

# Maximaliseren op minimaal terrein

**Deze zomer komt de onderbouw van het Unilever-kantoor aan de Maas gereed en wordt een spraakmakend project afgerond. Ondertussen groeide De Brug uit tot een icoon voor de stad Rotterdam, maar ook voor 'intensief ruimtegebruik', als letterlijke brug tussen het nationaal beleid en de bouwpraktijk. Prefabricage van de (stalen) onderdelen gaf daarbij maximaal profijt bij minimale ruimte. Na een oogst van lof is de tijd rijp om met de hoofdconstructeurs te kijken naar het ontwerp, de keuzes en het bijna-ideaal zijn van het ontwerp. Een verhaal van wieg tot Brug.**

**ir. G.L.H.M. Henkens en ir. P. Lagendijk**

George Henkens en Paul Lagendijk zijn respectievelijk directeur van en constructief ontwerper bij Aronsohn Constructies raadgevende ingenieurs in Rotterdam.

*De bouw van De Kade, aldus de verzamelnaam van de onderbouw, is na een tegenvallende sloop van de oudbouw (asbest) met nog eens zes maanden vertraagd door funderingsproblemen. De Kade bestaat uit een parkeerblok (11.500 m<sup>2</sup>, 476 plaatsen) met kantoren rondom (3.350 m<sup>2</sup>). Een glazen entreehal verbindt dit betonnen volume voorzien van een bakstenen gevel met de gehandhaafde, historische oudbouw. De entree loopt door tot de liftschacht naar De Brug. De nieuwbouw omvat tevens een tweelaagse verblijfsruimte met vide (355 m<sup>2</sup>), het Theater, dat ruimte biedt voor bijeenkomsten. De Kade (bouwkosten € 20 miljoen excl. btw) wordt in september 2007 opgeleverd.*

Het ontwerp van De Brug doet voor het eerst van zich spreken als onderdeel van een door Unilever Bestfoods uitgeschreven prijsvraag gericht op de herontwikkeling van het zogeheten Oranjeboomterrein. Het winnend ontwerp, ingediend door een team geleid door de Rotterdamse projectontwikkelaar Dura Vermeer Groep, is afkomstig van JHK Architecten uit Utrecht en kent een belangrijke stedenbouwkundige inbreng van West 8 landscape architects & urban planners. Het opvallende kantoorgebouw is door zijn uitstraling verwant aan de nabijgelegen spoorbrug De Hef – een landmark van historische betekenis – en een nog te bouwen voetgangersbrug over de Koningshaven. Behalve het spectaculaire kantoorgebouw, dat boven de Unilever Bestfoods fabriek uitkraagt, omvat deel twee van het plan een bovengrondse parkeergarage met aangrenzende kantoren. De relatief hoge gebouwkosten van De Brug worden ruimschoots gecompenseerd door de behaalde ruimte-winst waardoor de bouw mogelijk is van ongeveer tweehonderdvijftig woningen.

## Constructieve uitdaging

De complexe bouwlocatie is een constructieve uitdaging. Op het maaiveld is ruimte in en rond het monumentale fabriekscomplex uit 1891 schaars, maar ook moet de 24-uurs

productie ongestoord doorgaan. Daarom valt al in een vroeg stadium het besluit de bovenbouw in staal uit te voeren, zodat het gebouw op een andere locatie dan direct boven de fabriek kan worden geassembleerd. Van de constructieve elementen worden alleen de funderingspalen en de betonnen fundering ter plekke gerealiseerd. De staalconstructie wordt geassembleerd op het naastgelegen terrein, inclusief de geprofileerde staalplaat voor de staalplaat-betonvloeren. De ruwbouw wordt hier vandaan verplaatst naar zijn definitieve locatie met zwaar materieel en een schuifbaan.

## Fundering met boorpalen

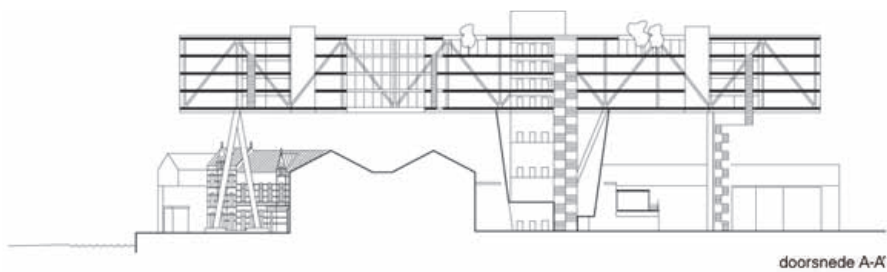
Vanuit constructief oogpunt ligt een grondverdringend paalsysteem voor de hand: een beperkt aantal palen met een zo hoog mogelijk draagvermogen. Het voordeligst zijn daarbij geheide prefab betonpalen, vanwege het hoge draagvermogen per paal, de relatief kleine hart-op-hart afstand en de bijbehorende geringe afmetingen van de fundering. Maar de heikwerkzaamheden veroorzaken significante trillingen, die mogelijk schadelijk zijn voor de gebouwde omgeving en zeker verstorend voor het fabrieksproces: er wordt nagenoeg continu gewerkt met gevoelige weegapparatuur. Daarom valt de keus op tubex-groutinjectie-



