

# DE BALANS TUSSEN ENERGIEPRESTATIE EN MILIEUPRESTATIE

In 2050 moet Nederland zowel energieneutraal als circulair zijn. Twee mooie ambities die de gebouwde omgeving duurzamer maken. Om dit te bereiken wordt de eis voor energieprestatie steeds verder aangescherpt. In het Bouwbesluit is ook een maximale schaduwprijs opgenomen, die gebruik van milieubelastend materiaal beperkt om de impact van gebouwen te verminderen. Een betere energieprestatie kun je bereiken door een gebouw goed te isoleren. Maar dat betekent vaak ook meer materiaalgebruik en dus een hogere schaduwprijs. Een werkelijk duurzaam ontwerp gaat dus verder dan een goede energieprestatie. Het is ook een zoektocht naar de optimale balans tussen energieprestatie en materiaalgebruik. Dit artikel verkent de effectiviteit van verschillende ontwerpmaatregelen op de BENG score en de impact op de milieuprestatie.



ir. A.E. (Annebeth)  
Muntinga, ABT b.v.,  
Delft

## OVER BENG EN MPG

Momenteel wordt de energieprestatie van een gebouw bepaald conform NEN 7120 [3]. Op 1 januari 2021 treedt de NTA 8800:2019-06 [1] in werking, welke de NEN 7120 vervangt. De energieprestatiecoëfficiënt (EPC) wordt dan vervangen door drie Bijna Energie Neutraal Gebouw (BENG)-indicatoren. De drie BENG-indicatoren zijn als volgt:

1. Energiebehoefte (kWh/m<sup>2</sup>)
2. Primair fossiel energiegebruik (kWh/m<sup>2</sup>)
3. Aandeel hernieuwbare energie (%)

Om een gewenste energieprestatie te behalen zijn een tal van ontwerpmaatregelen mogelijk, zoals het toepassen van een hoogwaardige thermische schil, energie-efficiënte installaties en het toepassen van hernieuwbare energieopwekking op of aan het gebouw.

Naast de wet- en regelgeving omtrent energieprestatie, krijgt het materiaalgebruik van een gebouw steeds meer

aandacht. Sinds 2017 moeten woon- en kantoorgebouwen voldoen aan de eis voor een maximale milieuprestatie. Deze wordt bepaald door middel van de bepalingsmethode Milieuprestatie gebouwen en GWW werken [2] en uitgedrukt in een schaduwprijs: de fictieve kosten die men zou moeten betalen om de milieueffecten van een gebouw door zijn materiaalgebruik ongedaan te maken. De schaduwkosten per materiaal zijn verzameld in de Nationale Milieudatabase (NMD). Hier is zowel productspecifieke als generieke milieudata opgenomen. Productspecifieke data is van toepassing op een specifiek product van een specifieke fabrikant, terwijl generieke data voor alle gelijksoortige producten van verschillende fabrikanten geldig is. Zo is het productblad van Rockwool alleen geldig voor steenwol van Rockwool, terwijl het productblad Steenwol voor alle steenwolproducten mag worden gebruikt. Op generieke productbladen zit een toeslag van 30%.

De maximale milieuprestatie gebouwen (MPG) bedraagt op dit moment 1,0 €/m<sup>2</sup> BVO/jaar voor zowel woonfunc-

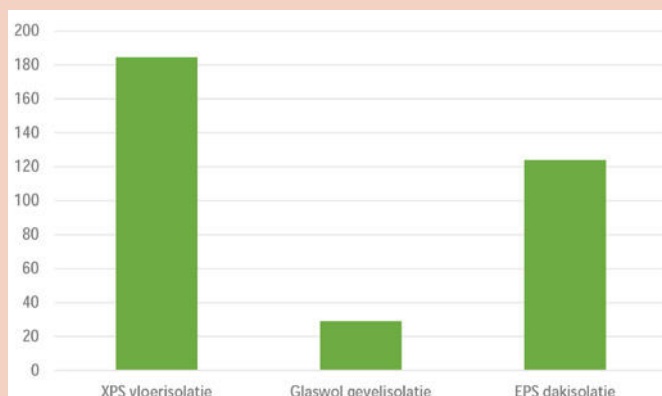
## Toegepaste isolatiematerialen

Het is interessant om in meer detail te kijken naar hoe de verschillende isolatiematerialen zich tot elkaar vergelijken met betrekking tot milieuprestatie. Voor een zuivere vergelijking tussen de impact op de energieprestatie en de impact op de schaduwkosten zou immers het type isolatiemateriaal in alle bouwdelen gelijk moeten zijn.

