de toekomst naar alle waarschijnlijkheid goedkoper worden omdat de productie van dit type glas steeds meer geproduceerd zal gaan worden, en daarmee zal de prijs gaan dalen.

Op basis van de literatuurstudie en het empirisch onderzoek wordt er gekozen voor  $U_{\text{glas}}=0.6\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ . Dit wordt gedaan om de volgende redenen:

- Het toepassen van triple-glas ligt in lijn met het hoogwaardig isoleren van de schil.
- De kosten per 0.001 reductie zijn gunstig in verhouding met de overige U-waarden.
- Praktisch is het naar alle waarschijnlijkheid goed uitvoerbaar.
- Kan grotendeels door eigen bouwbedrijf worden uitgevoerd, dus gunstig voor eigen productie.

## 7. Luchtdichtheid en ventilatie

*In dit hoofdstuk worden er ingegaan op het effect van luchtdichtheid en ventilatie op de energieprestatie van een woning. Het onderdeel ventilatie komt echter maar globaal aan de orde op de punten waarin het raakvlakken heeft met luchtdichtheid. In hoofdstuk 8 Installatie komt de ventilatie breder aan de orde. Deze uitwerking vormt het derde deel van het beantwoorden van de doelstelling "het in kaart brengen van de belangrijkste invloedfactoren op de energieprestatie en de daaraan verbonden kosten".*

### 7.1 Luchtdichtheid

Luchtdicht bouwen is in feite het voorkomen van ongewenste luchtstromen die er voor zorgen dat energie ongecontroleerd de woning kan verlaten. Luchtdichtheid is nauw verbonden met ventilatie. Ventilatie in een woning is essentieel voor een prettig woonklimaat. Om te voorkomen dat een woning te veel of te weinig wordt geventileerd, moet de ventilatie voldoen aan de vraag naar frisse lucht. Een gebalanceerde toe- en afvoer is daarvoor nodig. Het wordt echter anders wanneer de ventilatie niet controleerbaar is. De luchtstromen die plaatsvinden worden dan ervaren als onprettig en het wooncomfort lijdt onder deze ongecontroleerde ventilatie. Goede luchtdichtheid voorkomt deze ongecontroleerde ventilatie. Het toepassen van degelijke kierdichting en het voorkomen van luchtlekken voorkomt dat er onnodig energieverlies optreedt.

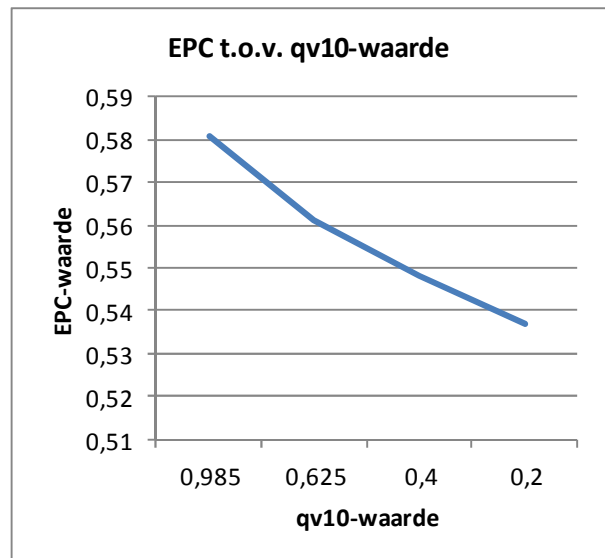
Luchtdichtheid heeft een enorme opmars gemaakt in de bouwwereld en wordt steeds meer gemeengoed. Het realiseren van een hoge mate van luchtdichtheid geeft weer dat een woning van hoge bouwkundige kwaliteit is. Een hoge luchtdichtheidswaarde kan alleen worden gehaald als er van begin tot eind bewust wordt omgegaan met de bouwkwiteit van een woning. Luchtdicht bouwen is gericht op het verhinderen van in- en exfiltratie (warmtetransport van buiten naar binnen en andersom). De luchtdichtheid aan de warme zijde van de constructie voorkomt dat koude en vochtige buitenlucht in aanraking komt met de warme en droge lucht binnen. Hierdoor wordt onder andere condensatie voorkomen. Daarnaast zorgt de luchtdichtheid voor het beperken van geluiden van buitenaf, dus meer wooncomfort binnen.

De luchtdichtheid wordt weergegeven met een  $qv_{10}$ -waarde. Bij een test wordt er een drukverschil gecreëerd van 10 Pascal, vandaar het getal 10 in de  $qv_{10}$ -waarde. Op basis van een woning met een inhoud van  $500\text{m}^3$  kan worden gesteld dat er maximaal  $200\text{dm}^3/\text{sec}$  verloren mag gaan. Dat is  $0.2\text{m}^3/\text{seconde}$ , en dat kan omgerekend worden naar een  $qv_{10}/\text{m}^2$  van  $1\text{dm}^3/(\text{sec}.\text{m}^2)$ . Dat is de minimum eis volgens het huidige Bouwbesluit. De minimum klasse wordt 'Klasse 1' genoemd, daarna volgen Klasse 2 en Klasse 3.

Overzicht van luchtdichtheidsklassen:

Klasse 1 Basis	Qv10-waarde is 1,0. Daarbij mag een verlies optreden van 200dm <sup>3</sup> /sec. (0.2dm <sup>3</sup> /sec.). Omgerekend naar Qv10/m <sup>2</sup> is dat 1dm <sup>3</sup> /sec.
Klasse 2 Goed	Qv10-waarde van 0.6. Verlies is maximaal 80dm <sup>3</sup> /sec, omgerekend naar Qv10/m <sup>2</sup> is dat 0.6dm <sup>3</sup> /sec.
Klasse 3 Uitstekend	Qv10-waarde van 0.15. Het verlies is maximaal 30dm <sup>3</sup> /sec. Omgerekend naar Qv10/m <sup>2</sup> is dat 0.15dm <sup>3</sup> /sec.

Dat ongecontroleerde luchtstromen tot veel energieverlies leiden, wordt duidelijk in het onderzoek naar de effecten op de energieprestatie van een woning. Standaard wordt er gewerkt met een qv10-waarde van 0.985. Deze waarde is de minimum eis volgens het Bouwbesluit. Wanneer er een lagere qv10-waarde wordt ingevoerd in het rekenprogramma, daalt de EPC van de woning aanzienlijk. In verhouding tot bijvoorbeeld isolatie is de EPC-reductie meer, terwijl de kosten lager zijn (*Bijlage Onderzoek, hfdst. 8*). Op basis van een kostenraming kan met een extra investering in de bouwkwaliteit op het gebied van luchtdichtheid met



Figuur 19. Onderzoeksresultaat. Bron 10.

€1.290,00 een qv10-waarde van 0.4 worden gerealiseerd. De EPC-reductie die daarbij optreedt is 0.033. Per 0.001 reductie kost het €39,09. In verhouding met overige maatregelen zoals isoleren, is dit een goedkope reductie. Het toepassen van een goede luchtdichtheid behoort dan ook tot de standaard van een woning. Dit heeft meerdere redenen:

1. Verbeterde luchtdichtheid heeft een positief effect op de EPC
2. De bouwkwaliteit van een woning gaat omhoog.
3. Het wooncomfort van de gebruiker neemt toe.

Het toepassen van een hoge mate van luchtdichtheid hoort dan ook niet bij een bepaald EPC-concept, maar dient standaard te zijn.

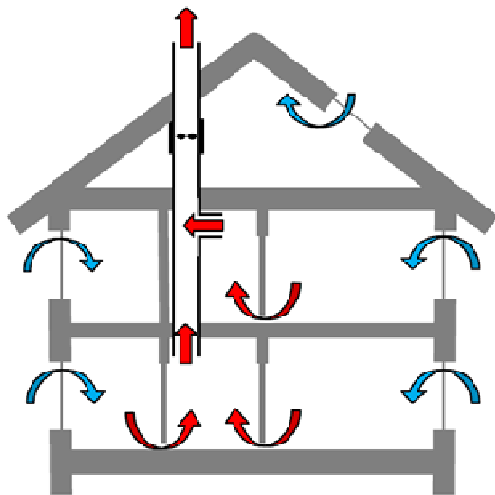
## 7.2 Ventilatie

Goede ventilatie is essentieel voor een prettig woonklimaat. Uitgangspunt is dat alleen het ventilatiesysteem voor de frisse lucht moet zorgen, en niet de ongecontroleerde ventilatie als gevolg van slechte luchtdichtheid. Frisse lucht kan worden aangevoerd via een natuurlijke weg, bijvoorbeeld met roosters boven kozijnen, of via een mechanische weg, als een installatie zorgt voor de aanvoer van de frisse lucht. In totaal kunnen daar 4 ventilatieconcepten mee worden samengesteld.

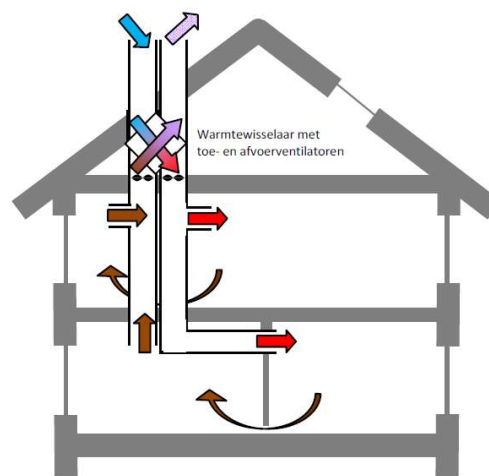


- Concept A. Natuurlijke aanvoer, natuurlijke afvoer
- Concept B. Mechanische toevoer, natuurlijke afvoer
- Concept C. Natuurlijke aanvoer, mechanische afvoer
- Concept D. Mechanische toevoer, mechanische afvoer

Uit het onderzoek blijkt (*Bijlage Onderzoek hfdst. 9.1*) dat er met 2 concepten kan worden gewerkt, namelijk de concepten met een mechanische afvoer. De reden van deze mechanische afvoer is dat op dit punt er gebruik kan worden gemaakt van warmteterugwinning. Bij deze warmteterugwinning wordt de warmte uit de 'vuile' ventilatielucht gehaald en overgedragen aan water ten behoeve van verwarming of warm tapwater.



**Figuur 20. Ventilatie met natuurlijke aanvoer en mechanische afvoer. (Bron: *Op weg naar minimum energie woningen met EPC ≤ 0, 2012*)**



**Figuur 21. Ventilatie met mechanische aan- en afvoer en warmteterugwinning. (Bron: *Op weg naar minimum energie woningen met EPC ≤ 0, 2012*)**

Vanuit het SBR wordt aangegeven dat het toepassen van een verhoogde luchtdichtheid, bijv.  $qv_{10} 0.4$ , er sprake moet zijn van een gesloten ventilatiesysteem. In dat geval moet er worden gekozen voor Concept D, waar zowel de aanvoer als de afvoer mechanisch is. In de praktijk blijkt dit anders te liggen (*Bijlage Onderzoek hfdst. 9.1*). Er kan bij een verhoogde luchtdichtheid wel degelijk worden gekozen voor een 'open systeem', bijvoorbeeld Concept C. In de praktijk is aangetoond door middel van een blowerdoortest dat er bij een natuurlijke aanvoer en een mechanische afvoer een luchtdichtheid kan worden gerealiseerd van  $qv_{10} 0.4$ .

De invloed van het ventilatiesysteem op de energieprestatie wordt duidelijk in de werkwijze die Agentschap NL toepast bij het uitwerken van de energieconcepten (*Literatuur hfdst. 6.2*). Na de bouwkundige aanpassingen komt eerst het ventilatiesysteem aan bod. De keuze voor een bepaald ventilatiesysteem hangt dan ook nauw samen met de EPC van een woning. Dit heeft meerdere factoren:

- Reden 1. Met mechanische afvoer kan gebruik worden gemaakt van warmteterugwinning uit afvoerventilatielucht.

- Reden 2. Met behulp van vraag-gestuurde ventilatie (CO<sub>2</sub> sensoren) wordt er exact voldoende frisse lucht aangevoerd en afgevoerd. Hierdoor wordt de afvoer van 'vuile' tot het minimum beperkt, waardoor ook zo min mogelijk warme lucht wordt afgevoerd.

Bij de keuze voor een bepaald ventilatieconcept moeten er verschillende voor- en nadelen worden afgewogen. Wanneer er gekozen wordt voor een ventilatieconcept met een natuurlijke aanvoer dan heeft dat als nadeel dat de aangevoerde frisse lucht niet is voorverwarmt. Het opwarmen van deze lucht kost dan ook energie. Het voordeel van deze natuurlijke aanvoer is dat het energieverbruik nihil is omdat de elektrische aansturing van de roosters nauwelijks energie kost.

Als er wordt gekozen voor een mechanische aanvoer, dan moet er een extra ventilatie-box worden toegepast die de mechanische aanvoer regelt. Deze box vraag uiteraard stroom, en kost dus energie. Daarnaast moet er een extra buizenstelsel worden aangelegd voor het toepassen van toevoerpunten voor frisse lucht. Dit brengt extra kosten met zich mee bij de bouw. Voordeel is wel dat er bij mechanische aanvoer het mogelijk is frisse lucht voor te verwarmen zodat het op temperatuur brengen van de frisse lucht minder energie kost.

In principe zijn de kosten voor de EPC-reductie niet hoog, maar er zijn nog meer installaties die graag gebruik maken van de warmte uit de ventilatieafvoerlucht. Het uitgangspunt om gebruik te maken van de energie in de afvoerlucht verdiend wel de voorkeur omdat dit in lijn ligt met de Trias Energetica: beperk energievraag (zie ook *Bijlage Literatuur hfdst. 4.3*). Met behulp van deze warmteterugwinning kan de energie die normaal verloren zou gaan behouden blijven en worden hergebruikt. Het hergebruik heeft als gevolg dat de energievraag wordt beperkt, wat in lijn ligt met het ontstaan van de energieprestatienorm.