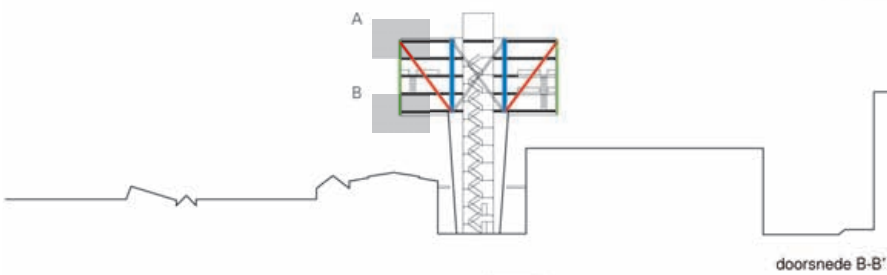




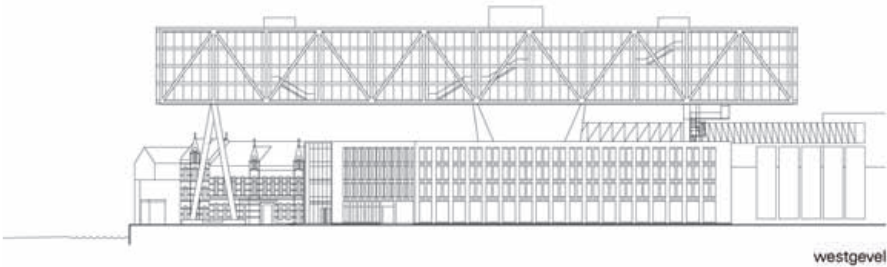
fotos: Pieter Kers



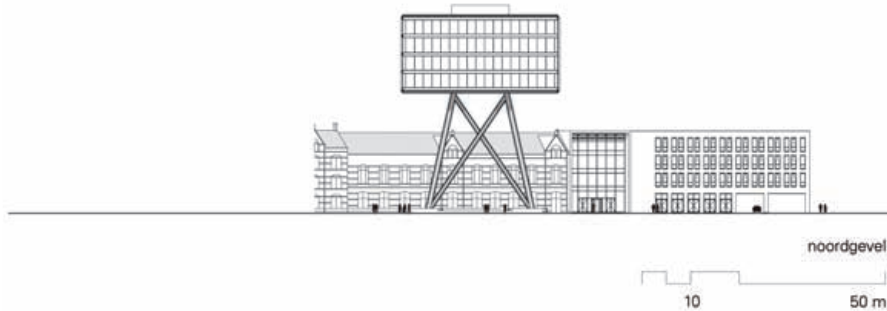
doorsnede A-A'



doorsnede B-B'

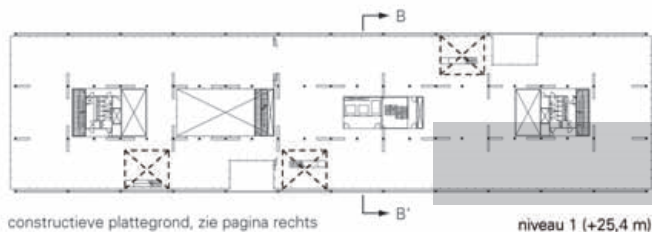


westgevel



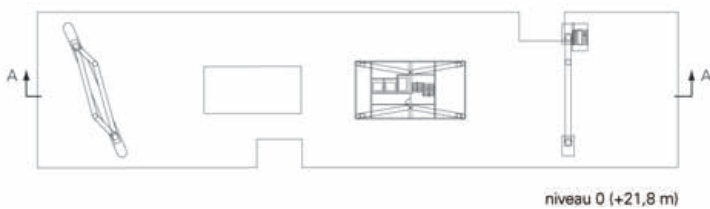
noordgevel

10 50 m



constructieve plattegrond, zie pagina rechts

niveau 1 (+25,4 m)