In de praktijk worden echter verschillende soorten isolatiemateriaal gebruikt voor verschillende bouwconstructies. Een vergelijking maken met daarin voor alle constructies hetzelfde isolatiemateriaal sluit daarom niet aan bij de praktijk, en zou zo weinig bruikbaar zijn voor de dagelijkse advisering. Daarom worden er in deze analyse verschillende soorten isolatiemateriaal vergeleken voor de verschillende bouwdelen.

Er is uitgegaan van XPS isolatie voor de begane grondvloer, glaswolisolatie voor de gevel en EPS isolatie voor het dak.

Om toch een beeld te krijgen hoe de drie materialen zich tot elkaar verhouden met betrekking tot milieulast, worden de schaduwkosten van 100 m<sup>2</sup> isolatie met een R<sub>c</sub>-waarde van 2,0 m<sup>2</sup>K/W van de drie materialen in de grafiek hiernaast getoond.



Schaduwkosten (€) per optie

Glaswol heeft hierin verreweg de laagste milieulast. Hierbij moet wel rekening gehouden worden met de verschillen in overige eisen (bijvoorbeeld drukvastheid) die voor de verschillende bouwconstructies gelden.

ties als voor kantoorfuncties en wordt naar verwachting komende jaren verder aangescherpt.

**HET SPANNINGSVELD TUSSEN ENERGIE EN MATERIAALGEBRUIK**

Conform de Trias Energetica is de eerste stap het terugbrengen van de energiebehoefte. Dit wordt veelal gedaan door het verregaand isoleren van gebouwen met R<sub>c</sub>-waarden tot wel 10 m<sup>2</sup>K/W of hoger. Hoewel dit de energieprestatie verbetert stijgen de schaduwkosten van het gebouw hierdoor. Anderzijds kan ook ingezet worden op meer hernieuwbare energieopwekking. Echter hebben PV-panelen ook een hoge milieu-impact. Dit roept de vraag op welk energetisch ontwerp de laagste milieu-impact heeft.

Projecten die streven naar een BREEAM-certificering zijn bekend met deze afweging: een goede energieprestatie levert punten op voor credit ENE1, maar er worden punten verloren op credit MAT1, die een lage MPG belooft. Ook hier worden projectteams gestimuleerd te zoeken naar het optimum.

Dit artikel streeft niet naar het beantwoorden van de vraag: wat heeft prioriteit, energie- of materiaalgebruik? Een integraal duurzaam ontwerp presteert namelijk goed op alle fronten, hoe onmogelijk dat ook mag lijken. Het streeft naar het minimaliseren van zijn negatieve impact, totdat we zero-impact kunnen bouwen.

Daarom moeten ontwerpkeuzes integraal gemaakt worden, waarbij zowel naar het effect op het energiegebruik als het materiaalgebruik wordt gekeken. In dit artikel onderzoeken we daarom het effect van verschillende ontwerpmaatregelen op zowel de energieprestatie als de milieuprestatie.

**METHODOLOGIE**

Voor dit onderzoek nemen we een referentiekantoorgebouw als casestudy. De (fictieve) ambitie voor dit kantoorgebouw is energieneutraal, waarbij BENG 2-indicator gelijk is aan 0 en BENG 3-indicator gelijk is aan 100%. Deze energieprestatie wordt gezien als een gegeven, en verschillende opties worden onderzocht om tot deze energieprestatie te komen. Deze opties worden vervolgens vergeleken op milieu-impact.

Er worden 3 gebouwdelen beschouwd: de begane grondvloer, de gevel en het dak. Voor al deze gebouwdelen wordt het effect van extra isoleren (op bovenwettelijk niveau) vergeleken met het toevoegen van een aantal PV-panelen.

Er is bewust gekozen om geen installatietechnische concepten te vergelijken op milieuprestatie, hoewel dat tevens een interessante vergelijking zou zijn. Dit omdat de huidige nationale milieudatabase nog onvoldoende data heeft met betrekking tot de verschillende installatietechnische onderdelen.

