

Renovatie van de woningvoorraad

Hoe milieuvriendelijk is energiebesparing?

Bij energiebesparing in de gebouwde omgeving zal de renovatie van woningen die zijn gebouwd voor de oliecrisis een grote rol gaan spelen, omdat deze woningen in het algemeen nog steeds slecht zijn geïsoleerd en een groot aandeel vormen van de totale woningvoorraad (52 %). Al in 2005 heeft SenterNovem de brochure “Strategisch voorraadbeleid: kwaliteitsvraag en kwaliteitsaanbod op elkaar afstemmen met extra aandacht voor energiebesparende maatregelen” ontwikkeld, waarin mogelijke renovatieactiviteiten worden uitgelicht voor verschillende marktsegmenten in de woningvoorraad. Over enkele maanden wordt ook de Toolkit Bestaande Bouw verwacht. In deze publicaties wordt uitsluitend de mogelijke energiebesparing beschouwd. Omdat energie op zichzelf geen milieuprobleem is [1], maar energiegebruik wel degelijk milieuproblemen veroorzaakt, zijn wij in het hieronder beschreven onderzoek een stap verder gegaan. Dit artikel gaat in op de daadwerkelijke milieueffecten van verschillende “soorten” energiebesparing en op de relatieve waarde van de ingesloten energie (de energie die wordt ingesloten in bouwproducten door de winning van de benodigde materialen, het fabricageproces en eventueel het transport van materialen) ten opzichte van het operationele energiegebruik voor ruimte- en warmtapwaterverwarming.

- door mw. dr. L. Itard*

DE REFERENTIEWONING EN DE RENOVATIEVARIANTEN

Voor dit onderzoek is een rijtjeswoning gebruikt, representatief voor woningen gebouwd tussen 1966 en 1976 aangeduid als woningtype 10 in de referentiewoningen van SenterNovem ([2] en [3]). Het energiegebruik van de woning wordt in deze studie berekend met het EPA 4.02 programma [4]. Tabel 1 geeft de belangrijkste karakteristieken en het energiegebruik van de niet gerenoveerde woning (voor meer informatie over plattegronden en

details, zie [3]). De woning is voorzien van een VR-combiketel. Het energiegebruik wordt gegeven in kubieke meters gas en kWh elektriciteit bij de meterkast van de woning, evenals in termen van totale primaire energie. Voor gas wordt in dit onderzoek het primaire energiegebruik berekend op basis van de calorische onderwaarde (31,7 MJ/m³ gas). Er wordt rekening gehouden met gasverbruik voor ruimteverwarming en warmtapwater. Voor elektriciteit wordt uitgegaan van een gemiddeld rendement van 0,39 bij elektriciteitsproductie. Hulpenergie



M.w.dr. L. Itard

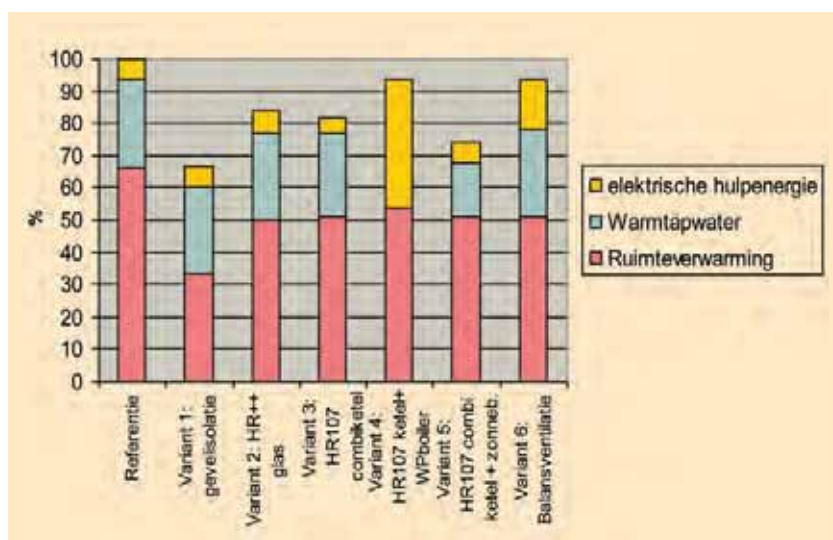
voor pompen, ventilatoren en klimaatinstallaties wordt meegenomen, evenals elektrische energie voor warmtepompen (in renovatievariant 4). Elektriciteitsverbruik gerelateerd aan verlichting wordt niet meegenomen.

