



Foto: Mariska Korver (fotostudio Barendrecht)

# Toepassing van een donorskelet

**Voor de bouw van De HER is voor 75% van de constructie gebruik gemaakt van het donorskelet. Het beschikbare donorskelet is in significante mate bepalend geweest voor zowel het bouwkundig als het constructief ontwerp: vorm volgt beschikbaarheid. Een *material driven design*-proces begint al vroeg. Vooral de samenwerking met de uitvoerende partijen moet vroegtijdig beginnen.**

ir. H.L. Luu, dr.ir. K.C. Terwel RC en ir. P. Peters RO

Pim Peters is partner/raadgevend ingenieur, Karel Terwel is projectleider/raadgevend ingenieur en Lin Luu is constructeur, allen bij Imd Raadgevende ingenieurs in Rotterdam.

Eerdere ervaring (zie kader: 'Geschiedenis donorskelet') leert dat in het proces een intensieve *samenwerking* tussen verschillende partijen bij een 'donorproject' essentieel is. Een gemotiveerde opdrachtgever, nauwe samenwerking met het ontwerpteam en uitvoerende partijen in een vroege fase vormen de sleutel tot een succesvolle aanpak. Daarnaast vergt het werken met een donorskelet een *andere aanpak van ontwerpen*: het donorskelet is leidend voor het nieuwe ontwerp. Wie hier geen rekening mee houdt bij het ontwerpen van een invulling voor het Programma van Eisen zal derhalve inefficiënt met materiaal omgaan. Ten slotte vraagt *borging van de*

## Geschiedenis donorskelet

Het begrip donorskelet staat sinds 2013 al bij Imd Raadgevende Ingenieurs op de agenda. Bij een donorskelet gaat het om het hergebruiken van constructieve elementen uit een bouwwerk waarvan het einde van de functionele gebruiksfase is bereikt. Dit is mogelijk omdat de technische levensduur veel langer is, zeker als de elementen in een geconditioneerde ruimte waren toegepast. Grote winst van het gebruik van een donorskelet is de milieulast. Door het voorkomen van het nieuw staalproductieproces wordt een enorme reductie op CO<sub>2</sub> en andere milieuaspecten gerealiseerd. Van het eerste commerciële project aan de Hoogstraat (2017)<sup>[1]</sup>, waar stalen donorliggers in een winkelpand zijn toegepast tot aan de grootschalige toepassing van donorstaal bij BioPartner 5<sup>[2]</sup> en nu De HER, is het toepassen van een donorskelet succesvol gebleken. Het vraagt gezond ingenieursdenken van de constructeur maar ook een goede, nauwe samenwerking met alle projectpartners.

*constructieve veiligheid* bij een donorproject specifieke aandacht.

## Samenwerking

Voor een geslaagd circulair project is een gemotiveerde opdrachtgever essentieel. Gemeente Rotterdam nam hier samen met aannemer BAM het voortouw in. Al bij aanvraag van het project was een donorgebouw beschikbaar, een voormalig TNO-laboratorium met hallen en kantoor, zodat dit staalskelet als uitgangspunt kon worden genomen. In elke fase is er actief op zoek gegaan naar mogelijkheden voor circulaire toepassingen. Zo is een prijsvraag uitgeschreven voor het ontwerp van circulaire modules die konden worden ingepast in het ontwerp. Losmaakbaarheid van de staalconstructie was geen vereiste voor het ontwerp, maar is wel toegepast. De geboude staalconstructie is

van zichzelf al demontabel. Ook zijn voor een groot deel van de begane grond verwijderbare stelconplaten toegepast, met uitzondering van de natte ruimten. In de uitvoeringsfase is men ook blijven zoeken naar de mogelijkheid van het toepassen van herbruikbare elementen. Zo zijn nog in de uitvoeringsfase donorkanaalplaten geoogst bij een ander project, die zijn toegepast op de begane grond, terwijl hiervoor aanvankelijk nieuwe kanaalplaten waren bedacht. Voor de stalen dakplaten is uiteindelijk een geschikte restpartij gevonden; het bleek te complex om de stalen dakplaten uit het TNO-gebouw zonder veel beschadigingen te demonteren. Door de wil en de inzet van de gemotiveerde opdrachtgever en ontwerppartners is een hoge mate van circulariteit behaald. Uit eerdere ervaring met donormateriaal bleek dat met name een nauwe samenwer-

