

Virtuoze constructie in staal, beton en staal-beton

Vlak naast de Rotterdamse Doelen ontwierp architect Jan Hoogstad een bijzonder gebouw: de Hogeschool voor Muziek en Dans. De vrijstaande, superslanke kolommen vallen constructief het eerste op. Maar zeker zo bijzonder is een flinke uitkraging aan de achterkant, over De Doelen heen. Het meest bijzondere is bijna onzichtbaar: het is een volledig hybride draagconstructie.

Hier staal, daar beton, soms staal-beton. Voor elk onderdeel kozen de ontwerpers het optimale materiaal op basis van eigenschappen zoals sterkte, stijfheid, kruipgedrag, montagemethodiek en prijs.



De Hogeschool voor Muziek en Dans (HMD) aan het Kruisplein in Rotterdam biedt onderdak aan drie schoolorganisaties: het Rotterdams Conservatorium, de Rotterdamse Dansacademie en de HAVO/VWO voor Muziek en Dans. Laatstgenoemde opleiding biedt jongeren vanaf twaalf jaar een opleiding in muziek, dans en theater, naast het normale lesprogramma op HAVO- of VWO-niveau. Op deze school kunnen getalenteerde leerlingen zich al zeer jong ontplooiën.

Synergie met De Doelen

Deze drie opleidingen waren tot voor kort verspreid in Rotterdam gehuisvest. Het gemeenschappelijke schoolgebouw moet inspireren tot samenwerking, zo is de bedoeling. Ook rekent men op synergie met De Doelen, het Rotterdamse concertgebouw waar de school vrijwel tegenaan is gebouwd. Daar repeteert bijvoorbeeld dagelijks het Rotterdam Philharmonisch Orkest. Tegelijk met de bouw van de nieuwe school is De Doelen flink uitgebreid met congresfaciliteiten en is het bestaande gebouw opgeknapt. De Hogeschool voor Muziek en Dans is het gedeelte van het gebouw met de gevel van gele Dudoksteen. Midden in het bouwblok staat het grote trappenhuis van De Doelen, dat de bezoekers naar een nieuwe congreszaal voert.

Deze zaal, met ongeveer 700 zitplaatsen, hangt in de voormalige patio van De Doelen die nu is veranderd in een ontvangsthal. Om de nieuwe congreszaal heen loopt een royale foyer op het dak van De Doelen. In het bouwvolume van de HMD zijn de zogeheten 'break-out rooms' van De Doelen ondergebracht; dit zijn lokalen voor workshops en dergelijke. Deze ruimten onderscheiden zich van de school door hun afwijkende gevels van glas en grijze beplating. Aan de open ruimte hieronder ligt de ontsluiting van de kleine zaal en congreszaal van De Doelen.

Om De Doelen nog aantrekkelijker te maken als congrescentrum, is het gebouw door een luchtbrug verbonden met het luxe hotel dat is gevestigd in de onderste verdiepingen van de onlangs gebouwde Millenniumtoren op de hoek van Kruisplein en Weena.

Ruimtelijk ontwerp

De vorm van het schoolgebouw volgde uit de randvoorwaarden van de beschikbare kavel. Het programma van eisen vroeg om een groot aantal zeer specifieke ruimten, zoals een opnamestudio, een muziekzaal, een theaterstudio met publieksfaciliteiten, tien dansstudio's, veertig muzieklkamers en twintig studiecellen. Voor elk van deze ruimten gold een eigen eisen aan de afmetingen en

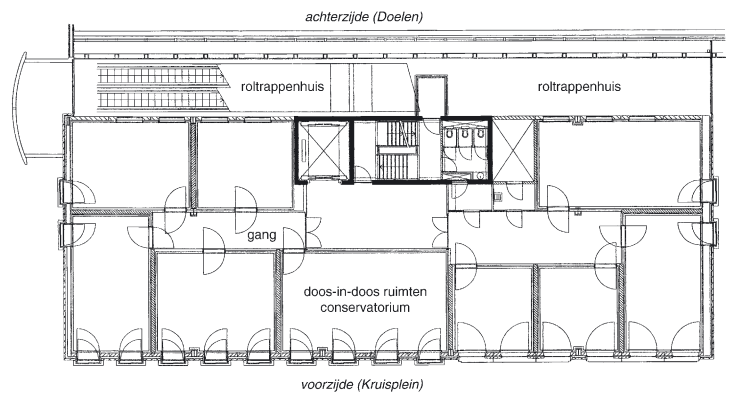
ing. M. de Boer en ir. G.L.H.M. Henkens
*Marcel de Boer en George Henkens werken bij
Aronsohn raadgevende ingenieurs, Rotterdam*

De Hogeschool voor Muziek en Dans heeft een gevel van gele steen. Links van het gebouw staat de Millenniumtoren en rechts (en erachter) De Doelen met een nieuwe uitbreiding op het dak.