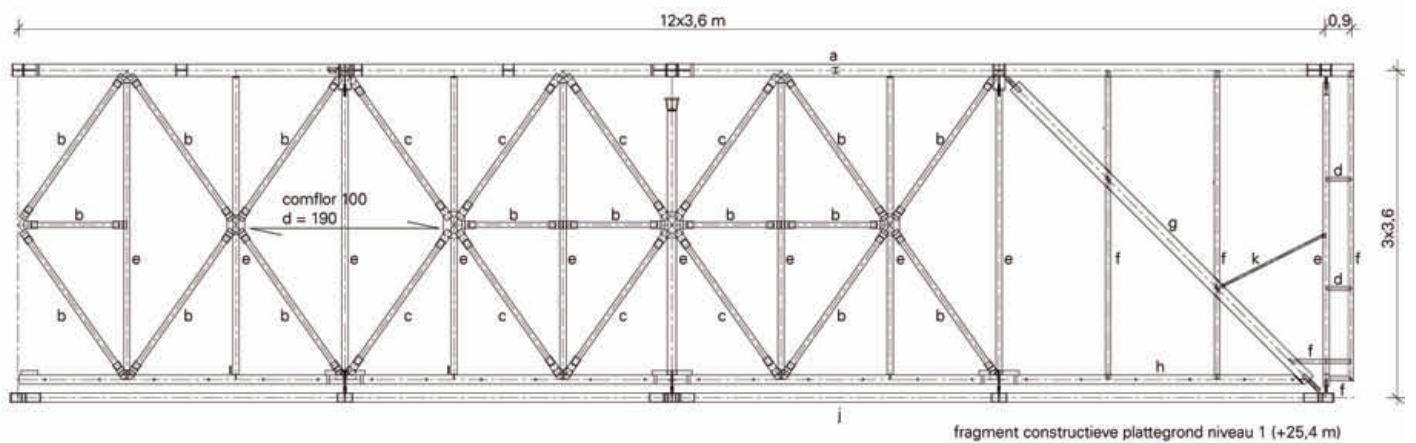
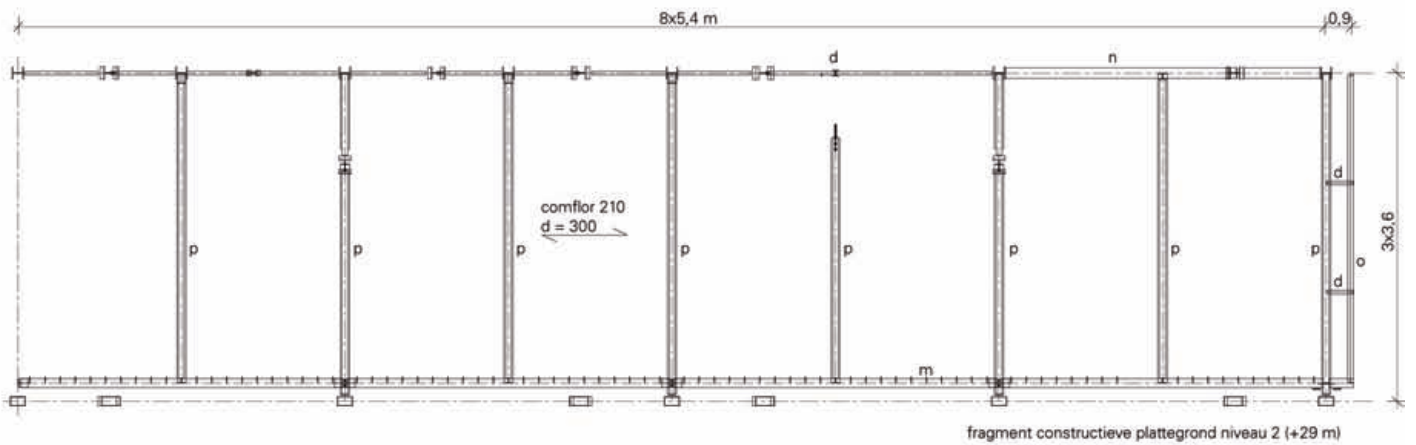
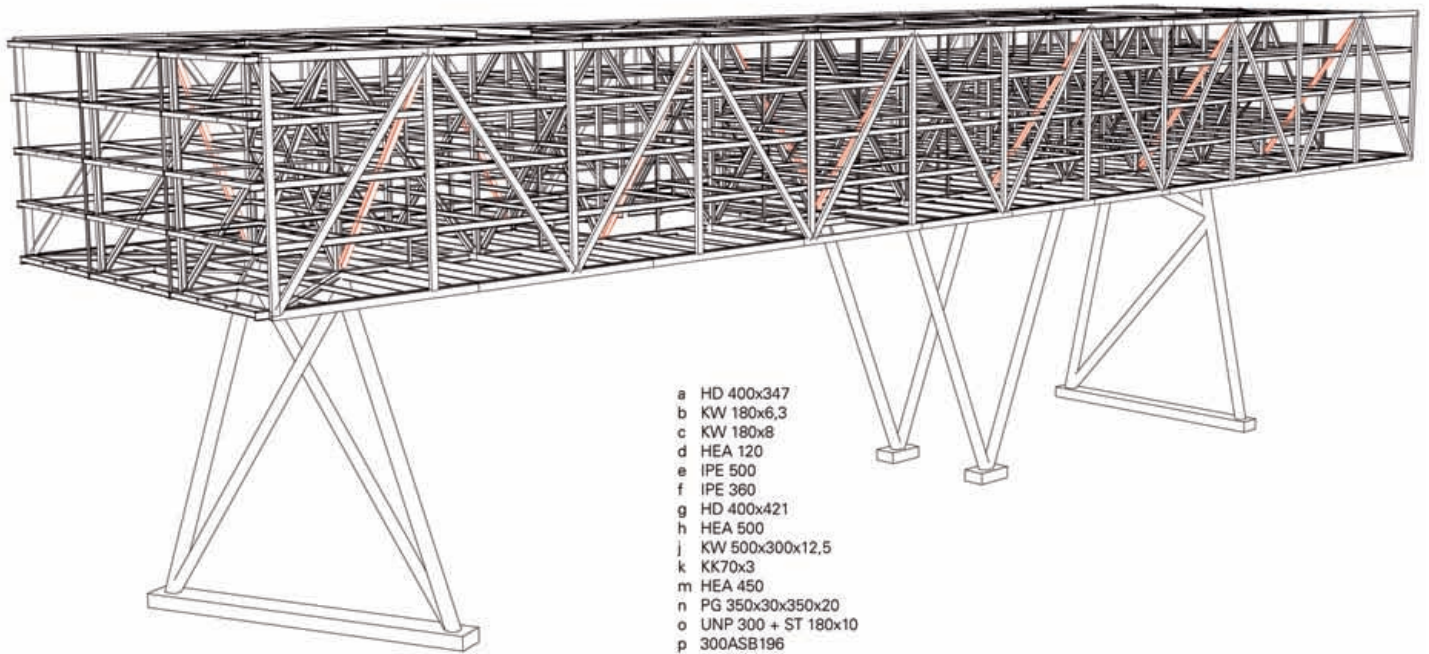
niveau 0 (+21,8 m)