Voor de vergelijking is telkens gebruik gemaakt van generieke productinformatie, dus niet merkgebonden. Wanneer specifieke producten in plaats van generieke producten worden geselecteerd vallen de schaduwkosten veelal lager uit. Omdat op het moment van schrijven alleen

generieke data van PV-panelen beschikbaar was, is echter gekozen voor een vergelijking op generieke data van alle materialen.

Er is gebruik gemaakt van de VABI EPA (bèta-versie) en MPGCalc v1.2 op basis van de NMD 2.3.

**OMSCHRIJVING CASESTUDY GEBOUW**

Als casestudy is een fictief kantoorgebouw genomen. Het is een drielaags, rechthoekig gebouw van 30 x 20 x 14 meter met een gebruiksoppervlak van 1620 m<sup>2</sup>. De daglichtopeningen zijn gelijkmatig verdeeld over de gevels, met 40% raamoppervlak per gevel met automatische zonwering op de oost-, zuid- en westgevel. Het gebouw heeft geen kelder of kruipruimte.

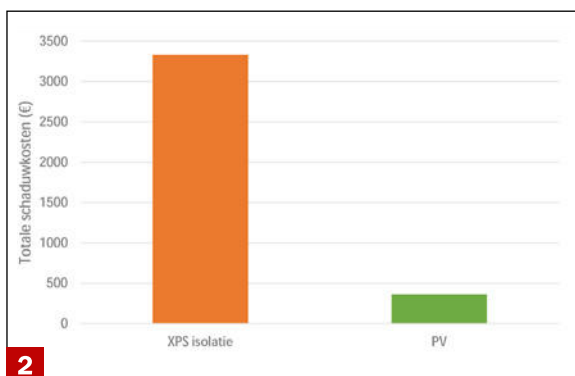
Het kantoor wordt verwarmd en gekoeld door middel van een warmtepomp met warmte-koude opslag in een aquifer, heeft mechanische ventilatie met warmteterugwinning en een boosterwarmtepomp voor warmtapwater. In de berekening zijn koudebruggen, distributielengtes en asvermogens van de ventilatoren forfaitair ingegeven.

In tabel 1 zijn de gebouwkenmerken weergegeven.

Opgemerkt wordt dat het Wattpiekvermogen van de PV-panelen behoudend is aangenomen. Omdat er voor de materialen is gerekend met generieke milieudata, is er ook voor het vermogen van de PV-panelen een meer

Tabel 1: Gebouwgegevens basisgebouw

Algemeen	
Gebruiksoppervlak	1620 m <sup>2</sup>
Gebruiksfunctie	Kantoor
Gebouwschil	
Begane grondvloer	600 m <sup>2</sup>
Dak	600 m <sup>2</sup>
Noordgevel	420 m <sup>2</sup>
Oostgevel	280 m <sup>2</sup>
Zuidgevel	420 m <sup>2</sup>
Westgevel	280 m <sup>2</sup>
Glaspercentage gevels	40%
Zonwering	Ja, O, Z, W
R <sub>c</sub> -waarde dak	6,3 m <sup>2</sup> K/W
R <sub>c</sub> -waarde gevels	4,7 m <sup>2</sup> K/W
R <sub>c</sub> -waarde begane grondvloer	3,7 m <sup>2</sup> K/W
U-waarde ramen	1,0 W/m <sup>2</sup> K
Installaties	
Warmte-opwekking	Warmtepomp + WKO
Koude-opwekking	Vrije koeling uit WKO
Ventilatiesysteem	Mechanisch met CO <sub>2</sub> regeling
Warmteterugwinning	Tegenstroom-wisselaar kunststof
Warmtapwaterbereiding	Doorstroomtoestel
Douchewaterwarmte-terugwinning	Nee
Verlichting	5 W/m <sup>2</sup>
Verlichtingsschakeling	Daglichtschakeling + veegpulsschakeling
Hernieuwbare energie	
PV-panelen (180 Wp/m <sup>2</sup> ) zuid 30°, vrijstaand en onbelemmerd	geen



2 Vergelijking XPS-vloerisolatie en extra PV

generieke waarde genomen. Dit voor een meer realistische vergelijking van de opties.