king met uitvoerende partijen in een vroege fase van belang was. Omdat staalbouwers weten hoe ze moeten monteren, weten ze ook hoe demontage in zijn werk zou moeten gaan. Er is bij De HER verschillende keren gebruik gemaakt van de praktische kennis van de uitvoering om geschikte verbindingen te maken tussen donorelementen en om donorprofielen te kunnen verlengen. Ook is intensief samengewerkt met Vic Obdam met betrekking tot het testen van materiaal en lassen, en met de beoordeling van deformaties in het donorstaal.

### Donorskelet stuurt het ontwerp

N3O Architecten heeft samen met Gemeente Rotterdam niet alleen aan de hand van een huisvestingsvraag voor een milieupark met een Programma van Eisen het architectonisch ontwerp gemaakt, het beschikbare donormateriaal heeft hier ook een sturende rol gespeeld. Vanwege de gekozen duurzaamheidsstrategie, waarbij een compleet donorskelet ter beschikking werd gesteld, heeft het *ontwerpen* een ander aanpak geëist. Het beschikbare donorskelet was in significante mate bepalend voor zowel het bouwkundig als constructief ontwerp.

#### Material driven design

De meest efficiënte toepassing van donormateriaal is een proces waarbij het ontwerp volledig wordt aangepast op beschikbaar materiaal: *material driven design*. Dit is dan ook het primaire uitgangspunt geweest. De stramienmaten (overspanningen, verdiepinghoogtes) zijn ontworpen op de gewenste gebruikersbelastingen in combinatie met het bestaande staalskelet. Op deze manier kunnen ook de verbindingen zoveel mogelijk overgenomen worden, zonder dat hier aanpassingen aan ge-



Foto: N3O

1. Voormalig TNO EMB Bouwlab.

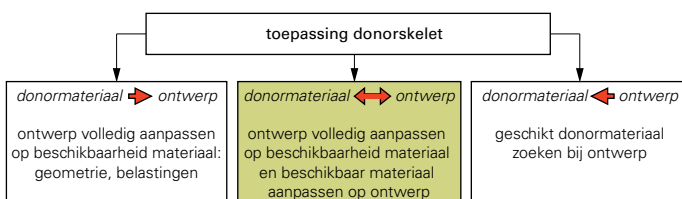
daan hoeven te worden. Omdat het bestaande TNO EMB Laboratorium qua functionaliteit en gebruikerseisen niet volledig aansluit op de uitvraag van het milieupark, moest er telkens gekozen worden om het ontwerp aan te passen aan het beschikbare materiaal of het beschikbare materiaal aan te passen aan het ontwerp door dit te verlengen, versterken, et cetera.

Wat zich verder onderscheidt van een traditioneel ontwerpproces, is het eerder uitvoeren van werkzaamheden die normaliter in een latere fase plaatsvinden. Zo worden bijvoorbeeld DO-werkzaamheden, zoals het bepalen of beschikbare profielen voldoende capaciteit hebben om de beoogde belasting te kunnen dragen, al vroegtijdig in een VO uitgevoerd.

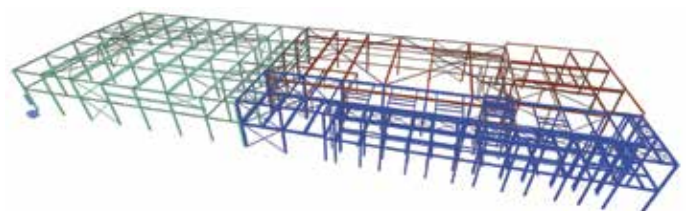
Daar waar berekeningen pas in TO worden gemaakt, is voor de haalbaarheid van belang om deze al in DO te beschouwen. Hoewel bovenstaande suggereert dat het proces helemaal afwijkt van wat men gewend is, wordt desondanks ook hier van grof naar fijn gewerkt.