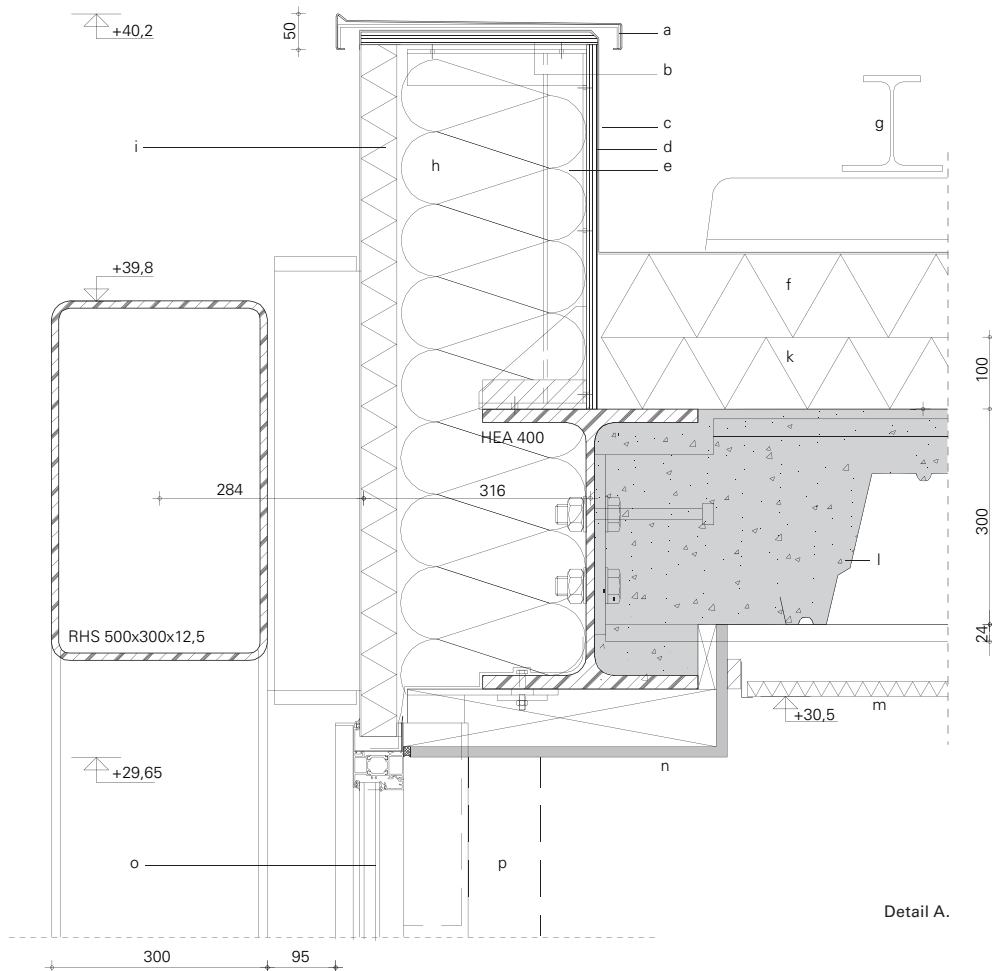
*De 'ruggengraat' van het gebouw zijn de middelste twee vakwerkliggers (blauw). De gevelvakwerken (groen) hangen daaraan met diagonalen (rood).*

*Aanzicht vanaf de Maas met de laatste bouwfase rechts, de 'Kade' (zie ook kadertekst, p23).*

