

Energieneutrale kantoorrenovatie

Duurzaam renoveren heeft de toekomst, blijkt uit onderzoek in het kader van Building Brains. De vraag is alleen: hoe renoveer je duurzaam? Een onderzoeksgroep met medewerkers van de bedrijven cepezed, DHV, KOW en Yacht hebben onderzocht hoe verschillende renovatieconcepten scoren. Er zijn vier renovatieconcepten met elkaar vergeleken: energie neutraal renoveren door middel van duurzame energieopwekking, toepassen van het passiefhuisprincipe, toepassen van een tweedehuidfaçade en toepassen van een decentrale, gevelgeïntegreerde installatie. Uit de studie kwamen twee geoptimaliseerde concepten voor een energieneutrale kantoorrenovatie naar voren.

Ir. D. (Diana) Deguelle, bouwkundig adviseur DHV; ir. M. (Marieke) Krijnen, bouwfysisch adviseur DHV; ir. J. (Joost) Heijnis, architectbureau cepezed

■ KANTOORVOORRAAD

De kantoorvoorraad in Nederland bestaat uit circa 46.200.000 m² verhuurbaar vloeroppervlak. Hiervan is 72% gebouwd voor 1995. Dit is het jaar waarin de energieprestatie-eisen voor het eerst in het Bouwbesluit zijn opgenomen. De energieprestatie-eisen van 1995 komen overeen met het huidige energielabel C. Sinds 1 januari 2010 huurt de Rijksoverheid alleen kantoren met minimaal energielabel C, conform het duurzaam inkoopbeleid van de overheid. De Rijksgebouwendienst heeft 11% van alle kantoren in gebruik. Verwacht wordt dat steeds meer bedrijven zich zullen aansluiten bij de overheidsafspraken in het kader van maatschappelijk verantwoord ondernemen (MVO). Gebouwen van vóór 1995 die sindsdien geen energetische verbeteringen hebben ondergaan, voldoen niet aan deze afspraken. Daardoor zijn ze slecht verhuurbaar. Eigenaren van deze panden zijn genoodzaakt hierop hun beleid te voeren. De mogelijkheden zijn:

renoveren of slopen, gevolgd door nieuwbouw. Maar wat is de duurzaamste oplossing?

■ BEOORDELING

Een andere werkgroep binnen Building Brains heeft onderzoek gedaan naar de succesfactoren bij al uitgevoerde duurzame renovatieprojecten. De resultaten hiervan hebben bijgedragen aan de keuze van de beoordelingscriteria. Uit het onderzoek blijkt dat het van belang is om meetbare ambities te stellen en deze te borgen door te monitoren en terug te koppelen. Veel duurzaamheidsaspecten zijn 'soft' en worden bijvoorbeeld beoordeeld aan de hand van een afvinklijst. Dit maakt het stellen van meetbare ambities en het monitoren ervan moeilijk.

Uit dit onderzoek is tevens gebleken dat het toepassen van maatregelen met een beperkte terugverdientijd en het beoordelen van de kosten over een lange termijn (dus ook rekening houdend met gebruik en onderhoud)

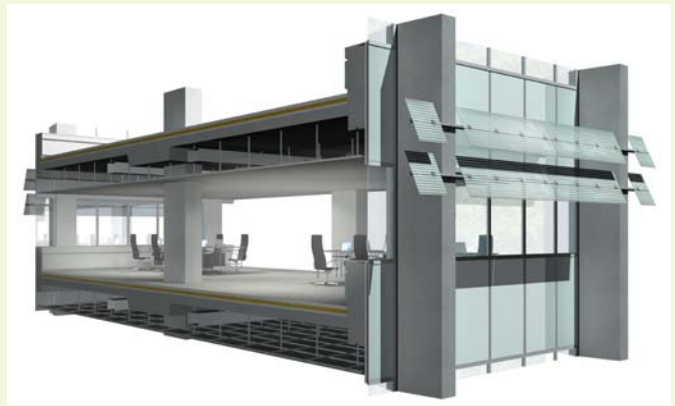
bijdragen aan het succes van duurzame renovatieprojecten.