Er worden zes renovatievarianten bestudeerd. In dit artikel worden alleen onafhankelijk maatregelen met elkaar vergeleken en geen combinaties. Ten opzichte van het systeem beschreven in tabel 1, verandert in de varianten enkel de maatregelen die worden beschreven in de variant. Variant 1 betreft de isolatie van de niet transparante schilonderdelen. Zij worden geïsoleerd naar een U-waarde van 0,35 W/m²K voor de gevel, 0,31 voor het dak en 0,34 W/m²K voor de vloer. In variant 2 worden enkel en dubbel glas vervangen door HR⁺⁺ glas met een equivalente U-waarde van 1,7 W/m²K. In variant 3 wordt de VR-ketel vervangen door een HR107 combiketel met pompregeling, in variant 4 door een HR107 ketel met warmtepompboiler voor warmtapwater, en in variant 5 door een HR107 combiketel met zonneboiler. In

		Rijteswoning gebouwd tussen 1966-1976 (woningtype 10)	
Gebruiksoppervlak		139	
BG Vloer	m ²	56	
	U-waarde (W/m ² K)	2,3	
Dak	m ²	66	
	U-waarde (W/m ² K)	1,0	
Dichte geveldelen	m ²	36,2	
	U-waarde (W/m ² K)	1,8	
Beglazing	m ²	17	16
	U-waarde (W/m ² K)	5,1	2,9
Ruimteverwarming en warmtapwaterverwarming		VR-combiketel zonder pompregeling	
Ventilatie		Natuurlijk, door het openen van ramen	
Afdichting		geen	
m ³ gas ruimteverwarming / jaar		1.242 (= 39.371 MJ primaire energie/jaar)	
m ³ gas warmtapwater / jaar		506 (= 16.040 MJ primaire energie/jaar)	
kWh hulpenergie / jaar		427 (= 3.942 MJ primaire energie/jaar)	
Totale primaire energie/jaar (MJ)		59.354	

Hoofdkarakteristieken van de referentiewoning.

- TABEL 1 -



Operationele jaarlijkse primaire energiebesparing in woningtype 10 voor de verschillende renovatie varianten.

- FIGUUR 1 -

variant 6 wordt een balansventilatie-systeem geïnstalleerd, met gelijkstroom ventilator. Ook wordt de luchtdichtheid van de woning verbeterd.

OPERATIONELE ENERGIEBESPARING BIJ DE VERSCHILLENDE RENOVATIEVARIANTEN

Figuur 1 geeft de bestudeerde renovatiemaatregelen weer met hun operationele energiebesparingspotentieel. De operationele energie is de energie die wordt gebruikt voor ruimte- en warmtapwaterverwarming, inclusief hulpenergie. Zoals kan worden gezien in figuur 1 varieert de energiebesparing tussen 33 % (schilisolatie) en 6 % (balansventilatie). In variant 4 (warmtepompboiler) wordt de primaire energie voor warmtapwater meegerekend met de elektrische hulpenergie. Gas is de primaire energie voor warmtapwaterverwarming, met uitzondering van variant 4 waar het elektriciteit betreft. De elektrische hulpenergie is hoger in variant 6 dan in de andere varianten (behalve 4) vanwege het gebruik van ventilatoren voor balansventilatie. De vervanging van de VR-ketel door een HR107 combiketel levert ongeveer dezelfde besparing als het vervangen van glas door HR++ glas, te weten ongeveer 17 %. Het gebruik van een zonneboiler in combinatie met een HR107-ketel levert ongeveer 26 % besparing.

WAT GEBEURT ER ALS DE INGESLOTEN ENERGIE WORDT MEEGEREKEND?

Het vervaardigen van de componenten die nodig zijn bij de renovatie (bv. isolatiemateriaal, HR-ketel, zonneboiler) kost energie. Deze energie is nodig voor de winning van de benodigde grondstoffen, het transport daarvan en het fabricageproces. Echter, door het plaatsen van deze componenten wordt het operationele energiegebruik gereduceerd, zoals hierboven beschreven. Het totale energiegebruik van bouwactiviteiten wordt gekwantificeerd door de toepassing van de zogenaamde Levenscyclusanalyse (LCA). In een levenscyclusanalyse wordt nagegaan hoeveel energie en welke energiedragers worden gebruikt van wie (grondstofwinning) tot graf (sloop). Fabricageproces en operationele energie- en materiaalgebruik maken ook deel uit

van een LCA. Voor dit onderzoek is de software EcoQuantum [5] gebruikt om de LCA-berekeningen uit te voeren.