In de praktijk blijkt het toepassen van Concept C de meest gunstige uitvoering. Het nadeel dat de aanvoer van frisse lucht moet worden voorverwarmt weegt niet op tegen voordelen van laag energieverbruik en het tijdens de bouw eenvoudige uitvoering, wat als gevolg heeft dat het minder duur is.

### 7.3 Deelconclusie

Het toepassen van warmteterugwinning heeft de voorkeur boven het mechanisch afvoeren van lucht zonder warmteterugwinning. De natuurlijke aanvoer heeft wel de voorkeur omdat:

- dit systeem in de praktijk eenvoudig is toe te passen
- goedkoper is dan Systeem D
- het past in een EPC 0.0 concept.

Conclusie is dat uit beide systemen het beste moet worden gehaald. Wel natuurlijke aanvoer, maar ook warmteterugwinning uit de afvoer. Bij het hoofdstuk 'Installatie' zal hier een passende installatie op worden toegepast.

## 8. Installatie

*In dit hoofdstuk worden de installatieonderdelen besproken die deel uit maken van het installatieconcept dat wordt ontwikkeld. De uitleg geeft inzicht in het functioneren van de installatieonderdelen en is een onderbouwing van de installatieconcepten. Na de toelichting van de installatieonderdelen worden er 6 installatieconcepten samengesteld die verder worden onderzocht op haalbaarheid. Deze uitwerking vormt naast het uitwerken van belangrijke invloedfactoren op de energieprestatie en de daaraan verbonden kosten ook de eerste deel van het samenstellen van meerdere EPC 0.0 concepten, wat één van de doelstellingen is uit zoals weergegeven in de Inleiding.*

### 8.1 Installatieonderdelen

Elke woning is voorzien van een installatie om voldoende comfort te bieden zodat er in kan worden geleefd. Het realiseren van dit comfort kost energie. Bij het bepalen van de energieprestatie van een woning wordt alleen het gebouwgebonden energieverbruik meegerekend. Hieronder valt het energiegebruik voor:

- verwarming
- hulpenergie verwarming (pompen e.d.)
- warmtapwater
- ventilatoren
- verlichting
- zomercomfort en koeling
- bevochtiging

Om energie te kunnen besparen is het belangrijk om de onderdelen die energie gebruiken dit zo min mogelijk te laten doen. Wanneer deze onderdelen minder energie gaan gebruiken, zal de energieprestatie van een woning beter worden. Er is immers minder energie nodig voor de gebouwgebonden installaties.

Het is duidelijk dat elk onderdeel dat deel uitmaakt van de lijst gebouwgebonden energie invloed heeft op de energieprestatie van een woning. Belangrijk is dat de installaties die nodig zijn bij elkaar passen. Zo zijn er verschillende systemen die gebruik maken van de warmte in ventilatieretourlucht. De warmte in deze lucht kan maar één keer worden afgenomen. In theorie is het echter mogelijk om deze systemen tegelijk toe te passen in een woning. In de praktijk gaat dat niet werken omdat maar één systeem gebruik kan maken van de energie uit de ventilatieretourlucht.

Om te voorkomen dat er niet-uitvoerbare installatieconcepten ontstaan en het feit dat het onderling beoordelen van de EPC-reductie van de installatie moeilijk is uit te rekenen, wordt er gewerkt met concepten

(een samenstelling van meerdere installatieonderdelen). Omdat installatieonderdelen elkaar in EPC-reductie beïnvloeden zijn uitkomsten van deze concepten meer stabiel en zijn de verschillen per concept beter zichtbaar. Ook is het mogelijk om met een basisconcept te werken en dit met losse onafhankelijke componenten uit te breiden. Zo is het altijd mogelijk om een douche-wtw toe te passen, of gebruik te maken van een zonneboiler.

Bij het samenstellen van de concepten is het belangrijk dat er wezenlijke verschillen zijn. Concepten die nauwelijks van elkaar verschillen, zullen ook in de uitkomst weinig verschillen. Om een goed beeld te hebben wat het effect is op de energieprestatie is er in het onderzoek (*Bijlage Onderzoek hfdst. 9.2*) gewerkt met meerdere installatieconcepten. Op basis van deze uitkomsten kan worden bepaald met welke concepten er verder wordt gegaan naar de volgende stap met totaalconcepten. In deze totaalconcepten worden naast de installaties ook de bouwkundige zaken meegenomen zoals isolatie en luchtdichtheid,

Een installatieconcept kan worden samengesteld uit de volgende onderdelen:

#### *HR107 combiketel*

Een HR107 combiketel zorgt voor warm tapwater en voor verwarming en heeft daarmee een hoofdfunctie. Meestal vormt deze installatie een vast onderdeel in een concept. Het kan ook zijn dat de combiketel een ondersteunende functie heeft. Dit is het geval wanneer de hoofdinstantie niet altijd garant kan staan voor voldoende verwarming of warm tapwater. Een combiketel zorgt dan voor de ondersteuning.

#### *Douche WTW*

Een douche-wtw is een component dat als aanvulling kan worden toegepast. Deze installatie haalt de warmte uit het water dat door de afvoer gaat. Deze warmte wordt afgegeven aan water dat nog moet worden verwarmt en behoefte van het douchen.

#### *Zonneboiler*

Een zonneboiler met 4m<sup>2</sup> of 6m<sup>2</sup> paneel kan eenvoudig worden toegevoegd aan een installatieconcept. De zonnepanelen kunnen worden aangesloten op een boiler ten behoeve van warm tapwater, de verwarming of beide. De mogelijkheden zijn afhankelijk van de hoofdinstantie.

#### *Ventilatie met natuurlijke aanvoer en mechanische afvoer*

Ventilatie met natuurlijke aanvoer en mechanische afvoer behoort tot de basis van de ventilatie. De aanvoer geschiedt door middel van roosters boven de kozijnen, de afvoer door middel van een mechanisch afzuigstelsel. De afvoer kan worden voorzien van een warmte-terug-win-installatie (wtw). Deze haalt de warmte uit de afvoerlucht en geeft deze af aan verse ventilatietoever of aan water ten behoeve van warm tapwater.

### *Ventilatie met mechanische toe- en afvoer en warmteterugwinning*

Ventilatie door middel van mechanische toe- en afvoer en warmteterugwinning is een hoog gewaardeerd onderdeel in de energieprestatieberekening. Het terugwinnen van warmte uit afvoerlucht draagt effectief bij aan het beperken van energievraag.

### *Ventilatie warmtepompboiler*

Een ventilatie-warmtepompboiler ligt in het verlengde van de variant 'natuurlijke aanvoer, mechanische afvoer'. Het verschil is dat bij een warmtepompboiler de warmte uit de ventilatieafvoerlucht wordt gehaald en wordt overgedragen aan warm water in een boiler i.p.v. ventilatietoevoer. De toepassing van deze installatie dient goed te worden afgewogen met de rest van de installatie. De combinatie met de douche-wtw wordt momenteel in veel woningen toegepast met een EPC 0.6.

### *Grondwarmtepomp*

De grondwarmtepomp haalt warmte uit de grond en geeft dit af aan warm tapwater en de verwarming. Dit gaat niet rechtstreeks, maar via een compressor die de warmte samenperst. Een grondwarmtepomp bestaat uit twee delen, namelijk een bron en een installatie. Een grondwarmtepomp is een bijzonder kostbare installatie. Dit komt met name door het boren van een bron. Deze vormt voor 60% van de totaalkosten. Door deze bron valt de installatie duurder uit dan de overige concepten. De installatie wordt wel hoog gewaardeerd door de rekensoftware omdat er met weinig energie veel wordt opgewekt.

### *Hybride warmtepomp*

Een hybride warmtepomp kan haar energie uit meerdere bronnen halen, zoals buitenlucht of ventilatieafvoer. In dit geval is de buitenlucht de bron. Deze installatie wordt niet heel veel toegepast, maar wel hoog gewaardeerd door de software. Aangezien deze warmtepomp haar energie uit de buitenlucht haalt, is het rendement niet altijd erg hoog. In de winter is het koud en moet de installatie haar warmte uit de koude lucht halen. In de zomer is het omgekeerde het geval: buiten is het warm en binnen moet het koel worden. Aangezien deze installatie door de software hoog wordt gewaardeerd en in samenwerking met een HR107-ketel goed presteert, is deze installatie wel meegenomen in het onderzoek.

## 8.2 Installatieconcepten

Op basis van het onderzoek zijn er in totaal 6 concepten samengesteld. Deze samenstelling is gedaan op basis van inzichten die zijn verkregen uit het onderzoek.

**Concept 1** HR107 ketel (Nefit Compact HRC30)  
Ventilatie met wtw en CO<sub>2</sub> meting

*Een eenvoudig installatieconcept dat de basis vormt. De HR-ketel zorgt traditioneel voor verwarming en warm tapwater. Het gesloten ventilatiesysteem is voorzien van warmteterugwinning en is voorzien van CO<sub>2</sub> -meting voor de juiste ventilatiedosering.*

**Concept 2** HR107 ketel (Atag E325EC) + zonneboiler 4.6m<sup>2</sup>  
Douche-wtw  
Ventilatie met wtw en CO<sub>2</sub> -meting

*Concept 2 is een uitgebreide variant van Concept 1. De toevoeging van een zonneboiler en een douche-wtw zorgen er voor dat er fors energie wordt bespaart ten opzichte van Concept 1.*

**Concept 3** HR107 ketel (Nefit Compact HRC 30)  
Hybride warmtepomp met ventilatieretourlucht als bron  
Ventilatie met natuurlijke aanvoer, mechanische afvoer met CO<sub>2</sub> -meting

*Concept 3 vormt de basis van de meer innovatieve concepten. Als basis blijft de HR-ketel, maar deze wordt ondersteund door een hybride warmtepomp die ventilatieretourlucht als bron heeft. De aanvoer van ventilatielucht gaat via elektronische roosters in de kozijnen die worden aangestuurd door middel van CO<sub>2</sub> meting.*

**Concept 4** HR107 ketel (Atag E325EC) + zonneboiler 4.6m<sup>2</sup>  
Hybride warmtepomp met ventilatieretourlucht als bron  
Ventilatie met natuurlijke aanvoer, mechanische afvoer met CO<sub>2</sub> -meting  
Douche-wtw

*Concept 4 is een uitgebreide versie van Concept 3 en vormt daarmee een uitgebreid*

*innovatief concept dat zeer energiezuinig is. De relatief eenvoudige componenten zijn daarentegen goed te installeren.*

#### **Concept 5**

Hybride warmtepomp op buitenlucht + HR107 ketel (Nefit Topline Compact HRC30)  
Zonneboiler 4.6m<sup>2</sup>  
Douche-wtw  
Ventilatie met natuurlijke aanvoer, mechanische afvoer met CO<sub>2</sub> -meting

*Concept 5 is een innovatief concept met als basis een warmtepomp met als bron de buitenlucht, ondersteund door een HR-ketel. Daarnaast is er een zonneboiler aanwezig en een douche-wtw. In principe lijkt dit concept op Concept 4, maar de basis is totaal verschillend omdat bij Concept 5 de warmtepomp de basis is, en bij Concept 4 de HR107-ketel.*

#### **Concept 6**

Combiwarmtepomp bodem 4 (cw4, 5, 6)  
Douche-wtw  
Zonneboiler 4.6m<sup>2</sup> warmwater  
Ventilatie met natuurlijke aanvoer, mechanische afvoer met CO<sub>2</sub> -meting

*Concept 6 is een zeer innovatief concept waarbij een grondwarmtepomp de opwekker is voor verwarming en warm tapwater. Aangezien de basis zeer energiezuinig is, en daarnaast ook wordt aangevuld met energiebesparende componenten zoals een douche-wtw en een zonneboiler, zal dit concept een zeer lage EPC-score halen.*

## 9. De PV-installatie

*In dit hoofdstuk wordt het laatste installatieonderdeel besproken van het EPC 0.0-concept. Aangezien een PV-installatie het enige onderdeel is dat energie duurzaam kan opwekken, is dit een belangrijk onderdeel van het installatieconcept. Dit hoofdstuk geeft inzicht in het functioneren van de installatie en kosten die het systeem met zich meebrengt. Hiermee wordt ook invulling gegeven op de doelstelling tot het samenstellen van meerdere EPC 0.0 concepten, zoals weergegeven in de Inleiding.*

Alle onderdelen van de installatie in een woning gebruiken energie. Er zijn installaties die met weinig energie heel veel doen, zoals een warmtepomp, of gebruik maken van de zon, zoals bij een zonneboiler. Toch blijft een dergelijke installatie energie verbruiken om te kunnen functioneren, bijvoorbeeld als gevolg van een pomp. Om een woning te bouwen met een EPC 0.0 is het noodzakelijk een voorziening te maken die energie opwekt, zodat de hoeveelheid verbruikte energie (in MJ) even hoog is als de duurzaam opgewekte energie (in MJ).

Duurzaam energie opwekken kan bij een woning op 2 manieren, namelijk door zon of door wind. Zoals in het onderzoek is gebleken, is het in Nederland praktisch niet haalbaar om een windmolen bij een woning te plaatsen (*Bijlage Onderzoek hfdst. 9.4*). Daarnaast zijn ook de kosten zodanig hoog dat het in vergelijking met PV-panelen niet interessant is. Daarom blijft alleen de optie PV-installatie over om energie duurzaam op te wekken ten behoeve van de energieprestatie van een woning.

Een PV-systeem zet zonlicht door middel van omvormers om in elektriciteit. De afkorting 'PV' staat voor Photo(=licht) en Voltaic(=elektriciteit). De koppeling tussen deze twee delen staat voor de opwekking van duurzame energie. Een PV-installatie bestaat de volgende onderdelen:

- zonnepanelen
- bekabeling
- omvormers
- ophangstelsel

Een pv-installatie staat volledig op zichzelf. Dat houdt in dat het onafhankelijk functioneert van de overige installaties. Waar de andere installatieonderdelen elkaar onderling beïnvloeden, gebeurt dat bij een pv-installatie niet. In het onderzoek werd dat ook zichtbaar bij de berekening van de energieprestatie. Waar bij de overige installatieonderdelen het effect van een maatregel steeds kleiner wordt naarmate de energieprestatie de EPC 0.0 nadert, blijft een pv-installatie bijna lineair. De reden hiervan is dat een pv-installatie volkomen op zichzelf staat en niet wordt beïnvloed door de aanwezigheid van andere installaties.