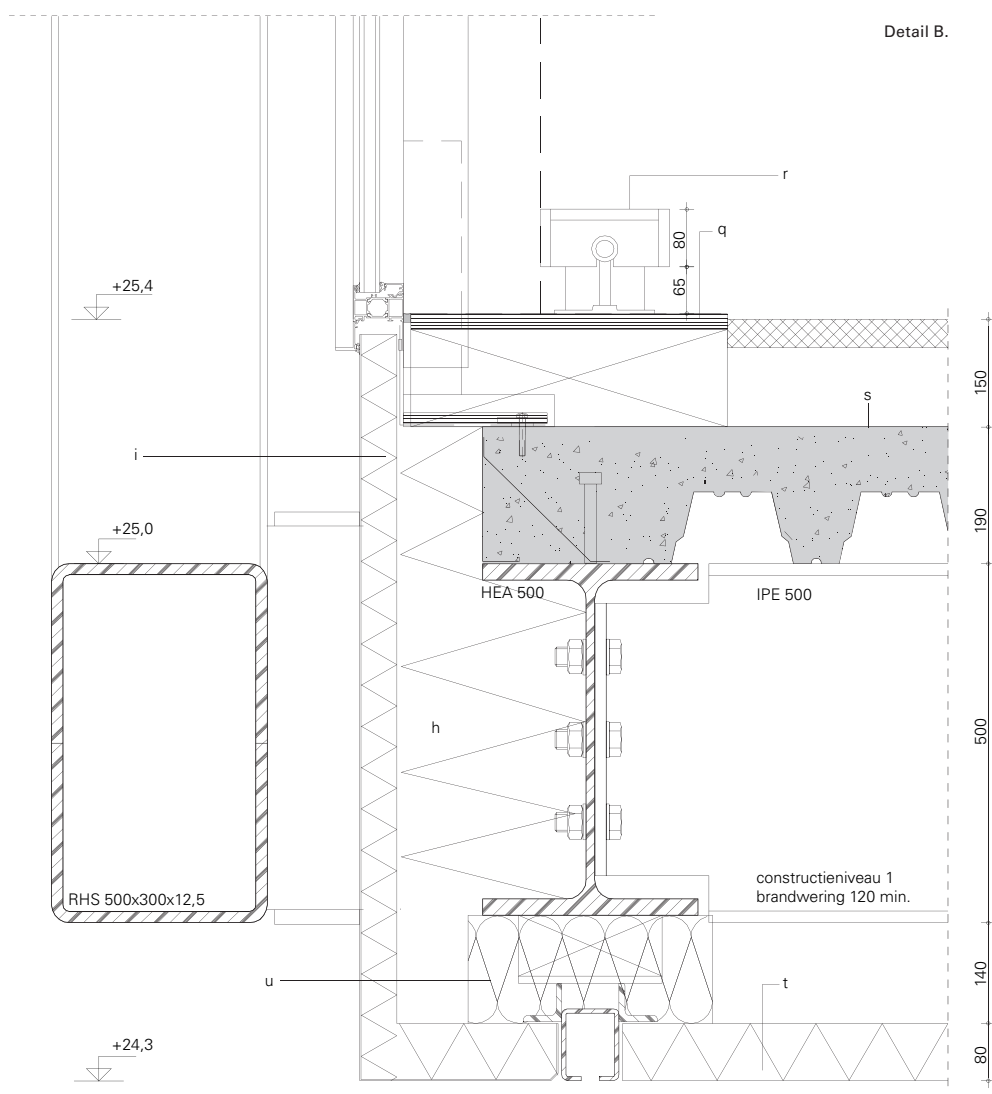
*De kolommen aan de voorzijde torderen over de lengte ongeveer 23° voor zo min mogelijk obstructie voor het (vracht)verkeer.*







Detail A.



Detail B.



- a gezette staalplaat op klangen
- b multiplex, 18 mm
- c dakbedekking
- d multiplex, 15 mm
- e stalen steun h.o.h. 600 mm
- f isolatieplaten
- g glazenwasrail
- h minerale wol
- i geïsoleerd paneel
- k dakisolatie ( $R_v = 3,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ )
- l staalplaat-betonvloer (210)
- m akoestisch plafond
- n mdf omtimmering
- o aluminium kozijn (binnenbeglazing)
- p zone voor helderheidsvering
- q multiplex, 22 mm (geschilderd)
- r mini convector
- s staalplaat-betonvloer (100)
- t stalen sandwichpaneel
- u minerale wol (tegen luchtstroming)





*De compositie van de kolommen achter werd gedictieerd door de bestaande leidingbrug.*



palen, die zowel trillingsarm als grondverdringend zijn.

De boorstelling brengt een stalen buis op diepte terwijl aan de buitenzijde van de buis grout wordt geïnjecteerd. De buis wordt daarna gevuld met beton. Het systeem voorkomt stilstand in de fabriek, maar heeft een beperking: een lagere draagkracht per paal door een relatief hoog paalpuntniveau (begrenzing boorcapaciteit) en de grotere hart-op-hart afstanden. Het draagvermogen per vierkante meter poer is daardoor ongeveer 25% lager dan bij prefab (hei)palen. Het ruimtebeslag dus groter. De beschikbare ruimte bij het middensteunpunt is net voldoende om het benodigde draagvermogen te realiseren. Aan één zijde zijn zeer kleine afstanden naar de belendingen gehanteerd, waardoor kleine zettingen kunnen ontstaan. Die zijn hier acceptabel: deze bebouwing wordt gesloopt zodra De Brug gereed is.

