

Energie(-plus) en circulariteit

Huidige gebouwen voldoen aan steeds stengere eisen ten aanzien van energieprestatie. Op dit moment zijn er al meerdere energieneutrale gebouwen – gebouwen waarvan het jaarlijkse energiegebruik voor gebouwgebonden energie even groot is als de jaarlijkse opbrengst van op gebouwniveau opgewekte duurzame energie. Energetisch lijkt er daarom misschien bijna geen probleem meer te zijn. Maar: energieneutraal of zelfs energieplus bouwen is nog lang niet genoeg, en misschien zelfs niet de enige en soms ook niet beste oplossing. Dit artikel gaat in op duurzaamheidsaspecten die verder gaan dan energieneutraliteit of energieplus, en geeft een aanzet tot nieuwe indicatoren voor het beoordelen van energiesystemen in de gebouwde omgeving van de toekomst.

S. (Sabine) Jansen¹, P. (Peter) Luscure^{1,2}, M. (Martin) Tenpierik¹, B. (Bob) Geldermans¹

1. TU Delft, Faculteit Bouwkunde, sectie Climate Design

2. Inspired Ambitions

In de gebouwde omgeving wordt veel energie gebruikt: door het International Energy Agency (IEA) is voor Nederland het energiegebruik voor gebouwen – woningen en utiliteit – berekend op 27% van het totale finale energiegebruik [1]. Dit getal bevat zowel gebouwgebonden energie (verwarming, koeling, ventilatie, warm tapwater en verlichting) als de energie die de mens in deze gebouwen gebruikt voor apparaten zoals bijvoorbeeld wasmachines, televisies en spelcomputers.

De energiebehoefte in de gebouwde omgeving bestaat uit warmte, koude en elektriciteit. Op dit moment is het aandeel warmtevraag in de totale energiebehoefte gebouwde omgeving het grootst en beslaat ca 70% van de totale primaire energiebehoefte, minder dan 5% gaat naar koeling en de resterende vraag betreft elektriciteit¹. Door de steeds strengere eisen aan de energiezuinigheid van gebouwen is de

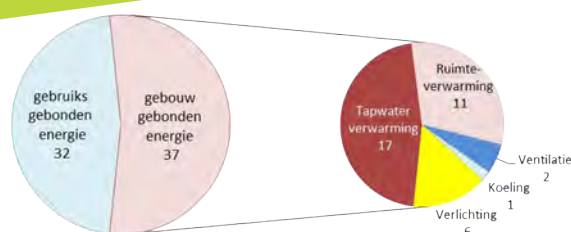
-Figuur 1- Verdeling primaire energie naar uiteindelijk doel. Energiegebruik tussenwoning EPC 0,8 in GJ_{primaire}/jaar

gebouwgebonden energievraag van nieuwe gebouwen sterk gereduceerd ten opzichte van oudere gebouwen. Het aandeel warmtevraag wordt daarmee ook veel kleiner in nieuwe gebouwen. Voor een relatief nieuwe woning met een (EPC = 0,8 waarbij geen opwekking van duurzame energie is meegenomen) is de verdeling van de energiebehoefte – omgerekend naar primaire energie – per doel weergegeven. Bovenop het gebouwgebonden energiegebruik komt een gebruikersdeel

van gemiddeld 3.500 kWh per huishouden. Dit gebruik is eveneens omgerekend naar omgerekend naar MJ_{primaire} per jaar, op basis van het opwekkingsrendement van 39% het nationale elektriciteitsnet, volgens de huidige EPC norm².

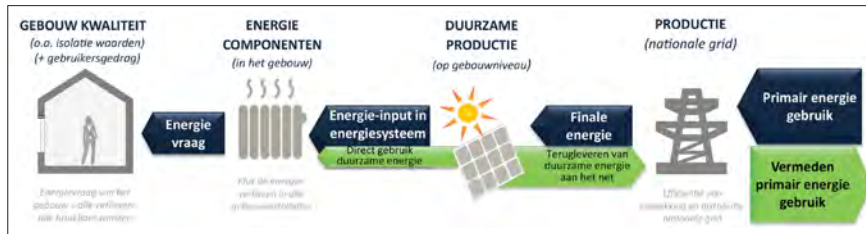
■ (BIJNA) NEUTRAAL TOT PLUS

Energieneutraal bouwen is nu al mogelijk, zowel voor woningen als voor utiliteit, zoals kantoren en scholen. Energieneutraliteit wil



1. Deze percentages zijn berekend op basis van publicaties [1] en [2], die gebaseerd zijn op het de jaren 2010 en 2012. De genoemde percentages zijn daarmee richtgetallen.