In dit onderzoek is bekeken na hoeveel jaar het primaire energiegebruik, ontstaan door een renovatie-ingreep, zichzelf terugbetaalt door een lager operationeel energiegebruik (energetische terugverdientijd). In tegenstelling tot de operationele energie, die kan worden berekend op basis van een U-waarde, kan het ingesloten primaire energiegebruik alleen worden berekend als bekend is welke materialen worden gebruikt en in welke hoeveelheden. In de referentieberekening wordt aangenomen dat beglazing, ketel en tapwaterpomp op het moment van ingreep worden vervangen omdat ze aan het einde van hun levensduur zijn gekomen. In de referentie worden ze vervangen door exact dezelfde component. In de varianten wordt ze ook vervangen door exacte dezelfde component behalve wanneer anders aangegeven in de variant.

Voor variant 1 zijn wij uitgegaan voor gevel en dak van isolatie met steenwol ($R_c=2,25 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$) en het aanbrengen van een nieuwe pleisterlaag voor de gevel. Voor de vloerisolatie is tonzonzonfolie gebruikt met een R_c -waarde van $2,25 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$. Dit laatste bestaat uit lagen polyester folie gevuld met lucht en een laag aluminiumfolie. Omdat tonzonzonfolie niet aanwezig is in EcoQuantum is deze gesimuleerd door aan te nemen dat 1/10 van de hoeveelheid EPS die nodig zou zijn om dezelfde isolatiewaarde te bereiken, gebruikt is [5]. In variant 2 wordt de gehele glasoppervlakte vervangen door HR⁺⁺ glas. In Variant 3 wordt een stalen HR107-combiketel gebruikt. Deze omvat: ketel, expansievat, pomp, geveldoorvoerset, ventilator voor verbrandingsgassen, driewegklep, gasregelblok, stromingsschakelaar, drukverschilschakelaar, temperatuur/drukmeter, thermostaat, kamerthermostaat en een boilervat (100 liter). In variant 4 wordt een roestvaststale warmtepompboiler gebruik op binnenlucht (NB: het materiaal voor mechanisch afvoer (kanalen en ventilator) is niet meegerekend). In variant 5 wordt dezelfde ketel gebruikt als in variant 3 met daarbij $2,7 \text{ m}^2$ collector en een roestvaststale zonneboiler opslagvat. Daarnaast worden in varianten 3, 4,

	Levensduur (jaren)
Isolatie vloer	75
Isolatie dak	75
Isolatie gevel	75
Vervanging glas	25
Ketel	15
Warmtepomp	30
Distributie ruimteverwarming	35
Afgifte ruimteverwarming	30
Tapwater opwekking	15
Pomp tapwater	8
Zonneboiler(collector+vat)	25
Balans ventilatie	15

Levensduur van bouwcomponenten.

