



7 | Westelijk gedeelte
Arnhem Centraal
(illustraties 1 t.m. 7:
UNStudio)

Station Arnhem Centraal

Landschap als organisatiestructuur

ir. A. Dingsté, UN Studio
ing. M. de Boer, Arup

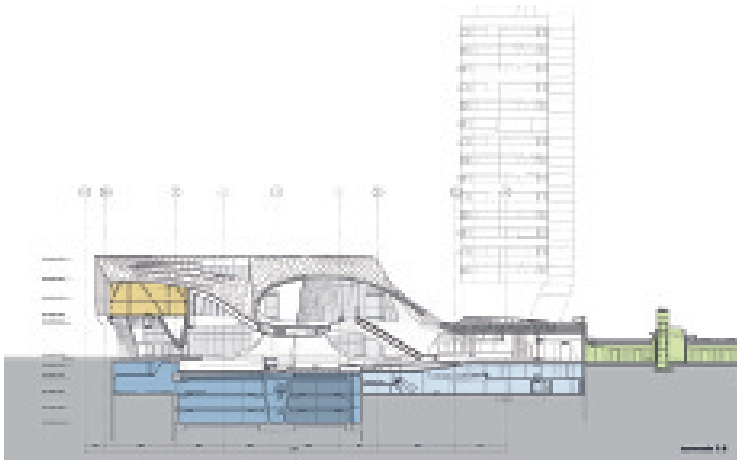
Het nieuwe Centraal Station van Arnhem is zonder twijfel één van de vooruitstrevendste ontwerpen van dit moment. Het ontwerp wordt gekenmerkt door dubbelgekromde vormen met krommingen die complexer zijn dan wat we in Nederland gewend zijn. Door de ontwerpende partijen UNStudio en Arup is in opdracht van ProRail parallel aan de uitwerking in contractdocumenten een haalbaarheidsonderzoek hiervoor verricht, zodat aanbiedende aannemers zich kunnen beperken tot het uitwerken van eventuele optimalisaties binnen de verwachte uitvoeringskeuze en -volgorde. Enkele belangrijke bevindingen komen in dit artikel aan de orde.

Arnhem heeft een toenemend belang als knooppunt in de railverbinding tussen de Randstad en Duitsland. Daarnaast is een ontwikkeling voorzien van het Knooppunt Arnhem - Nijmegen tot (inter-)nationaal concurrerend

kerngebied voor economische en ruimtelijke ontwikkeling. Daardoor groeide eind jaren '80 de behoefte het Arnhemse stationsgebied stedenbouwkundig volledig te herstructureren tot een centrum van openbaar vervoer, gecombi-

neerd met kantoor-, winkel- en woonfuncties.

In 1996 zijn UNStudio en Arup door de Gemeente Arnhem gevraagd een ontwerp te maken voor de samenhangende infrastructuur met daarbij een bebouwingsvoorstel voor dit gebied. Dit resulteerde in 1999 in het stedenbouwkundig Masterplan Arnhem Centraal dat de totale herinrichting beoogt van een compact maar complex gebied [1]. Het plan beschrijft het integrale ontwerp voor de ontwikkeling en herinrichting van het stationsgebied. Het gaat hier om de ontwikkeling van 80 000 m² kantoorruimte, 11 000 m² winkelruimte, 110 woonunits, een nieuwe OV-terminal (regionale bussen,



lokale bussen en treinen), een vierde perron, een nieuwe perrontunnel, een tunnel voor autoverkeer, een fietsenstalling voor circa 4800 fietsen en een parkeergarage voor 1050 auto's (fig. 1).

Het ontwerp voor het Masterplan Arnhem Centraal wordt gekenmerkt door een grote verwevenheid van verschillende aan elkaar gekoppelde functies. Het westelijke gedeelte van Arnhem Centraal is daarbij een prototypisch ontwerp voor dubbel grondgebruik. Dankzij de toepassing van innovatieve ondergrondse oplossingen en een integrale constructie, is een grote bebouwingsdichtheid moge-

lijk gemaakt zonder in te boeten op de kwaliteit van de openbare ruimte. De verwevenheid van functies bestaat in technisch opzicht uit gedeelde funderingen, korte verbindingroutes en lichttoetreding in de ondergrondse bouwlagen.

In het ontwerp van het stationsgebied staat de voetganger centraal en is er door het eerder genoemde inventieve meervoudig ruimtegebruik, een publieke constructie ontworpen waarbij aspecten als sociale veiligheid, korte verbindingroutes en heldere zichtlijnen bijdragen aan een kwalitatief hoogwaardige openbare ruimte.

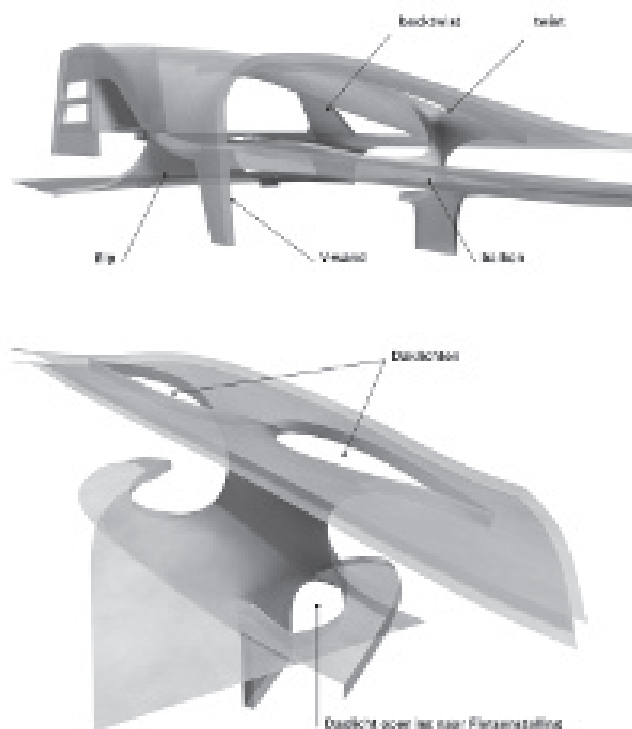
Landschap als organisatiestructuur

Kern van het Masterplan is de nieuwe OV-terminal, die als een letterlijk vervoersknooppunt diverse vervoersmodaliteiten vloeiend met elkaar verbindt. De OV-terminal geeft samen met de nieuwe perrontunnel rechtstreeks toegang tot trein, taxi, bus, fiets, de geparkeerde auto, kantoor en stad. Er ontstaat hiermee één volledige, geïntegreerde 'transporthub'. De nieuwe identiteit voor dit stationsgebied moet daarmee het belang van dit nieuwe sleutelproject uitdrukken: voor veel bezoekers van Arnhem begint de stad hier. Bij het samenbrengen van de vervoersnetwerken en overige voorzieningen is dankbaar gebruik gemaakt van het, voor Arnhem kenmerkende, natuurlijk glooiende landschap. De aanwezige hoogteverschillen zijn gebruikt om het stationsgebied te ontwikkelen tot een stedelijk landschap dat de voorzieningen in zich opneemt en in zijn plooiën bijeenbrengt. Natuurlijke hoogteverschillen, looplijnen, zichtlijnen en onderzoek naar dichtheden (als loop- en vervoersstromen) vormen