### RESULTATEN REFERENTIEGEBOUW

Met de bovengenoemde invoerparameters zijn de drie BENG-indicatoren als volgt voor dit referentiegebouw:

- BENG 1: 69 kWh/m<sup>2</sup> (eis 90 kWh/m<sup>2</sup>)
- BENG 2: 32 kWh/m<sup>2</sup> (eis 40 kWh/m<sup>2</sup>)
- BENG 3: 43% (eis 30%)

De referentiegebouw haalt nog niet de ambitie van energieneutraal. Hiervoor worden in de volgende paragrafen een aantal opties onderzocht.

#### Bouwdeel 1: de begane grondvloer

Het warmteverlies door een constructie grenzend aan een grondpakket is veelal beperkter dan dat van een constructie grenzend aan de buitenlucht. Het Bouwbesluit stelt daarom ook lagere eisen aan de vereiste isolatie van constructies grenzend aan grond. In deze analyse gaan we uit van XPS isolatie.

Het verhogen van de warmteweerstand van de begane grondvloer van het casestudy gebouw van een  $R_c$ -waarde van 3,7 m<sup>2</sup>K/W naar 9,7 m<sup>2</sup>K/W, geeft de volgende BENG-indicatoren:

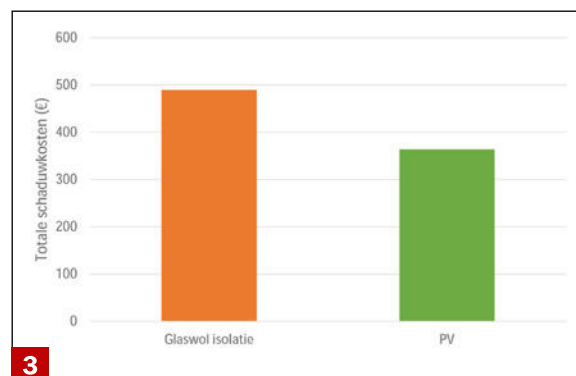
- BENG 1: 68 kWh/m<sup>2</sup> (-1 kWh/m<sup>2</sup>)
- BENG 2: 31 kWh/m<sup>2</sup> (-1 kWh/m<sup>2</sup>)
- BENG 3: 42% (-1%)

Het effect op de BENG-indicatoren is gering. De  $R_c$ -waarde van de vloer moet significant verhoogd worden voor enig effect. BENG 1 en BENG 2 verminderen met 1 kWh/m<sup>2</sup>. De score op BENG 3 verslechtert juist met 1%. Dit komt waarschijnlijk doordat het aandeel verwarming in het totale energiegebruik kleiner wordt, terwijl deze warmte door de WKO-installatie juist deels hernieuwbaar werd opgewerkt.

Wanneer er in plaats van de extra isolatie twee extra PV-panelen worden toegevoegd, zijn de BENG-indicatoren als volgt:

- BENG 1: 69 kWh/m<sup>2</sup> (geen verschil)
- BENG 2: 31 kWh/m<sup>2</sup> (-1 kWh/m<sup>2</sup>)
- BENG 3: 44% (+1%)

Het toevoegen van twee PV-panelen heeft dus een vergelijkbaar effect op BENG 2 als dat van het verhogen van de isolatiewaarde van de begane grond vloer met 6 m<sup>2</sup>K/W.



3 Vergelijking glaswol gevelisolatie en extra PV

Nu is het interessant om de milieulast van beide oplossingen te vergelijken. Beide maatregelen worden ingevoerd in de MPG-berekening en vergeleken op de totale schaduwkosten. Daaruit blijkt het volgende (zie ook figuur 2): De milieulast van de PV-panelen is bijna 10 keer zo klein als die van de extra XPS isolatie. Het is voor de totale duurzaamheidsprestatie van het gebouw dus gunstiger om extra PV-panelen toe te passen dan de vloer extra te isoleren.

