

2018

Masterscriptie

Een onderzoek naar onbenut winstpotentieel bij investeringen in duurzaamheid bij grondgebonden nieuwbouwwoningen



Auteur: Ing. B.M.M. van den Mosselaar

Begeleider: drs. J.P.L.M. Op 't Veld

Opleiding: MSRE

Academie: Amsterdam School of Real Estate

Titel: Een onderzoek naar onbenut winstpotentieel bij investeringen in duurzaamheid bij grondgebonden nieuwbouwwoningen

Plaats, datum: Alkmaar, 21 september 2018

Auteur: Ing. B.M.M. van den Mosselaar

1^{ste} beoordelaar: drs. J.P.L.M. Op 't Veld

2^{de} beoordelaar: drs. W. van der Post

Onderdeel: Masterscriptie

Opleiding: Master of Science in Real Estate (MSRE)

Academie: Amsterdam School of Real Estate (ARSE)

Voorwoord

Op 29 maart 2017 werd in de Cobouw het interview gepubliceerd, waarin mij de vraag werd gesteld of ik bewust een gericht loopbaantraject heb gevolgd. “Dat kun je wel stellen”, was mijn antwoord. Mijn loopbaantraject kenmerkt zich namelijk door het eerst opdoen van theoretische kennis, om die kennis vervolgens in praktijk te brengen. Op het moment dat er routine sluipt in mijn werkzaamheden, zal ik weer op zoek gaan naar nieuwe theoretische kennis. Op deze wijze zorg ik ervoor dat mijn ontwikkeling nooit stilstaat.

Toen mij in 2016 de mogelijkheid werd geboden een masteropleiding te volgen, ben ik op zoek gegaan naar de best passende opleiding binnen de bouwsector. Uiteindelijk hebben de gesprekken met dhr. G. Eskes mij het inzicht gegeven dat een theoretische aanvulling op masterniveau, buiten mijn comfortzone als bouwtechnisch ingenieur, een grote verrijking zou opleveren. De opleiding aan de Amsterdam School of Real Estate heeft die voorspelling meer dan waargemaakt. Ondanks het theoretische karakter van de opleiding, was er tijdens college altijd ruimte voor inhoudelijke discussie met docenten en medestudenten. De voor mij belangrijke koppeling met de praktijk, werd hiermee gewaarborgd.

Voor u ligt de masterscriptie welke inzicht geeft in de rentabiliteit van duurzaamheidsoplossingen in grondgebonden nieuwbouwwoningen. Dit onderzoek betekent tevens het einde van mijn 2,5 jarige studietijd aan de Amsterdam School of Real Estate te Amsterdam. Zoals in de eerste alinea reeds aangegeven, wordt hiermee het theoretische deel afgesloten en start voor mij formeel gezien, het deel om deze kennis in praktijk te brengen. Mijn dank gaat dan ook uit naar de toenmalige directie van Thunnissen Bouw, waar ik als bedrijfsleider aan de studie ben begonnen en naar de directie van Slokker Bouwgroep, waar ik als directeur de opleiding heb afgerond. Zij hebben mij in de gelegenheid gesteld deze opleiding, naast mijn functie, naar alle tevredenheid te kunnen volgen.

Aangezien deze scriptie voor een belangrijk deel gebaseerd is op de informatie omtrent installatietechnische duurzaamheidsoplossingen en deze informatie met veel enthousiasme aan mij ter beschikking werd gesteld, wil ik de betrokken installatieadviseurs Steven Ivangh (Comfort Partners), Oscar Koopmans (Steboma) en Coos Schouten (Schouten Techniek) danken voor hun bijdragen aan deze scriptie.

Uiteraard wil ik ook graag mijn begeleider Hans Op 't Veld bedanken voor zijn pragmatische en deskundige feedback. Tijdens ‘the journey’ van deze scriptiefase ben ik slechts enkele voorspelde ‘mood’-fases tegengekomen, echter door op een prettige en gelijkwaardige wijze samen te werken, leidde dit nauwelijks tot vertragingen. Uiteindelijk ligt er een scriptie, waar de per 1 mei aangestelde head of Responsible Investment PGGM, hopelijk inspiratie uit kan halen. Succes Hans!

Maar bovenal ben ik mijn vrouw en mijn twee kleine helden veel dank verschuldigd. Afstuderen aan de ASRE, een nieuwe functie en de ontwikkeling van onze eigen woning, hebben ertoe geleid dat er het laatste jaar nauwelijks vrije tijd is overgebleven om er samen op uit te trekken. Ik heb dan ook veel respect voor hun geduld en ben trots op de wijze waarop wij deze periode hebben kunnen inpassen in ons dynamische gezinsleven. De nieuwe uitdagingen, welke ongetwijfeld op ons wachten, kunnen nu weer rekenen op alle tijd- en aandacht van ons viert.

Bob van den Mosselaar
Alkmaar, 21 september 2018

Managementsamenvatting

Als gevolg van de toename van de CO₂ in de atmosfeer, stijgt de temperatuur op aarde. Anno 2017 is in Nederland de temperatuur ten opzichte van 1906 met 1,9 graden gestegen en mondiaal gezien is de temperatuur ten opzichte van 1850 met 0,8 graden gestegen. Het aandeel van het Nederlands onroerend goed in de mondiale uitstoot van CO₂ bedraagt 1%. De categorie van Nederlandse gebouwen speelt hierin dus een substantiële rol.

De Rijksoverheid heeft met de Klimaatagenda haar doelstellingen vastgesteld. Deze doelstellingen hebben ertoe geleid dat de Nederlandse vastgoedsector energiezuiniger wordt gemaakt. Middels aangescherpte bouwregulering, zoals de Energie Prestatie Coëfficiënt van maximaal 0,4, wordt door de Rijksoverheid een exogene schok gegeven aan de ontwikkel- / bouwmarkt. Aangezien het vier-kwadrantenmodel van DiPasquale & Wheaton ervan uitgaat dat slechts één exogene schok tegelijkertijd plaatsvindt en de deelmarkten elkaar onderling beïnvloeden, leidt deze exogene schok in de ontwikkel- / bouwmarkt uiteindelijk tot een hogere beleggingswaarde van het onderhavige vastgoed in de beleggersmarkt. Hiermee zouden de eventuele extra investeringen in duurzaamheidsoplossingen (DZO) kunnen worden verantwoord. In de praktijk blijkt echter dat er nauwelijks geïnvesteerd wordt in duurzaamheidsoplossingen. De belangrijkste factor hierin betreft het gebrek aan informatie omtrent de toepassing van duurzaamheidsoplossingen.

Om projecten op een rendabele wijze te verduurzamen, is het van belang dat er kennis in de markt aanwezig is over de invloed van de investeringen in duurzaamheidsoplossingen op de rentabiliteit van de actoren. Zonder dergelijke kennis zullen investeringen achterwege blijven en blijft de markt voor duurzaamheidsoplossingen beperkt waardoor innovaties moeizaam een minimaal benodigd marktaandeel kunnen veroveren. Deze thesis voorziet in het verkrijgen van de benodigde kennis, door de rentabiliteit van diverse installatiepakketten in grondgebonden nieuwbouwwoningen te onderzoeken. Aangezien (institutionele) beleggers per definitie rendement gedreven zijn, zal het onderzoek vanuit hun perspectief worden uitgevoerd.

Institutionele beleggers belegden in 2015 voor ruim 131 miljard euro in direct- en indirect Nederlandse onroerend goed, waarvan 19,5 miljard euro direct werd belegd in de woningsector. Doordat (institutionele) beleggers in toenemende mate beleggen in indirect vastgoed, is het van belang de doelstellingen van de diverse actoren binnen die belegging en de wijze waarop deze behaald dienen te worden, met elkaar te vergelijken.

Een gespecialiseerde ontwikkelaar wenst zijn doelstellingen te behalen door de woningen bij oplevering te verkopen en heeft daardoor een beleggingshorizon van 2 tot 5 jaar. Echter wensen (institutionele) beleggers hun doelstellingen te behalen door woningen te exploiteren en hebben daardoor een beleggingshorizon van 30 jaar. Dit leidt tot een agency issue, waarbij de korte termijn horizon van de ontwikkelaar en de lange termijn horizon van de belegger met elkaar conflicteren. Circa 80 tot 90% van de beleggingsmarkt maakt ter evaluatie van de belegging gebruik van de DCF-waarderingsmethodiek.

Het binnen deze thesis ontwikkelde Design and decision Support System (DDSS), gebaseerd op de DCF-waarderingsmethodiek, wordt gevoed vanuit de gegevens van de referentiewoningen, alsmede de investeringswaarde, onderhoudskosten en –frequentie, vervangingskosten en levensduur van diverse installatietechnische

duurzaamheidsoplossingen. De resultaten uit de DDSS worden als input gebruikt voor het aanleggen van analyses. Middels het softwareprogramma Stata wordt middels regressie analyses de relatie tussen de investeringswaarde en de bijbehorende total cost of ownership (TCO) getoetst. Uit de R-squared blijkt dat de totale variantie van de total cost of ownership, bij een exploitatieperiode van 10 jaar significant is echter voor slechts 3,8% wordt verklaard vanuit de veronderstelde relatie met investeringswaarde. Zodra de exploitatieperiode wordt verhoogd naar 30 jaar, is dit nog slechts 0,87% en daarbij tevens niet significant. Hieruit wordt geconcludeerd dat de veronderstelde relatie tussen de twee variabelen, enerzijds verwaarloosbaar laag is en anderzijds mogelijk op toeval berust. Na geconstateerd is dat de hoogte van de investering nagenoeg geen verband houdt met de uiteindelijke total cost of ownership, wordt het onderzoek vervolgd om vast te stellen welke variabelen de totale variantie van de total cost of ownership wel in grote mate verklaren.

Bij een exploitatieperiode van 10 jaar respectievelijk 30 jaar, verklaren de hoogte van het restant duurzaam op te wekken energie en de maximale energieprestatievergoeding per jaar, gezamenlijk de variantie van de total cost of ownership met 67% respectievelijk 73%, welke beiden tevens significant blijken. Hiermee is aangetoond dat (institutionele) beleggers, om grote invloed uit te oefenen op de uiteindelijke total cost of ownership van de investering, zich dienen te focussen op het minimaliseren van het restant duurzaam op te wekken energie alsmede het verkrijgen van de hoogst mogelijke energieprestatievergoeding per jaar.

Door woningen te ontwerpen met een lage energievraag, wordt gewerkt aan een lager restant duurzaam op te wekken energie. De toepassing van de Energieprestatievergoeding is enerzijds afhankelijk van de wijze waarop de woning is aangesloten en anderzijds ook van de hoogte van de warmtevraag. Ook hiervoor geldt dat het ontwerp van de woning, waarbij een lagere warmtevraag geldt, toegang geeft tot een hogere Energieprestatievergoeding. De Energieprestatievergoeding varieert momenteel van € 0,05 tot € 1,42 per m² verhuurbaar vloeroppervlak per maand. Ondanks het feit dat de maximale huur vanuit overheidswege wordt gecorrigeerd bij de toepassing van de Energieprestatievergoeding, wordt er een positieve cashflow op gang gebracht.

In totaal zijn er ten behoeve van de referentiewoning 'Tussenwoning' 243 verschillende installatiepakketten geformeerd, welke allen voldoen aan de EPC van maximaal 0,4. De resultaten uit de berekeningen wijzen uit dat er een verschil aanwezig is tussen de investeringswaarde en de bijbehorende total cost of ownership van de diverse duurzaamheidsoplossingen. Vanuit het perspectief van de ontwikkelaar, is een ander installatiepakket het meest aantrekkelijk dan vanuit het perspectief van de (institutionele) belegger. De belegger zou door een wijziging van installatieconcept, het verschil tussen de total cost of ownership van beide concepten extra kunnen toekennen aan de beleggingswaarde van de woning. Dit zou bij een exploitatieperiode van 30 jaar een onbenut winstpotentieel ter hoogte van € 10.646 kunnen vrijspelen. Dit winstpotentieel is reeds contant gemaakt tegen de disconteringsvoet van 5,1% en betreft een substantieel bedrag op de totale investering voor de realisatie van de totale tussenwoning van circa € 140.000. Beleggers zouden ervoor kunnen kiezen om dit bedrag te benutten teneinde te komen tot een lagere Energie Prestatie Coëfficiënt dan wel simpelweg hun rendement te verhogen.

Naast de financiële drijfveer, om een proactieve houding aan te nemen ten aanzien van verduurzaming van de woningen, is het tevens van belang dat zowel gespecialiseerde ontwikkelaars als (institutionele) beleggers dergelijke verduurzaming als versteviging van hun bestaansrecht gaan opvatten. Door deze proactieve houding wordt enerzijds reeds voorgesorteerd op mogelijk aangescherpte regelgeving inzake duurzaamheid in de huurwoningsector, zoals bij de kantorensector reeds heeft plaatsgevonden. Anderzijds is er een trend gaande waarbij overheden steeds vaker een duurzaamheidsambities koppelen bij een selectie voorafgaand aan een gronduitgifte. Tevens verduurzamen financiële instellingen hun gefinancierde woningbouwprojecten, waardoor duurzaamheid ook gekoppeld zal worden aan de toekomstige kredietverstrekking. Het is dus zaak dat er toekomstbestendig ontwikkeld wordt door te investeren in rendabele duurzaamheidsoplossingen.

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	2
Hoofdstuk 1.....	10
1.1 Aanleiding.....	10
1.2 Relevantie.....	10
1.3 Probleemstelling.....	11
1.4 Vraagstelling.....	11
1.5 Onderzoeksmethode	12
1.6 Onderzoeksmodel	12
Hoofdstuk 2.....	14
2.1 Klimaatverandering en de woningmarkt.....	14
2.2 Grondgebonden nieuwbouwwoningen.....	15
2.3 Energie label, Energie-index en Energie Prestatie Coëfficiënt.....	17
Hoofdstuk 3.....	19
3.1 Onroerendgoedmarkt	19
3.1.1 Vierkwadrantenmodel van DiPasquale & Wheaton	19
3.1.1.1 Huurmarkt (property market – rent determination)	20
3.1.1.2 Beleggingsmarkt (asset market - valuation)	20
3.1.1.3 Ontwikkelmarkt (asset market – construction).....	20
3.1.1.4 Vorraadaanpassing (property market – stock adjustment)	21
3.1.2 Exogene schok in ontwikkel- / bouwmarkt.....	21
3.1.3 Actoren op Ontwikkel- / bouwmarkt	22
3.1.4 Actoren op de beleggersmarkt	22
3.1.4.1 Institutionele beleggers	23
3.2 Waarderingsmethoden onroerend goed	24
3.2.1 DCF-methode en de kernelementen	24
3.2.1.1 Kosten als kernelement in DCF-model	25
3.2.1.2 Opbrengsten als kernelement in DCF-model	26
3.2.1.3 Overige kernelementen in DCF-model.....	27
Hoofdstuk 4.....	29
4.1 Referentiewoningen.....	29
4.1.1 Tussenwoning.....	30
4.1.2 Hoekwoning	31
4.2 Duurzaamheidsoplossingen.....	31
4.3 Passieve duurzaamheidsoplossingen	31

4.4	Actieve duurzaamheidsoplossingen	33
4.5	Installatietechnische duurzaamheidsoplossingen	33
4.5.1	Verwarming	34
4.5.1.1	Individueel CV-toestel	35
4.5.1.2	Elektrische warmtepomp	35
4.5.1.3	Micro WKK	36
4.5.1.4	Direct gestookte luchtverwarmer	36
4.5.1.5	Externe warmtelevering	36
4.5.1.6	Warmtedistributie	37
4.5.2	Ventilatie	38
4.5.2.1	Natuurlijke toevoer en natuurlijke afvoer	39
4.5.2.2	Mechanische toevoer en natuurlijke afvoer	39
4.5.2.3	Natuurlijke toevoer en mechanische afvoer	39
4.5.2.4	Mechanische toevoer en mechanische afvoer	40
4.5.2.5	Uitbreidingen basis ventilatiesystemen	40
4.5.3	Warmtapwater	40
4.5.3.1	Douchewarmte-wtw	41
4.5.3.2	Zonneboiler	42
4.5.4	Elektriciteit opwekkende techniek	43
Hoofdstuk 5		44
5.1	Zeggenschap	44
5.2	Beleggingshorizon	44
5.3	Energieprestatievergoeding	45
5.4	Duurzaamheid in de beleggingsbeslissing	45
Hoofdstuk 6		46
6.1	Koppeling van de DCF aan de duurzaamheidsoplossingen	46
6.2	Input installaties in model	46
6.3	Vaststelling installatiepakketten	47
6.4	Energieconcepten	48
6.5	Basis uitgangspunten financieel model	49
Hoofdstuk 7		53
7.1	Design and Decision Support System	53
7.2	Resultaten onderzoek	54
7.3	Resultaat dynamisch concept	54
7.4	Resultaat referentiewoning variant A	55
7.5	Resultaat referentiewoning variant B	56

7.6	Resultaat basis concept	56
7.7	Resultaat comfort concept.....	57
7.8	Resultaat All in one concept.....	57
7.9	Resultaat Solar concept	57
7.10	Resultaat all-electric concept.....	58
7.11	Resultaat passief concept.....	58
7.12	Vijf best presterende concepten tussenwoning.....	60
7.13	Vijf minst presterende concepten	61
Hoofdstuk 8.....		62
8.1	Beschrijvende statistiek	62
8.2	Samenhang	62
8.2.1	Scatterplot	63
8.2.2	Correlatie	64
8.2.3	Enkelvoudige regressie	65
8.2.4	Meervoudige regressie.....	67
8.3	Gevoeligheidsanalyse	69
8.3.1	Gevoeligheidsanalyse – discontovoet.....	69
8.3.2	Gevoeligheidsanalyse – geen EPV van toepassing	70
Hoofdstuk 9.....		71
9.1	Conclusie en aanbevelingen	71
9.2	Beantwoording centrale onderzoeksvraag.....	74
9.3	Beperkingen van het onderzoek.....	75
9.4	Aanbevelingen voor vervolgonderzoek.....	75
Bibliografie		76
Bijlage 1:	Verdeling van de totale beleggingen van institutionele beleggers.....	80
Bijlage 2:	Totale beleggingen in direct- en indirect OG	81
Bijlage 3:	Omvang belegging in woningen en overig direct OG.....	82
Bijlage 4a:	EPV – Woningen welke zelf energie opwekken	83
Bijlage 4b:	EPV – Woningen welke zijn aangesloten op een warmtenet	84
Bijlage 4c:	EPV – Woningen welke zijn aangesloten op een gasnet	85
Bijlage 4d:	EPV - Voorwaarden	86
Bijlage 5:	Gegevens EPC ‘Tussenwoning’ (RVO, 2015).....	88
Bijlage 6:	Gegevens EPC ‘Hoekwoning’ (RVO, 2015)	89
Bijlage 7:	Actieve DZO – Gasgestookt toestel.....	90
Bijlage 8:	Actieve DZO – Elektrische warmtepomp.....	92
Bijlage 9:	Actieve DZO - Ventilatie	95

Bijlage 10:	Actieve DZO – Douche-WTW	98
Bijlage 11:	Actieve DZO - Zonneboiler	101
Bijlage 12:	Actieve DZO – PV-panelen	104
Bijlage 13:	Gegevens EPC – dynamisch concept.....	106
Bijlage 14:	Gegevens EPC – referentiewoning variant A en B (RVO, 2015).....	107
Bijlage 15:	Gegevens EPC – basis concept (Uniec2.2, 2018)	108
Bijlage 16:	Gegevens EPC – comfort concept (Uniec2.2, 2018).....	109
Bijlage 17:	Gegevens EPC – All in one concept (Uniec2.2, 2018).....	110
Bijlage 18:	Gegevens EPC – Solar concept (Uniec2.2, 2018).....	111
Bijlage 19:	Gegevens EPC – All electric concept (Uniec2.2, 2018)	112
Bijlage 20:	Gegevens EPC – Passief concept (Uniec2.2, 2018).....	113
Bijlage 21a:	Werkblad ‘Samenvatting EPC’ voor de hoofdconcepten.....	114
Bijlage 21b:	Werkblad ‘Samenvatting EPC’ voor concept 1.0	115
Bijlage 21c:	Werkblad ‘Samenvatting EPV’ voor concept 1.0.....	116
Bijlage 22a:	Huurprijscheck volgens huurcommissie	117
Bijlage 22b:	Maximale huurprijzen voor zelfstandige woonruimten	118
Bijlage 23a:	Vijf best presterende concepten.....	119
Bijlage 23b:	Vijf minst presterende concepten	120
Bijlage 24a:	Summary statistics en boxplot	121
Bijlage 24b:	Correlatie investering en TCO op verschillende expl. perioden	122
Bijlage 25a:	Gevoeligheidsanalyse – summary statistics en boxplots	123
Bijlage 25b:	Gevoeligheidsanalyse - discontovoet 3,5%.....	127
Bijlage 25c:	Gevoeligheidsanalyse - discontovoet 6,5%.....	129
Bijlage 25d:	Gevoeligheidsanalyse – geen EPV	131

Hoofdstuk 1

Alvorens het onderzoek uit te voeren, wordt in dit hoofdstuk de onderzoeksopzet belicht. Vanuit de aanleiding en maatschappelijke- en wetenschappelijke relevantie wordt eerst de probleem- en vraagstelling geformuleerd, waarna vervolgens de onderzoeksmethode en onderzoeksmodel worden vastgesteld.

1.1 Aanleiding

Het is voor vastgoedprofessionals een milestone binnen het ontwikkelproces: het vaststellen van de indieningsvereisten ten behoeve van de aanvraag van een Omgevingsvergunning. In de Ministeriële regeling Omgevingsrecht (MOR) zijn de minimale indieningsvereisten vastgesteld. Dit betreffen documenten en berekeningen vanuit het oogpunt van veiligheid, gezondheid, bruikbaarheid, milieu en energiezuinigheid. Een onderdeel, welke betrekking heeft op de laatstgenoemde categorie, betreft de berekening van de Energie Prestatie Coëfficiënt (EPC).

Vanaf 1 januari 2015 geldt voor de sector nieuwbouw een EPC van maximaal 0,4 voor woningen en woongebouwen. Dit coëfficiënt geeft de energiezuinigheid van een woning of woongebouw weer. Om de berekening van de EPC integraal te kunnen beoordelen, dienen de berekeningen conform de voorschriften uit de NEN¹ 7120 te worden uitgevoerd. Grofweg zijn de variabelen binnen deze berekening onder te verdelen in 3 categorieën: gebouweigenschappen, installaties en standaard gebruikersgedrag (RVO, 2017). In de praktijk worden er tijdens de ontwikkelingsfase meerdere EPC-berekeningen vervaardigd van de meest ongunstige woningen binnen een project, waarbij verschillende combinaties van variabelen leiden tot een EPC van maximaal 0,4. Aangezien elk afzonderlijke variabele zijn eigen kostprijs heeft, leiden de verschillende combinaties van deze variabelen uiteindelijk tot verschillende bouwkosten. Aangezien de ontwikkelaar veelal verantwoordelijk is voor de definitieve indieningsvereisten, wordt in de praktijk veelal de EPC- berekening opgenomen waarvan de kosten in eerste aanleg het laagst zijn. Hierbij wordt nauwelijks rekening gehouden met exploitatielasten en mogelijke extra te genereren opbrengsten. Evenwel ontbreekt een kosten-batenanalyse van extra investeringen in duurzaamheidoplossingen.

1.2 Relevantie

De maatschappelijke relevantie dient te worden gezocht in klimaatverandering. De Conference of Parties (CoP) die eind 2015 werd gehouden, heeft een nieuw Klimaatakkoord² opgeleverd. Sinds de industriële revolutie is de temperatuur op aarde reeds met 0,8 graad gestegen, met alle gevolgen van dien. In het Klimaatakkoord is overeenstemming bereikt ten aanzien van het doel de temperatuurstijging ten opzichte van 1850 onder de 2 graden te houden; met als streven maximaal 1,5 graden. Om dit te bereiken zal de uitstoot van CO₂³ aanzienlijk dienen te worden gereduceerd. Het reduceren van de broeikasgassen, stelt ons voor een grote verduurzamingsopgave, welke op grote schaal zal moeten plaatsvinden om de doelstellingen uit het Klimaatakkoord te bereiken.

¹ NEN is een instelling zonder winstoogmerk en beheert heden ruim 34.000 normen. Deze normen omvatten de in Nederland aanvaarde internationale- en nationale normen.

² Dit akkoord kwam tot stand doordat minimaal 55 landen, welke samen verantwoordelijk zijn voor meer dan 55% van de mondiale uitstoot, het akkoord ratificeerden (Nederlandse Emissieautoriteit, 2017).

³ CO₂ betreft één van de belangrijkste broeikasgassen. Door de CO₂ in de lucht wordt de warmte van de zon niet teruggekaatst naar de ruimte, maar vastgehouden in de lucht.

De wetenschappelijke relevantie heeft betrekking op de rentabiliteit van duurzaamheid in de woningbouw. Er is reeds veel gepubliceerd over deze rentabiliteit, waarbij overwegend de index vanuit de EPC-berekening als uitgangspunt wordt gebruikt om uitspraken te doen over de rentabiliteit. In deze publicaties wordt echter voorbijgegaan aan het feit er nog mogelijk een onbenut winstpotentieel aanwezig is bij de specifieke invulling van die EPC-berekening. Tevens blijft er een mogelijkheid onbenut om het rendement van beleggingen positief te beïnvloeden, door extra investeringen te doen in DZO.

1.3 Probleemstelling

Het rendement van (institutionele) beleggers bestaat uit een direct- en indirect rendement. Het directe rendement wordt bepaald door de opbrengsten uit onder andere huurpenningen minus de kosten van onder andere de exploitatielasten. Rendementen uit extra investeringen in duurzaamheidsoplossingen (DZO), hebben vervolgens weer invloed op het totale rendement van de investering.

Het is dan ook opmerkelijk dat (institutionele) beleggers nauwelijks energie lijken te steken in het onderzoek naar de mogelijkheden te komen tot rentabiliteitsverbeteringen middels extra investeringen in DZO. Door tijdens de ontwikkelingsfase invloed uit te oefenen op de invulling van de EPC, zouden zij per slot van rekening direct invloed hebben op het uiteindelijk te behalen rendement. Die terughoudendheid bij beleggers, om over te gaan tot (extra) investeren in duurzaamheidsoplossingen, komt voort uit het gebrek aan informatie, aldus de heer Schäperkötter (Technical Acquisition Manager, Vesteda). Door deze kennisleemte heerst er onzekerheid ten aanzien van het rendement op (extra) investeringen in duurzaamheidsoplossingen (Kok & Jennen, 2017).

1.4 Vraagstelling

Vanuit de probleemstelling kan de onderstaande-, beoordelende centrale onderzoeksvraag van deze thesis worden geformuleerd:

‘In hoeverre is er bij de investering in installatietechnische duurzaamheidsoplossingen bij grondgebonden nieuwbouwwoningen in Nederland, sprake van onbenut winstpotentieel voor (institutionele) beleggers’?

In deze thesis wordt een praktijkgericht wetenschappelijk onderzoek uitgevoerd, waarbij de resultaten van de steekproef worden gegeneraliseerd naar de totale populatie DZO (Baarda et al., 2014). Alvorens antwoord te kunnen geven op de centrale vraag, zullen onderstaande betogende deelvragen behandeld dienen te worden:

1. Deelvraag over de theorie (verklarend)

‘Op welke wijze reageert de woningmarkt op wijzigingen met betrekking tot duurzaamheid’?

2. Deelvraag over de verbanden tussen variabelen (beschrijvend)

‘Welke duurzaamheidsoplossingen zijn toepasbaar in grondgebonden nieuwbouwwoningen’?

3. Deelvraag over praktijktoetsing (beschrijvend)

‘Wat zijn de total cost of ownership van installatietechnische duurzaamheidsoplossingen in grondgebonden nieuwbouwwoningen?’

4. Deelvraag over uiteindelijk doel (beoordelend)

‘In hoeverre kunnen installatietechnische duurzaamheidsoplossingen bijdragen aan het rendement van investeringen door (institutionele) beleggers?’

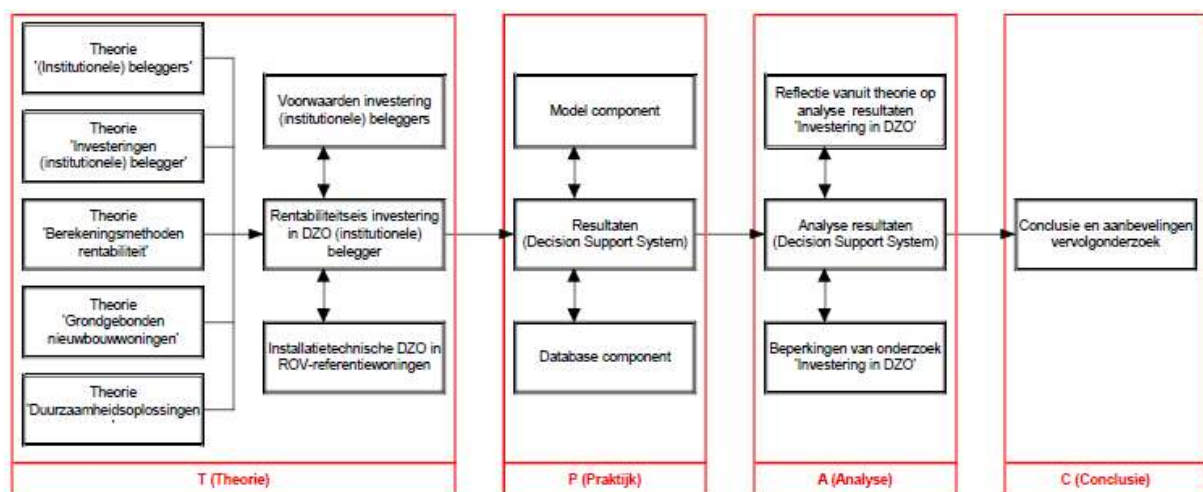
1.5 Onderzoeksmethode

Aangezien bij de onderzoeker van deze thesis een intrinsieke motivatie aanwezig is om onderzoek te doen naar praktijkgerichte oplossingen ten aanzien van het geschetste probleem, is er bij deze thesis gekozen om een beoordelende centrale onderzoeksvraag (Hoek-Gerritsen, 2015, p. 61) te formuleren.

Om te borgen dat er voldoende focus tijdens het onderzoek wordt behouden, zal in deze thesis slechts 1 fase worden uitgelicht. Een praktijkonderzoek bestaat uit vijf fasen (Hoek-Gerritsen, 2015, p. 78). Over fase 1 Probleemanalyse⁴ en fase 2 Diagnose⁵ is reeds veelvuldig gepubliceerd. Over de daaropvolgende fase 3 Ontwerpfase⁶, waarbij oplossingen over de probleemgebieden concreet worden gemaakt en worden beoordeeld, is slechts beperkt gepubliceerd waardoor vanuit deze fase een kennisleemte is ontstaan. Tevens kan, door de centrale onderzoeksvraag vanuit deze Ontwerpfase te benaderen, worden toegewerkt naar adequate inzichten waarmee het probleem in de praktijk kan worden opgelost.

1.6 Onderzoeksmodel

De kern van het tekstschema, bij de beoordelende centrale vraagstelling, is logischerwijs de beoordeling. Hierdoor is het van belang dat de beoordelingscriteria vanuit de theorie helder geformuleerd wordt. In het TPA⁷-schema (figuur 1) wordt zorggedragen voor een wetenschappelijke opbouw van de thesis.



Figuur 1: TPA -schema

⁴ Bij de fase Probleemanalyse' worden probleemgebieden geïdentificeerd.

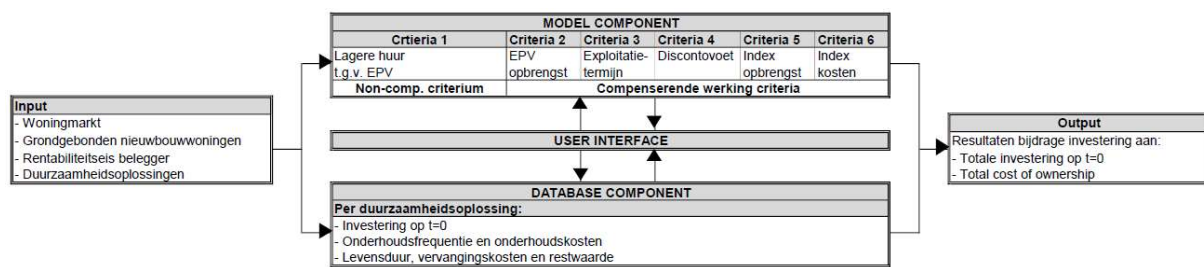
⁵ Bij de fase Diagnose worden de oorzaken en gevolgen binnen de probleemgebieden geanalyseerd.

⁶ In de Ontwerpfase worden oplossingen concreet gemaakt en beoordeeld.

⁷ TPA betreft een afkorting voor de onderdelen Theorie, Praktijk en Analyse.

In het TPA-schema van figuur 1 wordt het theoretisch kader weergegeven door kolom 1 en 2. In de centrale onderzoeksvraag zijn diverse onderdelen te benoemen waarover literatuuronderzoek uitgevoerd dient te worden alvorens het conceptueel kader te kunnen vaststellen. De vijf literatuurstudies leiden het conceptueel kader in, waarbinnen deze thesis dient te worden beschouwd. Concreet gezien wordt het conceptueel kader geformuleerd als 'de rentabiliteitseis op investeringen in DZO door (institutionele) beleggers'.

Om de rentabiliteit van investeringen in duurzaamheidsoplossingen op een consistente wijze te genereren, wordt er voor deze thesis een Design and decision support system (DDSS) ontwikkeld, welke gebaseerd is op het model van Arentze & Achten (2007).



Figuur 2: Het concept voor het Design and decision support system (DDSS)

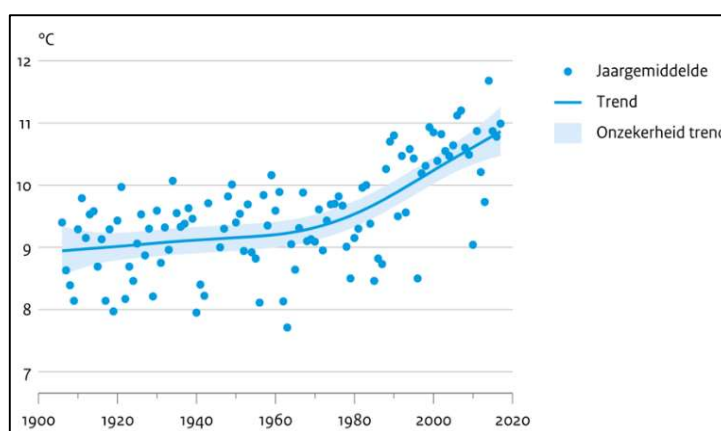
Hoofdstuk 2

Nu de onderzoekopzet is vastgesteld, worden in dit hoofdstuk de doelstellingen vanuit het maatschappelijke belang verder beschreven. Tevens worden de impact van de Nederlandse onroerendgoedmarkt op de mondiale uitstoot van CO₂ en de beheersmaatregelen welke de Rijksoverheid hierbij tot haar beschikking heeft verder belicht.

2.1 Klimaatverandering en de woningmarkt

Ons klimaat verandert in een historisch hoog tempo. De gemiddelde temperatuur op de wereld stijgt, hetgeen grote gevolgen heeft voor onze omgeving. De voornaamste oorzaak van de temperatuurstijging betreft het broeikaseffect, welke wordt veroorzaakt door een toename van CO₂ in onze atmosfeer. De gemiddelde jaartemperatuur in Nederland is in 2017 ten opzichte van 1906 met circa 1,9 graden toegenomen (figuur 3).

De gemiddelde jaartemperatuur wereldwijd is sinds de industriële revolutie rond 1850⁸ toegenomen met circa 0,8 graad (WUR, 2018). Indien deze trend zich doorzet, zal bij een toename van de gemiddelde temperatuur op mondiaal niveau van 2 graden, de voedselproductie in grote delen van de wereld in gevaar komen. De verwachting is namelijk dat bij een dergelijke temperatuurstijging, circa 30% van



de planten- en diersoorten zullen verdwijnen. Bij een toename van de temperatuur op mondiaal niveau van 4 graden, is de verwachting dat overal ter wereld de voedselopbrengst zal afnemen en overstromingen frequenter zullen voorkomen.

Op 12 december 2015 spraken 195 landen af de opwarming van de aarde actief tegen te gaan, hetgeen heeft geresulteerd in het klimaatakkoord van Parijs. Dit klimaatakkoord is voor deze landen juridisch bindend en heeft tot doel de opwarming van de aarde met maximaal 2 graden Celsius te laten doen stijgen ten opzichte van de temperatuur uit 1850, met als streven om dit naar maximaal 1,5 graden Celsius te brengen (United Nations, 2015). Om een inzicht te krijgen over het aandeel van Nederland binnen deze afspraak, is in figuur 4 het aandeel van Nederland ten opzichte van totale jaarlijkse mondiale uitstoot van CO₂ weergegeven.

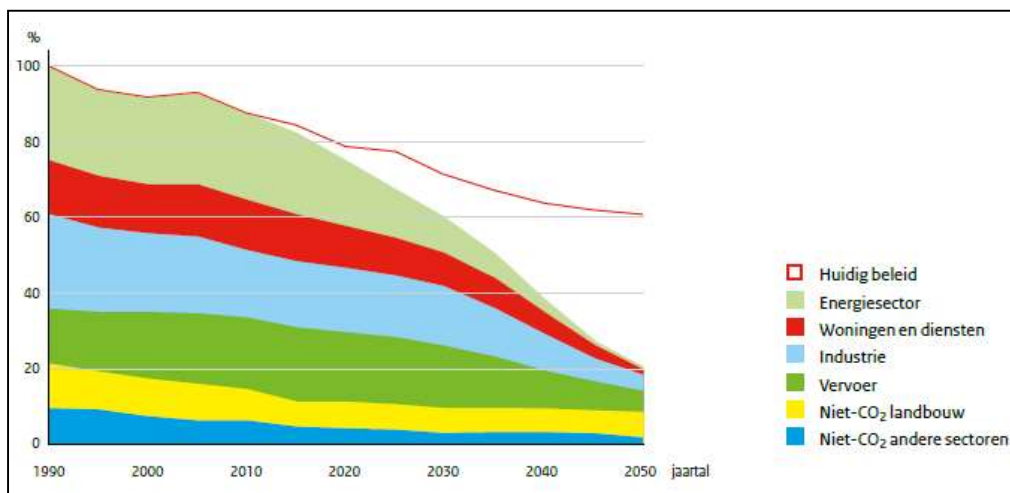
	Mondiaal		Nederland	
Gebouwen	3 Gigaton	6%	0,029 Gigaton	18%
Industrie, energie en koeling	27 Gigaton	54%	0,069 Gigaton	42%
Verkeer en vervoer	7 Gigaton	14%	0,037 Gigaton	23%
Landbouw	12 Gigaton	24%	0,024 Gigaton	15%
Afvalverwijdering	1 Gigaton	2%	0,03 Gigaton	2%
	50 Gigaton	100%	0,162 Gigaton	100%

Figuur 4: Totale CO₂ uitstoot op mondiaal niveau en het aandeel van Nederland hierin (Rijksoverheid, 2018)

⁸ De eerste geregistreerde temperatuurmetingen dateren uit 1850.

Volgens gegevens van de Rijksoverheid (2018) is het aandeel van Nederland in de categorie 'Gebouwen' bijna 1% van de totale jaarlijkse mondiale uitstoot van CO₂ in deze categorie. Ondanks de relatief beperkte omvang van de Nederlandse vastgoedsector op mondiale schaal, levert onze Nederlandse vastgoedsector in verhouding een substantiële bijdrage aan de stijging van de temperatuur op mondiaal niveau.

Nederland zet met de Klimaatagenda, welke is gebaseerd op het klimaatakkoord van Parijs, in op 'voorkomen, aanpassen en ondernemen' (Rijksoverheid, 2018). Aanpassingen oftewel adaptie zijn noodzakelijk om de uitdagingen, welke ontstaan door de onvermijdelijke gevolgen van de temperatuurstijging op aarde, het hoofd te kunnen bieden. Hiertoe behoren duinverhogingen en dijkverzwaringen. Verder heeft de overheid besloten in te zetten op het voorkomen van de gevolgen van klimaatverandering door broeikasgasuitstoot te verminderen, energie te besparen en ruimte te geven aan hernieuwbare energie⁹. Deze maatregelen dienen uiteindelijk te leiden naar een concurrerende koolstofarme economie (figuur 5).



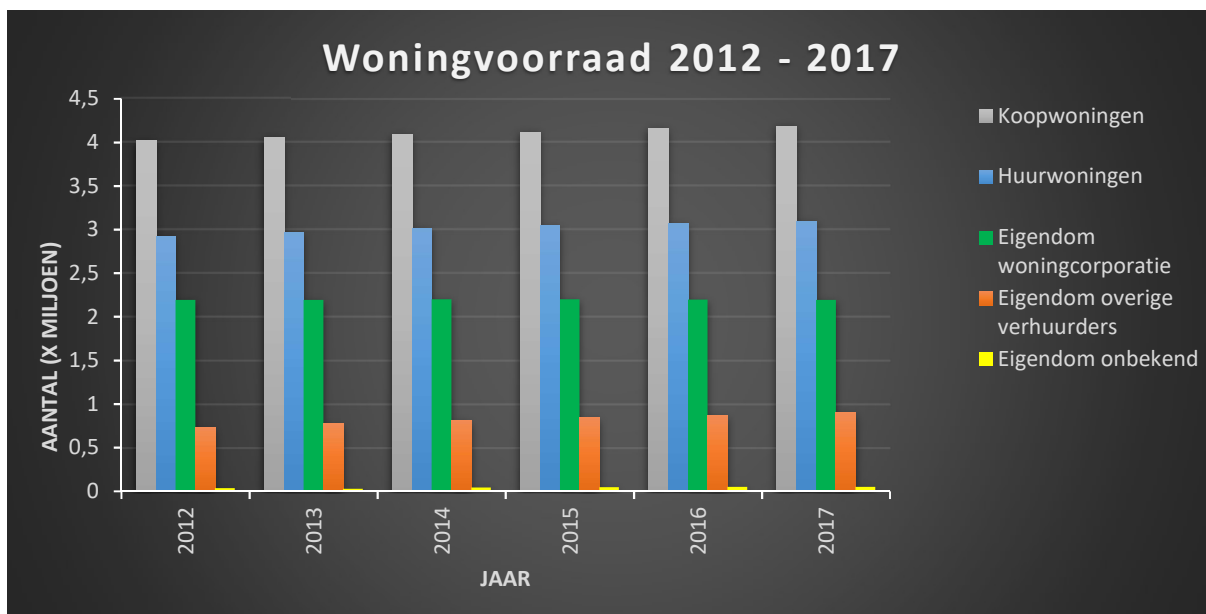
Figuur 5: Routekaart naar een koolstofarme economie in 2050 (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2013)

De geformuleerde centrale onderzoeksvraag in deze thesis heeft betrekking op de woningmarkt. In de navolgende paragraaf wordt de omvang en de diversiteit van deze markt belicht.

2.2 Grondgebonden nieuwbouwwoningen

De woningmarkt is te verdelen in 2 segmenten, te weten: koop- en huursector. Volgens gegevens van het CBS (2017) is de eigendomsverdeling van de woningvoorraad als volgt: de koopsector vertegenwoordigd 56,2% van de woningvoorraad en de huursector blijft achter met 42,6%. Van 1,2% van de woningvoorraad is de eigendomssituatie onbekend. In figuur 6 en 7 is de verdeling van de woningvoorraad in Nederland gevisualiseerd.

⁹ Hernieuwbare energie is een onuitputtelijke, duurzame en schone energie welke het leefmilieu niet aantast. Enkele voorbeelden van hernieuwbare energie zijn zonne- en windenergie.



Figuur 6: Woningvoorraad in Nederland verdeeld naar eigendom (CBS, 2017)



Figuur 7: Woningvoorraad in 2017 per provincie en verdeeld naar eigendom (CBS, 2017)

Volgens het CBS (2018) is het aandeel eengezinswoningen in Nederland per 2017 circa 64,5% van de totale woningvoorraad van totaal 7.686.178 woningen (figuur 8). Naast deze grootste categorie, omvat het aandeel meergezinswoningen circa 35,5% van de totale woningvoorraad.

Jaar	Eengezinswoningen	Meergezinswoningen	Totaal
2012	4.855.858	2.530.885	7.386.743
2013	4.875.461	2.573.837	7.449.298
2014	4.889.114	2.646.202	7.535.316
2015	4.905.957	2.682.007	7.587.964
2016	4.927.588	2.713.735	7.641.323
2017	4.956.862	2.729.313	7.686.178

Figuur 8: Woningvoorraad in Nederland naar woningtypen in 2017 (CBS, 2018)

Aangezien het aandeel van de eengezinswoningen¹⁰ het overgrote deel van de totale woningvoorraad betreft en de jaarlijkse absolute groei in 2017 van de woningvoorraad in dit segment plaatsvond, is deze thesis gericht op dit segment.

Om de doelstellingen vanuit de eerder besproken Klimaatagenda SMART¹¹ te maken met betrekking tot de woningsector, heeft de Rijksoverheid de bouwvoorschriften uitgebreid en aangescherpt. Op het gebied van duurzaamheid is dit voorzien in extra voorschriften zoals het energielabel, de energie-index en de Energie Prestatie Coëfficiënt voor de woningbouw.

2.3 Energielabel, Energie-index en Energie Prestatie Coëfficiënt

Binnen de huidige wet- en regelgeving worden in de woningmarkt diverse methoden gehanteerd, om de energiezuinigheid van de woning op een consistente wijze aan te tonen. Uiteraard hebben deze methoden elk hun eigen toepassingsgebied (figuur 9).

Methode	Toepassingsgebied
Energielabel	Bij verkoop, verhuur en oplevering woning
Energie-index (EI)	Bestaande bouw
Energie Prestatie Coëfficiënt (EPC)	Nieuwbouw

Figuur 9: De verschillende methoden en bijbehorende toepassingsgebieden

Het energielabel, welke na afgifte 10 jaar geldig is, is gebaseerd op 10 kenmerken van de woning (figuur 10) en geeft daarmee een eerste indruk van de energieprestatie van de woning. Het energielabel maakt verder kenbaar welke energiebesparende maatregelen nog mogelijk zijn. Het Energielabel voor woningen loopt uiteen van label A t/m G, waarbij geldt dat bij label G de meeste besparingsmogelijkheden aanwezig zijn (RVO, 2018). Bij de verkoop-, verhuur- en oplevering van woningen, is een geldig energielabel verplicht. Door de invoering van het energielabel is een instrument geïntroduceerd waarmee de Rijksoverheid sturing kan geven aan het behalen van haar doelstellingen.

Kenmerken	
1. Bouwjaar van de woning	6. Vloerisolatie
2. Woningtype	7. Soort verwarming
3. Soort glas	8. Soort warmwatervoorziening
4. Gevelisolatie	9. Ventilatiesysteem
5. Dakisolatie	10. Zonnepanelen en zonneboiler

Figuur 10: De 10 kenmerken waarop het energielabel is gebaseerd (RVO, 2018).

De Energie-index (EI) is een index welke met name geschikt is voor bestaande bouw (Ministerie VROM, 2009). Deze index geeft ook de energiezuinigheid van de woning aan, echter op een veel gedetailleerder schaalniveau. De index wordt berekend aan de hand van circa 150 variabelen. De Energie-Index bepaalt mede het aantal huurpunten van de huurwoning volgens het Woningwaarderingssstelsel (WWS). Vanuit deze huurpunten wordt de

¹⁰ Binnen deze thesis wordt geen onderscheid gemaakt tussen eengezinswoningen en grondgebonden woningen.

¹¹ SMART-methode maakt het mogelijk om concrete gevolgen te geven van de acties die voortkomen uit een doelstelling. Deze acties worden Specifiek, Meetbaar, Acceptabel, Realistisch en Tijdgebonden gemaakt (Schop, 2017).

maximale huurprijs van de woning bepaald. Verder stelt de EI, mede door het gedetailleerde karakter, beleggers in staat om de investeringen in hun woningvoorraad, op basis van representativiteit, beter te bepalen. Tot slot kan aan de hand van de EI door beleggers aanspraak worden gemaakt op subsidies, waaronder de Stimuleringsregeling energieprestatie huursector¹² (STEP) en het Fonds energiebesparing huursector¹³ (FEH) lening.

De Energie Prestatie Coëfficiënt (EPC), geschikt voor de in deze thesis centraal gestelde nieuwbouw (Ministerie VROM, 2009), is door de Rijksoverheid in december 1995 vastgesteld en vormt sindsdien een vast onderdeel van de indieningsvereisten voor de aanvraag van een omgevingsvergunning. Deze EPC is in de loop der jaren aangescherpt van 1,4 per 1 januari 1996, naar 0,4 per 1 januari 2015. De EPC geeft de energiezuinigheid van de onderhavige nieuwbouwwoning weer.

In het volgende hoofdstuk zal de invloed van de verplichte verduurzaming van de onroerendgoedmarkt, door gewijzigde bouwregelgeving, worden onderzocht.

¹² STEP is van toepassing op huurwoningen waarvan de huur onder de liberalisatiegrens ligt en waarbij de woning voldoet aan de voorwaarden welke worden gesteld aan woningen als onder de Wet op de huurtoeslag. Tevens dienen er energiebesparende maatregelen getroffen te worden (RVO, 2018).

¹³ FEH is van toepassing op alle huurwoningen, waarbij onder andere energiebesparende maatregelen worden getroffen, welke voldoen aan een vastgestelde verbetering van de EI (RVO, 2018).

Hoofdstuk 3

In dit hoofdstuk wordt de werking van de onroerendgoedmarkt verklaard aan de hand van het vierkwadrantenmodel van DiPasquale & Wheaton om vervolgens de waarderingsmethode van het onroerend goed middels de DCF te behandelen.

3.1 Onroerendgoedmarkt

Het verduurzamen van onroerend goed kan langs verschillende wegen plaatsvinden, mede bepaald door de verschillende actoren in de markt welke sturing geven aan het vastgoedproces. Middels aanpassingen in de bouwregelgeving, stuurt de Rijksoverheid actief op het behalen van de doelstellingen vanuit de Klimaatagenda. Deze aanpassingen binnen de bouwregelgeving hebben een directe impact op de onroerendgoedmarkt, om exact te zijn; op de ontwikkelmarkt. Ontwikkelaars zullen reageren op deze exogene schok¹⁴, door projecten te ontwikkelen welke voldoen aan de gewijzigde bouwregelgeving.