2 | Doorsnede OV-terminal, parkeergarage en fietsenstalling met V-wandenstructuur



3 | OV-terminal met 'sneide' in het landschap



4 | Dubbelgekromde
betonconstructies

de basis voor de situering van de plooiën. Dit maakt het mogelijk kruisende verkeersstromen tot een minimum te beperken en toch alle programmaonderdelen goed bereikbaar te maken. Samengevat geven de natuurlijke hoogteverschillen in het gebied de mogelijkheid tot het smelten van voetgangerstromen, vervoerssystemen, constructie en programma, tot één vloeiend utiliteitslandschap.

Conceptuele gereedschappen

De landschappelijke geometrie wordt ingezet om, gevormd en gekneed met behulp van een set conceptuele gereedschappen, de verschillende niveaus in één oppervlak te integreren. De manier waarop de geometrische uitwerking tot stand komt speelt op de verschillende schaalniveaus een belangrijke rol.

De conceptuele gereedschappen die ontwikkeld zijn om een continu landschap te creëren zijn de 'V-wanden', de 'Snedes', de 'Kleinbottle' en de 'Twist'.

De 'V-wanden'

Een groot deel van de OV-terminal wordt gefundeerd op de al gerealiseerde parkeergarage [2]. De OV-terminal wordt daarbij afgesteund op een systeem van V-wanden. Deze zijn ontstaan uit het gegeven dat op de oppervlakte van de locatie van het Masterplan Arnhem Centraal ongeveer vier keer zoveel oppervlakte aan programma moet worden geplaatst. Eén van de gevolgen van het hieruit voortkomende noodzakelijke stapelen van verschillende functies is dat functies met een verschillend basisgrid boven elkaar komen te liggen (fig. 2).

Het ideale grid voor kantoorindelingen komt niet overeen met het grid voor parkeergarageindelingen. Als daartussen een dynamisch busstation operationeel moet zijn, met buffers en flexibele perrontoeewijzingen, is er sprake van drie verschillende gridsystemen met verschillende maatsystemen. In het ontwerp vormt het concept van de V-wanden de constructieve, technische, programmatische en ruimtelijke integratie tussen deze drie programmatische functies.

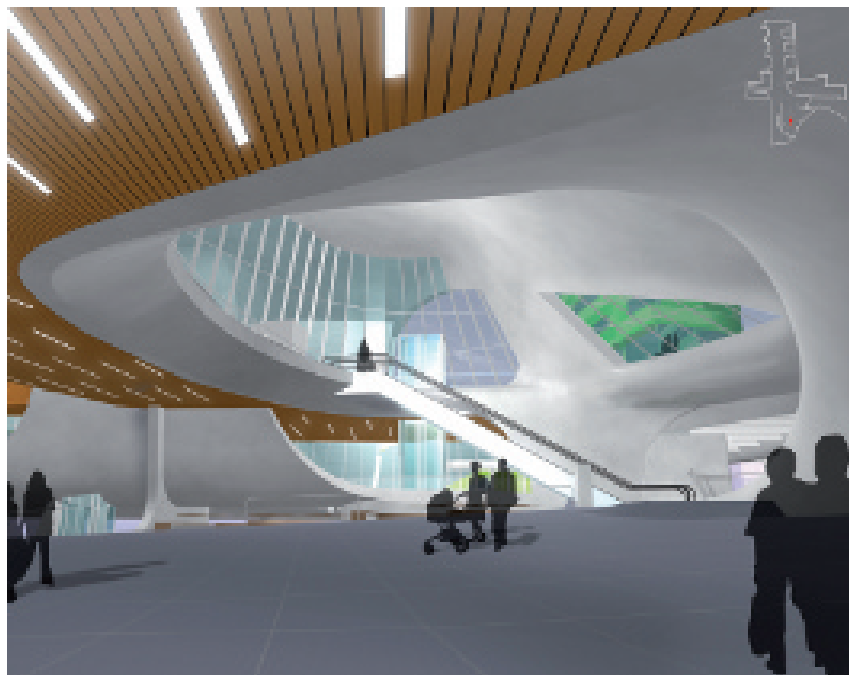
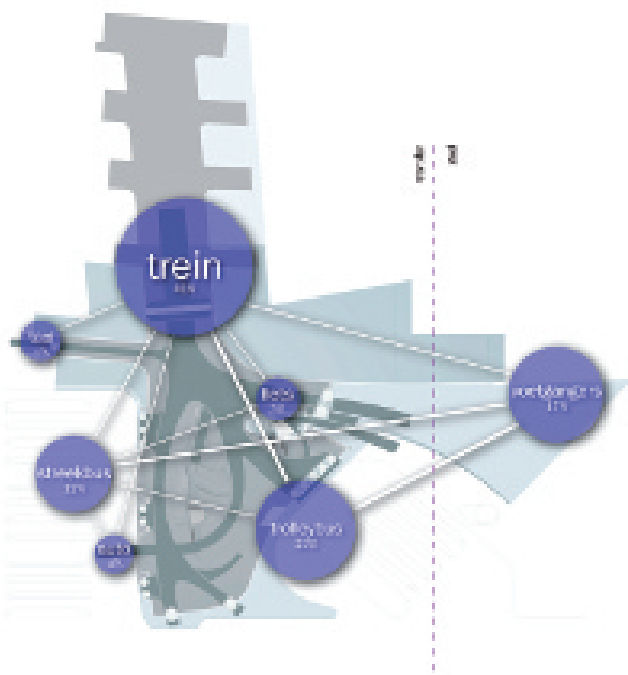
De 'V' werkt als organisatieprincipe op verschillende niveaus:

- belangrijkste constructieve dragers;
- 'collector' van mensen;
- binnenlaten van natuurlijk licht;
- ventilatie van de parkeergarage;
- richting van zichtlijnen;
- koppeling van de kantoren met de parkeergarage.