De lineaire EPC-reductie die een PV-installatie geeft in de energieprestatie is erg interessant omdat het 'laatste stukje' niet met een normale installatie kan worden gehaald. Daarnaast is de teruglopende effect van energiebesparende maatregelen zodanig dat het veel kosten met zich meebrengt om een kleine EPC-reductie te realiseren.

De kosten voor een paneel worden als volgt berekend:

Uitgangspunt voor een paneel:

- afmeting 100x165cm
- 250WP/paneel
- jaaropbrengst  $250 \times 0,9 = 225\text{kWh/jaar}$

$1\text{m}^2$  brengt per jaar op:  $225\text{kWh}/1,65\text{m}^2 = 135\text{kWh/jaar}$

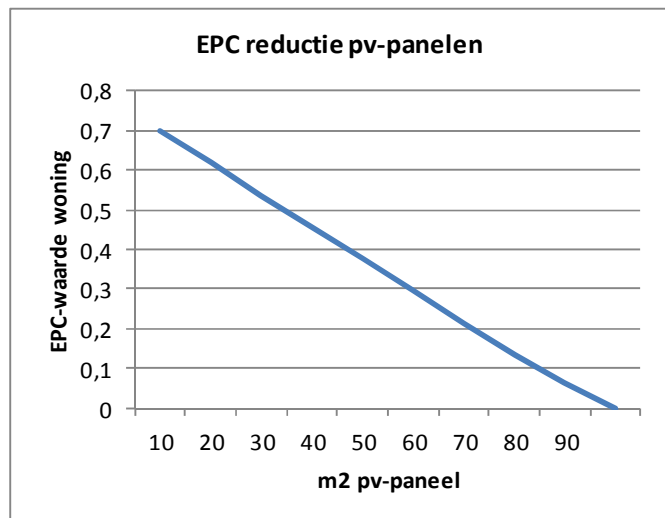
Kosten voor een paneel:  $250\text{WP} \times \text{€ } 2,25 = 562,50$

Paneel is totaal  $1,65\text{m}^2$ , dus per  $\text{m}^2$  paneel kost het  $\text{€}562,50 / 1,65\text{m}^2 = \text{ong. €}350,00$

Een gezin met 4 personen gebruik gemiddeld  $4.580 \text{ kWh}$  per jaar (bron: Nibud). In de sector van vrijstaande woningen kan er vanuit worden gegaan dat dit verbruik ong. 10% hoger ligt als gevolg van meerdere luxeartikelen. Het verbruik komt dan op  $5.000 \text{ kWh/jaar}$ . Dit stroomverbruik is niet alleen gebouwgebonden verbruik, maar ook voor gebruikers-gebonden verbruik. Dit komt overeen met  $37\text{m}^2$  pv-paneel. Uitgangspunt voor het aantal toegepaste oppervlakte pv-paneel is  $30\text{m}^2$  in verband met beschikbare ruimte op het dak.

Het nut van de bovenstaande berekening van stroomverbruik in een gezin is dat het onzeker is wat er gaat gebeuren met het 'terug leveren' van stroom aan het openbare net. In 2013 is het nog gebruikelijk om voor terug leveren dezelfde vergoeding te ontvangen als voor het verbruik van stroom van het openbare net. In de toekomst kan dit veranderen omdat het terug leveren van stroom een extra belasting vormt voor het openbare net. Conclusie is dat het het meest gunstig is om alleen te voorzien in eigen behoefte.

De toepassing van een PV-installatie kan in de praktijk lastig zijn. Met name de plaats waar de panelen moeten komen te liggen kan problemen geven. Hoewel in het empirisch onderzoek de PV-panelen een 'sluitpost' vormen om te voldoen aan de eis EPC 0.0, dient de uitvoerbaarheid wel in de gaten worden gehouden.



Figuur 22. Onderzoeksresultaat. Bron 11.

## 10. Totaalconcepten

*Dit hoofdstuk is de afsluiting van de ontwikkeling van de installatieconcepten en worden meerdere EPC 0.0 - totaalconcepten samengesteld. Alle elementen die invloed hebben op de energieprestatie van een woning worden in dit hoofdstuk samengevoegd tot een optimaal presterend concept waarbij de bouwkundige basis vast ligt op optimale waarden en daarbij wordt aangevuld met diverse installatieconcepten. De aanvulling met een pv-installatie vormt de afronding van het EPC 0.0 concept. Tevens komen in dit hoofdstuk de totaalkosten aan de orde. Met dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de doelstelling voor het samenstellen van meerdere EPC 0.0-concepten en de kosten die daaraan zijn verbonden.*

### 10.1 Bouwkundig

Een totaalconcept voor een woning bevat alle elementen die invloed hebben op de energieprestatie van een woning. Wanneer aan alle elementen een invulling is gegeven, kan er gesproken worden over een totaalconcept. In het geval van een vrijstaande woning bevat een totaalconcept de volgende onderdelen:

- ontwerp (compact ontwerp, gunstige oriëntatie, zonwering waar nodig)
- isolatiewaarden voor:
  - vloer
  - gevel
  - dak
  - kozijnen
- qv10-luchtdichtheidswaarde
- installatie ten behoeve van:
  - verwarming
  - warm tapwater
  - ventilatie
  - energieopwekking

Op basis van de resultaten uit het onderzoek kunnen er meerdere totaalconcepten worden vastgesteld. Wat betreft het bouwkundige deel staan de volgende elementen vast:

- isolatiewaarden voor:
 

-vloer	Rc 5.0m <sup>2</sup> .K/W
-gevel	Rc 6.0m <sup>2</sup> .K/W
-dak	Rc 5.0m <sup>2</sup> .K/W
-kozijnen	U <sub>glas</sub> 0.6W/m <sup>2</sup> .K
- qv10-luchtdichtheidswaarde 0.4

De bouwkundige elementen vormen de basis voor het totaalconcept. In het onderzoek wordt dan ook zichtbaar welk effect de vastgestelde isolatie- en infiltratiewaarden hebben op de energieprestatie van een woning. De energieprestaties bij de verschillende installatieconcepten is beduidend hoger dan bij de eerste oriëntatieronde (Rc 3.5-4.0m<sup>2</sup>.K/W) waarbij prestaties onder EPC 0.45 niet haalbaar waren.

## 10.2 Installatie

Op basis van de uitkomsten van de oriëntatieronde kan er een selectie worden gemaakt van installatieconcepten die interessant zijn om verder te onderzoeken. Een installatieconcept bestaat uit meerdere onderdelen. Het kan daarom nodig zijn om nieuwe samenstellingen te maken om een bepaald resultaat te halen. Mede door voortschrijdend inzicht tijdens het onderzoek zijn er nieuwe installatieconcepten samengesteld.

- |                  |   |
|------------------|---|
| <b>Concept 1</b> | <b>EPC 0.565</b><br>HR107 ketel (Nefit Compact HRC30)<br>Ventilatie met wtw en CO <sub>2</sub> -meting  |
| <b>Concept 2</b> | <b>EPC 0.424</b><br>HR107 ketel (Atag E325EC) + zonneboiler 4.6m <sup>2</sup><br>Douche-wtw<br>Ventilatie met wtw en CO <sub>2</sub> -meting  |
| <b>Concept 3</b> | <b>EPC 0.463</b><br>HR107 ketel (Nefit Compact HRC 30)<br>Hybride warmtepomp met ventilatieretourlucht als bron<br>Ventilatie met natuurlijke aanvoer, mechanische afvoer met CO <sub>2</sub> -meting   |
| <b>Concept 4</b> | <b>EPC 0.358</b><br>HR107 ketel (ATAG E325EC) + zonneboiler 4.6m <sup>2</sup><br>Hybride warmtepomp met ventilatieretourlucht als bron<br>Ventilatie met natuurlijke aanvoer, mechanische afvoer met wtw (zie hybride warmtepomp)<br>Douche-wtw |
| <b>Concept 5</b> | <b>EPC 0.377</b><br>Hybride warmtepomp op buitenlucht + HR107 ketel (Nefit Topline Compact HRC30)<br>Zonneboiler 4.6m <sup>2</sup><br>Douche-wtw<br>Ventilatie met natuurlijke aanvoer, mechanische afvoer met CO <sub>2</sub> -meting          |

**Concept 6      EPC 0.297**

Combiwarmtepomp bodem 4 (cw4, 5, 6)

Douche-wtw

Zonneboiler Atag 4.6m<sup>2</sup> warmwater

Ventilatie met natuurlijke aanvoer, mechanische afvoer met CO<sub>2</sub> -meting

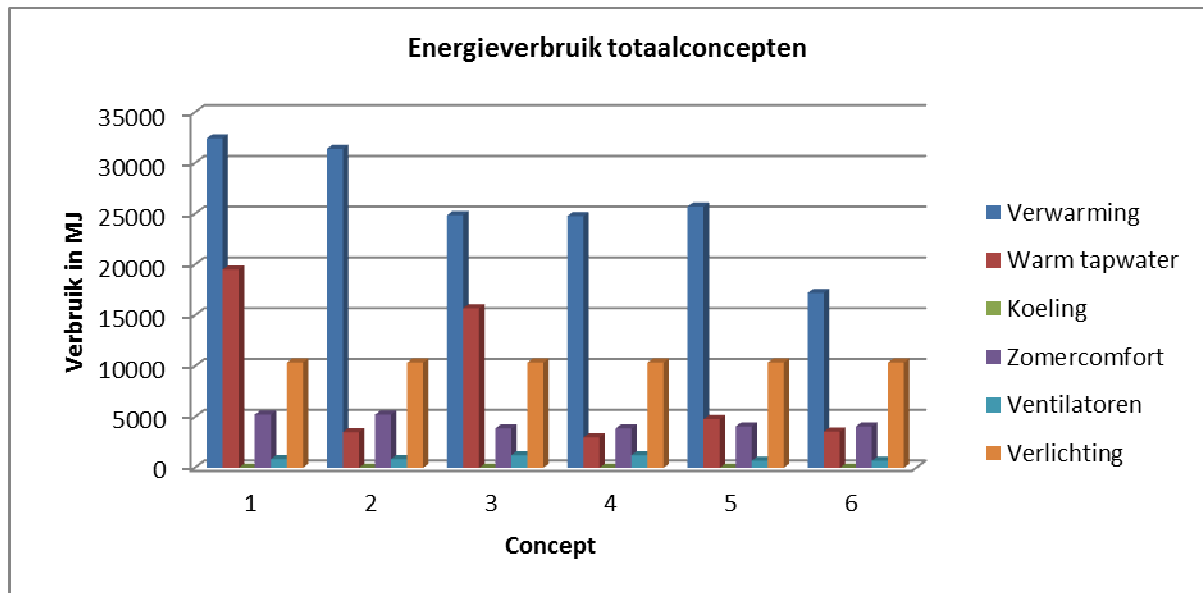
De keuze voor een bepaald totaalconcept mag niet enkel afhangen van een EPC-waarden zoals hierboven is aangegeven. Ook het energieverbruik kan een rol spelen in de keuze die wordt gemaakt. Het energieverbruik kan worden berekend aan de hand van uitkomsten uit de energieprestatieberekening. Bij een EPC-berekening wordt een samenvatting gegeven van het energieverbruik van verschillende elementen in een woning, waaronder:

- verwarming
- warm tapwater
- koeling
- zomercomfort
- ventilatoren
- verlichting.

Met de gegevens uit de samenvatting van een EPC-berekening kan onder andere een berekening worden gemaakt van de kosten van deze elementen. De uitkomsten van het energieverbruik van de totaalconcepten is als volgt:

Concept	1	2	3	4	5	6
<b>EPC</b>	0,565	0,424	0,463	0,358	0,377	0,297
<b>Verwarming</b>	32441	31401	24882	24792	25728	17224
<b>Warm tapwater</b>	19528	3511	15703	3004	4779	3558
<b>Koeling</b>	0	0	0	0	0	0
<b>Zomercomfort</b>	5228	5228	3873	3873	4081	4081
<b>Ventilatoren</b>	854	854	1244	1244	701	701
<b>Verlichting</b>	10365	10365	10365	10365	10365	10365

Figuur 23. Onderzoeksresultaat. Bron 12.



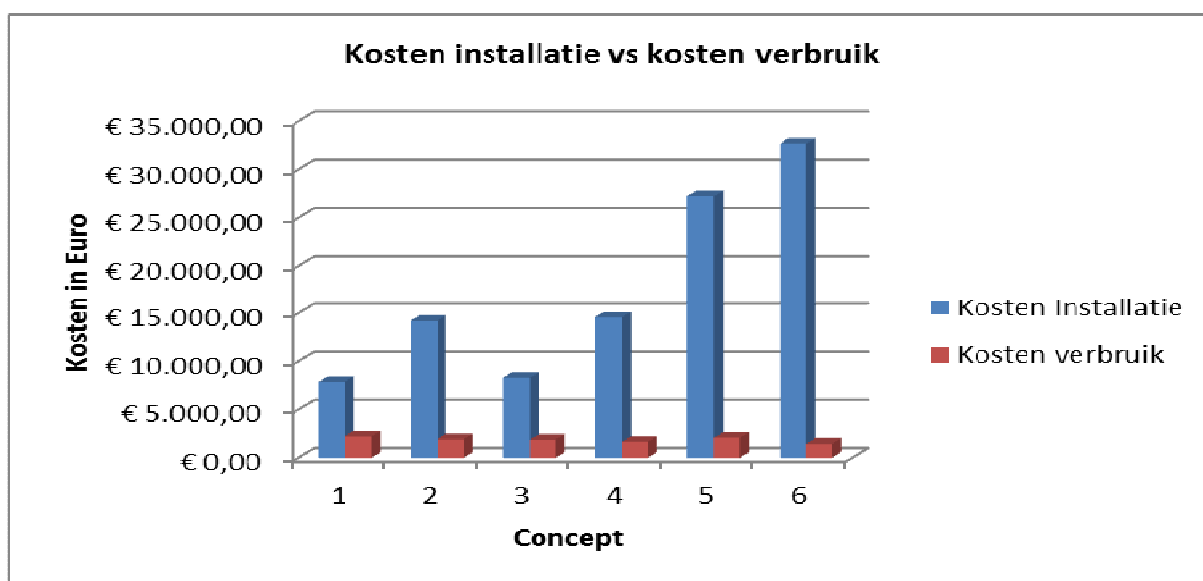
Figuur 24. Onderzoeksresultaat. Bron 13.