(foto's: Tom de Rooij)

Plattegrond van de 2^e verdieping.



de akoestische eigenschappen. Niet alleen de geluidisolatie tussen de vertrekken onderling was belangrijk, maar ook tussen buiten en binnen.

De architect en constructeurs bogen zich al bij de start van het plan over de plaats van deze bijzondere vertrekken. Voor de draagconstructie was het ideaal de grote kolomvrije ruimten op de bovenste verdiepingen te plaatsen, of allemaal boven elkaar. Deze laatste oplossing was niet haalbaar wegens de grote onderlinge verschillen in benodigde verdiepinghoogte.

Zo kwamen alle grote ruimten terecht boven de vijfde verdieping. Die vijfde verdieping zelf manifesteert zich over de gehele lengte van het gebouw. Het is de centrale verkeers- en ontmoetingsruimte waar ook voorzieningen als de kantine zijn te vinden. Vanwege de beperkte ruimte op de begane grond is hier ook de ontvangstfunctie ondergebracht.

Een imposant stelsel roltrappen, in een smalle strook tussen het bestaande gebouw van De Doelen en de nieuwbouw, leidt direct vanaf de ingang naar deze vijfde verdieping. Op de lagere verdiepingen bevindt zich het conservatorium. Grote overspanningen zijn hier overbodig.

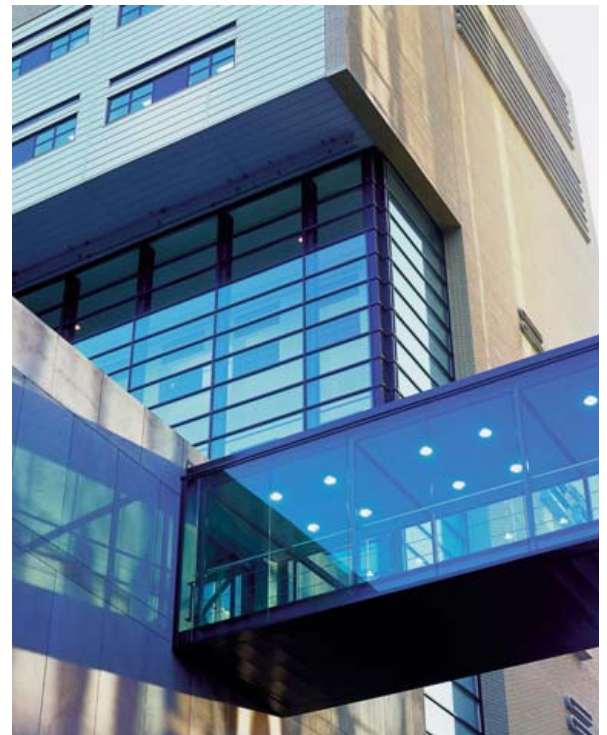
Op de zesde en zevende verdieping liggen de grote, voor het publiek toegankelijke ruimten. In de vloeren van deze

verdiepingen zitten grote, onregelmatig gevormde vides. De randen daarvan hangen aan de vloer van de achtste verdieping. Ook de bibliotheek, tussen de vijfde en zesde verdieping, hangt aan de vloer erboven.