#### Handwerk

Met handschetsen is het eerste ontwerp op papier gezet, waarbij eveneens handmatig is bepaald welke elementen beschikbaar waren in het bestaande gebouw en waar deze in het nieuwe bouwkundige ontwerp konden worden ingezet. Met handsommen is gecontroleerd of de profielafmetingen voldoende waren. Deze aanpak geeft de constructief ont-

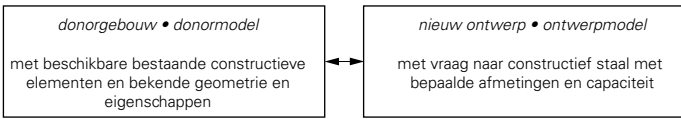


2. Verkenning donorstaal: *mutueel ontwerpen op basis van beschikbaar staal: Material driven design.*

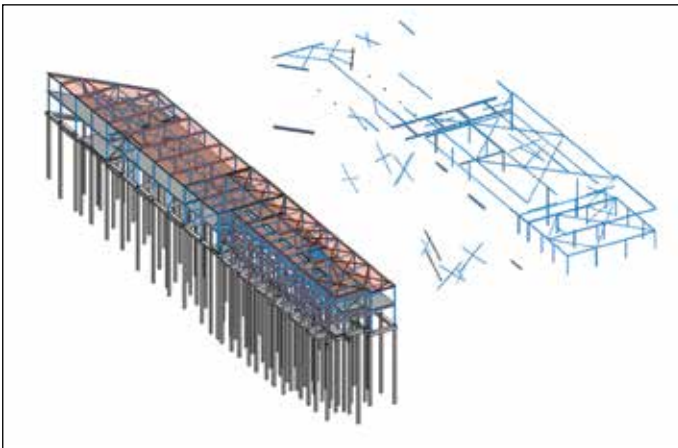


3. Rood: oorspronkelijk Gebouw 25, groen: uitbreiding Hal, blauw: uitbreiding Modulair deel.

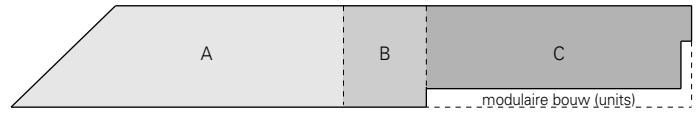




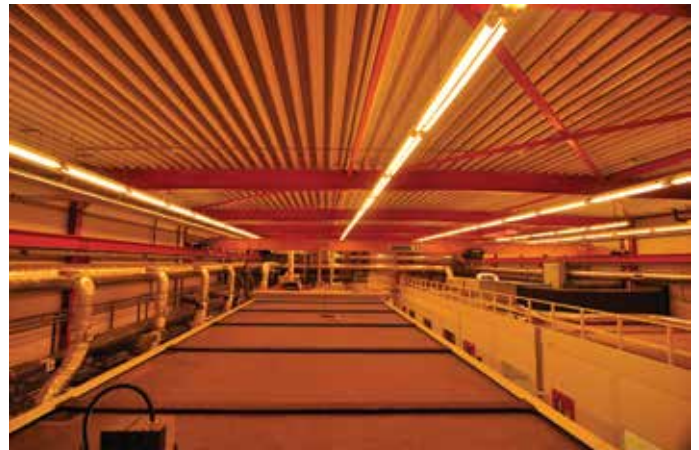
4. Stramienmaten zijn uitgelegd op bestaand staalskelet.