De kosten voor het energieverbruik worden niet allemaal direct uit de waarden van de EPC-berekening gehaald. Verwarming wordt berekend de hand van formules op basis van het vloeroppervlak en het gebruik van warm tapwater is gebaseerd op een gezin met 2 kinderen. De keuze voor het warm tapwater-gebruik is bewust gedaan omdat een groot deel van de opdrachtgever deze gezinssamenstelling heeft. De kosten voor zomercomfort, ventilatoren en verlichting worden wel direct omgerekend van MJ naar kWh.

	EPC zonder E-installatie	Kosten W-installatie	Kosten verbruik W-install.
<b>Concept 1</b>	0,565	€ 7.865,00	€ 2.238,51
<b>Concept 2</b>	0,424	€ 14.217,50	€ 1.934,88
<b>Concept 3</b>	0,463	€ 8.288,50	€ 1.888,55
<b>Concept 4</b>	0,358	€ 14.580,50	€ 1.669,74
<b>Concept 5</b>	0,377	€ 27.225,00	€ 2.091,62
<b>Concept 6</b>	0,297	€ 32.670,00	€ 1.458,18

Figuur 25. Onderzoeksresultaat. Bron 14.

Op basis van Figuur 25 kan worden geconcludeerd dat er een verband is tussen de kosten van de installatie en de kosten voor het verbruik, hoewel deze niet evenredig is. Om die reden is het dan ook belangrijk te weten wat de investering in de installatie op langere termijn opbrengt zodat de investering rendabel kan worden genoemd. Het onderdeel 'Lange termijn' wordt behandeld in hoofdstuk 11 TCO.



Figuur 26. Onderzoeksresultaat. Visualisatie van uitkomsten Figuur 25.

### 10.3 Toepassing PV-installatie

Op basis van de gegevens van de EPC-uitkomst kan worden bepaald hoeveel m<sup>2</sup> pv-installatie nodig is om een woning te realiseren met EPC 0.0. Het aantal benodigde m<sup>2</sup> paneel kan bepalend zijn voor de haalbaarheid van een totaalconcept omdat het dakvlak de plaats is waar de panelen zullen worden geplaatst. Daarnaast kan het mogelijk zijn een bijgebouw te voorzien van pv-panelen, maar dat is een optie die buiten beschouwing moet worden gelaten omdat dit buiten een standaard bouwplan valt. Het benodigd aantal m<sup>2</sup> pv-paneel is bepaald aan de resultaten uit het onderzoek (*Bijlage Onderzoek, hfdst. 9.3*). Deze resultaten zijn tevens weergegeven in hoofdstuk 9 van deze scriptie.

	EPC zonder pv-installatie	Benodigd pv-install. tot EPC 0.0
<b>Concept 1</b>	0,565	74 m <sup>2</sup>
<b>Concept 2</b>	0,424	56 m <sup>2</sup>
<b>Concept 3</b>	0,463	61 m <sup>2</sup>
<b>Concept 4</b>	0,356	48 m <sup>2</sup>
<b>Concept 5</b>	0,377	50 m <sup>2</sup>
<b>Concept 6</b>	0,297	40 m <sup>2</sup>

Figuur 27. Onderzoeksresultaat. Bron 15.

Op basis van de gegevens uit het onderzoek is in Figuur 27 weergegeven hoeveel m<sup>2</sup> pv-paneel er nodig is om een woning te realiseren met EPC 0.0. Uit deze gegevens blijkt dat zelfs met de meest energiezuinige installatie er nog 40m<sup>2</sup> pv-paneel nodig is om het gewenste resultaat te bereiken. Uitgangspunt zoals aangegeven in hoofdstuk 9 (pag. 32) is dat er ongeveer 30m<sup>2</sup> pv-paneel nodig moet zijn om een woning EPC 0.0 te geven.

Aangezien geen van de huidige concepten voldoet aan deze eis, zal er verder onderzoek nodig zijn of het mogelijk is wel aan deze eis te voldoen.

Wanneer er gekeken wordt naar de drie modelwoningen, zal het bij 2 van de 3 woningen niet haalbaar zijn om 40m<sup>2</sup> pv-paneel op het dak te leggen. Daarbij wordt uitgegaan van een meest ideale ligging op het zuiden. Om het toch haalbaar te maken, zal er moeten worden onderzocht worden of het een concept kan worden ontwikkeld met een lager aantal m<sup>2</sup> pv-paneel of mogelijk een bijgebouw gebruiken voor de pv-installatie.

Conclusie op basis het empirisch onderzoek (*Bijlage Onderzoek hfdst. 9.3*) is duidelijk dat een woning met een plat dak een betere uitgangspositie geeft dan een woning met een hellend dak. Dit is om 2 redenen:

- een plat dak kan volledig worden dicht gelegd met panelen. Dit in tegenstelling tot een hellend dak, waarbij vaak maar 25-40% van het dakvlak kan worden benut.
- met een plat dak kunnen de panelen altijd in de meest ideale stand worden geplaatst

We moeten in dit onderzoek echter wel rekening houden met het feit dat meer dan 75% van de te bouwen woningen niet zijn voorzien van een plat dak en moeten daarom het streven van maximaal 30m<sup>2</sup> pv-paneel handhaven.

## 10.4 Voorlopige deelconclusie

Op basis van het onderzoek naar het meest gunstige totaalconcept kan het volgende worden geconcludeerd. Totaalconcept 4 en 6 zijn de meest interessante uitvoeringen om een EPC 0.0 woning te maken. Dit is om de volgende redenen

Concept 4 -een lage EPC-score wat een goede uitgangspositie geeft om een EPC 0.0-concept te realiseren.

- installatiekosten zijn relatief laag ten opzichte van de EPC-score
- een eenvoudige installatie die breed toepasbaar is
- de verbruikskosten zijn evenredig met de energiestaat.

Concept 6 -een zeer lage EPC-score wat een goede uitgangspositie geeft om een EPC 0.0-concept te realiseren.

- installatie kan breed worden toegepast
- de verbruikskosten liggen dankzij de warmtepomp laag.

Om te kunnen voldoen aan de eis van maximaal 30m<sup>2</sup> pv-paneel zal er echter moeten worden onderzocht of het mogelijk is aan deze eis te voldoen. Daarom wordt er opnieuw gekeken op welke onderdelen het mogelijk is een besparing te realiseren door middel van een conceptverbetering.

## 10.5 Conceptverbetering

Zoals voorlopig is geconcludeerd in hoofdstuk 10.4 moet er nader worden onderzocht of er nog verbeteringen kunnen worden gevonden om te voldoen aan de eis van maximaal 30m<sup>2</sup> pv-paneel. Voor een integrale benadering wordt het nadere onderzoek gedaan op 4 onderdelen

- ontwerp
- bouwkundig
- installatietechnisch
- rekenkundig

### 10.5.1 Ontwerp

#### *Vormgeving en kozijnen*

Het volledig aanpassen van het ontwerp zou in deze fase een te grote stap zijn omdat daarmee alle variabelen in een andere verhouding komen te staan. Het is echter wel mogelijk binnen het bestaande ontwerp aanpassingen te doen, zoals bij de kozijnen. Kozijnen aan de noordzijde van een woning vormen een zwak punt voor de energieprestatie omdat aan deze zijde geen winst wordt gehaald uit passieve zonne-energie, en de noordzijde de 'koude kant' is van een woning. Via de kozijnen op deze plaatsen gaat de meeste energie verloren.

Wanneer in een berekening het aantal m<sup>2</sup> kozijn wordt aangepast van 7,2m<sup>2</sup> (volgens het ontwerp) naar 0m<sup>2</sup>, geeft dit een EPC-reductie van 0.01. In de praktijk zal deze aanpassing niet haalbaar zijn, maar deze uitkomst geeft wel weer wat het effect is van een ontwerpaanpassing. In de praktijk zal een verlaging van het aantal m<sup>2</sup> kozijn op de noordzijde wel effect hebben, maar zal het beperkt blijven tot maximaal 0.01 EPC-reductie. De reden van deze beperkte reductie zal moeten worden gezocht in het feit dat er standaard wordt gewerkt met triple-glas, wat een hoog isolerend vermogen heeft.

#### *Zonwering*

Zoals is aangegeven in hoofdstuk 5.3 moet de toepassing van zonwering per project worden onderzocht op toepasbaarheid. Om in dit geval een zo nauwkeurig mogelijke berekening te maken, is er onderzocht wat het effect is van de toepassing van zonwering alle zijden van de woning bij een EPC 0.35. Dit is een ander uitgangspunt dan in het empirisch onderzoek bij EPC 0.6 omdat het effect bij EPC 0.35 lager zal zijn, is de uitkomst betrouwbaarder omdat we nu rond deze EPC-waarde rekenen. Wanneer op oost, zuid en west zonwering wordt toegepast, geeft dit een reductie van ongeveer 0.02.



### 10.5.2 Bouwkundig

In eerste instantie is er vanuit de literatuurstudie en het empirisch onderzoek een samenstelling gemaakt van economisch meest gunstige waarden voor de bouwkundige onderdelen vloer, gevel, dak en kozijn. Om te kunnen voldoen aan de eis van maximaal 30m<sup>2</sup> pv-paneel moet er gekeken worden of in het bestaande bouwkundige concept nog aanpassingen kunnen worden gemaakt om tot een beter concept te komen ten behoeve van de pv-installatie.

#### *Vloer*

Het aanpassen van de begane grondvloer van Rc 5.0m<sup>2</sup>.K/W naar Rc 6.5m<sup>2</sup>.K/W geeft een reductie van 0.001. Gezien de extra kosten die uit deze aanpassing vloeien, is deze maatregel niet interessant.

#### *Gevel*

Het aanpassen van de gevelisolatiewaarde van:

- Rc 6.0m<sup>2</sup>.K/W naar Rc 8.0m<sup>2</sup>.K/W geeft een reductie van 0.007
- Rc 6.0m<sup>2</sup>.K/W naar Rc 10.0m<sup>2</sup>.K/W geeft een reductie van 0.009.

Beide isolatiewaarden geven een EPC-reductie. Gezien de mogelijk toepassing van isolatie bij Rc 8.0m<sup>2</sup>.K/W en de uitkomsten van het empirisch onderzoek (*Bijlage Onderzoek hfdst. 6.2*) is het het meest gunstig om te werken met Rc 8.0m<sup>2</sup>.K/W.

#### *Dak*

De isolatiewaarden van het dakvlak zijn bij het hellend dak nog beperkt. Wanneer er gekozen wordt voor de maximale isolatiewaarde van Rc 6.5m<sup>2</sup>.K/W in plaats van de gerekende Rc 5.0m<sup>2</sup>.K/W geeft dit een reductie van 0.001. Gezien de extra kosten die tegenover deze lage reductie staan, is het niet verstandig te kiezen voor deze maatregel.

#### *Kozijn*

In het huidige concept is uitgegaan van een houten kozijn met triple glas met U=0.6W/m<sup>2</sup>.K. Wanneer er gekozen wordt voor de mogelijkheid van Passief Overbeek Ufr 0.92W/m<sup>2</sup>.K geeft dit geen EPC-reductie. Aanpassing van het huidige concept heeft geen invloed op de EPC en zal dan ook niet worden aangepast.

### 10.5.3 Luchtdichtheid en ventilatie

In het standaard totaalconcept is uitgegaan van de volgende uitgangspunten

- luchtdichtheid  $qv_{10}$  0.4
- ventilatie door middel van natuurlijke aanvoer en mechanische afvoer

Aanpassen van de luchtdichtheid heeft tot gevolg

- aanpassing van 0.4 naar 0.3: reductie 0.002
- aanpassing van 0.4 naar 0.2: reductie 0.004

Gezien de ervaring van collega-aannemers (*Bijlage Proces hfdst. 5.4*) en de beperkte reductie van de EPC is het niet verstandig te kiezen voor een verlaging van de  $qv_{10}$ -waarde omdat dit in de praktijk nauwelijks haalbaar zal zijn.

Het aanpassen van het ventilatiesysteem met mechanische afvoer zonder wtw heeft in de praktijk wel gevolgen voor de EPC, maar ook voor de kosten. Een ventilatiesysteem met wtw kost meer dan zonder wtw. Er kan alleen voor deze aanpassing worden gekozen wanneer de ventilatieafvoerlucht nog niet wordt benut. In het geval van Concept 4 is dit wel het geval. Bij Concept 6 wordt er nog geen gebruik gemaakt van de warmte in de ventilatieafvoerlucht.

### 10.5.4 Installatie

Op het gebied van installaties zijn beide concepten al voorzien van een warmtepomp, waarbij bij Concept 4 de ventilatieretourlucht de bron is, en bij Concept 6 de bodem. Daarnaast zijn beide concepten voorzien van:

- zonneboiler
- douche-wtw

De enige mogelijkheid om een EPC-reductie te realiseren is het eventueel vergroten van het zonneboilerpaneel. Bij de douche-wtw kan geen extra reductie worden gehaald omdat deze al maximaal is ingezet op de koudepoort van de douchemengkraan en de inlaat van het toestel.

#### *Concept 4*

Aanpassen van de zonneboiler van

- Atag CB Solar II 200/5.0 4.60m<sup>2</sup> naar
- Atag CB Solar II 200/7.5 6.90m<sup>2</sup>,

geeft een reductie van 0.019. Aangezien deze aanpassing eenvoudig kan worden gemaakt, is dit een interessante maatregel om de EPC te verlagen.