2. De hoeveelheid primaire energie die nodig is voor het leveren van een hoeveelheid energiebehoefte (de uiteindelijk e energie die nuttig wordt gebruikt, bijv. warmte, koude e.d.) of de finale energie (de energie zoals die aan de eindgebruiker wordt geleverd, zoals gas en elektriciteit) hangt vanzelfsprekend sterk af van de aangenomen opwekkingsrendementen, zowel in de woning als van het landelijke elektriciteitsnet. Voor definities van nuttige, finale en primaire energie zie o.a. [2]).



-Figuur 2- Schema van een energiesysteem voor een energieneutrale woning: op jaarbasis is de aan het net teruggeleverde energie gelijk aan de van het net afgenomen hoeveelheid energie

zeggen dat het jaarlijkse gebruik aan energie voor gebouwgebonden behoeften gelijk is aan de jaarlijkse 'productie' van duurzame energie door het gebouw, door middel van zonnepanelen of anderszins. Als een gebouw energieneutraal is, wil dat dus niet zeggen dat het gebouw geen energie gebruikt. Het gebruikt wel energie, maar levert op jaarbasis net zoveel terug. Een energieneutrale woning kan hetzelfde zijn als een woning met EPC = 0,8, plus circa 6 m² zonnecollector en 25 m² PV panelen. In figuur 2 is het principe van een energieneutraal gebouw schematisch weergegeven.

Vanaf 2020 zullen alle nieuwe gebouwen 'bijna energieneutraal' moeten zijn. De term 'bijna' komt uit de Europese Energy Performance Directive (EPBD). De term is bedoeld om tot een optimum vanuit kostenoverweging te komen en mocht door de lidstaten zelf verder worden gedefinieerd. 'Bijna' is door minister Blok vastgesteld op een netto maximum primair energiegebruik van 25 kWh/m² per jaar, met uitzondering van scholen en zorggebouwen, waarvoor iets minder strenge eisen gelden [3]. Dat betekent dus dat bijna energieneutrale gebouwen (BENG) 25 kWh/m² primaire energie per jaar meer mogen gebruiken dan ze opwekken.

Tegelijkertijd worden er nu ook al concepten gebouwd die verder gaan dan energieneutraal en in feite energie-plus zijn. Bij het 'nul-op-de-meter' (NoM) concept wordt ook de gebruikers-energie meegenomen. Ook zijn er projecten waarbij rekening wordt gehouden met de 'embodied energy' van de materialen die worden gebruikt. Dit is de hoeveelheid energie die nodig is om het gebouw te bouwen. Het kan worden gezien als de investeringsenergie in het gebouw en omvat onder andere energie die nodig was voor het winnen, produceren en transporteren van de gebouwonderdelen, maar ook de gebruikte energie tijdens de bouw zelf. We komen verderop nog op terug op het concept van embodied energy.

TOT OP ZEKERE HOOGTE

Het bereiken van (bijna) energieneutraliteit en energie-plus komt altijd neer op een combinatie van het verminderen van het gebruik en de opwekking van duurzame energie. Het verminderen van de benodigde energie wordt bereikt