Naast de ontwikkelmarkt, bestaat de onroerendgoedmarkt uit de deelmarkten beleggersmarkt en huurmarkt. Ook binnen deze twee deelmarkten speelt duurzaamheid een steeds belangrijkere rol, waardoor de vraag vanuit deze deelmarkten wijzigt. Op de huurmarkt is een trend waarneembaar waarbij bedrijven en consumenten zich steeds meer willen identificeren met duurzaamheid. Enerzijds geschiedt dit vanuit commercieel oogpunt, anderzijds spelen intrinsieke motivaties een grote rol om te kiezen voor duurzaamheid. Op de beleggersmarkt wordt gestuurd op courantheid van de vastgoedportefeuille. Vanwege enerzijds de wijzigingen in de vraag vanuit de huurmarkt en anderzijds vanuit exogene schokken op de beleggersmarkt zelf, zoals door financiële instellingen aangescherpte voorwaarden op het gebied van duurzaamheid, zullen zich ook wijzigingen op de beleggersmarkt voordoen. Door het onroerend goed te verduurzamen, wordt de totale vastgoedportefeuille toekomstbestendiger en daarmee couranter. De deelmarkten worden dus enerzijds van buitenaf beïnvloed middels exogene schokken en anderzijds beïnvloeden de deelmarkten elkaar.

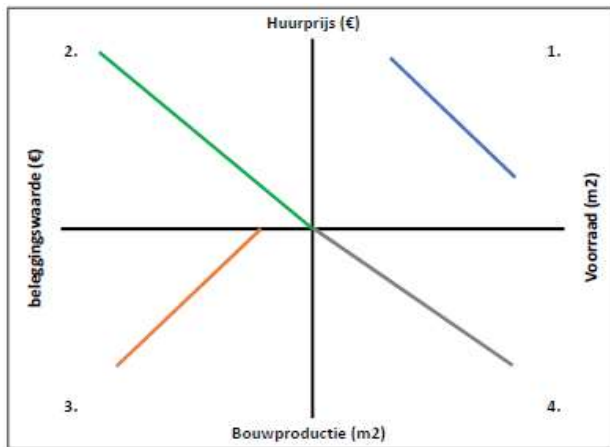
Om de invloed van exogene schokken op de deelmarkten inzichtelijk te maken, wordt in deze thesis het vierkwadrantenmodel van DiPasquale & Wheaton (1992) toegepast. Om de werking van dit model te kunnen begrijpen, is het van belang te benadrukken dat de onroerendgoedmarkt inelastisch is. Volgens Theebe (2018) betekent dit concreet dat het aanbod van m² ruimte op korte termijn, niet- of nauwelijks zal wijzigen bij een veranderende huurprijs. De reden dat de onroerendgoedmarkt inelastisch is, betreft het feit dat de reactietijd van de ontwikkelaars en bouwbedrijven op een exogene schok danwel beïnvloeding van een andere deelmarkt, lang is (DiPasquale & Wheaton, 1992, p. 185). Allereerst zullen de vier kwadranten worden doorlopen om vervolgens de impact van de exogene schok van gewijzigde bouwregelgeving te bespreken.

3.1.1 Vierkwadrantenmodel van DiPasquale & Wheaton

In figuur 11 worden de verschillende deelmarkten vanuit het vierkwadrantenmodel van DiPasquale & Wheaton weergegeven. Hierdoor is het mogelijk om de invloeden van de deelmarkten onderling zichtbaar te maken nadat één deelmarkt reageert op één exogene schok. Tevens wordt middels dit model expliciet onderscheid gemaakt tussen de uitkomsten

¹⁴ Exogene schok betreft een 'schok' van buitenaf die invloed heeft op bepaalde deelmarkten.

op korte- en lange termijn. Volgens Van Gool et al (2013, p. 58) blijken deze uitkomsten uit de analyses vaak te kloppen met de werkelijkheid.



Figuur 11: Vierkwadrantenmodel van DiPasquale & Wheaton

Het onroerendgoedsysteem volgens het vierkwadrantenmodel van DiPasquale & Wheaton (1992) bestaat uit de huurmarkt (1), de beleggersmarkt (2) en de ontwikkel- / bouwmarkt (3). Het laatste kwadrant, hetgeen geen deelmarkt betreft, is de voorraadaanpassing (4). Alvorens de impact van de exogene schokken op de deelmarkten te beschrijven zal eerst stilgestaan worden bij de werking de deelmarkten zelf binnen het totale model.

3.1.1.1 Huurmarkt (property market – rent determination)

In de huurmarkt staat het gebruik van onroerend goed centraal. Op deze markt wordt de vraag naar hoeveelheid m^2 ruimte afgezet tegen de huurprijs per m^2 ruimte. Uitgangspunt binnen dit kwadrant is, dat de vraag naar m^2 ruimte recht evenredig zal toenemen zodra de huurprijs per m^2 ruimte daalt. Door de wijzigingen op de huurmarkt zal de beleggingsmarkt reageren. De huurmarkt reageert op onderstaande exogene schokken:

- Wijzigingen in de demografie
- Veranderingen in de bestedingen
- Aanpassingen in de productie

3.1.1.2 Beleggingsmarkt (asset market - valuation)

Op de beleggingsmarkt wordt de huurprijs per m^2 omgezet naar een prijs per m^2 onroerend goed. Deze markt stelt dat zodra het huurniveau stijgt, tevens de prijs van het onroerend goed recht evenredig zal toenemen. De hellingshoek van de lijn wordt als aanvangsrendement¹⁵ beschouwd. Indien een onroerend goed aantrekkelijker is, zal het aanvangsrendement van dit onroerend goed lager zijn en daarmee de lijn in dit kwadrant vlakker. De aanvangsrendementen zijn een goede graadmeter van het sentiment op de beleggingsmarkt. De beleggersmarkt reageert op onderstaande exogene schokken:

- Wijzigingen van de lange termijnrente
- Veranderingen op de financiële markten
- Aanpassingen van het fiscale regime

3.1.1.3 Ontwikkelmarkt (asset market – construction)

Op de ontwikkelmarkt wordt de bouwproductie weergegeven. Op deze markt wordt de m^2 ontwikkeling afgezet tegen de prijs per m^2 van onroerend goed. De rechte lijn geeft de bouwkosten of herontwikkelingskosten weer per m^2 . De lijn gaat niet door de oorsprong

¹⁵ Het aanvangsrendement, ook wel vaste kapitalisatievoet genoemd, wordt berekend door de geschatte huurinkomsten in het eerste jaar te delen door de betaalde prijs van het onroerend goed (Gool, Jager, Theebe, & Weisz, 2013, p. 53).

aangezien de prijs per m² onroerend goed minimaal de kosten van de ontwikkeling dienen te dekken. De ontwikkelmarkt reageert op onderstaande exogene schokken:

- Wijzigingen van de korte termijnrente
- Veranderingen van de voorwaarden op bouwfinancieringen
- *Aanpassingen van de bouwregulering*

De aanscherping van de eisen ten aanzien van energiezuinigheid en daarmee dus de bouwregelgeving, zorgen dus voor nieuwbouwwoningen een exogene schok in deze deelmarkt.

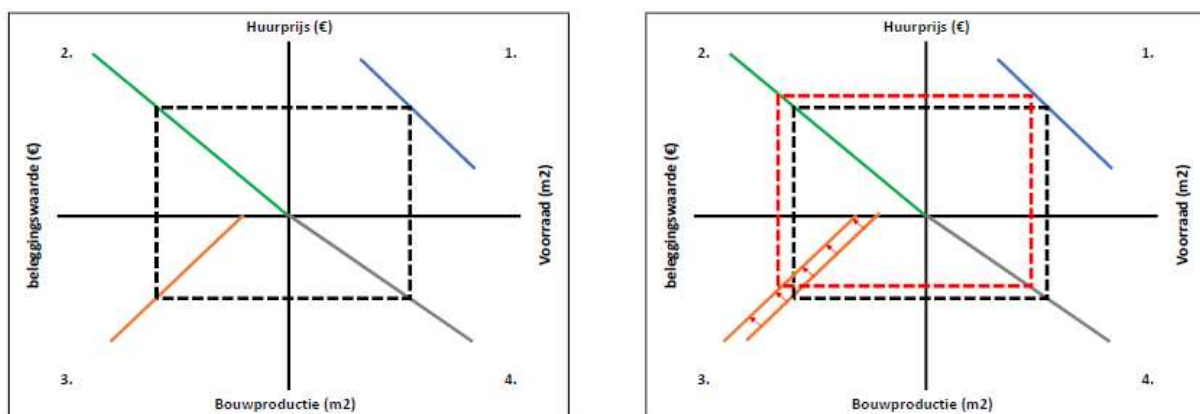
3.1.1.4 Voorraadaanpassing (property market – stock adjustment)

Het laatste kwadrant betreft geen specifieke deelmarkt. In dit kwadrant leiden de toevoegingen minus de onttrekkingen aan de voorraad vanuit de ontwikkelmarkt tot de nieuwe m² voorraad op de huurmarkt. De voorraadaanpassing reageert op de onderstaande exogene schokken:

- Wijzigingen van de hoeveelheid onttrekkingen onroerend goed.

3.1.2 Exogene schok in ontwikkel- / bouwmarkt

De theorie van DiPascale & Wheaton laat zien dat de exogene schok in de ontwikkel- / bouwmarkt een verandering op de overige deelmarkten veroorzaakt (zie figuur 12). Een lager EPC leidt tot stijgende bouwkosten aangezien er meer geïnvesteerd dient te worden om de woning energiezuiniger te maken. Vervolgens voorspelt de theorie dat hierdoor het aanbod van woningen zal afnemen, waardoor bij een gelijke hoeveelheid woningonttrekkingen, de totale woningvoorraad zal afnemen. Door een kleinere totale woningvoorraad en minimaal gelijkblijvende vraag zullen de huurprijzen stijgen, waardoor de beleggingswaarde van de woningportefeuille uiteindelijk zal toenemen. Hierdoor zal de vraag naar woningen vanuit de beleggersmarkt weer toenemen, waarna de ontwikkel- / bouwmarkt hier weer op zal anticiperen door meer woningen te ontwikkelen en bouwen. Hierdoor ontstaat er een kleine correctie op de verschuiving richting het nieuwe evenwicht. De theorie gaat namelijk uit van een evenwichtssituatie op langere termijn (DiPascale & Wheaton, 1992).



Figuur 12: De evenwichtssituatie (zwart) wijzigt naar nieuwe evenwichtssituatie (rood)

Volgens het vierkwadrantenmodel komt de extra investering in duurzaamheid dus uiteindelijk ten goede aan de beleggingswaarde van het vastgoed. Hierdoor zal, naast de besproken exogene schok op de ontwikkel- / bouwmarkt, tevens een verandering ingezet kunnen worden op de beleggersmarkt zelf. Uit het voorgaande valt te constateren dat vooral in de dynamiek

tussen ontwikkel- en de beleggersmarkt de nodige veranderingen optreden bij verduurzaming. Daardoor is het zinvol om de actoren die op deze deelmarkten actief zijn nader te beschouwen en te onderzoeken welke prikkels benodigd zijn om tot verduurzaming over te gaan.

3.1.3 Actoren op Ontwikkel- / bouwmarkt

Op de onroerendgoedmarkten zijn diverse ontwikkelaars actief, waarbij de afzonderlijke doelstellingen erg uiteenlopen (figuur 13). Ondanks dat zij naast elkaar opereren, zijn er grote verschillen tussen de ontwikkelaars te bespeuren.

Type ontwikkelaar	Doelstelling
Gespecialiseerde ontwikkelaars	Het behalen van rendement door vastgoed tijdens, danwel direct na, realisatie te verkopen.
Corporaties	Het ontwikkelen- en exploiteren van goede- en betaalbare woningen voor mensen met een laag inkomen (Ministerie BZK, 2017).
Gelieerde specialistische ontwikkelaars	Het invulling geven aan de specifieke vastgoedbehoefte van de zakelijke eindgebruiker waaraan zij is verbonden.
Beleggers en beleggende ontwikkelaars	Het behalen van rendement door vastgoed te ontwikkelen en te exploiteren.

Figuur 13: Ontwikkelaars met verschillende doelstellingen

Daar waar de ene groep ontwikkelaars zijn rendement behaalt door het vastgoed¹⁶ direct na realisatie te verkopen, houdt de andere groep ontwikkelaars het vastgoed na realisatie aan en voegt het toe aan een bestaande- of nieuwe vastgoedportefeuille. De reden dat deze beleggende ontwikkelaars het vastgoed na realisatie niet direct verkoopt is dat de optimale waarde van het project pas na enkele jaren wordt verwacht (Gool, Jager, Theebe, & Weisz, 2013, p. 125). Hierdoor zullen beleggende ontwikkelaars lang betrokken blijven bij het vastgoed en passen hierop intensief vastgoedmanagement toe om op deze wijze invloed uit te oefenen op de waardeontwikkeling en daarmee op de totale rentabiliteit van het project. Het verschil in de wijze waarop de doelstellingen door gespecialiseerde ontwikkelaars en beleggende ontwikkelaars worden behaald leidt ook tot een belangrijk verschil in aandacht voor de huidige- en toekomstige duurzaamheidsoplossingen. Dit verschil komt voort uit het feit dat beleggende ontwikkelaars rekening houden met een langere beleggingstermijn dan gespecialiseerde ontwikkelaars doen. Zij zijn louter gedurende het proces tot aan de verkoop van het vastgoed betrokken.

3.1.4 Actoren op de beleggersmarkt

Naast corporaties begeven vermogende particulieren en (institutionele) vastgoedbeleggers zich op de beleggersmarkt. Aangezien de onderzoeksvraag binnen deze thesis zich toelegt op een mogelijk winstpotentieel bij (extra) investeringen in DZO en corporaties niet sec rendement gestuurd opereren, zal deze categorie niet verder worden behandeld. Tevens zal de categorie vermogende particulieren, daar zij een klein marktaandeel vormen en veelal beleggen ten gunste van toekomstige kasstromen danwel koopkrachthandhaving, ook niet verder worden meegenomen in dit onderzoek. Het behalen van een minimaal rendement op investeringen speelt bij (institutionele) beleggers wel een primaire rol bij het ontwikkelen danwel verwerven van vastgoed. Het marktaandeel van (institutionele) beleggers is tevens groot en veelal

¹⁶ Onder 'vastgoed' wordt verstaan: de opstal inclusief de grond, indien de grond van de ontwikkelaar is.

transparant, waardoor de centrale onderzoeksvraag vanuit het perspectief van de (institutionele) belegger zal worden beschouwd.

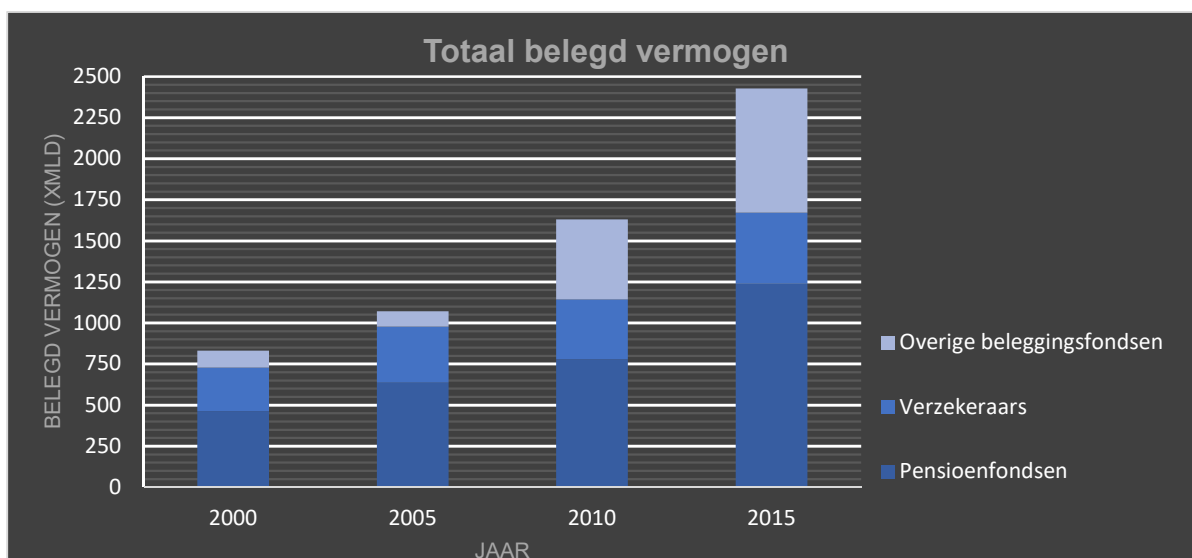
Aangezien de aanscherping van de EPC een exogene schok verzorgt in het kwadrant van de ontwikkel- / bouwmarkt en daarmee uiteindelijk zal zorgdragen voor een aanpassing in de beleggingswaarde van de portefeuilles van beleggers, zouden beleggers zelf moeten stilstaan bij het feit dat duurzaamheidsoplossingen mogelijk extra rendement zouden kunnen opleveren. Per slot van rekening leidt, zoals in paragraaf 3.1.2 is besproken, de aanscherping van de EPC tot een hogere beleggingswaarde.

Beleggers dienen zich tevens bewust te zijn van de voortschrijdende reductie van het energieverbruik van woningen welke wordt voorgeschreven door de Rijksoverheid. Vooral voor institutionele beleggers met een lange beleggingshorizon geldt dat ze een afweging moeten maken tussen de huidige wettelijke eisen op dit gebied en de toekomstige eisen. Om de woningvoorraad courant te maken danwel te houden, is het van belang om vast te stellen welk ambitieniveau het verduurzamingsprogramma van de institutionele belegger zou moeten zijn. Uiteraard zal rekening worden gehouden met de financiële randvoorwaarden zoals rendement, welke institutionele beleggers dienen te behalen.

3.1.4.1 Institutionele beleggers

De totale beleggingsomvang van de institutionele beleggers¹⁷ is aanzienlijk. In de figuur 14 is de omvang van het totaal belegd vermogen van de verschillende institutionele beleggers weergegeven.

Elk van de groepen institutionele beleggers heeft zijn eigen specifieke kenmerken en doelstellingen. Dit vertaalt zich in de omvang van het belegde vermogen in bepaalde sectoren, zoals die van onroerend goed. In bijlage 1 t/m 3 staan diverse tabellen en grafieken omtrent de inhoud van de institutionele beleggingsportefeuilles vermeld.



Figuur 14: Totaal belegd vermogen per categorie institutionele belegger (CBS, 2017)

¹⁷ Onder institutionele beleggers worden verstaan: pensioenfondsen, verzekeraars en beleggingsfondsen.

De doelstelling van institutionele beleggers is het beheren van het vermogen van haar deelnemers om in de toekomst uitkeringen te kunnen doen (Gool, Jager, Theebe, & Weisz, 2013, p. 149). Het gaat bij institutionele beleggen in basis om slechts twee zaken, namelijk het verwachte rendement en het risico dat het verwachte rendement niet wordt behaald (Gool, Jager, Theebe, & Weisz, 2013, p. 45). Bij het beleggen in vastgoed is het van belang om een zo duidelijk mogelijk rendement-risicoprofiel op te stellen. Institutionele beleggers hebben voorts een lange termijn horizon.

Dit lange termijn karakter past uitstekend bij de wijze waarop institutionele beleggers hun doelstellingen wensen te behalen en derhalve zou de focus gelegd moeten worden op de verduurzaming van hun portefeuilles, aangezien dit de courantheid van de beleggingsportefeuille ten goede komt. Dit geldt in het bijzonder voor woningen, aangezien van deze vastgoedcategorie bekend is dat investeringen in woningen een goede inflatiehedge¹⁸ biedt (Gool, Jager, Theebe, & Weisz, 2013, p. 32), hetgeen een belangrijk aspect is in het beleggingsdoel van institutionele beleggers in het algemeen en bij de pensioenfondsen in het bijzonder.

Nu de actoren op de beleggersmarkt en hun doelstellingen duidelijk zijn, dienen de parameters onderzocht te worden waarop beleggers een beslissing kunnen nemen om al dan niet (extra) te investeren in duurzaamheidsoplossingen in de woningbouw.

3.2 Waarderingsmethoden onroerend goed

Institutionele beleggers worden primair gedreven door rendement. De wijze waarop rendementsberekeningen plaatsvinden speelt een essentiële rol in de beslissing van beleggers om al dan niet tot verdere verduurzaming van de te ontwikkelen woningen over te gaan. Derhalve is het zinvol de waarderingsmethodieken nader te beschouwen.

Binnen de vastgoedsector worden verschillende waarderingsmethoden gebruikt. Afhankelijk van het doel van de waardering, wordt een waarderingsmethode gekozen. Stichting ROZ Vastgoedindex levert een bijdrage aan de verdere professionalisering- en verhoging van de transparantie van de vastgoedsector, door het bevorderen van het gebruik van vastgoedindices en taxaties (Stichting ROZ, 2018). Binnen de IPD-vastgoedindex¹⁹ worden overwegend twee waarderingsmethoden gebruikt. In Nederland wordt volgens het IPD-vastgoedindex bij institutionele beleggers zo'n 80% tot 90% van de woningcomplexen gewaardeerd met behulp van de methode Discounted Cash Flow²⁰ (DCF). Voor gespecialiseerde ontwikkelaars en (institutionele) beleggers is de DCF-methode inmiddels een standaard analysetechniek (Berkhout, 1997). De overige waarderungen vinden plaats op basis van de BAR of NAR-methode. Aangezien verreweg de meeste waarderungen aan de hand van de DCF-methode plaatsvinden, ligt het voor de hand om deze methode te gebruiken bij het onderzoek naar de rentabiliteit van (extra) investeringen in duurzaamheidsoplossingen.

3.2.1 DCF-methode en de kernelementen

Het grootste voordeel van de DCF-methode, ten opzichte van de overige waarderingsmethoden, betreft het gemakkelijk kunnen implementeren van diverse, in de tijd uitgezette, inkomende- en uitgaande kasstromen. Dit is van belang aangezien binnen deze

¹⁸ Inflatiehedge staat voor de mate van inflatiebescherming.

¹⁹ Bij de vaststelling van de IPD-vastgoedindex worden met name gegevens van institutionele beleggers gebruikt. De IPD-vastgoedindex meet de rendementen op directe vastgoedbeleggingen.

²⁰ In Nederland wordt de DCF-methode ook wel de Netto Contante Waarde berekening (NCW) genoemd.

thesis rekening wordt gehouden met onderhouds- en vervangingskosten. Bij de DCF-methode worden de toekomstige kasstromen vervolgens contant gemaakt tegen een bepaalde marktdisconteringsvoet. Deze methode maakt het hierdoor mogelijk om toekomstige kasstromen te kunnen verrekenen met kosten van nu. Als alle kasstromen naar dezelfde tijd worden omgerekend, kunnen de kosten over de beschouwingstermijn vergeleken worden met de huidige waarde. Het DCF-model kan vervolgens, door uiteenlopende wensen van de gebruiker, gemakkelijk worden aangepast tot een maatwerk model.

Het DCF-model is ook door RVO (2013) centraal gesteld in het rapport 'Verslaglegging kostenoptimaliteit²¹ energieprestatie eisen Nederland'. Aangezien dit rapport grote raakvlakken vertoont met deze thesis, zullen de inputvariabelen uit deze verslaglegging conform de EPBD²²-Recast worden opgenomen. Deze variabelen zullen verder nog worden uitgebreid met extra inputvariabelen, welke voor deze thesis van belang zijn.

3.2.1.1 Kosten als kernelement in DCF-model

De kernelementen aan de kostenzijde van een onderdeel, conform EPBD-recast, worden gevormd door:

a. Exploitatieperiode

De periode waarover de kasstromen van een asset contant wordt gemaakt, kan per asset verschillen. Om tot een correcte vergelijking te kunnen komen, is het van belang dat er in eerste instantie een eenduidige exploitatieperiode wordt gehanteerd. Binnen de IPD-vastgoedindex (IPD, 2013) is een vaste exploitatieperiode van 10 jaar voor een asset gesteld.

Daar in deze thesis de rentabiliteit van (extra) investeringen in DZO wordt onderzocht en de mogelijkheid aanwezig is dat deze pas behaald wordt bij een kortere- danwel een langere exploitatieperiode, zullen meerdere exploitatieperioden van 1 tot en met 30 jaar worden doorgerekend.

b. Eenmalige investering

Binnen de DCF-methode zal de investering op $t=0$ ²³ van een onderdeel worden genoteerd. De hoogte van de investering betreft de netto marktwaarde. De netto marktwaarde betreft de waarde van het object minus alle aankoopkosten (IPD, 2013, p. 10).

c. Onderhoudskosten

Binnen het DCF-model wordt in de praktijk de waarde van de verwachte exploitatiekosten uitgedrukt als een percentage van de waarde van de verwachte huurinkomsten over de verwachte exploitatieperiode (IPD, 2013, p. 14).

In tegenstelling tot de berekening van RVO (2013), welke voor de jaarlijkse onderhoudskosten van installatietechnische maatregelen is uitgegaan van 5% van het investeringsbedrag, zullen in deze thesis de werkelijke onderhoudskosten worden meegenomen. De onderhoudskosten worden jaarlijks geïndexeerd met de inflatie. De BTW over de exploitatielasten kan niet door de institutionele beleggers worden teruggevorderd (IPD, 2013, p. 18).

²¹ Kostenoptimaal betreft de situatie waarbij de netto contante kosten over de exploitatieperiode een minimum heeft bereikt.

²² Energy Performance of Buildings Directive, een voor EU-lidstaten geldende richtlijn.

²³ Moment $t=0$ betreft het moment dat de eenmalige investering wordt gedaan.

Er zullen in deze thesis, net als in de berekening van RVO (2013), geen onderhoudskosten berekend worden ten aanzien van de bouwkundige voorzieningen.

d. Herinvesteringen en sloopkosten van de oude voorziening

De vervangingskosten worden gelijkgesteld aan de investeringskosten op moment $t=0$. Er wordt dus van uitgegaan dat de vervangingskosten gelijk zijn aan de oorspronkelijke investeringskosten, uiteraard geïndexeerd tegen een vooraf vastgesteld indexcijfer. Indien de levensduur van de installatietechnische duurzaamheidsoplossing, al dan niet na herinvestering, langer is dan een beschouwingsperiode, wordt rekening gehouden met een restwaarde.

e. Restwaarde

Bij het berekenen van de eindwaarde, bestaat onderscheid tussen twee scenario's: doorexploiteren en uitponden. In deze thesis zal de bij de DCF-berekening worden uitgegaan van uitponden²⁴. In dit geval wordt de eindwaarde van de investering in duurzaamheidsoplossingen berekent op basis van de lineaire afschrijving gedurende de technische levensduur, waarbij aan het einde van de levensduur geen waarde meer zal worden toegekend.

$$\text{Eindwaarde} = \text{Investering}_{(t=0)} \times \left(1 - \frac{\text{beschouwingstermijn (jr)}}{\text{totale levensduur (jr)}} \right)$$

Naast bovengenoemde inputvariabelen conform EPBD-Recast, is onderstaand onderdeel van belang mee te nemen in het onderzoek.

f. Indexering kosten

De kosten welke in de loop van de tijd worden gemaakt, zullen in deze thesis worden geïndexeerd met een percentage welke gelijk ligt aan de inflatie.

3.2.1.2 Opbrengsten als kernelement in DCF-model

De kernelementen aan de opbrengstenzijde van een onderdeel, conform EPBD-recast, worden gevormd door:

a. Effecten op de energiekosten

Middels de wijziging van de Uitvoeringswet huurprijzen woonruimte, maakt de Rijksoverheid het voor verhuurders mogelijk om extra inkomsten uit de investeringen in duurzaamheidsoplossingen te genereren. Deze extra inkomsten, welke jaarlijks maximaal mogen worden geïndexeerd met de inflatie, kunnen vanaf 18 mei 2016 (RVO, 2018) worden doorgevoerd middels de zogenaamde Energieprestatievergoeding (EPV). De Rijksoverheid maakt hierin onderscheid tussen 3 categorieën woningen, te weten:

1. Woningen welke zelf energie opwekken;
2. Woningen welke zijn aangesloten op een warmtenet en zelf energie opwekken;
3. Woningen welke zijn aangesloten op een gasnetwerk en zelf energie opwekken.

²⁴ Uitponden betreft het verkopen van leegstaande huurwoningen.

Per categorie worden per 1 juli 2018 de in bijlage 4a t/m 4c weergegeven maximale vergoedingen mogelijk gemaakt (Rijksoverheid, 2018). In bijlage 4d worden de voorwaarden weergegeven waaraan dient te worden voldaan, alvorens EPV te mogen heffen.

Naast de extra opbrengsten, dienen (institutionele) beleggers rekening te houden met een afslag op de maximale huur van een woning, indien er EPV wordt geheven. Om de heffing van de EPV mogelijk te maken, dienen woningen namelijk goed geïsoleerd te worden, hetgeen leidt tot een verhoging van de huurpunten en daarmee een hogere maximale huur. Zodra er tevens EPV zou worden geheven, zou de huurder door deze dubbeling in zijn woonlasten benadeeld worden. Om dit te voorkomen heeft de Rijksoverheid gesteld dat de extra verkregen huurpunten op basis van de goed geïsoleerde woning in mindering moeten worden gebracht zodra er EPV wordt geheven.

Ook ten aanzien van deze inputvariabelen, dienen er nog een aantal extra variabelen te worden belicht in het onderzoek van deze thesis.

b. Indexering opbrengsten

De opbrengsten welke in de loop van de tijd worden ontvangen, zullen in deze thesis worden geïndexeerd met een percentage welke gelijk ligt aan de inflatie.

c. Belastingen en subsidies

Conform de Gedelegeerde Verordening (EU) nr. 244/2012 van de Europese Commissie (2012), mogen belastingen en subsidies niet worden meegenomen in de berekening van de netto contante waarde van een onderdeel. Door het sterk wisselende karakter van deze variabelen worden deze variabelen buiten beschouwing gelaten.

3.2.1.3 Overige kernelementen in DCF-model

Het kernelementen welke niet specifiek wordt benoemd door EPBD-recast, echter voor het onderzoek binnen deze thesis wel van belang is, wordt gevormd door:

a. Disconteringsvoet

Bij berekeningen met een disconteringsvoet, wordt door Van Gool (2013, p. 325) geadviseerd om de inkomsten contant te maken tegen het netto aanvangsrendement (NAR). Dit NAR houdt namelijk rekening met het huurdersrisico. De uitgaven dienen idealiter contant gemaakt te worden tegen de depositorente. Desondanks wordt er in praktijk veelal eenzelfde disconteringsvoet gebruikt voor zowel de inkomsten als uitgaven, waardoor de uitgaven tevens contant worden gemaakt tegen het NAR.

Disconteringsvoet = Netto aanvangsrendement (NAR)
$$NAR = \text{kapitaalkosten} + \text{risicopremie} - \text{groei}$$

De kapitaalkosten betreffen de kosten welke verbonden zijn aan het eigen kapitaal. Dit eigen kapitaal kan worden opgedeeld in eigen- en vreemd vermogen, waarbij rekening dient te worden gehouden met de vooraf vastgestelde rendementsdoelstellingen. De risicopremie is afhankelijk van het risicoprofiel van de onderhavige asset. Hierbij kan worden gedacht aan locatie, esthetische vormgeving, technisch ontwerp etc. Tot slot betreft de groeiverwachting een voorspelling met hoeveel de kasstromen de komende jaren zullen stijgen.

Een investeringsbeslissing kan doorgang vinden op het moment dat de investering als negatieve kasstroom wordt opgenomen in het DCF-model en als vervolgens de contante waarde berekening positief is. Door een berekening uit te voeren, waarbij de som van alle contante waarden van alle kasstromen binnen de beschouwingsperiode gelijk zijn aan nul, is de daaruit voortvloeiende disconteringsvoet gelijk aan de zogenaamde IRR²⁵ (Internal Rate of Return). De IRR betreft de disconteringsvoet waarbij de contante waarde van alle kasstromen binnen de beschouwingsperiode gelijk zijn aan nul (Baijer, Traudes, & Langendoen, 2016, p. 17). Deze IRR kan vervolgens vergeleken worden met de interne rendementseis welke de institutionele belegger heeft vastgesteld.

Volgens Van Gool (2013, p. 170) bepaalt de verwervingsprijs van het asset, gegeven een bepaalde huursom, het aanvangsrendement en dat rendement is weer van grote invloed op het uiteindelijke IRR. De hoogte van de IRR bepaalt de mate van aantrekkelijkheid van het asset, waarbij geldt hoe hoger de IRR, des te hoger het risico van een investering in het desbetreffende asset.

NCW	$= \sum \frac{C_t}{(1+r)^t} + \frac{Rest}{(1+r)^n} - I_0$
NCW	= netto contante waarde
C_t	= cashflow op tijdstip t
$Rest$	= restwaarde aan het einde van de exploitatieperiode
I_0	= investeringswaarde aan begin exploitatieperiode
t	= de periode
r	= verwachte of gewenste rendement op de investering
n	= aantal jaren dat de exploitatieperiode duurt

Heden zijn alle inputvariabelen belicht welke gezamenlijk de DCF zullen vormen waarmee de rentabiliteit van DZO kan worden berekend.

Om de invloed van de toepassing van verschillende DZO, met bijbehorende contante waarde berekeningen onderling te kunnen vergelijken, is het van belang dat alle overige variabelen worden geëlimineerd. Deze variabelen omvatten onder andere de fysieke verschijningsvorm van het vastgoed. Om deze variabelen te elimineren, zal in het volgende hoofdstuk de referentiewoning worden belicht.

²⁵ Internal rate of return betreft de opbrengstvoet waarbij de netto contante waarde van het geheel van inkomende en uitgaande cashflows gelijk is aan nul (Gool, Jager, Theebe, & Weisz, 2013, p. 170).

Hoofdstuk 4

Om een DCF-waarderingsmodel aan te wenden voor verder onderzoek, dienen er een aantal uitgangspunten te worden vastgesteld. De belangrijkste uitgangspunten welke als inputvariabelen zullen worden toegepast, zullen in dit hoofdstuk nader worden besproken.

4.1 Referentiewoningen

Om de invloed van een door de Rijksoverheid voorgestelde beleidswijziging ten aanzien van de bouwregelgeving inzichtelijk te maken, zijn er door de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) sinds 1999 zogenaamde ‘referentiewoningen’ vastgesteld. In 1999 betroffen het slechts 3 stuks referentiewoningen. Sinds 2006 zijn er 3 stuks referentiewoningen bijgekomen. Deze referentiewoningen zijn reeds jaren een veel gebruikt ijkpunt in de verduurzaming van de woningvoorraad en derhalve zullen deze referentiewoningen het uitgangspunt vormen voor dit onderzoek. In figuur 15 wordt het onderscheid gevisualiseerd welke door het RVO (2017) wordt gehandhaafd.

Basisvarianten woningtype:	Basisvarianten woningniveau:
1. Tussenwoning 2. Hoekwoning 3. 2-onder-1 kap woning 4. Vrijstaande woning 5. Appartementencomplex 6. Galerijcomplex	- Variantie A: ○ Ventilatie: natuurlijke toevoer / mechanische afvoer met winddruk gestuurde roosters en CO ₂ -sturing in de woonkamer en open keuken. - Variant B: ○ Ventilatie: mechanische toevoer / mechanische afvoer met CO ₂ -sturing op de afvoer.

Figuur 15: Onderscheid binnen woningtype en varianten binnen de woningtypen.

De zes referentiewoningen zijn tot stand gekomen na deskresearch van Monitor Nieuwe Woningen²⁶ (MNW), waarbij de werkelijke woningen de gemiddelde onderzoeksresultaten van MNW benaderen. De meest gangbare maatregelen voor nieuwbouwwoningen, om te voldoen aan de sinds 2015 vastgestelde norm van EPC $\leq 0,4$, zijn als uitgangspunt opgenomen. Overige uitgangspunten om te komen tot de referentiewoningen zijn:

- De ontwerpen voldoen aan de minimale eisen van de bouwvoorschriften per 1 januari 2015.
- Binnen de woningen is er voor een sobere- en doelmatige indeling gekozen.
- Details van onderlinge aansluitingen binnen de woningen zijn overeenkomstig de referentiedetails van SBR²⁷.
- De bouwmethodiek is gangbaar.
- De woningtypen zijn geschikt voor seriematige bouw.

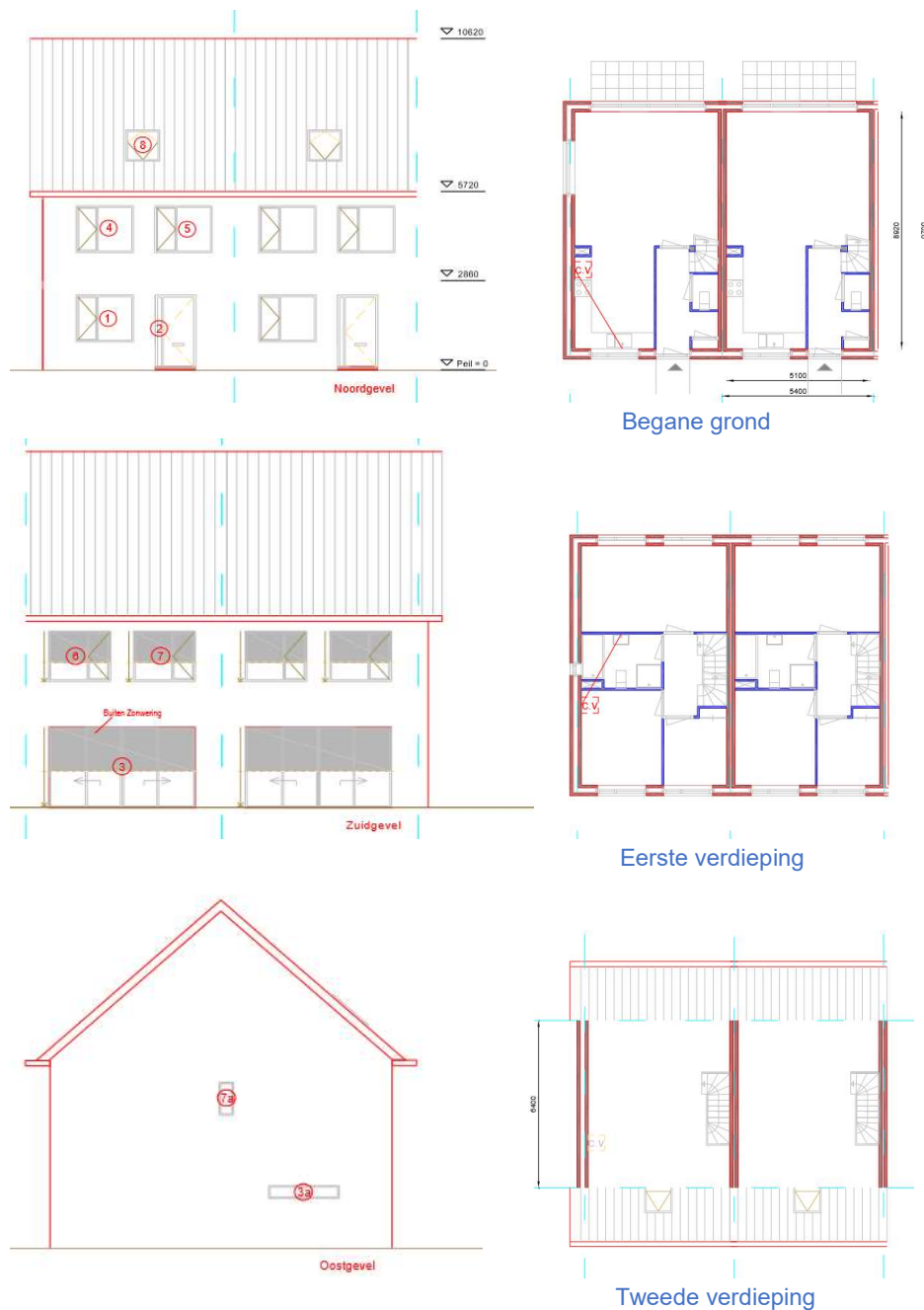
Binnen de grondgebonden woningen kunnen 4 woningtypen worden onderscheiden. Aangezien deze thesis zich toelegt op de woningmarkt waarop de institutionele beleggers zich begeven en zij niet of nauwelijks beleggen in 2-onder-1 kapwoningen of vrijstaande woningen, zal het onderzoek zich beperken tot de woningtypen: ‘Tussenwoning’ en ‘Hoekwoning’.

²⁶ De Monitor Nieuwe Woningen (MNW) is een samenwerkingsverband van het ministerie van VROM, de Vereniging van Nederlandse Projectontwikkeling Maatschappijen (NEPROM), Bouwend Nederland en Aedes vereniging van woningcorporaties (RVO, 2017, p. 29).

²⁷ SBR – opgericht als Stichting Bouwresearch en CURnet - betreft een Nederlands kennisinstituut op het gebied van bouw-, weg- en waterbouw, welke gevestigd is op het terrein van de technische Universiteit te Delft.

4.1.1 Tussenwoning

Binnen de grondgebonden woningen is de categorie 'Tussenwoning' het grootst. De tussenwoningen vertegenwoordigen bijna 37% van de jaarlijkse bouwproductie van woningen in Nederland. Circa 20% van de tussenwoningen wordt gerealiseerd voor de huursector en 80% voor de koopsector. Vanuit gegevens van MNW is vastgesteld dat de gemiddelde tussenwoning een inwendige breedte heeft van 5,1 meter, een inwendige diepte van 8,92 meter, zoals in figuur 16 is weergegeven. De oppervlakte van de 'Tussenwoning' bedraagt gemiddeld 124,3 m². In de 'Tussenwoning' zijn drie slaapkamers aanwezig. In het straatbeeld komt het zadeldak het meeste voor, waardoor dit daktype het uitgangspunt is geworden van de referentiewoning (RVO, 2015). Verder is van belang dat de achtergevel van de referentiewoning gelegen is op het zuiden.



Figuur 16: Uitgangspunten referentiewoning woningtype 'tussen- en hoekwoning' (RVO, 2015).

4.1.2 Hoekwoning

De 'Hoekwoning' bevat, in vergelijking met de 'Tussenwoning', een gelijk inwendig oppervlak. De hoekwoningen vertegenwoordigen bijna 13% van de jaarlijkse woningproductie in Nederland. Circa 20% van de hoekwoningen wordt in de huursector gerealiseerd, 80% in de koopsector. Het MNW heeft hiervoor berekend dat het gemiddelde oppervlak op 124.3 m² ligt. De breedte-, lengte- en rotatie zijn gelijk aan de 'Tussenwoning'. Evenals bij de 'Tussenwoning', komt het zadeldak het meeste voor (RVO, 2015). In figuur 16 is het ontwerp van de 'Hoekwoning' weergegeven.

Bijlage 5 en 6 geven alle overige gegevens weer, waaronder ook de aanwezige passieve- en actieve duurzaamheidsoplossingen, welke zijn opgenomen in de EPC-berekening van de referentiewoningen 'Tussenwoning' en 'Hoekwoning'. De referentiewoningen dienen momenteel maximaal een EPC van 0,4 te bezitten, aangezien dit de huidige wettelijke eis betreft. De maatregelen welke dit mogelijk maken worden in de volgende paragraaf nader belicht.

4.2 Duurzaamheidsoplossingen

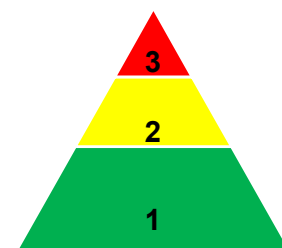
Duurzaamheidsoplossingen worden in de vastgoedsector toegepast om te kunnen voldoen aan de eisen ten aanzien van de energiezuinigheid uit het Bouwbesluit. Zodra aan deze eisen is voldaan, kunnen overige duurzaamheidsoplossingen daarop nog een additionele rol spelen. De duurzaamheidsoplossingen zijn onder te verdelen in twee groepen, te weten:

- Passieve duurzaamheidsoplossingen²⁸.
- Actieve duurzaamheidsoplossingen²⁹.

Om te komen tot een energiezuinig ontwerp en daarmee te voldoen aan de eisen ten aanzien van de EPC, zijn verschillende strategieën voorhanden. De in de praktijk meest gebruikte strategie, te komen tot een energiezuinig ontwerp, betreft de strategie volgens de principes van de Trias Energetica (figuur 17). Derhalve zal deze strategie worden gebruikt binnen deze thesis.

De 3 stappen binnen de Trias Energetica (2018) zijn:

- Stap 1: Beperk het bestaande energieverbruik van de woning
- Stap 2: Gebruik duurzame energie en energie uit reststromen
- Stap 3: Gebruik de eventueel nog benodigde fossiele brandstoffen efficiënt.



Figuur 17: Trias Energetica

In de volgende paragraaf wordt verder ingezoomd op de passieve- en actieve duurzaamheidsoplossingen.

4.3 Passieve duurzaamheidsoplossingen

De passieve duurzaamheidsoplossingen krijgen veelal invulling door het ontwerp van de woning en zijn per definitie direct beschikbaar. Hierbij wordt invulling gegeven aan stap 1 van de strategie volgens het principe van Trias Energetica. Zo is de rotatie van de woning bepalend

²⁸ Passieve duurzaamheidsoplossingen zijn per definitie direct beschikbaar en veelal onderhoudsvrij. Deze duurzaamheidsoplossingen zijn veelal terug te herleiden tot het ontwerp en ligging van de woning.

²⁹ Actieve duurzaamheidsoplossingen zijn per definitie niet direct beschikbaar en hebben onderhoud nodig.

of er bij de verwarming van de woning gebruik gemaakt kan worden zonlicht en kan de hoogte van de isolatiewaarde van de materialen (R_d^{30}) binnen de schil van de woning en de luchtdichting (q_v ;10-waarde) bepalend zijn voor de hoeveelheid warmte welke kan wegvloeien.

Binnen de groep passieve duurzaamheidsoplossingen kunnen verder twee verschillende schaalniveaus worden onderscheiden. In figuur 18 zijn deze twee schaalniveaus met enkele passieve duurzaamheidsoplossingen weergegeven.

Schaalniveau stedenbouwkundige maatregelen	Schaalniveau bouwkundige maatregelen
- Oriëntatie op de zon	- Goede isolatie vloer, gevel en dak (R_c)
- Stedenbouwkundige compactheid ³¹	- Hoge luchtdichtheid (q_v ;10-waarde)
	- Daglicht ³²
	- Compartimentering ³³
	- Gebouwmassa ³⁴
	- Compact bouwen

Figuur 18: Diverse passieve duurzaamheidsoplossingen (Overmars, 2018)

De toegevoegde waarde vanuit passieve duurzaamheidsoplossingen zijn dus mede afhankelijk van de rotatie van de woning ten opzichte van de zon, het ontwerp, de detaillering en het gekozen bouwsysteem. De keuze voor de warmteweerstand van de vloer, gevel en dak zijn mede afhankelijk van een kosten-baten analyse. De EPBD uit 2003 verplicht de lidstaten minimeisen op te leggen aan de energieprestaties van nieuwe- en bestaande gebouwen. Het hieruit volgende Nationaal Energie-Efficiëntie Actieplan (NEEAP) bevat een beschrijving van maatregelen ter bevordering van de energiebesparing in Nederland (Rijksoverheid, 2012). De maatregelen hebben concreet geresulteerd in de minimale eisen gesteld aan de warmteweerstand van onderdelen van woningen in het huidige bouwbesluit, zoals in figuur 19 is weergegeven.

Bouwbesluit 2012	
- Vloerisolatie	3,5 m ² K/W
- Gevelisolatie	4,5 m ² K/W
- Dakisolatie	6,0 m ² K/W

Figuur 19: Minimale warmteweerstand; categorie nieuwbouw (BRIS Bouwbesluitonline, 2018)

Binnen de kosten-baten analyse van de warmteweerstand van de vloer, gevel en dak, is sprake van een optimum. Dit betekent dat indien de R_c van de vloer en gevel hoger wordt dan 5,0 m²K/W en voor het dak hoger dan 6,0 m²K/W, het transmissieverlies zo laag is, dat het verder verhogen van de warmteweerstand niet in verhouding staat tot de te maken kosten (Overmars, 2018). Derhalve zullen de in figuur 19 weergegeven isolatiewaarden als uitgangspunt wordt ingezet bij deze thesis. In de volgende paragraaf zullen de actieve duurzaamheidsoplossingen worden toegelicht.

³⁰ R_d staat voor de specifieke warmteweerstand van een product met een bepaalde dikte.

³¹ Stedenbouwkundige compactheid biedt de mogelijkheid om externe warmtelevering mogelijk te maken.

³² Door toepassing van veel daglicht, reflecterende- en lichte kleuren wordt het energieverbruik van kunstlicht beperkt.

³³ De ruimten met gelijk gebruik van warmte en koelte bij elkaar situeren, waardoor minder energieverbruik benodigd is.

³⁴ Opslag van energie in de constructie van het gebouw heeft een dempende werking ten aanzien van de opwarming of afkoeling.

4.4 Actieve duurzaamheidsoplossingen

De groep actieve duurzaamheidsoplossingen zijn, in tegenstelling tot de passieve duurzaamheidsoplossingen, niet direct beschikbaar. Zo dient licht eerst omgezet te worden in elektra alvorens het gebruikt kan worden en dient de warmte uit af te voeren ventilatielucht, eerst onttrokken te worden, alvorens eventuele toegevoerde lucht kan worden voorverwarmd. Actieve duurzaamheidsoplossingen hebben invloed op stap 1 tot en met 3, volgens de strategie van Trias Energetica. Ten aanzien van stap 1 zullen nieuwe actieve duurzaamheidsoplossingen minder energie verbruiken dan oudere modellen. De markt speelt namelijk in op de veranderende vraag naar energiezuinigere oplossingen. Middels innovatie van actieve duurzaamheidsoplossingen en het bijbehorende minimale marktaandeel wat daarbij benodigd is, wordt het pallet van mogelijke duurzame energieopwekkende installaties langzaam vergroot. Tot slot zal er altijd behoefte zijn aan energie, welke opgewekt wordt uit een duurzame bron danwel gecombineerd met een efficiënte inzet van fossiele brandstoffen. De actieve duurzaamheidsmaatregelen kunnen verder onderverdeeld worden in twee groepen, zoals in figuur 20 is weergegeven.