### **De laag van Kedichem**

Hoogbouw veroorzaakt een significante toename van korrelspanningen in het grondmassief onder het niveau van de paalfunderingen. Dat leidt bij slappe lagen tot zettingen. In dit Rotterdamse grondgebied komen de zettingen voor rekening van de laag van Kedichem, een kleilaag onder de

zandlaag waarin de palen hun lasten afdragen. Hoewel het hier slechts een kantoorpand van vier verdiepingen betreft, treden toch significante zettingen op (50 mm) door geconcentreerde lasten in het relatief kleine aantal kolommen. De lokale funderingsdrukken komen overeen met die van een hoogbouwproject, zoals het 125 m hoge World Port Center in Rotterdam. Zettingen ontwikkelen zich in de tijd; naar verwachting treedt de helft van de zettingen op tijdens de bouw, de rest na de oplevering. Extra reden om zorgvuldig om te gaan met zettingen is de leeftijd van het fabriekscomplex direct naast de nieuwe fundering. Daarom is voor de aangrenzende bebouwing een analyse gemaakt van de verwachte zettingen en hoekverdraaiingen (de zettingsverschillen per eenheid van lengte). Gelijkmatige zettingen leiden immers niet tot schade. De uitkomst is dat de zettingsverschillen bij de gevel aan de Nassaukade acceptabel zijn. Verwacht wordt dat bij slechts een beperkt deel van de overige geveldelen lichte scheurvorming in het gevelmetselwerk kan optreden.

### **Traditionele vakwerkbrug**

Het minimum aan krachtsafdrachtmogelijkheden (kolommen) en een economisch materiaalgebruik leidde tot de toepassing van

een vakwerkconstructie. Een vakwerkconstructie waarvan de hoogte correspondeert met de hoogte van het gebouw is een bijzondere maar logische en economische keuze. Met de gebouwlengte ontstaat zo een goede slankheidsverhouding en visueel de beoogde associatie met de traditionele vakwerkbrug. In de lengterichting van het gebouw zijn vier vakwerken met een lengte van 129,6 m aanwezig op een onderlinge afstand van 10,8 m. Omdat alleen de twee middelste vakwerken worden ondersteund door kolommen, zijn de twee buitenvakwerken op diverse plaatsen met diagonalen opgehangen aan de middenspanten. Gevolg is dat de diagonalen en verticalen in de kantoorruimten dominant zijn, waardoor het kantoor een industriële uitstraling krijgt. De kolommen die De Brug ondersteunen zijn vanwege de grote kniklengte (de onderste vloer ligt ongeveer 25 m boven maaiveld) uitgevoerd als buiskolommen.

### **Profilering vakwerken**

Voor de staalconstructie van de middenvakwerken wordt gekozen voor gewalste H-profielen, variërend van lichte profielen, bijvoorbeeld HEA 120 (20 kg/m) als knikverkort, tot een zwaar profiel (HD 400x347, ongeveer 347 kg/m) als onder- en bovenrand

**Projectgegevens** Locatie Nassaukade, Rotterdam • *Opdracht en ontwikkeling* Dura Vermeer Vastgoed, Zoetermeer • *Architectuur* JHK Architecten, Utrecht i.s.m. West 8 landscape architect & urban planners, Rotterdam • *Constructief ontwerp* Aronsohn Constructies raadgevende ingenieurs, Rotterdam i.s.m. Hollandia, Krimpen aan den IJssel • *Adviseur installaties* Deerns raadgevende ingenieurs, Rijswijk • *Adviseur bouwfysica* DGMR raadgevende ingenieurs, Arnhem • *Uitvoering* Dura Bouw, Rotterdam • *Staalconstructie* Hollandia, Krimpen aan den IJssel • *Installaties* Unica Installatietechniek, Rotterdam • *Staalplaat-betonvloer* Dutch Engineering, Zoeterwoude • *Montage staalplaat-betonvloer* Nedicom, Asten • *Gevel* Vorsselmans, Loenhout (B) • *Bouwkosten* € 30 miljoen (excl. btw) • *Fotografie* Pieter Kers

van het spant. De voorkeur voor H-profielen is uitsluitend gebaseerd op kosten en aansluitingsmogelijkheden. Vanuit architectonisch oogpunt bestaat geen bezwaar tegen zichtbare, open staalprofielen die over de lengte van het gebouw bovendien nog in afmeting variëren. Die overweging geldt niet voor de buitenvakwerken. Hier is bewust gekozen voor warmgewalste kokerprofielen met één uitwendige afmeting (500x300 mm), maar wel met variërende wanddiktes. De redenen zijn verschillend: architectuur, onderhoud (minder vervuilinggevoelig en minder schilderoppervlak) en stabiliteit. De hoogte van 500 mm wordt genomen om het vakwerk architectonisch zichtbaarheid te maken. De breedtemaat van 300 mm is opgelegd door Arbo-wetgeving, die voorschrijft dat de ruiten vanuit een glazenwasserkooi binnen 500 mm bereikbaar moeten zijn.