### *Concept 6*

Het aanpassen van Concept 6 heeft nauwelijks effect op de energieprestatie. Ook het vergroten van het paneel voor de zonneboiler heeft geen effect. Wanneer de zonneboiler naast het warm tapwater ook op de verwarming wordt aangesloten, geeft dit in eerste instantie een reductie, maar door de noodzaak van een extra circulatiepomp wordt deze reductie teniet gedaan. Het enige onderdeel wat nog overblijft is het benutten van de warmte uit de ventilatieafvoer. Wanneer daar een wtw-systeem op wordt gezet geeft dit een reductie van 0.012.

### **10.5.5 Rekenkundig**

Een EPC-berekening is een middel om de energieprestatie van een woning te bepalen. Deze berekening bestaat dan ook uit een groot aantal waarden die moeten worden ingevoerd om deze prestatie te berekenen. Het programma geeft een bepaalde mate van vrijheid aan de gebruiker hoe nauwkeurig een berekening moet worden gemaakt. Daarbij zijn de volgende mogelijkheden:

- globaal. Er wordt gebruik gemaakt van forfaitaire waarden.
- nauwkeurig. Alle m<sup>2</sup> en m<sup>1</sup> die nodig zijn voor een berekening dienen apart te worden ingevoerd.

Aangezien de totaalconcepten op meerdere woningen moeten worden toegepast, is er bij de berekeningen uitgegaan van forfaitaire waarden om ruimte te laten voor de toepassing op meerdere woningen. Omdat we in deze fase ook deze variabele nauwkeuriger willen inzetten, wordt er gekozen voor de berekeningsmethode met een nauwkeurige benadering. Volgens EPC-deskundige Beltman van Ontwerpbureau Brummelhuis kan er bij een nauwkeurige berekening winst worden gehaald omdat de forfaitaire methode ongunstiger uitkomt. In de praktijk is dit verschil een reductie van 0.03 tot 0.05.

Om van dit rekenkundige voordeel universeel gebruik te kunnen maken wordt er gekozen voor een standaard EPC-reductie als gevolg van een nauwkeurige berekening van 0.03, met dien verstande dat het mogelijk is dat het in een enkel geval nog gunstiger kan uitpakken.

### **10.5.6 Kosten conceptverbetering**

Het verlagen van de EPC door middel van het verder door-ontwikkelen van Concept 4 en 6 heeft financiële gevolgen. Om te voldoen aan de eis van maximaal 30m<sup>2</sup> pv-paneel bij een EPC 0.0 moet de energiebesparing grotendeels uit de toepassing van installatie-onderdelen komen. Gevolg is wel dat de kosten per 0.001 EPC-reductie hoger zijn omdat een pv-paneel lineair reduceert en de W-installatie niet.

### 10.5.7 Verbruik verbeterde concepten

De verbeterde concepten presteren beter dan de 'normale' concepten. Zoals de EPC-score aangeeft is er nog steeds geen sprake van een EPC0.0-concept omdat er in deze berekening nog een pv-installatie is opgenomen die energie duurzaam kan opwekken.

	EPC zonder pv-instal.	Kosten W-installatie	Kosten verbruik W-installatie
Concept 1	0,565	€ 7.865,00	€ 2.238,51
Concept 2	0,424	€ 14.217,50	€ 1.934,88
Concept 3	0,463	€ 8.288,50	€ 1.888,55
Concept 4	0,358	€ 14.580,50	€ 1.669,74
Concept 4 Verbeterd	0.269	€ 15.669,50	€ 1.390,79
Concept 5	0,377	€ 27.225,00	€ 2.091,62
Concept 6	0,297	€ 30.250,00	€ 1.354,95
Concept 6 Verbeterd	0.212	€ 42.652,50	€ 1.161,55

Figuur 28. Onderzoeksresultaat. Bron 16.

Concept 4 Verbeterd heeft zowel in EPC (-0.089) als in verbruikskosten (€-278,95) een lagere uitkomst dan het standaard Concept 4. Deze daling is het gevolg van het toepassen van de energiebesparende maatregelen zoals genoemd in paragraaf 10.5.1 t/m 10.5.5.

Concept 6 Verbeterd heeft ook zowel in de EPC (-0.085) als in de verbruikskosten (€-193,40) een daling. De daling in de verbruikskosten is echter een stuk lager in verhouding met de EPC-daling. Gevolg van de beperkte verbruikskostendaling is het effect van de warmtepomp. Waar bij de eerste berekening gebruik kon worden gemaakt van het 'hefboomeffect' van de COP-waarde, heeft dat nu een beperkend effect op de verbruikskosten bij een EPC-reductie.

### 10.5.8 Toepassing pv-installatie

	EPC zonder pv-installatie	Benodigd pv-install. tot EPC 0.0
Concept 1	0,565	74 m <sup>2</sup>
Concept 2	0,424	56 m <sup>2</sup>
Concept 3	0,463	61 m <sup>2</sup>
Concept 4	0,356	48 m <sup>2</sup>
Concept 4 Verbeterd	0.269	37 m <sup>2</sup>
Concept 5	0,377	50 m <sup>2</sup>
Concept 6	0,297	40 m <sup>2</sup>
Concept 6 Verbeterd	0.212	30 m <sup>2</sup>

Figuur 29. Onderzoeksresultaat. Bron 17.

Conclusie van Figuur 26 is dat alleen Concept 6 Verbeterd voldoet aan de eis van maximaal 30m<sup>2</sup> pv-paneel op een woning met EPC 0.0. In de vervolgberekeningen gaan we verder met de volgende concepten:

- Concept 4
- Concept 4 Verbeterd
- Concept 6
- Concept 6 Verbeterd

Dit wordt gedaan om de volgende redenen:

- Benodigd aantal m<sup>2</sup> pv-paneel voor modaal gezin zoals aangegeven in hoofdstuk 9 is 37m<sup>2</sup>.  
De genoemde 4 concepten bevinden zich rond dit aantal m<sup>2</sup> pv-paneel.
- Het aantal gestelde m<sup>2</sup> pv-paneel is een uitgangspunt en geen vereiste. Dit biedt de mogelijkheid om met meerdere concepten door te rekenen waardoor een beter vergelijk mogelijk is tussen de concepten.

## 11. Total Cost of Ownership (TCO)

*In dit hoofdstuk wordt er verder gekeken dan alleen naar de bouwkosten. Aangezien een opdrachtgever de verwachting heeft jaren gebruik te maken van de woning, zijn ook de verbruikskosten van de concepten van groot belang. In dit hoofdstuk worden de kosten voor het gebruik gekoppeld aan de (extra) kosten voor de bouw, op basis van meerdere momenten binnen 50 jaar.*

Wanneer kan worden aangetoond dat een bepaalde investering in de woning in de toekomst kan worden terugverdiend, geeft dit een extra meerwaarde aan een totaalconcept. Daarnaast kan worden aangetoond dat het bouwen van een EPC 0.0 woning niet per direct een slechte investering hoeft te zijn omdat de energieprijzen in de toekomst naar verwachting zullen gaan stijgen.

Bij het onderzoek is onderzocht wat de kosten van een installatie op langere termijn zal zijn. Hierbij is op basis van verbruik en vervanging bepaald wat de kosten en opbrengsten over 50 jaar zullen zijn. Met deze berekening kan aan een opdrachtgever worden getoond wat de gevolgen op langere termijn zullen zijn voor een bepaalde keuze.

Betaalbaarheid is een subjectief begrip en is voor elke opdrachtgever anders. Toch dient er een afweging te worden gemaakt in hoeverre het redelijk is een woning te voorzien van een installatie die het woning een EPC 0.0 geeft. Het verschil tussen korte- en lange termijn is erg belangrijk omdat er meerdere zaken invloed hebben, namelijk:

- aanschaf
- vervanging
- verbruik

Bij het maken van de berekeningen is uitgegaan van inflatie en energieprijsstijging. Hiervoor zijn de volgende waarden aangehouden:

- Energieprijsstijging is gebaseerd op de afgelopen 15 jaar. Volgens het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) zijn de energieprijzen de afgelopen 15 jaar 120% gestegen, wat overeenkomt met een jaarlijkse stijging van 5,4%.
- Inflatie is gebaseerd op de afgelopen 25 jaar. Volgens het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) is de gemiddelde inflatie sinds 1987 2,1%.

Op basis van de bovenstaande punten kan worden bepaald of het concept 'verkoopbaar' is bij een opdrachtgever. Een deel van de woning kost geld (bouwkundig en installatie) en een deel levert geld op (pv-installatie). Beide onderdelen worden in de volgende paragrafen behandeld met als resultaat een netto contante waarde van de invloedfactoren van de EPC.

## 11.1 Concept 0.6

Voor een goed vergelijk worden de ontwikkelde Totaalconcepten vergeleken met een concept dat op dit moment wordt toegepast met EPC 0.6. Op basis van een vergelijking met dit concept kan worden berekend of de extra investering die wordt gedaan ook op lange termijn rendabel is. Bij het Concept 0.6 wordt uitgegaan van:

- Vloer Rc 3,5m<sup>2</sup>.K/W
- Gevel Rc 3,5m<sup>2</sup>.K/W
- Dak Rc 4,05m<sup>2</sup>.K/W
- Qv 10 0.985
- HR107 ketel
- Warmtepompboiler op ventilatieafvoer
- Natuurlijke aanvoer d.m.v. roosters

Onderdeel	Kosten aanschaf
HR107 ketel	€ 2.420,00
Warmtepompboiler	€ 4.235,00
Zelfregelende roosters	€ 1.149,50
Douche wtw	€ 907,50
<b>Totaal</b>	<b>€ 8.712,00</b>

Figuur 30. Onderzoeksresultaat. Bron 18.

De waarden van Concept 0.6 kunnen verschillen van de waarden die zijn berekend in dit onderzoek omdat bij de berekening van Concept 0.6 andere uitgangspunten zijn gehanteerd.

*Berekening verbruik volgens Bijlage Onderzoek hfdst. 9.2.2.*

## 11.2 Kosten

De onderstaande tabellen zijn uit de volgende onderdelen opgebouwd:

Aanschaf	De kosten voor de aanschaf van de installatie zoals is opgenomen in het onderzoek ( <i>Bijlage Onderzoek hfdst. 10</i> ). Hieronder wordt verstaan de kosten voor de installatie t.b.v.: <ul style="list-style-type: none"> <li>• verwarming</li> <li>• warm tapwater</li> <li>• ventilatie</li> <li>• pv-installatie</li> </ul>
Vervanging W	Te vervangen werktuigbouwkundige installatie (W-installatie) gedurende 50 jaar. Hieronder vallen de installatie ten behoeve van verwarming, warm tapwater en ventilatie. ( <i>Bijlage Onderzoek hfdst. 11.3</i> )
Vervanging E	Te vervangen elektrische installatie (E-installatie) gedurende 50 jaar. In dit geval valt hier de pv-installatie onder. ( <i>Bijlage Onderzoek hfdst. 11.5</i> )
Verbruik 50 jr.	De kosten voor het verbruik van de gebouwgebonden installatie E+W installatie. ( <i>Bijlage Onderzoek hfdst. 11.4</i> )
Bouwkundig	Kosten voor extra bouwkundige maatregelen zoals isolatie, luchtdichtheid en kozijnen ten opzichte van de installatie die op dit moment bij EPC 0.6 wordt toegepast. ( <i>Bijlage Onderzoek hfdst. 11.1</i> )

Concept EPC 0.6	
Aanschaf	€ 8.712,00
Vervanging W	€ 22.810,00
Vervanging E	€ 0,00
Verbruik 50jr	€ 586.964,38
<b>Totaal</b>	<b>€ 618.486,38</b>

Concept 0.6 is de huidige minimum eis van het Bouwbesluit en dient dan ook als uitgangspunt voor de vergelijking. Een opdrachtgever zal deze kosten minimaal hebben bij de bouw van een woning met EPC 0.6.

Concept Totaalconcept 4	
Aanschaf	€ 34.908,50
Vervanging W	€ 26.195,00
Vervanging E	€ 34.176,00
Verbruik 50jr	€ 421.066,20
Bouwkundig	€ 10.065,00
<b>Totaal</b>	<b>€ 526.410,70</b>

Totaalconcept 4 is een vergelijkend concept dat een energieprestatie heeft van 0.0. Op basis van een berekening over de termijn van 50 jaar moet zichtbaar worden hoe het kostenverloop over deze termijn zal zijn.

Concept Totaalconcept 6	
Aanschaf	€ 47.190,00
Vervanging W	€ 22.345,00
Vervanging E	€ 28.480,00
Verbruik 50jr	€ 341.684,10
Bouwkundig	€ 10.065,00
<b>Totaal</b>	<b>€ 449.764,10</b>

Totaalconcept 6 is evenals Totaalconcept 4 een vergelijkend concept. Totaalconcept 6 heeft een andere invalshoek dan Totaalconcept 4 omdat er bij dit concept een hogere investering bij de bouw moet worden gedaan. Daar tegenover staan een gunstiger energieverbruik,

Concept Totaalconcept 4 Verbeterd	
Aanschaf	€ 40.535,00
Vervanging W	€ 74.590,00
Vervanging E	€ 26.344,00
Verbruik 50jr	€ 350.722,10
Bouwkundig	€ 11.810,00
<b>Totaal</b>	<b>€ 504.001,10</b>

Verbeterd Totaalconcept 4 presteert beter dan het normale Totaalconcept 4. Hoewel bij de bouw een extra investering moet worden gedaan zal deze wel worden terugverdiend.

Concept Totaalconcept 6 Verbeterd	
Aanschaf	€ 55.357,50
Vervanging W	€ 69.660,00
Vervanging E	€ 21.360,00
Verbruik 50jr	€ 292.913,50
Bouwkundig	€ 11.810,00
<b>Totaal</b>	<b>€ 451.101,00</b>

Verbeterd Totaalconcept 6 presteert beter dan het normale Totaalconcept 6. Het verbruik bij Totaalconcept 6 is berekend aan de hand van het verbruik van een warmtepomp. Ten behoeve van reducerende maatregelen is het verbruik voor verwarming met 20% verlaagd en de kosten voor koeling gehalveerd i.v.m. toepassing van zonwering.