De wanden van de westelijke V-wanden transformeren ter plaatse van de OV-terminal naar de oostelijke V-wanden. De torsie in deze transformatie vormt de basis van de constructie van de overkapping van de OV-terminal. Onder het kopje 'Geometrie en Constructie' wordt dit systeem nader toegelicht.

De 'sneede': organisatie van transferfuncties

De sneden in het landschap vervullen twee functies. Ten eerste vormen ze de entrees van verschillende programmatische onderdelen die door het landschap worden ontsloten: de parkeergarage en de fietsenstalling. Ten tweede scheiden en begeleiden de sneden de voetgangersstromen in de OV-terminal. Doordat de loopstromen



worden gereguleerd door slechts twee sneden in het landschap kan de voetganger zich goed oriënteren in een overzichtelijke ruimte. Daarbij hoeft de zichtlijn naar een doel en de looplijn er naartoe niet altijd dezelfde te zijn (fig. 3).

De 'Kleinbottle': integratie van de publieke ruimte

De Kleinbottle is het diagram van de flessenhals die buigt, door de wand van de fles snijdt en zich aan de rand van de fles versmelt waar de bodem zat. De Kleinbottle is daarmee de metafoor voor continue ruimte die niet langer te definiëren is als 'binnen' of 'buiten'. Het is daarmee het basisprincipe van het Stadsbalkon: een 'buitenruimte' die door de 'binnenruimte' van de OV-terminal loopt. De twee ruimtes kunnen daarbij onafhan-

kelijk van elkaar functioneren. Voor het balkon gelden bijvoorbeeld andere gebruikstijden dan in de OV-terminal, die 's nachts enkele uren gesloten is. Het Stadsbalkon voorziet in de mogelijkheid de stedelijke verbindingen te integreren in de OV-terminal. Zo ontstaat een efficiënte bundeling van voetgangers die vanuit het kantorenplein richting de binnenstad wandelen.

De 'Twist'

Eén van de meest significante onderdelen van het plan wordt gevormd door het torderen van een aantal draagconstructieonderdelen. De 'Twist'-geometrie komt voort uit een topologische studie van de oppervlaktegeometrie van de OV-terminal, waarbij de dakgeometrie vloeiend met de onder-

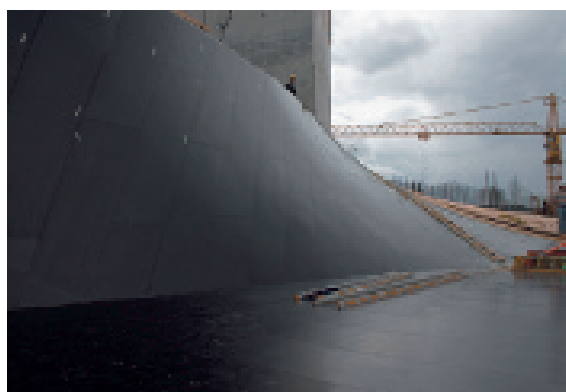
liggende niveaus wordt verbonden (fig. 4).

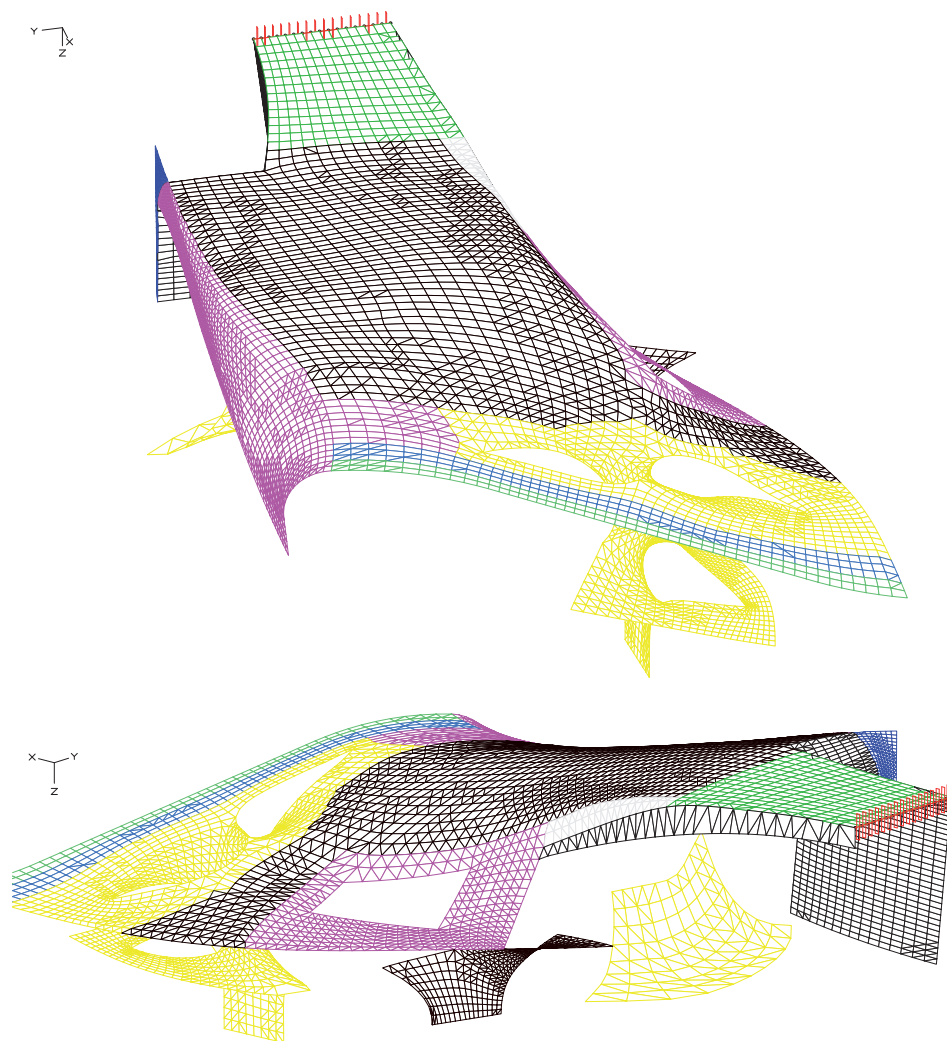
Ruimtelijke setting

Naast de treinreizigers, de regionale bus- en trolleybusreizigers is het aantal mensen dat gebruik maakt van de auto, taxi of fiets om bij de OV-terminal te komen aanzienlijk. Om elke overstapafstand zo kort mogelijk te laten zijn, is de als overdekt binnenplein functionerende OV-terminal midden tussen de vervoerssystemen gelegd en op zijn toekomstige transfer- en verblijfsfuncties gedimensioneerd. De hoofdingang van de OV-terminal ligt aan het uit twee niveaus bestaande oostelijk gelegen plein (één van de sneden in het landschap). Allereerst het niveau waarin, in het verlengde van de winkelstraat van het Masterplan