### Bijna ideaal

Door de vakwerken in langsrichting, de dwarsverbanden waarmee de buitenste spanten aan de beide middenspanen zijn bevestigd en de betonnen vloerschijven is het gebouw een stijve en stabiele doosconstructie. De stabiliteit van deze doos is theoretisch op (bijna) ideale wijze opgelost. De beide eindsteunpunten leveren de stabiliteit in dwarsrichting, het middensteunpunt verzorgt de stabiliteit in langsrichting. Hiermee kan het gebouw onbelemmerd vervormen in langsrichting. Eventuele excentriciteiten in de horizontale belastingen worden eenvoudig opgenomen door de beide eindsteunpunten.

Toch is de toegepaste oplossing niet helemaal ideaal. Dat komt door twee situaties. De voorpoot aan de kadezijde tordeert over de hoogte van de ondersteunende kolommen over 23° en zorgt hierdoor voor enige verandering van de vervorming in langsrichting. De achterpoot op het 'brandweersplein' is in vorm aangepast aan een leidingbrug, de levensader van de fabriek. Hierdoor ontstaat enige mate van buiging in de stalen kolommen. Bij de eindsteunpunten wordt de spatkracht die op funderingsniveau ontstaat, opgenomen door een voorgespannen betonnen trekband.

### Brandwerende verf

Vanwege de fabriek onder De Brug en de Nieuwe Maas op minder dan vijf meter uit de hoek van het gebouw, is voor de hoofdkolommen onder het gebouw en het onderste vloerniveau een brandwerendheid van 120 minuten vereist. Door de lage permanente vuurbelasting en een sprinklerinstallatie kan voor de overige onderdelen van de hoofd-draagconstructie worden volstaan met een brandwerendheid van 60 minuten. Voor het eerst sinds de realisatie van het hoofdkantoor van Unilever aan het Weena<sup>[4]</sup>, is weer op grote schaal verf toegepast als brandwering in Rotterdam. Een uitgebreide discussie tussen de constructief ontwerpers van Aronsohn en Hollandia met Bouw- en Woningtoezicht leidt uiteindelijk tot de introductie van de kwaliteitsrichtlijn voor de applicatie van brandwerende coating, uitgegeven door Bouwen met Staal. Hiermee kon het zichtbare deel van de staalconstructie worden voorzien van een brandwerende coating en kan de kwaliteit op eenduidige manier worden getoetst. Aandachtspunt bij de toepassing van brandwerende coating is de kwetsbaarheid voor mechanische beschadigingen. Controle (meting) is van evident belang. Kleine beschadigingen hebben geen gevolgen voor de brandwerendheid, maar wel voor de duurzaamheid. Tijdens de uitvoering zijn verschillende beschadigingen ontstaan, die vervolgens moesten worden hersteld. De delen van de staalconstructie die aan het zicht zijn onttrokken, krijgen om economische redenen een brandwerende spuitpleister. Nu de richtlijn voor de applicatie van brandwerende coating een aantal jaren gebruikt wordt, is het moment aangebroken om deze te evalueren. Bij die evaluatie moet zeker kritisch worden gekeken of het aantal meetpunten kan worden gereduceerd.

### Temperatuurspanningen verhinderd

Een staalconstructie die volledig binnen staat, is minimaal onderhevig aan temperatuurwisselingen. Staat de constructie geheel of gedeeltelijk buiten, dan staat deze bloot aan de zomer- en wintercyclus, maar ook aan een dag- en nachtcyclus. Lengteveranderingen van de staalconstructie zijn het gevolg. Lukt het niet de staalconstructie binnens-

huis te houden, dan past men in de regel dilataties toe om zonder belemmeringen vervorming te laten optreden. Bij De Brug gaan de buitenvakwerken onder extreme zomer- en wintercondities substantieel verlengen en verkorten, terwijl de overige constructiedelen vrijwel 'stilstaan'. Bij een onverhinderde vervorming kan het lengteverschil in het buitenvakwerk met zijn lichte kleur oplopen tot ongeveer 130 mm. Na een uitvoerige beschouwing is besloten de hoekpunten van de relatief lichte buitenvakwerken met zware schoren in de dakconstructie en de onderste vloer star te bevestigen aan de zware inpandige spanten, en de staalconstructie niet vrij te laten vervormen, maar te dimensioneren op de spanningen die ontstaan door deze verhinderde vervorming. In de berekening is niet uitsluitend rekening gehouden met het krachterspel in de 'kale' staalconstructie zonder de bijdrage van het beton, maar ook worden enkele modellen doorgerekend met de relatief stijve betonnen vloerconstructie. Met name in de onderste en de bovenste vloer ontstaan relatief grote krachten door de temperatuurbelastingen, omdat deze vloeren star zijn verbonden aan de onder- en bovenrand van de buitenvakwerken. De tussengelegen niveaus zijn weliswaar ook star verbonden aan de diagonalen, maar door de beperkte lengte en het buigslappe gedrag van de diagonalen zijn de krachten die op de vloerconstructie worden overgedragen beperkt.