6. Elementen uit het donormodel worden naar het ontwerpmodel verplaatst.

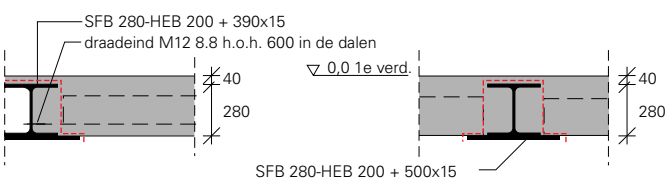


5. Drie compartimenten en een vrijstaand, modulair deel.



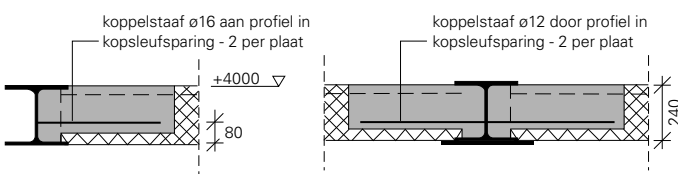
7. Eerste schouw in lab.

slopen demonteren *bestaand detail*



8. Tweede beoordeling bij demontage.

toepassen kanaalplaat *nieuw ontwerp*



10. Voorstel hergebruik geïntegreerde stalen liggers.



9. Derde inspectie in hub.



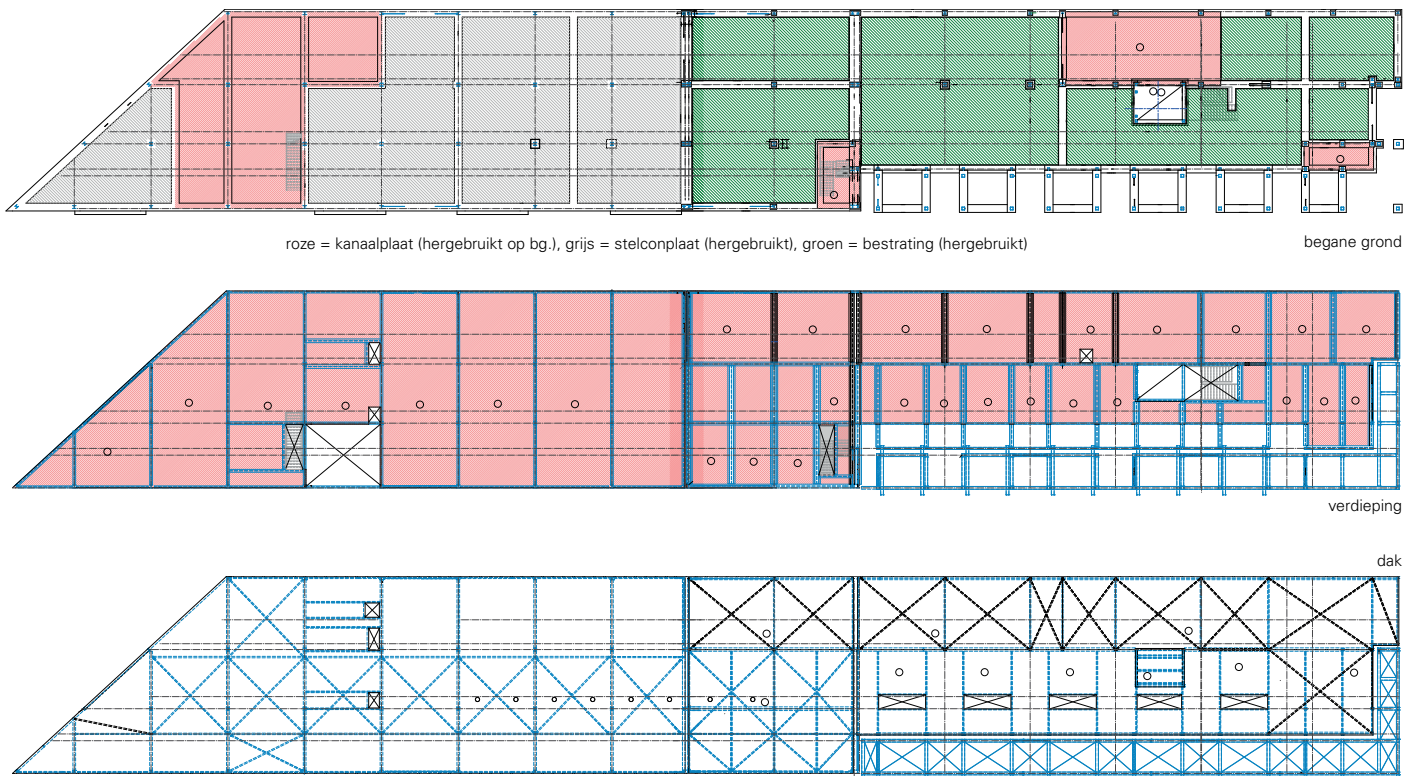
11. Vierde controle bij het staalconstructiebedrijf.