Sturend op passieve maatregelen woning	Sturend op gebruiksfunctie woning
- Actieve zonwering	- Verwarming
- Regulering van de oriëntatie van de woning t.o.v. de zon ³⁵	- Ventilatie
	- Warmtapwater
	- Elektriciteit opwekkende voorzieningen

Figuur 20: Diverse actieve duurzaamheidsoplossingen

Een ander verschil met passieve duurzaamheidsoplossingen, is dat er bij actieve duurzaamheidsoplossing onderhoud gepleegd dient te worden om de werking van de maatregel in stand te houden. Met name op dit gebied heerst er nog veel onduidelijkheid in de markt. Deze thesis gaat dieper in op het verkrijgen van de benodigde informatie omtrent de instandhoudingskosten van de actieve duurzaamheidsoplossingen, daar de actieve duurzaamheidsoplossingen gebaseerd zijn op installatietechnische aan- en toepassingen. De invloed van institutionele beleggers op de keuze van de toe te passen installatietechnische DZO, is het grootst voorafgaand aan de vaststelling van de invulling van de EPC-berekening. Derhalve zullen de installatietechnische oplossingen welke sturend zijn op de gebruiksfunctie van de woning, onderwerp zijn van verder onderzoek.

4.5 Installatietechnische duurzaamheidsoplossingen

In het verleden is er veel onderzoek gedaan naar de terugverdientijd van de investeringen in duurzaamheidsoplossingen (Werkman - Vaneveld, 2015), de invloed van duurzaamheid op de hoogte van de huur (Martens, 2012) en de invloed van investeringen in duurzaamheidsoplossingen op de waarde van de opstal (Salvi, Horehájová, & Müri, 2008). Dit is slechts een kleine greep uit de talloze onderzoeken rondom de toepassing van duurzaamheidsoplossingen. Echter ontbreekt in deze onderzoeken de invloed van de (extra) investering in actieve duurzaamheidsoplossingen op het rendement van de (institutionele) belegger. In deze onderzoeken blijft men op het abstractieniveau van de EPC hangen, zonder de invulling van de EPC nader te onderzoeken of de instandhoudingskosten en mogelijke extra

³⁵ Er zijn innovatieve technieken om de woning 'mee te laten draaien' met de zon, waarbij de gehele dag optimaal gebruik kan worden gemaakt van de positieve invloed van de zon (daglicht, warmte).

opbrengsten mee te laten wegen in de rentabiliteitsberekening van de (extra) investering in duurzaamheidsoplossingen.

Bij de selectie van de diverse actieve duurzaamheidsmaatregelen, te komen tot de gewenste EPC, zal in deze thesis gebruik worden gemaakt van DZO met eigenschappen welke zijn opgenomen in de basislijst uit de Aanscherpingsmethodiek (RVO, 2013), zoals in figuur 21 weergegeven.

Eigenschappen DZO	
- Marktrijp	- Niet schadelijk voor het binnenmilieu
- Robuust	- Niet strijdig met het wetgeving
- Grootschalig toepasbaar	

Figuur 21: Vijf eigenschappen van DZO conform basislijst Aanscherpingsmethodiek (RVO, 2013)

In bijlage 7 tot en met 12 zijn de installatietechnische duurzaamheidsoplossingen nauwkeurig in beeld gebracht. In de navolgende paragrafen zullen de verschillende installatietechnische onderdelen, welke invulling geven aan de EPC, nader worden besproken. Hiervoor zullen tevens de variabelen, welke binnen UNIEC2.2³⁶ aanwezig zijn, worden geïntroduceerd.

4.5.1 Verwarming

Het Bouwbesluit 2012 (BB2012) stelt eisen aan de bruikbaarheid van de verschillende verblijfsruimten, zoals de minimale breedte, de vrije hoogte, de afmeting van de toegang tot de ruimte, het benodigde minimale daglicht etc. De minimale temperatuur wordt niet door het bouwbesluit aangestuurd, maar worden door de garant stellende partijen als Woningborg en SWK vastgesteld. Deze eisen worden veelal door (institutionele) beleggers overgenomen. Er zijn diverse installatietechnische mogelijkheden om tot de minimaal vereiste temperatuur per ruimte te komen (figuur 22).

Warmteopwekking	Warmtedistributie	Temperatuur
1. Individueel CV-toestel	- Radiator en/of convector	- Hoog
2a. Elektrische warmtepomp	- Vloer- en/of wandverwarming	- Laag
- Bodem (gesloten systeem)	- Luchtverwarming	
2b. Elektrische warmtepomp (bodem)	- Stralingsverwarming	
- Grondwater (open systeem)		
- Oppervlaktewater (open systeem)		
2c. Elektrische warmtepomp		
- Lucht (gesloten systeem)		
2d. Elektrische warmtepomp (hybride)		
- Lucht (gesloten systeem) i.c.m. ketel		
3. Micro WKK		
4. Direct gestookte luchtverwarmer		
5. Externe warmtelevering		

Figuur 22: Warmteopwekkers met verschillende mogelijkheden van warmtedistributie (Uniec2.2, 2018)

³⁶ UNIEC2.2 betreft een softwareprogramma hetgeen veel wordt gebruik bij het berekenen van de EPC van nieuwbouwwoningen.

4.5.1.1 Individueel CV-toestel

Het meest toegepaste verwarmingssysteem betreft de opwekking van warmte middels een HR107-combiketel. Door middel van de verbranding van gas, een fossiele brandstof, wordt het water opgewarmd ten behoeve van verwarming of bereiding van warmtapwater. Het gebruik van fossiele brandstoffen staat heden steeds vaker ter discussie. Zo vormt de Wet Voortgang Energietransitie (Wet VET) de basis voor het verbod op gasaansluitingen in de nieuwbouw. Middels een amendement op het wetsvoorstel VET, is de gasaansluitverplichting voor kleinverbruikers in nieuwbouwwoningen per 1 juli 2018 geschrapt. Alleen het college van B&W mag hierop, in zwaarwegende gevallen, een uitzondering maken. Een woning is heden dus niet meer standaard voorzien van een gasaansluiting. Ondanks de maatschappelijke discussie aangaande het gebruik van gas, zal dit systeem in dit onderzoek worden opgenomen.



Figuur 23: CV-installatie

Naast de kosten in eerste aanleg, zoals in bijlage 7 weergegeven, zal er door de institutionele beleggers bij deze groep van verwarmingssystemen ook rekening gehouden moeten worden met instandhoudingskosten. De totale instandhoudingskosten worden berekend aan de hand van de exploitatieperiode van de nieuwbouwwoningen door (institutionele) beleggers.

4.5.1.2 Elektrische warmtepomp

Een alternatief voor de HR 107-combiketel betreft de elektrische warmtepomp, waarbij er bodem-, water- of luchtwarmte wordt gebruikt voor de verwarming en/of bereiding van warmtapwater. In de huidige praktijk veroveren deze systemen een steeds groter marktaandeel.

Het systeem kan in een gesloten, danwel open systeem worden toegepast. Het verschil is dat binnen een gesloten systeem brinewater³⁷ gevoerd wordt welke wordt opgewarmd (of afgekoeld). Aan de afgiftekant van het systeem wordt water langs het gesloten leidingsysteem gevoerd ten behoeve van bijvoorbeeld vloerverwarming of koeling. In een open systeem wordt daadwerkelijk oppervlaktewater of grondwater opgepompt, gefilterd en vervolgens door de leidingen van de warmtepomp geleid om uiteindelijk langs een warmtewisselaar gevoerd te worden.

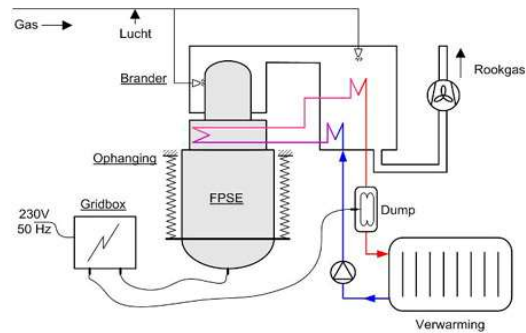


Figuur 24: Warmtepompinstallatie

³⁷ Brinewater is water aangevuld met 30% Glycol (antivries).

4.5.1.3 Micro WKK

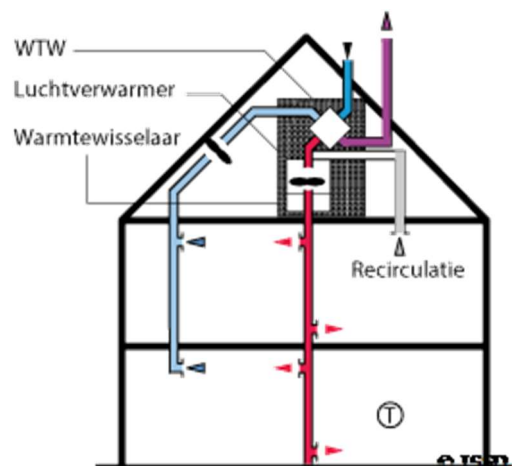
Een duurzame elektriciteit opwekkende techniek betreft die van de Micro Warmtekracht Koppeling. Deze HRe-ketel wekt tegelijkertijd zowel warmte als elektriciteit op. Met de vrijgekomen warmte wordt een dynamo aangedreven, welke vervolgens elektriciteit opwekt. Deze innovatieve duurzaamheidsoplossing is (nog) erg duur en wordt pas rendabel indien een huishouden meer dan 1.650 m³ gas verbruikt per jaar. Vanaf dit jaarlijkse verbruik of meer aan gas, wekt de HRe-ketel genoeg elektriciteit op om de investering terug te verdienen. Indien een huishouden meer dan 1650 m³ gas verbruikt per jaar, is het aan te bevelen om de schil van de woning beter te isoleren. Milieucentraal (2018) concludeert dat een HRe-ketel een eventuele optie is bij een moeilijk te isoleren woning, zoals een monumentaal pand. Tevens maakt het nog steeds gebruik van een fossiele brandstof, te weten gas. Derhalve zal deze installatietechnische duurzaamheidsoplossing in deze thesis verder buiten beschouwing gelaten.



Figuur 25: Schematische weergave HRe-ketel

4.5.1.4 Direct gestookte luchtverwarmer

Luchtverwarming verzorgd een continue luchtstroom binnen de woning. De verse lucht wordt aangezogen en gefilterd, vervolgens door een warmteopwekker verwarmd en door een stelsel van toevoerkanalen geblazen. Dit gaat nagenoeg geruisloos. De lucht wordt vervolgens weer aangezogen om de warmte via een WTW af te staan aan nieuwe verse lucht. Hierdoor wordt 95% van de warmte hergebruikt.

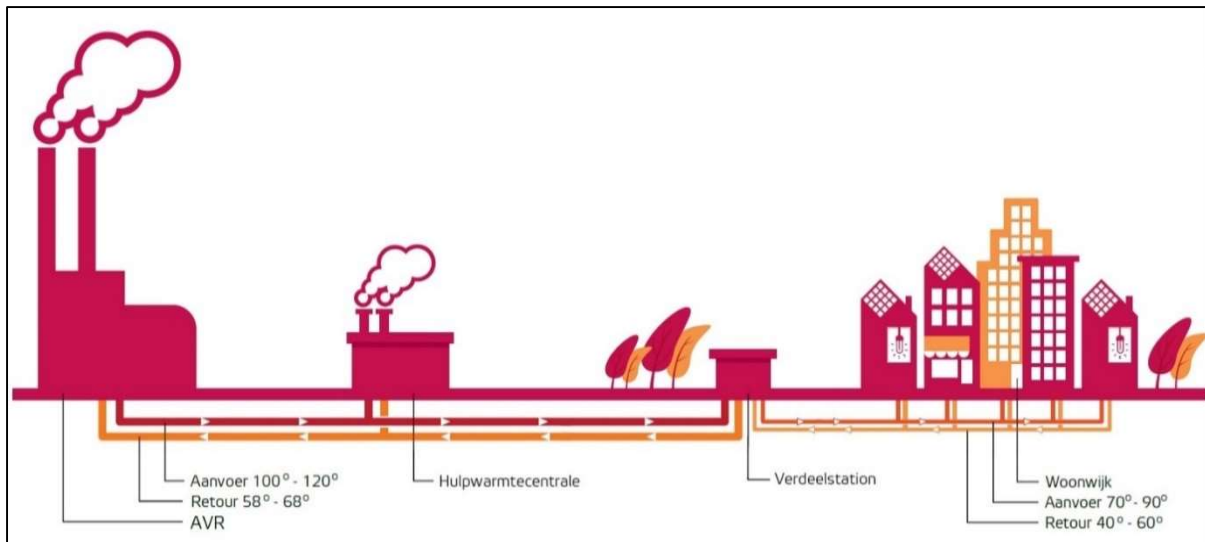


Figuur 26: Principe luchtverwarming

Door de forse investering in eerste aanleg, beperkingen aan de plattegronden alsmede hoge instandhoudingskosten welke gepaard gaan met de installatie van de direct gestookte luchtverwarmer, zal deze installatie in deze thesis buiten beschouwing worden gelaten.

4.5.1.5 Externe warmtelevering

Middels de Energieprestatienorm voor maatregelen op gebiedsniveau (EMG), is het sinds 1 juli 2012 mogelijk om collectieve energieoplossingen te waarderen. Voorbeelden van gebiedsmaatregelen betreffen stadsverwarming, grootschalige zonne-energieparken en windmolenparken. Indien gebruik gemaakt wordt van de norm voor collectieve energieoplossingen (NVN 7125), dan stelt het bouwbesluit een getrapte EPC-eis. Deze getrapte EPC-eis omvat twee treden waaraan voldaan dient te worden. De EPC berekening dient te voldoen aan trede 1, welke heden maximaal $1,33 \times 0,4 = 0,532$ dient te betreffen. Trede 2 betreft de minimaal te behalen EPC van 0,4.



Figuur 27: Principe van externe warmtelevering (Warm Wonen, 2018)

Aangezien slechts in een beperkt aantal gebieden gebruik gemaakt kan worden van een collectieve warmtelevering, zal deze optie niet verder worden meegenomen in het onderzoek van deze thesis.

4.5.1.6 Warmtedistributie

De opgewekte energie binnen het verwarmingssysteem, dient uiteindelijk te worden afgegeven aan de ruimtes in de woning. Dit kan geschieden middels diverse zogenaamde warmte-overbrengende media, zoals radiatoren.

Om het meeste rendement uit de warmteopwekker te halen, dient de maximale aanvoertemperatuur hierop te worden afgestemd. Vervolgens heeft de aanvoertemperatuur weer invloed op het type warmte-overbrengend medium. Zo zal bij een aanvoertemperatuur van 35 graden, het afgiftesysteem middels radiatoren en/of convectoren minder geschikt maken, aangezien deze in afmeting zullen moeten toenemen. Het afgiftesysteem middels radiatoren en/of convectoren, is echter wel weer zeer geschikt bij een aanvoertemperatuur van minimaal 55 graden, waarbij over 'HT³⁸-systemen' gesproken wordt.

Wand- en vloerverwarming zijn uitermate geschikt voor laagtemperatuursystemen (LT). Dit systeem, anders dan met radiatoren en/of convectoren, is een traag systeem. Dit betekent dat het systeem een continue temperatuur, zowel dag en nacht, in de desbetreffende ruimte verzorgd.

De techniek van warmteopwekking middels straling staat nog in de kinderschoenen. De eerste resultaten zijn nog niet overtuigend, aangezien stralingswarmte erg plaatselijk is. Dit zou betekenen dat grote delen van de woning zou moeten worden voorzien van stralingslichamen, te komen tot een aangenaam wooncomfort. Derhalve zullen in dit onderzoek de stralingspanelen buiten beschouwing worden gelaten.

³⁸ Hoogtemperatuur systemen

4.5.2 Ventilatie

Onderdeel van het Bouwbesluit 2012, betreft de technische bouwvoorschriften uit het oogpunt van gezondheid. Hieronder vallen de minimale eisen ten aanzien van de minimale bescherming tegen geluid, wering van vocht, intrede van minimale hoeveelheid daglicht en mogelijkheden tot luchtverversing. De luchtverversing³⁹, onder te verdelen in luchtverversing en spuivoorzieningen⁴⁰, is vooral belangrijk voor ruimten met een gebruiksfunctie met een relatief hoog energieverbruik en/of hoog ventilatiedebiet.

Deze luchtverversing kan middels verschillende ventilatiesystemen worden gerealiseerd. In figuur 28 staan de ventilatiesystemen met specificaties welke voldoen aan de eerder genoemde criteria.

Verschillende ventilatiesystemen	Specificaties
a. Natuurlijke toevoer, natuurlijke afvoer	---
b. Mechanische toevoer, natuurlijke afvoer	---
c. Natuurlijke toevoer, mechanische afvoer	C1. Standaard
	C2. Luchtdrukgestuurde toevoer
	C3a. Tijdsturing afvoer zonder zonering ⁴¹
	C3b. Luchtdrukgestuurde toevoer, tijdsturing op afvoer zonder zonering
	C3c. Tijdsturing toe- en afvoer zonder zonering
	C4a. Luchtdrukgestuurde toevoer, CO ₂ -sturing op afvoer in verblijfsgebied met open keuken, zonder zonering
	C4b. CO ₂ -sturing indirect op toevoer per verblijfsruimte, zonder zonering
	C4c. Luchtdrukgestuurde toevoer, CO ₂ -sturing op afvoer per verblijfsruimte zonder zonering
Verschillende ventilatiesystemen	Specificaties
d. Mechanische toe- en afvoer	D1. Standaard
	D2a. WTW installatie, zonder zonering, zonder sturing
	D2b1. WTW installatie, zonder zonering, zonder sturing, gedeeltelijke bypass
	D2b2. WTW installatie, zonder sturing, volledige bypass
	D3. CO ₂ sturing alleen afvoer
	D4a. Tijdsturing zonder zonering
	D4b. Tijdsturing met 2 of meer zones
	D5a. CO ₂ -sturing met 2- of meer zones
e. Gecombineerde systemen	---

Figuur 28: Verschillende ventilatiesystemen (Uniec2.2, 2018)

³⁹ Binnen een bouwwerk dient een voorziening aanwezig te zijn om een voor de gezondheid nadelige kwaliteit van binnenlucht te voorkomen (BRIS Bouwbesluitonline, 2018)

⁴⁰ In een bouwwerk dient de mogelijkheid aanwezig te zijn om sterk verontreinigde lucht snel af te kunnen voeren (BRIS Bouwbesluitonline, 2018)

⁴¹ Zonering binnen het systeem van natuurlijke toevoer en mechanische afvoer is niet mogelijk, omdat in basis alle zones met elkaar in verbinding staan en derhalve geen afgebakende zoneringen zijn te vervaardigen

4.5.2.1 Natuurlijke toevoer en natuurlijke afvoer

Bij ventilatiesystemen welke gebaseerd zijn op natuurlijke toe- en afvoer, wordt gebruik gemaakt van de verschillen in luchtdruk tussen binnen- en buiten de woning. Dit systeem zou tot op heden nog steeds als uitgangspunt binnen de EPC-berekening worden opgenomen, echter is deze wel achterhaald door de regelgeving. Deze regelgeving stelt namelijk dat een minimaal debiet moet worden gegarandeerd, hetgeen nagenoeg onmogelijk is als men hierbij afhankelijk is van de weersgesteldheid. Om alsnog te voldoen aan de regelgeving zou derhalve een additionele installatie moeten worden aangelegd. De compleet-, natuurlijk- gereguleerde ventilatiesystemen, worden derhalve niet verder meegenomen in het onderzoek.

4.5.2.2 Mechanische toevoer en natuurlijke afvoer

Een ventilatiesysteem dient dus gereguleerd te kunnen worden, om in aanmerking te komen voor toepassing. Dit kan geschieden door middel van mechanisch gestuurde toe- en afvoer. Het ventilatiesysteem waarbij alleen de toevoer mechanisch wordt geregeld, wordt nauwelijks toegepast in de woningbouw. Elk ventilatierooster zou in dit systeem namelijk mechanisch aangestuurd moeten worden. Gezien de beperkte toepasbaarheid van dit systeem in de woningbouw, zal ook deze variant niet verder worden behandeld.

4.5.2.3 Natuurlijke toevoer en mechanische afvoer

De meest voorkomende variant betreft het ventilatiesysteem welke gebruik maakt van natuurlijke toevoer en mechanische afvoer⁴². Dit systeem maakt gebruik van het gecreëerde onderdruk in de woning, waardoor lucht door het drukverschil wordt vereffend door de lucht welke door ventilatieroosters naar binnen stroomt. Een centraal opgestelde ventilatiebox zorgt ervoor dat er in de badkamer, toilet, keuken en berging binnenlucht wordt afgezogen. Middels de ruimte onder de binnendeuren (ROD), komt er een inpancige luchtstroom op gang waarbij de ventilatieroosters in de gevel van de woonkamer/keuken en slaapkamers, het luchtdrukverschil uiteindelijk vereffenen.



Figuur 29: MV-box en bediening

Op zichzelf is het maken van 'gaten' in een luchtdichte gevel- en dakconstructie in praktijk erg discutabel geworden, ondanks dat het nog steeds voldoet aan de huidige regelgeving. Het luchtdicht bouwen wint heden namelijk erg snel terrein als het gaat om duurzaamheid. Daarbij komt dat bewoners veel comfortklachten ervaren door de koudeval uit gevelroosters en daardoor deze roosters dichtzetten. Dit is vervolgens weer van negatieve invloed op het leefklimaat binnen de woning. Het valt dan ook binnen de verwachting van specialisten, dat het ventilatiesysteem, welke gebruik maakt van natuurlijke toevoer van lucht, binnen afzienbare tijd veel marktaandeel binnen nieuwbouwwoningen zal verliezen. Verder blijkt uit praktijk dat de tijdgestuurde varianten nauwelijks worden toegepast en vallen derhalve buiten dit onderzoek. Desondanks zullen de overige varianten binnen dit ventilatiesysteem wel in deze thesis worden opgenomen als mogelijk toe te passen ventilatiesysteem.

⁴² Het ventilatiesysteem met natuurlijke toevoer en mechanische afvoer wordt in de praktijk vaak geduid door de term mechanische ventilatie (MV).

4.5.2.4 Mechanische toevoer en mechanische afvoer

In het bovenstaande, veel toegepaste ventilatiesysteem, wordt dus gebruik gemaakt van natuurlijke toevoer met enkele negatieve invloeden op comfort en luchtdichtheid. Vanuit de markt is enkele jaren geleden hierop geanticipeerd door een nieuw ventilatiesysteem te introduceren. Bij dit systeem wordt naast de afvoer van binnenlucht, ook de toevoer van buitenlucht mechanisch geregeld. Aangezien de hoeveelheid in te blazen lucht gelijk dient te zijn aan de hoeveelheid af te voeren lucht, wordt het systeem in praktijk ook wel balansventilatie genoemd. Hierdoor behoeven er geen ventilatieroosters te worden opgenomen in de gevel, hetgeen de luchtdichtheid van de woning ten



Figuur 30: WTW-unit

goede komt. Om ervoor te zorgen dat de er minder comfortklachten ontstaan door koudeval bij de toevoer van buitenlucht, wordt de buitenlucht, voor het inblazen, reeds opgewarmd. De warmte uit de af te voeren binnenlucht wordt gebruikt om de veelal koelere buitenlucht op te warmen. Dit proces geschiedt via een zogenaamde warmtewisselaar. Aangezien het niet altijd wenselijk is dat de buitenlucht wordt opgewarmd, bijvoorbeeld in de zomer, is er binnen het systeem een mogelijkheid aanwezig om de buitenlucht via een bypass niet langs de warmtewisselaar te leiden. “De bypass kan gedeeltelijk en volledig van aard zijn, waarbij in het geval van een gedeeltelijke aard altijd een deel van de buitenlucht via de warmtewisselaar wordt geleid en dus wordt opgewarmd”, aldus technisch adviseur Koopmans van Steboma B.V. In praktijk zijn nagenoeg alle balansventilatiesystemen uitgevoerd met een volledige bypass en worden daarmee de systemen D1, D2a en D2b1 uit figuur 28 niet opgenomen in dit onderzoek.

4.5.2.5 Uitbreidingen basis ventilatiesystemen

De twee meest toegepaste ventilatiesystemen kunnen vervolgens nog worden uitgebreid met onder andere een CO₂-sturing. Met een CO₂-sturing wordt het systeem uitgebreid met een sensor, welke het CO₂-gehalte van de binnenlucht meet. Indien noodzakelijk, kan het systeem een extra hoeveelheid binnenlucht vervangen. Deze CO₂-regeling kan centraal (op de afvoer) of decentraal (per ruimte) worden ingezet. Een aandachtspunt van de toepassing van een centrale CO₂-regeling, is dat binnen dit systeem het gemiddelde CO₂-gehalte wordt gemeten van de totale af te voeren binnenlucht en dat een verhoogd CO₂-gehalte in een specifieke ruimte mogelijk niet leidt tot een hoger debiet.



Figuur 31: CO₂-sturing

Bij de uitbreidingen van het ventilatiesysteem, zijn geen extra schoonmaakkosten, controle- en inregelwerkzaamheden benodigd. Alleen de extra investerings- en eventuele vervangingskosten worden in deze thesis meegenomen.

4.5.3 Warmtapwater

Binnen de berekeningssystematiek van UNIEC2.2, zijn diverse varianten ten aanzien van de bereiding van warmtapwater in te vullen. Daar in het verleden veelal de HR-ketel het warmtapwater bereidde, zijn heden diverse alternatieven in te zetten (figuur 32).

Warmteopwekking	CW-waarde ⁴³
- Gasgestookt toestel	- CW 1+
- Elektrische opwekker	- CW 2
- Elektrische warmtepomp	- CW 3
- Elektrische warmtepompboiler	- CW 4, 5 of 6
- Externe warmtelevering	
- Zonneboiler met gasgestookte na-verwarming	
- Zonneboiler met geïntegreerde elektrische na-verwarming	

Figuur 32: Mogelijke warmteopwekkende technieken voor warmtapwater (Uniec2.2, 2018)

Naast de directe warmteopwekking van het tapwater, zijn er ook een aantal DZO toepasbaar, waarbij het reeds opgewarmde water wordt gebruikt voor voorverwarming van koud water. Dit gebeurt middels een douchewarmte-wtw of zonneboiler. Beide systemen zijn toepasbaar in de woningbouw. Figuur 33 geeft de verschillende varianten weer van in de markt verkrijgbare douchewarmte-wtw en zonneboilers.

Warmteopwekking	Functie
- Douchewarmte-wtw	- Aangesloten op koudepoort douchemengkraan en inlaat toestel
	- Aangesloten op alleen koudepoort douchemengkraan
	- Aangesloten op alleen inlaat toestel
	- Collectieve opstelling van meerdere DWTW units
- Zonneboiler	- Ten behoeve van warmtapwater
	- Ten behoeve van warmtapwater en verwarming

Figuur 33: Mogelijke overige warmteopwekkers met verschillende distributiemogelijkheden (Uniec2.2, 2018)

4.5.3.1 Douchewarmte-wtw

Voor zowel huishoudelijk gebruik, als voor hygiënische doeleinden, wordt tapwater verwarmd. Bij de bereiding van warmtapwater, kunnen de reeds eerder behandelde verwarmingssystemen voor ruimten worden ingezet. Tapwater kan worden opgewarmd tot een temperatuur tussen de 60 en 80 graden. Om de gewenste minimale temperatuur van 60 graden te kunnen bereiken, is energie benodigd. Er zijn systemen op de markt welke ervoor zorgdragen dat het aangevoerde leidingwater, met een gemiddelde temperatuur van 10 graden, wordt voorverwarmd tot een temperatuur van circa 25 graden. Door het leidingwater voor te verwarmen, zal de bereiding van warm tapwater minder energie vergen. In deze thesis wordt de douchewarmte-wtw als sec ondersteunende installatie verder beschouwd. Bij een douche-warmte-wtw wordt de warmte uit het douche-afvalwater hergebruikt, aangezien deze langs de toevoerleidingen van het leidingwater naar de CV-ketel danwel douchemengkraan wordt geleid.



Figuur 34: Douchepijp-WTW

⁴³ CW staat voor Comfort Warmwater. Hoe hoger de CW-waarde, des te meer warmtapwater de warmteopwekkende installatie kan leveren.

Er zijn drie verschillende douchewarmte-wtw systemen:

- Douchegoot-WTW
- Douchebak-WTW
- Douchepijp-WTW

De verticale douchepijp-WTW heeft als voordeel dat het een hoger rendement heeft dan een douchegoot- of douchebak-WTW. Echter zullen de verticale pijpen op een bereikbare plaats aangebracht moeten worden, hetgeen de indeelbaarheid van de woning beperkt. Kostentechnisch is de douchepijp-WTW het meest aantrekkelijk.

Zodra de invloed van de douche-wtw, met de verschillende aansluitingen nader wordt beschouwd, blijkt dat de douchegoot- en douchebak-WTW niet rendabel zijn aangezien de investering niet in verhouding staat tot de reductie van de EPC (figuur 35), in de situatie dat deze wtw wordt aangesloten op de inlaat van de warmwaterbereider. Derhalve zal binnen deze thesis alleen de douchepijp-WTW worden beschouwd.

Invloed op EPC	(1) Aangesloten op warmwaterbereider	(2) Aangesloten op douchemengkraan	(3) Aangesloten op zowel (1) als (2)
Douchegoot-WTW	niet rendabel	-0,04 tot -0,05	-0,04 tot -0,06
Douchebak-WTW	niet rendabel	-0,04 tot -0,05	-0,04 tot -0,06
Douchepijp-WTW	-0,04 tot -0,06	-0,05 tot -0,06	-0,05 tot -0,07

Figuur 35: Invloed op de EPC van de verschillende douche-WTW (ISSO, 2018)

4.5.3.2 Zonneboiler

Naast de douchewarmte-wtw is er een vergelijkbare installatie op de markt aanwezig, welke ook zorgdraagt dat het toegevoerde water wordt voorverwarmd naar een temperatuur van 25 graden. Dit betreft een systeem welke gebruik maakt van zonnestraling. Er zijn 2 typen te onderscheiden, te weten:

- Vlakkeplaat zonnecollector.
- Vacuümbuis zonnecollector.



Figuur 36: Vlakkeplaat

In de praktijk zal in 90% van de draaiuren de temperatuur van de collectoren onder de 70 graden liggen. De vlakkeplaat collectoren presteren tot een collectortemperatuur van 70 graden beter dan een vacuümbuiscollector. Aangezien er dus grote verschillen bestaan tussen het rendement van een vlakkeplaat zonnecollector en een vacuümbuis zonnecollector, wordt binnen deze thesis slechts het type betrokken welke het hoogste rendement heeft, te weten de vlakkeplaat zonnecollector.

	Temperatuur collectoren (°C)					
	20	30	40	50	60	70
Vlakkeplaat ⁴⁴	85%	80%	74%	69%	63%	57%
Vacuümbuizen ⁴⁵	73%	70%	67%	64%	60%	57%

Figuur 37: Rendementsverloop bij 800 watt/m² en 20 graden Celsius buitentemperatuur (ENAT, 2018)

⁴⁴ Gegevens op basis van de vlakkeplaat collector Rivusol

⁴⁵ Gegevens op basis van de vacuümbuis collector HRSolar

4.5.4 Elektriciteit opwekkende techniek

Binnen de groep elektriciteit opwekkende technieken, behoren de voorzieningen welke energie opwekken middels het omzetten van zonne-, warmte- of rotatie-energie (figuur 38).

Elektriciteit opwekker	Functie
- Photo Voltaïsche Panelen	- Omzetten van zonlicht naar elektriciteit
- Micro WKK	- Omzetten van warmte naar elektriciteit
- Windmolen	- Omzetten van rotatie energie naar elektriciteit

Figuur 38: Mogelijke elektriciteit opwekkende technieken met verschillende bronnen

Elektriciteit opwekken middels sec windturbines in een woonwijk is niet realistisch. De investering, welke met de aanschaf van een windturbine gemoeid gaat, ligt boven de enkele tienduizenden euro's. Zelfs bij optimale elektriciteitsopbrengst, zal de investering niet kunnen worden terugverdiend binnen de technische levensduur van circa 20 jaar (Milieucentraal, 2018). Derhalve laten we de optie van windturbines in deze thesis buiten beschouwing.

Nu de duurzaamheidsoplossingen zijn behandeld, zal in de volgende paragraaf de besluitvorming bij (institutionele) beleggers ten aanzien van de mogelijke investering in deze DZO worden behandeld.

Hoofdstuk 5

Zoals eerder is vastgesteld, hebben (institutionele) beleggers een grote woningvoorraad in portefeuille. Het besluitvormingsproces van institutionele beleggers en de incorporatie van duurzaamheid hierin, is daarom bepalend bij de verduurzaming van de woningvoorraad. Beleggers zullen primair een afweging maken tussen de kosten van de DZO en de daarmee samenhangende opbrengsten op het totale beleggingsrendement. In paragraaf 3.2 werd het raamwerk hiervoor, de DCF-methode, besproken waarna in hoofdstuk 4 de passieve en actieve duurzaamheidsoplossingen zijn behandeld. In dit hoofdstuk wordt gekeken naar de impact van de implementatie van DZO.

5.1 Zeggenschap

Zoals in bijlage 2 weergegeven, houden veel institutionele beleggers hun beleggingen in de vorm van indirecte belangen. Daarmee is de zeggenschap van de belegger niet absoluut en kan het moeilijker zijn om wijzigingen in beleid af te dwingen. Naast een beperkte invloed, is het ook het niveau van informatievoorziening over individuele ontwikkelingsprojecten doorgaans lager dan bij een directe belegging in onroerend goed. Bovendien zijn institutionele beleggers meer focus gaan leggen op de financiële aspecten van de belegging en minder op de vastgoedkennis zelf. Daarmee zijn technische duurzaamheidsoplossingen vaak niet bekend bij beleggers. Dit compliceert het besluitvormingsproces en de calculatie van de voor- en nadelen van duurzaamheidsoplossingen vanuit de belegger. Omdat kennis vaak niet aanwezig is bij de institutionele belegger, ontbreekt ook de dialoog met de fondsmanager, waardoor deze mogelijk niet de prikkels ervaart om meer aandacht te besteden aan duurzaamheid in het ontwikkelproces.

5.2 Beleggingshorizon

De beleggingen van institutionele beleggers kenmerken zich verder door de lange beleggingshorizon. Deze horizon ziet erop toe dat doelstelling op lange termijn worden behaald, waarbij tevens rendement op korte termijn dient te worden gerealiseerd. Binnen de berekeningen, welke beleggers uitvoeren alvorens over te gaan tot het daadwerkelijk beleggen in onroerend goed, wordt een looptijd van 30+ jaar aangehouden. Aangezien een echt maximum aan de looptijd niet wordt voorgeschreven, wordt binnen deze thesis 30 jaar als maximale beleggingshorizon aangehouden. Ondanks de beleggingshorizon van 30 jaar, wordt er bij het modelleren door (institutionele) beleggers echter rekening gehouden met een beschouwingsperiode van slechts 10 jaar, aangezien de bedrijfsmatig opgestelde doelstellingen veelal worden teruggebracht naar doelstellingen voor een termijn van 10 jaar, om beter sturing te kunnen geven aan de investering.

Hier is wel iets opmerkelijks aan de hand. Het is namelijk zo dat er een spanningsveld aanwezig is tussen de korte termijn horizon van een gespecialiseerde ontwikkelaar en de (middel-)lange termijn horizon van de (institutionele) belegger. Een gespecialiseerde ontwikkelaar ontwikkelt woningen met als doel zijn rendement veilig te stellen door de opstallen en eventueel de grond, zo spoedig als mogelijk te verkopen. Dit zal eerder het geval zijn indien de investeringswaarde voor de koper laag is. Met andere woorden: een ontwikkelaar heeft geen prikkel om een diepgaand onderzoek te doen naar DZO en de daarmee gepaard gaande kosten in eerste aanleg en bijbehorende exploitatielasten. De terugverdientijd is geen onderdeel van zijn besluitvormingsproces.

5.3 Energieprestatievergoeding

Daar (institutionele) beleggers in de gelegenheid worden gesteld om de (extra) investeringen in DZO via de EPV terug te verdienen, blijkt in de praktijk dat er van deze mogelijkheid nog nauwelijks gebruik wordt gemaakt. Enerzijds komt dat doordat zij opzien tegen de administratie welke een dergelijke EPV vereist. Anderzijds verwacht men dat huurders niet bereid zullen zijn om de kosten, welke de (extra) investeringen in DZO met zich meebrengen, met een maandelijkse verhoging van de woonlasten te aanvaarden.

Uit onderzoek van Wilting (2011) is echter gebleken dat investeringen in duurzaamheidsoplossingen, waarbij een reductie van de energielasten wordt bereikt, wel degelijk een positieve invloed hebben op de waardering van het onderliggende onroerend goed. Dit betreft een belangrijke constatering, aangezien het onderzoek van Wilting (2011) heeft uitgewezen dat huurders wel degelijk bereid zijn een hogere huur te accepteren, indien deze huurstijging goed gemaakt wordt door een hogere verlaging van de energierekening (figuur 39). Derhalve schuilt er in het implementeren van DZO een verdienenmodel, aangezien er sprake is van uitgaande- en inkomende kasstromen.

	Jaarlijkse energielastenbesparing			
	€ 150/jr	€ 300/jr	€ 450/jr	Gemiddeld
Professional	-	0,40	0,67	0,32
Particulier	0,80	1,00	0,67	0,82

Figuur 39: Bereidheid, uitgedrukt in jaarlijkse huurverhoging, per € 1,00 jaarlijkse energiebesparing voor drie verschillende groepen energiebesparing (Wilting, 2011, p. 37).

De inkomende kasstromen leiden modelmatig tot een verhoging van de waarde van het onderliggende onroerend goed, hetgeen de (institutionele) belegger kan doen besluiten om te investeren. Aangezien hier in de praktijk nog nauwelijks gebruik van wordt gemaakt, betekent dit dat ceteris paribus bij een duurzame woning de kosten van verduurzaming wél, maar de opbrengsten niet worden meegewogen. Dit weerhoudt beleggers van het verder verduurzamen.

5.4 Duurzaamheid in de beleggingsbeslissing

Middels de DCF-methode bepalen (institutionele) beleggers hun verwachte IRR. Hierbij speelt de verwervingsprijs van de asset een belangrijke rol. De hoogte van de verwervingsprijs zegt echter niets over de exploitatiekosten en levensduur van de toegepaste duurzaamheidsoplossingen. Tevens conflicteert de in de DCF gestelde beschouwingsperiode van 10 jaar vaak met de langere terugverdientijd van duurzaamheidsoplossingen. Dit betekent concreet dat beleggers doorgaans niet komen tot het formuleren van een hoog ambitieniveau voor de verduurzaming van de vastgoedportefeuille.

Door (institutionele) beleggers wordt dit getolereerd, omdat er een kennisleemte aanwezig is. Beleggers hebben doorgaans onvoldoende technische kennis om te kunnen beoordelen wat mogelijk is binnen de portefeuille, hoewel ze naast de financiële ambities tevens duurzaamheidsambities uitspreken. Zoals eerder verwoord, vervult deze thesis hierin een belangrijke rol, door te berekenen wat de duurzaamheidsoplossingen zouden kunnen bijdragen aan de rentabiliteit. Dit stelt beleggers in staat om kritisch te zijn bij het verstrekken van opdrachten, alsmede zich niet alleen toe te leggen op de huidige regelgeving. Dit is met name ingegeven door de lange beleggingshorizon.

Hoofdstuk 6

De installatietechnische duurzaamheidsoplossingen, zoals omschreven in paragraaf 4.5, kunnen leiden tot een verhoging van de investering in eerste aanleg. Naast de verhoogde investering is ook een verhoging van de periodieke instandhoudingskosten mogelijk. Tegenover de hogere kosten, staan extra bezuinigingen die de maatregelen opleveren, danwel extra inkomsten uit de EPV. Deze posten vormen de basis van de DCF-calculatie waarin uiteindelijk een uitspraak gedaan kan worden over de invloed van de duurzaamheidsoplossingen op het financiële rendement. Dit hoofdstuk beschrijft de lijnen waarlangs de kerncomponenten van een DCF-calculatie worden bepaald.

6.1 Koppeling van de DCF aan de duurzaamheidsoplossingen

Volgens Nuiten et al (2017, p. 5) is het voor partijen, die investeren en beslissingen aangaande de toepassing van duurzaamheidsoplossingen beïnvloeden, lastig om een betrouwbaar vergelijk te maken tussen de verschillende duurzaamheidsoplossingen. Dit komt met name doordat de prestaties van deze duurzaamheidsoplossingen vaak niet inzichtelijk of niet voldoende vergelijkbaar zijn om een goede afweging te maken. Het ontbreken van voldoende betrouwbare informatie geeft verwarring in de markt over wat nu duurzamer is. Kortom, het is van belang dat meer inzicht wordt verkregen in de prestaties van de verschillende duurzaamheidsoplossingen, waarbij naast de energiebesparing tevens de aanschaf-, onderhouds- en vervangingskosten, alsmede extra opbrengsten inzichtelijk zijn gemaakt. Hiermee kunnen professionele partijen hun besluiten baseren op meer volledige informatie.

6.2 Input installaties in model

Om het DCF-model op een correcte wijze van input te kunnen voorzien, wordt het schema in figuur 40 aangehouden, waarbij primaire- en secundaire oplossingen onderscheiden worden.

Installatietechnische duurzaamheidsoplossingen	Primair	Secundair	Niet behandeld ⁴⁶
Individueel CV-toestel	✓		
Elektrische warmtepomp (bodem)	✓		
Elektrische warmtepomp (lucht)	✓		
Elektrische warmtepomp (hybride)	✓		
Micro WKK			✗
Direct gestookte luchtverwarmer			✗
Externe warmtelevering			✗
Natuurlijke toevoer en natuurlijke afvoer			✗
Mechanische toevoer en natuurlijke afvoer			✗
Natuurlijke toevoer en mechanische afvoer	✓		
Mechanische toe- en afvoer	✓		
Douchegoot-WTW		⚠	
Douchebak-WTW		⚠	
Douchepijp-WTW		⚠	
Zonneboiler		⚠	
PV-panelen		⚠	

Figuur 40: Overzicht primaire- en secundaire installatietechnische duurzaamheidsoplossingen.

⁴⁶ Deze duurzaamheidsoplossingen zijn wel toepasbaar, maar worden om redenen welke zijn omschreven in deze thesis niet betrokken bij het onderzoek.

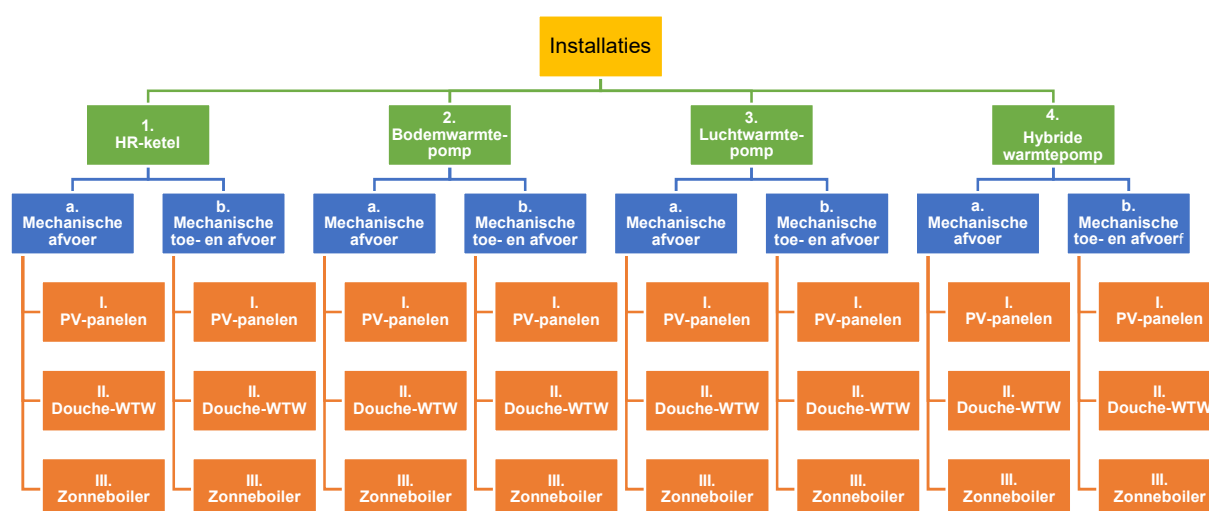
Het is uiteraard niet wenselijk alle bovenstaande duurzaamheidsoplossingen allen gezamenlijk in de referentiewoning toe te passen. Binnen deze thesis zijn derhalve installatiepakketten geformeerd met de volgende randvoorwaarden:

- Pakketten zijn in de praktijk in deze samenstelling toepasbaar.
- Werking van de verschillende installaties zijn niet tegenstrijdig.
- Pakketten dragen zorg bij een aantal vastgestelde variabelen als Rc, U-waarde etc. voor een EPC van 0,4.

6.3 Vaststelling installatiepakketten

Om binnen het onderzoek inzicht te verkrijgen in de consequenties van de toepassing van verschillende installatietechnische duurzaamheidsoplossingen, zal er gevarieerd worden met de installatietechnische invulling van de referentiewoning.

Aan de hand van figuur 41 zijn alle mogelijke pakketten voor deze thesis te bepalen. De verwarmingsinstallatie kan op vier verschillende systemen worden verdeeld. De ventilatie in slechts twee systemen. Tot slot zijn er nog enkele installaties welke, al dan niet gezamenlijk, ingezet dienen te worden om de minimale eis van 0,4 te behalen.



Figuur 41: De 64 mogelijke hoofdpakketten (vb. 2a / 2aI / 2aII / 2aIII / 2aI-II / 2aI-III / 2aII-III / 2aI-II-III)

Bovenstaand figuur 41 laat zien dat er een groot aantal mogelijke installatietechnische duurzaamheidspakketten zijn te formeren. Bij toepassing van een warmtepomp zijn maar liefst 16 verschillende hoofdpakketten te formeren. Het aantal installatiepakketten wordt nog verder uitgebreid zodra uitbreidingsmogelijkheden, zoals omschreven in paragraaf 4.5.2.5, worden meegenomen in deze thesis.

Aangezien de pakketten nog slechts een type installatie omschrijven, is het vervolgens van belang te onderzoeken binnen welke bandbreedte een type installatie zich kostentechnisch beweegt. Door de betrokken installatieadviseurs, Steven Ivangh (Comfort Partners), Oscar Koopmans (Steboma) en Coos Schouten (Schouten Techniek), zijn voor alle typen installaties zowel een variant uitgewerkt met een lage investeringswaarde als van een hoge investeringswaarde. Deze twee typen zullen dus ingevoerd worden in het rekenmodel.

6.4 Energieconcepten

De invloed van de duurzaamheidsoplossingen op de EPC van de woning wordt bepaald aan de hand van het softwarepakket Uniec2.2, waarbij de EPC van 0,4 als uitgangspunt geldt. Naast de twee energieconcepten vanuit het rapport 'Referentiewoningen', opgesteld door het RVO (2015), heeft Uniec2.2 nog een zestal EPC-concepten geformuleerd op basis van deze referentiewoningen. Tevens is nog één dynamisch energieconcept door de onderzoeker zelf aangemaakt. Deze negen hoofdconcepten zullen de basis vormen voor verder onderzoek.

1. Dynamisch concept

Dit concept is geformeerd rondom de bodemwarmtepomp. In bijlage 13 is de complete inhoud van dit concept weergegeven.

2. Referentiewoning variant A

Dit concept behoort bij de referentiewoning en is gebaseerd op een traditionele invulling van de EPC. In bijlage 14 is de complete inhoud van dit concept weergegeven.

3. Referentiewoning variant B

Dit concept is afgeleid van het concept referentiewoning variant A, echter biedt dit concept meer comfort door een hogere CW-waarde van de HR-ketel, alsmede gebruik van balansventilatie. In bijlage 14 is de complete inhoud van dit concept weergegeven.

4. Basis concept

Dit concept is met name gebaseerd op minimale investeringskosten in eerste aanleg en eenvoudige installaties. In bijlage 15 is de complete inhoud van dit concept weergegeven.

5. Comfort concept

Het comfort concept omvat maatregelen welke niet alleen energiebesparend zijn, maar tevens voor een verhoging van het comfort zorgdragen. In bijlage 16 is de complete inhoud van dit concept weergegeven.

6. All in one concept

Dit concept is gebaseerd op de toepassing van één systeem voor verwarming, warmtapwater en ventilatie, te weten een hybride warmtepomp. In bijlage 17 is de complete inhoud van dit concept weergegeven.

7. Solar concept

Het solar concept ontleent zijn naam aan het gebruik maken van zonne-energie. In bijlage 18 is de complete inhoud van dit concept weergegeven.

8. All electric concept

In dit concept wordt uitgegaan van een woning zonder gasaansluiting. In bijlage 19 is de complete inhoud van dit concept weergegeven.

9. Passief concept

Dit concept leunt op de uitgangspunten van het Passiefhuis⁴⁷. In bijlage 20 is de complete inhoud van dit concept weergegeven.

⁴⁷ Een passiefhuis wordt gekenmerkt een optimalisatie van de isolatie en hoge luchtdichtheid

[illegible]

- Figuur 42: Uitleg van het werkblad EPC-concepten; onderdeel van het rekenmodel

Het DCF-model wordt verder gevoed met onderstaande uitgangspunten.

Ondanks het feit er in praktijk nog nauwelijks gebruik gemaakt wordt van de EPV, zal er in deze thesis vanuit worden gegaan dat er een EPV-contract wordt overeengekomen tussen verhuurder en huurder van de referentiewoningen. Zodra de EPV van toepassing is, dient het energieverbruik en -opwekking te worden geregistreerd. De eenmalige kosten om dit per

woning op afstand te regelen bedraagt € 2.800 incl. BTW en een abonnement van € 120,00 incl. BTW per jaar, aldus Coos Schouten. In de gevoeligheidsanalyse zal de invloed van de EPV op de TCO verder worden geanalyseerd.

Doorbelasten EPV: 100%

Uit onderzoek van Wiltink (2011) is gebleken dat huurders bereid zijn om voor elke € 1,00 besparing op de energierekening, € 0,82 aan hogere maandlasten te accepteren. Dit impliceert een 82% vergoedingspercentage ten opzichte van elke bespaarde € 1,00. Aangezien deze thesis niet de exacte energiereductie berekend, maar zich conformeert aan de wettelijk vastgestelde maximum aan EPV, zal er een percentage van 100% worden aangehouden.

