

auteurs



**IR. PIM PETERS RO**

directeur/raadgevend  
ingenieur



**IR. REMKO  
WILTJER RO**

directeur/raadgevend  
ingenieur



**IR. MARIJN  
LANDMAN**

constructeur



**ING. BART SILVIUS**

BIM Modelleur

IMd Raadgevende  
Ingenieurs



# Duurzaam Construeren, 10 jaar later

Terugblik en geleerde lessen voor de toekomst



## PRINCIPES DUURZAAM CONSTRUEREN 2009 VERSUS 2019

### 2009

- 1 Verleng de levensduur van gebouwen.
- 2 Beperk het materiaalgebruik.
- 3 Gebruik duurzame materialen.
- 4 Houd rekening met de milieu-impact van (bouw)logistiek en transport.
- 5 Gebruik de constructie voor meer dan alleen 'dragen'.

### 2019

- 1 Verleng de levensduur van gebouwen/draagconstructies.
- 2 Beperk het materiaalgebruik.
- 3 Gebruik duurzame materialen.
- 4 Houd rekening met de milieu-impact van (bouw)logistiek en transport.
- 5 Ontwerp de constructie voor circulaire inzet in de toekomst.

*In 2009 verscheen in Cement het artikel Duurzaam Construeren [1], met daarin de vijf principes van Duurzaam Construeren. De afgelopen tien jaar is er op dit vlak veel kennis opgedaan. We kunnen Duurzaam Construeren nu rekenkundig onderbouwen met behulp van bijvoorbeeld een MPG-berekening. Door meer gebruik te maken van deze rekenmethodieken ontstaat er bij constructeurs het 'Fingerspitzengefühl' voor Duurzaam Construeren. Neemt niet weg dat je als constructeur nog steeds met slimme, soms onorthodoxe, oplossingen moet komen voor echt duurzame gebouwen.*

### De constructeur speelt een belangrijke rol bij het verminderen van primaire grondstoffen voor de gebouwde omgeving.

Circa 60% van het gebouwgewicht bestaat uit de hoofd-draagconstructie. Daardoor moet de constructeur niet alleen afwegingen maken op het gebied van zwaartekracht, vormgeving en kosten, maar ook over de milieulast.

Sinds het Bouwbesluit 2012 vormt de MPG-berekening (Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken) een vast onderdeel van de bouwvergunning voor nieuwbouw van kantoor- en woongebouwen met een bruto vloeroppervlak groter dan 100 m<sup>2</sup>. De MPG-berekening is momenteel in beheer van Stichting Bouwkwiteit. Deze stichting beheert tevens de geharmoniseerde nationale rekenregels en de Nationale Milieu Database van de MPG-berekening (zie kader 'Systematiek'). Sinds 1 januari 2018 geldt volgens het Bouwbesluit een maximum grenswaarde voor de MPG van 1,0, ofwel: de schaduwkosten volgens de MPG-berekening mogen maximaal € 1 per m<sup>2</sup> per jaar bedragen. Deze eis is nu nog makkelijk te halen voor nieuwbouw, maar het aanscherpen van

de eis wordt al onderzocht door een klankbordgroep onder leiding van Stichting Bouwkwiteit. Het bouwbesluit gaat in de toekomst zeker helpen bij het maken van afwegingen op basis van de milieulast van het gebouw en daarmee ook de hoofd-draagconstructie.

De constructeur kan met de MPG-berekening de vijf principes van Duurzaam Construeren rekenkundig onderbouwen. Door de komst van de MPG zijn de vijf principes opnieuw tegen het licht gehouden en op basis van de geleerde lessen zijn ze enigszins aangepast. Deze lessen vormen inmiddels lesstof in de cursus 'Duurzame betonconstructies' van de Betonvereniging.

De huidige visie op de vijf principes worden hieronder achtereenvolgens beschreven.

### 1. Verleng de levensduur van gebouwen/draagconstructies

Het hergebruiken van een gebouw/draagconstructie is, na het weigeren nieuwe materialen toe te passen, de hoogste stap op de ladder van circulair bouwen. Uit ervaring en diverse afstudeeronderzoeken blijkt dat →