- 5 | Transferstudies
- 6 | Interieur OV-terminal

- 7 | Bekistingstechniek dubbelgekromde betonconstructies Mercedes Benz museum





8,9 | Overzicht van plaatsen waar wapening preciezer bekeken is

(fig. 8 t.m. 10: Arup)

Arnhem Centraal, het commerciële programma wordt opgenomen. Deze winkelstraat loopt door tot aan de hoofdentree van de OV-terminal en het Stadsbalkon. In het interieur van de OV-terminal loopt deze commerciële zone vervolgens vloeiend door tot achter in de perrontunnel.

Het tweede niveau is dat van het trolleybusplein, dat deel uitmaakt van de grote open buitenruimte die de entree vormt van het stationsgebied. Dit busplein wordt gebruikt door trolleybussen en overspannen door bovenleidingen. Op dit zelfde plein ligt de route waarover fietsers rechtstreeks de fietsenstalling in kunnen rijden. Door de niveaoverschillen op het plein worden de stroom voetgangers en de fietsers op natuurlijke wijze en kruisingsvrij gescheiden.

Onder het trolleybusplein ligt een deel van de parkeergarage (fase 2). Dit deel wordt ontsloten door een uitgang op het buitenplein en een uitgang in de OV-terminal.

Aan de westzijde van de OV-terminal bevindt zich, bovenop de parkeergarage (fase 1) het overdekte regionale busstation. Hierboven wordt op dit moment het horizontale kantoor K4 gebouwd, dat zich uitstrekt tot aan de Utrechtsestraat.

Een belangrijk stedenbouwkundig element in de OV-terminal wordt gevormd door het Stadsbalkon, dat dient als een verbindend element in het samenhangende stelsel van publieke ruimtes. Het vormt een continu circuit dat hoogteverschillen, programmaonderdelen en de stad met elkaar verbindt. Het Stadsbalkon is een voetgangersge-

bied met zowel een doorstroom als een verblijfsfunctie. Door een hoogwaardige materialisatie en verlichting wordt het overdag en 's avonds een veilige publieke ruimte.

Interne organisatie

OV-terminal

Om de verschillende programmaonderdelen met elkaar in een ruimtelijke samenhang te brengen en vanuit het oogpunt van circulatie goed te laten functioneren, zijn transferstudies gebruikt die uiteindelijk de basis hebben gevormd voor het ontwerp van de OV-terminal. Bij een aantal van 65 000 mensen per dag, verlaat slechts 25% het station als voetganger. Het merendeel gebruikt de hal als transfermiddel tussen de regionale bussen, treinen en stadsbussen (fig. 5).

Wachttijdstudies en transferpercentages hebben ook het proces begeleid van de positionering van wacht- en verblijfsgebieden. Hierbij is continu tot doel gesteld de toegankelijkheid voor voetgangers te optimaliseren. De posities van de zones zijn gerelateerd aan de wachttijden en de zichtlijnen in de OV-terminal. Om conflicten met 'wayfinding' te voorkomen is het meubilair daarbij altijd gepositioneerd op plekken langs de looproutes en waar mogelijk met direct uitzicht op de bijbehorende vervoersmodaliteit.

Oriëntatie

Uitgangspunt in het ontwerp voor de OV-terminal is een open, hoge, transparante en lichte ruimte, met zo min mogelijk obstakels, zodat alle gebruikers zich steeds in één oogopslag kunnen oriënteren en hun bestemming kunnen kiezen. Deze oriëntatie wordt nog eens versterkt door lichtinval op essentiële plekken, zoals bij de ingang van de perrontunnel, de ingang van de fietsenkelder en richting de kantoren. De openheid wordt daarbij bereikt door een hoge mate van integratie tussen constructie, routing, installaties, informatie

en licht. Maar ook doordat het commerciële programma en servicefaciliteiten zich zoveel mogelijk bevinden aan de randen van de transferzones. Hiermee worden los geplaatste volumes in de hal voorkomen en daarmee ook de verstoring van de overzichtelijkheid (fig. 6).

Maakbaarheid

Tijdens het ontwerpproces voor de OV-Terminal is veel onderzoek verricht naar de uitvoerbaarheid van de dubbelgekromde betonconstructies die in het gebouw zijn voorzien [3]. Het onderzoek spitte zich voornamelijk toe op twee aspecten:

- de betononderdelen zijn in het zicht en moeten als schoon beton worden uitgevoerd, waardoor strenge eisen aan het uiterlijk van het betonoppervlak worden gesteld;
- door de complexe geometrie van de betononderdelen is voor de aannemer een mogelijke uitvoeringskeuze en uitvoeringsvolgorde van deze onderdelen uitgewerkt. Hierdoor hoeft de aannemer niet eerst zelf te gaan nadenken over de uitvoeringskeuze en –volgorde, maar kan hij zich vooral richten op eventuele optimalisaties hierin.

Schoon beton

Voor de classificatie van het schoon beton is gebruikgemaakt van de ENCI-publicatie 'Schoon beton....mooi werk' [4] en CUR Aanbeveling 100 'Schoon beton – criteria voor de specificatie en beoordeling van betonoppervlakken' [5]. Aan de hand van de beoordelingsklassen B1 en B2 volgens CUR 100 worden relevante aspecten vastgelegd die leiden tot een schoon en egaal oppervlak. Voor de OV-terminal geldt kwaliteitsaanduiding B1 (onbewerkt glad) voor ter plaatse gestort beton en B2 voor prefab beton. De gewenste kleur betreft kleur B volgens de bij CUR 100 behorende grijschaal, wat overeenkomt met

de Kodak grijswaardeschaal 2.

Dit kan met standaard hoogoven-cement worden bereikt, zonder toevoeging van pigmenten. In afwijking op de tabel is geen afwijking van meer dan 1 niveau in grijswaarde toegestaan.

Uitgangspunt is de toepassing van een naadloze bekisting en een centerpenloos, vlak betonoppervlak. De stortnaden zijn vastgelegd op aparte geometrietekeningen van de betononderdelen, die door UN Studio zijn gemaakt. Bij opstaande vloeren en dakranden mogen geen horizontale stortnaden zichtbaar zijn.