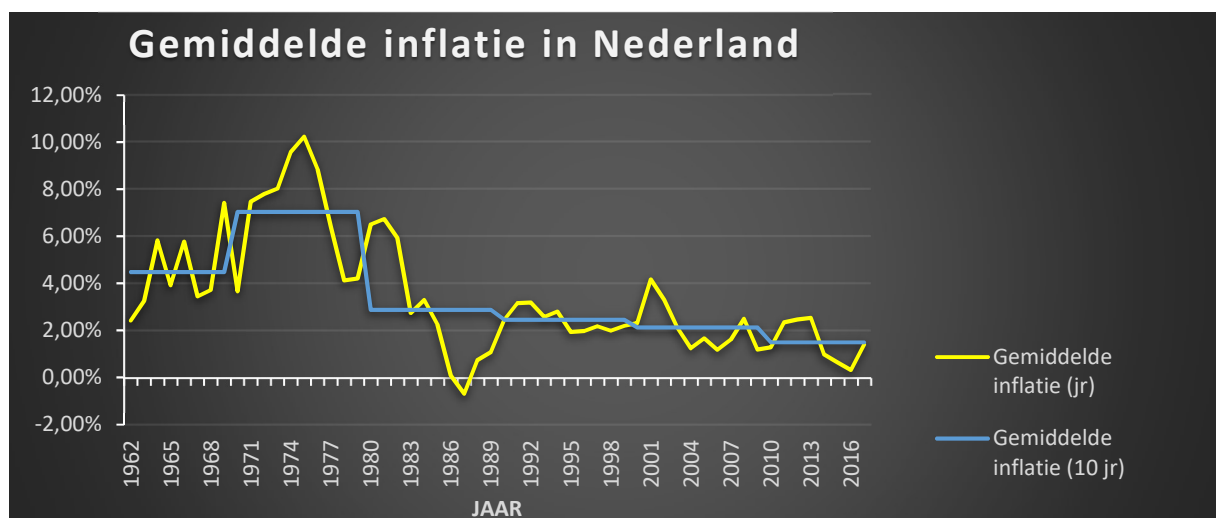
EPV opbrengst: o.b.v. regeling EPV

De maximale EPV opbrengst wordt automatisch berekend aan de hand van de netto warmtevraag in kWh per m² per jaar en type aansluiting van de woning. De EPV varieert van € 0,05 tot en met € 1,42 per m² per jaar. In bijlage 4a t/m 4d zijn alle tabellen omtrent de verrekening van de EPV duidelijk uiteengezet.

Om een EPV te mogen doorbelasten aan de huurder, dient de onderhavige woning aan een aantal eisen te voldoen. Zo dient de woning een maximale warmtevraag van 50 kWh/m² te hebben. Om over deze informatie te kunnen beschikken, zijn concepten ingevoerd in het softwareprogramma Uniec2.2. In bijlage 21a zijn de resultaten ten aanzien van de hoofdconcepten weergegeven. Aangezien de gegevens vanuit Uniec2.2 als inputvariabelen gelden voor de berekening van de hoogte van de EPV, is in bijlage 21b en 21c de samenvatting van de EPC en EPV-berekening voor hoofdconcept 1.0 weergegeven. Op deze wijze is de intersubjectieve navolgbaarheid gewaarborgd.

Indexering EPV: 2%

De regeling geeft aan dat de maximale indexering van de EPV gelijk mag zijn aan de hoogte van de inflatie. Sinds 1962 berekent het Consumentenprijs Index (CPI) de gemiddelde inflatie in Nederland. Op basis van de gegevens van het CPI, is er binnen deze thesis een inflatie aangehouden van 2.0% per jaar.



Figuur 43: gemiddelde inflatie in Nederland (CPI, 2018)

Lagere maximale huur t.g.v. EPV: TW: € 757,08 HW: € 504,36 incl. BTW per jaar

Zodra er een EPV mag worden geheven op de huurwoning, betekent dit dat de woning zeer goed geïsoleerd is. Door deze goede isolatie worden er meer huurpunten aan de woning toebedeeld en daarmee een hogere maximale huur kan worden gevraagd door de verhuurder. Om te voorkomen dat zowel een hogere huur wordt gevraagd, alsmede een EPV wordt geheven, heeft de Rijksoverheid het aantal punten voor de gunstige EI afgetoet op maximaal 32 punten voor eengezinswoningen (VBTN, 2018). In bijlage 22a en 22b zijn de parameters met bijbehorende invulwaarden weergegeven, aan de hand waarvan de referentiewoning is doorgerekend via de site van Huurcommissie. Er zijn 2 berekeningen op de site van de Rijksoverheid gemaakt, waarbij de impact van de toepassing van de EPV is berekend (figuur 44).

Woningtype	Huurpunten zonder EPV	Maximale huur (€ per maand)	Huurpunten met EPV	Maximale huur (€ per maand)	Verschil huur (€ / maand)
'Tussenwoning'	216	€ 1.098,27	204	€ 1.035,28	- € 63,09
'Hoekwoning'	218	€ 1.108,78	210	€ 1.066,75	- € 42,03

Figuur 44: Impact toepassing EPV op maximale huurprijs (Rijksoverheid, 2018)

De negatieve impact op de huuropbrengsten door de heffing van EPV, zal dus in eerste instantie moeten worden gecompenseerd door de inkomsten vanuit de EPV, alvorens gesproken kan worden van het terugverdienen van de investering in duurzaamheidsoplossingen. Uitgangspunt voor deze thesis is dat de verhuurder de EPV volledig doorberekend aan de huurder, waardoor er rekening wordt gehouden met gereduceerde huurinkomsten.

Extra investering in PV: Afhankelijk van energieverbruik en aanwezige PV

Aangezien de EPV-regeling voorschrijft dat alle benodigde energie, duurzaam dient te worden opgewekt, zullen er extra PV-panelen geplaatst moeten worden. Dit wordt in het model automatisch gegenereerd door de ingevoerde gegevens welke zijn verkregen uit Uniec2.2 in te zetten bij de berekening van de extra te plaatsen PV-panelen.

Degradatie PV-panelen: 0,5% per jaar

De regeling van de EPV schrijft verder voor dat gedurende de complete exploitatieperiode de berekende hoeveelheid verbruikte energie dient te worden opgewekt. Aangezien de opbrengst van de PV-panelen in de jaren afneemt, zal er een overcapaciteit dienen te worden ingebouwd. Volgens Coos Schouten is een degradatie van 0,5% per jaar realistisch. Deze degradatie wordt verrekend over de gehele levensduur.

Discontovoet: 5,1%

Binnen het Discounted Cash Flow model worden kasstromen in de toekomst, contant gemaakt tegen een disconteringsvoet. In deze thesis wordt de disconteringsvoet vanuit het rapport van het IPD vastgoedindex aangehouden. De disconteringsvoet bij woningen in de financiële berekening, bij een looptijd van 10 jaar, betreft 5,1 % (Stichting ROZ Vastgoedindex, 2018). Bij de gevoeligheidsanalyse wordt gebruik gemaakt van een disconteringsvoet van 3,5% en 6,5% voor de financiële calculatie.

Indexatie kosten /opbrengsten: 2%

Binnen deze thesis wordt een inflatie verondersteld van 2% per jaar (CPI, 2018). Deze inflatie wordt gekoppeld aan de stijging van de kosten- en opbrengsten binnen de DCF.

Exploitatieperiode: 1 – 30 jaar

Daar er onzekerheid heerst over het optimum ten aanzien van de exploitatieperiode, is de keuze voor alle exploitatieperioden vanaf 1 tot en met 30 jaar mogelijk.

Eenmalige aansluitkosten gas: € 869,99 incl. BTW

Een gasaansluiting met een capaciteit van maximaal 10 m³/uur (G6), voldoende voor de referentiewoning 'tussen- en hoekwoning' volgens installatieadviseur Steven Ivangh. Bij een jaarverbruik tussen 500 m³ en 4.000 m³, bedragen de aansluitkosten voor gas € 869,99 incl. BTW per aansluiting (Liander, 2018).

Eenmalige aansluitkosten elektra: € 804,65 incl. BTW

Een elektra-aansluiting met een capaciteit van maximaal 3x25A, voldoende voor de referentiewoning 'tussen- en hoekwoning' volgens installatieadviseur Coos Schouten, bedraagt € 804,65 incl. BTW per aansluiting (Liander, 2018).

Kosten in eerste aanleg: Laag

Om de invloed van de kosten in eerste aanleg niet groter te maken dan strikt noodzakelijk, aangezien naast de investering op $t = 0$ bij een langere exploitatieperiode dan de levensduur van de installatie nogmaals een geïndexeerde investering behoeft te worden gedaan, is in deze thesis de kwalificatie 'Laag' aangehouden. Deze kwalificatie sluit tevens aan bij de keuzes welke in de huidige praktijk worden gemaakt.

Belastingen: incl. BTW

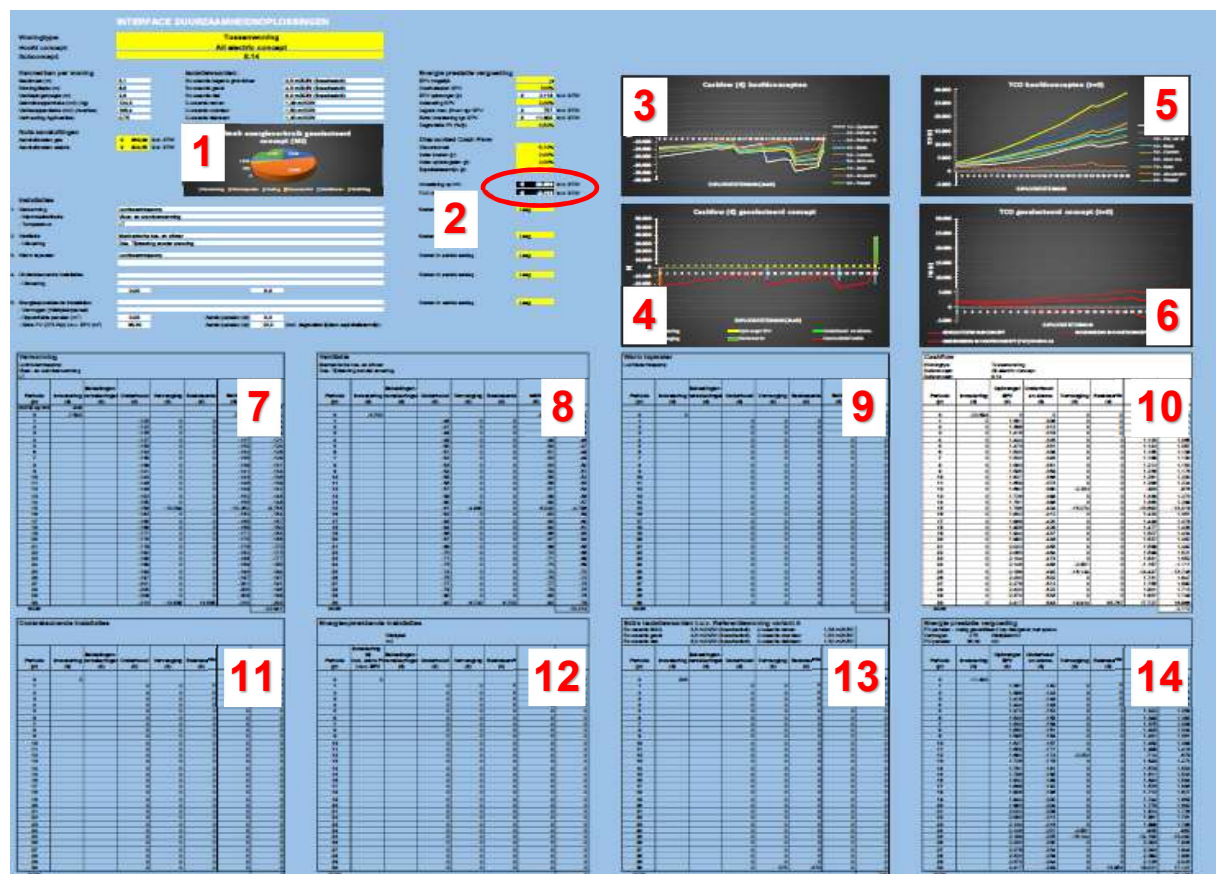
De financiële calculatie gaat ervan uit dat de belasting op toegevoegde waarde (BTW) is verwerkt in de investeringskosten, vervangingskosten, onderhoudskosten, restwaarde en EPV etc.. De btw is heden 21%.

Hoofdstuk 7

In hoofdstuk 6 zijn alle inputvariabelen van het DCF-model behandeld. In dit hoofdstuk zal het definitieve model centraal staan en kunnen berekeningen worden uitgevoerd.

7.1 Design and Decision Support System

Om het onderzoek op een consistente wijze uit te voeren, is door de onderzoeker zelf een excel based tool ontwikkeld, waarin de 243 concepten voor de 'Tussenwoning' en de 9 concepten voor de 'Hoekwoning' met elkaar kunnen worden vergeleken. Dit Design and decision support System (DDSS) stelt de gebruiker in staat om op een eenvoudige wijze veel informatie te verkrijgen door enkel de geel gearceerde cellen in te vullen.



1. Grafiek primair energieverbruik geselecteerd concept
2. Investering op $t=0$ alsmede TCO op $t=0$ van het geselecteerde concept bij de vastgestelde exploitatieperiode
3. Grafiek cashflow (€) van de 9 hoofdcategorieën
4. Grafiek cashflow (€) van het geselecteerde concept
5. Grafiek TCO (€) van de 9 hoofdcategorieën bij 30 verschillende exploitatietermijnen
6. Grafiek TCO (€) van het geselecteerde concept alsmede het best en het minst presterende concept binnen dezelfde hoofdcategorie bij 30 verschillende exploitatietermijnen
7. DCF behorende bij de verwarmingsinstallatie
8. DCF behorende bij de ventilatie installatie
9. DCF behorende bij de tapwaterinstallatie
10. Cashflow (€) van gekozen concept
11. DCF behorende bij ondersteunende installaties
12. DCF behorende bij energieopwekkende installaties
13. DCF behorende bij extra isolatiewaarden t.o.v. Referentiewoning variant A
14. DCF behorende bij de energieprestatievergoeding

Figuur 45: Uitleg van het Design and decision support System

7.2 Resultaten onderzoek

In hoofdstuk 6 zijn de combinaties van de pakketten uitgewerkt, welke in de DDSS doorgerekend worden. Uitgangspunt is dat alle pakketten de minimaal vereiste EPC van maximaal 0,4 bereiken. Naast het concept dienen onderstaande kernvariabelen in de DCF te worden ingevuld (figuur 46).

Kernvariabele	Input in DDSS
EPV mogelijk	ja
Doorbelasten EPV	100%
EPV opbrengst *	o.b.v. regeling EPV
Indexering EPV	2,0% (gelijk aan inflatie)
Lagere max. huur tgv EPV *	TW: € 757,08 per jaar (= € 63,09 per maand) HW: € 504,36 per jaar (= € 42,03 per maand)
Extra investering in PV *	Afhankelijk van energieverbruik en reeds aanwezige PV-panels vanuit energieconcept
Degradatie opbrengst PV	0,5% per jaar
Discontovoet	5,1%
Index kosten (jr)	2,0% (gelijk aan inflatie)
Index opbrengsten (jr)	2,0% (gelijk aan inflatie)
Exploitatieperiode (jr)	1 t/m 30 jaar (* 10 jaar is uitgangspunt voor institutionele beleggers)
Eenmalige aansluitkosten gas	€ 869,99 incl. BTW
Eenmalige aansluitkosten electra	€ 804,65 incl. BTW
Kosten in eerste aanleg	Laag

Figuur 46: Variabelen voor berekening TCO (* variabelen welke niet automatisch worden gegenereerd)

7.3 Resultaat dynamisch concept

Bij het desbetreffende dynamisch concept behoren, naast de handmatige inputvariabelen zoals vermeld in figuur 46, tevens een aantal kernvariabelen welke direct samenhangen met het dynamisch concept (figuur 47a/b). De inputvariabelen van de overige concepten zijn vermeld in bijlage 14 tot en met 20.

Isolatie	Isolatiewaarden
Rc-waarde begane grond	3,5 m ² K/W
Rc-waarde gevel	4,5 m ² K/W
Rc-waarde dak	6,0 m ² K/W
U-waarde ramen	1,30 W/m ² K
U-waarde voordeur	1,30 W/m ² K
U-waarde dakraam	1,30 W/m ² K

Figuur 47a: De warmteweerstand van de schil, behorende bij het concept 1.0

Installaties	Uitvoering
Verwarming	Bodemwarmtepomp
- warmtedistributie	Vloer- en/of wandverwarming
- temperatuur	LT
Ventilatie	Natuurlijke toevoer, mechanische afvoer
- uitvoering	Luchtdrukgestuurde toevoer
Warm tapwater	Bodemwarmtepomp met 150 liter voorraadvat
- capaciteit	CW4
Ondersteunende installaties	-
- uitvoering	-
Energieopwekking	Photo Voltaïsche panelen (PV, 1 paneel is 1,65 m ²)
- capaciteit	275 Wattpiek per paneel
- oppervlak	'Tussenwoning' (TW): 4.95 m ² Hoekwoning (HW): 4,95 m ²

Figuur 47b: Installatietechnische variabelen voor TCO-berekening, welke samenhangen met concept 1.0

Bij de invoering van het dynamisch concept 1.0 voor de 'Tussenwoning' en 1.0H voor de 'Hoekwoning', alsmede bij verschillende exploitatieperioden, worden de verschillende TCO berekend op basis van een discontovoet van 5,1% (figuur 48a/b).

Exploitatieperiode (jr) vs total cost of ownership (€)										Concept 1.0	
1:	2.216	6:	2.485	11:	3.593	16:	5.813	21:	8.403	26:	9.231
2:	2.190	7:	2.632	12:	3.935	17:	6.324	22:	9.104	27:	9.364
3:	2.248	8:	2.815	13:	4.494	18:	6.886	23:	9.463	28:	10.112
4:	2.295	8:	3.035	14:	4.899	19:	7.501	24:	9.876	29:	10.371
5:	2.373	10:	3.294	15:	5.351	20:	8.171	25:	9.148	30:	10.686
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										31.045	

Figuur 48a: Resultaten vanuit DDSS voor de 'Tussenwoning' - subconcept 1.0

Exploitatieperiode (jr) vs total cost of ownership (€)										Concept 1.0H	
1:	2.391	6:	3.077	11:	4.875	16:	7.543	21:	11.225	26:	12.911
2:	2.460	7:	3.323	12:	5.373	17:	8.486	22:	11.674	27:	13.205
3:	2.562	8:	4.078	13:	5.850	18:	9.208	23:	12.180	28:	13.557
4:	2.698	8:	4.465	14:	6.376	19:	9.989	24:	12.745	29:	13.967
5:	2.869	10:	4.465	15:	6.953	20:	10.830	25:	12.672	30:	14.439
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										32.705	

Figuur 48b: Resultaten vanuit DDSS voor 'Hoekwoning' - subconcept 1.0H

7.4 Resultaat referentiewoning variant A

Bij de invoering van het concept, behorende bij referentiewoning variant A 2.0 voor de 'Tussenwoning' en 2.0H voor de 'Hoekwoning', alsmede bij verschillende exploitatieperioden, worden de verschillende TCO berekend (figuur 49a/b).

Exploitatieperiode (jr) vs total cost of ownership (€)										Concept 2.0	
1:	2.590	6:	3.523	11:	5.031	16:	7.206	21:	9.371	26:	11.494
2:	2.715	7:	3.773	12:	5.415	17:	7.572	22:	10.330	27:	11.827
3:	2.916	8:	4.047	13:	6.002	18:	7.970	23:	10.936	28:	12.760
4:	3.095	8:	4.348	14:	6.421	19:	8.402	24:	11.582	29:	13.188
5:	3.297	10:	4.676	15:	6.871	20:	8.868	25:	11.195	30:	13.655
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										18.755	

Figuur 49a: Resultaten vanuit DDSS voor 'Tussenwoning' - subconcept 2.0

Exploitatieperiode (jr) vs total cost of ownership (€)										Concept 2.0H	
1:	2.777	6:	4.222	11:	6.546	16:	9.533	21:	12.603	26:	15.744
2:	3.016	7:	4.591	12:	7.089	17:	10.068	22:	13.342	27:	16.273
3:	3.279	8:	5.117	13:	7.616	18:	10.642	23:	14.125	28:	16.844
4:	3.567	8:	5.561	14:	8.179	19:	11.255	24:	14.955	29:	17.459
5:	3.881	10:	6.037	15:	8.778	20:	11.908	25:	15.257	30:	18.120
Investerings (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr										19.955	

Figuur 49b: Resultaten vanuit DDSS voor 'Hoekwoning' - subconcept 2.0H

7.5 Resultaat referentiewoning variant B

Bij de invoering van het concept, behorende bij referentiewoning variant B 3.0 voor de 'Tussenwoning' en 3.0H voor de 'Hoekwoning', alsmede bij verschillende exploitatieperiodes, worden de verschillende TCO berekend (figuur 50a/b).

Exploitatieperiode (jr) vs total cost of ownership (€)										Concept 3.0	
1:	2.782	6:	4.231	11:	6.577	16:	9.324	21:	12.574	26:	15.564
2:	3.020	7:	4.602	12:	7.126	17:	9.818	22:	13.295	27:	16.123
3:	3.283	8:	5.004	13:	7.670	18:	10.349	23:	14.062	28:	16.727
4:	3.572	8:	5.436	14:	8.249	19:	10.919	24:	14.875	29:	17.377
5:	3.888	10:	6.062	15:	8.866	20:	11.897	25:	15.047	30:	18.074
Investerings (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										20.085	

Figuur 50a: Resultaten vanuit DDSS voor 'Tussenwoning' - subconcept 3.0

Exploitatieperiode (jr) vs total cost of ownership (€)										Concept 3.0H	
1:	2.641	6:	3.050	11:	4.285	16:	6.096	21:	7.728	26:	9.256
2:	2.677	7:	3.317	12:	4.603	17:	6.350	22:	8.170	27:	9.493
3:	2.734	8:	3.515	13:	4.908	18:	6.639	23:	8.654	28:	9.769
4:	2.815	8:	3.742	14:	5.247	19:	6.964	24:	9.658	29:	10.087
5:	2.920	10:	3.998	15:	5.620	20:	7.327	25:	9.058	30:	10.488
Investerings (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										21.285	

Figuur 50b: Resultaten vanuit DDSS voor 'Hoekwoning' - subconcept 3.0H

7.6 Resultaat basis concept

Bij de invoering van het basis concept 4.0 voor de 'Tussenwoning' en 4.0H voor de 'Hoekwoning', alsmede bij verschillende exploitatieperiodes, worden de verschillende TCO berekend (figuur 51a/b).

Exploitatieperiode (jr) vs total cost of ownership (€)										Concept 4.0	
1:	2.703	6:	3.933	11:	5.812	16:	8.420	21:	11.408	26:	13.277
2:	2.882	7:	4.251	12:	6.480	17:	8.864	22:	12.071	27:	13.714
3:	3.140	8:	4.596	13:	6.955	18:	9.345	23:	12.778	28:	14.754
4:	3.378	8:	4.971	14:	7.465	19:	9.862	24:	13.531	29:	15.295
5:	3.643	10:	5.376	15:	8.010	20:	10.786	25:	12.880	30:	15.879
Investerings (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										20.039	

Figuur 51a: Resultaten vanuit DDSS voor 'Tussenwoning' - subconcept 4.0

Exploitatieperiode (jr) vs total cost of ownership (€)										Concept 4.0H	
1:	2.884	6:	4.625	11:	7.318	16:	10.733	21:	14.213	26:	17.602
2:	3.177	7:	5.174	12:	7.945	17:	11.343	22:	15.045	27:	18.235
3:	3.496	8:	5.658	13:	8.560	18:	11.995	23:	16.374	28:	18.914
4:	3.843	8:	6.176	14:	9.213	19:	12.689	24:	17.334	29:	19.642
5:	4.219	10:	6.729	15:	9.907	20:	13.428	25:	17.016	30:	20.420
Investerings (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										21.095	

Figuur 51b: Resultaten vanuit DDSS voor 'Hoekwoning' - subconcept 4.0H

7.7 Resultaat comfort concept

Bij de invoering van het comfort concept 5.0 voor de 'Tussenwoning' en 5.0H voor de 'Hoekwoning', alsmede bij verschillende exploitatieperioden, worden de verschillende TCO berekend (figuur 52a/b).

Exploitatperiode (jr) vs total cost of ownership (€)										Concept 5.0	
1:	2.856	6:	4.254	11:	6.404	16:	9.364	21:	12.216	26:	14.777
2:	3.061	7:	4.617	12:	6.941	17:	9.850	22:	12.920	27:	15.332
3:	3.293	8:	5.013	13:	7.475	18:	10.376	23:	13.673	28:	15.935
4:	3.553	8:	5.441	14:	8.048	19:	10.945	24:	14.953	29:	16.586
5:	3.923	10:	5.905	15:	8.917	20:	11.558	25:	14.268	30:	17.898
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										22.701	

Figuur 52a: Resultaten vanuit DDSS voor 'Tussenwoning' - subconcept 5.0

Exploitatperiode (jr) vs total cost of ownership (€)										Concept 5.0H	
1:	2.767	6:	3.139	11:	4.413	16:	6.047	21:	8.023	26:	9.342
2:	2.790	7:	3.296	12:	4.750	17:	6.284	22:	8.492	27:	9.614
3:	2.838	8:	3.482	13:	5.077	18:	6.881	23:	9.007	28:	9.931
4:	2.911	8:	3.700	14:	5.442	19:	7.219	24:	9.571	29:	10.295
5:	3.011	10:	4.111	15:	5.845	20:	7.599	25:	8.610	30:	10.708
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										24.209	

Figuur 52b: Resultaten vanuit DDSS voor 'Hoekwoning' - subconcept 5.0H

7.8 Resultaat All in one concept

Bij de invoering van het All in one concept 6.0 voor de 'Tussenwoning' en 6.0H voor de 'Hoekwoning', alsmede bij verschillende exploitatieperioden, worden de verschillende TCO berekend (figuur 53a/b).

Exploitatperiode (jr) vs total cost of ownership (€)										Concept 6.0	
1:	2.993	6:	4.877	11:	7.811	16:	11.258	21:	15.096	26:	18.502
2:	3.307	7:	5.354	12:	8.499	17:	11.855	22:	15.958	27:	19.243
3:	3.652	8:	5.866	13:	9.190	18:	12.496	23:	16.874	28:	20.039
4:	4.027	8:	6.415	14:	9.925	19:	13.183	24:	17.846	29:	20.890
5:	4.436	10:	7.165	15:	10.705	20:	14.286	25:	17.813	30:	21.800
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										22.969	

Figuur 53a: Resultaten vanuit DDSS voor 'Tussenwoning' - subconcept 6.0

Exploitatperiode (jr) vs total cost of ownership (€)										Concept 6.0H	
1:	2.796	6:	3.626	11:	5.211	16:	7.558	21:	9.568	26:	11.283
2:	2.888	7:	3.876	12:	5.636	17:	7.876	22:	10.103	27:	11.669
3:	3.006	8:	4.158	13:	6.058	18:	8.235	23:	10.687	28:	12.103
4:	3.152	8:	4.474	14:	6.521	19:	8.635	24:	11.798	29:	12.586
5:	3.408	10:	4.824	15:	7.279	20:	9.079	25:	10.943	30:	13.729
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										23.805	

Figuur 53b: Resultaten vanuit DDSS voor 'Hoekwoning' - subconcept 6.0H

7.9 Resultaat Solar concept

Bij de invoering van het Solar concept 7.0 voor de 'Tussenwoning' en 7.0H voor de 'Hoekwoning', alsmede bij verschillende exploitatieperioden, worden de verschillende TCO berekend (figuur 54a/b).

Exploitatieperiode (jr) vs total cost of ownership (€)										Concept 7.0	
1:	3.156	6:	6.079	11:	9.884	16:	14.681	21:	20.244	26:	24.783
2:	3.656	7:	6.762	12:	10.769	17:	15.615	22:	21.463	27:	25.729
3:	4.188	8:	7.483	13:	11.647	18:	16.597	23:	22.739	28:	26.728
4:	4.753	8:	8.243	14:	12.805	19:	17.629	24:	24.075	29:	27.782
5:	5.350	10:	9.043	15:	13.794	20:	18.713	25:	23.890	30:	28.895
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										22.513	

Figuur 54a: Resultaten vanuit DDSS voor 'Tussenwoning' - subconcept 7.0

Exploitatieperiode (jr) vs total cost of ownership (€)										Concept 7.0H	
1:	2.959	6:	4.732	11:	7.465	16:	10.705	21:	14.715	26:	17.565
2:	3.237	7:	5.173	12:	8.104	17:	11.338	22:	15.607	27:	18.154
3:	3.598	8:	5.648	13:	8.732	18:	12.336	23:	16.552	28:	19.355
4:	3.945	8:	6.157	14:	9.401	19:	13.081	24:	17.550	29:	20.064
5:	4.323	10:	6.702	15:	10.112	20:	13.874	25:	17.021	30:	20.824
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										23.349	

Figuur 54b: Resultaten vanuit DDSS voor 'Hoekwoning' - subconcept 7.0H

7.10 Resultaat All electric concept

Bij de invoering van het All electric concept 8.0 voor de 'Tussenwoning' en 8.0H voor de 'Hoekwoning', alsmede bij verschillende exploitatieperiodes, worden de verschillende TCO berekend (figuur 55a/b).

Exploitatieperiode (jr) vs total cost of ownership (€)										Concept 8.0	
1:	1.662	6:	1.062	11:	1.245	16:	1.923	21:	2.243	26:	2.127
2:	1.500	7:	1.011	12:	1.349	17:	1.919	22:	2.416	27:	2.060
3:	1.358	8:	1.112	13:	1.435	18:	1.948	23:	2.628	28:	2.030
4:	1.237	8:	1.128	14:	1.552	19:	2.010	24:	3.359	29:	2.040
5:	1.138	10:	1.172	15:	1.703	20:	2.108	25:	2.231	30:	2.089
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										22.219	

Figuur 55a: Resultaten vanuit DDSS voor 'Tussenwoning' - subconcept 8.0

Exploitatieperiode (jr) vs total cost of ownership (€)										Concept 8.0H	
1:	1.841	6:	1.892	11:	2.820	16:	4.067	21:	5.608	26:	6.036
2:	1.781	7:	1.979	12:	3.089	17:	4.515	22:	5.991	27:	6.147
3:	1.801	8:	2.096	13:	3.339	18:	4.726	23:	6.421	28:	6.866
4:	1.804	8:	2.244	14:	3.627	19:	4.977	24:	7.376	29:	7.088
5:	1.834	10:	2.587	15:	3.953	20:	5.271	25:	5.967	30:	7.359
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										24.255	

Figuur 55b: Resultaten vanuit DDSS voor 'Hoekwoning' - subconcept 8.0H

7.11 Resultaat passief concept

Bij de invoering van het passief concept 9.0 voor de 'Tussenwoning' en 9.0H voor de 'Hoekwoning', alsmede bij verschillende exploitatieperiodes, worden de verschillende TCO berekend (figuur 56a/b).

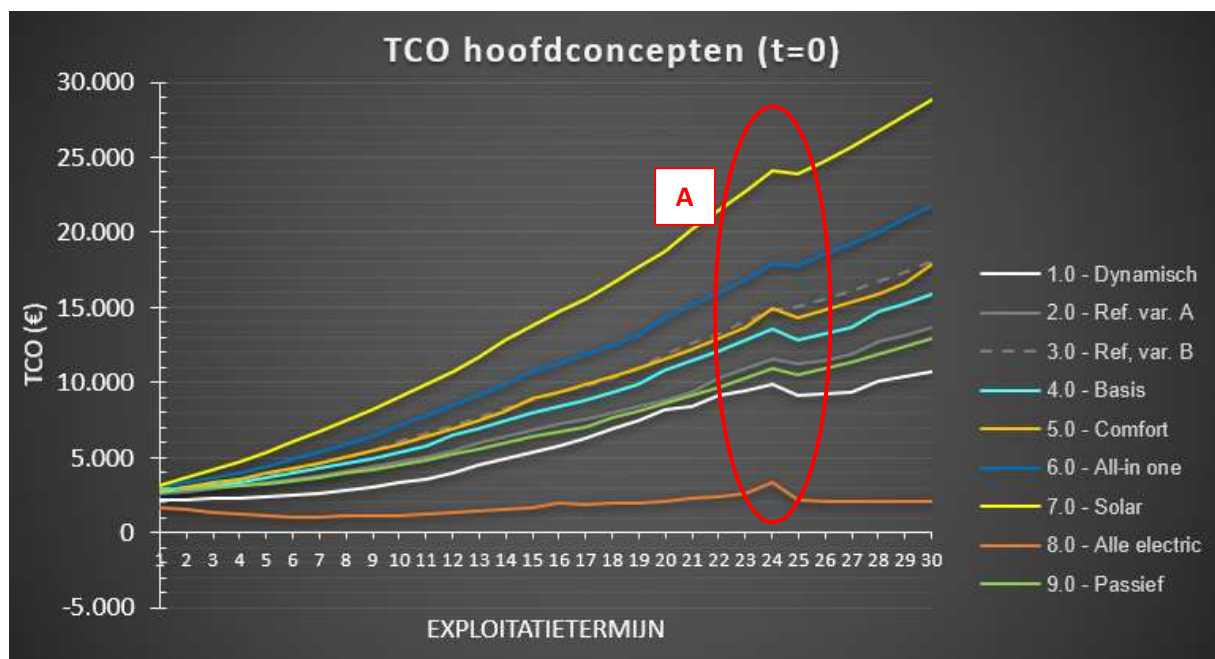
Exploitatieperiode (jr) vs total cost of ownership (€)										Concept 9.0	
1:	2.894	6:	3.407	11:	4.832	16:	6.703	21:	9.097	26:	10.945
2:	2.945	7:	3.705	12:	5.201	17:	7.022	22:	9.653	27:	11.376
3:	3.020	8:	3.937	13:	5.570	18:	7.700	23:	10.258	28:	11.855
4:	3.122	8:	4.202	14:	5.977	19:	8.122	24:	10.912	29:	12.384
5:	3.250	10:	4.500	15:	6.423	20:	8.587	25:	10.560	30:	12.965
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										26.268	

Figuur 56a: Resultaten vanuit DDSS voor 'Tussenwoning' - subconcept 9.0

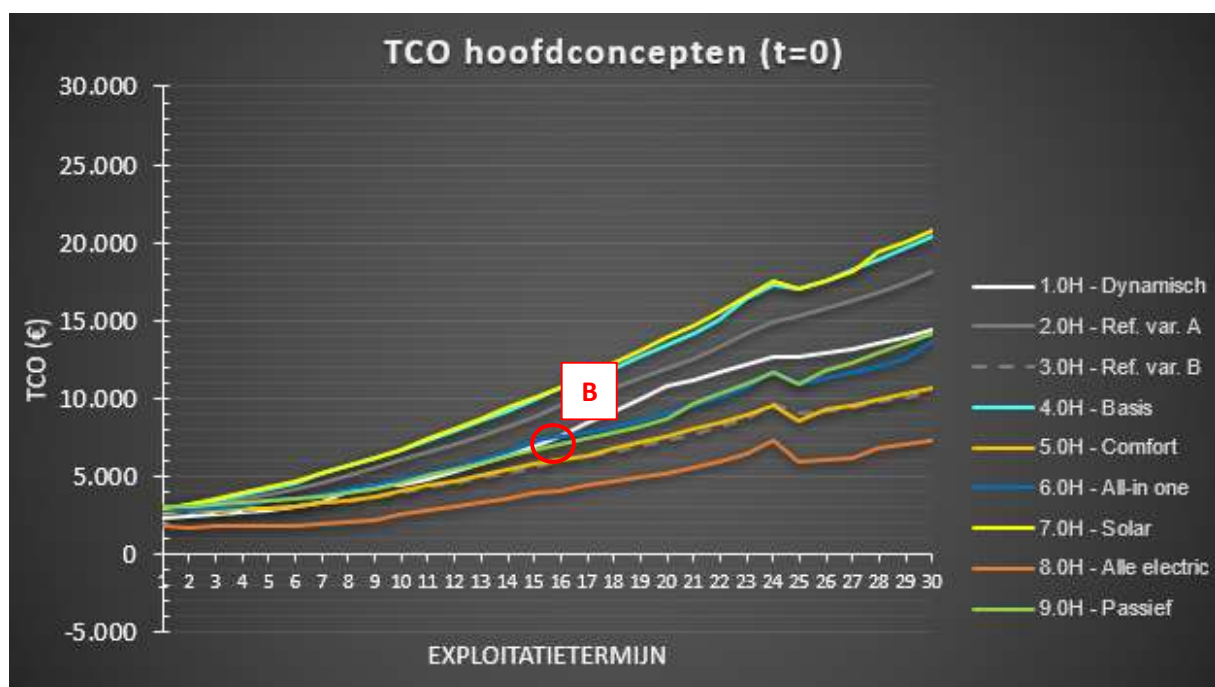
Exploitatieperiode (jr) vs total cost of ownership (€)										Concept 9.0H	
1:	3.081	6:	3.566	11:	5.053	16:	7.068	21:	9.675	26:	11.856
2:	3.120	7:	3.757	12:	5.447	17:	7.418	22:	10.292	27:	12.354
3:	3.186	8:	3.981	13:	5.842	18:	7.813	23:	10.962	28:	12.907
4:	3.282	9:	4.242	14:	6.279	19:	8.254	24:	11.689	29:	13.517
5:	3.408	10:	4.538	15:	6.760	20:	8.743	25:	10.906	30:	14.186
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										30.430	

Figuur 56b: Resultaten vanuit DDSS voor 'Hoekwoning' - subconcept 9.0H

Voor de 9 hoofdconcepten zijn de TCO op t=0 bepaald, bij een exploitatieperiode variërend van 1 tot en met 30 jaar. In figuur 57a/b zijn de resultaten in grafieken uiteengezet.



Figuur 57a: TCO hoofdconcepten (t=0), bij een exploitatieperiode van 30 jaar, voor de 'Tussenwoning'



Figuur 57b: TCO hoofdconcepten (t=0), bij een exploitatieperiode van 30 jaar, voor de 'Hoekwoning'

In figuur 57a is rond exploitatieperiode van 25 jaar een korte correctie waarneembaar in de grafiek (A). Dit is te verklaren vanuit de benodigde vervangingskosten in jaar 25 van het overgrote deel van de installaties en de op datzelfde moment gelijke restwaarde. In dit jaar is de investering en afschrijving gelijk aan elkaar, daar de investering aan het einde van het jaar is gesteld en deze overeenkomst met de periode waarbij de afschrijving wordt opgenomen.

In figuur 57b zijn enkele kruisingen waarneembaar (B). Deze kruising geeft de exploitatieperiode weer waarbij de TCO van 2 verschillen concepten gelijk zijn aan elkaar.

Binnen een steekproef van slechts negen hoofdconcepten, bij twee verschillende woningtypen, is statistische analyse nagenoeg niet mogelijk. Alvorens met behulp van het softwareprogramma Stata⁴⁸ uitspraken te kunnen doen over de gehele populatie aan concepten, dient de steekproef te worden vergroot. Daar het woningtype 'Tussenwoning' het meest voorkomt bij grondgebonden woningen, zijn er voor dit woningtype per hoofdconcept nog 26 subconcepten vastgesteld en doorerekend, zodat er uiteindelijk beschikt kan worden over de gegevens van 243 concepten voor de categorie 'Tussenwoning'. De gegevens welke betrekking hebben op dit woningtype, zullen de basis vormen voor de statistische analyses.

De subconcepten zijn samengesteld vanuit de verwarmingsinstallatie van het hoofdconcept, welke als uitgangspunt wordt genomen voor de verdere formatie van installaties binnen het subconcept. Eerst wordt met het warmte-overbrengend medium gevarieerd om vervolgens te variëren met het type ventilatie-installatie. Uiteraard zijn er binnen de ventilatie-installatie nog diverse uitbreidingen mogelijk. Deze worden ook meegenomen in het onderzoek. Indien nodig, worden de subconcepten uiteindelijk aangevuld met PV-panelen om aan de EPC-normering te voldoen. Op het werkblad 'energieconcepten' in het DDSS, is de exacte inhoud van alle subconcepten terug te vinden.

7.12 Vijf best presterende concepten tussenwoning

Naast de 9 hoofdconcepten, zijn er nog dus nog 234 concepten onderzocht welke betrekking hebben op het woningtype 'Tussenwoning'. Deze voldoen allen aan de besproken uitgangspunten uit figuur 21. De resultaten ten aanzien van de berekende TCO van de vijf best presterende concepten bij een exploitatieperiode van 5 – 10 – 15 – 20 – 25 – 30 jaar, zijn weergegeven in figuur 58. In bijlage 23a is het totale overzicht weergegeven. Het best presterende concept is 8.9 en levert bij een exploitatieperiode van 30 jaar een extra rendement op van € 4.574 bovenop de reeds gerealiseerde discontovoet van 5,1%. Dit extra rendement is tevens reeds verdisconteert naar t=0.

Exploitatieperiode (jr) vs best presterende subconcept in TCO (€)										
5:	8.9	294	8.10	354	8.5	437	8.6	497	8.11	527
10:	8.9	- 756	8.10	- 634	8.5	- 296	8.6	- 174	8.11	- 112
15:	8.9	- 1.131	8.10	- 931	8.6	- 437	8.5	- 381	8.11	- 81
20:	8.9	- 1.762	8.10	- 1.863	8.5	- 1.127	8.6	- 859	8.11	- 726
25:	8.9	- 3.467	8.10	- 3.115	8.5	- 2.146	8.6	- 1.794	8.11	- 1.618
30:	8.9	- 4.574	8.10	- 4.118	8.5	- 3.472	8.6	- 3.016	8.11	- 2.788

Figuur 58: Resultaten vanuit DDSS voor de vijf best presterende concepten

⁴⁸ Stata is een softwareprogramma waarmee statistische analyses kunnen worden uitgevoerd.

7.13 Vijf minst presterende concepten

De resultaten van de vijf minst presterende concepten ten aanzien van de berekende TCO per exploitatieperiode, zijn weergegeven in figuur 59. In bijlage 23b is het totale overzicht weergegeven. Het minst presterende concept is 7.0 en levert bij een exploitatieperiode van 30 jaar een negatief rendement op van € 28.895. Zodra de TCO op € 0 zou uitkomen, kan geconcludeerd worden dat exact de discontovoet van 5,1% behaald is. Bij dit concept wordt het discontovoet van 5,1% dus niet behaald.

Exploitatieperiode (jr) vs total cost of ownership (€)										
5:	7.0	5.350	5.15	5.262	5.19	4.977	5.23	4.969	7.4	4.893
10:	7.0	9.043	5.15	8.907	5.19	8.324	5.23	8.302	7.4	8.126
15:	7.0	13.794	5.15	13.580	5.19	12.630	5.23	12.330	7.4	12.063
20:	7.0	18.713	5.15	18.303	5.19	17.032	5.23	16.999	7.4	16.669
25:	7.0	23.890	5.15	23.349	5.19	21.677	5.23	21.653	7.4	20.652
30:	7.0	28.895	5.15	28.540	5.19	26.374	5.23	26.298	7.4	25.443

Figuur 59: Resultaten vanuit DDSS voor vijf minst presterende concepten

Hoofdstuk 8

In hoofdstuk 4 en 5 zijn enerzijds de voorwaarden vastgesteld waaronder een belegger zal investeren in DZO en zijn anderzijds de verschillende DZO zelf in detail beschreven. In hoofdstuk 7 zijn de resultaten van de implementatie van de 243 verschillende concepten voor de ‘Tussenwoning’ in het DDSS verwoord. Dit hoofdstuk zal verder ingaan op de statistische analyse van de resultaten.

8.1 Beschrijvende statistiek

Van de variabelen Expl30⁴⁹ en Invinst⁵⁰, kunnen middels Stata diverse berekeningen worden uitgevoerd, waarbij interessante gegevens worden gegenereerd. In figuur 60 zijn het aantal observaties, de gemiddelden, de standaarddeviatie en de minimale- en maximale waarde weergegeven.

. summarize Invinst Expl30					
Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Invinst	243	22615.6	3873.37	17649	33705
Expl30	243	13881.93	5960.891	-4574.432	28894.61

Figuur 60: Summary statistics voor Invinst en Expl30 (Stata, 2018)

Uit bovenstaande tabel valt op te maken dat bij 243 observaties en een exploitatietermijn van 30 jaar, de bandbreedte van de investeringen liggen tussen € 17.649 en € 33.705 en dat de bandbreedte van de berekende TCO variëren van - € 4.574 tot € 28.894,61. De beschrijvende statistieken van de exploitatieperioden van 1 tot en met 30 jaar zijn weergegeven in bijlage 24a. Hieruit kan worden opgemaakt dat de maximale TCO (TW) van € 28.894,61 wordt behaald bij een exploitatieperiode van 30 jaar van concept 7.0. De minimale TCO (TW) van - € 4.574 wordt behaald door concept 8.9 voor 30 jaar te exploiteren.

In de volgende paragrafen zal de samenhang tussen de twee variabelen worden onderzocht.

8.2 Samenhang

Een specialistische ontwikkelaar ontwikkelt vastgoed waarbij de bouwkosten het laagst zijn, gegeven een bepaalde opbrengst. Het is van belang te onderzoeken of er een verband bestaat tussen de hoogte van de investering en de hoogte van de TCO op $t=0$ bij een desbetreffende exploitatieperiode. In geval er een sterke positieve correlatie aanwezig is tussen de afhankelijke variabele Expl en onafhankelijke variabele Invinst, zal het mogelijk gewin voor een (institutionele-) belegger groot zijn, daar de gespecialiseerde ontwikkelaar momenteel ontwikkelt tegen laagste bouwkosten en daarmee zou dan ook reeds een lage TCO worden behaald. Bij een hoge negatieve correlatie tussen de twee variabelen is het winstpotentieel voor institutionele beleggers laag.

Het onderzoek naar de omvang en richting van de samenhang, wordt in de literatuur de ‘Pearson correlatie’ genoemd.

⁴⁹ Expl30 staat voor de TCO (TW) op $t=0$ bij een exploitatieperiode van 30 jaar, uitgedrukt in euro's.

⁵⁰ Invinst is de afkorting voor investering op $t=0$ ten behoeve van installaties, uitgedrukt in euro's.

De bijbehorende maat betreft het correlatiecoëfficiënt, welke in figuur 61 wordt uitgelegd.

Correlatie-coëfficiënt:	Uitleg:
+1	Perfekte positieve correlatie
0	Geen correlatie
-1	Perfekte negatieve correlatie

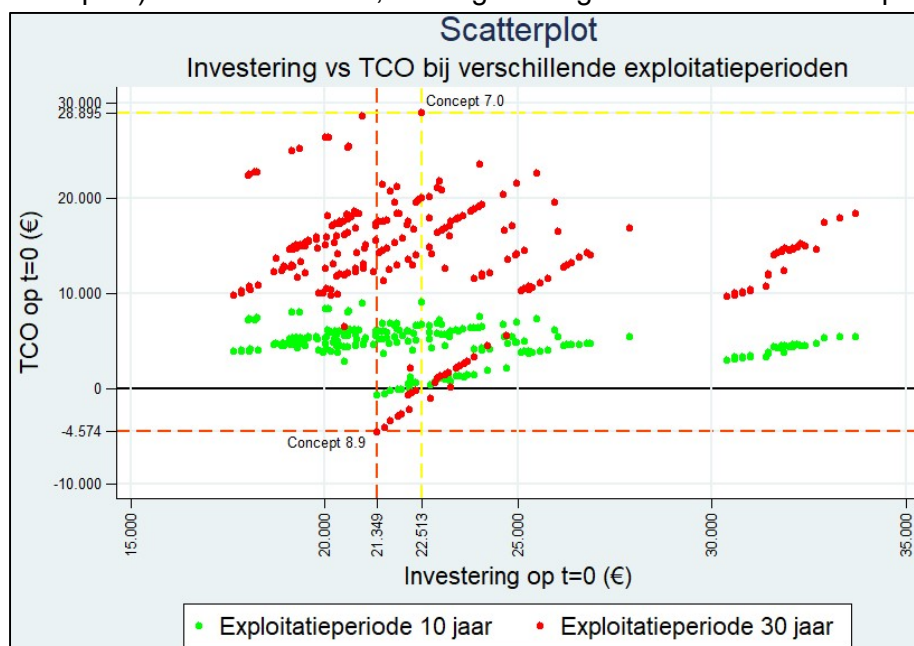
Figuur 61: Bandbreedte van correlatiecoëfficiënt (Marquard, A.R.; Vor, F. de; Ronteltap, C., 2017, p. 26)

In bijlage 24b zijn de correlatiecoëfficiënten van de onafhankelijke variabele Invinst op alle exploitatieperioden weergegeven. Hieruit blijkt dat het correlatiecoëfficiënt tussen Invinst en de desbetreffende Expl varieert van een waarde van -0,2398 bij een exploitatieperiode van 4 jaar tot een waarde van -0,0800 bij exploitatieperiode van 25 jaar. Op een schaal van -1 en +1 zijn deze waarden te kwantificeren als laag, respectievelijk verwaarloosbaar. Verder kan worden geconcludeerd dat het correlatiecoëfficiënt, ondanks de lage waarde, over het algemeen afneemt⁵¹ naarmate de exploitatieperiode toeneemt. Dit is ook verklaarbaar aangezien de extra opbrengsten uit EPV alsmede de impact van het onderhoud ten opzichte van de kosten in eerste aanleg, een steeds groter aandeel zal gaan vormen in de kasstromen ten opzichte van de investering op t=0 en daarmee een steeds grotere invloed hebben op de TCO. Kortom: naar mate de exploitatieperiode langer wordt, wordt de impact van de investering op t=0 steeds kleiner.

Daar de (institutionele) beleggers een beleggingshorizon hebben van 30 jaar, met een beschouwingsperiode van 10 jaar, zal in de volgende paragraaf worden onderzocht in welke mate de reeds geconstateerde lage mate van samenhang, tussen de variabelen Invinst en Expl30, alsmede Invinst en Expl10, significant zijn en dus niet op toeval berusten.

8.2.1 Scatterplot

Om de samenhang tussen de hoogte van de investering en de total cost of ownership (Expl10 en Expl30) visueel te maken, wordt gebruik gemaakt van een scatterplot.



Figuur 62: Scatterplot 243 concepten met investering vs TCO bij 2 verschillende exploitatieperioden (Stata, 2018)

⁵¹ In het geval van een correlatiecoëfficiënt betekent 'afnemen' richting 0 bewegen.