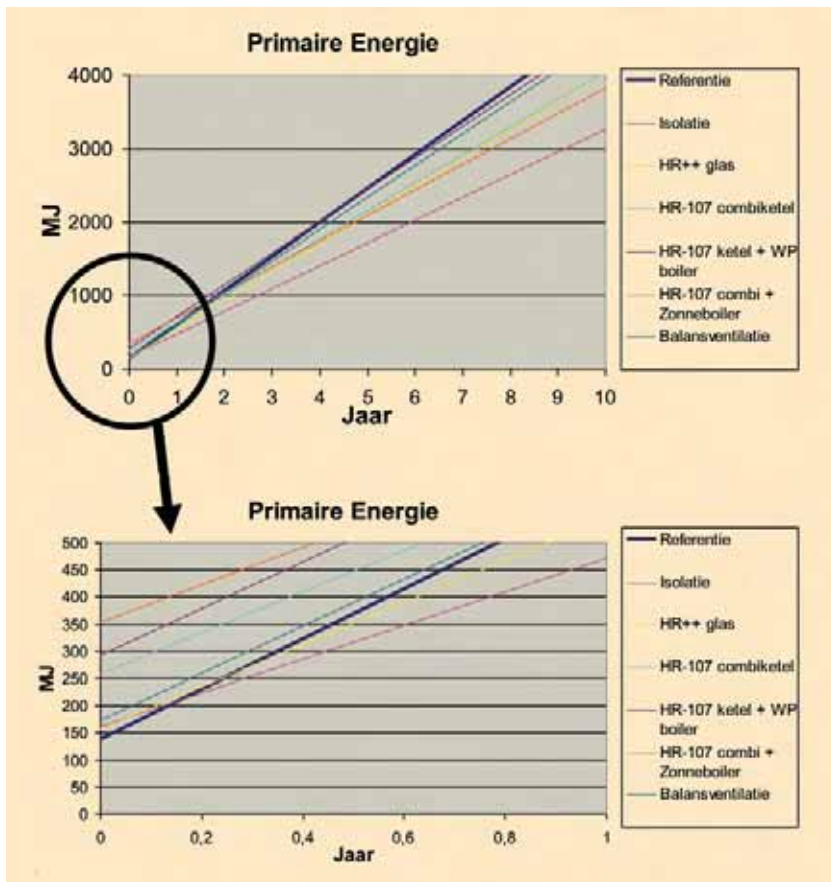
- TABEL 2 -

en 5 de warmtedistributie (stalen leidingen) en de warmteafgifte (stalen radiatoren) vervangen. In variant 6 wordt een wtw-unit van verzinkt staal gebruikt, inclusief een warmtewisselaar, twee ventilatoren, regeltechniek en stalen kanalen en roosters.

De levensduren die zijn gehanteerd in de berekeningen zijn de standaard levensduren van bouwcomponenten zoals aangegeven in [6]. Als de levensduur van de woning langer is dan die van de component, wordt de component aan het einde van zijn levensduur vervangen door een nieuw en identiek component. Tabel 2 geeft de levensduur van de verschillende componenten weer.

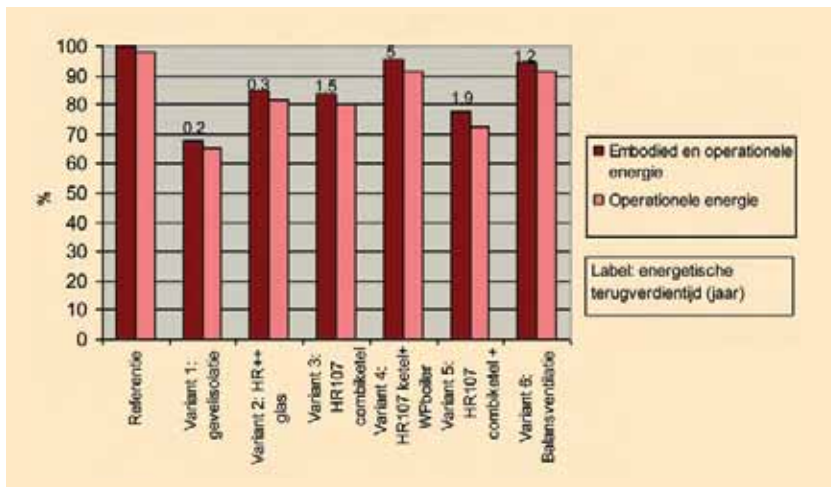
Het principe van de berekening wordt geïllustreerd in figuur 2: in jaar 0, het jaar van ingreep, ontstaat er een bepaald energiegebruik veroorzaakt door het vervaardigen en het plaatsen van de benodigde bouwcomponenten. Als er wordt gerenoveerd is het oorspronkelijke energiegebruik dus hoger dan als het gebouw niet wordt gerenoveerd. Daar staat tegenover een vermindering van het operationeel energiegebruik. Figuur 2 geeft de gecumuleerde waarden van het energiegebruik in de loop der jaren. De richtingscoëfficiënt van de lijnen is inclusief de vervanging van componenten aan het

einde van hun levensduur (gelineari-seerde waarde). In figuur 2 is goed te zien dat de energie ingesloten in een combiketel ($123 \text{ MJ}/\text{m}^2 \text{ GO}$), al dan niet in combinatie met warmtepompboiler ($156 \text{ MJ}/\text{m}^2 \text{ GO}$) of zonneboiler ($218 \text{ MJ}/\text{m}^2 \text{ GO}$), duidelijk hoger is dan de energie ingesloten in isolatiemateriaal ($26 \text{ MJ}/\text{m}^2 \text{ GO}$). Desondanks wordt bij alle varianten de ingesloten primaire energie terugverdiend na maximaal vijf jaar. Figuur 3 toont de terugverdientijden voor alle opties, evenals een vergelijking van de behaalde besparing na 30 jaar, wanneer alleen de operationele energie wordt beschouwd en wanneer er ook rekening wordt gehouden met ingesloten energie. De kortste terugverdientijden worden bereikt met de isolatiemaatregelen (varianten 1 en 2), de langste voor de warmtepompboiler. Na 30 jaar vormt de ingesloten energie maar een klein percentage van het totale energiegebruik, in alle gevallen minder dan 6%. Wanneer alleen het operationele energiegebruik wordt beschouwd, wordt de absolute energiebesparing onderschat, maar het heeft verder nauwelijks effect op de relatieve waarden van de verschillende varianten. Het lijkt dus gerechtvaardigd om varianten alleen op hun operationele energiegebruik te beoordelen.