### Staalplaat-betonvloer

De voordelen van het gebruik van de staalplaat-betonvloer met grote overspanningen beginnen in de Nederlandse bouwpraktijk langzaam maar zeker door te dringen, neem bijvoorbeeld het kantoorgebouw World Port Center<sup>[5]</sup> of het ING-hoofdkantoor<sup>[6]</sup>. Mede om het gewicht van het gebouw te beperken, is ook hier gekozen voor een dergelijke vloer. Om het transportgewicht te minimaliseren, is besloten de staalplaten vóór het transport te monteren en het (licht)beton te storten wanneer het gebouw op zijn definitieve positie staat. De onderste verdieping krijgt een doorgaande, zogeheten lage staalplaat-betonvloer (plaat-hoogte 100 mm) met een totale dikte van





190 mm. De overspanningen van deze vloer bedragen 3,6 m en de vloer is gelegd op de bovenzijde van de staalconstructie en gekoppeld met stiftdeuvels. De dikte van deze vloer is aangepast om aan de eis van 120 minuten brandwerendheid te kunnen voldoen. Op deze verdieping is het mogelijk deze (goedkopere) lage staalplaat-betonvloer te nemen (die door Hollandia op basis van haar ervaring met de Engelse bouwpraktijk voor het totale gebouw was voorgesteld), omdat de beschikbare constructiehoogte hier groter is dan bij de andere bouwlagen. Op de andere bouwlagen wordt een hoge staalplaat-betonvloer (plaathoogte 210 mm) met een totale vloerdikte van 300 mm genomen. De overspanningen bedragen 5,4 m. De stalen liggers die de vloer ondersteunen, zijn opgenomen in de vloerconstructie (geïntegreerd vloersysteem). Door de verhouding van overspanning-vloerdikte en het gebruik van lichtbeton kan ook deze vloer stempelvrij worden uitgevoerd.

### Toekomst lichtbeton

Het toepassen van lichtbeton lijkt de normaalste zaak van de wereld. In Engeland en de Verenigde Staten is dat ook zo. Bij dit project bleek dat Nederland nog niet zo ver is. De kosten van lichtbeton zijn hoog

(ongeveer twee keer zo hoog als van grindbeton) en de verpompbaarheid bleek ook hier, ondanks vooraf uitgevoerde pompproeven, meer dan lastig. Op dit vlak ligt er nog een uitdaging voor bouwend Nederland.

### Volgorde betonstort van belang

De staalplaat-betonvloeren zijn monoliet verbonden met de staalconstructie. Daardoor leiden vervormingen van de staalconstructie ook tot vervormingen en spanningen in de staalplaat-betonvloer. De grootste spanningen ontstaan in de onder- en bovenvloer omdat deze één geheel vormen met de onder- en bovenrand van de vakwerkspanten. Door eerst de tussengelegen vloeren te storten en pas als laatste de onderste en de bovenste vloer, worden de spanningen aanzienlijk lager doordat een belangrijk deel van de vervormingen al is opgetreden voordat deze vloeren als betonschijf kunnen werken.

### Prijspakker

De constructie van de Brug is niet de meest economische. De constructieve bouwsom is ongeveer twee keer zo hoog als voor een 'normaal' kantoorgebouw. De ruimtewinst is echter groot en compenseert deze hoge kosten. En het is inmiddels een schoolvoorbeeld van dubbel grondgebruik in stedelijke

omgeving. Maar blijkbaar leidt de ongewone bouwwijze tot gemengde reacties. Dat vertaalt zich wel in veel nominaties, maar niet in prijzen. Het project is nog wel uitgeroepen tot demonstratieproject voor IFD-bouwen, maar verder resten slechts nominaties voor de Nationale Staalbouwprijs 2004, voor BNA-gebouw van het jaar 2006, de FGH-Vastgoedprijs 2006 en de Mies van der Rohe Award 2007. Hoe dan ook: Rotterdam heeft met De Brug er weer een markant gebouw bij waarover de meningen verdeeld zijn. •

### Literatuur

1. *Feijenoord op kop*, Dura Vermeer Groep NV, 1 september 2000.
2. A.F. Hamerlinck, Richtlijn Applicatie brandwerende coating, Bouwen met Staal-rapport 2003.01, Rotterdam 2003.
3. Boscardin and Cording, Building Response to excavation-induced settlements.
4. Kantoorgebouw Unilever, Rotterdam, ir. G.L.H.M. Henkens, *Bouwen met Staal* 113.
5. World Port Center, *Baken voor Kop van Zuid*, ir. P. Lagendijk en ir. G.L.H.M. Henkens, *Bouwen met Staal* 162.
6. Hoofdkantoor ING groep, *Spraakmakende vorm vertaald in staal*, ir. J.M.G. Hendriks en ing. M. de Boer, *Bouwen met Staal* 172.