Indien er een verband aanwezig zou zijn tussen de onafhankelijke variabele op de x-as en de afhankelijke variabele op de y-as, zouden de observaties een puntvormige wolk vormen welke een stijgend danwel een dalend verloop vertoont. In figuur 62 is waar te nemen dat er grote verschillen aanwezig zijn in de puntenwolk, waarbij de uitersten zijn benoemd (concept 7.0 en 8.9). De nullijn geeft aan dat exact de discontovoet van 5,1% wordt behaald.

Daar waar de puntenwolk, behorende bij Expl30, een verspreide formatie aanneemt, zijn de punten behorende bij de Expl10 dichter bij elkaar gelegen. Uit figuur 62 lijkt er geen sprake te zijn van een duidelijke puntvormige formatie zodat er geen verband tussen de twee variabelen aanwezig lijkt te zijn. De nulhypothese welke nader onderzocht zal worden luidt: *‘een hogere investering in eerste aanleg leidt tot een lagere total cost of ownership’*.

Om dit verder te onderzoeken zullen er nog een aantal berekeningen in Stata uitgevoerd dienen te worden.

8.2.2 Correlatie

Om de correlatie tussen de twee variabelen verder te onderzoeken, wordt gebruik gemaakt van de functie pairwise correlation binnen Stata. In figuur 63 zijn de resultaten weergegeven.

pwcorr Invinst Expl10, obs sig star(0.01) listwise			
	Invinst	Expl10	
Invinst	1.0000		
	243		
Expl10	-0.1950	1.0000	
	0.0023		
	243	243	

. pwcorr Invinst Expl30, obs sig star(0.01) listwise			
	Invinst	Expl30	
Invinst	1.0000		
	243		
Expl30	-0.0867	1.0000	
	0.1781		
	243	243	

Figuur 63: Pairwise correlations voor Investerings en TCO op t=0 bij exploitatietermijn 10 en 30 jaar (Stata, 2018)

Uit de tabel in figuur 63 is af te lezen dat:

- Er in totaal 243 observaties zijn gebruikt voor de berekening van de correlatie tussen de twee variabelen.
- Het correlatiecoëfficiënt tussen Invinst en Expl10 -0,1950 bedraagt en de kans (P-waarde) dat dit op toeval berust 0,23% is.
- Het correlatiecoëfficiënt tussen Invinst en Expl30 bedraagt -0,0867 en de kans (P-waarde) dat dit op toeval berust 17,81% is.

Aangezien de mate van samenhang middels het correlatiecoëfficiënt op een schaal van -1 en +1 wordt afgemeten, kan er geconcludeerd worden dat de samenhang van de variabelen in beide situaties negatief is. Een negatieve correlatie van – 0,1950 respectievelijk – 0,0867 betekent dat een hogere investering in eerste aanleg leidt tot een lagere TCO. Op een schaal van -1 tot 1 is dit laag respectievelijk verwaarloosbaar. Binnen de statistische regels is vastgesteld dat de kans op toeval niet groter mag zijn dan 5%, om te kunnen concluderen dat de berekende correlatiecoëfficiënt significant is. De samenhang tussen de variabelen Invinst en Expl10 is daarmee significant, terwijl dit in het geval van Invinst en Expl30 dit niet het geval is en daarmee mogelijk op toeval berust. Geconcludeerd kan worden dat bij een exploitatieperiode van 10 jaar, in tegenstelling tot een exploitatieperiode van 30 jaar, er een significant verband bestaat tussen een hogere investering in eerste aanleg en een lagere TCO.

Er zullen op een 10 jaars horizon dus andere besluiten moeten worden genomen dan bij een horizon van 30 jaar.

8.2.3 Enkelvoudige regressie

Om binnen de scatterplot uit figuur 62, de best passende lineaire vergelijking te vinden die het verband beschrijft tussen de twee variabelen, wordt enkelvoudige regressie binnen Stata toegepast. De regressie analyse wordt gebruikt om een afhankelijke variabele, in onze thesis de total cost of ownership (Expl) te verklaren uit één of meerdere onafhankelijke variabelen (Marquard & Post, 2017). In figuur 64 en figuur 65 zijn de resultaten te lezen van de enkelvoudige regressie.

. regress Expl10 Invinst						
Source	SS	df	MS	Number of obs = 243		
Model	28998220.7	1	28998220.7	F(1, 241)	=	9.52
Residual	733943697	241	3045409.53	Prob > F	=	0.0023
				R-squared	=	0.0380
				Adj R-squared	=	0.0340
Total	762941918	242	3152652.55	Root MSE	=	1745.1
Expl10	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
Invinst	-.0893694	.0289618	-3.09	0.002	-.1464201	-.0323188
_cons	6776.07	664.4875	10.20	0.000	5467.125	8085.015

Figuur 64: Enkelvoudige regressie tussen Invinst en Expl10 (Stata, 2018)

Uit de tabel in figuur 64 is af te lezen dat:

- De kans op toeval Prob > F: 0,0023 (P-waarde) bedraagt.
- De R-squared een waarde heeft van 0,0380.
- De schattingsfout (Root MSE) 1.745,1 bedraagt.

Bovenstaande constatering generen de volgende verklaring: Een R-squared van 0,0038 houdt in dat 0,38% van de totale variantie van Expl10, verklaard wordt door de veronderstelde relatie met Invinst, waarbij de rest wordt beschouwt als storing. Deze constatering berust niet op toeval, aangezien de kans hierop kleiner is dan 5%, te weten 0,23%.

Tot slot geeft de t-waarde aan of het desbetreffende coëfficiënt van het veronderstelde lineaire verband significant is. Dit is het geval zodra de t-waarde kleiner is dan -1,96 en groter is dan +1,96. Wanneer een coëfficiënt significant is, betekent dit dat we mogen stellen dat deze afwijkt van 0 en dus een verklarende kracht heeft bij het schatten van de afhankelijke variabele. De t-waarde wordt verkregen door de coëfficiënt te delen door de standaard fout (std.error). In de tabel kan de t-waarde berekend worden door: $-0,0893694 / 0,0289618 = -3.09$. Hier is de t-waarde -3.09 vastgesteld, waarbij gesteld mag worden dat het coëfficiënt significant is.

Aan de hand van onderstaande formule kan de total cost of ownership worden berekend uit een gegeven Invinst. Bijvoorbeeld geldt bij een Invnst van € 20.000 dat:

$$y = bx + c \text{ (Marquard, A.R.; Vor, F. de; Ronteltap, C., 2017)}$$

$$\text{Expl10} = -0,0893694 * \text{Invinst} + 6.776,07 = € 4.988$$

95% betrouwbaarheidsinterval levert op dat de werkelijke total cost of ownership ligt tussen:
De berekende bovengrens: € 6.776,1 + 1,96 * € 1.745,1 = **€ 10.196,5** en berekende ondergrens van € 6.776,1 – 1,96 * € 1745,1 = **€ 3.355,7**.

Ter controle: Een willekeurig concept, vb concept 3.0 (figuur 50a) stelt dat de investering op t=0 € 20.085 bedraagt en bij een exploitatieperiode van 10 jaar een TCO oplevert van € 6.062, hetgeen binnen de bandbreedte van € 3.355,7 en € 10.196,5 is gelegen.

In figuur 65 wordt eenzelfde berekening gemaakt van de afhankelijke variabele Expl30 en de onafhankelijke variabele Invinst.

. regress Expl30 Invinst						
Source	SS	df	MS	Number of obs	=	243
Model	64601639.9	1	64601639.9	F(1, 241)	=	1.82
Residual	8.5342e+09	241	35411606.4	Prob > F	=	0.1781
				R-squared	=	0.0075
				Adj R-squared	=	0.0034
Total	8.5988e+09	242	35532226.4	Root MSE	=	5950.8
Expl30	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
Invinst	-.1333905	.0987589	-1.35	0.178	-.3279313	.0611502
_cons	16898.63	2265.879	7.46	0.000	12435.18	21362.09

Figuur 65: Enkelvoudige regressie tussen Invinst en Expl30 (Stata, 2018)

Uit de tabel in figuur 65 is af te lezen dat:

- De kans op toeval Prob > F: 0,1781 (P-waarde) bedraagt.
- De R-squared een waarde heeft van 0,0075.
- De schattingsfout (Root MSE) 5.950,8 bedraagt.

Bij een vergelijkbare benadering van de tabel, zoals is uitgevoerd bij de enkelvoudige regressie tussen Invinst en Expl10, wordt geconcludeerd dat een R-squared van 0,0075 inhoudt dat 0,75% van de totale variantie van Expl30, verklaard wordt door de veronderstelde relatie met Invinst. Echter berust deze constatering mogelijk op toeval, aangezien de kans hierop groter is dan 5%, te weten 17,81%.

Vanuit de bovenstaande analyse kan worden geconcludeerd dat het verband tussen de hoogte van de investering met een exploitatieperiode van 10 jaar zeer gering is en dat deze constatering significant is. Bij een exploitatieperiode van 30 jaar, is het verband tussen de twee variabelen verwaarloosbaar en tevens mogelijk op toeval berust.

In de volgende paragraaf zal de samenhang van meerdere variabelen met Expl10 en Expl30 worden berekend, om uiteindelijk die variabelen vast te stellen welke wél een grote mate van samenhang vertonen met de uiteindelijke total cost of ownership.

8.2.4 Meervoudige regressie

In de vorige paragraaf is de methode van enkelvoudige regressie toegepast. Daar in deze paragraaf de relaties van meer dan 2 variabelen wordt onderzocht, wordt gebruik gemaakt van de meervoudige regressiemethode binnen Stata.

Uit de tabel in figuur 66 valt af te lezen dat R-squared is toegenomen naar 0,7338, hetgeen betekent dat ruim 73% van de totale variantie van Expl10 verklaard wordt door de veronderstelde relatie met DOWEbasis⁵², DOWErest⁵³ en EPVjr⁵⁴. Het correlatiecoëfficiënt van DOWErest en EPVjr is significant, aangezien de t-waarde groter is dan +1,96.

. regress Expl10 DOWEbasis DOWErest EPVjr						
Source	SS	df	MS	Number of obs	=	243
Model	559845930	3	186615310	F(3, 239)	=	219.61
Residual	203095988	239	849774.009	Prob > F	=	0.0000
				R-squared	=	0.7338
				Adj R-squared	=	0.7305
Total	762941918	242	3152652.55	Root MSE	=	921.83
Expl10	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
DOWEbasis	-.1183921	.161009	-0.74	0.463	-.4355701	.1987858
DOWErest	-1.332522	.1368309	-9.74	0.000	-1.602071	-1.062974
EPVjr	-6.9104	.2758108	-25.05	0.000	-7.453731	-6.36707
_cons	22858.72	885.5672	25.81	0.000	21114.21	24603.24

Figuur 66: Meervoudige regressie tussen Expl10, DOWEbasis, DOWErest en EPVjr (Stata, 2018)

De uitkomst van deze meervoudige regressie suggereert dat DOWEbasis verwijderd zou kunnen worden uit het model, daar dit correlatiecoëfficiënt niet significant is. De herziene berekening is weergegeven in figuur 67.

⁵² DOWEbasis staat voor duurzaam opgewekte energie met de reeds aanwezige basisinstallatie.

⁵³ DOWErest staat voor het nog resterende duurzaam op te wekken energie om EPV mogelijk te maken.

⁵⁴ EPVjr staat voor het maximale energieprestatievergoeding welke mag worden doorberekend aan de huurder.

```
. regress Expl10 DOWErest EPVjr
```

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	243
Model	559386468	2	279693234	F(2, 240)	=	329.77
Residual	203555449	240	848147.706	Prob > F	=	0.0000
				R-squared	=	0.7332
				Adj R-squared	=	0.7310
Total	762941918	242	3152652.55	Root MSE	=	920.95

Expl10	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
DOWErest	-1.264224	.10038	-12.59	0.000	-1.461963	-1.066486
EPVjr	-6.938011	.2729811	-25.42	0.000	-7.475756	-6.400266
_cons	22544.23	774.6933	29.10	0.000	21018.16	24070.3

Figuur 67: Meervoudige regressie tussen Expl10, DOWErest en EPVjr (Stata, 2018)

Bij de herziene meervoudige regressie in figuur 67, valt af te lezen dat, bij een exploitatieperiode van 10 jaar, nog steeds ruim 73% van de totale variantie van Expl10 verklaard wordt, uit door de veronderstelde relatie met DOWErest en EPVjr. Deze relaties zijn tevens significant. Tot slot wordt de meervoudige relatie ook nog voor de Expl30 berekend.

```
. . regress Expl30 DOWErest EPVjr
```

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	243
Model	5.7717e+09	2	2.8859e+09	F(2, 240)	=	244.99
Residual	2.8271e+09	240	11779551.4	Prob > F	=	0.0000
				R-squared	=	0.6712
				Adj R-squared	=	0.6685
Total	8.5988e+09	242	35532226.4	Root MSE	=	3432.1

Expl30	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
DOWErest	-4.699708	.3740899	-12.56	0.000	-5.436627	-3.962789
EPVjr	-21.90022	1.017329	-21.53	0.000	-23.90425	-19.89619
_cons	73349.32	2887.077	25.41	0.000	67662.08	79036.57

Figuur 68: Meervoudige regressie tussen Expl30, DOWErest en EPVjr (Stata, 2018)

Uit figuur 68 blijkt dat bij een exploitatieperiode van 30 jaar, de variabelen DOWErest en EPVjr voor ruim 67% de totale variantie van de total cost of ownership verklaren en tevens significant zijn.

Aan de hand van onderstaande formule kan de total cost of ownership worden berekend uit een gegevens DOWErest en EPVjr. Bijvoorbeeld geldt bij een DOWErest van 5.855 kWh en een EPVjr van € 2.118,07 dat:

$$z = bx + cy + d$$

$$\text{Expl30} = (-4.699708 * 5.855) + (-21,90022 * € 2.118,07) + 73.349,32 = -€ 553,67.$$

95% betrouwbaarheidsinterval levert op dat de werkelijke total cost of ownership ligt tussen: De berekende bovengrens: $- € 553,7 + 1,96 * € 3.432,1 = € 6.173,2$ en berekende ondergrens van $- € 553,7 - 1,96 * € 3.432,1 = - € 7.280,6$.

Ter controle: Een willekeurig concept, vb. concept 8.9 (figuur 58) geeft bij een exploitatieperiode van 30 jaar een TCO van $- € 4.574$, hetgeen binnen de bandbreedte van $€ 6.173,2$ en $- € 7.280,6$ is gelegen.

8.3 Gevoeligheidsanalyse

Om de invloed van de verschillende inputvariabelen te onderzoeken, zal de impact van drie aanpassingen in deze inputvariabelen worden berekend. Enerzijds zal het discontovoet naar 3,5% respectievelijk 6,5% worden gewijzigd en anderzijds zal het toepassen van de EPV worden uitgeschakeld. In bijlage 25a zijn alle beschrijvende statistieken bijgevoegd voor de exploitatieperiodes van 5 – 10 – 15 – 20 – 25 – 30 jaar.

8.3.1 Gevoeligheidsanalyse – discontovoet

De discontovoet is bij de berekeningen telkenmale op 5,1% gesteld. Deze discontovoet is vanuit de theorie herleid, bij een exploitatieperiode van 10 jaar. Daar in de berekeningen met verschillende exploitatieperiodes is gerekend, ligt het voor de hand te stellen dat bij elke alternatieve exploitatieperiode een andere discontovoet vastgesteld dient te worden. De discontovoet is namelijk gerelateerd aan het risico van de desbetreffende investering. Zodra de exploitatieperiode toeneemt, neemt het risico op het realiseren van het benodigde rendement ook toe en zou daarmee naar boven bijgesteld moeten worden. Bij de gevoeligheidsanalyse zullen voor de vastgestelde hoofdconcepten voor de 'Tussenwoning', alsmede het best- (8.9) en minst presterende subconcept en tevens hoofdconcept (7.0), het discontovoet worden aangepast, waarbij de resultaten in bijlage 25b en 25c zijn weergegeven.

```
. summarize Expl10DC35 Expl10DC51 Expl10DC65
```

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Expl10DC35	10	4359.368	2895.076	-1097.995	8828.579
Expl10DC51	10	4643.583	2846.141	-756.2758	9042.989
Expl10DC65	10	4885.304	2805.336	-465.6947	9225.313

Figuur 69: Beschrijvende statistiek TCO met exploitatieperiode 10 jr, bij verschillende discontovoet (Stata, 2018)

In figuur 69 is waarneembaar dat de gemiddelde TCO bij een exploitatieperiode van 10 jaar lager wordt als het discontovoet afneemt. Daarbij dient tevens te worden opgemerkt dat de bandbreedte tussen de minimale TCO en maximale TCO, tevens afneemt wanneer het discontovoet afneemt.

Discontovoet	Gemiddelde TCO bij exploitatieperiode 10 jaar	Verschil gemiddelde TCO t.o.v. basis discontovoet
Discontovoet 3,5%	€ 4.359,37	- 6,12%
Discontovoet 5,1% (basis)	€ 4.643,58	0%
Discontovoet 6,5%	€ 4.885,30	+ 5,21%

Figuur 70: Verschil in gemiddelde TCO bij verschillende discontovoeten bij exploitatieperiode 10 jr.

Zodra de exploitatieperiode wordt verhoogd naar 30 jaar, worden de waarden berekend welke zijn weergegeven in figuur 70.

```
. summarize Expl30DC35 Expl30DC51 Expl30DC65
```

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Expl30DC35	10	13596.06	9674.349	-4975.175	28993.27
Expl30DC51	10	13736.58	9524.03	-4574.432	28894.61
Expl30DC65	10	13856.17	9396.423	-4233.659	28810.71

Figuur 71: Beschrijvende statistiek TCO, exploitatieperiode van 30 jr, bij verschillende discontovoet (Stata, 2018)

Ook uit figuur 71 blijkt dat de gemiddelde TCO bij een verlengde exploitatieperiode van 30 jaar, afneemt zodra de discontovoet afneemt. Echter is de procentuele toe- danwel afname van de gemiddelde TCO bij een exploitatieperiode van 30 jaar slechts circa 1%.

Discontovoet	Gemiddelde TCO bij exploitatieperiode 30 jaar	Verschil gemiddelde TCO t.o.v. basis discontovoet
Discontovoet 3,5%	€ 13.596,06	- 1,02%
Discontovoet 5,1% (basis)	€ 13.736,58	0%
Discontovoet 6,5%	€ 13.856,17	+ 0,87%

Figuur 72: Verschil in gemiddelde TCO bij verschillende discontovoeten bij exploitatieperiode 10 jr.

Uit figuur 72 kan geconcludeerd worden dat naarmate de exploitatieperiode toeneemt, het verschil tussen de gemiddelde TCO, behorende bij de verschillende discontovoeten, procentueel afneemt. De impact van een gewijzigd discontovoet op de TCO neemt dus af naarmate de exploitatieperiode langer is.

8.3.2 Gevoeligheidsanalyse – geen EPV van toepassing

Nu in de vorige paragraaf de gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd voor de situaties waarbij andere discontovoeten zijn toegepast, zal in deze paragraaf de gevoeligheidsanalyse worden uitgevoerd waarbij de EPV is vervallen.

```
. summarize Expl10exEPV Expl30exEPV
```

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Expl10exEPV	10	9054.964	1396.41	7066.88	12088.1
Expl30exEPV	10	30041.75	5547.757	24036.53	42947.44

Figuur 73: Beschrijvende statistiek TCO zonder EPV bij 10 en 30 jaars exploitatietermijn (Stata, 2018)

Uit figuur 73 is waarneembaar dat bij het vervallen van de EPV alle hoofdconcepten, evenals het best- en minst presterend concept bij een exploitatieperiode van 10 en 30 jaar, allen leiden tot een negatieve TCO, aangezien het minimum van de bandbreedte positief is. Daarmee is vast komen te staan dat de toepassing van de EPV van essentieel belang is, te komen tot een positief total cost of ownership bovenop de te behalen discontovoet. In bijlage 25d zijn de complete resultaten weergegeven.

Hoofdstuk 9

9.1 Conclusie en aanbevelingen

Aangezien de verkregen informatie uit het onderzoek op meerdere deelgebieden ingrijpt, zullen conclusies en aanbevelingen per deelgebied worden geformuleerd.

Beleggingshorizon

Daar de specialistische ontwikkelaars een andere beleggingshorizon hebben, waarbij deze horizon veelal eindigt bij de oplevering van het vastgoed, zal een gespecialiseerde ontwikkelaar zich met name toelagen op de invoering van de duurzaamheidsoplossingen waarbij de laagste investering op $t=0$ wordt verlangd. Zo is binnen deze thesis, voor een exploitatieperiode van zowel 10 jaar als 30 jaar, het subconcept 4.9 met een basisinstallatie bestaande uit een gasgestookte verwarming met radiatoren, ventilatie op basis van natuurlijke toevoer en mechanische afvoer en 2 stuks PV-panelen op het dak incl. uitbreiding met 18 PV-panelen om de Energieprestatievergoeding mogelijk te maken, voor de gespecialiseerde ontwikkelaar het meest optimaal met een investeringswaarde van € 17.469. Tevens wordt de (institutionele) belegger hiermee in staat gesteld de Energieprestatievergoeding aan de huurders toe te passen.

Institutionele beleggers hebben daarentegen een beleggingshorizon van 30 jaar en zullen zich met name toelagen op de laagste total cost of ownership, waarbij naast de kosten van de investering in eerste aanleg tevens de exploitatiekosten bepalend zijn. Het subconcept 8.9 met een basisinstallatie bestaande uit een luchtwarmpomp, ventilatie op basis van natuurlijke toevoer en mechanische afvoer uitgebreid met 25 stuks PV-panelen om de Energieprestatievergoeding mogelijk te maken, is voor hen het meest optimaal met een Total cost of ownership van - € 4.574. Dit betekent dat naast de vereiste discontovoet van 5,1%, tevens nog eens € 4.574 extra rendement wordt behaald.

Uit bovenstaande kan worden geconcludeerd dat het financiële optimum voor beide actoren op de woningmarkt, ondanks dezelfde exploitatieperiode van 10 of 30 jaar, niet bij hetzelfde installatiepakket tot uiting komt. Zodra de gespecialiseerde ontwikkelaar naast de investeringswaarde, tevens de onderhoudskosten en -frequentie, levensduur en Energieprestatievergoeding zou beschouwen tijdens het ontwikkelproces, zal de beleggingswaarde van de woning hoger zijn aangezien de total cost of ownership voor de belegger lager is. Het verdient dan ook de aanbeveling om de beleggingshorizon reeds bij de ontwikkeling van huurwoningen voor (institutionele) beleggers te verlengen naar 30 jaar, zodat de ontwikkelaar alle aspecten welke van invloed zijn op de total cost of ownership van de belegger zal meewegen om te komen tot de definitieve keuze voor het door te voeren installatiepakket.

Discontovoet

Uit de gevoeligheidsanalyse uit paragraaf 8.3.1 is gebleken dat de invloed van een aangepaste discontovoet bij een kortere exploitatieperiode op de gemiddelde total cost of ownership, procentueel hoger is dan in het geval dat de exploitatieperiode langer zou zijn. Uit de berekeningen met het rekenmodel Design and decision support system blijkt dat een verhoging van de discontovoet met 1,4%⁵⁵, bij een exploitatieperiode van 30 jaar, de

⁵⁵ Basis discontovoet bedraagt 5,1% en de verhoogde discontovoet bedraagt 6,5%.

gemiddelde total cost of ownership slechts 0,87% zal stijgen. Bij de lagere exploitatieperiode van 10 jaar is deze impact op de gemiddelde total cost of ownership veel hoger, te weten 5,27%. Geconcludeerd kan worden dat bij een langere exploitatieperiode, de discontovoet verhoogd kan worden zonder dat dit grote gevolgen heeft voor de total cost of ownership. Dit is belangrijk voor de belegger, aangezien dit betekent dat het risico dat door veranderingen in de discontovoet een andere oplossing optimaal zou blijken, laag is.

Investering, onderhoud en vervanging

Onafhankelijk van de exploitatieperiode zal heden, in het geval van de onderzochte installatiepakketten, de gespecialiseerde ontwikkelaar in de praktijk besluiten om concept 4.9 door te voeren in de desbetreffende woning. De ontwikkelaar zou in dat geval voldoen aan de Energie Prestatie Coëfficiënt normering van 0,4 bij een investering van € 17.649 incl. BTW. De bijbehorende total cost of ownership, bij een exploitatieperiode van 30 jaar, betreft bij dit subconcept € 9.772 incl. BTW.

In het geval van de onderzochte database zou voor een (institutionele) belegger het meest optimale installatiepakket subconcept 8.9 zijn. Ondanks het feit dat de investering in eerste aanleg hoger is dan dat bij subconcept 4.9 het geval zou zijn, is het voor de belegger verstandig om te kiezen voor subconcept 8.9. Om de optimale total cost of ownership van - € 4.574 incl. BTW te behalen, dient een investering op $t=0$ te worden gedaan ter hoogte van € 21.349 incl. BTW.

Onderhoud en levensduur zijn uiteraard van invloed op de hoogte van de total cost of ownership aan het einde van elke willekeurige exploitatieperiode. Het verdient dan ook de aanbeveling om naast de hoogte van de investering, ook de onderhoudskosten en levensduur van de installatie mee te laten wegen in de uiteindelijke beslissing te kiezen voor een installatiepakket. Het is lonend gebleken om tegen geringe meerwaarde, toch te kiezen voor een installatie welke een hogere levensduur kent.

Energieprestatievergoeding

In paragraaf 8.2.4 is een meervoudige regressie analyse uitgevoerd, waarbij is gebleken dat bij een exploitatieperiode van 10 jaar respectievelijk 30 jaar, ruim 67% respectievelijk 73% van de totale variantie van de total cost of ownership van een geselecteerd concept wordt verklaard vanuit de variabelen Resterend duurzaam op te wekken energie en de Energieprestatievergoeding per jaar. Geconcludeerd kan worden dat zodra de gespecialiseerde ontwikkelaar, tijdens de ontwikkelfase, onderzoek doet naar een zo laag mogelijke Resterend duurzaam op te wekken energie, alsmede een zo hoog mogelijke Energieprestatievergoeding welke aan de huurders doorgerekend mag worden, hij een behoorlijke invloed kan uitoefenen op de total cost of ownership van de (institutionele) belegger. Hiermee verhoogt de ontwikkelaar de beleggingswaarde van het vastgoed.

De Resterende hoeveelheid duurzaam op te wekken energie betreft het aandeel, welke gelijk is aan het verschil tussen de totale energievraag van de woning en de reeds in basis aanwezige duurzaam opgewekte energie. In paragraaf 8.2.4 is echter gebleken dat de reeds aanwezige duurzaam opgewekte energie geen significante verklaring geeft voor de variantie van de total cost of ownership. Dit is te verklaren doordat een verhoogde reeds aanwezige duurzaam opgewekte energie in deze thesis leidt tot een hogere energievraag van de woning. Zodra er namelijk meer PV-panelen in het basispakket zijn opgenomen, hetgeen gunstig is

voor het Energie Prestatie Coëfficiënt van de woning, biedt dit de gespecialiseerde ontwikkelaar de mogelijkheid installaties te integreren welke meer energie verbruiken en gezamenlijk evengoed nog voldoen aan de vereiste Energie Prestatie Coëfficiënt van 0,4. Pas wanneer de PV-panelen als extra investering worden doorgevoerd, bovenop het installatiepakket om te komen tot een Energie Prestatie Coëfficiënt van 0,4, zal deze wel invloed hebben op Resterend duurzaam op te wekken energie en daarmee een verlaging van de total cost of ownership.

Om in aanmerking te komen voor het mogen doorbelasten van de Energieprestatievergoeding aan de huurders, dient de te ontwikkelen woning voldoen aan diverse criteria. Met name de wijze waarop de woning in zijn energievraag voorziet, bepaalt de hoogte van de Energieprestatievergoeding. De hoogte van de Energieprestatievergoeding varieert tussen de € 0,05/m²/maand bij een aansluiting op een warmtenet tot € 1,42/m²/maand, waarbij de woning zelf voorziet in zijn warmteopwekking. Het dient dus de aanbeveling om bij de ontwikkeling van de huurwoningen, toe te zien op de ontwikkelaar zodat er woningen ontwikkeld worden welke zelf voorzien in hun warmteopwekking. Uiteraard dient de Rijksoverheid hierin te faciliteren, door een verplichte aansluiting op het warmtenet, niet als voorwaarde op te nemen bij de grondtransactie.

Regulering door Rijksoverheid

In de kantorenmarkt, een onderdeel van de huurmarkt, heeft de overheid reeds vastgelegd dat alle kantoren in 2023 minimaal energielabel C dienen te bezitten, met als dwangmiddel dat een kantoor welke een hoger energielabel heeft vanaf dat moment niet meer verhuurd mag worden. De overheid zorgt er met deze maatregel voor dat de meeste kantooreigenaren hun vastgoed zullen moeten gaan verduurzamen. Dit is in vergelijking met de woningbouw, relatief eenvoudig te bewerkstelligen aangezien de installaties in kantoren veelal zijn weggewerkt boven uitneembare plafonds. In de woningbouw zijn deze installaties echter ingestort in de vloeren en/of wanden.

Als de overheid op deze wijze op de kantorenmarkt invloed uitoefent, zou de overheid ook de verduurzaming op de woningmarkt kunnen stimuleren door gelijkwaardige maatregelen op te leggen aan eigenaren van huurwoningen. Verhurende partijen verwachten dat dit niet zo'n vaart zal lopen, echter nemen zij daarbij wel een risico. Indien dit wel alsnog zal worden besloten door de overheid, zal de eindwaarde van de bestaande woningvoorraad aanzienlijk dalen. Het is daardoor beter om proactief te handelen.

Financiële prikkel ontwikkelaar

Bij de verduurzaming van de woningmarkt, zal er altijd sprake zijn van een bepaald na-ijleffect, gezien het feit dat de onroerendgoedmarkten in-elastisch zijn. De onroerendgoed markt is immers altijd in beweging en er zal daardoor altijd een bepaalde marge voor de ontwikkelaar in het verschiep liggen. Dit wordt nogmaals versterkt door de technologische ontwikkelingen. Hierdoor zullen, door innovatie, steeds weer nieuwe technieken op de markt komen welke door de ontwikkelaar kunnen worden ingezet om marges op korte termijn veilig te stellen. Voor beleggers betekent dit, dat op elk desgewenst moment kan worden gewerkt aan de courantheid van het vastgoed, welke in portefeuille aanwezig is.

Naast het na-ijleffect, welke voor de gespecialiseerde ontwikkelaar zal zorgdragen voor een marge op korte termijn, zal er middels schaalvergroting voor worden gezorgd, dat de kosten

in eerste aanleg en zelfs mogelijk de exploitatiekosten op langere termijn zullen dalen. Door het trage karakter van de onroerendgoedmarkt, zullen ook de marges op korte termijn ten goede vallen aan de ontwikkelaar.

Bestaansrecht

Naast het minimaal te behalen projectrendement, is het van belang dat gespecialiseerde ontwikkelaars tevens de algemene bedrijfsdoelstellingen in acht nemen. Er is een trend gaande waarbij in de bedrijfsdoelstellingen steeds vaker het gewenste 'groene imago' wordt opgenomen. Dit wordt overigens niet alleen vanuit intrinsieke motivatie gestuurd, gezien het feit dat de Rijksoverheid bij gronduitgiften steeds vaker selecteert op duurzaamheid. Indien een ontwikkelaar geen 'groen beleid' heeft, kan de Rijksoverheid de gespecialiseerde ontwikkelaar uitsluiten van deelname om de grondpositie te verwerven. Het bestaansrecht, van de gespecialiseerde ontwikkelaar welke geen 'groen beleid' voert, wordt hiermee duidelijk door de Rijksoverheid onder druk gezet.

Ook voor de (institutionele) belegger is het van belang om naast aan de project-specifieke doelstellingen, tevens aan de algemene bedrijfsdoelstellingen te werken. Aangezien (institutionele) beleggers bij hun investeringen veelal gebruik maken van vreemd vermogen, zullen zij tevens in aanraking komen met de verhoogde duurzaamheidsvoorwaarden, welke worden gesteld door financiële instellingen. De financiële instellingen verduurzamen op hun beurt namelijk de hun gefinancierde portefeuilles.

Daarnaast speelt de courantheid van de totale portefeuille een belangrijke rol om te gaan investeren in duurzaamheidsoplossingen. Door de vastgoedportefeuille te verduurzamen, wordt tevens toegewerkt naar een portefeuille welke meer toekomstbestendig is.

9.2 Beantwoording centrale onderzoeksvraag

Het onderzoek binnen deze thesis heeft veel informatie opgeleverd welke benodigd is om antwoord te kunnen geven op de centrale onderzoeksvraag van deze thesis. De onderzoeksvraag binnen deze thesis luidt:

In hoeverre is er bij de investering in installatietechnische duurzaamheidsoplossingen bij grondgebonden nieuwbouwwoningen in Nederland, sprake van onbenut winstpotentieel voor (institutionele) beleggers'?

Uit de resultaten van het onderzoek is het onderstaande antwoord geformuleerd:

Zodra de ontwikkelaar bereid is om subconcept 4.9 met laagste investeringswaarde op $t=0$ te wijzigen naar subconcept 8.9, waarbij de total cost of ownership op $t=0$ het laagst is, zou de belegger in dit specifieke geval het verschil tussen € 9.772 en - € 4.574 = € 14.346 incl. BTW extra aan beleggingswaarde kunnen toekennen aan de woning. De meerkosten voor de ontwikkelaar bedragen € 21.349 - € 17.649 = € 3.700 incl. BTW. Bij een exploitatieperiode van 30 jaar, bevindt zich dus een onbenut winstpotentieel tussen pakket 4.9 en 8.9 van € 14.346 - € 3.700 = € 10.646 incl. BTW op $t=0$, welke beide partijen op een zakelijke wijze zouden kunnen verdelen.

9.3 Beperkingen van het onderzoek

In het DDSS zijn 243 installatiepakketten geïntegreerd. Hierbij is geen rekening gehouden met subsidies. In de praktijk wordt er wel degelijk gebruik gemaakt van, veelal tijdelijke, subsidieregelingen. De exacte total cost of ownership bij een bepaalde exploitatieperiode dient in dat geval gecorrigeerd te worden door de subsidie te implementeren in het model. Het subsidiebedrag zal in dat geval verrekend dienen te worden met de investering op $t=0$, waardoor het Design and decision support system bruikbaar blijft.

Bij de berekeningen wordt uitgegaan van een uitpondscenario. Een belegging gaat echter niet standaard uit van een dergelijk scenario, daar doorexploiteren tevens tot de mogelijkheden behoort. De resultaten uit het onderzoek moeten dan ook alleen in het licht van een uitpondscenario worden beschouwd.

Binnen dit onderzoek zijn 243 verschillende installatiepakketten onderzocht, waarbij de kanttekening dient te worden gemaakt, dat deze hoeveelheid concepten niet uitputtend is. Dit houdt in dat de resultaten van overige, nog niet benoemde, concepten dienen te worden betrokken, waarna van het algehele best presterende en minst presterende concept gesproken kan worden.

9.4 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Tegenwoordig is duurzaamheid niet meer weg te denken uit de woningbouw. Het verdient de aanbeveling om nog meer onderzoek te doen naar de wijze waarop de Nederlandse woningbouwsector zich verder kan verduurzamen, alsmede de gevolgen hiervan op de rentabiliteit van de verschillende actoren. De onderzoeken zouden zich enerzijds kunnen richten op nog meer diepgang van het bestaande onderzoek en anderzijds op verbreding van het onderzoeksonderwerp in andere segmenten.

Ten aanzien van de verdieping van het bestaande onderzoek binnen deze thesis, zouden mogelijke antwoorden op vragen welke opkomen bij dit onderzoek kunnen worden onderzocht. Eén van de vervolgonderzoeken zou kunnen gaan over de invloed van externe warmtelevering als zijnde stadsverwarming. Steeds meer steden gaan over tot aanleg van een warmtenet, waarbij de restwarmte uit veelal de industrie wordt gebruikt voor de verwarming van woningen en de bereiding van warmtapwater. Tevens zou kunnen worden onderzocht in welke mate koeling in de (nabije) toekomst wellicht belangrijker wordt dan de verwarming van de woningen. Daar de woningen steeds beter worden geïsoleerd, is er steeds minder vermogen benodigd om de woning te verwarmen. Echter stijgt de gemiddelde temperatuur op aarde, waardoor uitschieters in de zomermaanden steeds frequenter zullen voorkomen. In deze situatie zou het wenselijk zijn dat een woning ook gekoeld kan worden.

Ten aanzien van de verbreding van het onderzoeksonderwerp, zouden vervolgonderzoeken kunnen plaatsvinden, waarbij het mogelijk onbenutte winstpotentieel bij investeringen in nieuwbouw appartementen in Nederland wordt onderzocht. Een fors deel van de woningvoorraad van (institutionele) beleggers, bestaat uit de meergezinswoningen. Het grote verschil met grondgebonden nieuwbouwwoningen, is dat binnen meergezinswoningen veelal collectieve voorzieningen aanwezig zijn ten aanzien van verwarming en de bereiding van warmtapwater. Naast de installatiepakketten op woningniveau, kan dus tevens verdieping worden gezocht door ook de collectieve installaties nader te beschouwen als gevolg van de verduurzaming van de Nederlandse woningbouwsector.

Bibliografie

Arentze, T. & Achten, H. (2007). *Design and decision support systems in achitecture and planning*. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven.

Baarda, B., Bakker, E., Hust, M., Fischer, T., Vianen, R. & Goede, M. (2014). *Basisboek Methoden en Technieken*. Groningen/Houten: Noordhoff Uitgevers bv.

Baijer, M., Traudes, J. & Langendoen, M. (2016). *Syllabus inleiding Investeringsanalyse*. Amsterdam: ASRE.

Berkhout, T. (1997). *Risicoanalyse van vastgoed*. Amsterdam: SBV

BRIS Bouwbesluitonline (2017). *Aansturingstabel 5.1*. Opgehaald op 3 januari 2018, van [https://www.bouwbesluitonline.nl/Inhoud/docs/wet/bb2012/hfd5/afd5-1/art5-1?tableid=docs/wet/bb2012\[16\]/hfd5/afd5-1](https://www.bouwbesluitonline.nl/Inhoud/docs/wet/bb2012/hfd5/afd5-1/art5-1?tableid=docs/wet/bb2012[16]/hfd5/afd5-1)

Centraal Bureau voor de Statistiek (2017). *Institutionele beleggers; vastgoedbeleggingen*. Opgehaald op 24 november 2017, van: <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/82827NED/table?ts=1511517373209>

Centraal Bureau voor de Statistiek (2017). *Institutionele beleggers; lang- en kortlopende beleggingen*. Opgehaald op 24 november 2017, van <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/82929NED/table?ts=1511516830724>

Centraal Bureau voor de Statistiek (2017). *Institutionele beleggers, vastgoedbeleggingen*. Opgehaald op 24 november 2017, van <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/82827NED/table?ts=1511517744291>

Centraal Bureau voor de Statistiek (2017). *Institutionele beleggers; beleggingen excl. aandelen in beleggingsfondsen*. Opgehaald op 24 november 2017, van <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83112NED/table?ts=1511516255083>

Centraal Bureau voor de Statistiek (2017). *Regionale kerncijfers Nederland*. Opgehaald op 18 december 2017, van <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/70072ned/table?ts=1513629190498>

Centraal Bureau voor de Statistiek (2017). *Voorraad woningen, type verhuurder, bewoning, regio*. Opgehaald op 18 december 2017, van <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/82900NED/table?ts=1513626916326>

Centraal Bureau voor de Statistiek (2018). *Voorraad woningen en niet-woningen; mutaties, gebruiksfunctie, regio*. Opgehaald op 2 januari 2018, van <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/81955NED/table?ts=1514892610418>

Compendium voor de Leefomgeving (2018). *Klimaatverandering*. Opgehaald op 18 januari 2018, van <http://www.clo.nl/indicatoren/nl0226-temperatuur-mondiaal-en-in-nederland>

CPI (2018). *Gemiddelde inflatie*. Opgehaald op 25 maart 2018, van <http://nl.inflation.eu/inflatiecijfers/nederland/historische-inflatie/cpi-inflatie-nederland.aspx>

DiPasquale, D., & Wheaton, W. (1992). *The markets for real estate assets and space: a conceptual framework*. Journal of the american real estate and urban economics association, 181 – 197. Oxford: Blackwell Publishing Limited

ENAT (2018). *Rendement verschillende collectortypes*. Opgehaald op 11 februari 2018, van <http://www.enat.nl/uploads/file/Warmteopbrengstverschillendecollectorperm2.pdf>

Europese commissie (2012). *Richtsnoeren bij Gedelegeerde Verordening (EU) nr. 244/2012*. Brussel: Europese commissie.

- Gool, P. v., Jager, P., Theebe, M. & Weisz, R. (2013). *Onroerend goed als belegging*. Groningen/Houten: Noordhoff Uitgevers bv.
- Hoek-Gerritsen, S. v. (2015). *Schrijfgids voor economen*. Bussum: Coutinho.
- IPD Nederlandse Vastgoedindex (2013). *Definities input- en outputparameters*. Almere: IPD.
- ISSO (2018). *ISSO Kennisbank*. Opgehaald op 2 maart 2018 van ISSO: <https://kennisbank.isso.nl/>
- ISSO (2018). *Verticale Douche-WTW installeren*. Opgehaald op 2 maart 2018, van <https://kennisbank.isso.nl/kenniskaart/verticale-douche-wtw-installeren>
- Kaminofen. (2018). *Zonneboiler*. Opgehaald op 11 februari 2018, van Kaminofen: http://www.123-kaminofen.de/zonneboiler.html?gclid=EALalQobChMliKaOrpvk2AIVCoHtCh0DIwidEAEYAIAAEgIHYPD_BwE
- Kok, N. & Jennen, M. (2017). *De waarde van energiezuinigheid en bereikbaarheid*. Opgehaald op 13 oktober 2017, van RVO: <https://www.rvo.nl/file/1761>
- Liander (2018). *Tarieven 2018 voor consumenten*. Opgehaald op 15 juni 2018 van <https://www.liander.nl/consument/aansluitingen/tarieven2018/?ref=15799>
- Marquard, A. & Post, W. v. (2017). *Basissyllabus Inleiding Marktanalyse*. Amsterdam: Amsterdam School of Real Estate.
- Marquard, A.R., Vor, F. de & Ronteltap, C. (2017). *Basissyllabus methoden en technieken*. Amsterdam: Amsterdam School of Real Estate.
- Martens, E. (2012). *Energieprestatie en beleggingswaarde de meerwaarde van energiezuinige huurwoningen voor beleggers*. Groningen: Rijksuniversiteit Groningen.
- Milieucentraal (2018). *Douche WTW*. Opgehaald op 25 februari 2018, van <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/energiezuinig-huis/energiezuinig-verwarmen-en-warm-water/douche-wtw/>
- Milieucentraal (2018). *Kleine windmolens*. Opgehaald op 11 januari 2018, van <https://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/energiebronnen/windenergie/kleine-windmolens/>
- Milieucentraal (2018). *HRe-ketel*. Opgehaald op 11 januari 2018, van <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/energiezuinig-huis/verwarmen-op-gas/hre-ketel/>
- Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (2017). *Woningwet 2015*. Opgehaald op 26 november 2017, van http://www.woningwet2015.nl/?utm_source=persbericht&utm_medium=email&utm_campaign=Ministerie+van+Binnenlandse+Zaken+en+Koninkrijksrelaties
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2013). *Klimaatagenda - Weerbaar, welvarend en groen*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu (2009). *Verklarende begrippenlijst duurzaam bouwen en verbouwen*. Den Haag: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu.
- Nederlandse Emissieautoriteit (2017). *Klimaatakkoord van Parijs*. Opgehaald op 14 oktober 2017, van <https://www.emissieautoriteit.nl/onderwerpen/klimaatakkoord-van-parijs>
- Nuiten, P., Ree, B. v., Harmelink, M. & Bosselaar, L. (2017). *Uniforme Maatlat Gebouwde Omgeving voor de warmtevoorziening in de woning- en utiliteitsbouw*. Eindhoven: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Overmars, R. (2018). *Trias Energetica 2.0 voor energieneutrale woningen (deel 1)*. Opgehaald op 3 januari 2018, van <https://www.duurzaamgebouwd.nl/visies/20130515-trias-energetica-20-voor-energie-neutrale-woningen-deel-1>

Rijksoverheid (2012). *National plan for the promotion of nearly energy neutral buildings in the Netherlands*. Den Haag: Rijksoverheid.

Rijksoverheid (2018). *Hoe hoog is de maximale energieprestatievergoeding (EPV) van mijn huurwoning?* Opgehaald op 3 juni 2018, van <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/huurwoning/vraag-en-antwoord/maximale-energieprestatievergoeding-epv-huurwoning>

Rijksoverheid (2018). *Klimaatagenda: voorkomen, aanpassen en ondernemen*. Opgehaald op 2 januari 2018, van <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2013/10/04/klimaatagenda-voorkomen-aanpassen-en-ondernemen>

Rijksoverheid (2018). *Klimaatbeleid*. Opgehaald op 2 januari 218, van <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/klimaatbeleid>

Rijksoverheid. (2018). *Maximale huurprijsgrenzen voor zelfstandige woonruimten per 1 juli 2018*. Opgehaald op 3 juni 2018, van <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/huurprijs-en-puntentelling/documenten/publicaties/2018/05/02/maximale-huurprijsgrenzen-voor-zelfstandige-woonruimten-per-1-juli-2018>

Rijksoverheid. (2018). *Wat zijn de regels voor de energieprestatievergoeding (EPV) van mijn huurwoning?* Opgehaald op 3 juni 2018, van <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/huurwoning/vraag-en-antwoord/regels-energieprestatievergoeding-epv-huurwoning>

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (2013). *Aanscherpingsstudie EPC woningbouw en utiliteitsbouw - eindrapport*. Utrecht / Eindhoven: W/E 8504 / Agentschap.

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (2013). *Verslaglegging kostenoptimaliteit energieprestatie eisen Nederland*. Sittard: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (2015). *Referentiewoning EPC 0,4 Tussenwoning*. Den Haag: Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties.

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (2015). *Referentiewoning EPC 0,4 Hoekwoning*. Den Haag: Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties.