door zowel een goed ontworpen gebouw (met o.a. goede isolatie) en zuinig gedrag van de gebruiker als door slimme klimaatinstallaties. In dit artikel wordt expres het woord 'slim' gezet in plaats van efficiënt, omdat dit laatste woord zo goed als altijd alleen in verband wordt gebracht met energie-efficiëntie. Energie-efficiëntie scheert echter alle vormen van energie over één kam, terwijl de ene vorm van energie veel meer waard is dan de andere. Dat waardeverschil kan worden gekwantificeerd met behulp van het exergie concept. Exergie is gebaseerd op de tweede hoofdwet van de thermodynamica en geeft de hoeveelheid arbeid aan die uit een bepaalde hoeveelheid energie bij een ideale omzetting gehaald kan worden. Doordat in ideale omzettingen geen exergie verloren gaat, geeft de hoeveelheid exergie die in een proces wel verloren is gegaan aan in hoeverre een proces verbeterd kan worden. Het verminderen van exergie-vernietiging heeft uiteindelijk tot gevolg dat minder hoogwaardige bronnen nodig zijn. Opwekking van duurzame energie gebeurt op gebouwniveau zo goed als altijd met zonne-energie, en dan voornamelijk op het dak. Dit betekent: hoe groter het dakoppervlak, hoe meer je kunt opwekken. Het betekent ook: hoe meer bouwlagen, hoe moeilijker het wordt om energieneutraliteit te bereiken. Energieneutraliteit kan dus letterlijk tot op zekere hoogte. Maar naast deze beperking zijn er nog andere aspecten waardoor energieneutraliteit volgens de huidige aanpak niet zonder meer kan worden voortgezet.

In figuur 3 zijn twee voorbeelden van een energieneutrale woning weergegeven: de ene met maximale reductie van de vraag (o.a. door zeer hoge isolatiewaarden en ventilatiesysteem met een hoog rendement warmteterugwinning), de ander met minder vergaande reductie van het gebruik maar met extra opwekking door meer vierkante meters PV.

ENERGIEPOSITIEF

Netto energieneutraliteit komt er op neer dat gedurende de winter veel energie wordt gevraagd, en gedurende de zomer veel terug wordt geleverd aan het net. Met de huidige salderingsmogelijkheden³ heeft dit voor de gebruiker geen nadelige gevolgen. Echter, de groeiende decentrale opwekking heeft voor

het elektriciteitsnet op grotere schaal en voor de netbalans wel degelijk grote gevolgen. Smart grids en verschillende energie-opslag technieken moeten verder worden ontwikkeld om de inpassing van hernieuwbare bronnen in ons huidige – op centrale opwekking en decentrale consumptie gebaseerde – energiesysteem mogelijk te maken. In feite zijn er drie manieren om de mismatch tussen vraag en opwekking te overbruggen: door opslag van energie, door het transporteren van energie naar plekken waar wel een vraag is, en door aanpassen van het vraagprofiel, ook wel 'demand side management' genoemd. Er lopen diverse proefprojecten waarin aansturing van de energievraag door het flexibel inzetten van huishoudelijke apparatuur of gebouwinstallaties zoals warmtepompen wordt onderzocht, onder andere bij de netbeheerders⁴. De mate waarin gebouwen het net belasten door een hoge piekvraag of piekaanbod, of juist ontlasten door een flexibel energievraagpatroon, wordt echter nog niet meegenomen in de energieprestatie. Het project 'Towards Net Zero Energy Solar Buildings' van het IEA benoemt wel indicatoren die de relatie met het net betreffen, de 'load matching indicator' en een 'grid interaction indicator'⁵. Los van de vraag hoe lang we mogen blijven salderen, kan gesteld worden dat de toekomstige gebouwen mogelijk een actievare rol in het grotere energiesysteem kunnen gaan spelen, waardoor zij ook een positieve bijdrage voor een groter geheel kunnen betekenen.



-Figuur 3- Twee voorbeelden van energieneutrale woningen. (bron: RVO, 2014 [4] en Beltman Architecten (voor referentieconcept 2). Zie ook <http://www.rvo.nl/initiatieven/energiezuiniggebouwd/>)

3. Salderen betekent dat de energie die een gebouwgebruiker terug levert aan het net door de energieleverancier wordt afgetrokken van het verbruik van de afnemer. Hierdoor ontvangt de afnemer dezelfde prijs (inclusief belastingen en transportkosten) voor de teruggeleverde energie als die hij betaalt voor de energie die hij op een ander tijdstip van de energieleverancier afneemt.