Invloed op de berekening

De maximale scheurwijdte-eis voor zichtbeton klasse B1 is 0,10 mm. Voor betonvlakken op een afstand van enkele meters zijn scheuren van 0,15 tot 0,20 mm, mits droog, over het algemeen niet zichtbaar. Met de op sterkte berekende wapening in de constructie en een juiste detaillering is 0,20 mm overal haalbaar. Dit betekent dat een scherpere scheurwijdte-eis leidt tot een verhoging van de wapening. Voor de verschillende betononderdelen zijn de maximaal toegestane scheurwijdtes en de invloed op de wapening bepaald. Voor de totale wapeningshoeveelheid leidt de invloed van het schoon beton tot een toename van 15 à 20%.

In de figuren 8 en 9 zijn voorbeelden gegeven van onderdelen in de betonconstructies waarvan de wapening gedetailleerd is bekeken.

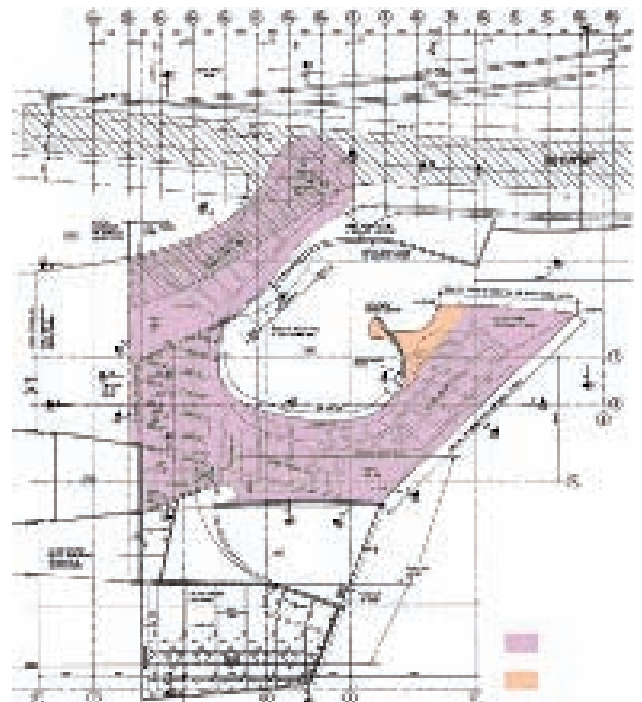
Bekistingstechnologie

De betonconstructie van het dak en de hellingbaan laat zich onderscheiden in drie niveaus, afhankelijk van de complexiteit (fig. 10):

- hoge complexiteit. De constructie van de twist (en eventueel backtwist), die hoofdzakelijk verticaal georiënteerd is en krommingen in twee richtingen heeft;
- gemiddelde complexiteit.



10 | Overzicht van de drie niveaus complexiteit van de betonconstructie van het dak (boven) en de hellingbaan (onder)



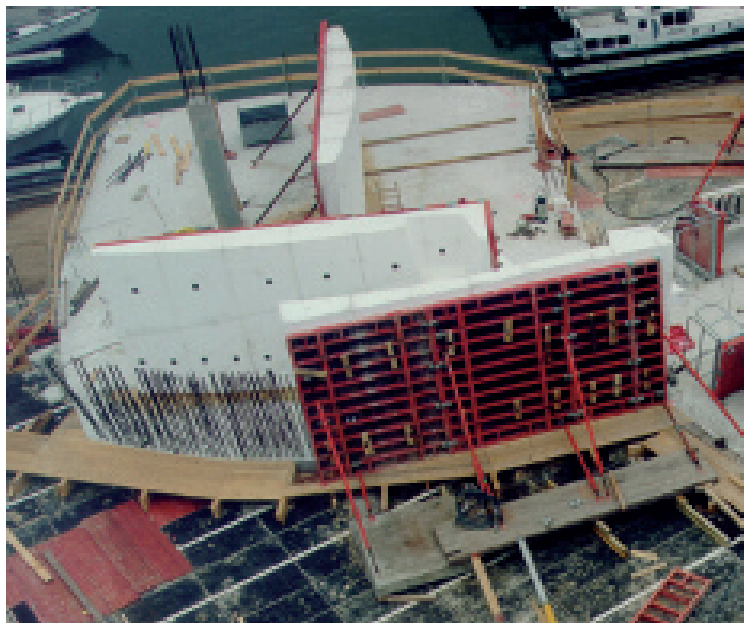
De verticale elementen met in één richting overheersende kromming;

- lage complexiteit. De horizontale delen met in één richting overheersende kromming.

Voor deze drie niveaus gelden dezelfde eisen en wensen met betrekking tot de esthetische kwaliteit van het zichtbaar blijvende betonoppervlak. Deze kunnen met zo nodig specifieke oplossingen met betrekking tot de bekisting, materiaalgebruik, wapening en nabehandeling worden verkregen.

Bekistingsopties

Als plaatmateriaal voor de bekisting worden veelal dunne (18 mm) houten platen gebruikt van circa



11 | Wandbekisting met tussenlaag uit kunststof (links) en fabricage van de vormlaag met CNC-machine (rechts). Neue Zollhoff, Dusseldorf, architect Frank O. Gehry (Peri bekistingen)

2,4 x 1,2 m². Staal en kunststof als plaatmateriaal zijn ook mogelijk. Het plaatmateriaal wordt waarschijnlijk gemonteerd op lijnvormige elementen (gordingen). Een kromming in één richting kan worden gemaakt loodrecht op de richting van de gordingen door dunne platen te buigen of te segmenteren door de breedte te verkleinen (bijvoorbeeld houten planken). Tussen de gordingen en de hoofdliggers is de afstand variabel of de hoofdligger wordt gekromd uitgevoerd.

Als alternatief kan de afstand tussen de gordingen en de bekisting variabel worden gemaakt; hierbij is dan een extra tussenlaag nodig (een vormlaag). Met deze methode kan ook een kromming in twee richtingen worden gemaakt. De eenvoud van maken is afhankelijk van de dikte van de bekistingplaten en de gewenste krommingen. De platen worden getordeerd en krijgen om het beoogde oppervlak te kunnen vormen ingewikkelde en unieke afmetingen met veelal niet-haakse hoeken (foto's 7). Bij complexe vormen kan de vormlaag met een frees- of snijmachine zeer nauwkeurig en computergestuurd uit kunststof worden gemaakt (computer nume-

rical controlled, CNC). Bij grotere krommingen in twee richtingen zal de vormlaag dan direct de bekisting vormen [6] of een dunne ter plaatse gemaakte afwerking (coating) krijgen. De blokken moeten vertand en verlijmd worden aangebracht om wisselingen te voorkomen. Benodigde druksterkte en stijfheid zijn afhankelijk van de afstand tot de achterliggende bekisting en het stortgewicht (foto 11).