12a. Beschadigd onderdeel.



12b. Deformatie.



13. Blauw: donorstaal, zwart: nieuw staal.

werper een goed gevoel dat er een coherente constructie is gemaakt; de informatie met betrekking tot het passen van profielen en welke profielen er precies over blijven, is nog summier. Een aantal vragen is dus nog niet beantwoord. Hoeveel van het donormateriaal kan daadwerkelijk één op één overgenomen worden? Hoe past het donormateriaal (precies) in het nieuwe ontwerp? Zijn er nog bewerkingen nodig? Hoeveel restmateriaal is er? Kan er niet toch nog gebruik gemaakt worden van de overige profielen? Om al deze vragen te beantwoorden is het donorgebouw gedigitaliseerd.

#### Het donormodel

Er is dus een *donormodel* gemaakt op basis van archiefmodellen en -tekeningen. Elk element (kolom, ligger, windverband) is hierbij gemarkeerd. Hiermee is het profiel, de geometrie en positie vastgelegd. Deze markeringen zijn ook voorafgaand aan de demontage op de staalementen van het donorgebouw aangebracht, waardoor de positie en functie van het bestaande staal altijd is te herleiden. Het bestaande donorgebouw bestaat uit verschillende bouwdelen: Gebouw 25, een uitbreiding van een Hal, en ook een uitbreiding van het Modulaire deel (afb. 3). Vervolgens is de constructie van het nieuwe gebouw gemodelleerd, waarbij de elementen van het oude gebouw in het donormodel naar het nieuwe model zijn verplaatst. Op die manier werd zichtbaar waar profiellengtes moesten worden aangepast (verkort of verlengd),

waar elementen te kort kwamen en ook welke elementen nog overbleven. Dit bleek heel handig, omdat er op diverse plaatsen nog losse elementen nodig waren, bijvoorbeeld bij ravelingen of ondersteuning voor installaties, en met deze twee-modellen-aanpak was in een keer duidelijk of er nog bruikbaar staal beschikbaar was. Het donormodel bleek in deze fase uiterst geschikt om zo efficiënt mogelijk en zo veel mogelijk donorelementen toe te passen: de beschikbaarheid is volledig in kaart gebracht met bij de elementen behorende eigenschappen en afmetingen.

#### Het constructief ontwerp

Behalve donorstaal is er in dit ontwerp ook nieuw constructiestaal toegepast. In afbeelding 13 zijn de plattegronden van de begane grond, verdieping en het dak weergegeven. Het betreft dus een tweelaags gebouw, waarvan de hoofdconstructie uit stalen liggers en kolommen bestaat, voornamelijk uit het donorgebouw. De liggers zijn waar mogelijk doorgaand ontworpen, voor gunstigere krachtwerving. Hierdoor werd het mogelijk om dakliggers met een oorspronkelijk lagere belasting en grote overspanningen toe te passen als vloerliggers met hogere belastingen, maar met een kleinere overspanning. Het gebouw bestaat uit drie compartimenten en een extern modulair deel. Elk bouwdeel wordt apart gestabiliseerd door verbanden. Het modulaire deel wordt daarnaast apart gestabiliseerd, zodat het zelfdragend is. De stabiliteitskrachten per bouwdeel kunnen zo

geminimaliseerd worden en daarmee is de mogelijkheid van toepassing van bestaande windverbanden groter. Bijkomend voordeel van het compartimenteren is dat er geen brandwerendheidseis geldt voor de hoofd-draagconstructie en er dus geen brandwerende bekleding of verf nodig is. Dit draagt ook bij aan het duurzaam toepassen van constructiemateriaal.