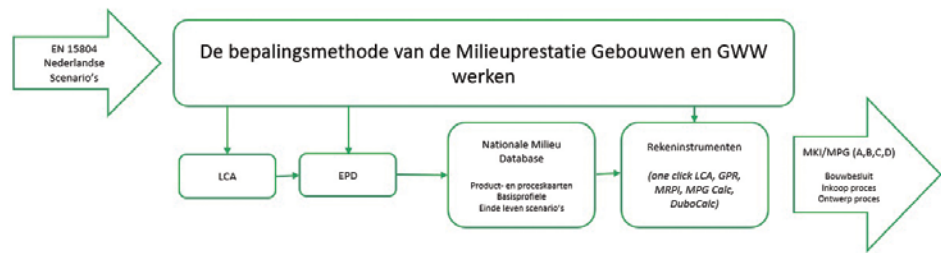


## SYSTEMATIEK

De geharmoniseerde rekenregels van de MPG zijn ondergebracht in de Bepalingsmethode 'Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken' (fig. 2). In de MPG-berekening wordt voor elk product in het object de toegepaste hoeveelheid materiaal in kilo's ingevoerd. De uitkomst van de berekening is een prijs per vierkante meter bruto vloeroppervlak die per jaar moet worden betaald om de milieuschade van het object ongedaan te maken.

Ten grondslag aan de berekening liggen elf milieueffectcategorieën die een verschillende prijs per kilo waard zijn (fig. 3). Deze waarden worden meegenomen in de LCA-berekening van de producten waaruit het object bestaat. Deze data is opgenomen in de Nationale Milieu Database. Hierin zijn de producten ingedeeld in drie categorieën: getoetste merkgebonden data, getoetste merkongebonden data en niet-getoetste merkongebonden data.

*De constructeur moet niet alleen afwegingen maken op het gebied van zwaartekracht, vormgeving en kosten, maar ook over de milieulast*



Milieueffectcategorie	Equivalent eenheid	Weegfactor [€ / kg equivalent]
Uitputting abiotische grondstoffen (exclusief fossiele energiedragers) – ADP	Sb eq	€ 0,16
Uitputting fossiele energiedragers – ADP	Sb eq <sup>8</sup>	€ 0,16
Klimaatverandering – GWP 100 j.	CO <sub>2</sub> eq	€ 0,05
Aantasting ozonlaag – ODP	CFK-11 eq	€ 30
Fotochemische oxidantvorming – POCP	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	€ 2
Verzuring – AP	SO <sub>2</sub> eq	€ 4
Vermesting – EP	PO <sub>4</sub> eq	€ 9
Humane toxiciteit – HTP	1,4-DCB eq	€ 0,09
Zoetwater aquatische ecotoxiciteit – MAETP	1,4-DCB eq	€ 0,03
Mariene aquatische ecotoxiciteit – MAETP	1,4-DCB eq	€ 0,0001
Terrestrische ecotoxiciteit – TETP	1,4-DCB eq	€ 0,06

Grondstoffen  
Emissies  
1-puntsscore

een gebouwcaseo dat gedurende de gebruiksfase verschillende functies kan faciliteren hiervoor het meest geschikt is.

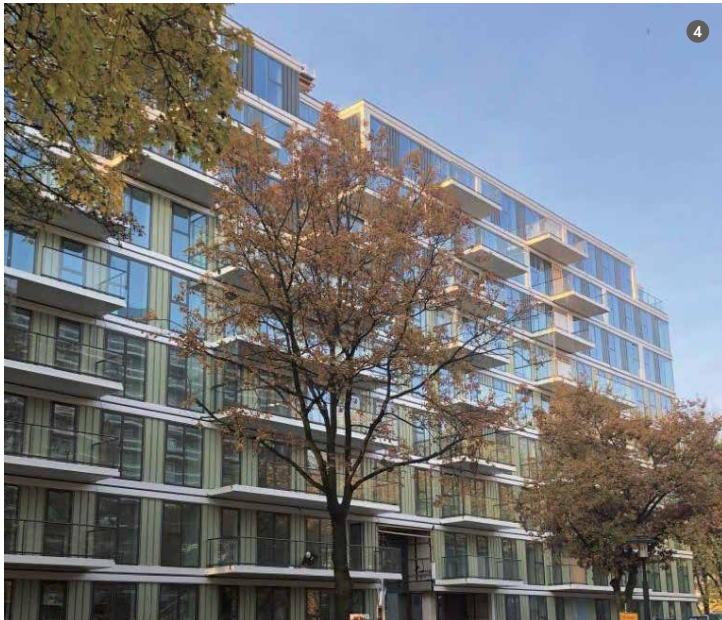
Met het Landman Model [2] (zie kader volgende pagina) en de Bepaling ESL-factor van Frank Tool [3] kan worden nagegaan in hoeverre de constructieve randvoorwaarden van een gebouw bijdragen aan de kans tot hergebruik. Wanneer men deze kans omzet naar een verwachte levensduur is het mogelijk dat deze hoger uitkomt dan de default levensduur waar in de MPG-berekening mee gerekend wordt. Door in het ontwerp van een gebouw de juiste constructieve randvoorwaarden op te nemen kunnen we de levensduur verlengen. De milieulast wordt direct verkleind doordat deze over meerdere jaren uitgespreid wordt.