4. Zie bijvoorbeeld <http://www.powermatchingcity.nl/>

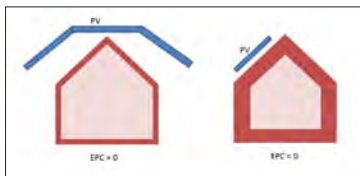
5. Zie IEA rapport 'Analysis of load match and grid interaction indicators in net zero energy buildings with high-resolution data': [...] "The first two sections of the report introduces why load matching and grid interaction are key aspects to be analysed in Net ZEBs together with the fulfilment of the yearly energy balance between on-site generation and buildings load. Buildings will play a significant role as part of an energy system based on DER – Distributed Energy Resources."

DE GROTERE SCHAAAL

Aandacht voor de grotere schaal brengt meteen de vraag met zich mee wat nu een goede oplossing is. De grote schaal biedt collectieve mogelijkheden plus een mogelijke interactie met overige stromen, zoals bijvoorbeeld afval, riool of snoeihout. Moeten werkelijk alle bestaande woningen worden gerenoveerd tot NoM woningen of bieden de mogelijkheden op grotere schaal betere oplossingen? Waar aan de ene kant geluiden opgaan om bij renovatie te denken 'als je het doet, doe het dan goed' (liever 100 woningen 4 labelstappen dan 200 woningen 2 labelstappen), kan een wijkaanpak een ander optimum laten zien. Naast het feit dat een grotere schaal technisch meer mogelijkheden geeft, is er ook een sociale ontwikkeling te zien in relatie tot decentrale energie opwekking. In Nederland zijn al meer dan 500 lokale duurzame energie initiatieven actief, die gezamenlijk vele zonprojecten, woningverbetering en andere verduurzamingsproject op wijkniveau realiseren⁶.

NETTO GEBRUIK NUL

Gezien de verschillende oplossingen voor een energieneutraal gebouw kan de vraag gesteld worden Maar wat is nu beter? (zie figuur 4)



-Figuur 4- Een energieneutrale woning is op verschillende manieren te bereiken. Wat is nu beter?

Op jaarbasis zijn de voorbeelden uit figuur 4 gelijk, maar zoals beschreven speelt daarnaast de relatie met het elektriciteitsnetwerk en de invloed op het totale energiesysteem een rol. Bovendien verschillen deze twee extremen op twee andere belangrijke punten: materiaalgebruik en gebruik van ruimte. Voor het isoleren van gebouwen en het omzetten, distribueren en opwekken van energie zijn materialen nodig, en voor het opwekken van duurzame energie is ruimte nodig. In figuur 5 is de relatie van het energiesysteem met de overige natuurlijk hulpbronnen schematisch weergegeven, waarbij zowel materiaalgebruik als gebruik van ruimte, top soil en water een rol spelen.

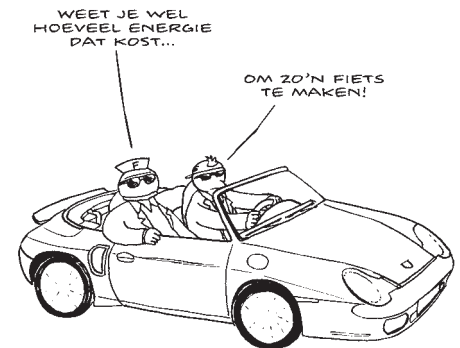
ENERGIE, MATERIAALGEBRUIK EN CIRCULARITEIT

Het besef dat naast het aanpakken van het

energieprobleem het materiaalgebruik moet worden bekeken is inmiddels wijdverbreid. Het vergelijken van de energie die een bepaald product kan opwekken of besparen met de energie die nodig is om dit product te produceren, transporteren en na gebruik te verwerken (de 'embodied energy' is hier een belangrijk aspect. Voor bepaalde producten, zoals bijvoorbeeld zonnepanelen, kan daardoor ook gesproken worden van een energetische terugverdientijd: de tijd die nodig is om de geïnvesteerde energie terug te verdienen, doordat het betreffende product deze energie opwekt of een besparing realiseert. Voor zonnepanelen ligt deze tussen één en drie jaar. Bij fossiel gestookte apparaten is er natuurlijk geen sprake van een energetische terugverdientijd, omdat er geen energie duurzaam wordt opgewekt of bespaard.