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (2017). *Energieprestatie - EPC*. Opgehaald op 13 oktober 2017, van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/wetten-en-regels-gebouwen/nieuwbouw/energieprestatie-epc>

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (2017). *Referentiewoningen*. Opgehaald op 21 december 2017, van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/wetten-en-regels-gebouwen/nieuwbouw/energieprestatie-epc/referentiewoningen-epc>

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (2018). *Energielabel woningen*. Opgehaald op 3 januari 2018, van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/wetten-en-regels-gebouwen/bestaande-bouw/energielabel-woningen>

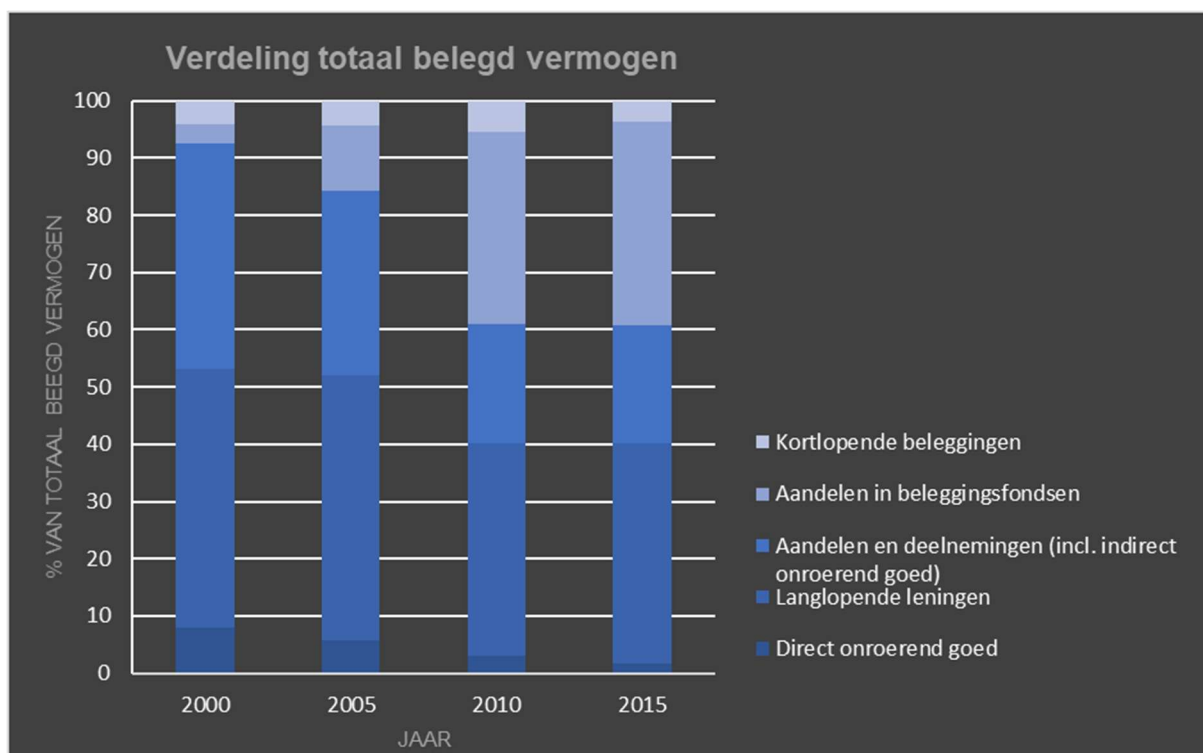
Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (2018). *Energieprestatievergoeding (EPV)*. Opgehaald op 8 juli 2018, van https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/wetten-en-regels-gebouwen/bestaande-bouw/energieprestatievergoeding?utm_campaign=610028637&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_content=263287634582&utm_term=%2Benergieprestatievergoeding&adgroup

- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (2018). Voorwaarden STEP. Opgehaald op 30 juli 2018, van: <https://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/stimuleringsregeling-energieprestatie-huursector-step/voorwaarden-step/woningcorporaties>
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (2018). *Voorwaarden FEH*. Opgehaald op 30 juli 2018, van <https://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/fonds-energiebesparing-huursector-feh/voorwaarden-feh>
- Salvi, M., Horehájová, A., & Müri, R. (2008). *Minergie macht sich bezahlt*. Zürich: Center for Corporate Responsibility and Sustainability.
- Schop, G. (2017). *Smart*. Opgehaald op 1 mei 2017, van https://managementmodellensite.nl/smart/#.Wk_bmbpFzIU
- Stata. (2018). *Data analyses and statistical software*. Alkmaar, Noordholland, Nederland.
- Stichting ROZ (2018). Vastgoedindex. Opgehaald op 30 juli 2018, van <http://www.stichtingroz.nl/>
- Stichting ROZ Vastgoedindex (2018). *IPD Nederlandse Jaar Vastgoedindex 2017*. Voorburg: Stichting ROZ Vastgoedindex.
- Theebe, M. (2018). *Marktanalyse met het 4-kwadrantenmodel*. Amsterdam: Amsterdam School of Real Estate.
- Trias Energetica (2018). *Het werkmodel naar energieneutraal*. Opgehaald op 7 augustus 2018, van <https://www.triasenergetica.nl/>
- Uniec2.2 (2018). *Energieconcepten woningbouw*. Opgehaald op 20 mei 2018, van <https://uniec2.nl/wp-content/uploads/2014/12/Energieconcepten-Woningbouw.pdf>
- Uniec2.2 (2018). *Inputvariabelen*. Alkmaar, Noordholland, Nederland.
- United Nations. (2015). *Adoption of the Paris agreement*. Brussel: United Nations.
- VBTN (2018). *De Energieprestatievergoeding - EPV - nader beschouwd*. Opgehaald op 30 juli 2018, van <http://www.vbtm.nl/weblog/de-energieprestatievergoeding-epv-nader-beschouwd>
- Verwarming info (2018). *Zeer lage temperatuurverwarming*. Opgehaald op 2 februari 2018, van <https://www.verwarminginfo.nl/zeer-lage-temperatuur-verwarming-zltv>
- Warm Wonen (2018). *Stadsverwarming is een alternatieve keus voor verwarming*. Opgehaald op 3 maart 2018, van <http://www.warmwonen.nl/stadsverwarming-is-een-alternatieve-keus-voor-verwarming/>
- Werkman - Vaneveld, L. (2015). *Het rendement van verduurzaming*. Amsterdam: ASRE.
- Wiltling, J. (2011). *De Groene weg - de doordachte keuze*. Amsterdam: Amsterdam School of Real Estate
- Wageningen University and Research (2018). *Oorzaken klimaatverandering*. Opgehaald op 25 mei 2018, van <https://www.wur.nl/nl/artikel/Oorzaken-klimaatverandering-1.htm>

Bijlage 1: Verdeling van de totale beleggingen van institutionele beleggers

Verdeling van de totale beleggingen van institutionele beleggers	Jaar			
	2000	2005	2010	2015
Pensioenfondsen - direct onroerend goed	23,3	22,9	9,5	7,5
Pensioenfondsen - langlopende leningen	207,6	277,8	205,6	371,1
Pensioenfondsen - aandelen en deelnemingen (incl. indirect onroerend goed)	205,7	233,8	106,1	171,6
Pensioenfondsen - aandelen in beleggingsfondsen	16,8	84,1	421,6	665,1
Pensioenfondsen - kortlopende beleggingen	8,3	17,2	34,7	24,1
Verzekeraars - direct onroerend goed	13,6	13,2	7,4	4,6
Verzekeraars - langlopende leningen	152,5	192,7	231,3	286,8
Verzekeraars - aandelen en deelnemingen (incl. indirect onroerend goed)	70,3	77,2	39,6	30,0
Verzekeraars - aandelen in beleggingsfondsen	10,2	31,9	58,5	88,5
Verzekeraars - kortlopende beleggingen	19,8	25,5	28,4	22,0
Overige beleggingsfondsen - direct onroerend goed	28,8	24,5	31,1	30,6
Overige beleggingsfondsen - langlopende leningen	15,7	24,9	171,8	273,0
Overige beleggingsfondsen - aandelen en deelnemingen (incl. indirect onroerend goed)	50,7	35,3	191,0	299,8
Overige beleggingsfondsen - aandelen in beleggingsfondsen	1,8	5,7	66,3	109,5
Overige beleggingsfondsen - kortlopende beleggingen	5,1	3,0	26,9	42,0
	830,1	1.069,9	1.629,8	2.426,1

Figuur 74: Verdeling totaal belegd vermogen (x mld €) van institutionele beleggers (CBS, 2017)

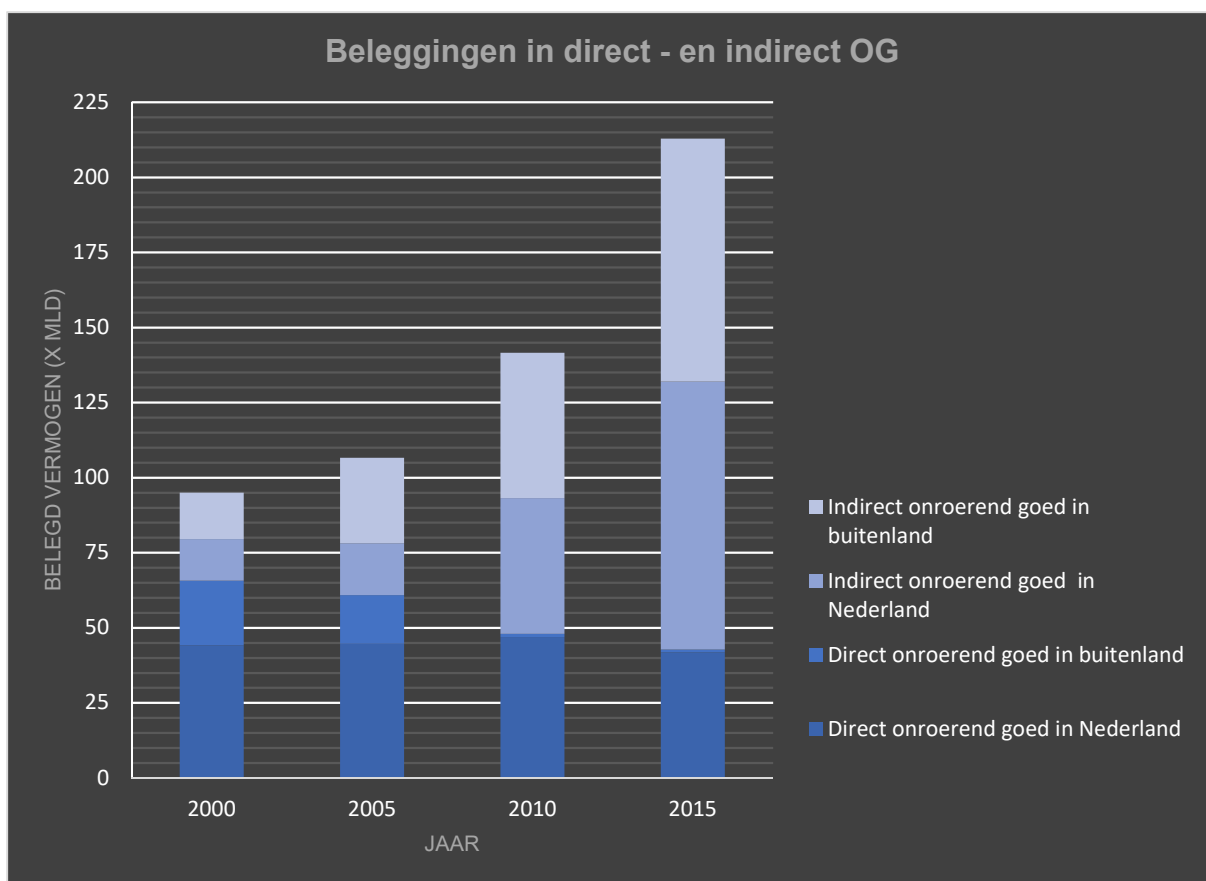


Figuur 75: Verdeling (%) van het totale belegde vermogen van institutionele beleggers (CBS, 2017)

Bijlage 2: Totale beleggingen in direct- en indirect OG

Totale beleggingen in direct- en indirect OG	Jaar			
	2000	2005	2010	2015
Pensioenfondsen - direct onroerend goed in Nederland	20,2	22,1	9,3	7,4
Pensioenfondsen - direct onroerend goed in buitenland	3,1	0,8	0,2	0,1
Pensioenfondsen - indirect onroerend goed in Nederland	11,2	14,5	41,6	82,9
Pensioenfondsen - indirect onroerend goed in buitenland	12,7	25,5	23,2	19,4
Verzekeraars - direct onroerend goed in Nederland	13,3	11,9	7,4	4,6
Verzekeraars - direct onroerend goed in buitenland	0,3	1,3	0	0
Verzekeraars - indirect onroerend goed in Nederland	2	2,4	1,9	2,4
Verzekeraars - indirect onroerend goed in buitenland	0,1	0,6	0,7	0,9
Overige beleggingsfondsen - direct onroerend goed in Nederland	10,6	10,6	30,2	29,8
Overige beleggingsfondsen - direct onroerend goed in buitenland	18,1	14,2	0,9	0,8
Overige beleggingsfondsen - indirect onroerend goed in Nederland	0,7	0,3	1,6	3,9
Overige beleggingsfondsen - indirect onroerend goed in buitenland	2,7	2,4	24,5	60,7
		106,6	141,5	212,9

Figuur 76: Totale beleggingen (x mld €) in direct- en indirect rendement (CBS, 2017)

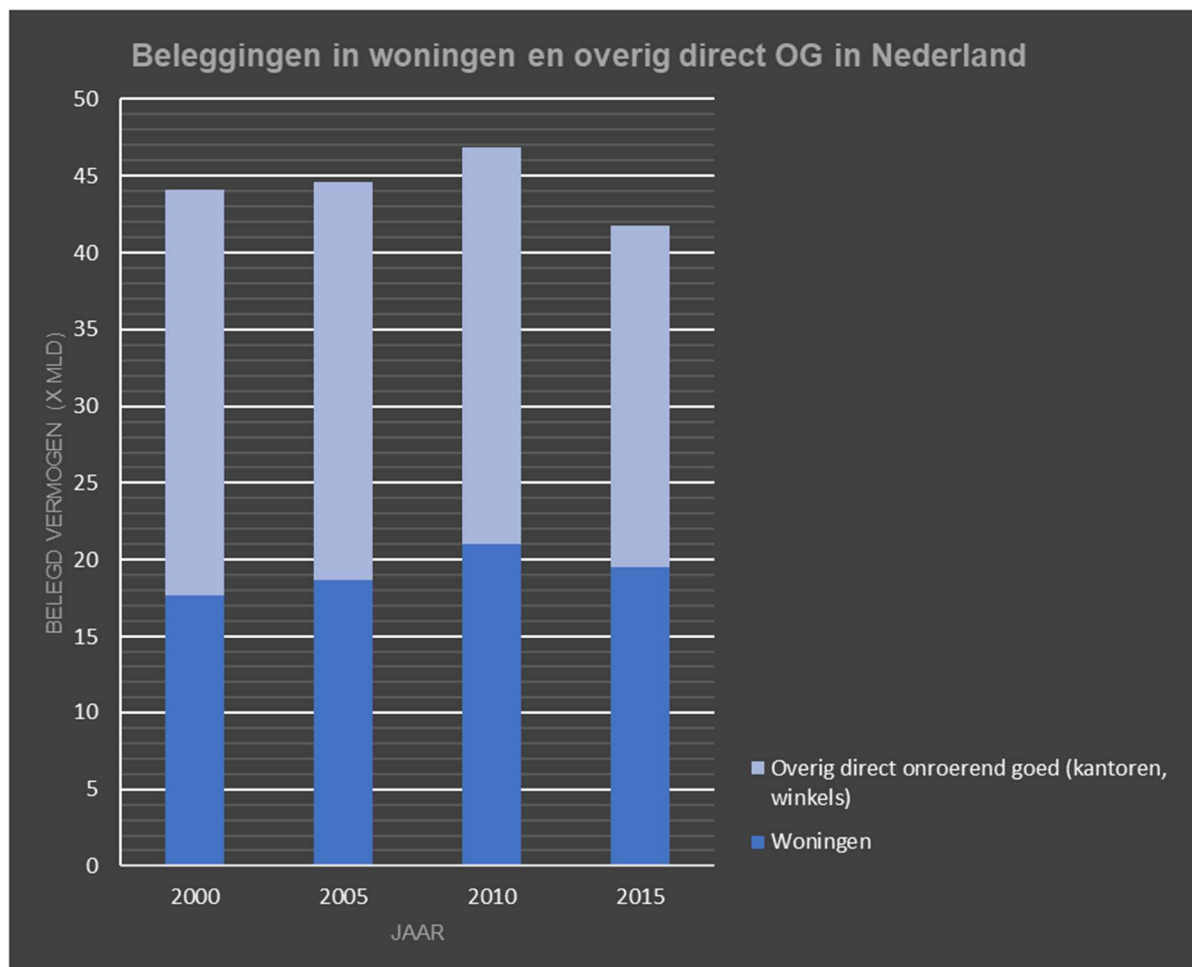


Figuur 77: Beleggingen in direct- en indirect OG (CBS, 2017)

Bijlage 3: Omvang belegging in woningen en overig direct OG

Omvang belegging in woningen en overig direct OG	Jaar			
	2000	2005	2010	2015
Pensioenfondsen - woningen	12,3	13,6	4,2	3,6
Pensioenfondsen - overig direct onroerend goed (kantoren, winkels)	7,9	8,5	5,1	3,8
Verzekeraars - woningen	5,1	4,1	3,1	2,4
Verzekeraars - overig direct onroerend goed (kantoren, winkels)	8,2	7,8	4,3	2,2
Overige beleggingsfondsen - woningen	0,3	1	13,7	13,5
Overige beleggingsfondsen - overig direct onroerend goed (kantoren, winkels)	10,3	9,6	16,5	16,3
	44,1	44,6	46,9	41,8

Figuur 78: Omvang belegging (x mld €) in woningen en overig direct OG (CBS, 2017)



Figuur 79: Beleggingen in woningen en overig direct OG in Nederland (CBS, 2017)

Bijlage 4a: EPV – Woningen welke zelf energie opwekken

1. Woningen welke zelf energie opwekken			
Netto warmtevraag in kWh per m ² per jaar	Minimaal duurzaam opgewekte energie		EPV (€/m ² /maand)
	t.b.v. benodigde energie (kWh/m ² /jr.) voor verwarming, tapwater en koken	t.b.v. benodigde energie (kWh/m ² /jr.) voor hulp en gebruik	
0 t/m 30			€ 1,42
31 t/m 40	$\frac{\text{netto warmtevraag (kWh)}}{\text{rendement}_{\text{(warmte)}}} + \frac{15 \text{ kWh}}{\text{rendement}_{\text{(tapwater)}}}$	$E_{\text{hulp (kWh)}} + 26 \text{ kWh}$	€ 1,22
41 t/m 50			€ 1,02
> 50			€ 0,00

Figuur 80a: Overzicht EPV (Rijksoverheid, 2018)

- Het rendement van de installaties, welke zelf energie opwekken, is afhankelijk van het type systeem. Een bodemwarmtepomp installatie heeft bijvoorbeeld een rendement van 4,5 voor verwarming en 2,5 voor het bereiden van tapwater.
- De hulpenergie (E_{hulp}) betreft de gebouwgebonden (elektrische) energie welke benodigd is voor de werking van de installaties. De energie benodigd voor verlichting valt hier buiten. De energie welke bestemd is voor gebruik, wordt berekend aan de hand van 26 kWh/m² en is in deze categorie gelimiteerd minimaal 1.800 kWh per jaar en maximaal 2.600 kWh per jaar (Rijksoverheid, 2018).
- De gebruikte hoeveelheid fossiele energie zal worden gecompenseerd door middel van een andere energiestroom, namelijk elektriciteit. Aangezien elektriciteit een hogere primaire energiefactor heeft dan fossiele energie, dient de hoeveelheid op te wekken duurzame energie om deze reden te worden gedeeld door 2,14.
- De EPV dient los te worden gezien van de huurprijs en valt dus buiten eventuele jaarlijkse huurverhogingen van de woning. De EPV is verder ook niet bepalend voor de eventuele huurtoeslag, welke huurders zouden kunnen aanvragen. Overigens zal het van toepassing verklaren van een EPV de huurders niet ontslaan van de verplichting om overige kosten voor energie te betalen, zoals vaste rechten.

Bijlage 4b: EPV – Woningen welke zijn aangesloten op een warmtenet

2. Woningen welke zijn aangesloten op warmtenet, waarbij de warmte niet volledig duurzaam is en niet volledig op de woning wordt opgewekt, welke zelf energie opwekt			
Netto warmtevraag in kWh per m ² per jaar	Minimaal duurzaam opgewekte energie		EPV (€/m ² /maand)
	t.b.v. benodigde energie (kWh/m ² /jr) voor verwarming, tapwater en koken	t.b.v. benodigde energie (kWh/m ² /jr) voor hulp en gebruik	
0 t/m 15	$\frac{\text{Warmtevraag } Q_v \text{ (kWh)} + 15 \text{ kWh}}{\text{EOR} + 2,14}$	$E_{\text{hulp}} \text{ (kWh)} + 26 \text{ kWh}$	€ 0,72
16 t/m 30			€ 0,61
31 t/m 40			€ 0,30
41 t/m 50			€ 0,05
> 50			€ 0,00

Figuur 80b: Overzicht EPV (Rijksoverheid, 2018)

- Het opwekkingsrendement van het warmtenet (EOR) dient volgens een door de verhuurder opgevraagde EMG verklaring te worden bepaald. Het Bureau Controle en Registratie Gelijkwaardigheidsverklaring, kan hiervoor worden benaderd door de (institutionele) beleggers.
- De hulpenergie (E_{hulp}) betreft de gebouwgebonden (elektrische) energie welke benodigd is voor de werking van de installaties. De energie benodigd voor verlichting valt hier buiten. De energie welke bestemd is voor gebruik, wordt berekend aan de hand van 26 kWh/m² en is in deze categorie gelimiteerd minimaal 1.800 kWh per jaar en maximaal 2.600 kWh per jaar (Rijksoverheid, 2018).
- In deze thesis wordt, zoals eerder aangegeven, deze variant niet behandeld.

Bijlage 4c: EPV – Woningen welke zijn aangesloten op een gasnet

3. Woningen welke zijn aangesloten op een gasnet, welke zelf energie opwekt			
Netto warmtevraag in kWh per m ² per jaar	Minimaal duurzaam opgewekte energie		EPV (€/m ² /maand)
	t.b.v. benodigde energie (kWh/m ² /jr) voor verwarming, tapwater en koken	t.b.v. benodigde energie (kWh/m ² /jr) voor hulp en gebruik	
0 t/m 15			€ 1.17
16 t/m 30	netto warmtevraag (kWh) 15 kWh	E _{hulp} (kWh) + 23 kWh	€ 1.07
31 t/m 40	$\frac{\text{rendement}_{(\text{warmte})}}{\text{rendement}_{(\text{tapwater})}} + 4,6 \text{ kWh}$		€ 0.86
41 t/m 50	2,14		€ 0,61
> 50			€ 0,00

Figuur 80c: Overzicht EPV (Rijksoverheid, 2018)

- Het rendement_(warmte) kan worden vastgesteld op basis van de forfaitaire rendementswaarden van de cv-ketel, welke zijn ontleend aan de berekening van de EPC. In deze thesis betreft dit 0,975. Het rendement_(tapwater) is in deze thesis vastgesteld op 0,65. te compenseren energie, afgestemd op het gebruik van gas voor koken, betreft 4,6 kWh. Dit is afgeleid van het gemiddelde verbruik van 39 m³ gas per woning per jaar.
- De hulpenergie (E_{hulp}) betreft de gebouwgebonden (elektrische) energie welke benodigd is voor de werking van de installaties. De energie benodigd voor verlichting valt hier buiten. De energie welke bestemd is voor gebruik, wordt berekend aan de hand van 23 kWh/m² en is in deze categorie gelimiteerd minimaal 1.600 kWh per jaar en maximaal 2.400 kWh per jaar (Rijksoverheid, 2018).
- De EPV dient los te worden gezien van de huurprijs en valt dus buiten eventuele jaarlijkse huurverhogingen van de woning. De EPV is verder ook niet bepalend voor de eventuele huurtoeslag, welke huurders zouden kunnen aanvragen. Overigens zal het van toepassing verklaren van een EPV de huurders niet ontslaan van de verplichting om overige kosten voor energie te betalen, zoals vaste rechten.

Bijlage 4d: EPV - Voorwaarden

Om gebruik te kunnen maken van de EPV-regeling, heeft de Rijksoverheid (2018) enkele voorwaarden vastgesteld waar een huurwoning aan dient te voldoen.

Eerste voorwaarde EPV - Maximale warmtevraag maximaal 50 kWh/m²/jr.

Allereerst dient de woning zeer goed te zijn geïsoleerd. Hieraan worden, naast de eisen vanuit het bouwbesluit⁵⁶, verder geen concrete eisen gesteld als zijnde een verhoging van de Rc-waarden. De voorwaarde van een goed geïsoleerde woning is echter wel gerelateerd aan de maximale warmtevraag⁵⁷ ($E_{H,p}$). Deze waarde, volgende uit de berekeningen in Uniec, zal allereerst dienen te worden omgerekend in de warmtevraag per vierkante meter van de woning per jaar (kWh/m²/jr.).

Hoe beter de woning is geïsoleerd hoe lager de warmtevraag; daarmee kunnen (institutionele) beleggers een hogere EPV doorberekenen aan de huurder. De warmtevraag om in aanmerking te komen voor de EPV-regeling, is gelimiteerd tot een maximum van 50 kWh/m²/jr. Deze warmtevraag dient namens de verhuurende partij te worden berekend door een daartoe gecertificeerde onderneming.

In deze thesis wordt gebruik gemaakt van Uniec. In dit softwareprogramma wordt de warmtevraag ($E_{H,p}$) uitgedrukt in megajoule (MJ). Derhalve zal deze omgerekend dienen te worden naar kWh.

1 Watt = 1 joule per seconde
1 kWh = 3,6 MJ, dus 1 MJ = 0,278 kWh

Tweede voorwaarde EPV - Opwekking duurzame energie

Naast de gemaximaliseerde warmtevraag ($E_{H,p}$) van de woning, is de tweede voorwaarde dat de woning de gebruikte energie zelf op een duurzame wijze opwekt. Dit kan geschieden middels onder andere zonneboilers of PV-panelen. Binnen deze thesis zullen PV-panelen worden aangehouden als duurzame energieopwekker, met een rendement van 0,85 en een degradatie van 0,5% per jaar. De hoeveelheid toe te passen PV-panelen is afhankelijk van de hoeveelheid duurzaam op te wekken energie.

- De woning dient minimaal de energie, welke verbruikt wordt in de vorige paragraaf besproken warmtevraag ($E_{H,p}$), op een duurzame wijze op te wekken. Hierbij dient rekening te worden gehouden met het feit dat, gedurende de gehele beschouwingsperiode minimaal deze energie dient te worden opgewekt en aangetoond.
- De woning dient daarnaast minimaal 15 kWh/m²/jr aan energie op een duurzame wijze op te wekken, voor het gebruik van warm tapwater ($E_{W,p}$) in keuken en badkamer.

In deze thesis betreft het totale oppervlak (A_g) 124,3 m² en zal er dus minimaal gerekend dienen te worden met een totaal benodigd opgewekte energie van $124,3 \times 15 \text{ kWh} = 1.864,5 \text{ kWh/jr.}$ (= 6.712,2 MJ/jr.) ten behoeve van warm tapwater.

⁵⁶ Het bouwbesluit eist de volgende minimale isolatiewaarden: Rc-begane grondvloer 3,5 m²K/w, Rc-gevel: 4,5 m²K/w en Rc-dak: 6,0 m²K/w.

⁵⁷ De warmtevraag betreft de hoeveelheid energie welke benodigd is om de woning te verwarmen, bij een gemiddeld gebruik in een jaar met een gemiddelde winter.

- De woning dient vervolgens energie op duurzame wijze op te wekken, welke gelijk is aan de energie welke gebruikt wordt door apparaten. De berekening van dit verbruik gaat uit van de gegevens uit figuur 80a tot en met 80c.

	Minimaal verbruik apparaten (kWh/m ² /jr.)	Minimaal te rekenen verbruik (kWh/jr.)	Maximaal te rekenen verbruik (kWh/jr.)
Woning welke zelf energie opwekt	26	1.800	2.600
Woning aangesloten op warmtenet	26	1.800	2.600
Woning aangesloten op gasnet	23	1.600	2.400

Figuur 81: Te rekenen energieverbruik voor gebruik huurder (Rijksoverheid, 2018)

In deze thesis betreft het totale oppervlak (A_g) 124,3 m² en zou er gerekend dienen te worden met 124,3 m² x 26 kWh = 3.231,8 kWh/jr (11.634,5 MJ/jr.), respectievelijk 124,3 m² x 23 kWh = 2.858,9 kWh/jr. (10.292,0 MJ/jr.). Echter er mag gerekend worden met een maximum van 2.600 kWh/jr. (= 9.360 MJ/jr.), welke als input geldt voor het DDSS binnen deze thesis.

- Tot slot dient de woning voldoende hulpenergie op te wekken (E_{hulp}). Bij deze energievraag gaat het om gebouwgebonden energie ten behoeve van de aanwezige installaties. Onder deze installaties valt niet de benodigde energie voor verlichting. Het verbruik van hulpenergie is afhankelijk van het type installatie welke binnen de EPC wordt gekozen.

Nu de gebruikte energie per onderdeel is berekend, kan de totaal gebruikte energie worden bepaald door:

$$\text{Totaal gebruikte energie (kWh/jr)} = E_{\text{warmte}} + E_{\text{tapwater}} + E_{\text{hulp}} + E_{\text{gebruik}}$$

Derde voorwaarde EPV – Monitoren van energieverbruik en opwekking

Verhuurders zijn er tevens toe verplicht om de opgewekte energie te monitoren. Elk jaar dient de huurder in het bezit te geraken van een overzicht van de opgewekte energie. Dit overzicht wordt door de verhuurder verzonden, gelijktijdig met het overzicht van kosten gas, licht en water. Om dit te monitoren, zullen er toevoegingen aan de investering ($t=0$) voor de installatie gelden.

Investering monitoringssysteem:	€ 2.800,00 per woning.
Abonnement uitlezen monitoring:	€ 120,00 per woning/jr.

Vierde voorwaarde EPV – EPV contract

De afspraken welke tussen verhuurder en huurder worden gemaakt op het gebied van de EPV, kunnen geheel vrijblijvend door de verhuurder worden gevat in een EPV-contract. Dit contract dient minimaal de onderstaande gegevens te bevatten:

- De warmtevraag van de woning.
- De hoeveelheid energie welke door de woning wordt opgewekt.
- De invloed van het weer in een heel jaar op de energierekening van de huurder.
- De invloed van het eigen gedrag van de huurder op de energierekening.

Bijlage 5: Gegevens EPC 'Tussenwoning' (RVO, 2015)

Kenmerken per woning

Beukmaat	5,1 m
Woningdiepte	8,9 m
Verdiepingshoogte	2,6 m
Gebruiksoppervlakte Ag	124,3 m²
Verliesoppervlakte Averlies	165,4 m²
Verhouding Ag / Averlies	0,8

Bouwkundige gegevens

R _c -waarde gevel	4,5 m² K/W
R _c -waarde dak	6,0 m² K/W
R _c -waarde beganegrondvloer	3,5 m² K/W
U-waarde ramen	1,30 W/m²K
U-waarde voordeur	1,30 W/m²K
Buitenzonwering op (handmatig)	Z

Installatietechnische gegevens	Variant A	Variant B
Type verwarmingsinstallatie	HR-107 ketel, LT met radiatoren	HR-107 ketel, LT met radiatoren
Type ventilatiesysteem	Natuurlijke toevoer/mech. afvoer C4a - winddrukgestuurd, CO ₂ -sturing woonk. + open keuken	Gebalanceerde ventilatie: mech. toevoer/mech. afvoer D3 - CO ₂ -sturing op afvoer
Rendement warmteterugwinning	n.v.t.	95%*
Type ventilatoren	gelijkstroom	gelijkstroom
Type warmtapwatersysteem	combiketel HRww CW4	combiketel HRww CW4
Rendement tapwater	82,5%*	82,5%*
Zonnecollector	0 m²	0 m²
PV-systeem	6,4 m²	6,4 m²

* met behulp van een kwaliteitsverklaring

Energieprestatie	Variant A	Variant B
EPC volgens NEN 7120	0,4	0,4
Jaarlijks energieverbruik per m² volgens NEN 7120	210 MJ/m²	212 MJ/m²
Jaarlijkse CO ₂ -emissie	1.829 kg	1.889 kg

Gebiedsgebonden maatregelen

alle varianten: externe warmtelevering	EMG variant A1	EMG variant A2	EMG variant B1	EMG variant B2
	natuurlijke ventilatie, met PV	natuurlijke ventilatie, zonder PV	gebalanceerde ventilatie, met PV	gebalanceerde ventilatie, zonder PV
EPC volgens NEN 7120	0,2	0,32	0,25	0,36
Jaarlijks energieverbruik per m² volgens NEN 7120	107 MJ/m²	167 MJ/m²	130 MJ/m²	189 MJ/m²
Jaarlijkse CO ₂ -emissie	1.464 kg	1.464 kg	1.589 kg	1.589 kg

Bijlage 6: Gegevens EPC 'Hoekwoning' (RVO, 2015)

Kenmerken per woning

Beukmaat	5,1 m
Woningdiepte	8,9 m
Verdiepingshoogte	2,6 m
Gebruiksoppervlakte Ag	124,3 m²
Verliesoppervlakte Averlies	233,8 m²
Verhouding Ag / Averlies	0,5

Bouwkundige gegevens

R _c -waarde gevel	4,5 m² K/W
R _c -waarde dak	6,0 m² K/W
R _c -waarde beganegrondvloer	3,5 m² K/W
U-waarde ramen	1,30 W/m²K
U-waarde voordeur	1,30 W/m²K
Buitenzonwering op (handmatig)	Z

Installatietechnische gegevens	Variant A	Variant B
Type verwarmingsinstallatie	HR-107 ketel, LT met radiatoren	HR-107 ketel, LT met radiatoren
Type ventilatiesysteem	Natuurlijke toevoer/mech. afvoer C4a - winddrukgestuurd, CO ₂ -sturing woonk. + open keuken	Gebalanceerde ventilatie: mech. toevoer/mech. afvoer D3 - CO ₂ -sturing op afvoer
Rendement warmteterugwinning	n.v.t.	95%*
Type ventilatoren	gelijkstroom	gelijkstroom
Type warmtapwatersysteem	combiketel HRww CW4	combiketel HRww CW4
Rendement tapwater	82,5%*	82,5%*
Zonnecollector	0 m²	0 m²
PV-systeem	8,0 m²	8,0 m²

* met behulp van een kwaliteitsverklaring

Energieprestatie	Variant A	Variant B
EPC volgens NEN 7120	0,39	0,39
Jaarlijks energieverbruik per m² volgens NEN 7120	228 MJ/m²	229 MJ/m²
Jaarlijkse CO ₂ -emissie	2.044 kg	2.099 kg

Gebiedsgebonden maatregelen

alle varianten: externe warmtelevering	EMG variant A1	EMG variant A2	EMG variant B1	EMG variant B2
	natuurlijke ventilatie, met PV	natuurlijke ventilatie, zonder PV	gebalanceerde ventilatie, met PV	gebalanceerde ventilatie, zonder PV
EPC volgens NEN 7120	0,19	0,32	0,23	0,36
Jaarlijks energieverbruik per m² volgens NEN 7120	110 MJ/m²	184 MJ/m²	132 MJ/m²	206 MJ/m²
Jaarlijkse CO ₂ -emissie	1.629 kg	1.629 kg	1.751 kg	1.751 kg

Bijlage 7: Actieve DZO – Gasgestookt toestel

Actieve duurzaamheidsoplossing:

Gasgestookt toestel

Korte omschrijving van de techniek:

Met een CV-ketel wordt de woning verwarmd en kan in het geval van een combi-ketel, ook warmtapwater worden bereid. Hiervoor is een bepaald vermogen benodigd, welke kan worden bereikt, door op een centrale plaats aardgas te verbranden. Voor de verwarming van de woning zal water, gevat in een gesloten leidingsysteem, worden opgewarmd en getransporteerd naar een warmte-overbrengend medium. Tapwater bevindt zich in een open systeem en kan op dezelfde wijze worden verwarmd.



Type verwarmingssystemen (Verwarming info, 2018):

- HT-systemen: systeemtemperatuur 55 - 90 graden
- LT-systemen: systeemtemperatuur 40 - 55 graden
- ZLT-systemen: systeemtemperatuur 30 - 40 graden

Centrale verwarmingssystemen i.c.m. warmteoverdrachtmedium:

	Warmte-overbrengend medium					
	Radiator	Convactor	Wand-verwarming	Vloer-verwarming	Lucht-verwarming	Straling
HT	✓	✓	✗	✗	✗	✗
LT	⚠	⚠	✓	✓	✗	✗
ZLT	✗	✗	✓	✓	✗	✗

✓ wel geschikt

✗ niet geschikt

⚠ geschikt, maar overdimensioneren

Soorten CV-ketels t.b.v. tapwater:

CW-klasse	Tapwater (40°C/min)	Tapwater (60°C/min)	Geschikt voor			Gelijktijdigheid kranen
			Keuken	Douche	Bad	
CW-1	4 liter	2.5 liter	✓	✗	✗	✗
CW-2	6 liter	3,6 liter	✓	✗	✗	✗
CW-3	10 liter	6 liter	✓	✓	✓	⚠
CW-4	12,5 liter	7,5 liter	✓	✓	✓	⚠
CW-5	17 liter	10 liter	✓	✓	✓	⚠
CW-6	20 liter	12 liter	✓	✓	✓	✓

✓ wel geschikt

✗ niet geschikt

⚠ (zeer)beperkt

Rendement

- VR-ketel⁵⁸: Meer dan 80%
- HR-ketel⁵⁹: Meer dan 90%

In een HR-ketel wordt, anders dan bij een VR-ketel, de warmte uit waterdamp hergebruikt voor de opwarming van retour komend water in het gesloten systeem.

- Gaskeurlabel 100, waarbij 100% rendement wordt geleverd
- Gaskeurlabel 104, waarbij 104% rendement wordt geleverd
- Gaskeurlabel 107, waarbij 107% rendement wordt geleverd

In de Europese richtlijnen wordt geen rekening gehouden met het rendement, welke is te verkrijgen vanuit de waterdamp (maximaal 11%). Het rendement op onderwaarde betreft in totaal het rendement van de HR-ketel (100%) plus het rendement vanuit de waterdamp (maximaal 11%). Bij een Gaskeurlabel van 107, levert de HR-ketel een rendement van 96%.

Investering

CW4	Bandbreedte (€)	
	TW / HW ⁶⁰ (laag)	TW / HW (hoog)
- Warmteafgifte middels radiatoren / convectoren (HT)	2.950 / 3.250	4.150 / 4.450
- Warmteafgifte middels radiatoren / convectoren (LT)	3.150 / 3.550	3.750 / 4.150
- Warmteafgifte middels vloer- en wandverwarming (LT)	4.250 / 4.750	4.900 / 5.400

CW5	Bandbreedte (€) t.o.v. CW4	
- Warmteafgifte middels radiatoren / convectoren (HT)	+100	+1.750
- Warmteafgifte middels radiatoren / convectoren (LT)	+100	+1.750
- Warmteafgifte middels vloer- en wandverwarming (LT)	+100	+1.750

CW6	Bandbreedte (€) t.o.v. CW4	
- Warmteafgifte middels radiatoren / convectoren (HT)	+500	+2.500
- Warmteafgifte middels radiatoren / convectoren (LT)	+500	+2.500
- Warmteafgifte middels vloer- en wandverwarming (LT)	+500	+2.500

Instandhoudingskosten

Schoonmaakkosten	Frequentie / jr.	Kosten (€/schoonmaak)
- Kalkafzetting warmtewisselaar lamellen	1	30
- Sifon schoonmaken (oxidatie ⁶¹ in aluminium rookgasafvoer)	1	10

Controle- en inregelwerkzaamheden	Frequentie / jr.	Kosten (€/controle)
- Controle op water- en gaslekken	1	25
- Gastest t.b.v. inregeling verbrandingsoptimum	1	15

Vervangingskosten

- De vervangingskosten worden binnen deze thesis gelijk gesteld aan de geïndexeerde investeringslasten op t=0.

Levensduur

- CV-ketel (inclusief rookgasafvoer): 15 jaar

⁵⁸ VR: Verbeterd rendement

⁵⁹ HR: Hoogrendement

⁶⁰ TW: Tussenwoning en HW: Hoekwoning

⁶¹ Verbrandingslucht heeft een Ph-waarde van 2,5 en is daarmee zuur. Dit tast langzaam de binnenzijde van het aluminium rookgaskanaal aan, welke oxideert. Deze oxidatie komt soms los en valt in de sifon.

Bijlage 8: Actieve DZO – Elektrische warmtepomp

Actieve duurzaamheidsoplossing:

Elektrische warmtepomp

Korte omschrijving van de techniek:

Binnen de huidige warmtepompen wordt een elektrisch aangedreven compressietechniek gebruikt. Daarbij wordt, in een gesloten systeem, vloeistof rondgepompt. Deze vloeistof is afhankelijk van de druk en temperatuur in vloeibare of gasachtige toestand. Het zijn deze veranderingen van toestand welke er voor zorgt dat de warmte wordt opgenomen en vervolgens weer wordt afgegeven. Deze vloeistof wordt opgewarmd door buitenlucht of bodem. In een open systeem wordt gebruik gemaakt van het warmte-overbrengend medium zelf, te weten oppervlaktewater of grondwater.



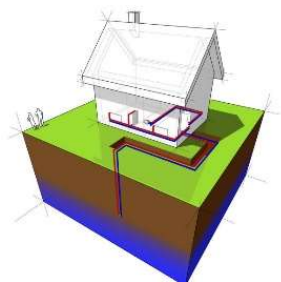
Type warmtepompsystemen

- Gesloten systeem
 - Warmtepomp i.c.m. verticale bodemsonde
 - Warmtepomp i.c.m. horizontale collectors
 - Warmtepomp i.c.m. lucht
- Open systeem
 - Warmtepomp i.c.m. grondwater
 - Warmtepomp i.c.m. oppervlaktewater

Warmtepompsystemen

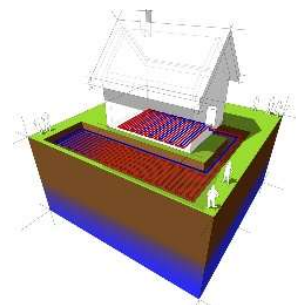
- Warmtepomp i.c.m. verticale bodemsonde

In de variant van de verticale aardwarmtesondes⁶², worden gaten in de grond geboord. Deze gaten, met een minimale hart-op-hart afstand van 5 meter, zijn tussen de 25 en 180 meter diep. In deze boringen worden u-vormige leidingen geplaatst. Bij meerdere boringen worden deze u-vormige leidingen aan elkaar gekoppeld. Dit kan geschieden middels koppelingen in de grond, danwel middels een verdeler. Deze laatste uitvoering maakt een betere afstelling per bron mogelijk.



- Warmtepomp i.c.m. horizontale collector

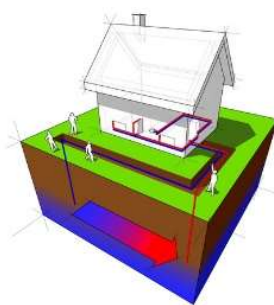
Een horizontale collector omvat een veld van kunststofleidingen, welke op een diepte van 1,2 tot 2,0 meter liggen. Het nadeel van dit systeem betreft de geringe opbrengst per m¹ leiding, waardoor veel leidinglengte benodigd is om het benodigde vermogen te behalen. Daarnaast is er dus voor dit systeem een groot oppervlak benodigd. Derhalve wordt dit systeem niet veel toegepast in Nederland en buiten dit onderzoek gelaten.



⁶² Aardwarmtesondes zijn u-vormige leidingen welke in de geboorde gaten worden aangebracht.

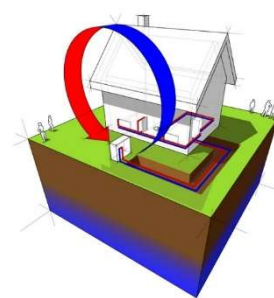
- Warmtepomp i.c.m. grondwater en oppervlaktewater)

In een open systeem wordt daadwerkelijk grondwater of oppervlaktewater opgezogen, om vervolgens gefilterd te worden om uiteindelijk langs een warmtewisselaar gevoerd te worden. Het retourwater wordt elders weer geïnfilteerd in de bodem. Voorwaarde voor een open systeem betreft dat het oppervlakte- en grondwater een goede- en continue stroming bezit. Deze systemen worden in Nederland niet vaak toegepast, aangezien er kans op bevriezing aanwezig is en er tevens geen garantie voor continue stroming afgegeven kan worden. Derhalve worden deze systemen buiten de thesis gehouden.



- Warmtepomp i.c.m. lucht

Er is ook een techniek waarbij de warmte uit de buitenlucht wordt gebruikt voor verwarming van tapwater en verwarming. Door de buitenlucht door een warmtewisselaar te leiden, welke deze warmte weer afgeeft aan een vloeistof met een kookpunt welke lager is dan de omgevingstemperatuur. Deze vloeistof onttrekt warmte uit de lucht en wordt verdampt in de verdamper. Een compressor drukt de damp samen, waardoor de temperatuur zal toenemen. De verzamelde warmte van de damp wordt via een condensator afgegeven aan een buffervat. De damp koelt af en wordt weer vloeibaar.



Dit systeem is tevens inpasbaar in een zogenaamde hybride variant, waarbij de elektrische warmtepomp (lucht) als aanvulling op de gasgestookte CV-ketel kan worden ingezet.

Warmtepompsystemen i.c.m. warmte-overbrengend medium

	Warmte-overbrengend medium					
	Radiator	Convactor	Wand-verwarming	Vloer-verwarming	Lucht-verwarming	Straling
Verticale sonde	✓	✓	✓	✓	✗	✗
Horizontale collector	✓	✓	✓	✓	✗	✗
Grondwater	✓	✓	✓	✓	✗	✗
Oppervlaktewater	✓	✓	✓	✓	✗	✗
Lucht	✓	✓	✓	✓	✗	✗
Lucht - hybride	✓	✓	✓	✓	✗	✗



wel geschikt



niet geschikt

Rendement

Daar de extra toevoegingen in de energieweerstand van de gebouwschil geen noemenswaardige invloed heeft op de EPC, heeft het wel veel invloed op het rendement van de warmtepomp. Als de warmtepomp minder ingezet hoeft te worden voor verwarming, kan de warmtepomp meer rendement leveren voor warmtapwaterbereiding.

De Coëfficiënt of Performance (COP) ligt bij de meeste warmtepompen tussen de 4 en 6. Dit houdt in dat de warmtepomp 4 tot 6 kWh aan warmte kan opwekken uit elke kWh welke aan elektriciteit wordt gebruikt. Het rendement betreft dus tussen 400 en 600%.

Temperatuur effect

De warmtepompen welke gebruik maken van bodemwarmte, brengen warmte in het systeem van circa 4 a 5 graden Celsius, terwijl een luchtwarmtepomp een veel grotere Δt heeft, aangezien de buitenlucht in Nederland vaak een hogere temperatuur heeft. Daarnaast dient bij bodemwarmte ook weer warmte teruggebracht te worden in de grond, omdat anders de bron uitgeput raakt.

Investing

Elektrische warmtepomp - bodem	Bandbreedte (€)	
	TW / HW (laag)	TW / HW (hoog)
- Warmteafgifte middels radiatoren / convectoren (HT)	16.500 / 16.800	18.500 / 18.800
- Warmteafgifte middels radiatoren / convectoren (LT)	17.000 / 17.400	17.500 / 17.900
- Warmteafgifte middels vloer- en wandverwarming (LT)	17.500 / 18.000	19.500 / 20.000

Elektrische warmtepomp - lucht	Bandbreedte (€)	
	TW / HW (laag)	TW / HW (hoog)
- Warmteafgifte middels radiatoren / convectoren (HT)	6.250 / 6.550	8.500 / 8.800
- Warmteafgifte middels radiatoren / convectoren (LT)	7.000 / 7.400	7.500 / 7.900
- Warmteafgifte middels vloer- en wandverwarming (LT)	7.500 / 8.000	10.500 / 11.000

Elektrische warmtepomp - hybride	Bandbreedte (€)	
	TW / HW (laag)	TW / HW (hoog)
- Warmteafgifte middels radiatoren / convectoren (HT)	7.250 / 7.550	9.500 / 9.800
- Warmteafgifte middels radiatoren / convectoren (LT)	8.000 / 8.400	8.500 / 8.900
- Warmteafgifte middels vloer- en wandverwarming (LT)	8.500 / 9.000	10.250 / 10.750

Instandhoudingskosten

Schoonmaakkosten	Frequentie / jr	Kosten (€/schoonmaak)
- Elektrische warmtepomp - bodem	1	60
- Elektrische warmtepomp - lucht	1	80
- Elektrische warmtepomp - hybride	1	80

Controle- en inregelwerkzaamheden	Frequentie / jr	Kosten (€/controle)
- Afstelling elektrische warmtepomp - bodem	1	60
- Afstelling elektrische warmtepomp - lucht	1	40
- Afstelling elektrische warmtepomp - hybride	1	70

Vervangingskosten

- De vervangingskosten worden binnen deze thesis gelijk gesteld aan de geïndexeerde investeringslasten op $t=0$.

Levensduur

- Elektrische warmtepomp – bodem: 20 jaar
- Elektrische warmtepomp – lucht: 15 jaar
- Elektrische warmtepomp – hybride: 15 jaar

Bijlage 9: Actieve DZO - Ventilatie

Installatietechnische duurzaamheidsoplossing:

Ventilatie

Korte omschrijving van de techniek:

De nieuwbouwwoningen worden steeds beter geïsoleerd. Tevens wordt de Q_{v10} -waarde⁶³ aangescherpt, Waardoor woningen 'potdicht' worden gemaakt. Hierdoor wordt het belang van een juiste- en continue ventilatie steeds groter. Door middel van gebruik van luchtdrukverschillen bij de conventionele mechanische ventilatie, danwel door gebruik van gebalanceerde ventilatie, wordt hiervoor zorggedragen.



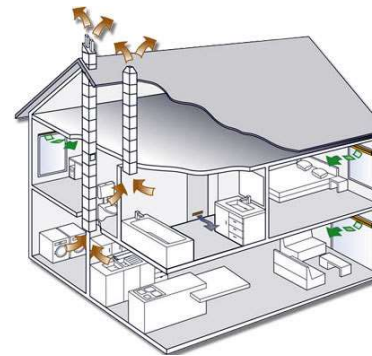
Type ventilatiesystemen:

- Natuurlijke ventilatie
- Mechanische ventilatie
- Balansventilatie

Ventilatiesystemen

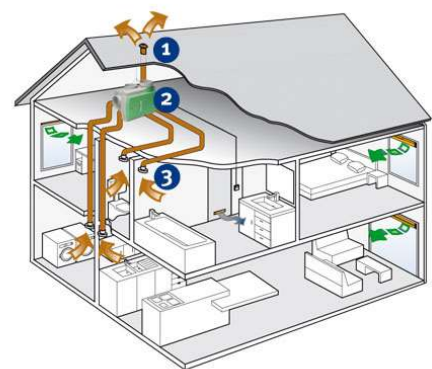
- Natuurlijke ventilatie

Het gebruik maken van luchtdrukverschillen tussen verschillende ruimten en de buitenlucht, waardoor luchtstromen op gang worden gebracht, is de basis van het oudste ventilatiesysteem, welke op grote schaal werd toegepast in de woningbouw. Door de intrede van de minimale vereiste luchtverversing binnen de woning, verloor dit ventilatiesysteem snel marktaandeel. Het is voor deze thesis voor de volledigheid wel betrokken bij het onderdeel 'Ventilatie', echter zal dit systeem verder geen rol meer spelen bij dit onderzoek.



- Mechanische ventilatie

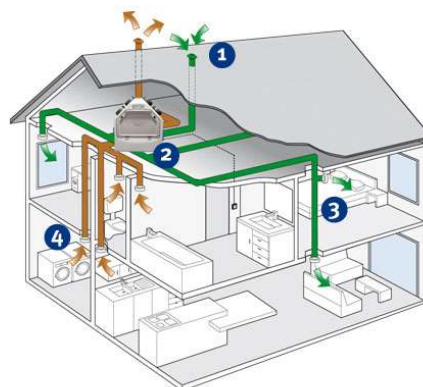
De toevoer van lucht wordt op een natuurlijk wijze geregeld, middels ventilatieroosters in de gevel en/of dak. De afvoer van binnenlucht, geschiedt middels een MV-unit, welke dus uiteindelijk zorgt voor een onderdruk situatie in de woning. Aangezien de roosters in de gevel en/of dak altijd open dienen te staan, stroomt verse buitenlucht naar binnen en wordt de algehele binnenlucht ververst. Door de afzuigcapaciteit van de MV-unit in te stellen op een bepaald ventilatiedebiet, kan de vereiste luchtverversing worden gegarandeerd.



⁶³ Is de specifieke luchtdoorlatendheid bij een uniform drukverschil van 10 Pa, in $\text{dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$ (SBRCURnet, 2018)

- Balansventilatie

Het ventilatiesysteem, waarbij de toevoer- en afvoer van lucht mechanisch wordt geregeld, wint steeds meer terrein ten opzichte van de meer conventionele systemen. Het voordeel ten opzichte van de andere systemen, is het hergebruik van de warmte uit de afgevoerde binnenlucht ten behoeve van het opwarmen van de koelere buitenlucht. Tevens is dit systeem comfortabeler, aangezien het geen voelbare luchtstromen creëert alsmede koudeval uit de roosters in de gevel tot het verleden behoort. Echter zal dit systeem wel meer geluid produceren, aangezien het gebaseerd is op zowel mechanische afvoer als toevoer van lucht.