Dat hergebruik mogelijk is, hebben de betonnen casco's van de jaren 60 ruimschoots bewezen. Veel leegstaande binnenstedelijke kantoren zijn grotendeels getransformeerd naar hippe lofts of appartementen (foto 1 en 4). De vraag is echter hoe we bij

nieuwbouw de kans op hergebruik kunnen vergroten. Een aanpasbare draagconstructie is afhankelijk van de investering die de opdrachtgever wil doen. De constructeur kan hier een grote rol in spelen. Door gebruik te maken van een MPG-berekening in combinatie met een levensduurverwachting voor de variantenstudies zorgt hij ervoor dat de opdrachtgever een weloverwogen keuze kan maken.

## 2. Beperk het materiaalgebruik en 3. Gebruik duurzame materialen

Het zit in de natuurlijke aard van de constructeur om materiaalgebruik voor de hoofddraagconstructie te beperken. Immers, je wilt als constructeur niet bekend staan om het overdimensioneren van het ontwerp, wanneer een constructie kan worden gerealiseerd met kleinere dimensies (lees minder materiaal). Bij de keuze van het constructiemateriaal wordt echter vaak niet lang stil gestaan. Veelal gaat men uit van ervaringen uit het verleden, terwijl de invloed



op de milieulast van deze keuze juist erg groot kan zijn. Tegenwoordig kan deze invloed met behulp van de MPG-berekening worden bepaald en moet van de constructeur worden verwacht dat deze in de materiaalkeuze wordt meegenomen.

Variantenstudies worden gemaakt op basis van ontwerpberekeningen waarmee de dimensies van het constructieve ontwerp worden vastgelegd. Deze dimensies vormen de input voor de diverse software programma's van een MPG-berekening (GPR Gebouw, MPGCalc, MRPI MPG-software, One Click LCA en DuboCalc). Bij het vergelijken van de milieulast van de varianten is het van belang om rekening te houden met de Functionele Eenheid en deze eenduidig te definiëren. Een betonnen casco bestaande uit wanden heeft naast een dragende ook een woningscheidende functie. Er ontstaat een scheve vergelijking als deze bijvoorbeeld tegenover een constructie van betonnen kolommen en balken gezet wordt zonder de niet-dragende woningscheidende wanden hierin mee te nemen.

Hoewel we in de ontwerpfase bij voorkeur nog niet productgebonden materialen toe willen passen vanwege een ongunstige 'marktwerking', is dit wel interessant voor het reduceren van de milieulast. De duurzaam bewuste leveranciers worden ermee

beloond en het kan een vliegwiel zijn voor de gehele branche om milieubewuster om te gaan met hun productie en hierin eventueel secundaire grondstoffen toe te passen (foto 5).

#### 4. Houd rekening met de milieu-impact van (bouw)logistiek en transport

De huidige stikstofproblematiek benadrukt nog eens de milieu-impact van (bouw)logistiek en transport. Bij het bepalen van de stikstofdepositie in de bouw, wordt er ingezoomd op activiteiten en transport op een specifieke bouwlocatie. In de MPG-berekening wordt dit nog generiek beoordeeld door middel van standaardwaarden en -transportafstanden. Het is daarom lastig de milieu-impact inzichtelijk te maken.

De keuze van de materialisatie van de hoofd draagconstructie heeft een directe invloed op de bouwmethodiek. Ook de massa en grootte van de constructieve elementen zijn maatgevend voor de (bouw)logistiek en het transport. Daarom is de invloed van de constructeur op dit aspect belangrijk en zeker in het beginstadium van een ontwerpproces kan hier al rekening mee worden gehouden.

Een logisch alternatief is het beperken van de milieu-impact door te onderzoeken wat de mogelijkheden zijn in de omge- →