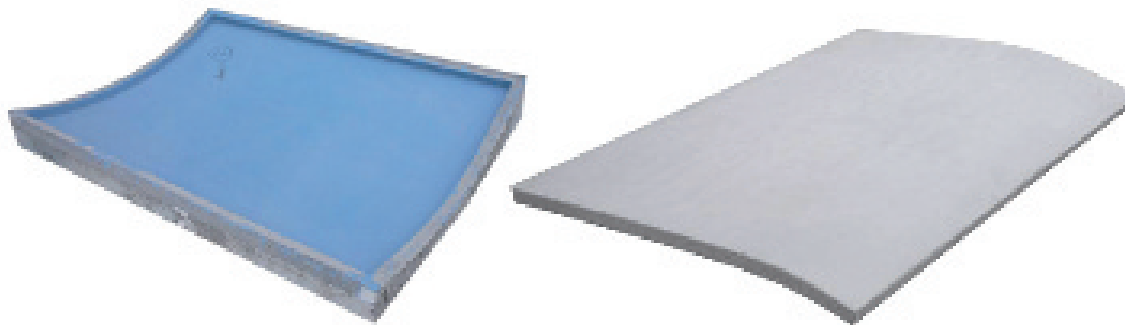
Afhankelijk van de oriëntatie worden bij de verticale delen tegenbekistingen gebruikt, die gebruikelijk door centerpenen met elkaar worden verbonden. De meest belangrijke zichtzijde moet worden uitgevoerd als stelbekisting, de andere zijde als sluitbekisting. Veel voorkomend probleem bij storten van wanden is de kwaliteit van het beton rondom de centerpenen, doordat hier rondom betonspecie lekt. Door meer centerpenen toe te passen wordt dit probleem voorkomen. Voor de OV-terminal is de toepassing van centerpenen echter ongewenst.

Bekistingskeuze

De gedachten gingen allereerst uit naar een technische doorontwikkeling van de 'traditionele' bekis-

tingstechnologie zoals deze ook bij de bouw van het door UNStudio ontworpen nieuwe Mercedes-Benz-museum in Stuttgart is toegepast [7]. De voor dat project zo kenmerkende, in twee richtingen gekromde betonconstructies, zijn gebouwd met gebruikmaking van 3D-computermodellen. Op basis van deze modellen zijn allereerst relatief grove bekistingvormen gebouwd, die als modules de hoofdvorm mogelijk maakten. Deze bekistingen zijn vervolgens afgewerkt met 9 mm dikke bekistingplaten die allemaal van elkaar verschilden in vorm in het platte vlak, maar in vorm gedrukt op de onderliggende grove bekistingen een perfect doorlopend bekistingplaatpatroon opleverden. Deze techniek bleek helaas niet voor alle voorgestelde krommingen van de OV-terminal optimaal toepasbaar te zijn: een aantal krommingen is hiervoor namelijk te sterk. Een andere oplossingsrichting was noodzakelijk. Tijdens de ontwerpuitwerking is tevens kennis ontwikkeld over de uitvoeringstechniek die het realiseren mogelijk maakt van glasvezelversterkte betonpanelen die op het dak van de nieuwe OV-terminal worden toegepast. Deze

12 | Onderzoek naar PS-bekisting voor dubbel-gekromde glasvezelversterkte betonpanelen (UNStudio)



panelen zijn ook in twee richtingen gekromd en hiervoor is, in samenwerking met verschillende leveranciers, een mallentechniek ontwikkeld op basis van CNC-gefreeste polystyreen (PS) bekistingmallen (fig. 12). Uiteindelijk is voor de dakpanelen gekozen voor een andere afwerking van de mal, maar de techniek bleek uitermate geschikt voor de toepassing als naadloze bekisting voor het constructieve betonwerk. De cruciale stap is gevonden in de afwerking met een hybride kunststof coatingtechniek, die versmelt met het oppervlak van het polystyreen. Deze coating kan worden aangebracht over zowel de gefreesde

PS-bekisting, als over de beplating van hout of staal die voor de eenvoudigere delen wordt gebruikt. Hierdoor krijgen de verschillende bekistingoppervlakken eenzelfde naadloos uiterlijk. Oriënterende gesprekken met een bekisting-leverancier en een mallenbouwer betreffende de toepassing van een dergelijk systeem zijn positief.

Maatvoering

Het vastleggen, beheersen en controleren van de maatvoering van de eindvorm vraagt bij de gekromde delen extra aandacht. Het ontwerpmodel beschrijft de eindvorm. Indien deze eindvorm als bekistingvorm wordt gebruikt,

zal dat op sommige plaatsen een afwijking van de maatvoering betekenen, omdat de constructie ten gevolge van belasting en tijdsafhankelijk gedrag van het materiaal nog belangrijk vervormt. Verschillen ten opzichte van de ontworpen vorm die bij inmeten van de ontkiste vorm naar voren komen, kunnen alleen nog worden geaccepteerd. Dit betekent een groot risico met betrekking tot de gewenste vorm en tevens voor de maatvoering van de afbouw. In plaats daarvan is het wenselijk de verwachte vervorming vooraf te bepalen en in de bekistingvorm te verdisconteren. De uitgangspunten voor het bepalen van deze

Tabel 1 | Mogelijke alternatieve uitvoeringen van de twist

nr	optie	voorlopige kwalitatieve beoordeling met betrekking tot het resultaat	score (- 0 +)
0	wapening in of op de bekisting aanbrengen	kwaliteit van de wapening moeilijk beheersbaar, afstandhouders en hulpwapening mogelijk zichtbaar	0
1	wapening op ingestort niet-constructief vormframe monteren	goed	+
2	wapening op ingestort constructief vormframe monteren	goed	+
3	wapening op ingestorte gebogen of gelaste staalprofielen monteren	goed	+
4	wapening vereenvoudigen of beperken door toepassen van speciale betonsoorten als hogesterktebeton, ferrocement of vezelbeton	andere betonsamenstelling leidt tot kleurverschillen en andere oppervlaktekwaliteit	-
5	geprefabriceerde uitvoering van de Twist	andere oppervlaktekwaliteit en mogelijke voegen	-
6	geprefabriceerde uitvoering van het binnendeel van de twist om de wapening op te monteren	goed	+
7	geprefabriceerde uitvoering van de buitenschil van de Twist inclusief wapening	andere oppervlaktekwaliteit en mogelijke voegen	-

vervormingen, zoals betoneigenschappen en verhardingstijd van het beton voor ontkisten, moeten zo nauwkeurig mogelijk worden bepaald en vastgelegd. Het resultaat zal na het ontkisten van de betonvorm echter nog altijd, maar belangrijk minder, kunnen afwijken van het ontworpen model. De uiteindelijke vervorming onder verschillende belastingsituaties en in de tijd kan echter nu nauwkeuriger worden bepaald door een aantal controlemetingen uit

te voeren. Deze gegevens worden gebruikt voor de maatvoering van de afbouw.