Figuur 31. Onderzoeksresultaat. Bron 19.



### 11.3 Opbrengsten

De pv-installatie is het enige onderdeel wat direct energie oplevert, en in feite ook euro's. Bij een warmtepomp gebeurt dit indirect omdat deze installatie met heel weinig energie veel energie genereert, maar dat levert niet direct euro's op.

In paragraaf 11.2 zijn de kosten opgenomen van de toegepaste installatie. Voor een compleet beeld van de financiële gevolgen van de toegepaste maatregelen dienen kosten en baten (=opbrengsten) tegenover elkaar te worden gezet. In Figuur 29 is weergegeven wat een aantal m<sup>2</sup> pv-paneel per jaar opbrengt aan kWh en Euro/jaar. Daarnaast ook een verwachte opbrengst over 50 jaar, gebaseerd op een verwachte energieprijssijting van 5,4% per jaar.

PV-Installatie opbrengsten				
	m2 paneel	Opbrengst kWh	Opbrengst/jaar	Opbrengst 50 jr.
<b>Concept 4</b>	48	6480	€ 1.296,00	€ 326.818,43
<b>Concept 4 Verbeterd</b>	37	4995	€ 999,00	€ 251.922,54
<b>Concept 6</b>	40	5400	€ 1.080,00	€ 272.348,69
<b>Concept 6 Verbeterd</b>	30	4050	€ 810,00	€ 204.261,52

Figuur 32. Onderzoeksresultaat. Bron 20.

### 11.4 Netto verbruikskosten o.b.v. 50 jaar

De netto kosten van een bepaald concept over een bepaalde tijd (50 jaar) kunnen berekend worden aan de hand van de volgende bedragen:

- de verbruikskosten van de installatie (zie hfdst. 11.2 Kosten)
- + de kosten voor het vervangen van installatieonderdelen (zie hfdst. 11.2 Kosten)
- - de opbrengsten van de pv-installatie (zie hfdst. 11.3 Opbrengsten)

Concept	Verbruikskosten W-Installatie	Vervangingskosten E+W installatie	Opbrengsten pv-installatie	Netto kosten 50jr	Besparing t.o.v. 0.6
<b>0.6</b>	€ 586.964,38	€ 22.810,00	€ 0,00	€ 609.774,38	€ 0,00
<b>4</b>	€ 421.066,20	€ 60.371,00	€ 326.818,43	€ 154.618,77	€ 455.155,61
<b>4v</b>	€ 350.772,10	€ 100.934,00	€ 251.922,54	€ 199.783,56	€ 409.990,82
<b>6</b>	€ 341.684,10	€ 50.825,00	€ 272.348,69	€ 120.160,41	€ 489.613,97
<b>6v</b>	€ 292.913,50	€ 91.020,00	€ 204.261,52	€ 179.671,98	€ 430.102,40

Figuur 33. Onderzoeksresultaat. Bron 21.

Extra investering t.o.v. EPC 0.6	
<b>Concept 4</b>	€ 36.261,50
<b>Concept 4 Verbeterd</b>	€ 41.888,00
<b>Concept 6</b>	€ 50.288,00
<b>Concept 6 Verbeterd</b>	€ 58.455,50

Figuur 34. Onderzoeksresultaat. Bron 22.

## 11.4 Terugverdientijd

Met behulp van de bekende gegevens is het mogelijk de terugverdientijd te bepalen van de extra investering die moet worden gedaan om een woning aan te passen van EPC 0.6 naar EPC 0.0. Deze berekening bestaat uit een gedeelte kosten (verbruik en vervanging) en een gedeelte opbrengsten (pv-installatie)

*De verbruikskosten voor de ontwikkelde Totaalconcepten (4, 4 verbeterd, 6 en 6 Verbeterd)*

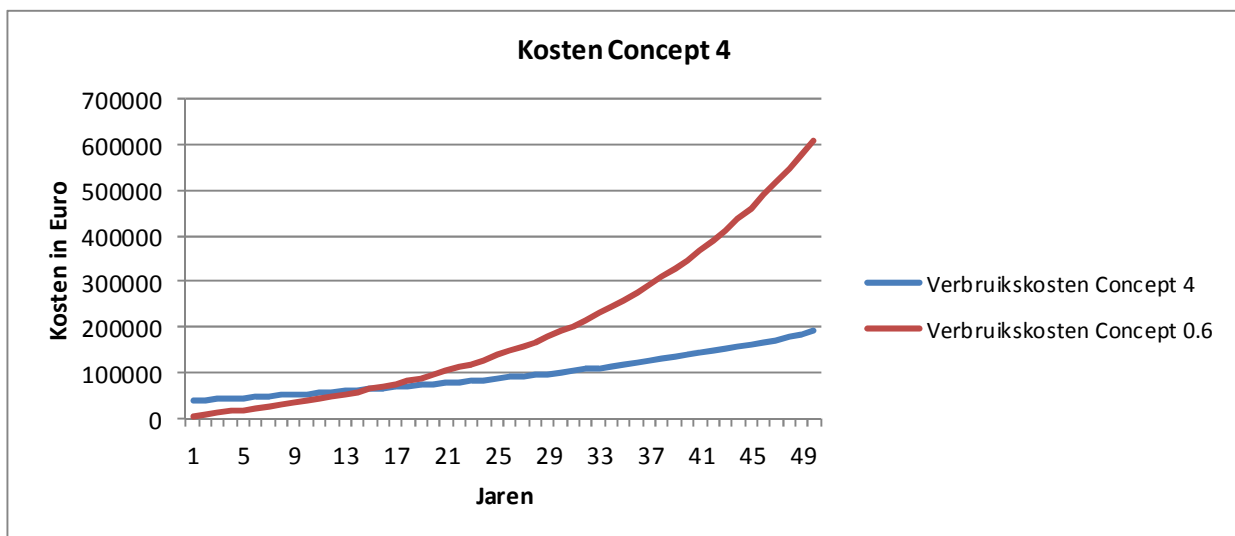
- kosten voor extra investering om van EPC 0.6 naar EPC 0.0 te gaan. Hierdoor starten de verbruikskosten bij het eerste jaar niet bij 0, maar hoger. Dit is het gevolg van de extra investering (bouwkundig en installatie)
- verbruikskosten van de W-installatie, verminderd met de opbrengst uit de pv-installatie
- de kosten voor vervanging, evenredig verdeelt over de 50 jaar (*zie 11.2 Kosten*)

*Verbruikskosten voor Concept 0.6*

- verbruikskosten van de W-installatie. Dit concept heeft geen pv-installatie.
- de kosten voor vervanging, evenredig verdeelt over de 50 jaar (*zie 11.2 Kosten*)

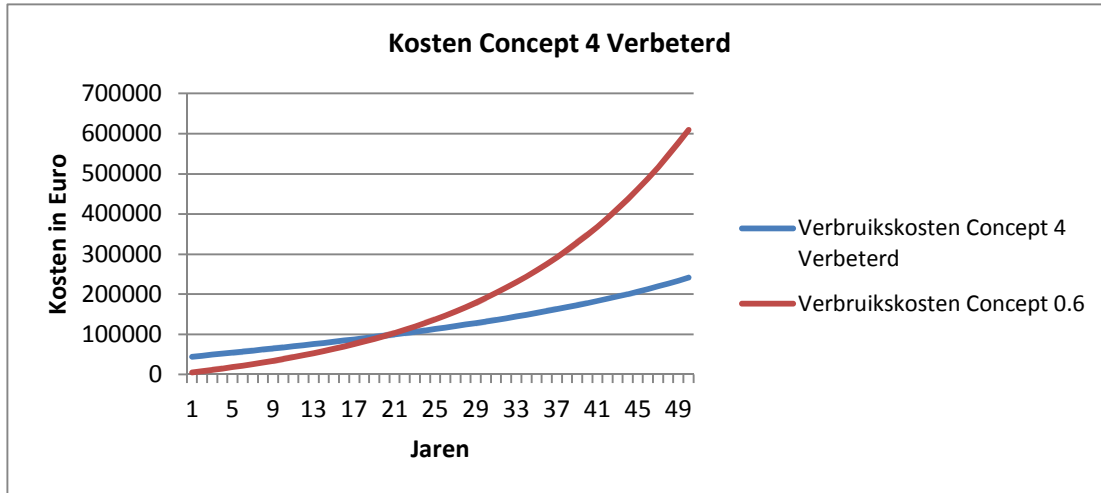
De lijn van Concept 0.6 eindigt exact volgens de berekening van Figuur 31 op € 609.774,38. De lijn van de ontwikkelde concepten (Concept 4, 4 verbeterd, 6 en 6 Verbeterd) eindigen hoger in de grafiek omdat deze vanaf een hoger bedrag starten i.v.m. de extra investering. Het bedrag 'Netto kosten over 50 jaar' (figuur 33) + 'Extra investering t.o.v. EPC 0.6' (figuur 34) geven hetzelfde eindbedrag als in de grafieken is af te lezen.

### Concept 4. Terugverdientijd 14 – 15 jaar



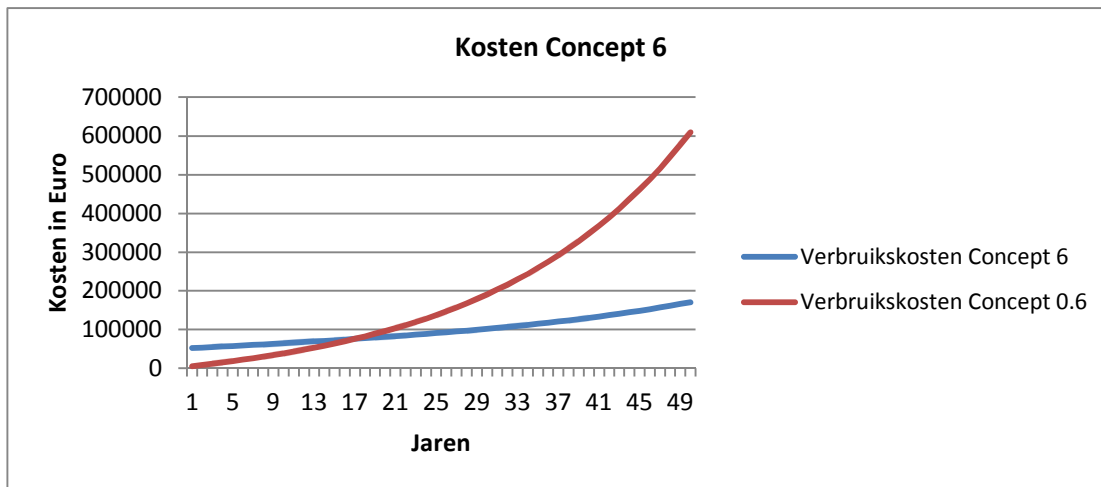
Figuur 35. Onderzoeksresultaat. Bron 23.

**Concept 4 Verbeterd. Terugverdientijd 20-21 jaar**



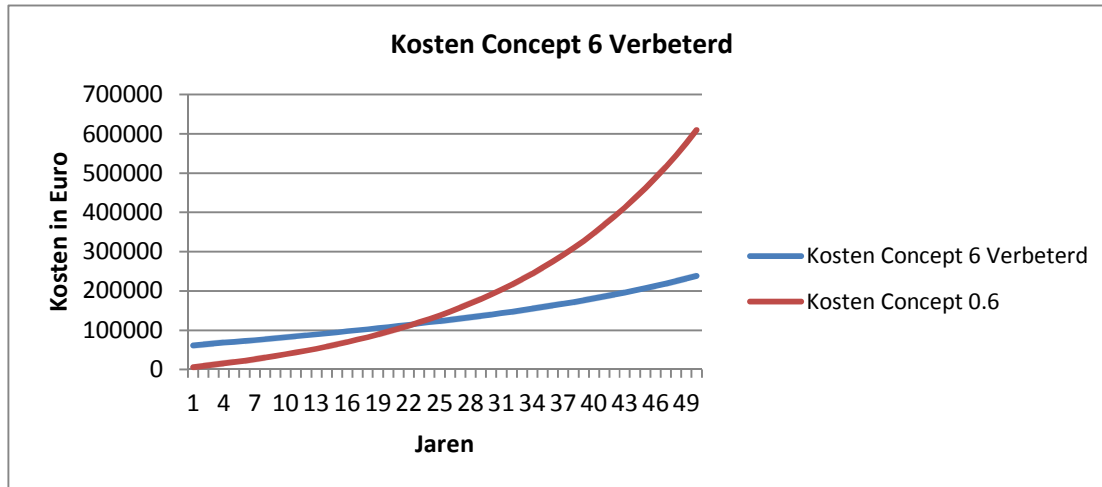
Figuur 36. Onderzoeksresultaat. Bron 24.

**Concept 6. Terugverdientijd 15 - 16 jaar**



Figuur 37. Onderzoeksresultaat. Bron 25.

**Concept 6 Verbeterd. Terugverdientijd 22-23 jaar.**



**Figuur 38. Onderzoeksresultaat. Bron 26.**

Concept 4	14-15 jaar
Concept 4 Verbeterd	20-21 jaar
Concept 6	15-16 jaar
Concept 6 Verbeterd	22-23 jaar

Op basis van de grafieken kan de volgende conclusie worden getrokken:

De verbeterde concepten hebben een langere terugverdientijd dan de 'normale' concepten. Dit heeft de volgende redenen:

- De Concepten 4 en 6 zijn gebaseerd op de optimale uitgangspunten zoals in het onderzoek is onderzocht.
- Bij de Verbeterde Concepten is met behulp van de W-installatie de EPC lager (zonder E-installatie). Deze W-installatie maatregelen zijn duurder in verhouding met een pv-installatie.
- De Verbeterde Concepten hebben minder pv-installatie. Juist deze installatie levert geld op.
- De Verbeterde Concepten hebben meer installatie, wat als gevolg heeft dat de vervangingskosten hoger zijn.

## 11.5 Rentabiliteit van extra investering bij 50 jaar

De investering in een EPC 0.0-woning is een belegging die zich elk jaar laat uitkeren in de vorm van een lage energierekening. De investering die moet worden gedaan voor deze lagere energierekening is opgebouwd uit een bouwkundig- en installatiedeel opgebouwd.