Cumulative ingesloten en operationele primaire energiegebruik per vierkante meter gebruiksoppervlak (bovenste grafiek: schaal van 0 tot 10 jaar; onderste grafiek: schaal van 0 tot 1 jaar).

- FIGUUR 2 -



Energetische terugverdientijden (in jaar) en relatieve primaire energiebesparing na 30 jaar bij verschillende berekeningsmethoden.

- FIGUUR 3 -

VAN ENERGIEGEBRUIK NAAR MILIEUEFFECTEN

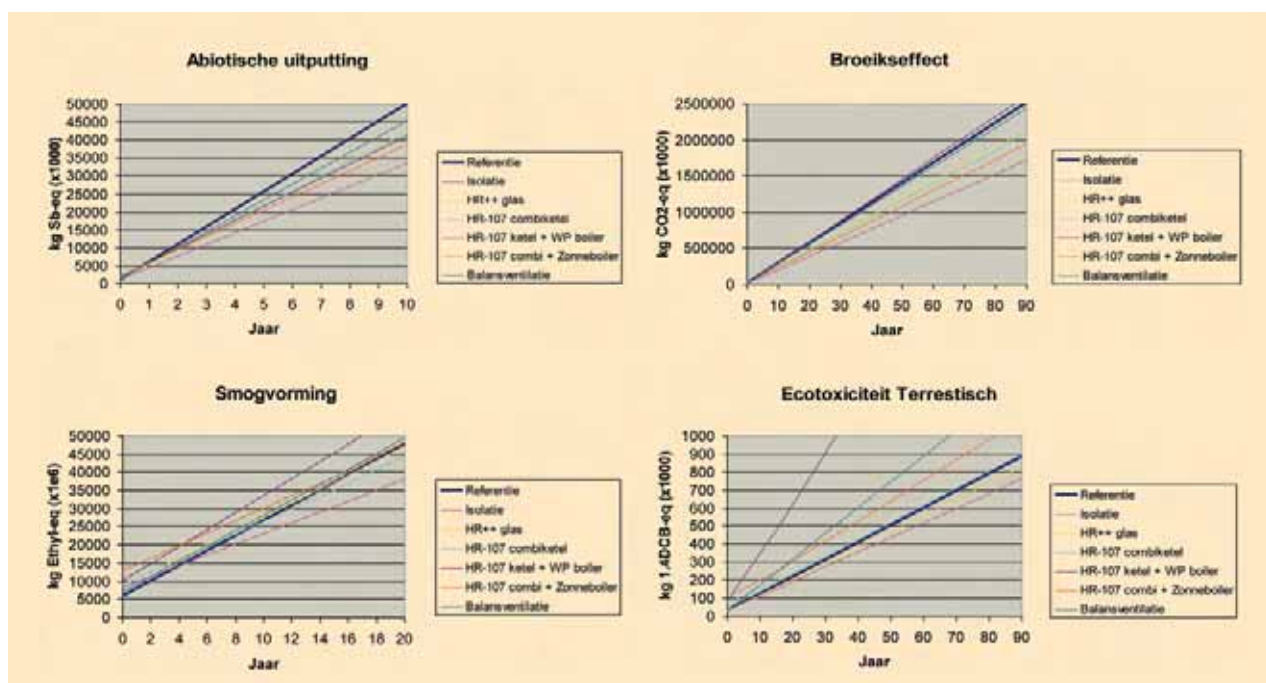
Milieueffecten zijn meetbare aantastingen van het milieu. Het gebruik van fossiele energie op zich is geen milieueffect, maar veroorzaakt o.a. uitputting van brandstoffen, broeikas-effect en verzuring. Het is gebruikelijk om tien milieueffecten te onderschei-