Wapening

Lage en gemiddelde complexiteit

Het verloop van de wapeningstaven moet worden afgestemd op de vorm van de betonconstructie. De minder gekromde vlakken worden opgebouwd uit losse staven in de richting van de hoofdkromming en loodrecht daarop. Door de beperkte stijfheid van de staven kun-

nen deze in de juiste straal in de bekisting worden gemonteerd. Belangrijk is de variatie in betondekking op de staven te beperken om de sterkte van de constructie te waarborgen en zichtbare scheurvorming te voorkomen. De te hanteren dekking op de buitenste staven bedraagt 35 mm. Hiertoe moeten de supportwapening en afstandhouders de mogelijkheid bieden de wapening op kleine onderlinge afstanden te steunen. Bij gekromde vlakken wordt de hart-op-hart-afstand van de staven langs de omtrek uitgezet. Door de van vorm veranderende vlakken zal de afstand tussen de staven variëren. Als de onderlinge afstand groter wordt dan de toegestane h.o.h.-afstand wordt een nieuwe staaf met verankering tussengevoegd. Figuur 13 geeft een voorbeeld van een vergelijkbaar wapeningsprincipe.

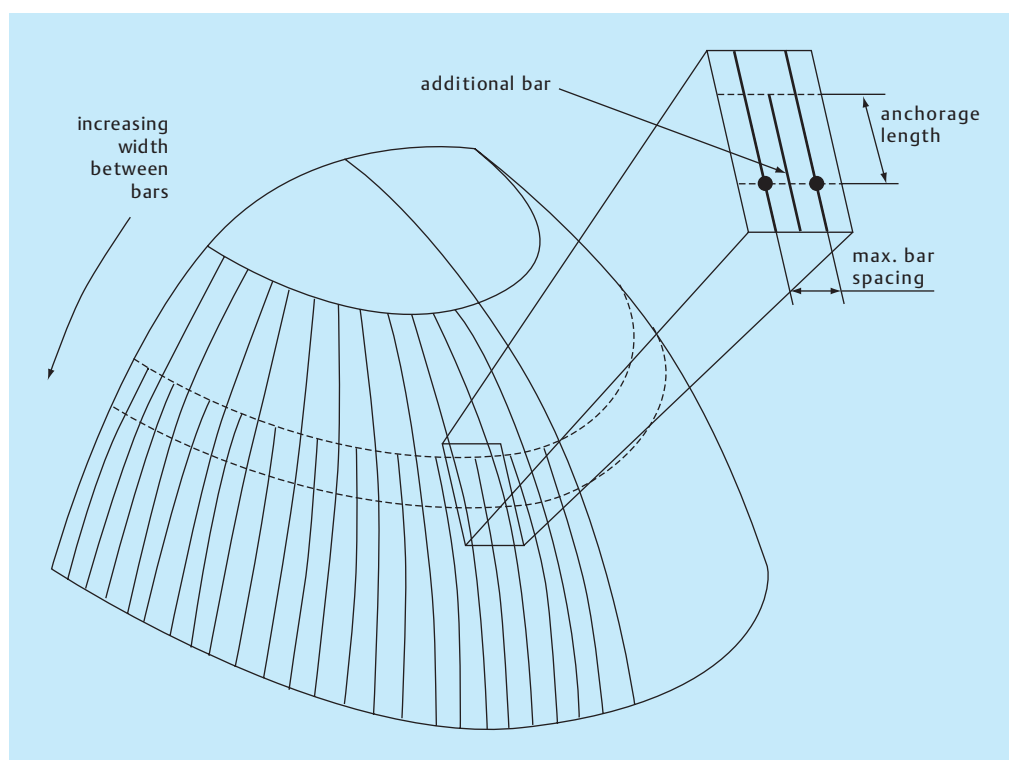
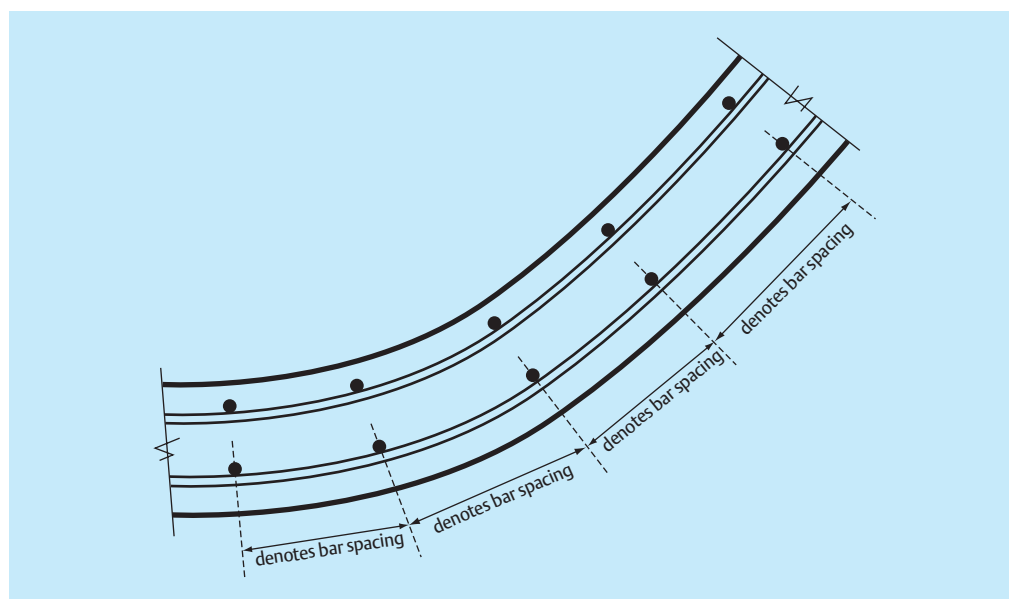
Wapening wordt, waar mogelijk, in de richting van de hoofdkromming en loodrecht daarop gelegd. Plekken waar richtingsveranderingen nodig zijn, worden in de derde en vierde laag opgelost. In de meeste gebieden is een redelijk duidelijke maatgevende wapeningsrichting vast te stellen.