Er zijn meer stabiliteitsverbanden toegepast dan strikt noodzakelijk, zodat de krachten per windverband beperkt blijven. Dit is gunstig voor de grootte van de kracht per windverband, wederom om zoveel mogelijk beschikbaar materiaal toe te kunnen passen. De bestaande windverbanden zijn namelijk berekend op een beperkte hoeveelheid windbelasting, met een beperkte hoogte van het gebouw. De krachten voor schijfwerking worden hiermee ook gereduceerd. Ook was het door de spreiding van horizontaalkrachten over verschillende posities mogelijk om de begane-grondvloer met stelconplaten uit te voeren en de horizontaalkrachten lokaal door een beperkt aantal funderingspalen te laten opnemen. Voor bouwdeel A (afb. 5) is het donormateriaal veelal in de vorm van *losse elementen* hergebruikt vanuit de 'uitbreiding Hal' (afb. 3). Met name hier is de geometrie van het ontwerp afgestemd op de beschikbare materialen. Op één paar windverbanden na is hier verder slechts gebruik gemaakt van donorstaal. Bouwdelen B en C zijn volledig overgenomen als geheel van de voormalige



‘uitbreiding Modulair’. In het nieuwe ontwerp wordt deze uitbreiding gedeeld in twee aparte bouwdelen. Op de scheidinglijn is, zoals op *afbeelding 13* te zien is, ook nieuw staal toegepast. Dit bouwdeel is uiteindelijk ook groter geworden dan het bestaande ‘uitbreiding modulair’. Waar mogelijk is deze uitbreiding met donormateriaal uitgevoerd, dat nog beschikbaar was in het donormodel. Waar dit niet mogelijk was, is nieuw staal toegepast. De fundering bestaat uit prefab betonpalen. Waar mogelijk is de begane grond uitgevoerd met bestrating of stelconplaten (grijs en groen gearceerd op plattegrond begane-grondvloer, *afb. 13*). Slechts de natte ruimten worden met hergebruikte kanaalplaten gerealiseerd (rood gearceerd in plattegrond). De kolommen binnen het gebouw komen op 1-paalspoeren te staan. Onder de randen van het gebouw komt een balk om de gevel te dragen. Bij de delen waar een betonvloer komt, is ook een funderingsbalk toegepast. In het verlengde van de windverbanden is telkens ook een funderingsbalk toegepast om de horizontale windkrachten over meerdere palen te kunnen spreiden. Voor de verdiepingvloeren moeten de kanaalplaten zonder druklagen de schijfwerking verzorgen. Dit betekent wel dat er een koppeling tussen de betonvloer en de staalconstructie gemaakt moet worden. De randliggers van de compartimenten dienen als trekbanden. Op het dak komen stalen dakplaten, die geschikt zijn om een groen dak en zonnepanelen te dragen. De windverbanden die voor schijfwerking in het dakvlak worden toegepast, komen ook uit het donorgebouw, ‘uitbreiding Hal’. Omdat de stramienmaten hierop zijn ontworpen, is het dakvlak van Bouwdeel A nagenoeg één-op-één overgenomen.

### Borging veiligheid

Het rekenkundig toetsen van de constructie is gebeurd conform de Eurocode voor nieuwbouw. Dit wijkt niet af van een standaardproces. Voor de aanpak en richtlijnen was er ten tijde van de ontwerpfasen nog geen NTA beschikbaar. Voor de kwaliteitsborging is een eigen protocol opgesteld voor de toepassing van donorstaal, gebaseerd op ervaringen uit voorgaande projecten met donormateriaal. Hierin staan aandachtspunten voor selectie



van donorelementen, demontage van het bestaande donorgebouw, testen van het materiaal, rekenkundige toetsing van de constructie en uitgebreidere controle op de bouw.