Building Brains richt zich specifiek op energie. Energie is goed meetbaar. Maar door een te sterke focus op energie alleen wordt voorbijgegaan aan de milieubelasting, veroorzaakt door materialen die bij renovatie nodig zijn (o.a. emissies en uitputting). In dit onderzoek zijn uiteindelijk drie beoordelingsaspecten meegenomen: energie, materialen en kosten. Andere aspecten die beoordeeld hadden kunnen worden, zijn buiten beschouwing gelaten.

■ ENERGIE

De energie die tijdens de gehele levenscyclus van een gebouw gebruikt wordt, is onder te verdelen in:

- gebouwegebonden energie: energie voor verwarmen, koelen, ventileren, warmtapwater en verlichten;
- gebruiksgebonden energie: energie voor gebruikapparatuur, zoals computers;



-Figuur 1- TNO huidig gebouw (onder) en modellen van het TNO-gebouw in de jaren zestig (linksboven) en huidige situatie (rechtsboven)

-materiaalgebonden energie (energie benodigd voor productie, transport e.d. van materialen).

De ambitie van het onderzoeksteam is: energieneutraal voor zowel het gebouw-, gebruik- als materiaalgebonden deel. Dit wijkt af van de definitie die Agentschap NL geeft aan energieneutraal. Agentschap NL beschouwt alleen het gebouw- en gebruikgebonden deel. Onder energieneutraal wordt verstaan: *De jaarlijkse primaire energiebehoefte uitgedrukt in MJ moet gelijk of kleiner zijn dan de jaarlijkse opbrengst van duurzaam opgewekte energie op het eigen perceel.*

Bijna alle bestaande duurzaamheidstools hanteren een berekeningsmethodiek voor de energieprestatie conform NEN 2916. Ook in dit onderzoek is de gebouwgebonden energie berekend volgens deze norm, waarvoor het EPU-berekeningsprogramma is gebruikt. Het gebruikgebonden deel is in kaart gebracht

met behulp van kengetallen. De materiaalgebonden energie is berekend met de LCA-berekeningsmethode in het programma Greencalc⁺.

■ MATERIAAL

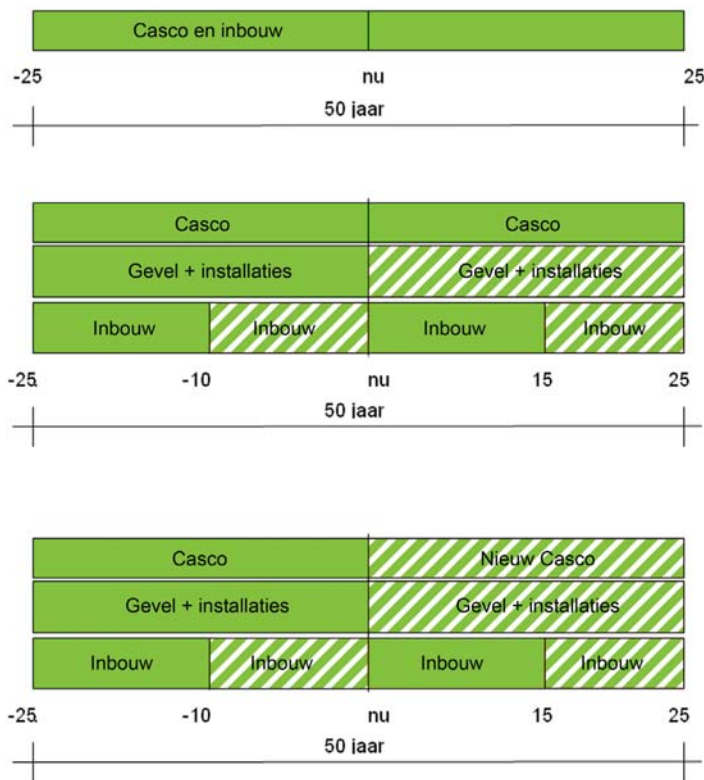
Een gebouw bestaat uit veel verschillende materialen. De milieu-impact hiervan gedurende de gehele levensduur van een gebouw wordt berekend met de levenscyclusanalyse- (LCA-)methode. Deze methode maakt het onderling vergelijken van varianten mogelijk. De milieubelasting is uitgedrukt in schaduwkosten. In de berekeningen wordt zowel de milieu-impact van materialen (grondstofwinning, productie, vervoer etc.) als het gebouwgebonden energiegebruik meegenomen. Voor de opwekking van energie zijn namelijk kolen, aardgas en andere grondstoffen gebruikt, die ook een milieu-impact hebben. Doorrekening van hetzelfde gebouw in verschillende LCA-tools (zoals Greencalc⁺,