Uitbreidingen ventilatiesysteem:

	Luchtdruksturing toevoer	Tijdsturing toe- en/of afvoer	CO2-sturing toe- en afvoer	Zonering	Bypass
Natuurlijke vent.	✓	✗	✗	✗	✗
MV-installatie	✓	!	✓	✗	✗
Balansventilatie	✗	✓	✓	✓	✓

✓ mogelijk ✗ niet mogelijk ! zeer beperkt

Investering

	Bandbreedte (€)	
- Natuurlijke toevoer, mechanische afvoer		
C2. Luchtdrukgestuurde toevoer, zonder zonering	1.500	1.600
C3b. Luchtdrukgestuurde toevoer, tijdsturing op afvoer zonder zonering	1.700	1.800
C4a. Luchtdrukgestuurde toevoer, CO2-sturing op afvoer in VG met open keuken, zonder zonering	1.900	2.000
C4c. Luchtdrukgestuurde toevoer, CO2-sturing op afvoer per VR, zonder zonering	2.750	2.850
- Balansventilatie		
D2b. WTW-installatie zonder sturing en zonder zonering, met volledige bypass	3.800	4.300
D3. CO2-sturing op alleen de afvoer	4.000	5.000
D4a. Tijdsturing zonder zonering	3.700	4.300
D4b. Tijdsturing met 2 of meer zones	3.900	4.500
D5a. CO2-sturing met 2 of meer zones	5.400	5.500

Instandhoudingskosten

Schoonmaakkosten MV-installatie	Frequentie / jr.	Kosten (€/schoonmaak)
- MV-box	0,5	10
- Afvoer kanalen	0,2	150

Schoonmaakkosten balansventilatie	Frequentie / jr.	Kosten (€/controle)
- Ventilatiekast	0,5	10
- Af- en toevoer kanalen	0,2	275
- Filters (prijs categorie laag / hoog)	1	16 / 24

Vervangingskosten

- De vervangingskosten worden binnen deze thesis gelijk gesteld aan de geïndexeerde investeringslasten op $t=0$.

Levensduur

- Mechanische ventilatie incl. uitbreidingen: 15 jaar
- Balansventilatie incl. uitbreidingen: 15 jaar

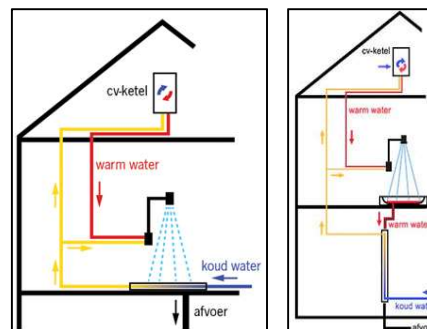
Bijlage 10: Actieve DZO – Douche-WTW

Installatietechnische duurzaamheidsoplossing:

Douche-WTW

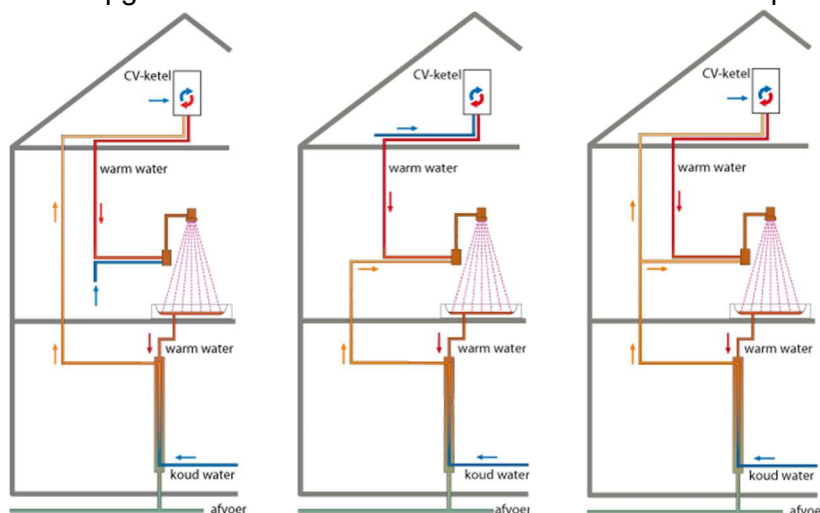
Korte omschrijving van de techniek

Bij installaties met zogenaamde WTW-technologie, wordt gebruik gemaakt van het reeds eerder verwarmde medium (water of lucht). Bij de douchegoot- en douchepijp-WTW wordt het warme bad- en/of douchewater gebruikt voor de opwarming van het koude leidingwater (van 10 graden naar 25 a 30 graden), welke naar de installatie wordt gevoerd waar warmwater wordt bereid. Ook kan het reeds voorverwarmde leidingwater rechtstreeks worden aangesloten op de mengkraan⁶⁴ van het lozingstoestel. De waterstromen blijven uiteraard strikt gescheiden. Het gevaar van legionella, gezien het feit dat het leidingwater een temperatuur behaalt van 25 graden, is op verzoek van het ministerie van BZK onderzocht. Hieruit zijn een aantal voorwaarden opgesteld waaraan de douche-WTW technisch dient te voldoen. Alle gecertificeerde douche-WTW systemen voldoen hieraan. Tevens zal de installateur zijn ontwerp zogenaamd doorstromend dienen te ontwerpen, waardoor er geen 'doodlopende leidingen' in het leidingstelsel voorkomen.



Aansluitmogelijkheden

Binnen de douche-WTW zijn 3 verschillende aansluitmogelijkheden mogelijk. De variant welke de meeste invloed heeft op de EPC, betreft de aansluiting van de Douche-WTW in het netwerk van zowel de warmwateropwekker, als de mengkraan van de douche. De tweede variant betreft de douche-WTW op te nemen in het circuit naar alleen de douchemengkraan. De laatste en tevens minst invloedrijke variant op de EPC, betreft de situatie dat de douche-WTW wordt opgenomen in het circuit naar alleen de warmwateropwekker.



Figuur 82: 3 aansluitmogelijkheden douchepijp-WTW⁶⁵ (ISSO, 2018)

⁶⁴ Aan te bevelen valt de mengkraan uit te voeren als thermostatische mengkraan, waarbij de kraan zelf de hoeveelheid warmwater reguleert, als de douche-WTW nog moet opwarmen. Dit kan ook met een handmatig bedienbare mengkraan, maar is minder gebruiksvriendelijk.

⁶⁵ In figuur 82 weergegeven installatie (douchepijp-WTW) is tevens toepasbaar op de douchegoot- en douchebak-WTW.

Type douche-WTW systemen:

- Horizontaal opgestelde douche-WTW
- Verticaal opgestelde douche-WTW

Douche-WTW systemen

Douchegoot-WTW

De meeste toegepaste horizontaal opgestelde douche-WTW, betreft de douchegoot-WTW. Enerzijds door de kosten, anderzijds door zijn verschijningsvorm. De douchegoot-WTW betreft een iets groter uitgevallen douchegoot, waardoor de indeelbaarheid van de woning niet belast wordt. Het bad- en/of douche afvalwater verwarmd het koude leidingwater welke in koperen buizen door de douchegoot wordt geleid richting de warmtapwater-bereider. In de EPC-berekening doet de douchegoot-WTW het goed door de EPC relatief sterk te beïnvloeden, gezien het feit het een passieve duurzaamheidsoplossing betreft, waarbij geen elektriciteit wordt verbruikt.



Douchebak-WTW

Een variant op de douchegoot-WTW, betreft de horizontaal opgestelde douchebak-WTW. Het systeem werkt verder hetzelfde, waarbij warm douchewater gebruikt wordt voor de opwarming van koud leidingwater. Een nadeel van de douchebak-WTW betreft de benodigde installatiehoogte van het systeem. Dit leidt er toe dat de opstap, op dit moment, nog erg fors is (circa 10 cm).



Douchepijp-WTW

Ook bij de verticaal opgestelde douchepijp-WTW, wordt gebruikt gemaakt van reeds opgewarmd water. Het verschil met de douchegoot-WTW, betreft het feit er een ruimte onder het bad en/of douche gecreëerd dient te worden om de douchepijp, met een lengte van circa 2100 mm, in weg te werken. Dit kan een belemmering van de vrije indeelbaarheid van de woning met zich meebrengen. Het warme afvalwater stroomt in de buitenbuizen als een waterval over de koperen binnenbuizen, waardoor koud leidingwater wordt gevoerd.



Toepassing douche-WTW:

	Horizontale opstelling	Verticale opstelling	Toepassing b.g.g.	Toepassing op verdieping	Toepassing appartement
Douchegoot-WTW	✓	✗	✓	✓	✓
Douchebak-WTW	✓	✗	✓	✓	✓
Douchepijp-WTW	✗	✓	✗	⚠	✗

✓ mogelijk ✗ niet mogelijk ⚠ beperkt mogelijk⁶⁶

⁶⁶ De verdiepingshoogte onder de positie van de douchepijp-WTW dient een minimale vrije hoogte te hebben van circa 2200 mm.

Investeringskosten

	Bandbreedte (€)	
- Douchegoot-WTW	----	----
- Douchebak-WTW	----	----
- Douchepijp-WTW		
Aangesloten op koudepoort douchekraan en inlaat opwekker	750	1.250
Aangesloten op alleen koudepoort douchekraan	600	1.100
Aangesloten op alleen inlaat opwekker	650	1.150

Instandhoudingskosten

Schoonmaakkosten	Frequentie / jr.	Kosten (€/schoonmaak)
- Douchepijp-WTW i.v.m. kalkafzettingen	1	25

Controle- en inregelwerkzaamheden	Frequentie / jr.	Kosten (€/controle)
- Douchepijp-WTW	0	0

Vervangingskosten

- De vervangingskosten worden binnen deze thesis gelijk gesteld aan de geïndexeerde investeringslasten op $t=0$.

Levensduur

- Douchepijp-WTW: 10 jaar

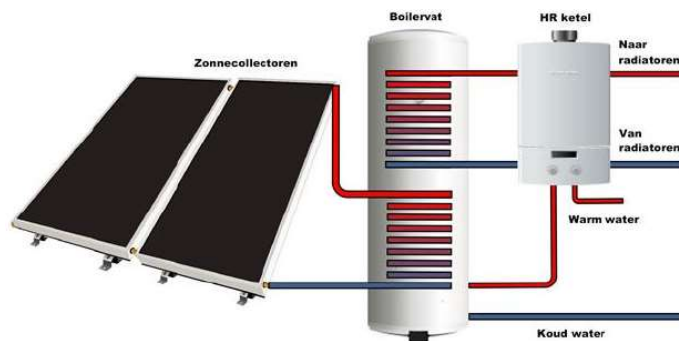
Bijlage 11: Actieve DZO - Zonneboiler

Installatietechnische duurzaamheidsoplossing:

Zonneboiler

Korte omschrijving van de techniek:

Een actieve duurzaamheidsoplossing, welke als ondersteuning voor de verwarming van tapwater en ondersteuning van verwarming kan worden ingezet, betreft het gebruik van een zonneboiler. Het gebruik van een dergelijk systeem ten behoeve van de verwarming, wordt enigszins beperkt daar er gebruik wordt gemaakt van zonne-energie.



Type zonneboilersystemen:

- Vlakkeplaatcollectoren

Het eerste zonneboilersysteem betreft een vlakke plaat welke op het dak wordt aangebracht. Door zijn donkere kleur, vertoont deze plaat een gelijkenis met een PV-paneel. Onder de afdekplaat liggen buizen in een ondiepe bak. Wanneer de zon schijnt, wordt de vloeistof in deze buizen opgewarmd. De opgewarmde vloeistof (Glycol) wordt naar een buffervat geleid om het water, welke zich in het buffervat bevindt, op te warmen. De vlakkeplaatcollector is in eerste aanleg goedkoper dan de vacuümbuis zonnecollector, echter heeft het in de winter een lager rendement dan het rendement van de vacuümbuis zonnecollector.



- Vacuümbuizencollector

Het tweede zonneboilersysteem betreft het systeem welke gebruik maakt van verschillende buizen die vacuüm zijn gemaakt. De glazen buizen zijn voorzien van een warmte absorberende donkere coating. Het systeem is vergelijkbaar met de werking van een thermosfles. Voordeel ten opzichte van een vlakkeplaatcollector, is dat een vacuümbuiscollector zowel in de zomer als in de winter een hoog rendement behaalt. Temperaturen in de vacuümbuiscollector kunnen oplopen tot boven de 200°C. Dit hogere rendement komt voort uit een snelle opwarming (circa 2 minuten), alsmede het feit dat de vacuümbuiscollector ook bij bewolkt weer nog rendeert.



- Solarboiler

Naast een vlakkeplaatcollector of een vacuümbuizencollector, dient er altijd een buffervat te worden geplaatst. Hierin wordt het water opgewarmd. Het is van belang dat bij de berekening van de installatie, er tevens genoeg aandacht is voor de inhoud van het buffervat. Voor een huishouden met 4 personen zou, ten behoeve van tapwater, een buffervat van 200 liter kunnen volstaan. Indien ook verwarming dient te worden betrokken in het zonneboilersysteem, zal een buffervat van minimaal 300 liter moeten worden ingezet. Een te kleine boiler kan tot ontregeling van het systeem leiden. Thermische stagnatie⁶⁷ ontstaat namelijk als er een te klein buffervat wordt aangesloten op een bepaald aantal m² collectoren.



Zonnecollectoren i.c.m. warmte-overbrengend medium

	Warmte-overbrengend medium					
	Radiator	Convector	Wand-verwarming	Vloer-verwarming	Lucht-verwarming	Straling
Vlakkeplaat	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Vacuümbuis	✓	✓	✓	✓	✓	✓

✓ wel geschikt

✗ niet geschikt

Ligging:

- Van belang is dat er zo min mogelijk belemmering optreedt door bomen of andere gebouwen.
- Positie van de collectoren realiseert het hoogste rendement wanneer deze worden geplaatst op het dak, gericht op het zuiden onder een hellingshoek van 36 graden.

Collectoroppervlakte (Kaminofen, 2018)

- Afhankelijk van de ligging, temperatuur etc. wordt er energie opgewekt middels de zonneboiler. Voor tapwaterondersteuning wordt aangehouden:
 - Vlakkeplaatcollector: 1,0 - 1,3 m² per persoon
 - Vacuümbuizencollector: 0,8 - 1,0 m² per persoon
 - Solarboiler: 60 – 80 liter per persoon

Indien zonnecollectoren ook gebruikt worden voor ondersteuning van verwarming, dient als vuistregel te worden aangehouden voor het oppervlakte van de collectoren: Opp. = 2,25 x 'oppervlak collector tapwaterondersteuning'.

Dit houdt in dat voor tapwater- en CV-ondersteuning geldt:

- Vlakkeplaatcollector: 1,0 m² per 10 m² GBO
- Vacuümbuizencollector: 0,5 m² per 10 m² GBO
- Solarboiler: 60 – 80 liter per 10 m² GBO

⁶⁷ Thermische stagnatie komt voor zodra er een te klein buffervat in het systeem wordt ontworpen. Het water in het buffervat kan te snel het punt van 'doorladen' bereiken, waardoor het systeem stagneert. Tevens kan het niet voldoende energie opslaan om een dag zonder veel zonneschijn te overbruggen.

Investeringskosten

	Bandbreedte (€)	
- Vlakke plaat zonnecollector		
t.b.v. warmtapwater	1.000	1.250
t.b.v. warmtapwater en verwarming (gasgestookte na-verwarming)	1.000	1.250
t.b.v. warmtapwater en verwarming (elektrische na-verwarming)	1.000	1.250

Instandhoudingskosten

Schoonmaakkosten	Frequentie / jr.	Kosten (€/schoonmaak)
- Vlakke plaat zonnecollector – per woning	0,2	150

Controle- en inregelwerkzaamheden	Frequentie / jr.	Kosten (€/controle)
- Vlakke plaat zonnecollector - per woning	1	50

Vervangingskosten

- De vervangingskosten worden binnen deze thesis gelijk gesteld aan de geïndexeerde investeringslasten op $t=0$.

Levensduur

- Vlakkeplaatcollector incl. solarboiler: 25 jaar

Bijlage 12: Actieve DZO – PV-panelen

Installatietechnische duurzaamheidsoplossing:

PV-panelen (photovoltaïsch panelen)

Korte omschrijving van de techniek:

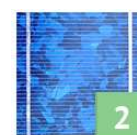
De meeste bekende- en toegepaste techniek betreft die van de photovoltaïsche panelen. Deze zogenaamde zonnepanelen worden reeds in veel projecten toegepast. De zonnecellen in deze panelen zetten zonlicht om in gelijkstroom. Aangezien wij in ons dagelijks gebruik wisselstroom gebruiken, dient de gelijkstroom nog omgezet te worden. Dit gebeurt middels een omvormer.

Type systemen:

- Autonome PV-installatie
De opgewekte elektriciteit dient direct te worden gebruikt, of te worden opgeslagen in een accu. Deze PV-panelen zijn hierdoor het meest geschikt voor kleinere toepassingen zoals verkeersverlichting.
- Netgekoppelde PV-installatie
Deze techniek wordt het meest toegepast in de woning- en utiliteitsbouw. Indien de panelen meer stroom opwekken dan binnen de woning gevraagd wordt, kan dit worden terug-geleverd aan het elektriciteitsnetwerk. Heden is (nog) een salderingsregeling⁶⁸ van toepassing voor particulieren.

Soorten gangbare zonnepanelen

- Monokristallijn
De zonnecellen bestaan uit 1 kristal, het oppervlak heeft geordende elektroden en heeft een egale kleur (dr blauw/zwart). Monokristallijne panelen hebben enkele procenten meer rendement dan polykristallijne panelen, echter zijn deze wel duurder.
- Polykristallijn
De zonnecellen bestaan uit meerdere grove kristallen. De panelen vertonen door willekeurige posities van de grove kristallen, gelijkenissen met een gebroken schervenpatroon. De panelen hebben een redelijk hoog rendement.
- Amorf (dunne film) zonnepaneel
Deze buigbare zonnecellen bevatten geen kristallen. Deze zonnepanelen geven de minste opbrengst van de 4 type zonnecellen. De panelen zijn minder geschikt voor woningbouw, echter worden veelal gebruikt op vaartuigen.



⁶⁸ Middels de salderingsregeling wordt de teruggeleverde stroom aan het netwerk verrekend met de gebruikte stroom of er wordt een vergoeding gegeven aan de consument voor de teruggeleverde stroom.

- Glas- glas panelen
Deze nieuwe zonnepanelen hebben een langere levensduur dan alle andere panelen. Fabrikanten van de overige panelen kunnen een opbrengst garanderen van 90% (10 jaar) en 80% van (25 jaar).



Ligging:

- De ligging waarbij het meeste rendement wordt gemaakt, betreft een hellingshoek van 35-40 graden en verkregen op het zuiden. Indien de panelen in dezelfde hellingshoek op het westen of oosten ligt, kan het rendement met 15% dalen. Op het noorden kan dit rendement dan met zelfs 40% afnemen.

Vermogens

- Afhankelijk van de ligging, temperatuur etc. wordt er energie opgewekt middels de zonnepanelen. Gemiddeld kan in Nederland worden gesteld dat 1 Wattpiek (Wp) circa 0,85 kWh per jaar opwekt. In het westen ligt dat iets hoger dan in het oosten.

Rendement zonlicht

- Het percentage van het zonlicht welke wordt omgezet in energie. Gemiddeld ligt dit percentage tussen de 12 en 17%.

Buitentemperatuur effect

- Het percentage van het vermogen dat terugloopt bij een temperatuur hoger dan 25 graden. Dit varieert tussen -0,41%/graad en -0,47%/graad.

Investering

	Bandbreedte (€/stuk)	
- PV paneel 150 Wattpiek; excl. omvormer	140	175
- PV paneel 250 Wattpiek; excl. omvormer	285	355
- PV paneel 275 Wattpiek; excl. omvormer	320	400
- PV paneel 300 Wattpiek; excl. omvormer	355	445
- Omvormer	80	100

Instandhoudingskosten

Schoonmaakkosten per paneel	Frequentie / jr.	Kosten (€/schoonmaak)
- PV-panelen (per woning)	0,2	150

Controle- en inregelwerkzaamheden	Frequentie / jr.	Kosten (€/controle)
- PV-panelen (per woning)	1	50
- Omvormers (per woning)	0,5	50

Vervangingskosten

- De vervangingskosten worden binnen deze thesis gelijk gesteld aan de geïndexeerde investeringslasten op t=0.

Levensduur

- Totale levensduur PV paneel: 25 jaar
- Totale levensduur omvormers: 12 jaar
- Degradatie opbrengst PV-paneel: 0,5% per jaar

Bijlage 13: Gegevens EPC – dynamisch concept

Isolatie	Isolatiewaarden
Rc-waarde begane grond	3,5 m ² K/W
Rc-waarde gevel	4,5 m ² K/W
Rc-waarde dak	6,0 m ² K/W
U-waarde ramen	1,30 W/m ² K
U-waarde voordeur	1,30 W/m ² K
U-waarde dakraam	1,30 W/m ² K

Installaties	Uitvoering
Verwarming	Bodemwarmtepomp
- warmtedistributie	Vloer- en/of wandverwarming
- temperatuur	LT
Ventilatie	Natuurlijke toevoer, mechanische afvoer
- uitvoering	Luchtdrukgestuurde toevoer
Warm tapwater	Bodemwarmtepomp met 150 liter voorraadvat
- capaciteit	CW4
Ondersteunende installaties	-
- uitvoering	-
Energieopwekking	Photo Voltaïsche panelen (PV, 1 paneel is 1,65 m ²)
- capaciteit	275 Wattpiek per paneel
- oppervlak	'Tussenwoning' (TW): 4,95 m ² 'Hoekwoning' (HW): 4,95 m ²

Bijlage 14: Gegevens EPC – referentiewoning variant A en B (RVO, 2015)

Gegevens EPC – referentiewoning variant A

Isolatie	Isolatiewaarden
Rc-waarde begane grond	3,5 m ² K/W
Rc-waarde gevel	4,5 m ² K/W
Rc-waarde dak	6,0 m ² K/W
U-waarde ramen	1,30 W/m ² K
U-waarde voordeur	1,30 W/m ² K
U-waarde dakraam	1,30 W/m ² K

Installaties	Uitvoering
Verwarming	Individueel CV-toestel
- warmtedistributie	Radiatoren en/of convectoren
- temperatuur	LT
Ventilatie	Natuurlijke toevoer, mechanische afvoer
- uitvoering	Luchtdrukgestuurde toevoer, CO ₂ -sturing op afvoer VG met open KK, zonder zonering
Warm tapwater	Gasgestookt toestel
- capaciteit	CW4
Ondersteunende installaties	Douche-WTW aangesloten op koudepoort douchemengkraan en inlaat toestel
- uitvoering	-
Energieopwekking	Photo Voltaïsche panelen (PV, 1 paneel is 1,65 m ²)
- capaciteit	150 Wattpiek per paneel
- oppervlak	'Tussenwoning' (TW): 6,60 m ² 'Hoekwoning' (HW): 6,60 m ²

Gegevens EPC – referentiewoning variant B

Isolatie	Isolatiewaarden
Rc-waarde begane grond	3,5 m ² K/W
Rc-waarde gevel	4,5 m ² K/W
Rc-waarde dak	6,0 m ² K/W
U-waarde ramen	1,30 W/m ² K
U-waarde voordeur	1,30 W/m ² K
U-waarde dakraam	1,30 W/m ² K

Installaties	Uitvoering
Verwarming	Individueel CV-toestel
- warmtedistributie	Radiatoren en/of convectoren
- temperatuur	LT
Ventilatie	Mechanische toe- en afvoer
- uitvoering	CO ₂ -sturing op afvoer
Warm tapwater	Gasgestookt toestel
- capaciteit	CW4
Ondersteunende installaties	Douche-WTW aangesloten op koudepoort douchemengkraan en inlaat toestel
- uitvoering	-
Energieopwekking	Photo Voltaïsche panelen (PV, 1 paneel is 1,65 m ²)
- capaciteit	150 Wattpiek per paneel
- oppervlak	'Tussenwoning' (TW): 4,95 m ² 'Hoekwoning' (HW): 4,95 m ²

Bijlage 15: Gegevens EPC – basis concept (Uniec2.2, 2018)

Isolatie	Isolatiewaarden
Rc-waarde begane grond	3,5 m ² K/W
Rc-waarde gevel	4,5 m ² K/W
Rc-waarde dak	6,0 m ² K/W
U-waarde ramen	1,38 W/m ² K
U-waarde voordeur	1,50 W/m ² K
U-waarde dakraam	1,30 W/m ² K

Installaties	Uitvoering
Verwarming	Individueel CV-toestel
- warmtedistributie	Vloer en/of wandverwarming (BGG en 1 ^{ste})
- temperatuur	LT
Ventilatie	Natuurlijke toevoer, mechanische afvoer
- uitvoering	Luchtdrukgestuurde toevoer. CO ₂ -sturing op afvoer VG met open KK, zonder zonering
Warm tapwater	Gasgestookt toestel
- capaciteit	CW4
Ondersteunende installaties	Douche WTW
- uitvoering	Aangesloten op koudepoort douchemengkraan
Energieopwekking	Photo Voltaïsche panelen (PV, 1 paneel is 1,65 m ²)
- capaciteit	150 Wattpiek per paneel
- oppervlak	'Tussenwoning' (TW): 1,65 m ² 'Hoekwoning' (HW): 3,30 m ²

Bijlage 16: Gegevens EPC – comfort concept (Uniec2.2, 2018)

Isolatie	Isolatiewaarden
Rc-waarde begane grond	3,5 m ² K/W
Rc-waarde gevel	4,5 m ² K/W
Rc-waarde dak	6,0 m ² K/W
U-waarde ramen	1,00 W/m ² K
U-waarde voordeur	1,50 W/m ² K
U-waarde dakraam	1,00 W/m ² K

Installaties	Uitvoering
Verwarming	Individueel CV-toestel
- warmtedistributie	Vloer en/of wandverwarming (BGG en 1 ^{ste})
- temperatuur	LT
Ventilatie	Natuurlijke toe- en afvoer
- uitvoering	CO ₂ -sturing met 2-of meer zones
Warm tapwater	Gasgestookt toestel
- capaciteit	CW5
Ondersteunende installaties	Douche WTW
- uitvoering	Aangesloten op koudepoort douchemengkraan
Energieopwekking	-
- capaciteit	-
- oppervlak	-

Bijlage 17: Gegevens EPC – All in one concept (Uniec2.2, 2018)

Isolatie	Isolatiewaarden
Rc-waarde begane grond	3,5 m ² K/W
Rc-waarde gevel	4,5 m ² K/W
Rc-waarde dak	6,0 m ² K/W
U-waarde ramen	1,38 W/m ² K
U-waarde voordeur	1,50 W/m ² K
U-waarde dakraam	1,30 W/m ² K

Installaties	Uitvoering
Verwarming	Hybride warmtepomp / CV toestel
- warmtedistributie	Vloer en/of wandverwarming (BGG en 1 ^{ste})
- temperatuur	LT
Ventilatie	Natuurlijke toe- en afvoer
- uitvoering	standaard
Warm tapwater	Gasgestookt toestel
- capaciteit	CW5
Ondersteunende installaties	Douche WTW
- uitvoering	Aangesloten op koudepoort douchemengkraan
Energieopwekking	-
- capaciteit	-
- oppervlak	-

Bijlage 18: Gegevens EPC – Solar concept (Uniec2.2, 2018)

Isolatie	Isolatiewaarden
Rc-waarde begane grond	3,5 m ² K/W
Rc-waarde gevel	4,5 m ² K/W
Rc-waarde dak	6,0 m ² K/W
U-waarde ramen	1,38 W/m ² K
U-waarde voordeur	1,50 W/m ² K
U-waarde dakraam	1,30 W/m ² K

Installaties	Uitvoering
Verwarming	Individueel CV-toestel
- warmtedistributie	Vloer en/of wandverwarming (BGG en 1 ^{ste})
- temperatuur	LT
Ventilatie	Natuurlijke toe- en afvoer
- uitvoering	standaard
Warm tapwater	Zonneboiler met gasgestookte na-verwarming
- capaciteit	CW5
Ondersteunende installaties	Zonneboiler
- uitvoering	Tapwater en verwarming (6,84 m ²)
Energieopwekking	-
- capaciteit	-
- oppervlak	-

Bijlage 19: Gegevens EPC – All electric concept (Uniec2.2, 2018)

Isolatie	Isolatiewaarden
Rc-waarde begane grond	3,5 m ² K/W
Rc-waarde gevel	4,5 m ² K/W
Rc-waarde dak	6,0 m ² K/W
U-waarde ramen	1,38 W/m ² K
U-waarde voordeur	1,50 W/m ² K
U-waarde dakraam	1,30 W/m ² K

Installaties	Uitvoering
Verwarming	Elektrische warmtepomp-lucht gesloten systeem
- warmtedistributie	Vloer en/of wandverwarming (BGG en 1 ^{ste})
- temperatuur	LT
Ventilatie	Natuurlijke toevoer, mechanische afvoer
- uitvoering	Luchtdrukgestuurde toevoer, CO ₂ -sturing op afvoer VG met open KK, zonder zonerig
Warm tapwater	Elektrische warmtepomp
- capaciteit	CW4
Ondersteunende installaties	-
- uitvoering	-
Energieopwekking	Photo Voltaïsche panelen (1 paneel is 1,65 m ²)
- capaciteit	150 Wattpiek per paneel
- oppervlak	'Tussenwoning' (TW): 1,65 m ² 'Hoekwoning' (HW): 1,65 m ²

Bijlage 20: Gegevens EPC – Passief concept (Uniec2.2, 2018)

Isolatie	Isolatiewaarden
Rc-waarde begane grond	6,5 m ² K/W
Rc-waarde gevel	9.0 m ² K/W
Rc-waarde dak	10,0 m ² K/W
U-waarde ramen	1,00 W/m ² K
U-waarde voordeur	1,00 W/m ² K
U-waarde dakraam	1,00 W/m ² K

Installaties	Uitvoering
Verwarming	Individueel CV-toestel
- warmteditributie	Vloer en/of wandverwarming (BGG en 1 ^{ste})
- temperatuur	LT
Ventilatie	Mechanische toe- en afvoer
- uitvoering	standaard
Warm tapwater	Gasgestookt toestel
- capaciteit	CW4
Ondersteunende installaties	-
- uitvoering	-
Energieopwekking	-
- capaciteit	-
- oppervlak	-

Bijlage 21a: Werkblad 'Samenvatting EPC' voor de hoofdconcepten

		1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
Oppervlakt	totale gebruiksoppervlakte	m ²	124,3	124,3	124,3	124,3	124,3	124,3	124,3	124,3
	totale verliesoppervlakte	m ²	164,54	164,54	164,54	164,54	164,54	164,54	164,54	164,54
Jaartijks hoeveelheid primaire energie voor de energiefunctie										
Verwarming (excl. hulpenergie)	MJ	6.357	11.218	6.258	11.852	7.863	7.444	14.761	6.190	3.878
E _{verwarming} (1 MJ = 0,278 kWh)	kWh	1.765,83	3.116,11	2.253,89	3.292,22	2.184,17	2.067,78	4.100,28	1.716,67	1.077,22
Warmtapwater (excl. hulpenergie)	MJ	7.021	7.545	8.336	7.886	6.759	7.678	2.739	12.094	11.598
E _{warmtapwater} (1 MJ = 0,278 kWh)	kWh	1.950,28	2.095,83	2.315,56	2.190,56	1.877,50	2.132,78	760,83	3.356,67	3.221,67
Hulpenergie verwarming	MJ	523	379	358	362	341	506	378	1.081	327
Hulpenergie warmtapwater	MJ	0	0	0	0	0	0	512	0	0
Hulpenergie koeling	MJ	0	0	0	0	0	0	512	0	0
E _{hulp} totaal (1 MJ = 0,278 kWh)	kWh	523	379	358	362	341	506	1.402	1.081	327
E _{hulp} totaal (1 MJ = 0,278 kWh)	kWh	145,28	105,28	99,44	100,56	94,72	140,56	389,44	300,28	90,83
Koeling (excl. hulpenergie)	MJ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zomercomfort	MJ	598	1.783	829	1.981	559	1.655	587	642	704
Ventilatoren	MJ	411	411	1293	411	1293	411	411	411	1293
Verlichting	MJ	5.728	5.728	5.728	5.728	5.728	5.728	5.728	5.728	5.728
- correctie verlichting (valt niet binnen EPV regeling)	MJ	-5.728	-5.728	-5.728	-5.728	-5.728	-5.728	-5.728	-5.728	-5.728
E _{apparaten} totaal (1 MJ = 0,278 kWh)	kWh	1.009	2.194	2.122	2.392	1.852	2.066	996	1.053	1.997
E _{apparaten} totaal (1 MJ = 0,278 kWh)	kWh	280,28	609,44	589,44	664,44	514,44	573,89	277,22	292,50	554,72
Geëxporteerde elektriciteit	MJ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Op eigen perceel opgewekte en verbruikte elektriciteit in het gebied opgewekte elektriciteit	MJ	-10.450	8.143	5.700	2.036	0	0	0	2.714	0
E _{gebruik} totaal (1 MJ = 0,278 kWh)	kWh	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aardgasgebruik (exclusief koken)										
Gebouwonafhankelijke installaties	m ³ aeq	0	534	472	561	416	244	498	0	440
E _{aardgas} totaal (1 m ³ = 35,17 MJ)	MJ	0,00	18.780,78	16.600,24	19.730,37	14.630,72	8.581,48	17.514,66	0,00	15.474,80
E _{aardgas} totaal (1 MJ = 0,278 kWh)	kWh	0,00	5.216,88	4.611,16	5.480,66	4.064,09	2.383,74	4.865,18	0,00	4.296,56
Elektriciteitsgebruik										
Gebouwonafhankelijke installaties	kWh	2.239	901	891	920	859	1.610	826	2.835	874
Niet-gebouwonafhankelijke apparatuur (steipost)	kWh	3.484	3.484	3.484	3.484	3.484	3.484	3.484	3.484	3.484
Op eigen perceel opgewekte verbruikte elektriciteit	kWh	1.134	864	616	221	0	0	0	221	0
Geëxporteerde elektriciteit	kWh	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO₂-emissie										
CO ₂ -emissie	kg	624	959	993	1.394	1.225	1.344	1.352	1.476	1.277
Energieprestatie										
Specifieke energieprestatie	MJ/m ²	62	152	154	211	181	188	202	194	189
Karakteristiek energiegebruik	MJ	10.189	18.922	19.102	26.185	22.543	23.423	25.117	24.090	23.528
- toelaatbaar karakteristiek energiegebruik	MJ	27.068	27.068	27.068	27.068	27.068	27.068	27.068	27.068	27.068
Energieprestatiecoëfficiënt	0,000	0,151	0,250	0,283	0,387	0,347	0,347	0,372	0,366	0,348
Energieprestatiecoëfficiënt (als EPC ≤ 0,40)	0,00	0,16	0,28	0,29	0,39	0,34	0,35	0,38	0,36	0,35
BENG indicatoren										
- energiebehoefte	kWh/m ²	32,80	29,10	20,20	31,00	18,60	36,50	33,70	27,00	10,30
- primair energiegebruik	kWh/m ²	10,00	37,10	34,30	45,70	37,60	39,50	43,30	41,00	39,80
- aandeel hernieuwbare energie	%	83,00	16,00	13,00	4,00	0,00	0,00	27,00	45,00	0,00

		1.0H	2.0H	3.0H	4.0H	5.0H	6.0H	7.0H	8.0H	9.0H
Oppervlakt	totale gebruiksoppervlakte	m ²	124,3	124,3	124,3	124,3	124,3	124,3	124,3	124,3
	totale verliesoppervlakte	m ²	233,8	233,8	233,8	233,8	233,8	233,8	233,8	233,8
Jaartijks hoeveelheid primaire energie voor de energiefunctie										
Verwarming (excl. hulpenergie)	MJ	8.398	15.713	12.506	16.203	12.404	8.352	16.467	9.274	6.794
E _{verwarming} (1 MJ = 0,278 kWh)	kWh	2.332,22	4.364,72	3.473,89	4.500,83	3.445,56	2.320,00	4.574,17	2.576,11	1.887,22
Warmtapwater (excl. hulpenergie)	MJ	7.318	7.866	8.105	7.678	6.577	7.678	3.211	12.084	11.276
E _{warmtapwater} (1 MJ = 0,278 kWh)	kWh	2.032,78	2.190,56	2.251,39	2.132,78	1.826,94	2.132,78	891,94	3.356,67	3.132,22
Hulpenergie verwarming	MJ	568	411	388	386	365	518	387	1.135	347
Hulpenergie warmtapwater	MJ	0	0	0	0	0	0	512	0	0
Hulpenergie koeling	MJ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E _{hulp} totaal (1 MJ = 0,278 kWh)	kWh	568	411	388	386	365	518	899	1.135	347
E _{hulp} totaal (1 MJ = 0,278 kWh)	kWh	156,94	114,17	107,78	107,22	101,39	143,89	249,72	315,28	96,39
Koeling (excl. hulpenergie)	MJ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zomercomfort	MJ	1.859	1.974	2.458	1.940	644	1.953	732	772	744
Ventilatoren	MJ	411	411	1.293	411	1.293	411	411	411	1.293
Verlichting	MJ	5.728	5.728	5.728	5.728	5.728	5.728	5.728	5.728	5.728
- correctie verlichting (valt niet binnen EPV regeling)	MJ	-5.728	-5.728	-5.728	-5.728	-5.728	-5.728	-5.728	-5.728	-5.728
E _{apparaten} totaal (1 MJ = 0,278 kWh)	kWh	2.270	2.385	2.351	2.394	1.937	2.394	1.143	1.183	2.037
E _{apparaten} totaal (1 MJ = 0,278 kWh)	kWh	630,56	662,50	1.041,34	653,06	538,06	665,00	317,50	328,61	565,83
Geëxporteerde elektriciteit	MJ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Op eigen perceel opgewekte en verbruikte elektriciteit in het gebied opgewekte elektriciteit	MJ	11.196	8.143	6.107	4.071	0	0	0	2.036	0
E _{gebruik} totaal (1 MJ = 0,278 kWh)	kWh	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aardgasgebruik (exclusief koken)										
Gebouwonafhankelijke installaties	m ³ aeq	0	671	586	679	540	254	560	0	514
E _{aardgas} totaal (1 m ³ = 35,17 MJ)	MJ	0,00	23.599,07	20.609,62	23.880,43	18.991,80	8.933,18	19.695,20	0,00	18.077,38
E _{aardgas} totaal (1 MJ = 0,278 kWh)	kWh	0,00	6.555,30	5.724,89	6.633,45	5.275,50	2.481,44	5.470,89	0,00	5.021,49
Elektriciteitsgebruik										
Gebouwonafhankelijke installaties	kWh	2.634	925	1.071	919	871	1.709	643	3.191	880
Niet-gebouwonafhankelijke apparatuur (steipost)	kWh	3.484	3.484	3.484	3.484	3.484	3.484	3.484	3.484	3.484
Op eigen perceel opgewekte verbruikte elektriciteit	kWh	1.215	864	663	442	0	0	0	221	0
Geëxporteerde elektriciteit	kWh	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO₂-emissie										
CO ₂ -emissie	kg	802	1.217	1.273	1.478	1.453	1.417	1.472	1.677	1.412
Energieprestatie										
Specifieke energieprestatie	MJ/m ²	105	193	196	227	217	198	221	220	211
Karakteristiek energiegebruik	MJ	13.080	23.980	24.370	28.275	27.011	24.670	27.449	27.368	26.182
- toelaatbaar karakteristiek energiegebruik	MJ	29.549	29.549	29.549	29.549	29.549	29.549	29.549	29.549	29.549
Energieprestatiecoëfficiënt	0,000	0,178	0,325	0,330	0,383	0,366	0,334	0,372	0,371	0,355
Energieprestatiecoëfficiënt (als EPC ≤ 0,40)	0,00	0,18	0,33	0,33	0,39	0,37	0,34	0,38	0,38	0,36
BENG indicatoren										
- energiebehoefte	kWh/m ²	48,10	39,40	33,70	40,40	28,70	39,70	44,20	38,00	16,80
- primair energiegebruik	kWh/m ²	16,40	48,10	44,30	52,20	47,60	42,30	48,50	48,40	45,70
- aandeel hernieuwbare energie	%	79,00	13,00	11,00	6,00	0,00	0,00	34,00	46,00	0,00

Bijlage 21b: Werkblad 'Samenvatting EPC' voor concept 1.0

UNIEC2.2 - EPC samenvatting			1.0
	Oppervlaktan		
	totale gebruiksoppervlakte	m ²	124,3
	totale verliesoppervlakte	m ²	164,5
	Jaarlijkse hoeveelheid primaire energie voor de energiefunctie		
	Verwarming (excl. hulpenergie)	MJ	6.357
	E _{verwarming} (1 MJ = 0,278 kWh)	kWh	1.765,83
	Warmtapwater (excl. hulpenergie)	MJ	7.021
	E _{tapwater} totaal (1 MJ = 0,278 kWh)	kWh	1.950,28
	Hulpenergie verwarming	MJ	523
	Hulpenergie warmtapwater	MJ	0
	Hulpenergie koeling	MJ	0
	E _{hulp totaal}	MJ	523
	E _{hulp totaal} (1 MJ = 0,278 kWh)	kWh	145,28
	Koeling (excl. hulpenergie)	MJ	0
	Zomercomfort	MJ	598
	Ventilatoren	MJ	411
	Verlichting	MJ	5.728
	- correctie verlichting (valt niet binnen EPV regeling)	MJ	-5.728
	E _{apparaten totaal}	MJ	1009
	E _{apparaten totaal} (1 MJ = 0,278 kWh)	kWh	280,28
	Geexporteerde elektriciteit	MJ	0
	Op eigen perceel opgewekte en verbruikte elektriciteit	MJ	-10.450
	In het gebied opgewekte elektriciteit	MJ	0
	Aardgasgebruik (exclusief koken)		
	Gebouwgebonden installaties	m ³ aeq	0
	E _{aardgas totaal} (1 m ³ = 35,17 MJ)	MJ	0,00
	E _{aardgas totaal} 1 MJ = 0,278 kWh	kWh	0,00
	Elektriciteitsgebruik		
	Gebouwgebonden installaties	kWh	2.239
	Niet-gebouwgebonden apparatuur (steipost)	kWh	3.484
	Op eigen perceel opgewekte verbruikte elektriciteit	kWh	1.134
	Geexporteerde elektriciteit	kWh	0
	CO₂-emissie		
	CO ₂ -emissie	kg	624
	Energieprestatie		
	Specifieke energieprestatie	MJ/m ²	82
	Karakteristiek energiegebruik	MJ	10.189
	- toelaatbaar karakteristiek energiegebruik	MJ	27.068
	Energieprestatiecoëfficiënt	0,000	0,151
	Energieprestatiecoëfficiënt (als EPC ≤ 0,40)	0,00	0,16
	BENG indicatoren		
	- energiebehoefte	kWh/m ²	32,80
	- primair energiegebruik	kWh/m ²	10,00
	- aandeel hernieuwbare energie	%	83,00

Bijlage 21c: Werkblad 'Samenvatting EPV' voor concept 1.0

		1.0
1	Stap 1: Is de warmtevraag van de woning $\leq 50 \text{ kWh/m}^2$?	
	Netto warmtevraag woning per jaar	kWh 1.765,83
	Oppervlakte	m ² 124,30
	Netto warmtevraag woning per m ²	kWh/m ² 14,21
	Eis: netto warmtevraag woning $\leq 50 \text{ kWh/m}^2$ per jaar (1 = ja, 0 = nee)	0/1 1,00
2a	Stap 2: Wat is de minimaal duurzaam op te wekken energie?	
	Netto warmtevraag (o.b.v. rendement warmteopwekker)	kWh/m ² 14,21
	Rendement van de warmteopwekker voor bereiding warmtapwater (reeds incl. in EPC berekening)	% 1,00
	Minimaal duurzaam op te wekken energie (warmtevraag)	kWh/m ² 14,21
	Minimaal duurzaam op te wekken $E_{\text{warmtapwater}}$ betreft maximaal 15 kWh/m ²	kWh/m ² 15,00
	Rendement van de warmteopwekker voor bereiding warmtapwater	% 3,55
	Minimaal duurzaam op te wekken energie (warmtapwater)	kWh/m ² 4,23
	Minimaal duurzaam op te wekken energie (koken, alleen bij gasaangesloten woningen)	kWh/m ² 4,60
	Duurzaam op te wekken energie verwarming, warm tapwater en koken	kWh/m ² 23,03
	Totaal gebruiksoppervlak	m ² 124,30
	Duurzaam op te wekken energie verwarming, warm tapwater en koken	kWh 2.862,82
	Correctiefactor i.v.m. hoger primair energie van aardgas	2,14
	Minimaal duurzaam op te wekken energie t.b.v. $E_{\text{verwarming}} + E_{\text{warm tapwater}} + E_{\text{koken}}$	kWh 2.862,82
2b	Minimaal duurzaam op te wekken energie t.b.v. E_{aardg}	kWh 145,28
	Duurzaam op te wekken energie t.b.v. E_{gebruik}	kWh/m ² 26,00
	Totaal gebruiksoppervlak	m ² 124,30
	Duurzaam op te wekken energie t.b.v. E_{gebruik} (volgens EPC)	kWh 3.231,80
	Minimaal duurzaam op te wekken energie t.b.v. E_{gebruik} (volgens EPV-regeling)	kWh 1.800,00
	Maximaal duurzaam op te wekken energie t.b.v. E_{gebruik} (volgens EPV-regeling)	kWh 2.600,00
	Duurzaam op te wekken energie t.b.v. E_{gebruik} (volgens EPV-regeling)	kWh 2.600,00
	Minimaal duurzaam op te wekken energie E_{aardg} en E_{gebruik}	kWh 2.745,28
2a + 2b	Totaal duurzaam op te wekken energie	kWh 5.608,10
3	Stap 3: Hoeveel duurzame energie dient er te worden toegevoegd?	
	Totaal duurzaam op te wekken energie	kWh 5.608,10
	Hoeveelheid reeds aanwezige duurzame energie vanuit EPC (aantal panelen x ... Wp x 90% rendement)	kWh 1.225,13
	Resteert nog toe te voegen duurzame energie	kWh 4.382,98
	Opwekking duurzame energie middels PV panelen (275 Wp, 1,65 m ² per paneel)	pnl 15,94
	Verhoging aantal panelen i.v.m. rendement < 100%	0,90 17,71
	Aantal jaren degradatie (maximaal 15 jaar x 0,50%)	5,00 5,00
	Impact degradatie per jaar op extra benodigde PV-panelen t.b.v. EPV regeling	0,50% 18,16
	Impact degradatie per jaar op basis hoeveelheid PV-panelen t.b.v. EPV regeling	0,50% 0,08
		Totaal benodigd extra PV-panelen incl. degradatie opbrengst t.b.v. EPV regeling
4	Stap 4: Wat is de hoogte van de EPV?	
	Woningen welke zelf energie opwekken	€/m ² /mnd
	Categorie 1a (van 0 tot en met 30)	€ 1,42 1
	Categorie 2 (van 31 tot en met 40)	€ 1,22 0
	Categorie 3 (van 41 tot en met 50)	€ 1,02 0
	Woningen welke zijn aangesloten op een warmtenet	€/m ² /mnd
	Niet van toepassing in deze thes	
	Woningen welke zijn aangesloten op een gasnet	€/m ² /mnd
	Categorie 1a (van 0 tot en met 15)	€ 1,17
	Categorie 1b (van 16 tot en met 30)	€ 1,07
Categorie 2 (van 31 tot en met 40)	€ 0,86	
Categorie 3 (van 41 tot en met 50)	€ 0,61	
	Categorie EPV (peildatum 1 juli 2018)	€ 1,42
	Gebruiksoppervlak	m ² 124,30
	EPV per maand	€/mnd € 176,51
	EPV per jaar	€/jr 2.118,07

Bijlage 22a: Huurprijscheck volgens huurcommissie

Vertrek	Oppervlakte
Woonkamer met open keuken	10,05 (keuken) + 24,69 (woonkamer) – 0,24 (schacht) = 34,50 m ²
Slaapkamer 3	5,23 (slaapkamer) + 0,28 (kast) = 5,51 m ²
Slaapkamer 2	9,05 m ²
Slaapkamer 1	14,80 m ²
Badkamer	5,24 (badkamer) – 0,24 (schacht) = 5,00 m ²
Zolderberging	29,58 m ²
Ruimtes welke verwarmd worden	1 stuk (hal ter plaatse bij entree)
Achtertuint	5,4 x 5 meter = 27 m ²
Carport	Nee
WOZ-waarde	TW: € 200.000 HW: € 220.000
WOZ-waarde in COROP gebieden	Nee
Hoog niveau renovatie	Nee
Renovatie	Nee
Videofoon	Nee
Verwarming	Centrale verwarming
Woonvorm	Eengezinswoning
Energieprestatie	Energie Index
	Berekening 1: Energieprestatievergoeding of Berekening 2: EI ≤ 0,6 (dus zonder EPV)
Monument	Geen monument
Aanrecht in keuken	Langer dan 2 meter
	Inbouw koel- vriescombinatie
	Inbouw kookplaat (gas / elektrisch)
	Inbouw magnetron / oven
	Afzuigkap
Extra wandtegels	0 m ²
Extra vloertegels	0 m ²
Extra luxe in keuken	0 punten
Aantal toiletten	2 stuks (inclusief in badkamer)
Aantal wastafels	1 stuk
Badkamer met toilet	Bad en aparte douche
Extra voorzieningen	Thermostatische watermengkraan (2 stuks)
Extra tegelwerk	Van 1.500 mm tot plafond op 2.600 mm (badkamer): 9,24 m ² Van 1.800 mm tot plafond op 2.600 mm (douchehoek): 1,60 m ²
Luxe uitvoering	0 punten
Gemeenschappelijke vertrekken of ruimten	0 m ²
Zorgwoning	Nee
Voorzieningen voor gehandicapten	Nee
Totaal aantal punten bij EPV van toepassing	'Tussenwoning': 204 punten 'Hoekwoning': 210 punten
Maximale kale huurprijs	'Tussenwoning': € 1.035,18 per maand 'Hoekwoning': € 1.066,75 per maand
Totaal aantal punten <u>zonder</u> EPV van toepassing	'Tussenwoning': 216 punten 'Hoekwoning': 218 punten
Maximale kale huurprijs	'Tussenwoning': € 1.098,27 per maand 'Hoekwoning': € 1.108,78 per maand

Invoergegevens referentiewoning op www.huurcommissie.nl

Bijlage 22b: Maximale huurprijzen voor zelfstandige woonruimten

Maximale huurprijsgrenzen voor zelfstandige woonruimten per 1 juli 2018

punten	bedrag	punten	bedrag	punten	bedrag	punten	bedrag	punten	bedrag
40	191,65	82	393,71	124	614,57	166	835,38	208	1056,22
41	196,44	83	398,97	125	619,82	167	840,63	209	1061,47
42	201,22	84	404,21	126	625,06	168	845,88	210	1066,75
43	206,01	85	409,5	127	630,32	169	851,18	211	1072,08
44	210,79	86	414,76	128	635,62	170	856,42	212	1077,24
45	215,57	87	420	129	640,82	171	861,67	213	1082,5
46	220,39	88	425,27	130	646,1	172	866,92	214	1087,75
47	225,16	89	430,51	131	651,36	173	872,2	215	1093,01
48	229,97	90	435,79	132	656,6	174	877,43	216	1098,27
49	234,76	91	441,03	133	661,88	175	882,7	217	1103,54
50	239,54	92	446,28	134	667,12	176	887,95	218	1108,78
51	244,3	93	451,56	135	672,41	177	893,21	219	1114,05
52	249,12	94	456,8	136	677,63	178	898,48	220	1119,33
53	253,89	95	462,06	137	682,91	179	903,73	221	1124,55
54	258,7	96	467,32	138	688,18	180	908,96	222	1129,82
55	263,48	97	472,6	139	693,41	181	914,26	223	1135,08
56	268,3	98	477,84	140	698,67	182	919,51	224	1140,34
57	273,03	99	483,11	141	703,95	183	924,76	225	1145,58
58	277,83	100	488,36	142	709,18	184	930	226	1150,85
59	282,65	101	493,61	143	714,43	185	935,29	227	1156,11
60	287,44	102	498,86	144	719,71	186	940,55	228	1161,37
61	292,2	103	504,13	145	724,98	187	945,79	229	1166,64
62	297,01	104	509,4	146	730,22	188	951,07	230	1171,88
63	301,78	105	514,63	147	735,49	189	956,31	231	1177,13
64	306,58	106	519,91	148	740,74	190	961,57	232	1182,41
65	311,36	107	525,16	149	746	191	966,84	233	1187,66
66	316,17	108	530,41	150	751,25	192	972,08	234	1192,9
67	320,96	109	535,68	151	756,51	193	977,35	235	1198,18
68	325,73	110	540,94	152	761,76	194	982,62	236	1203,43
69	330,51	111	546,21	153	767,02	195	987,87	237	1208,69
70	335,3	112	551,45	154	772,28	196	993,1	238	1213,93
71	340,09	113	556,7	155	777,54	197	998,37	239	1219,21
72	344,9	114	561,98	156	782,78	198	1003,64	240	1224,46
73	349,66	115	567,24	157	788,08	199	1008,88	241	1229,72
74	354,47	116	572,48	158	793,3	200	1014,16	242	1234,99
75	359,25	117	577,74	159	798,59	201	1019,4	243	1240,23
76	364,06	118	582,99	160	803,83	202	1024,66	244	1245,5
77	368,83	119	588,25	161	809,08	203	1029,91	245	1250,76
78	373,64	120	593,51	162	814,36	204	1035,18	246	1256,01
79	378,41	121	598,78	163	819,59	205	1040,44	247	1261,24
80	383,21	122	604,04	164	824,85	206	1045,69	248	1266,54
81	388,45	123	609,29	165	830,12	207	1050,97	249	1271,78
								250	1277,03

De maximale huurprijsgrens van zelfstandige woningen met een kwaliteit van minder dan 40 punten is gelijk aan de maximale huurprijsgrens bij 40 punten: € 191,65 per maand.