#### Rekenen zonder NTA

Van het bestaande TNO EMB Lab uit 1999 (uitbreiding in 2013) zijn tekeningen en berekeningen van de constructie beschikbaar, waarmee de theoretische afmetingen van profielen en rekenkundige materiaalkwaliteit bekend zijn. Vanwege het bouwjaar en de archiefgegevens werd het veilig geacht om uit te gaan van een staalsoort van minimaal S235. Van de staalconstructie van de uitbreiding uit 2013 zijn nog een aantal certificaten verkregen, aan de hand waarvan deze aanneme ook werd bevestigd. Verschillende profielen bleken in S355 te zijn uitgevoerd, als ondergrens is echter voor elk element S235 aangehouden. Daarnaast is er gestreefd naar een unity check onder de 0,9 voor donorstaal.

#### Demontagefase opnieuw inzetten van donormateriaal

Demontage is geen sloop: dat de profielen uiteindelijk hergebruikt moeten worden en dus zoveel mogelijk ongeschonden uit de

‘sloop’ moeten komen, is toch anders dan de zaak met een grijper beetpakken en lostrekken<sup>[3]</sup>. Hiervoor zijn ook uitgangspunten in het protocol opgenomen. Van essentieel belang was wederom het vroegtijdig bespreken van deze uitgangspunten met het demontagebedrijf. Bij de bestaande geïntegreerde liggers moest de staalplaat-betonvloer worden afgezaagd en het beton verwijderd, waarbij de geïntegreerde liggers intact moeten blijven, om hier in de nieuwe situatie een kanaalplaat op te kunnen leggen.

De hergebruikte kolommen hadden meer lengte nodig in het nieuwe ontwerp en bleken in het bestaande gebouw hermetisch te zijn ingestort in de begane-grondvloer. Deze kolommen zijn daarom bij het demonteren zo strak mogelijk tegen het beton aan afgeslepen om vervolgens met een nieuw voetplaat te kunnen worden ingezet.

Om de tijd tussen het demonteren en de wederopbouw te overbruggen, werden de stalen elementen in een hub opgeslagen. Voor donorstaal is een dergelijke opslag vaak gewenst, omdat er geregeld tijd zit tussen demontage van het donorskelet en toepassing in het nieuwe gebouw. Hierbij is het van belang dat de elementen zorgvuldig worden



Foto: Meriska Konver (fotostudio Barendrecht)

## Literatuur

1. P. Peters en T. Relker, 'Donorskelet, *second that*', *Bouwen met Staal* 270 (augustus 2019), p. 50-52.
2. K. Terwel, M. Moons en P. Korthagen, 'Voorbij de pionierfase', *Bouwen met staal* 284 (december 2021), p. 26-33.
3. A. Tissink, 'Staal oogsten is toch echt heel iets anders dan slopen, blijkt in Dordrecht', *Cobouw*, 2021.

De tweede beoordeling vond plaats tijdens de demontage. De voorafgaand aan demontage met het demontagebedrijf besproken uitgangspunten zijn zorgvuldig gehanteerd bij het demonteren van de staalconstructie. Het staal kon hierdoor met relatief weinig beschadigingen worden gedemonteerd. Uitzonderingen waren de eerdergenoemde ingeklemde kolommen die moesten worden afgeslepen. Ook was het onvermijdelijk dat enkele geïntegreerde liggers werden beschadigd bij het losbikken van het beton, wat al voorafgaand aan demontage was voorzien. In de hub was het derde beoordelingsmoment. Vanuit Delft zijn alle stalen elementen vervoerd naar de hub in Rotterdam. Ook hier heeft een visuele keuring plaatsgevonden, waarbij is gecontroleerd of er bijvoorbeeld geen afgebrande boutgaten waren. Bouten dienden namelijk zodanig gedemonteerd te worden dat de gaten opnieuw konden worden gebruikt zonder dat deze bij bijvoorbeeld het afbranden waren vergroot.

Daarnaast was het de bedoeling dat ook de beschadigde en vervormde elementen zouden worden beoordeeld. Omdat de markeringen echter onderaan de elementen waren aangebracht, was op dit moment niet te herleiden waar deze elementen uiteindelijk zouden worden toegepast. Deze controle is daarom uitgesteld tot het vierde beoordelingsmoment.