den: Uitputting van grondstoffen, Broeikas-effect, Ozonlaagaantasting, Smogvorming, Verzuring, Vermesting, Humane toxiciteit, Ecotoxiciteit water, Ecotoxiciteit sediment en Terrestrische ecotoxiciteit. Uitputting van grondstoffen wordt uitgedrukt in kg Sb-eq (antimonium). Broeikas-effect, veroorzaakt door o.a. CO₂ en methaan,

wordt uitgedrukt in kg CO₂-eq. Ozonlaagaantasting, uitgedrukt in kg CFK-11-eq, wordt veroorzaakt door de emissie van CFK-gassen (o.a. koel-vloeistoffen en drijfgassen in spuitbus-sen). Smogvorming wordt veroorzaakt door o.a. fijn stof, koolwaterstoffen en ozon en wordt uitgedrukt in kg-ethyl-eq. Verzuring wordt veroorzaakt door emissies van o.a. zwavel- en stikstof-dioxide uit verkeer en industrie en vertaalt zich door het uitsterven van bossen (uitgedrukt in kg CO₂-eq). Vermesting veroorzaakt algengroei in het water, door o.a. nitraten, en wordt uitgedrukt in kg PO₄-eq. Ecotoxiciteit refereert aan het uitsterven van organismen als gevolg van emissies van bv. koper, chroom, zink en kwik naar grond, water of sediment. Humane toxiciteit refereert aan stoffen die een impact hebben op de gezondheid van de mensen. Emissies van stoffen binnenshuis worden niet meegenomen. Alle vormen van toxiciteit worden uitgedrukt in kg 1,4 DCB-eq (1,4-dichlorobenzeen).

In dit hoofdstuk gaan wij na op welke milieueffecten renovatie-ingrepen goed of slecht scoren en maken wij gebruik van het begrip "Milieuterugverdientijd". Dit geeft aan, in overeenstemming met de beschrijving voor ingesloten en operationeel energiegebruik, na hoeveel jaar de milieubelasting, ontstaan door een renovatie-ingreep, zichzelf terugbetaalt door een lagere milieubelasting vanwege een lager energiegebruik voor verwarming.

Figuur 4 geeft als voorbeeld de cumulatieve waarden van de verschillende varianten voor de milieueffecten abiotische uitputting, broeikas-effect, ozonlaagaantasting en terrestrische ecotoxiciteit weer. In jaar nul is het ingesloten milieueffect te zien. De helling van de lijn geeft het gelineariseerde milieueffect voortkomend uit operationeel energie- en materiaalgebruik (vervangingen). De vergelijking van figuur 4 met figuur 2 (primaire energie) laat zien dat het primaire energiegebruik alleen de abiotische uitputting en in zekere mate het broeikas-effect goed weergeeft. Voor abiotische uitputting net als voor het primaire energiegebruik, scoren na een klein aantal jaren alle varianten beter dan de referentie. Voor het broeikas-effect geldt dit ook, behalve voor variant 4 (warmtepomp-



Voorbeelden van het verloop in de tijd van gecumuleerde milieueffecten.

- FIGUUR 4 -

boiler), die altijd slechter scoort dan de referentie. Voor de terrestische ecotoxiciteit zijn alle installatietechnische varianten slechter dan de referentie. Alleen de isolatievarianten scoren goed. Voor ozonlaagaantasting is het beeld gemengd.

De resultaten voor alle milieueffecten worden samengevat in figuur 5, waar de milieubesparing na 30 jaar wordt weergegeven evenals de milieuterugverdientijden (boven iedere staaf). Omdat de milieueffecten ieder een andere eenheid hebben, zijn de milieueffecten voor de referentie genormaliseerd tot 100%. Het eerste wat opvalt in deze figuur zijn de zeer slechte prestaties van de varianten 4 (warmtepompboiler) en 6 (balansventilatie), behalve voor het milieueffect abiotische uitputting en in mindere mate voor broeikas effect en vermesting. Ook voor de andere varianten vallen de positieve effecten lager dan het energiegebruik deed vermoeden. Het is echter zo dat de isolatiemaatregelen (varianten 1 en 2) duidelijk tot minder milieu-impact en lagere terugverdientijden leiden dan de andere varianten. Isolatievarianten, en, in mindere mate, de vervanging van de VT-ketel door een HR107-combiketel pakken voor alle milieueffecten redelijk positief uit.