(Rijksoverheid, 2018)

Bijlage 23a: Vijf best presterende concepten

Exploitatieperiode (jr.) vs best presterend subconcept in TCO (€)										
1:	8.9	1.438	8.10	1.457	8.5	1.508	8.6	1.527	8.11	1.537
2:	8.9	1.108	8.10	1.136	8.5	1.214	8.6	1.243	8.11	1.257
3:	8.9	848	8.10	832	8.5	937	8.6	976	8.11	995
4:	8.9	563	8.10	543	8.5	678	8.6	727	8.11	751
5:	8.9	294	8.10	354	8.5	437	8.6	497	8.11	527
6:	8.9	44	8.10	116	8.5	216	8.6	287	8.11	323
7:	8.9	- 186	8.10	- 103	8.6	98	8.5	126	8.11	251
8:	8.9	- 398	8.10	- 302	8.5	- 38	8.6	58	8.11	106
9:	8.9	- 588	8.10	- 479	8.5	- 179	8.6	- 70	8.11	- 15
10:	8.9	- 756	8.10	- 634	8.5	- 296	8.6	- 174	8.11	- 112
11:	8.9	- 902	8.10	- 765	8.5	- 389	8.6	- 252	8.11	- 183
12:	8.9	- 825	8.10	- 873	8.5	- 455	8.6	- 304	8.11	- 228
13:	8.9	- 953	8.10	- 786	8.5	- 543	8.6	- 376	8.11	- 293
14:	8.9	- 1.055	8.10	- -872	8.5	- 604	8.6	- 421	8.11	- 329
15:	8.9	- 1.131	8.10	- 931	8.6	- 437	8.5	- 381	8.11	- 81
16:	8.9	- 1.383	8.10	- 1.171	8.5	- 587	8.6	- 374	8.11	- 268
17:	8.9	- 1.610	8.10	- 1.384	8.5	- 765	8.6	- 540	8.11	- 427
18:	8.9	- 1.811	8.10	- 1.572	8.5	- 916	8.6	- 677	8.11	- 558
19:	8.9	- 1.641	8.10	- 1.732	8.5	- 1.037	8.6	- 784	8.11	- 657
20:	8.9	- 1.762	8.10	- 1.863	8.5	- 1.127	8.6	- 859	8.11	- 726
21:	8.9	- 1.853	8.10	- 1.570	8.5	- 1.185	8.6	- 902	8.11	- 761
22:	8.9	- 1.912	8.10	- 1.613	8.5	- 1.211	8.6	- 912	8.11	- 762
23:	8.9	- 1.939	8.10	- 1.623	8.6	- 885	8.5	- 753	8.11	- 279
24:	8.9	- 1.931	8.10	- 1.597	8.5	- 679	8.6	- 346	8.11	- 179
25:	8.9	- 3.467	8.10	- 3.115	8.5	- 2.146	8.6	- 1.794	8.11	- 1.618
26:	8.9	- 3.867	8.10	- 3.495	8.5	- 2.475	8.6	- 2.103	8.11	- 1.918
27:	8.9	- 4.239	8.10	- 3.848	8.5	- 2.773	8.6	- 2.381	8.11	- 2.186
28:	8.9	- 4.020	8.10	- 4.172	8.5	- 3.039	8.6	- 2.627	8.11	- 2.421
29:	8.9	- 4.313	8.10	- 4.465	8.5	- 3.273	8.6	- 2.839	8.11	- 2.623
30:	8.9	- 4.574	8.10	- 4.118	8.5	3.472	8.6	- 3.016	8.11	- 2.788

Uit bovenstaande tabel kan worden afgelezen wat de vijf best presterend concepten aan total cost of ownership opleveren bij een exploitatieperiode van 1 tot en met 30 jaar. Zo geeft concept 8.9 bij een exploitatieperiode van 10 jaar nog een total cost of ownership van € 756, waarbij vast is komen te staan dat de beoogde discontovoet van 5,1% net niet is behaald. Zodra de exploitatietermijn wordt verlengd naar 30 jaar, betreft de total cost of ownership - € 4.574 hetgeen betekent dat naast de beoogde discontovoet van 5,1% tevens nog een extra rendement wordt behaald ter hoogte van € 4.574. Dit bedrag is reeds contact gemaakt naar t = 0.

Bijlage 23b: Vijf minst presterende concepten

Exploitatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)										
1:	7.0	3.156	5.15	3.081	6.16	3.077	7.16	3.048	6.21	3.030
2:	7.0	3.656	5.15	3.580	5.19	3.445	5.23	3.445	7.4	3.429
3:	7.0	4.188	5.15	4.109	5.19	3.926	5.23	3.924	7.4	3.888
4:	7.0	4.753	5.15	4.669	5.19	4.437	5.23	4.432	7.4	4.376
5:	7.0	5.350	5.15	5.262	5.19	4.977	5.23	4.969	7.4	4.893
6:	7.0	6.079	5.15	5.984	5.19	5.645	5.23	5.538	7.4	5.442
7:	7.0	6.762	5.15	6.659	5.19	6.263	5.23	6.138	7.4	6.022
8:	7.0	7.483	5.15	7.371	5.19	6.915	5.23	6.771	7.4	6.635
9:	7.0	8.243	5.15	8.119	5.19	7.602	5.23	7.582	2.8	7.317
10:	7.0	9.043	5.15	8.907	5.19	8.324	5.23	8.302	7.4	8.126
11:	7.0	9.884	5.15	9.734	5.19	9.084	5.23	9.058	7.4	8.862
12:	7.0	10.769	5.15	10.602	5.19	9.881	5.23	9.853	7.4	9.637
13:	7.0	11.647	5.15	11.466	5.19	10.672	5.23	10.639	7.4	10.401
14:	7.0	12.805	5.15	12.610	5.19	11.739	5.23	11.464	7.4	11.204
15:	7.0	13.794	5.15	13.580	5.19	2.630	5.23	12.330	7.4	12.063
16:	7.0	14.681	5.15	14.433	5.19	13.424	5.23	13.106	7.4	12.814
17:	7.0	15.615	5.15	15.330	5.19	14.260	5.23	14.220	7.4	13.620
18:	7.0	16.597	5.15	16.273	5.19	15.139	5.23	15.101	7.4	14.790
19:	7.0	17.629	5.15	17.263	5.19	16.062	5.23	16.027	7.4	15.706
20:	7.0	18.713	5.15	18.303	5.19	17.032	5.23	16.999	7.4	16.669
21:	7.0	20.244	5.15	19.393	5.19	18.049	5.23	18.018	7.4	17.679
22:	7.0	21.463	5.15	20.956	5.19	19.535	5.23	19.086	7.4	18.739
23:	7.0	22.739	5.15	22.181	5.19	20.679	5.23	20.205	7.4	19.850
24:	7.0	24.075	5.15	23.462	5.19	21.877	5.23	21.376	7.4	21.014
25:	7.0	23.890	5.15	23.349	5.19	21.677	5.23	21.653	7.4	20.652
26:	7.0	24.783	5.15	24.282	5.19	22.518	5.23	22.485	2.8	21.580
27:	7.0	25.729	5.15	25.265	5.19	23.407	5.23	23.364	7.4	22.726
28:	7.0	26.728	5.15	26.302	5.19	24.345	5.23	24.291	7.4	23.582
29:	7.0	27.782	5.15	27.393	5.19	25.334	5.23	25.269	7.4	24.487
30:	7.0	28.895	5.15	28.540	5.19	26.374	5.23	26.298	7.4	25.443

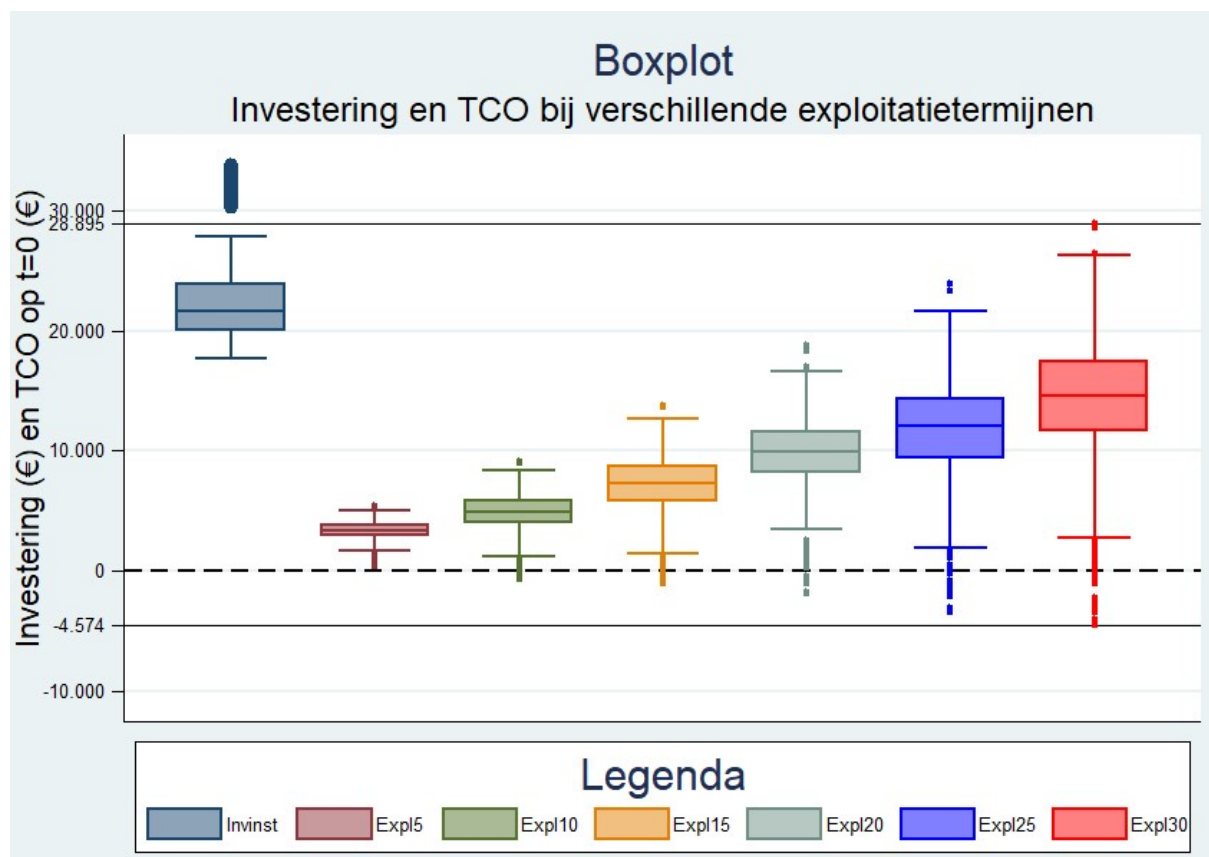
Uit bovenstaande tabel kan worden afgelezen wat de vijf minst presterend concepten aan total cost of ownership opleveren bij een exploitatieperiode van 1 tot en met 30 jaar. Zo geeft concept 7.0 bij een exploitatieperiode van 10 jaar nog een total cost of ownership van € 9.043, waarbij vast is komen te staan dat de beoogde discontovoet van 5,1% niet is behaald. Zodra de exploitatietermijn wordt verlengd naar 30 jaar, betreft de total cost of ownership - € 28.895 hetgeen betekent dat zowel de beoogde discontovoet van 5,1% niet is behaald en tevens nog een verlies wordt gemaakt van € 28.895. Dit bedrag is reeds contact gemaakt naar t = 0.

Bijlage 24a: Summary statistics en boxplot

```
. summarize Invinst Expl1 Expl2 Expl3 Expl4 Expl5 Expl6 Expl7 Expl8 Expl9 Expl10 Expl11 Expl12  
> xpl120 Expl21 Expl22 Expl23 Expl24 Expl25 Expl26 Expl27 Expl28 Expl29 Expl30, separator(10)
```

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Invinst	243	22615.6	3873.37	17649	33705
Expl1	243	2592.588	382.9611	1437.716	3155.985
Expl2	243	2713.803	519.9291	1107.797	3656.48
Expl3	243	2860.983	663.5379	831.5508	4188.319
Expl4	243	3032.616	812.4281	543.3263	4752.555
Expl5	243	3237.945	965.656	294.4324	5350.272
Expl6	243	3472.9	1124.946	44.45844	6079.13
Expl7	243	3739.129	1279.798	-186.4745	6762.386
Expl8	243	4039.275	1436.229	-397.5048	7483.287
Expl9	243	4377.422	1607.293	-587.7439	8243.066
Expl10	243	4754.927	1775.571	-756.2758	9042.989
Expl11	243	5157.105	1948.588	-902.1562	9884.358
Expl12	243	5603.182	2117.851	-872.6795	10768.51
Expl13	243	6048.354	2294.914	-953.0876	11646.62
Expl14	243	6523.347	2479.631	-1055.432	12805.38
Expl15	243	7050.22	2654.89	-1131.168	13793.77
Expl16	243	7439.687	2836.56	-1382.798	14680.71
Expl17	243	7863.962	3022.868	-1609.647	15614.55
Expl18	243	8345.476	3227.226	-1810.622	16596.82
Expl19	243	8860.518	3425.062	-1731.785	17629.07
Expl20	243	9428.374	3646.235	-1862.817	18712.93
Expl21	243	9985.976	3852.697	-1853.023	20243.89
Expl22	243	10590.68	4083.879	-1912.317	21462.52
Expl23	243	11240.83	4289.408	-1938.649	22738.94
Expl24	243	11957.51	4509.56	-1930.677	24074.97
Expl25	243	11478.25	4767.56	-3466.613	23890.45
Expl26	243	11862.36	5001.595	-3866.58	24783.43
Expl27	243	12307.84	5250.778	-4239.442	25728.58
Expl28	243	12788.12	5477.528	-4172.02	26727.63
Expl29	243	13289.09	5712.49	-4465.258	27782.36
Expl30	243	13881.93	5960.891	-4574.432	28894.61

Figuur 82: Beschrijvende statistiek Investering en TCO bij verschillende exploitatietermijnen (Stata, 2018)



Figuur 83: Boxplot Investring en TCO van verschillende exploitatietermijnen (Stata, 2018)

Bijlage 24b: Correlatie investering en TCO op verschillende expl. perioden

```
. correlate Invinst Expl1 Expl2 Expl3 Expl4 Expl5
(obs=243)
```

	Invinst	Expl1	Expl2	Expl3	Expl4	Expl5
Invinst	1.0000					
Expl1	-0.2016	1.0000				
Expl2	-0.2295	0.9878	1.0000			
Expl3	-0.2382	0.9698	0.9957	1.0000		
Expl4	-0.2398	0.9538	0.9885	0.9981	1.0000	
Expl5	-0.2352	0.9399	0.9809	0.9943	0.9987	1.0000

```
. correlate Invinst Expl6 Expl7 Expl8 Expl9 Expl10
(obs=243)
```

	Invinst	Expl6	Expl7	Expl8	Expl9	Expl10
Invinst	1.0000					
Expl6	-0.2278	1.0000				
Expl7	-0.2213	0.9994	1.0000			
Expl8	-0.2142	0.9983	0.9994	1.0000		
Expl9	-0.2060	0.9967	0.9983	0.9993	1.0000	
Expl10	-0.1950	0.9953	0.9971	0.9984	0.9993	1.0000

```
. correlate Invinst Expl11 Expl12 Expl13 Expl14 Expl15
(obs=243)
```

	Invinst	Expl11	Expl12	Expl13	Expl14	Expl15
Invinst	1.0000					
Expl11	-0.1835	1.0000				
Expl12	-0.1746	0.9995	1.0000			
Expl13	-0.1596	0.9987	0.9994	1.0000		
Expl14	-0.1458	0.9979	0.9987	0.9996	1.0000	
Expl15	-0.1354	0.9970	0.9979	0.9989	0.9995	1.0000

```
. correlate Invinst Expl16 Expl17 Expl18 Expl19 Expl20
(obs=243)
```

	Invinst	Expl16	Expl17	Expl18	Expl19	Expl20
Invinst	1.0000					
Expl16	-0.1164	1.0000				
Expl17	-0.0970	0.9992	1.0000			
Expl18	-0.0801	0.9978	0.9991	1.0000		
Expl19	-0.0698	0.9963	0.9980	0.9992	1.0000	
Expl20	-0.0522	0.9947	0.9968	0.9983	0.9993	1.0000

```
. correlate Invinst Expl21 Expl22 Expl23 Expl24 Expl25
(obs=243)
```

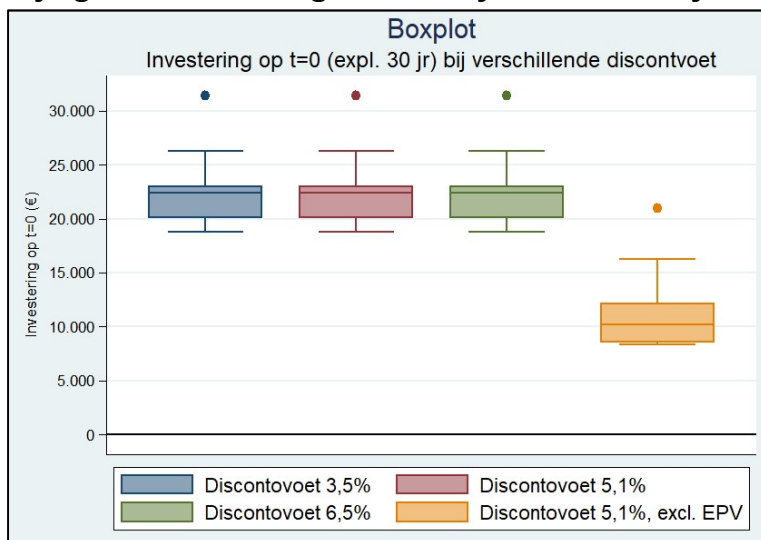
	Invinst	Expl21	Expl22	Expl23	Expl24	Expl25
Invinst	1.0000					
Expl21	-0.0667	1.0000				
Expl22	-0.0821	0.9994	1.0000			
Expl23	-0.0947	0.9986	0.9994	1.0000		
Expl24	-0.1035	0.9975	0.9985	0.9993	1.0000	
Expl25	-0.0800	0.9988	0.9988	0.9986	0.9981	1.0000

```
. correlate Invinst Expl26 Expl27 Expl28 Expl29 Expl30
(obs=243)
```

	Invinst	Expl26	Expl27	Expl28	Expl29	Expl30
Invinst	1.0000					
Expl26	-0.0842	1.0000				
Expl27	-0.0864	0.9994	1.0000			
Expl28	-0.0868	0.9990	0.9995	1.0000		
Expl29	-0.0878	0.9987	0.9993	0.9998	1.0000	
Expl30	-0.0867	0.9983	0.9988	0.9992	0.9995	1.0000

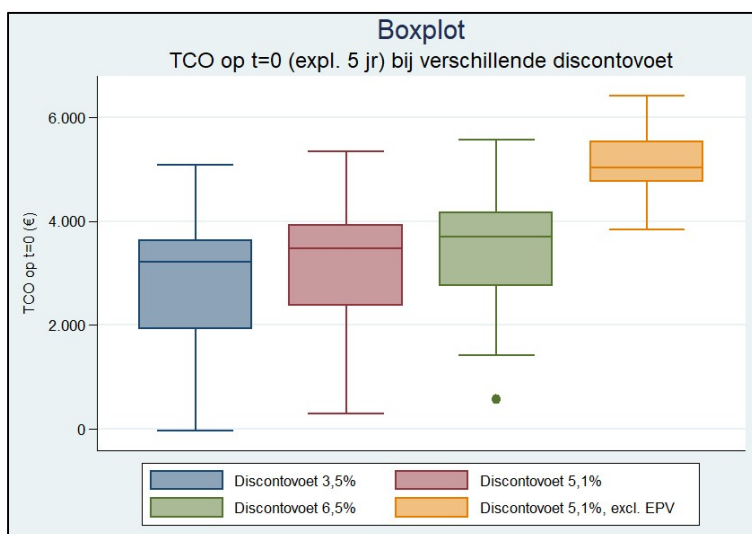
Figuur 84: Correlatie investering en TCO op verschillende exploitatieperioden (Stata, 2018)

Bijlage 25a: Gevoeligheidsanalyse – summary statistics en boxplots



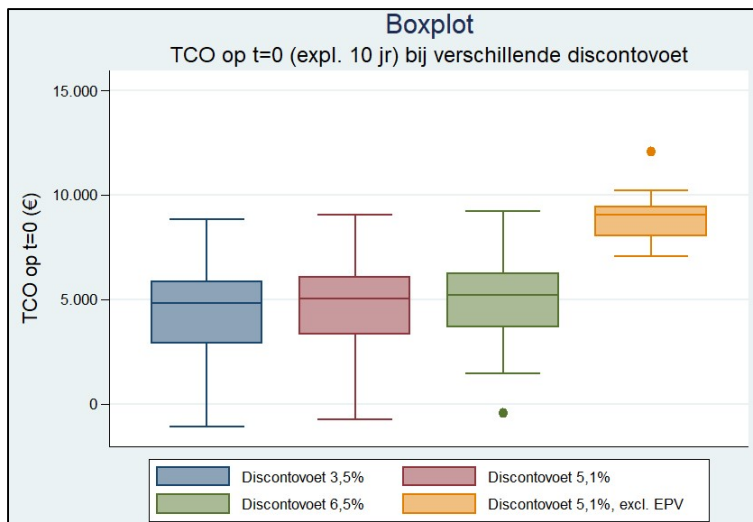
```
summarize InvinstDC35 InvinstDC51 InvinstDC65 InvinstexEPV
```

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
InvinstDC35	10	22830.3	3651.239	18755	31405
InvinstDC51	10	22830.3	3651.239	18755	31405
InvinstDC65	10	22830.3	3651.239	18755	31405
InvinstexEPV	10	11624.9	4061.988	8355	21005



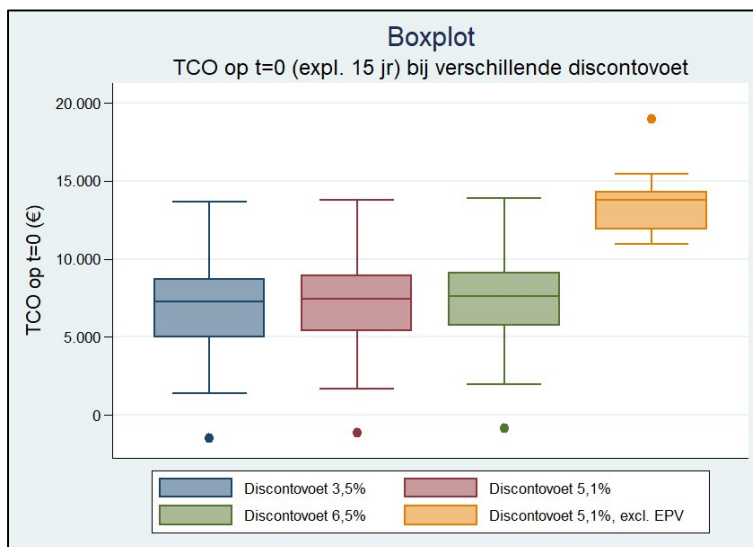
```
summarize Expl5DC35 Expl5DC51 Expl5DC65 Expl5exEPV
```

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Expl5DC35	10	2855.122	1547.758	-31.04341	5084.96
Expl5DC51	10	3159.19	1517.109	294.4324	5350.272
Expl5DC65	10	3417.798	1492.636	571.2015	5575.881
Expl5exEPV	10	5144.379	703.0096	3842.143	6413.15



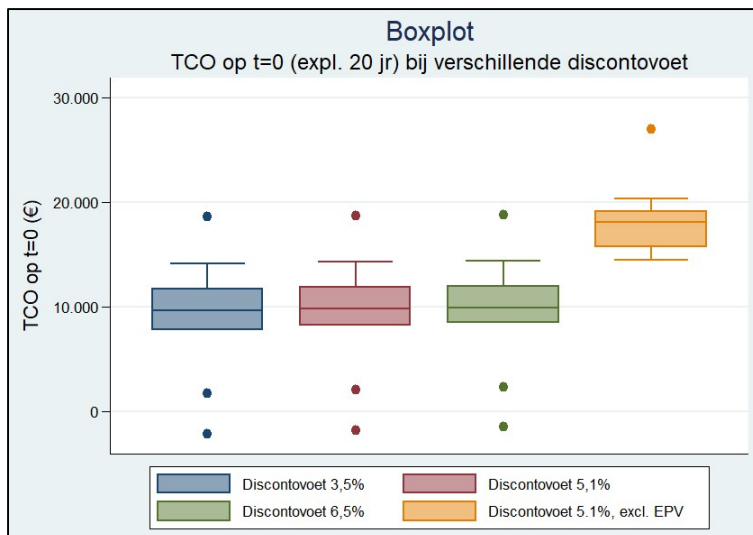
```
summarize Expl10DC35 Expl10DC51 Expl10DC65 Expl10exEPV
```

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Expl10DC35	10	4359.368	2895.076	-1097.995	8828.579
Expl10DC51	10	4643.583	2846.141	-756.2758	9042.989
Expl10DC65	10	4885.304	2805.336	-465.6947	9225.313
Expl10exEPV	10	9054.964	1396.41	7066.88	12088.1



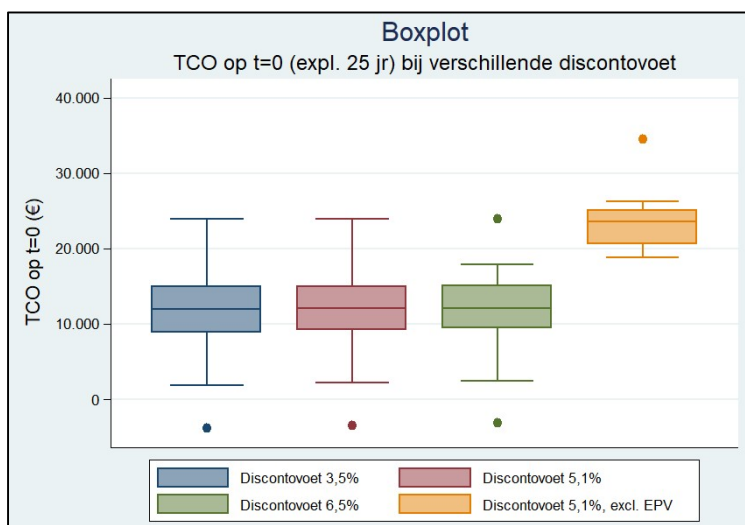
```
summarize Expl15DC35 Expl15DC51 Expl15DC65 Expl15exEPV
```

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Expl15DC35	10	6698.666	4354.994	-1484.865	13646.62
Expl15DC51	10	6950.968	4285.394	-1131.168	13793.77
Expl15DC65	10	7165.467	4226.821	-830.4002	13918.9
Expl15exEPV	10	13739.65	2306.933	10943.01	18959.73



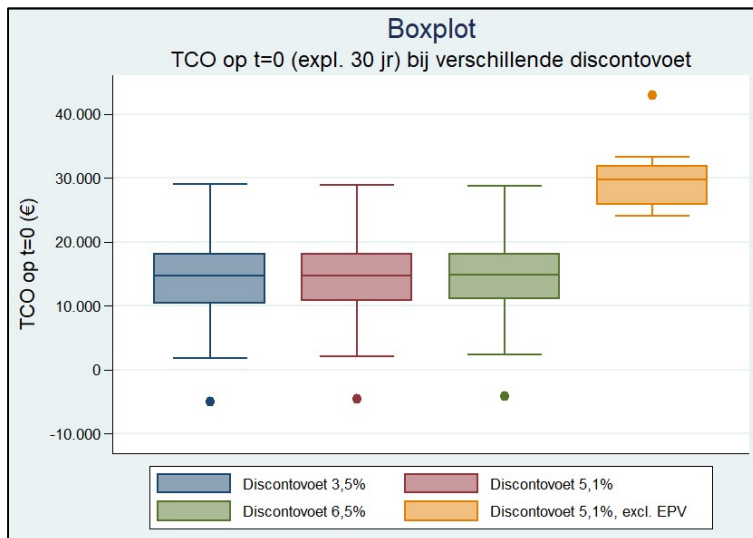
```
summarize Expl20DC35 Expl20DC51 Expl20DC65 Expl20exEPV
```

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Expl20DC35	10	9101.95	5898.984	-2131.704	18641.82
Expl20DC51	10	9321.314	5807.837	-1762.069	18712.93
Expl20DC65	10	9507.813	5730.756	-1447.75	18773.39
Expl20exEPV	10	18351.13	3572.609	14511.6	27022.89



```
summarize Expl25DC35 Expl25DC51 Expl25DC65 Expl25exEPV
```

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Expl25DC35	10	11182.21	7806.948	-3844.047	23911.75
Expl25DC51	10	11356.57	7686.461	-3466.613	23890.45
Expl25DC65	10	11504.69	7584.455	-3145.661	23872.34
Expl25exEPV	10	23788.08	4475.05	18836.51	34477.71



```
summarize Expl30DC35 Expl30DC51 Expl30DC65 Expl30exEPV
```

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Expl30DC35	10	13596.06	9674.349	-4975.175	28993.27
Expl30DC51	10	13736.58	9524.03	-4574.432	28894.61
Expl30DC65	10	13856.17	9396.423	-4233.659	28810.71
Expl30exEPV	10	30041.75	5547.757	24036.53	42947.44

Bijlage 25b: Gevoeligheidsanalyse - discontovoet 3,5%

Exploitatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)										Concept 1.0	
1:	1.771	6:	2.038	11:	3.163	16:	5.411	21:	8.041	26:	8.895
2:	1.745	7:	2.187	12:	3.510	17:	5.930	22:	8.747	27:	9.029
3:	1.797	8:	2.373	13:	4.072	18:	6.500	23:	9.112	28:	9.783
4:	1.845	8:	2.596	14:	4.483	19:	7.125	24:	9.531	29:	10.046
5:	1.924	10:	2.859	15:	4.942	20:	7.805	25:	8.810	30:	10.366
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										31.405	

Exploitatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)										Concept 2.0	
1:	2.346	6:	3.287	11:	4.819	16:	7.021	21:	9.219	26:	11.388
2:	2.473	7:	3.541	12:	5.209	17:	7.393	22:	10.188	27:	11.726
3:	2.671	8:	3.820	13:	5.799	18:	7.797	23:	10.802	28:	12.667
4:	2.853	8:	4.125	14:	6.224	19:	8.236	24:	11.459	29:	13.102
5:	3.058	10:	4.458	15:	6.681	20:	8.709	25:	11.084	30:	13.576
Investerings (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										18.755	

Exploitatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)										Concept 3.0	
1:	2.515	6:	3.986	11:	6.362	16:	9.151	21:	12.446	26:	15.494
2:	2.756	7:	4.363	12:	6.920	17:	9.653	22:	13.178	27:	16.062
3:	3.024	8:	4.771	13:	7.471	18:	10.192	23:	13.956	28:	16.675
4:	3.317	8:	5.209	14:	8.060	19:	10.771	24:	14.782	29:	17.335
5:	3.637	10:	5.839	15:	8.687	20:	11.758	25:	14.969	30:	18.043
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										20.085	

Exploitatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)										Concept 4.0	
1:	2.442	6:	3.684	11:	5.592	16:	8.234	21:	11.262	26:	13.179
2:	2.623	7:	4.006	12:	6.264	17:	8.685	22:	11.936	27:	13.622
3:	2.878	8:	4.357	13:	6.747	18:	9.173	23:	12.654	28:	14.672
4:	3.121	8:	4.738	14:	7.264	19:	9.699	24:	13.418	29:	15.221
5:	3.389	10:	5.149	15:	7.818	20:	10.631	25:	12.776	30:	15.815
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										20.039	

Exploitatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)										Concept 5.0	
1:	2.555	6:	3.969	11:	6.152	16:	9.151	21:	12.047	26:	14.661
2:	2.764	7:	4.338	12:	6.697	17:	9.645	22:	12.763	27:	15.224
3:	2.999	8:	4.739	13:	7.240	18:	10.180	23:	13.528	28:	15.836
4:	3.263	8:	5.175	14:	7.822	19:	10.757	24:	14.821	29:	16.498
5:	3.632	10:	5.645	15:	8.698	20:	11.379	25:	14.144	30:	17.824
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										22.701	

Exploitatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)										Concept 6.0	
1:	2.684	6:	4.598	11:	7.571	16:	11.071	21:	14.962	26:	18.433
2:	3.003	7:	5.081	12:	8.269	17:	11.677	22:	15.838	27:	19.186
3:	3.353	8:	5.602	13:	8.971	18:	12.328	23:	16.768	28:	19.994
4:	3.735	8:	6.159	14:	9.717	19:	13.026	24:	17.755	29:	20.858
5:	4.149	10:	6.915	15:	10.509	20:	14.140	25:	17.733	30:	21.782
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										22.969	

Exploitatatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)										Concept 7.0	
1:	2.857	6:	5.819	11:	9.683	16:	14.547	21:	20.190	26:	24.819
2:	3.365	7:	6.513	12:	10.581	17:	15.496	22:	21.428	27:	25.778
3:	3.905	8:	7.245	13:	11.472	18:	16.493	23:	22.724	28:	26.793
4:	4.478	8:	8.016	14:	12.643	19:	17.541	24:	24.081	29:	27.864
5:	5.085	10:	8.829	15:	13.647	20:	18.642	25:	23.912	30:	28.993
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										22.513	

Exploitatatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)										Concept 8.0	
1:	1.344	6:	735	11:	915	16:	1.597	21:	1.922	26:	1.817
2:	1.179	7:	683	12:	1.020	17:	1.593	22:	2.097	27:	1.749
3:	1.035	8:	780	13:	1.107	18:	1.622	23:	2.313	28:	1.718
4:	912	8:	796	14:	1.227	19:	1.685	24:	3.049	29:	1.728
5:	812	10:	841	15:	1.380	20:	1.785	25:	1.922	30:	1.778
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										- 22.219	

Exploitatatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)										Concept 8.9	
1:	1.136	6:	- 285	11:	- 1.246	16:	- 1.740	21:	- 2.224	26:	- 4.250
2:	801	7:	- 519	12:	- 1.174	17:	- 1.971	22:	- 2.284	27:	- 4.629
3:	531	8:	- 734	13:	- 1.304	18:	- 2.175	23:	- 2.311	28:	- 4.412
4:	241	8:	- 927	14:	- 1.408	19:	- 2.008	24:	- 2.303	29:	- 4.710
5:	- 31	10:	- 1.098	15:	- 1.485	20:	- 2.132	25:	- 3.844	30:	- 4.975
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										21.349	

Exploitatatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)										Concept 9.0	
1:	2.533	6:	3.054	11:	4.495	16:	6.395	21:	8.819	26:	10.708
2:	2.584	7:	3.350	12:	4.869	17:	6.718	22:	9.384	27:	11.146
3:	2.661	8:	3.586	13:	5.244	18:	7.400	23:	9.998	28:	11.632
4:	2.764	8:	3.855	14:	5.657	19:	7.829	24:	10.663	29:	12.169
5:	2.895	10:	4.157	15:	6.110	20:	8.301	25:	10.317	30:	12.759
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										26.268	

Bijlage 25c: Gevoeligheidsanalyse - discontovoet 6,5%

Exploitatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)										Concept 1.0	
1:	2.595	6:	2.865	11:	3.959	16:	6.154	21:	8.710	26:	9.517
2:	2.569	7:	3.010	12:	4.296	17:	6.659	22:	9.408	27:	9.649
3:	2.631	8:	3.190	13:	4.853	18:	7.213	23:	9.762	28:	10.392
4:	2.677	8:	3.408	14:	5.253	19:	7.820	24:	10.170	29:	10.647
5:	2.755	10:	3.663	15:	5.699	20:	8.481	25:	9.435	30:	10.959
Investerings (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										31.405	

Exploitatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)										Concept 2.0	
1:	2.797	6:	3.723	11:	5.212	16:	7.363	21:	9.499	26:	11.584
2:	2.921	7:	3.970	12:	5.591	17:	7.724	22:	10.452	27:	11.913
3:	3.124	8:	4.241	13:	6.175	18:	8.117	23:	11.049	28:	12.838
4:	3.301	8:	4.537	14:	6.588	19:	8.543	24:	11.687	29:	13.261
5:	3.501	10:	4.861	15:	7.033	20:	9.004	25:	11.289	30:	13.722
Investerings (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										18.755	

Exploitatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)										Concept 3.0	
1:	3.010	6:	4.439	11:	6.759	16:	9.471	21:	12.684	26:	15.623
2:	3.245	7:	4.806	12:	7.302	17:	9.958	22:	13.395	27:	16.175
3:	3.504	8:	5.202	13:	7.838	18:	10.482	23:	14.151	28:	16.771
4:	3.789	8:	5.628	14:	8.410	19:	11.045	24:	14.954	29:	17.412
5:	4.100	10:	6.251	15:	9.019	20:	12.015	25:	15.113	30:	18.100
Investerings (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										20.085	

Exploitatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)										Concept 4.0	
1:	2.926	6:	4.145	11:	5.999	16:	8.578	21:	11.532	26:	13.361
2:	3.103	7:	4.458	12:	6.663	17:	9.017	22:	12.186	27:	13.792
3:	3.362	8:	4.799	13:	7.132	18:	9.490	23:	12.884	28:	14.824
4:	3.597	8:	5.169	14:	7.635	19:	10.001	24:	13.627	29:	15.357
5:	3.858	10:	5.569	15:	8.174	20:	10.918	25:	12.969	30:	15.934
Investerings (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										20.039	

Exploitatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)										Concept 5.0	
1:	3.111	6:	4.497	11:	6.618	16:	9.544	21:	12.359	26:	14.876
2:	3.314	7:	4.855	12:	7.148	17:	10.024	22:	13.054	27:	15.424
3:	3.543	8:	5.245	13:	7.675	18:	10.544	23:	13.797	28:	16.018
4:	3.799	8:	5.668	14:	8.241	19:	11.105	24:	15.066	29:	16.662
5:	4.169	10:	6.126	15:	9.104	20:	11.710	25:	14.374	30:	17.961
Investerings (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										22.701	

Exploitatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)										Concept 6.0	
1:	3.256	6:	5.115	11:	8.016	16:	11.417	21:	15.210	26:	18.560
2:	3.566	7:	5.585	12:	8.695	17:	12.006	22:	16.061	27:	19.292
3:	3.906	8:	6.091	13:	9.376	18:	12.639	23:	16.965	28:	20.077
4:	4.276	8:	6.633	14:	10.101	19:	13.317	24:	17.924	29:	20.918
5:	4.679	10:	7.378	15:	10.871	20:	14.411	25:	17.880	30:	21.815
Investerings (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										22.969	

Exploitatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)										Concept 7.0	
1:	3.410	6:	6.300	11:	10.056	16:	14.794	21:	20.289	26:	24.754
2:	3.904	7:	6.975	12:	10.928	17:	15.716	22:	21.492	27:	25.686
3:	4.429	8:	7.686	13:	11.795	18:	16.685	23:	22.752	28:	26.672
4:	4.986	8:	8.436	14:	12.943	19:	17.704	24:	24.070	29:	27.713
5:	5.576	10:	9.225	15:	13.919	20:	18.773	25:	23.872	30:	28.811
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										22.513	

Exploitatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)										Concept 8.0	
1:	1.932	6:	1.341	11:	1.526	16:	2.200	21:	2.516	26:	2.392
2:	1.772	7:	1.290	12:	1.628	17:	2.196	22:	2.686	27:	2.325
3:	1.632	8:	1.395	13:	1.713	18:	2.224	23:	2.896	28:	2.296
4:	1.513	8:	1.411	14:	1.829	19:	2.286	24:	3.623	29:	2.305
5:	1.415	10:	1.454	15:	1.978	20:	2.383	25:	2.493	30:	2.354
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										22.219	

Exploitatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)										Concept 8.9	
1:	1.694	6:	325	11:	- 610	16:	- 1.079	21:	- 1.538	26:	- 3.540
2:	1.369	7:	97	12:	- 528	17:	- 1.303	22:	- 1.596	27:	- 3.908
3:	1.118	8:	- 112	13:	- 655	18:	- 1.501	23:	- 1.622	28:	- 3.687
4:	836	8:	- 299	14:	- 756	19:	- 1.328	24:	- 1.614	29:	- 3.976
5:	571	10:	- 466	15:	- 830	20:	- 1.448	25:	- 3.146	30:	- 4.234
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										21.349	

Exploitatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)										Concept 9.0	
1:	3.202	6:	3.708	11:	5.119	16:	6.966	21:	9.333	26:	11.146
2:	3.251	7:	4.007	12:	5.483	17:	7.280	22:	9.882	27:	11.572
3:	3.326	8:	4.236	13:	5.847	18:	7.954	23:	10.479	28:	12.044
4:	3.426	8:	4.497	14:	6.249	19:	8.371	24:	11.125	29:	12.567
5:	3.553	10:	4.791	15:	6.689	20:	8.830	25:	10.767	30:	13.140
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										26.268	

Bijlage 25d: Gevoeligheidsanalyse – geen EPV

Exploitatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)										Concept 1.0	
1:	-2.634	6:	-7.459	11:	-13.363	16:	-20.455	21:	-28.325	26:	-36.039
2:	-3.520	7:	-8.549	12:	-14.688	17:	-22.007	22:	-29.683	27:	-37.665
3:	-4.445	8:	-9.682	13:	-16.059	18:	-23.618	23:	-31.099	28:	-39.357
4:	-5.409	9:	-10.862	14:	-17.482	19:	-25.290	24:	-32.574	29:	-41.117
5:	-6.413	10:	-12.088	15:	-18.960	20:	-27.023	25:	-34.478	30:	-42.947
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										- 21.005	

Exploitatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)										Concept 2.0	
1:	-2.511	6:	-5.364	11:	-8.756	16:	-12.590	21:	-16.486	26:	-21.577
2:	-3.042	7:	-5.997	12:	-9.507	17:	-13.315	22:	-17.350	27:	-22.572
3:	-3.592	8:	-6.652	13:	-10.275	18:	-14.067	23:	-18.244	28:	-23.601
4:	-4.162	9:	-7.330	14:	-11.069	19:	-14.845	24:	-19.168	29:	-24.665
5:	-4.752	10:	-8.031	15:	-11.890	20:	-15.651	25:	-20.615	30:	-25.765
Investerings (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										- 8.355	

Exploitatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)										Concept 3.0	
1:	-2.703	6:	-6.168	11:	-10.302	16:	-14.984	21:	-19.690	26:	-25.647
2:	-3.347	7:	-6.938	12:	-11.218	17:	-15.859	22:	-20.735	27:	-26.868
3:	-4.015	8:	-7.736	13:	-12.159	18:	-16.766	23:	-21.818	28:	-28.132
4:	-4.707	9:	-8.562	14:	-13.133	19:	-17.706	24:	-22.939	29:	-29.439
5:	-5.425	10:	-9.417	15:	-14.141	20:	-18.680	25:	-24.466	30:	-30.792
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										-	10.085

Exploitatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)										Concept 4.0	
1:	-2.533	6:	-5.484	11:	-8.997	16:	-12.975	21:	-16.947	26:	-21.791
2:	-3.082	7:	-6.139	12:	-9.774	17:	-13.714	22:	-17.829	27:	-22.830
3:	-3.651	8:	-6.817	13:	-10.576	18:	-14.480	23:	-18.742	28:	-23.904
4:	-4.241	9:	-7.519	14:	-11.405	19:	-15.274	24:	-19.687	29:	-25.015
5:	-4.851	10:	-8.246	15:	-12.262	20:	-16.096	25:	-20.786	30:	-26.164
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										- 8.439	

Exploitatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)										Concept 5.0	
1:	-2.716	6:	-5.902	11:	-9.769	16:	-14.195	21:	-18.543	26:	-23.814
2:	-3.303	7:	-6.618	12:	-10.634	17:	-14.997	22:	-19.519	27:	-24.991
3:	-3.915	8:	-7.362	13:	-11.530	18:	-15.832	23:	-20.533	28:	-26.212
4:	-4.551	9:	-8.134	14:	-12.460	19:	-16.701	24:	-21.586	29:	-27.478
5:	-5.214	10:	-8.936	15:	-13.425	20:	-17.604	25:	-22.679	30:	-28.791
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										- 11.501	

Exploitatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)										Concept 6.0	
1:	-2.853	6:	-6.621	11:	-11.176	16:	-16.366	21:	-21.424	26:	-27.538
2:	-3.549	7:	-7.466	12:	-12.192	17:	-17.300	22:	-22.557	27:	-28.902
3:	-4.273	8:	-8.343	13:	-13.245	18:	-18.272	23:	-23.734	28:	-30.316
4:	-5.026	9:	-9.252	14:	-14.337	19:	-19.282	24:	-24.956	29:	-31.782
5:	-5.809	10:	-10.197	15:	-15.468	20:	-20.333	25:	-26.223	30:	-33.301
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										-	12.169

Exploitatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)										Concept 7.0	
1:	-2.564	6:	-5.364	11:	-8.722	16:	-12.575	21:	-16.524	26:	-21.169
2:	-3.083	7:	-5.988	12:	-9.468	17:	-13.308	22:	-17.403	27:	-22.139
3:	-3.622	8:	-6.636	13:	-10.241	18:	-14.069	23:	-18.313	28:	-23.144
4:	-4.182	8:	-7.307	14:	-11.040	19:	-14.858	24:	-19.256	29:	-24.185
5:	-4.762	10:	-8.002	15:	-11.868	20:	-15.676	25:	-20.233	30:	-25.264
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										-	9.713

Exploitatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)										Concept 8.0	
1:	-1.926	6:	-5.651	11:	-10.115	16:	-15.184	21:	-20.196	26:	-26.320
2:	-2.617	7:	-6.481	12:	-11.106	17:	-16.113	22:	-21.313	27:	-27.647
3:	-3.334	8:	-7.341	13:	-12.130	18:	-17.078	23:	-22.472	28:	-29.021
4:	-4.078	8:	-8.233	14:	-13.191	19:	-18.079	24:	-23.672	29:	-30.444
5:	-4.850	10:	-9.157	15:	-14.289	20:	-19.118	25:	-25.038	30:	-31.917
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										-	10.219

Exploitatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)										Concept 8.9	
1:	-1.672	6:	-4.439	11:	-7.787	16:	-11.601	21:	-15.312	26:	-19.802
2:	-2.183	7:	-5.060	12:	-8.534	17:	-12.287	22:	-16.144	27:	-20.804
3:	-2.714	8:	-5.704	13:	-9.308	18:	-13.000	23:	-17.009	28:	-21.843
4:	-3.267	8:	-6.373	14:	-10.111	19:	-13.741	24:	-17.906	29:	-22.920
5:	-3.842	10:	-7.067	15:	-10.943	20:	-14.512	25:	-18.837	30:	-24.037
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										-	8.495

Exploitatieperiode (jr.) vs total cost of ownership (€)									Concept 9.0		
1:	-2.958	6:	-6.240	11:	-10.285	16:	-15.009	21:	-19.871	26:	-25.806
2:	-3.558	7:	-6.984	12:	-11.196	17:	-15.903	22:	-20.968	27:	-27.137
3:	-4.186	8:	-7.760	13:	-12.143	18:	-16.835	23:	-22.108	28:	-28.518
4:	-4.842	8:	-8.568	14:	-13.128	19:	-17.807	24:	-23.293	29:	-29.952
5:	-5.526	10:	-9.409	15:	-14.152	20:	-18.818	25:	-24.526	30:	-31.440
Investering (€) op t=0 bij exploitatieperiode van 30 jr.										-	16.268