#### Bouwdeel 2: de gevel

De gevel heeft in de referentieberekening de minimale warmteweerstand conform Bouwbesluit 2012. We onderzoeken of het effectief is om de warmteweerstand van alle gevels te verhogen van een  $R_c$ -waarde van 4,7 naar 8,7 m<sup>2</sup>K/W. Er wordt uitgegaan van glaswol isolatie. Wanneer de warmteweerstand van alle gevels wordt verhoogd, resulteert dit in de volgende BENG-indicatoren:

- BENG 1: 67 kWh/m<sup>2</sup> (-2 kWh/m<sup>2</sup>)
- BENG 2: 31 kWh/m<sup>2</sup> (-1 kWh/m<sup>2</sup>)
- BENG 3: 42% (-1%)

Ook hier zien we weer een verlaging van de score op BENG 3 door een vermindering van de warmtebehoefte. Om dezelfde score op BENG 2 te krijgen, zijn er twee extra PV-panelen nodig. De BENG-indicatoren zijn dan als volgt:

- BENG 1: 69 kWh/m<sup>2</sup> (geen verschil)
- BENG 2: 31 kWh/m<sup>2</sup> (-1 kWh/m<sup>2</sup>)
- BENG 3: 44% (+1%)

De milieulast van de extra minerale wol en de twee PV-panelen is te zien in figuur 3. Het is voor het referentiegebouw dus gunstiger om extra PV-panelen toe te voegen dan om de gevelisolatie te verhogen.

#### Bouwdeel 3: het dak

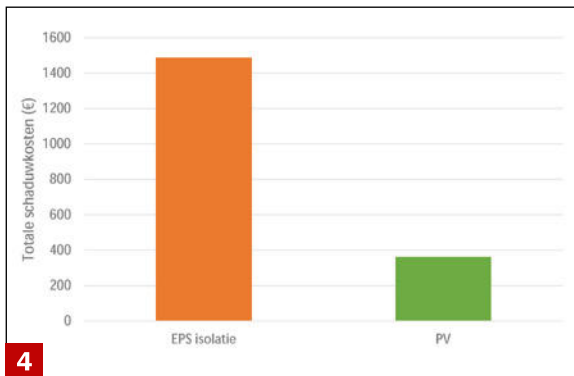
Tot slot beschouwen we het dak van het gebouw. We gaan uit van EPS isolatie, en verhogen de isolatiewaarde van een  $R_c$ -waarde van 6,3 m<sup>2</sup>K/W naar 10,3 m<sup>2</sup>K/W.

Wanneer de  $R_c$ -waarde van het dak met 4 m<sup>2</sup>K/W wordt verhoogd worden de BENG-indicatoren als volgt:

- BENG 1: 68 kWh/m<sup>2</sup> (-1 kWh/m<sup>2</sup>)
- BENG 2: 31 kWh/m<sup>2</sup> (-1 kWh/m<sup>2</sup>)
- BENG 3: 42% (-1%)

Het toepassen van twee extra PV-panelen zou hetzelfde effect op BENG 2 hebben:

- BENG 1: 69 kWh/m<sup>2</sup> (geen verschil)



4 Vergelijking EPS-dakisolatie en extra PV

- BENG 2: 31 kWh/m<sup>2</sup> (-1 kWh/m<sup>2</sup>)
- BENG 3: 44% (+ 1%)

Het verschil in milieulast tussen de twee opties is dan als getoond in figuur 4.

### VERGELIJKING MAATREGELEN

Uit de rekenvoorbeelden in de vorige paragrafen blijkt dat de effectiviteit van het aanbrengen van extra isolatie op BENG 2 afhangt van de positie waar dit wordt aangebracht. De milieu-impact van de optie is ook nog afhankelijk van het type isolatie dat wordt toegepast. Om de impact van de verschillende maatregelen op de milieuprestatie te kunnen vergelijken, rekenen we de 3 opties voor vloer, gevel en dak terug naar de milieulast per kWh/m<sup>2</sup> verbetering op BENG 2. Zie figuur 5. Het toepassen van PV-panelen heeft dus de laagste milieulast per 1 kWh/m<sup>2</sup> verbetering op BENG 2 voor dit gebouw.