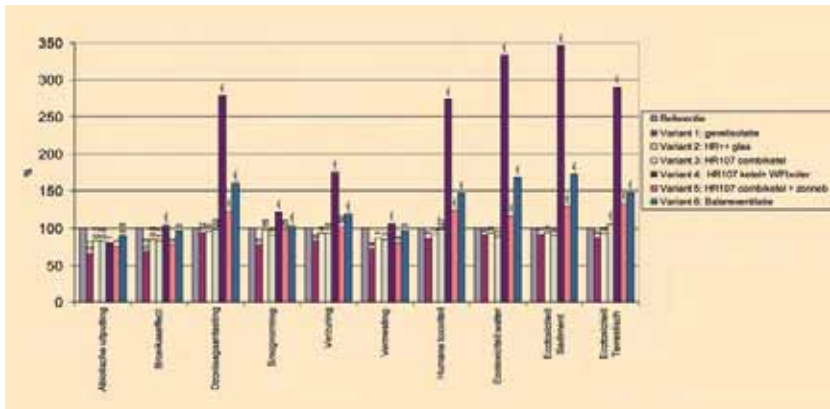
Figuur 6 toont de milieueffecten van alleen het operationele energiegebruik.

Om de vergelijking met figuur 5 te kunnen maken zijn alle milieueffecten, ook die van de referentie, genormeerd ten opzichte van de 100% waarde in figuur 5 (ingesloten en operationeel energie- en materiaalgebruik). De vergelijking tussen figuur 5 en figuur 6 geeft aan dat voor de milieueffecten abiotische uitputting, broeikas effect en vermesting het operationele energiegebruik de grootste rol speelt. Ingesloten energie en materiaalgebruik hebben slechts een minimaal effect. Bij de andere milieueffecten spelen de ingesloten effecten duidelijk een belangrijkere rol. Daaruit volgt dat milieuoptimalisatie van de materialen gebruikt voor installaties in de toekomst veel aandacht verdient, omdat ook na 30 jaar hun effect aanzienlijk blijft voor de milieueffecten ozonlaagaantasting, smogvorming, verzuring en alle toxiciteitseffecten. Dit is in het bijzonder van belang voor de zonneboiler, waarvan de slechte prestaties grotendeels terug te voeren zijn op het materiaalgebruik (stalen opslagvat).

De belangrijkste milieupieken zijn echter voor een groot deel terug te voeren op het operationeel energiegebruik. Variant 4 en 6 veroorzaken een bijzonder grote verslechtering (tot meer dan drie keer de milieu-impact van de referentie) voor zes van de tien milieueffecten, en deze verslechtering heeft te maken met de toename van

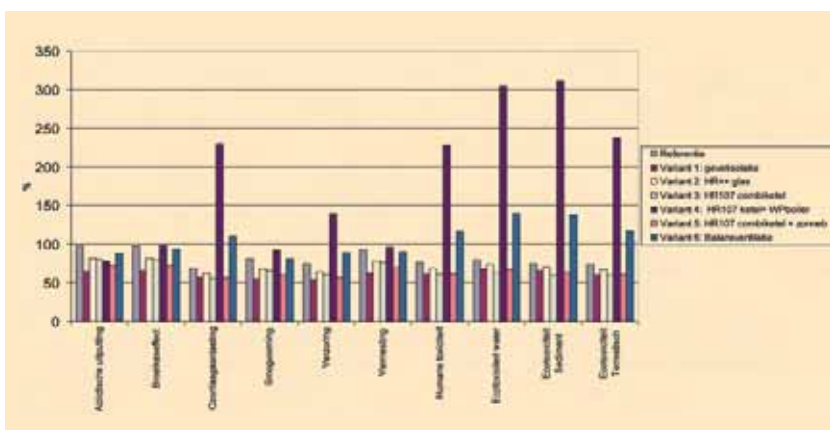
het gebruik van elektriciteit ten opzichte van de referentie. In variant 4 wordt elektriciteit gebruikt voor de warmtepompboiler en in variant 6 voor de aandrijving van de ventilatoren. De toename van de milieu-impact wordt veroorzaakt door de wisseling van gasverbruik naar elektriciteitsverbruik. Met de huidige brandstofmix voor elektriciteitsproductie in Nederland (30% olie, 5% kool, 50% gas, 10% kern- en 5% hernieuwbare energie) veroorzaakt een zeer beperkte overgang van gasvraag naar elektriciteitsvraag al een aanzienlijke toename van de milieueffecten ozonlaagaantasting, smogvorming, verzuring, humane toxiciteit en ecotoxiciteit.