Eco-Quantum en GPR-gebouw) resulteert in een grote spreiding van de berekende milieubelasting. Dit komt door de verschillende databases waarvan de LCA-tools gebruik maken. Landelijk is een harmonisatie ingezet; maar deze is nog niet verwerkt in de programma's. De materiaalmilieubelasting is berekend met het programma Greencalc⁺. De input voor het primaire, gebouwgebonden energiegebruik is afkomstig van de energietool.

■ KOSTEN

In de bouwpraktijk leeft het idee dat duurzaam ook duur is. De 'total cost of ownership' (TCO) laat zien dat maatregelen die een hogere initiële investering vragen over de gehele levenscyclus, goedkoper kunnen zijn. In de TCO zijn de volgende kosten meegenomen:

- investeringskosten;
- exploitatiekosten (onderhoudskosten/vervangingskosten);
- afstotingskosten.



-Figuur 2- Scenario's renoveren en sloop nieuwbouw

Er is geen geschikt, bestaand programma gevonden om de TCO van een gebouw te berekenen. De onderzoeksgroep van Building Brains heeft voor het project een 'kostentool' gemaakt in excel. De benodigde kostengegevens zijn afkomstig uit handboeken en gebaseerd op ervaringsgetallen van de betrokken bedrijven.

CASE STUDY

De renovatieconcepten zijn vergeleken voor een bestaand gebouw. Op deze manier zijn werkelijke oppervlakten, materialisatie en detaillering bekend en kunnen praktijkgerichte afwegingen gemaakt worden. Hoofdgebouw TNO Delft (gebouw 44) is hier voor geselecteerd, vanwege de ligging (vlakbij de werklocatie van Building Brains) en de beschikbaarheid van alle benodigde informatie. Het gebouw dateert uit 1960 en is in 2001 volledig gerenoveerd door KOW-architecten (deelnemer Building Brains). De resultaten van alle berekeningen die in dit onderzoek zijn uitgevoerd, hebben betrekking op deze case study. In principe gelden de uitkomsten dus alleen voor dit gebouw. Het gebouw is echter op voldoende punten representatief voor de bestaande kantoorvoorraad. Het is daarom aannemelijk dat vergelijkbare resultaten behaald kunnen worden met andere gebouwen.

VERGELIJKING SCENARIO'S

Voor het TNO-gebouw is onderzocht hoe renovatie zich verhoudt tot sloop/nieuwbouw als het gaat om duurzaamheid. Bij de bereke-

ningen is de levensduur van een gebouw van groot belang; dit geldt vooral voor de materiaalberekening. Hoe langer de levensduur van een gebouw, hoe gunstiger de materiaalmilieubelasting. In het onderzoek is uitgegaan van de scenario's die in figuur 2 zijn weergegeven. Er wordt uitgegaan van een totale levensduur van 50 jaar. De inbouw wordt iedere 10 tot 15 jaar vervangen. Voor het renovatiescenario geldt dat na 25 jaar een grote renovatie plaatsvindt. Hierbij wordt de gebouwschil geïsoleerd: gevel, dak: $R_c = 4,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ en vloer: $R_c = 3,5 \text{ m}^2\text{K/W}$. Het glas wordt vervangen door HR⁺⁺-glas. Er komt gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning en verder een traditioneel installatieconcept met hr-ketel en compressiekoelmachine, aangevuld met energiezuinige verlichting met daglichtafhankelijke regeling. Bij het sloop/nieuwbouwscenario wordt het gebouw na 25 jaar gesloopt en vervangen door een nieuw gebouw. Het nieuwe gebouw heeft dezelfde uitgangspunten als de renovatievariant, maar met een hogere luchtdichtheid van de schil en een EPC die voldoet aan het bouwbesluit.