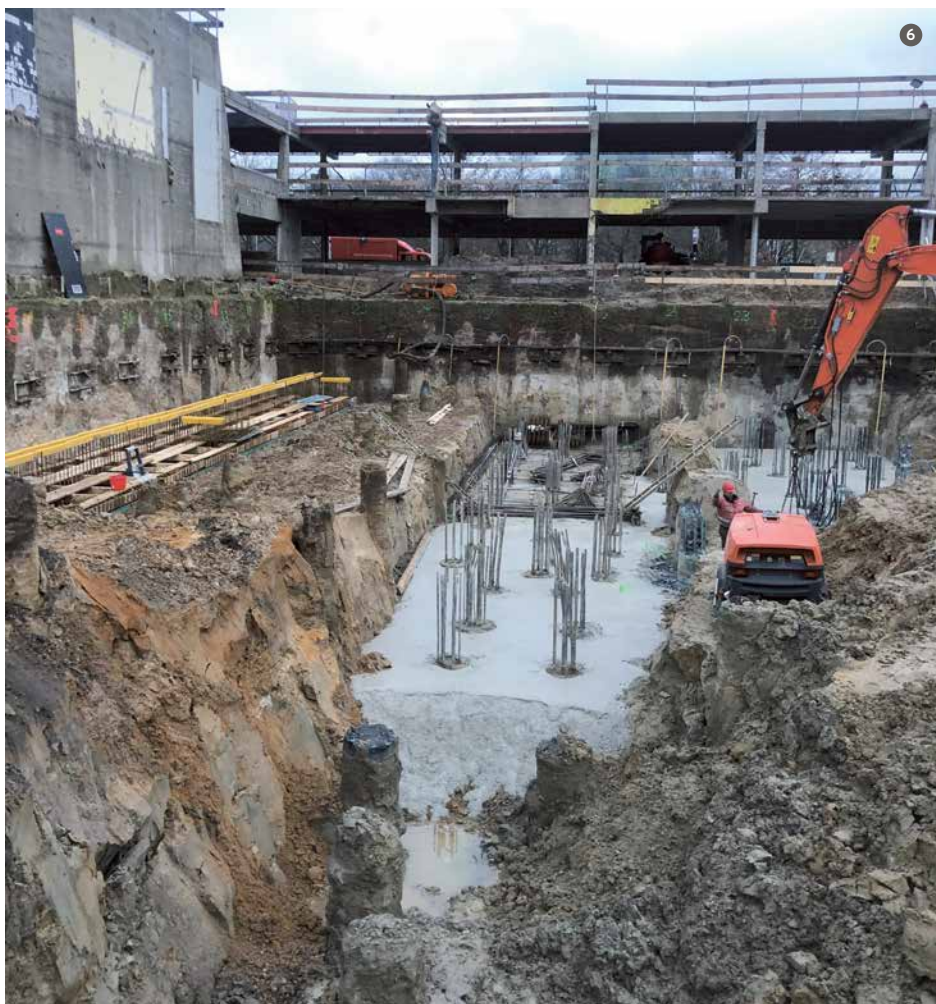
#### LANDMAN MODEL

In het afstudeeronderzoek van Landman zijn twee groepen met ieder 10 gesloopte en 20 getransformeerde gebouwen geanalyseerd op 62 parameters/vragen. Hieruit kwam naar voren dat 14 parameters een significante invloed hebben op het verlengen van de levensduur. Deze zijn gebundeld in een quick scan waarmee de kans op een succesvolle transformatie van een gebouw inzichtelijk wordt [2].

Deze parameters kunnen als volgt worden omschreven:

- horizontale en verticale stramienmaten;
- draagcapaciteit van de constructieve vloeren;
- stabiliteitsprincipe;
- indeelbaarheid van de verdiepingsvloeren;
- ontkoppelbaarheid van de niet-dragende wanden;
- positie en aanpasbaarheid van de ontsluiting per vloer;
- aanpasbaarheid van de gevel;
- ontkoppelbaarheid van de installaties;
- horizontale uitbreidingsmogelijkheden van de installaties.





*Dat hergebruik mogelijk is, hebben de betonnen casco's van de jaren 60 ruimschoots bewezen*

ving van de bouwlocatie, bijvoorbeeld het gebruik van lokale (product)leveranciers, grondstoffen en materialen. Het hergebruiken van constructieve elementen op de bouwlocatie of een te slopen gebouw in de omgeving gaat hierin nog een stap verder. Wanneer deze mogelijkheden vroeg in het ontwerp stadium worden onderzocht, kunnen deze nog volledig worden geïntegreerd in het ontwerp (foto 6 en fig. 7).