Een oneerlijke conclusie zou zijn dat warmtepompen weinig potentieel hebben. Hun slechte prestatie is gerelateerd aan de huidige brandstofmix. De conventionele gastehnologie heeft zijn grenzen ongeveer bereikt met de HR 107-ketel. Warmtepompen kunnen echter een veel hoger rendement bereiken en beschikken nog over een sterk verbeteringspotentieel. Om tot een werkelijke afname van milieueffecten te komen moet er worden overgestapt naar duurzame elektriciteitsproductie op basis van milieuvriendelijkere brandstofmixen of hernieuwbare energie. Doen wij dit niet, dan zal de duurzame energietransitie in de gebouwde omgeving, die wordt



Milieueffecten voortkomend uit ingesloten en operationeel energie- en materiaalgebruik na 30 jaar en milieuterugverdientijd per milieueffect per variant (label).

- FIGUUR 5 -



Milieueffecten voortkomend uit het operationele energiegebruik, na 30 jaar.

- FIGUUR 6 -

nagestreefd in platformen als PeGO [7] en in plannen als “Meer met minder” [8], nooit worden bereikt.

CONCLUSIES

In dit artikel is de besparing in operationele primaire energie van verschillende maatregelen vergeleken met de primaire energie ingesloten in deze maatregelen. Voor alle maatregelen is de energetische terugverdientijd kort (kleiner dan vijf jaar, en voor isolatiemaatregelen zelf kleiner dan een half jaar). Na dertig jaar speelt de ingesloten energie nog maar alleen een kleine rol en is het gerechtvaardigd om ontwerpbeslissingen te nemen die zijn gebaseerd op de operationele energie. Energiegebruik is echter geen milieueffect op zichzelf, maar veroorzaakt verschillende milieueffecten. In onze studie hebben wij aangetoond dat het primaire energiegebruik een redelijke voorspelling geeft van abiotische uitputting, broeikaseffect en vermisting.

Voor de andere milieueffecten (ozonlaagaantasting, smogvorming, verzuuring, humane toxiciteit en ecotoxiciteit) geeft het primaire energiegebruik een verkeerd beeld van de daadwerkelijke milieu-impact, in het bijzonder wanneer er een verschuiving ontstaat tussen gasvraag en elektriciteitsvraag. Isolatiemaatregelen blijken voor alle milieueffecten efficiënt te zijn. De milieu-impact van de zonneboiler kan sterk worden verminderd door andere materialen/fabricageprocessen te gebruiken. Het gebruik van elektriciteit in plaats van gas veroorzaakt een enorme toename van zeven van de 10 de milieu-impacts; daardoor presteren de warmtepompboiler en de balansventilatie bijzonder slecht. Dit kan niet worden opgelost zonder over te gaan naar duurzame elektriciteitsproductie.

Natuurlijk kent dit onderzoek beperkingen. Zo is er uitgegaan van standaard data voor de installaties, die dus

niet zijn geoptimaliseerd. Ook kunnen er door combinatie van maatregelen betere resultaten worden verkregen. De resultaten voor meer renovatievarianten en voor een aantal combinaties zijn te vinden in [9]. Misschien is het belangrijkste resultaat van dit onderzoek dat energiebesparing alleen niet genoeg is voor een duurzame toekomst.

DANKWOORD

Dit onderzoek is mede mogelijk gemaakt door SBR, Habiforum, SenterNovem (EOS-LT Rigoureuus) en IVAM.

REFERENTIES

1. *Duurzaamheid en Klimaatverandering*, Laure Itard, TVVL Magazine, mei 2007, jaargang 36, nr. 5, p.51.
2. *Strategisch voorraad beleid*, SenterNovem, 2005 hoofddocument en bijlageboek, Kompas programma, <http://www.senternovem.nl/kompas/Woningbouw/Downloads/Index.asp>.
3. *Referentiewoningen bestaande bouw*, Novem, 2001, april 2001, Novem publicatie 1DUW001.01, www.senternovem.nl.
4. *EPA, B-versie 4.02*, <http://www.senternovem.nl/epadesk>.
5. *EcoQuantum*, www.ivam.nl.
6. *Levensduur van bouwproducten – praktijkwaarden*, SBR; Rotterdam, december 1998.
7. *PeGO platform*, <http://www.senternovem.nl/energie>.
8. *Meer met Minder*, <http://www.meer-met-minder.nl>.
9. *Milieueffecten van renovatie-ingenieurs in de woningvoorraad*, Habiforum-SBR-OTB publicatie, www.otb.tudelft.nl.