De keuze van het scenario heeft invloed op de uitgevoerde berekeningen. Het gebruik van een ander tijdsscenario kan tot andere inzichten leiden.

De twee scenario's zijn doorgerekend voor het TNO-gebouw. De resultaten van de berekeningen tonen aan dat renovatie van kantoorpanden vrijwel net zo veel energiebesparing oplevert als volledige nieuwbouw (zie figuur 4). Bovendien heeft het gebruik van materialen bij renovatie 20% minder impact op het milieu

en zijn de kosten 25% lager. Kantoorrenovatie is dus een goed alternatief voor sloop/nieuwbouw. Het zorgt voor minder bouwafval, materiaalverbruik en energiegebruik tijdens de bouwfase dan sloop/nieuwbouw. Daarnaast is renovatie goedkoper en sneller uitgevoerd. Duurzame renovatie van kantoren is dé kans om bestaande panden te verbeteren en geschikt te maken voor de toekomst. Om de juiste keuze te kunnen maken voor een vastgoedobject spelen echter ook vele andere aspecten een rol, naast de meetbare aspecten energie, materiaal en kosten. Dit onderzoek kan betrokken partijen ondersteunen bij het maken van een complexe afweging.

DUURZAAM RENOVEREN

Duurzaam renoveren loont, maar hoe pak je dit aan? Er zijn al voorbeelden van energieneutrale nieuwbouwprojecten. Maar hoe zit het met renovatie? De bestaande voorraad zal fors op energie moeten besparen om te kunnen voldoen aan de overheidsdoelstellingen (50% energiebesparing in 2020).

Op basis van literatuur en voorbeeldprojecten is onderzocht welke duurzame renovatiemaatregelen er zijn voor kantoren. Onderzocht zijn zowel bouwkundige en installatietechnische maatregelen als technieken voor duurzame energieopwekking.

De mogelijkheden en onmogelijkheden van duurzaam renoveren zijn in vier renovatieconcepten onderzocht: opwekking, passief, schil en decentraal. Deze concepten zijn samengesteld uit op elkaar afgestemde maatregelen. De vier concepten zijn in een zo zuiver mogelijke vorm met elkaar vergeleken. Het accent lag op het beperken van gebouwgebonden energiegebruik.

Concept opwekking

De opwekkingsvariant richt zich op het duurzaam opwekken van energie. Het uitgangspunt voor energiegebruik is dat het TNO-gebouw gerenoveerd is tot niveau bouwbesluit nieuwbouw. Het opwekken van de gemiddeld op jaarbasis benodigde energie gebeurt met (een combinatie van) zonnecellen, windmolens en een warmte/koudeopslaginstallatie (WKO).

Concept passief

De basis voor het passieve concept is het 'passief huis'-principe. Het warmteverlies wordt zoveel mogelijk beperkt door extreem goed te isoleren. De raamopeningen worden verkleind en gevel en dak krijgen een R_c -waarde van $10 \text{ m}^2\text{K/W}$; de begane grondvloer krijgt een R_c -waarde van $5 \text{ m}^2\text{K/W}$.

De U-waarde van de beglazing en kozijnen is kleiner dan $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Voor de ramen zitten isolerende luiken, die 's nachts sluiten om het



-Figuur 3- Renovatie van concepten: passief, schil en decentraal

warmteverlies te beperken. In geopende stand fungeren de luiken als zonwering en reflector om daglicht diep in het gebouw te brengen. Er wordt mechanisch geventileerd volgens het verdringingsprincipe met hr-warmteterugwinning, zodat met minimale luchtbehandelingsenergie een aangenaam binnenklimaat wordt bewerkstelligd.