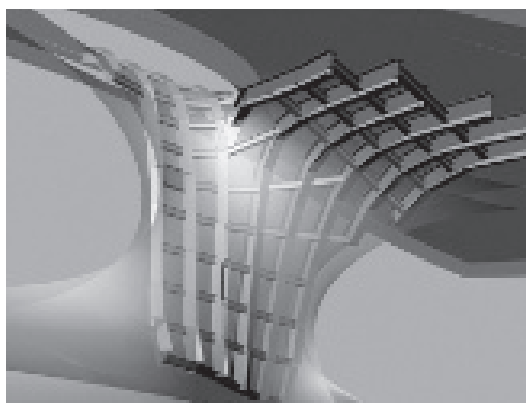
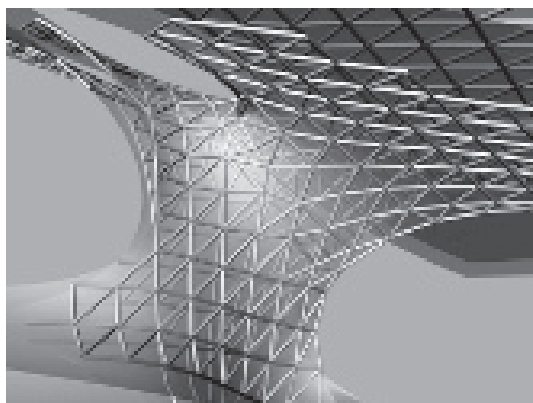
Hoge complexiteit: de twist

In de twist is de wapening moeilijker aan te brengen. Hier treden grote betonspanningen op mede door de aanwezige dwarskracht. De wapening maatvast ter plaatse in de bekisting aanbrengen vraagt in verband met de hoge wapeningspercentages, de dubbele kromming van de betonvorm en de bereikbaarheid in de bekisting een nauwkeurige voorbereiding. Er zijn enkele mogelijke alternatieve opties voor de uitvoeringen. Deze opties maken gebruik van:

- een interne (hulp)constructie (optie 1, 2, 3 en 6);
- beperking van de wapening door aanpassing van de betonsamenstelling (optie 4);
- andere uitvoering van de wapening (optie 2, 3 en 4);

13 | Schetsen wapening-principe Cocoon Darwin Centre Phase 2 (figuur 13 t/m 15: Arup)





- prefabriceren van de constructie (optie 5, 6 en 7).

Deze opties worden in tabel 1 beoordeeld op het gewenste uiterlijk van het betonoppervlak. De als positief beoordeelde opties (nr. 1, 2, 3 en 6) zijn in de figuren 14 en 15 weergegeven.

- Optie 1 en 2

Voordeel van het monteren van de wapening op een interne hulpconstructie is dat de wapening volledig kan worden gesteld zonder de bekisting. De wapening hoeft dan dus niet te worden afgesteund op het bekistingoppervlak, wat de kwaliteit ten goede zal komen.

De bekisting kan vervolgens onafhankelijk van de wapening hieromheen worden gesteld. Deze hulpconstructie kan met grote nauwkeurigheid in de juiste vorm in de staalfabriek worden samengesteld.

Als optimalisatie van optie 1 kan een gedeelte van de benodigde wapening in het vormframe worden opgenomen. Hierdoor worden extra eisen aan de lassen in het frame gesteld.

- Optie 3

Het toepassen van een interne stalen constructie kan de hoeveelheid wapening belangrijk beperken. Vooral voor het opnemen van de dwarskracht kunnen de profielen goed dienst doen. Deze constructie zal evenals optie 1 en 2 tevens fungeren als hulp bij de montage. De interne stalen constructie volgt de dubbelgekromde vorm. Hierop wordt met behulp van afstandhou-

ders de voorgebogen wapening gemonteerd. Deze staalprofielen kunnen in de juiste vorm worden gebogen of als samengesteld profiel in de juiste vorm worden samengesteld.

Deze wapeningstechniek is inmiddels, onafhankelijk van het project Arnhem Centraal, toegepast in een ontwerp dat UNStudio heeft gemaakt voor een nieuw Universiteitstheater in Graz [1]. Ook dit project kent een twistconstructie met in twee richtingen gekromd betonwerk. Ter beperking van krimp-scheuren is hierop een laag met krimpwapening gesteld.

- Optie 6

In plaats van een stalen hulpconstructie kan in de fabriek het binnendeel van de twist als betonelement worden geprefabriceerd. Hierop kan de wapening op de bouwplaats worden gemonteerd. Voordeel van het prefabriceren zijn de gecontroleerde omstandigheden in de fabriek, grotere mogelijkheden met betrekking tot de bekisting en de positie waarin wordt gestort en het toepassen van andere betonsamenstellingen. Het uiterlijk van de twist zal niet afwijken, omdat de buitenschil tegelijk met de overige constructie vervaardigd wordt.

Combinaties van de genoemde opties zijn natuurlijk mogelijk. De meest effectieve methode zal afhankelijk zijn van kwaliteit, tijd en uitvoeringskosten en zal in de volgende fase in samenwerking

met de aannemer verder moeten worden uitgewerkt. n

Literatuur

1. Koster, Egbert, Hybride architectuur. *Cement* 2000 nr. 2.
2. Overbeek, J., J. Wegman en J. Loeffen, Parkeergarage Arnhem Centraal, voorbij de vorm. *Cement* 2000 nr. 6.
3. Koster, Egbert, Geen enkele kromming hetzelfde. *Cement* 2003 nr. 2.
4. Schoon beton....mooi werk. ENCI, 's-Hertogenbosch 2001.
5. Oude Kempers, J.H.M., Is schoon beton aan te bevelen? *Cement* 2004 nr. 4.
6. Wapperom, Henk, Moderne beeldhouwkunst als werkomgeving. *Cement* 1999 nr. 6.
7. Ster-Collectie ondergebracht in Klavertje Drie. *Cement* 2005 nr. 6.

14 | Impressie van het (eventueel constructieve) vormframe. Het frame kan zowel enkel of dubbel zijn uitgevoerd

15 | Impressie van de hulpconstructie gemaakt van enkel of dubbel gebogen dan wel gelaste staalprofielen

16 | Wapeningsconstructie 'Twist' Universiteitstheater Graz (foto: UNStudio)