Maar de milieubelasting van materiaalgebruik (zie fig. 6) gaat natuurlijk verder. In het huidige bouwbesluit is ook een eis gesteld aan de milieubelasting van materialen. Deze kan worden bepaald met behulp van de MPG (de Nationale Milieu Prestatie Gebouwen), die gebruik maakt van de Nationale Milieudatabase [5,6]. Deze is gebaseerd op de Levens Cyclus Analyse (LCA) methodiek. De huidige bepalingmethode gaat echter nog niet uit van circulair gebruik van producten, maar hanteert afdankscenario's, waaronder stort, verbranding en recycling. Zoals gesteld in een position paper over de relatie tussen LCA en cradle to cradle [7], is het 'afval is voedsel' principe geen onderdeel van een LCA.

Een werkelijke circulaire levensloop (levenscyclus) leidt tot andere beoordelingen dan een lineair levenspad van een product eindigend in een afdankscenario. Als het afdankscenario bijvoorbeeld verbranding is, wordt energiewinning in de beoordeling meegenomen. Als het uitgangspunt circulair gebruik en upgradering van materiaalstromen is, betekent dat juist dat de laatste stap mogelijk om de input van energie vraagt om het materiaal te upcyclen. In dit geval is de laatste stap in feite geen afdank-



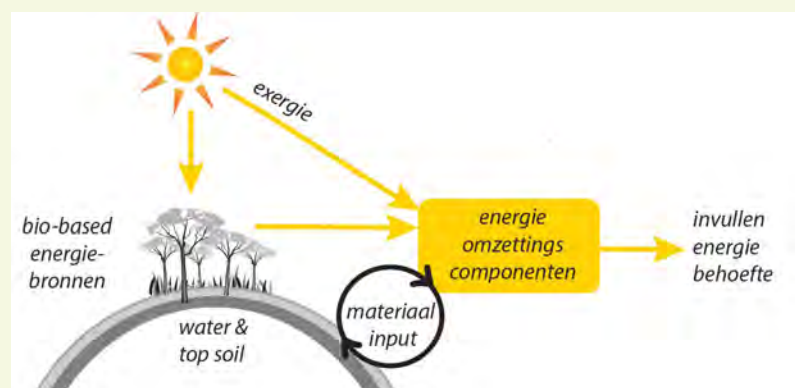
RGVT

-Figuur 6- Fokke en Sukke snappen ook hoe het werkt met embodied energy

scenario, of zoals in het Engels een 'end-of life' scenario maar eerder een 'nieuw-leven' scenario (weergegeven in fig 7). Meer achtergronden rondom circulariteit in de bouw worden besproken in het artikel over materialen, eveneens te vinden in deze editie van het TVVL magazine. Voor het beoordelen van energiesystemen zullen de benodigde materialen echter ook een steeds grotere rol gaan spelen. Indien het uitgangspunt is dat materialen circulair worden gebruikt, kan dit in sommige gevallen ook betekenen dat een bepaald product (bijvoorbeeld een bepaald type PV cel) met een lagere energie-efficiëntie de voorkeur heeft omdat dit product in een circulair systeem past of biologisch afbreekbaar is.

RUIMTEGEBRUIK

Het laatste en misschien wel belangrijkste punt is ruimte. Duurzame bronnen vragen meestal ruimtegebruik: voor zonnecellen, voor wind, voor biomassa. Ruimtegebruik is direct gerelateerd aan top soil, biodiversiteit en ecosystemen, allen het 'natural capital' van onze aarde dat het überhaupt mogelijk maakt om in onze behoefte te kunnen voorzien. Ruimte kan dus niet onbeperkt benut worden, althans niet in druk bevolkte gebieden. Voor stedelijke gebieden geldt dat het niet mogelijk is de energie die de stad nodig heeft ook binnen de



-Figuur 5: schematisch weergave van relatie tussen energievoorziening en de natuurlijke hulpbronnen water, materialen en top soil

6. Zie www.hieropgewekt.nl voor een overzicht van lokale energie-initiatieven.

stad op te wekken; er is altijd meer (omliggend) land nodig. Een alternatief is dat de energie van ver wordt gehaald, waar de druk op de ruimte kleiner is en de bezonning misschien meer. Maar dit vraagt weer materialen voor het transport.