De grote mate van isolatie zorgt voor een hoge interne warmtelast, waardoor koeling in de zomer een aandachtspunt is. Op basis van temperatuuroverschrijdingsberekeningen is het ontwerp op diverse punten geoptimaliseerd om oververhitting te voorkomen. Zo wordt onder andere bij zwoel weer de ingeblazen lucht met grondwater gekoeld.

Het warmte accumulerend vermogen van de betonnen vloeren en wanden wordt gebruikt om de temperatuurschommelingen af te vlakken. Er worden geen verlaagde plafonds toegepast en als extra accumulerend vermogen worden baffels met Phase Change Materials ((PCM's) onder de betonnen vloeren gehangen. In de zomer zorgt het mechanische ventilatiesysteem voor koeling van het beton en de PCM's.

Concept Schil

In de schilvariant wordt het kantoorgebouw voorzien van een glazen tweedehuidfaçade. Door deze schil werkt de ruimte tussen gevel en schil als buffer. Lucht wordt in de zomer door middel van natuurlijke trek afgevoerd via openingen aan de onder- en bovenzijde van de gevel. Een geïsoleerd rookwarmteafvoersysteem dicht de ruimte tussen dakrand en tweedehuidfaçade. Dit kleppenregister wordt geopend als de temperatuur in de klimaatgevel teveel oploopt.

In de winter wordt de spouw juist dichtgezet. Een ventilator mengt de lucht om een gelijkmatige temperatuur in de spouw te verkrijgen, die zo als een isolerende deken werkt. Er is een CFD-berekening gemaakt om het energiebesparende effect van de spouw en de temperaturen in de spouw in kaart te kunnen brengen. Naast de tweedehuidfaçade is een verticaal buizenstelsel aan weerszijden van de kolommen een belangrijk onderdeel van dit concept. Deze buizen voeren ventilatielucht vanaf het dak aan, waarna deze lucht ter plaatse van de borstwering de vertrekken wordt ingeblazen. Zo wordt de ruimte in de spouw dubbel gebruikt en kostbare ruimte in het gebouw bespaard. Kanalen in de gangzone voeren de lucht af. Aan de raanzijde is een strook klimaatplafondeilanden aangebracht. Deze kunnen, indien nodig, bijverwarming of koeling verzorgen.

De gevels krijgen sandwichpanelen met een R_c -waarde van $4 \text{ m}^2\text{K/W}$ en de ramen HR++-glas. Een screen aan de binnenzijde van het raam zorgt voor zon- en lichtwering.

Concept decentraal

Het concept decentraal houdt in dat elke drie meter een decentrale, gevel-geïntegreerde installatie-unit wordt toegepast. Deze unit koelt, verwarmt en ventileert. De unit beschikt onder andere over een warmtewisselaar, toerengeregelde ventilatoren en CO_2 -detectie. Groot voordeel is dat de installaties individueel regelbaar zijn en zich aanpassen aan de situatie in de ruimte. Dit levert tot 20 procent energiebesparing op in vergelijking met conventionele centrale klimaatsystemen. Er zijn geen grote luchtkanalen nodig, waardoor er meer vrije hoogte over blijft en minder schachtruimte nodig is. Leidingverliezen behoren tot het verleden en verlaagde plafonds zijn overbodig. Verwarming en koeling worden wel centraal opgewekt; een geïsoleerd 4-pijpsysteem verzorgt de distributie.

De decentrale installatie-units zijn aan de binnenzijde van de kolommen geplaatst, die voor het TNO-gebouw karakteristiek zijn. De units blazen aan de onderzijde lucht in de vertrekken; de afvoer bevindt zich aan de bovenzijde.

Afhankelijk van de CO_2 -metingen blaast de unit de lucht weer opnieuw in de ruimte en/of mengt de unit verse lucht via de warmtewisselaar bij.

De gevel krijgt HR++-glas in de ramen en vacuümisolatie met een R_c -waarde van $5,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ bij een dikte van slechts 20 mm. Tevens dienen screens in het gevelvlak als buitenzonwering.