### Kwaliteitsborging

Het staal is vanuit de hub naar de fabriek van de staalleverancier gebracht. Door Vic Obdam is een rapportage voor de kwaliteitsborging van de productie opgesteld. Hierbij werd onderscheid gemaakt in de drie donorbouwdelen. Van het oorspronkelijke gebouw uit 1999 waren er geen staalcertificaten beschikbaar. Vanwege de onvolledigheid van certificaten uit het oorspronkelijke Gebouw 25 en de uitbreiding Hal is besloten om onderzoek te doen naar materiaaleigenschappen van elk type her te gebruiken constructie-element: kolom, ligger en windverband. Daarnaast is op 5% van alle hergebruikte lasverbindingen uit het oorspronkelijke Gebouw 25 magnetisch lasonderzoek verricht om onacceptabele oneffenheden op het lasoppervlak uit te sluiten. Alle hergebruikte lasverbindingen en constructieve

elementen zijn visueel onderzocht volgens een door Vic Obdam opgesteld keuringsplan. Uit de beoordeling van de staalleverancier zijn beschadigingen en vervormingen die opgetreden zijn tijdens het demonteren inzichtelijk gemaakt. Hierbij zijn de grootte en exacte positie van de beschadigingen per element in kaart gebracht door de staalbouwer, zodat het ingenieursbureau rekenkundig kon beoordelen of de beschadiging acceptabel werd geacht. Bij deze beoordeling is conform het protocol voor kwaliteitsborging elke relevante situatie beoordeeld. Wanneer de spanning heel laag bleek in de beschadigde onderdelen, of wanneer een beschadigd onderdeel (flens of lijf) lokaal niet nodig bleek voor de sterkte, werd de beschadiging acceptabel geacht. Hierdoor is het mogelijk gemaakt dat ook beschadigde profielen in de specifieke situatie toegepast kan worden. Conform de onlangs gepresenteerde NTA voor hergebruik van staal zouden beschadigingen in her te gebruiken staal voor CC2-gebouwen niet acceptabel zijn. De auteurs van dit artikel vinden dit nodeloos beperkend voor de toepassing van donorstaal; bij een gedegen *expert judgement* zijn beperkte beschadigingen acceptabel. Bij een nieuwe versie van de NTA zou dit heroverwogen moeten worden.

### Lessen voor volgend donorproject

Naast de bestaande ervaring die is ingezet, zijn er ook nieuwe lessen geleerd.

- Beschadigde profielen kunnen worden toegepast, mits rekenkundig de sterkte is aangetoond.
- Behalve donorstaal zijn andere constructieve elementen zoals kanaalplaten en stelconplaten geschikt voor hergebruik.
- Door het werken met een donormodel wordt in de vroege fase duidelijk welke donorprofielen worden toegepast en welke overblijven.
- Protocol voor demontage, opslag en borging veiligheid geeft duidelijkheid en procesbeheersing, ook naar gemeentelijk toezicht.

Met gedegen aandacht voor veiligheid geeft een donorskelet de mogelijkheid om milieulasten te reduceren en draagt het bij aan een schonere bouw. •

opgeslagen zodat de profielen niet nodeloos vervormd of gecorrodeerd raken. Omdat het bij de opslag niet meer duidelijk is welk element op welke positie in het donorgebouw heeft gezeten, is een goede, watervaste markering noodzakelijk. Een leermoment was dat deze markering in de toekomst op verschillende plaatsen op het profiel moet worden aangebracht, omdat een markering aan de onderzijde niet meer leesbaar is tijdens opslag.

### Beoordelen beschikbaar donormateriaal

De beoordeling van het beschikbare donormateriaal heeft in verschillende fases plaatsgevonden op verschillende momenten binnen het proces. De eerste schouw heeft plaatsgevonden bij het TNO EMB Lab in Delft en is uitgevoerd door verschillende partners uit het hele ontwerpteam. Deze visuele keuring had als doel om te bepalen of het gebouw geschikt was om te dienen als donorgebouw. Hierbij is gekeken naar visuele beschadigingen, roest en losmaakbaarheid. De staalconstructie bleek hoofdzakelijk met bouten verbonden en goed bereikbaar. Verder werden er geen onacceptabele beschadigingen of vervormingen waargenomen.