SAMENVATTEND

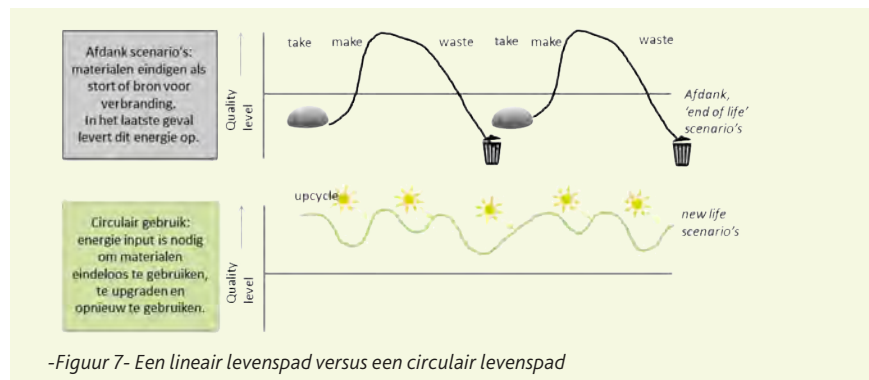
Een duurzaam energiesysteem voor de gebouwde omgeving houdt in de eerste plaats in dat alle energie die nodig is wordt opgewekt met hernieuwbare bronnen. Om dit op gebouw-, wijk- of stadsniveau te realiseren is een combinatie van het verminderen van de energiebehoefte en het opwekken van duurzame energie nodig. Slim omgaan met energiebronnen is hierbij essentieel. Exergie is daarbij een belangrijk hulpmiddel. Een gebouw met een positieve footprint

voor energie gaat echter nog verder dan energie-plus: er moet ook aan het totaal energiesysteem (opslag, smart grids), circulair materiaalgebruik en ruimtegebruik gedacht worden. Bij energieneutraliteit is de energie in feite geen indicator meer, omdat voor alle varianten het netto energiegebruik gelijk is aan nul. Voor het bepalen van de duurzaamheidsprestatie van toekomstige energiesystemen zullen dus andere indicatoren een rol gaan spelen. Voor de installatiebranche betekenen al deze ontwikkelingen ook grote veranderingen: andere eisen aan het energiesysteem, nieuwe componenten (opslag, complexere regelingen), de ontwikkeling naar decentrale, lokale, collectieve energievoorzieningen en nieuwe businessmodellen om het energiesysteem ook in een circulaire economie te laten functioneren. Hoe de energievoorziening er in

de toekomst uit gaat zien is nog niet duidelijk, maar dat het anders zal worden, dat is zeker. Je kunt er maar beter op voorbereid zijn.

REFERENTIES

1. IEA factsheet energy figures: The Netherlands – Overview. Onttrokken aan het internet op 22 okt 2015, < https://www.iea.org/media/news/NL_IDRfactsheet.pdf >
2. Agentschap NL (januari 2013), 'Warmte en koude in Nederland'. Publicatie-nr. 2NECW1202
3. Ministerie BZK (juli 2015), kamerbrief 'Voortgang energiebesparing gebouwde omgeving'
4. RVO (2014), 'Technieken voor een energie-neutrale woning'
5. J. Salom et al., (2014), 'Analysis of load match and grid interaction indicators in net zero energy buildings with high-resolution data', IEA Task 40/Annex 52 Towards Net Zero Energy Solar Buildings
6. Nationale Milieudatabase www.milieudatabase.nl
7. SBR CURNet (2015), 'Bepaling van de milieuprestaties van gebouwen en gww-werken (MPG), geactualiseerde versie 2015'
8. NL Agency (december 2011), 'Usability of Life Cycle Assessment for Cradle to Cradle purposes', Publication-nr. 1AFVA1106



DESIGNING INNOVATIVE SOLUTIONS

United Technologies

Carrier Experience Center VSK

AquaForce® chiller met PUREtec™ koudemiddel en Greenspeed® intelligence en fully connected

Bezoek de Carrier stand op de **VSK beurs** en maak kennis met de laatste innovaties. **Hal 11**