CONCLUSIES CONCEPTEN

De vier renovatieconcepten zijn volgens hetzelfde tijdslijnen scenario doorgerekend als bij de afweging tussen renovatie en sloop/nieuwbouw. Dit gebeurde op de aspecten energie, materialen en kosten. In figuur 4 (op de volgende pagina) zijn de resultaten van de energieberekeningen weergegeven. De grafiek laat zien dat het gebouwgebonden energiegebruik vooral in de passief-variant zeer sterk verminderd is. De gebruiksgebonden energie is bij alle vier de varianten gelijk. De materiaalgebonden energie is het grootst voor de opwekkingsvariant, omdat er extra materialen nodig zijn voor de locatiegebonden opwekking van energie. Uit de berekeningen van energie, materialen en kosten zijn onderstaande conclusies getrokken:

- 75% energiereductie is mogelijk door vraagbeperking (concept passief);
- het aandeel van de gebruiks- en materiaalgebonden energie bedraagt na renovatie 40 tot 60%;
- energiegebruik is er altijd als gevolg van de gebruikers en de benodigde materialen;
- eerst energievraag beperken dan pas opwekken;
- energiebesparing is niet duur, opwekking wel.

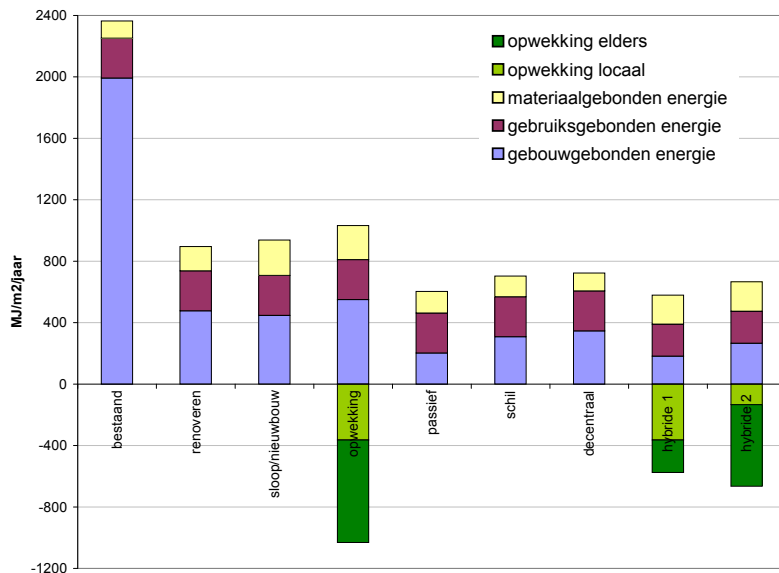
Uit de vergelijking van deze vier concepten is een aantal vuistregels voor renovatie naar voren gekomen. Bij elke duurzame renovatie zou het volgende aangebracht moeten worden:

- goede isolatie;
- goede (buiten)zonwering;
- lagetemperatuurverwarming/hogetemperatuurkoeling;
- vraaggestuurde ventilatie;
- energiezuinige verlichting en efficiënte regelingen;
- thermische massa.

De studie naar de vier concepten heeft veel kennis en inzicht opgeleverd. Deze is gebruikt voor het ontwikkelen van twee energieneutrale concepten: passief-opwekking en schil, decentraal met opwekking.

Hybride 1 – Passief-opwekking

Deze hybride zet in op energiebesparing door het passieve concept toe te passen. Daarnaast wordt gebruik gemaakt van een WKO-systeem



-Figuur 4- Resultaten van de energieberekeningen

en efficiënte regelingen voor zowel de installatietechnische componenten als de gebruiksgebonden apparatuur. Om tot energieneutraal te komen moet er echter ook energie worden opgewekt. Dit gebeurt door middel van zonnecellen. De zonnecellen bevinden zich op het dak en de langsgevels die op het Oosten en Westen zijn georiënteerd. De zonnecellen op de gevels zijn tussen de kolommen bevestigd onder een hoek van dertig graden. De zonnecellen op het dak liggen vlak. Hierdoor kan elk paneel minder opwekken dan onder een hoek van 30 graden. Maar er kunnen meer panelen geplaatst worden, omdat er geen hinder van schaduw is. Daardoor is de uiteindelijke, totale energieopbrengst hoger.