*Investering installatie* : investering zoals weergegeven in hoofdstuk 11.2, onderdeel 'Aanschaf'.

*Investering bouwkundig* : investering in bouwkundige zaken zoals uitgewerkt in *Bijlage Onderzoek hfdst. 10.1*.

*Totaal investering* : het totaalbedrag van investering in installatie en bouwkundig.

*Extra investering t.o.v. 0.6*: bedrag aan extra investering t.o.v. Concept 0.6, bestaande uit investering in installatie en bouwkundig. *Uitgewerkt in Bijlage Onderzoek hfdst. 10.1*.

*Opbrengst investering* : het verschil tussen netto kosten 50 jaar bij Concept 0.6 en desbetreffend concept. Zie hoofdstuk 11.4, figuur 30. Daar genoemd: *Besparing t.o.v. 0.6*.

*Rendement* : rendement van de investering, berekend over 50 jaar bij rente op rente. Berekening rendement uitgewerkt in *Bijlage Onderzoek hfdst. 10.6*.

RENDEMENTSBEREKENING EXTRA INVESTERING IN ENERGIEZUINIGHEID WONING						
Concept	Investering installatie	Investering bouwkundig	Totaal investering	Extra investering t.o.v. 0.6	Opbrengst investering	Rendement
0.6	€ 8.712,00	€ 0,00	€ 8.712,00	€ 0,00	€ 0,00	0,00%
4	€ 34.908,50	€ 10.065,00	€ 44.973,50	€ 36.261,50	€ 455.155,61	5,19%
4v	€ 40.535,00	€ 10.065,00	€ 50.600,00	€ 41.888,00	€ 409.990,82	4,67%
6	€ 47.190,00	€ 11.810,00	€ 59.000,00	€ 50.288,00	€ 489.613,97	4,65%
6v	€ 55.357,50	€ 11.810,00	€ 67.167,50	€ 58.455,50	€ 430.102,40	4,07%

**Figuur 39. Onderzoeksresultaat. Bron 27.**

Uit de bovenstaande tabellen blijkt dat er bij de bouw een extra investering moet worden gedaan om een woning te bouwen met EPC 0.0 (ten opzichte van EPC 0.6). Deze extra investering is bij:

- Totaalconcept 4 € 36.261,50
- Totaalconcept 4 Verbeterd € 41.888,00
- Totaalconcept 6 € 50.288,00
- Totaalconcept 6 Verbeterd € 58.455,50

De bouw van een woning met 600m<sup>3</sup> inhoud bedraagt €186.000,00 o.b.v. EPC 0.6. Om een dergelijke woning aan te passen naar EPC 0.0 dient er een extra investering te worden gedaan in verhouding tot de EPC 0.6 bij:

- Totaalconcept 4 : 19,5%
- Totaalconcept 4 Verbeterd : 22,5%
- Totaalconcept 6 : 27,0%
- Totaalconcept 6 Verbeterd : 31,4%

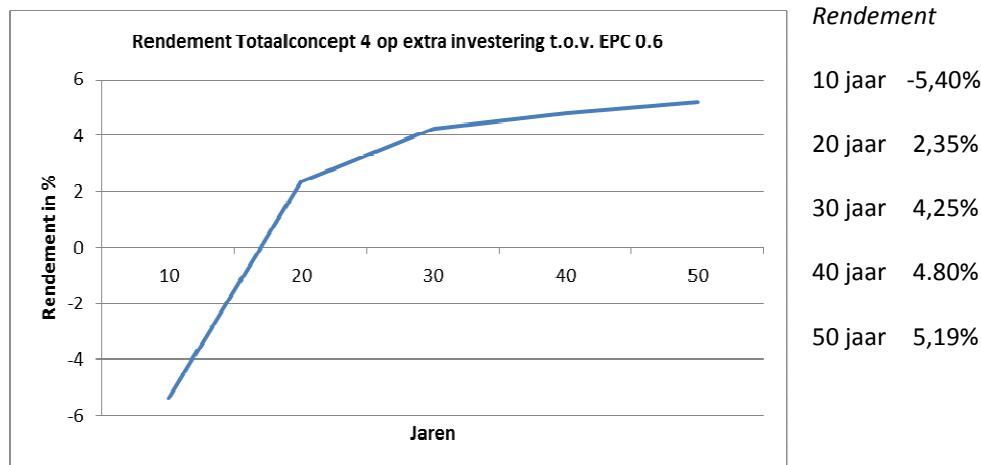
De reden waarom de verbeterde concepten minder gunstige financiële cijfers laten zien is om de volgende oorzaken:

- de extra investeringen voor een lagere EPC geven extra aanschaf- en vervangingskosten
- er wordt minder pv-paneel toegepast, en die leveren juist geld op.

### 11.6 Rentabiliteit van extra investering op looptijd <50 jaar

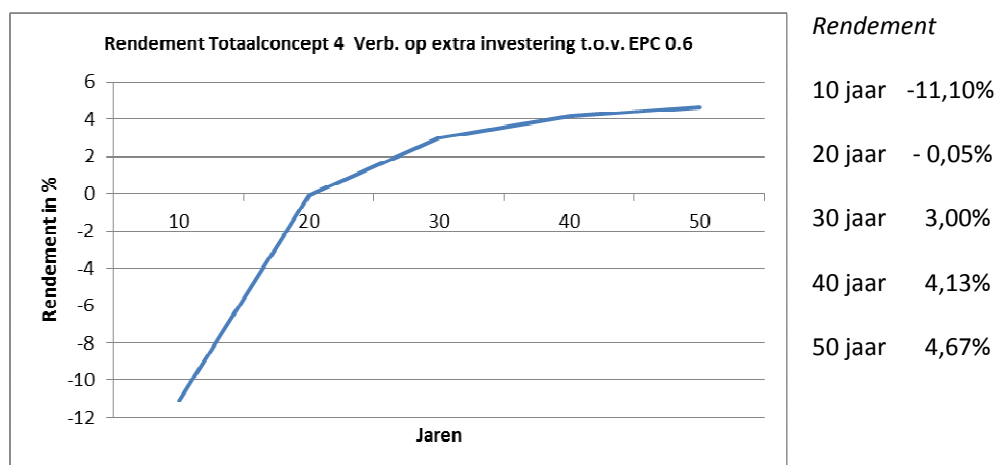
Niet elke opdrachtgever zal het rendement van zijn extra investering op 50 jaar willen weten. De extra investering zal een lagere energierekening tot gevolg hebben. Uit de berekening in hoofdstuk 11.5 is gebleken dat de investering op 50 jaar een bepaald rendement geeft. Bij de bouw is het rendement echter nog negatief omdat op dat moment de kosten groter zijn dan de opbrengsten. Op basis van berekeningen van investering en maandelijkse verbruikskosten geeft dat de volgende uitkomst.

*Totaalconcept 4.*



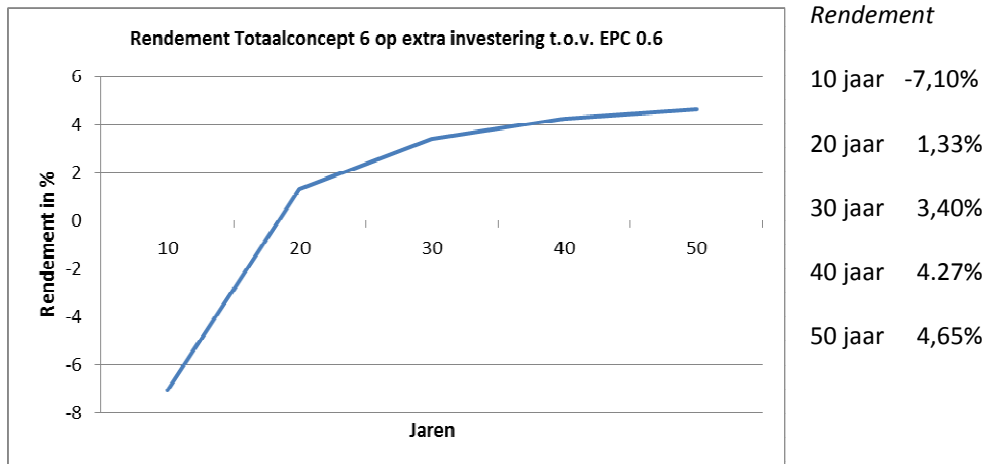
**Figuur 40. Onderzoeksresultaat. Bron 28.**

*Totaalconcept 4 Verbeterd*



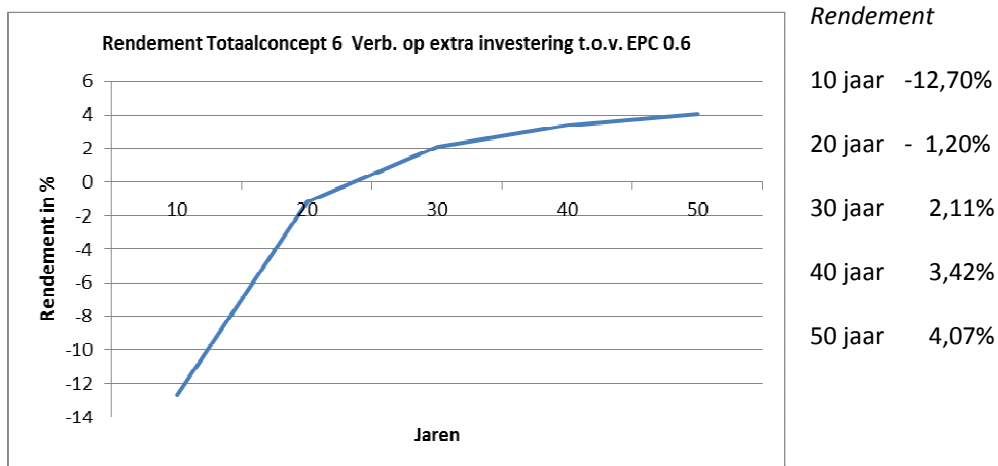
**Figuur 41. Onderzoeksresultaat. Bron 29.**

*Totaalconcept 6.*



**Figuur 42. Onderzoeksresultaat. Bron 30.**

*Totaalconcept 6 Verbeterd*



**Figuur 43. Onderzoeksresultaat. Bron 31.**

Het rendement van de extra investering om van EPC 0.6 naar EPC 0.0 is op korte termijn niet rendabel. De reden dat de stijging van het rendement naarmate de jaren vorderen minder wordt, is omdat de voorgaande jaren blijven meetellen, dus het rendement wordt steeds stabiel.

## 12. Conclusie en Aanbevelingen

*In dit hoofdstuk wordt een conclusie gegeven van alle zaken die zijn behandeld in de voorgaande hoofdstukken. Naast de conclusie worden er ook aanbevelingen gedaan om verbeteringen door te voeren. Bij deze aanbevelingen worden tevens voorstellen gedaan hoe deze verbeteringen kunnen worden doorgevoerd.*

### 12.1 Concepten

Op basis van het onderzoek wordt geconcludeerd dat het mogelijk is om meerdere EPC 0.0-concepten samen te stellen. Hierbij wordt niet een bepaald concept aangewezen als zijde de enige keuze, omdat de keuze voor een concept is afhankelijk van:

- beschikbare ruimte ten behoeve van pv-installatie
- budget van de opdrachtgever
- beoogde terugverdientijd van de extra investering
- persoonlijke voorkeur van de opdrachtgever voor een bepaald concept

### 12.2 Invloedfactoren

*Welke factoren invloed hebben op deze energieprestatie?*

HOOFDDEEL	ONDERDEEL	CONCLUSIE
<b>Ontwerp</b>	Complexiteit en compactheid	Ontwerp een eenvoudige woning zonder veel uitbouwen.
	Oriëntatie	Oriënteer een woning zodanig dat dit gunstig is voor de energieprestatie. Een berekening moet dit aantonen.
	Beschaduwung en zonwering	Overstekken geven natuurlijke zonwering. Toepassen van zonwering heeft positief effect op energieprestatie.
<b>Bouwkundig</b>	Vloer	Vloer met Rc 5.0 is meest ideale isolatiewaarde.
	Gevel	Gevel met Rc 6.0 is meest ideale isolatiewaarde. In Verbeterd Concept past Rc 8.0 het beste.
	Dak	Dak met Rc 5.0 is de meest ideale isolatiewaarde.
	Kozijnen	Meranti kozijnen voorzien van triple glas U=0.6.
	Luchtdichtheidswaarde	Qv10-waarde 0.4 is het meest gunstig.



<b>Installatie</b>	Verwarming	Door warmtepomp of HR107-ketel (zie hfdst. 10).
	Warm tapwater	Zonneboiler, ondersteunt door warmtepomp of HR107 ketel (zie hfdst. 10).
	Ventilatie	Natuurlijke of mechanische toevoer. Mechanische afvoer met warmteterugwinning.
	PV-installatie	Toepassing is noodzakelijk. Hoeveelheid is afhankelijk van overige totaalconcept (zie hfdst. 10).

*Welke kosten verbonden zijn aan deze factoren?*

Bij een woning met de inhoud van 600m<sup>3</sup> moet gerekend worden met een extra kostenpost van 20-30% voor het realiseren van een EPC 0.0 woning ten opzichte van EPC 0.6, afhankelijk van de conceptopbouw. (zie hoofdstuk 11.5, pag. 53)

Het rendement van de extra investering in een EPC 0.0 woning t.o.v. een EPC 0.6 woning varieert op basis van looptijd tussen -12,70% tot 5,19%. (zie hoofdstuk 11.6)

*Kunnen er EPC 0.0-concepten worden ontwikkeld?*

Ja, dat is mogelijk. Toepassen van installatieconcept is afhankelijk van beschikbare ruimte voor pv-installatie. (zie hoofdstuk 10).

## 12.2 Aanbevelingen.

### 1. *Ontwerp energiebewust*

Het verdient aanbeveling om vanaf het eerste ontwerp rekening met de gestelde energieprestatie EPC 0.0. Alleen dan is het mogelijk om een betaalbaar EPC 0.0-concept te ontwikkelen. De architecten dienen op de hoogte te zijn van de gevolgen bij het maken van keuzes met betrekking tot het ontwerp van een woning.