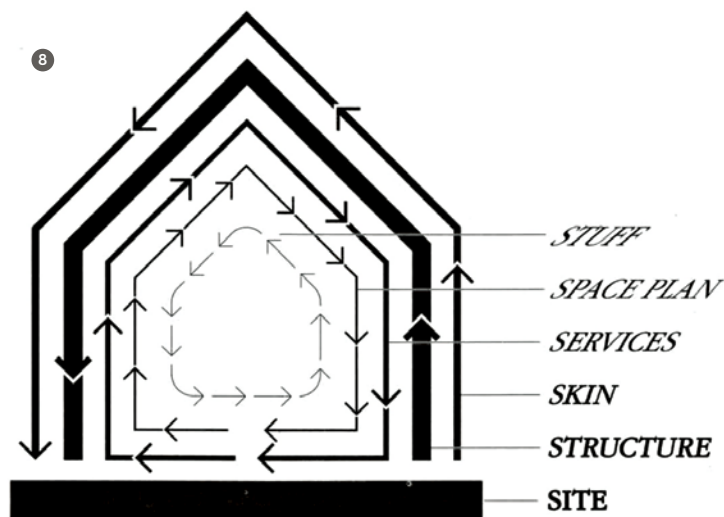
In de toekomst wordt het hergebruiken van constructieve elementen steeds belangrijker met remontabel bouwen. Hierbij worden gedurende de levensduur hoofd-draagconstructies meerdere malen in en uit elkaar gehaald en moeten de constructieve elementen worden vervoerd. Het is dan ook de vraag welke consequenties dit met zich meebrengt voor de milieulast van de hoofd-

draagconstructie, zowel nu als in de toekomst.

## **5. Ontwerp de constructie voor circulaire inzet in de toekomst**

Het bouwen en slopen van een gebouw veroorzaakt een net zo grote milieulast als de gebruiksfase. Voor circulair bouwen is het daarom van belang om op alle fronten actie te ondernemen. Aan de ene kant moet er worden ingespeeld op het recyclen van de elementen en materialen op een hoogwaardig niveau. Aan de andere kant moet men rekening houden met de technische levensduur van de verschillende lagen.

Het principe 'Gebruik de constructie voor meer dan alleen dragen' kan in sommige gevallen lijnrecht tegenover de circulaire gedachte staan waarmee we in deze tijd te



## LITERATUUR

- 1 Peters, P., Wiltjer, R. (2009). Duurzaam construeren. *Cement* 2009/3.
- 2 Landman, M. (2016). Technical Building Properties with the Probability of Elongating the Functional Service Life (masterscriptie). Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven.
- 3 Tool, F.T. (2010). Ontwerptool voor de beoordeling van constructieve alternatieven op duurzaamheid (masterscriptie). Delft: Technische Universiteit Delft.
- 4 Brand, S. (1994). How buildings learn: what happens after they're built. New York: Penguin Books.
- 5 Prinsse, S. (2017). Alkali-activated concrete: development of material properties (strength and stiffness) and flexural behaviour of reinforced beams over time (masterscriptie). Delft: Technische Universiteit Delft.

maken hebben. De integratie van de hoofd-draagconstructie met installaties en bouw-kundige elementen moet bijvoorbeeld demontabel zijn vanwege het verschil in technische levensduur van de verschillende lagen (fig. 8). Dit is tevens een vereiste wanneer het gebouw als materialendepot wordt gezien waaruit men later kan oogsten voor een nieuw te bouwen project. De ontwikkeling van het materialenpaspoort (Madaster) gaat dit in de toekomst technisch mogelijk maken.

### Vooruitblikken op 2050

Terugkijkend naar het afgelopen decennium heeft er een enorme ontwikkeling voor Duurzaam Construeren plaatsgevonden, mede dankzij de MPG-berekening. Om aan te sluiten op het Rijksbrede programma

Nederland Circulair in 2050 zullen de eisen van de MPG-berekening verder worden aangescherpt, zodat deze volledig inzichtelijk zijn en marktbreed worden gedragen in 2030. Het bewustzijn van de invloed van de constructeur hierin moet nog verder worden vergroot door deze te gebruiken als rekenkundige onderbouwing van Duurzaam Construeren.

De afstudeerder Stephan Backx is aan de TU Delft bezig met de volgende stap door een ontwerptool te ontwikkelen waarin verschillende varianten vergeleken kunnen worden op basis van onder andere de milieulast, de levensduur van de hoofd-draagconstructie en de impact van remontabel bouwen.

Het materialenpaspoort is inmiddels een breed gedragen concept dat ervoor gaat

zorgen dat er geen afval meer bestaat. In diezelfde lijn ligt de ontwikkeling van het constructiepaspoort van IMd in samenwerking met Madaster. Het doel van dit paspoort is het vastleggen van de constructieve gegevens van de hoofd-draagconstructie van objecten. Het rekenkundig onderbouwen van het hergebruiken van (delen van) deze objecten wordt met dit paspoort in de hand gemakkelijker voor de constructeur. Beide ontwikkelingen zijn mooie voornemens voor een milieubewuster 2020! ●