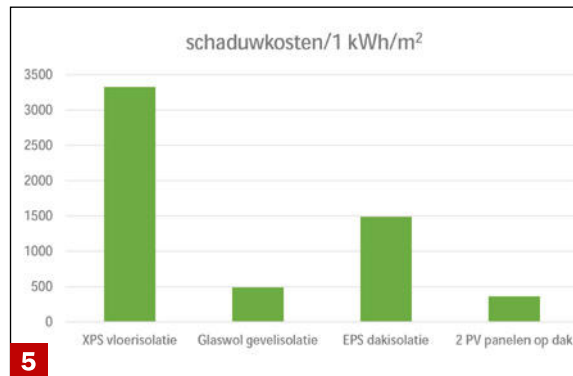
### NAAR ENERGIENEUTRAAL

Van de onderzochte maatregelen is het toepassen van PV-panelen een optie om de energieprestatie verbeteren met een relatief lage milieu-impact. Het vergroten van de dak- en vloerisolatie is milieutechnisch minder effectief dan het plaatsen van extra PV-panelen op het dak of het verhogen van de gevelisolatie. Om het gebouw energieneutraal te krijgen is echter meer nodig. Er zouden 135 PV-panelen (circa 220 m<sup>2</sup>) nodig zijn voor energieneutraliteit. Als dit niet past op het dak omdat er bijvoorbeeld ook een daktuin aanwezig is, zou een afweging gemaakt kunnen worden om toch de warmteweerstand van de gevel te vergroten. De afweging of het halen van het rekenkundige doel 'energieneutraal' opweegt tegen de extra milieulast van het gebouw is hierbij relevant.

Het vermogen van de PV-panelen is behoudend ingevuld. Er zijn panelen op de markt die een tot 20% hoger Wattpiekvermogen hebben, welke tevens een uitkomst zouden kunnen zijn. Het handmatig invoeren van de koudbruggen, distributieverliezen en asvermogens van de ventilatoren zou de BENG-indicatoren uiteraard ook verder kunnen verbeteren.

### ANDERE OVERWEGINGEN

Het vergelijken van een ontwerpmaatregel op BENG en MPG score is een beperkte weergave van de duurzaamheidsbijdrage. Er zijn tal van ontwikkelingen die maken dat in de toekomst overwegingen anders zullen zijn. Bijvoorbeeld de impact van een maatregel op het totale



5 Relatieve schaduwkosten per maatregel

energieprofiel van een gebouw. Wanneer in de toekomst niet alleen de hoeveelheid energie, maar ook het moment van gebruik de energierekening bepaalt, kan een kilowattuur besparing in de winter belangrijker worden dan een kilowattuur uur extra productie in de zomer. De vergelijking is dan ook geenszins bedoeld om het belang van de BENG 1-indicator te bagatelliseren.

### CONCLUSIE

Van de onderzochte scenario's geeft het toepassen van PV-panelen de hoogste energiewinst in vergelijking tot de bijkomende milieulasten. Voor dit referentiegebouw is het dus voordeliger om extra PV-panelen toe te voegen dan om de isolatiewaarde van de bouwconstructies verder te verhogen. Het loont dus om verschillende opties te vergelijken op effectiviteit op de energieprestatie als de impact op de milieuprestatie. Door de parameters samen te beschouwen kan een volgende stap gezet worden op weg naar een integraal duurzaam gebouw.

### TOEPASBAARHEID OP ANDERE GEBOUWONTWERPEN

De uitkomsten van de vergelijkingen zijn sterk afhankelijk van de geometrie van een gebouw, het installatieconcept en de gebruiksfuncties. Bijvoorbeeld bij gebouwen met een groter verliesoppervlakte zal de winst van een hogere isolatiewaarde van de gevel energetisch groter zijn, waardoor de vergelijking met PV-panelen ongunstiger uit kan pakken.

Omdat de energiebesparing aan de hand van het energiegebruik wordt bepaald, niet de energiebehoefte, heeft ook het installatieconcept invloed op de uitkomsten. Een installatie voor verwarming en koeling met een lager rendement zorgt dat het effect op BENG 2 van extra isoleren hoger is, en deze optie dus gunstiger uitvalt.

De interne warmteproductie door personen en apparatuur, net als de setpointtemperatuur, verschilt per gebruiksfunctie. Dit heeft invloed op de energiebehoefte en het energiegebruik van een gebouw. Gebouwen met een hogere warmtebehoefte zullen meer baat hebben bij extra isolatie, gebouwen met een lage warmtebehoefte juist meer bij additionele PV-panelen. ■

### BRONNEN

- [1] NTA 8800:2019-06, Energieprestatie van gebouwen - Bepalingsmethode
- [2] Bepalingsmethode Milieuprestatie gebouwen en GWW werken, Stichting Bouwkwaliiteit, 1 november 2011
- [3] NEN 7120+C2:2012/A1:2017/C1:2017, Energieprestatie van gebouwen – Bepalingsmethode