Hybride 2 – schil, decentraal en opwekking

De tweede hybride is een combinatie van de decentrale installatie-unit en het schilconcept. Een decentrale installatie-unit gebruikt de lucht in de schil voor klimatisering. In de winter wordt de relatief warme spouwlucht gebruikt als ventilatielucht. Deze lucht bereikt via de decentrale unit de ruimte. In de zomer fungeert de spouw als natuurlijk afvoerkanaal voor de retourlucht van de unit. Er worden efficiënte regelingen voor zowel de installa-

tietechnische componenten als de gebruiksgebonden apparatuur toegepast en er wordt een WKO geplaatst. Ook bij hybride 2 wordt energie opgewekt door middel van zonnecellen. Deze zijn in de glazen tweedehuidfaçade verwerkt en vlak op het dak geplaatst.

CONCLUSIES HYBRIDEN

De hybriden zijn volgens hetzelfde tijdslijnen-scenario en op dezelfde aspecten doorgerekend als de vier concepten. In figuur 4 is ook het energiegebruik van de twee hybride varianten weergegeven. Uit de grafiek blijkt dat voor hybride 1 de gebouw- en gebruiksgebonden energie bijna helemaal opgewekt kan worden op het gebouw. Bij hybride 2 is de opwekking op het gebouw een stuk kleiner. Dit komt doordat de gevels van hybride 1 volledig voorzien zijn van zonnepanelen onder een hoek van 30 graden, terwijl bij hybride 2 slechts enkele zonnecellen vlak in het gevelvlak zijn opgenomen. Voor de opwekking elders is uitgegaan van windmolens. Zowel de gebouwgebonden als gebruiksgebonden energievraag van de hybriden is iets afgenomen ten opzichte van de vier concepten. De materiaalgebonden energie is gestegen door toevoeging van materialen voor zonnepanelen en windmolens.

Uit de resultaten van de energie-, materiaal- en kostenberekeningen zijn onderstaande conclusies getrokken:

- gebouw- en gebruiksgebonden energie zijn bijna volledig te compenseren met lokale opwekking (hybride 1);
- materiaal- en gebruiksgebonden energie zijn steeds belangrijker;
- de materiaalmilieubelasting is voor beide hybriden nagenoeg gelijk;
- energieneutraal is technisch haalbaar, maar economisch op perceelniveau (nog) niet aan te bevelen.

AANBEVELINGEN

Het accent lag bij het beschreven onderzoek op het gebouwgebonden energiegebruik. De toegepaste maatregelen richten zich met name hierop. Uit de resultaten blijkt dat de energieposten gebruik- en materiaalgebonden inmiddels net zo groot zijn geworden als het gebouwgebonden energiegebruik.

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek zijn:

- beperken gebruiksgebonden energie op basis van bijvoorbeeld: efficiënte regelingen, zuinige apparatuur en gebruikersgedrag;
- beperken materiaalgebonden energie. Vele toeleveranciers zijn al bezig met optimalisering van hun productieproces en dit levert al een energiebesparing op. Per situatie moet tevens worden bekeken wat de optimale materiaalkeuze is, afgestemd op onderhoud, gebruik en levensduur;
- energieneutraal op wijkniveau: samenwerking met andere gebouwen/functions en samen investeren in opwekking.

TOT SLOT

Uit het onderzoek blijkt dat duurzaam renoveren zeker de moeite loont en zelfs economisch en ecologisch gezien interessanter kan zijn dan nieuwbouw. Belangrijk is dat er heldere en meetbare ambities gesteld moeten worden bij aanvang van een project en dat deze ambities bij het beschikbare budget passen.

Verder geldt vooral: duurzaam renoveren? Doen!



-Figuur 5- Hybride concepten: Hybride 1: 'passief-opwekking' en Hybride 2: 'schil, decentraal-opwekking'