### 2. *Ontwikkel een bouwkundig concept*

Begin met de ontwikkeling van een bouwkundig concept wat breed kan worden ingezet. Hierdoor kunnen kosten worden bespaard in een EPC 0.0-concept. In dit bouwkundige concept dienen aanwezig te zijn

- isolatiewaardes van vloer, gevel en dak
- luchtdichtheidswaarde, minimaal klasse 2
- triple-glas met  $U=0.6W/m^2.K$ .

### 3. *Optimaliseer de inzet van een pv-installatie*

Bepaal eerst het maximaal aantal toe te passen pv-panelen op basis van ontwerp (beschikbare ruimte op zuidelijk dakvlak) of benodigde elektriciteitslevering (afhankelijk van gebruiker). Op basis van dit gegeven kan worden bepaald hoeveel W-installatie nodig is om een EPC 0.0-score te behalen.

### 4. *Kies voor duurzame materialen*

Zoals is geconcludeerd in Onderzoek hoofdstuk 11, is het belangrijk om te werken met materialen die bijdragen aan het duurzame karakter van een woning. De toegevoegde waarde van een LevensCyclusAnalyse (LCA) is daarin belangrijk.

## Nawoord

Een half jaar intensief onderzoek naar EPC 0.0 voor woningen in de vrije sector heeft veel nieuwe informatie opgeleverd.

Er is veel nieuwe informatie waar in de praktijk gebruik van kan worden gemaakt. Binnen afzienbare tijd zal er onderzocht worden of het mogelijk is kozijnen, ramen en deuren te gaan produceren die geschikt zijn voor triple-glas. In het onderzoek is duidelijk geworden dat dit een aanzienlijke prestatieverbetering geeft tegenover een lage investering. Dit geldt ook voor de verhoogde luchtdichtheid. Ook op dit onderdeel kan een EPC-reductie worden gerealiseerd tegen lage kosten.

Verstand en gevoel hebben tijdens het onderzoek elkaar regelmatig tegen gesproken. Daar waar de EPC-software aan bepaalde installaties veel besparing toekent, is inmiddels vanuit de praktijk bekend dat ze slecht presteren en niet het gewenste resultaat geven. Bij de beslismomenten moeten er keuzes worden gemaakt die onderbouwt kunnen worden. Voor een deel moet dat met het verstand omdat de uitkomsten duidelijk zijn. Voor een deel met gevoel, omdat de getallen niet altijd alles zeggen. Dit laatste is met name het geval wanneer er gesproken wordt over Total Cost of Ownership. Goede isolatie gaat een woningleven lang mee en wordt normaal gesproken eenmalig aangebracht. In de waardering van de software is dat niet terug te vinden. Deze gedachte is ook terug zien in de commentaren van de onderzoekers bij Nieman Raadgevende Ingenieurs, die aangeven dat er niet moet worden blindgestaard op de uitkomsten van een EPC-berekening.

Aan het eind gekomen van het afstudeeronderzoek kan er met een tevreden gevoel worden afgesloten. Veel informatie heb ik tot mij kunnen nemen en deze kennis wordt zeker in de praktijk toegepast. Daarom is alle inspanning zeer nuttig geweest en zal dit onderzoek bijdragen aan het verbeteren van de kwaliteit van woningen in de vrije sector.

## Bronnen

### Literatuur en publicaties

- Agentschap NL, NL Energie en Klimaat bv, 2010, *EnergieVademecum Energiebewust ontwerpen van nieuwbouwwoningen* (3<sup>e</sup>, herziene druk). Boxtel: Aeneas

- Agentschap NL, Lenteakkoord Voorburg, 2010. *Sleutel naar concepten, Toelichting op de Toolkit Duurzame Woningbouw*. Boxtel: Aeneas

- Agentschap NL / Piode - ontwerp- en adviesbureau BNA, (2012). *Op weg naar minimum energie woningen met EPC ≤ 0*.

Geraadpleegd op 12 februari 2013, van

<http://www.agentschapnl.nl/sites/default/files/Eindrapport%20P207-120917%20%20Op%20wergie%20woningen%20met%20epc%200.pdf>

- Dalen, ing. J.J.P. van, *Nieuwe energieprestatienorm in Nederland: de NEN7120*

Geraadpleegd op 14 maart 2013, van

[http://www.nieman.nl/wp-content/uploads/2010/07/Bouwregels-in-de-Praktijk\\_07-2010\\_NEN7120.pdf](http://www.nieman.nl/wp-content/uploads/2010/07/Bouwregels-in-de-Praktijk_07-2010_NEN7120.pdf)

- Duurzaam Loket, geraadpleegd op 30 maart 2013, van

<http://www.duurzaambouwloket.nl/content-warmteverliesmeten-11-4-10.html>

- Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) (2009). *Passiefhuis en EPN. Onderzoek naar de waardering van passiefhuizen volgens EPN en PHPP*.

Geraadpleegd op 1 maart 2013, van

<http://www.agentschapnl.nl/content/passiefhuis-en-epn-onderzoek-naar-de-waardering-van-passiefhuizen-volgens-epn-en-phpp>

- Ham, ing. A. van der, *Warmte-isolatie van daken: kansrijk en beheersbare risico's*

Geraadpleegd op 30 maart 2013, van

[http://www.nieman.nl/wp-content/uploads/2012/01/Roofs\\_2011-05-p6-7\\_Warmte-isolatie-van-daken.pdf](http://www.nieman.nl/wp-content/uploads/2012/01/Roofs_2011-05-p6-7_Warmte-isolatie-van-daken.pdf)

- Nederlands Normalisatie Instituut / Nieman Raadgevende Ingenieurs, Andre Kruihof – Theo Haytink, tweede geheel herziene druk, 2013. *Bouwbesluit Energieprestatie*.

- Nieman-Kettlitz, *Adviezen en metingen luchtdichtheid utiliteitsbouw*.

Geraadpleegd op 30 maart 2013, van

<http://www.nieman.nl/specialismen/gevel-en-dakadvies/adviezen-en-metingen-luchtdichtheid-utiliteitsbouw/>

- Nieman-Kettlitz, *Luchtdicht bouwen = kwalitatief bouwen*

Geraadpleegd op 30 maart 2013, van

[http://www.nieman.nl/wp-content/uploads/2013/03/Roofs-2013-02\\_luchtdichtbouwen-is-kwalitatief-bouwen.pdf](http://www.nieman.nl/wp-content/uploads/2013/03/Roofs-2013-02_luchtdichtbouwen-is-kwalitatief-bouwen.pdf)

- Nieman Raadgevende Ingenieurs (2013, 1 februari), *Onderzoek hoogwaardige thermische schil. Onderzoek naar praktische realisatiemogelijkheden van een Rc van 5.0 en hoger*.

Geraadpleegd op 30 maart 2013, van

<http://www.lente-akkoord.nl/wp-content/uploads/2013/03/onderzoek-hoogwaardige-thermische-schil-eindrapport-22-2-13.pdf>

- Ons Passief Huis, geraadpleegd op 11 januari 2013, van

<http://www.onspassiefhuis.nl/passiefbouwen.html>

- Valk, Harm, Nieman Raadgevende Ingenieurs, 'Wat is 0 waard?'

Geraadpleegd op 11 juni 2013, van

<http://www.bouwkennisblog.nl/wat-is-0-waard/>

- Vlaams Instituut voor Wetenschappelijk en Technologisch Aspectenonderzoek (viWTA), (2004). *Bouwen, Wonen en Energie*.

Geraadpleegd op 1 maart 2013 van

<http://www.samenlevingentechnologie.be/ists/nl/pdf/rapporten/rapportbouwenenergiedeel1.pdf>

### **Afbeeldingen**

- [www.duurzaambouwloket.nl](http://www.duurzaambouwloket.nl)
- [www.passiefhuismarkt.nl](http://www.passiefhuismarkt.nl)
- [www.gaslicht.com](http://www.gaslicht.com)
- [www.energiewereld.nl](http://www.energiewereld.nl)
- [www.evmglass.com](http://www.evmglass.com)
- [www.passiefkozijn.nl](http://www.passiefkozijn.nl)

### **Onderzoekbronnen**

1. Onderzoeksresultaat van het draaien van de woning op een kavel per 22.5graden.
2. Onderzoeksresultaat van het toepassen van zonwering op verschillende gevels en combinatie van gevels.
3. Weergave van het exponentiele verband tussen de Rc-waarde en de U-waarde. Nader uitgewerkt in Bijlage Onderzoek hoofdstuk 5.
4. Onderzoeksresultaat EPC-reductie bij de toepassing van verschillende isolatiewaarden bij een begane grondvloer. Nader uitgewerkt in Bijlage Onderzoek hfdst. 6.3.
5. Onderzoeksresultaat van de EPC-reductie bij het toepassen van verschillende isolatiewaarden bij een spouwmuur. Nader uitgewerkt in Bijlage Onderzoek hfdst. 6.2.
6. Onderzoeksresultaat van het kostenverloop van het toepassen van verschillende isolatiewaarden in een spouwmuur. Nader uitgewerkt in Bijlage Onderzoek hfdst. 6.2.
7. Onderzoekresultaat van de EPC-reductie bij verschillende isolatiewaarden bij een hellend dak. Nader uitgewerkt in Bijlage Onderzoek hfdst. 6.4.
8. Onderzoekresultaat van de EPC-reductie bij verschillende isolatiewaarden bij een plat dak. Nader uitgewerkt in Bijlage Onderzoek 6.4.
9. Onderzoeksresultaat van EPC-reductie ten opzichte van de U-waarde van het kozijn. Nader uitgewerkt in Bijlage Onderzoek hfdst.7.
10. Onderzoeksresultaat van EPC-reductie bij verschillende luchtdichtheidswaarden. Nader uitgewerkt in Bijlage Onderzoek hfdst. 8.
11. Onderzoeksresultaat van EPC-reductie bij de toepassing van pv-panelen. Nader uitgewerkt in Bijlage Onderzoek hfdst. 9.3.
12. Onderzoeksresultaat van energieverbruik van verschillende concepten. Onderzoek uitgevoerd met behulp van berekening-software Uniec2.0. Programma is ter beschikking gesteld met studentlicentie. De uitwerking van deze berekeningen digitaal toegevoegd bij de Bijlage, te vinden tegen binnenzijde van de achterkant van het bijlagedocument.
13. Onderzoeksresultaat van energieverbruik van verschillende concepten, weergegeven in staafdiagram. Visualisatie van Figuur 20.

14. Berekening van kosten gebouwgebonden energieverbruik. Berekend op basis van uitkomsten EPC-berekening. Nader uitgewerkt in Bijlage Onderzoek Figuur 41.
15. Onderzoeksresultaat van bepaling aantal m2 pv-paneel tot EPC 0.0. Nader uitgewerkt in Bijlage Onderzoek hfdst. 9.3.
16. Onderzoeksresultaat van verbruikskosten gebouwgebonden installatie. Nader uitgewerkt in Bijlage Onderzoek Figuur 41.
17. Onderzoeksresultaat voor de toepassing van pv-installatie tot EPC 0.0. Nader uitgewerkt in Bijlage Onderzoek hfdst. 9.3.
18. Onderzoeksresultaat aanschafkosten Concept 0.6. Dit is niet direct terug te vinden in de Bijlage Onderzoek. De kosten voor de installatiedelen zijn terug te vinden in Bijlage Onderzoek hfdst. 8.2.1. De kosten voor de installatiedelen staan in de bijlage excl. BTW genoemd en in de scriptie incl. BTW.
19. Onderzoeksresultaat voor kosten ten behoeve van installatie woning EPC 0.0. Nader uitgewerkt in Bijlage Onderzoek hoofdstuk 10 + 11.
20. Onderzoeksresultaat voor opbrengsten pv-installatie. Nader uitgewerkt in Bijlage Onderzoek 8.3.
21. Onderzoeksresultaat voor netto besparing t.o.v. EPC 0.6. Nader uitgewerkt in Bijlage Onderzoek hfdst. 11.
22. Onderzoeksresultaat extra investering ten opzichte van concept EPC 0.6. Nader uitgewerkt in Bijlage Onderzoek hfdst. 11.6
23. Onderzoeksresultaat terugverdientijd Concept 4 ten opzichte van Concept 0.6. Nader uitgewerkt in Bijlage Onderzoek hfdst. 11.7.
24. Onderzoeksresultaat terugverdientijd Concept 4 Verbeterd ten opzichte van Concept 0.6. Nader uitgewerkt in Bijlage Onderzoek hfdst. 11.7.
25. Onderzoeksresultaat terugverdientijd Concept 6 ten opzichte van Concept 0.6. Nader uitgewerkt in Bijlage Onderzoek hfdst. 11.7.
26. Onderzoeksresultaat terugverdientijd Concept 6 Verbeterd ten opzichte van Concept 0.6. Nader uitgewerkt in Bijlage Onderzoek hfdst. 11.7.
27. Onderzoeksresultaat voor rendement op extra investering voor EPC 0.0 ten opzichte van EPC 0.6. Nader uitgewerkt in Bijlage Onderzoek hoofdstuk 11.
28. Onderzoeksresultaat voor rendement op extra investering Totaalconcept 4 voor EPC 0.0 ten opzichte van EPC 0.6. Nader uitgewerkt in Bijlage Onderzoek hoofdstuk 11.
29. Onderzoeksresultaat voor rendement op extra investering Totaalconcept 4 Verbeterd voor EPC 0.0 ten opzichte van EPC 0.6. Nader uitgewerkt in Bijlage Onderzoek hoofdstuk 11.
30. Onderzoeksresultaat voor rendement op extra investering Totaalconcept 6 voor EPC 0.0 ten opzichte van EPC 0.6. Nader uitgewerkt in Bijlage Onderzoek hoofdstuk 11.
31. Onderzoeksresultaat voor rendement op extra investering Totaalconcept 6 Verbeterd voor EPC 0.0 ten opzichte van EPC 0.6. Nader uitgewerkt in Bijlage Onderzoek hoofdstuk 11.