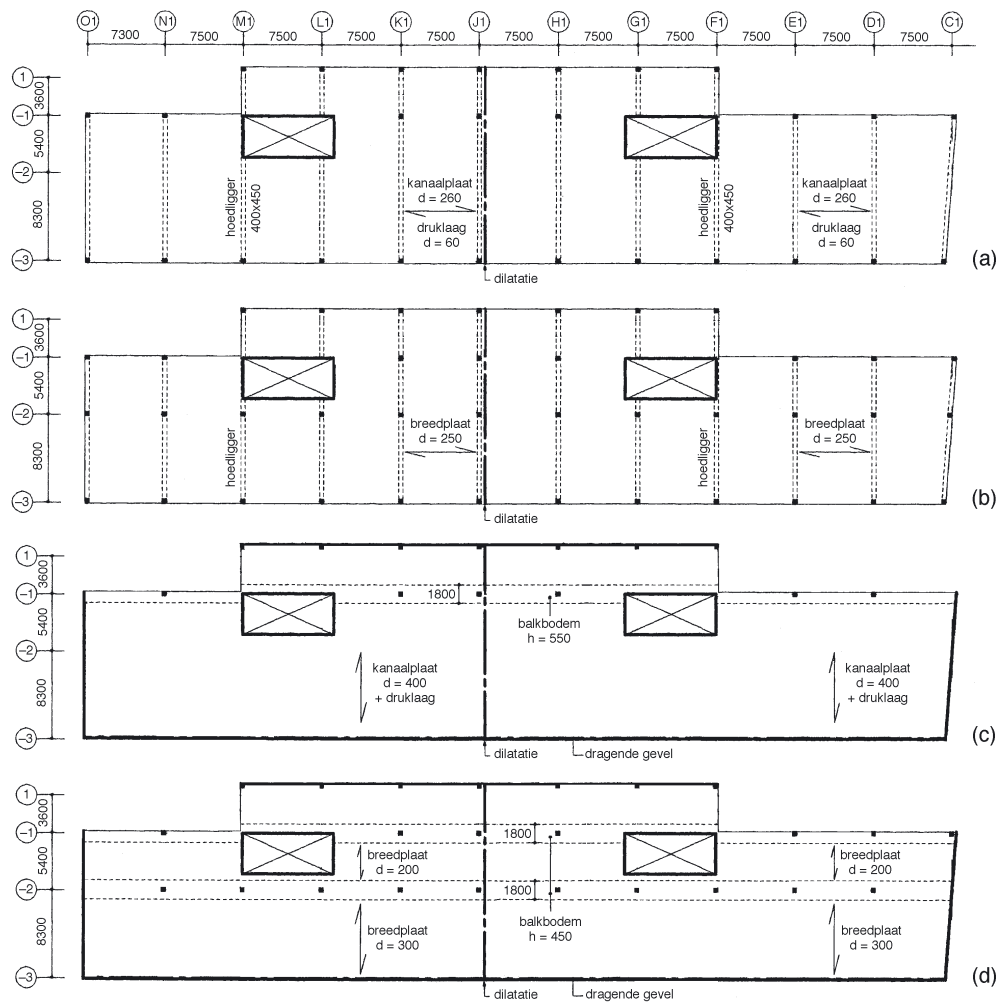
Overbouwing van De Doelen

Een bijzonderheid in het ruimtelijk ontwerp is een overbouwing aan de achterkant van het gebouw, van de zesde verdieping tot en met het dak, over het bestaande gebouw van De Doelen heen. Deze ingreep was noodzakelijk omdat het beschikbare kavel niet meer ruimte bood en ook de hoogtelimiet was bereikt. Ondersteuning van de overbouwing met kolommen, op het gebouw van De Doelen of erdoorheen, was geen haalbare optie. Dus moest deze overbouwing worden opgelost als een uitkragende constructie. Omdat dit onderdeel veel invloed heeft op de rest van de draagconstructie, is deze opgave als eerste in het ontwerptraject aangepakt.

In de eerste constructieve ideeën waren er twee mogelijkheden om de uitkraging, die toen nog 3,6 m diep was, constructief op te lossen: de kolommen in de achtergevel ophangen aan een schoorconstructie op het dak, of die kolommen stapelen en ondersteunen met een console op een lager niveau. Beide oplossingen hebben hun voor- en nadelen.

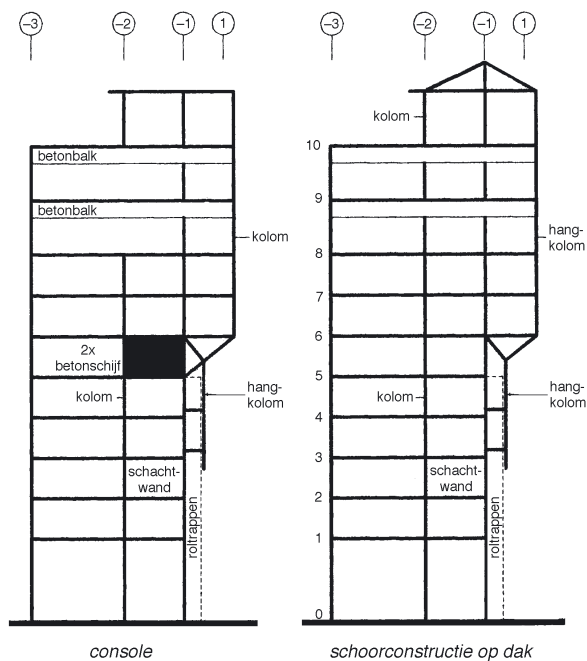


De ingang van het schoolgebouw ligt in een smalle strook tussen het bestaande gebouw van De Doelen en de nieuwbouw. Roltrappen leiden direct naar de vijfde verdieping. Vanaf daar kraagt het nieuwe gebouw uit over De Doelen.



Voor de uitkragende vloeren van de zesde verdieping tot en met het dak zijn verschillende varianten onderzocht.

- a. Kolommen in de voorgevel. De liggers overspannen 13,8 m en steken onder de vloer uit.
- b. Oplossing met geïntegreerde liggers in de vloerdikte en met een middenkolom.
- c. Ondersteuning van de vloer met platte liggers, evenwijdig aan een dragende langsgewel.
- d. Als c, maar met extra rij kolommen en ligger op as -2.



Constructieve ideeën voor de overbouw aan de achterkant van het gebouw. Ondersteuning door een console (links) of ophangen aan een schoorconstructie op het dak (rechts). De onderste hangkolom is bedoeld voor de roltrap. Geen van beide oplossingen is gekozen.

Ophangen?

De voordelen van een hangconstructie zijn vooral ruimtelijk: de zware schoorconstructie staat op het dak, waar deze het gebruik van het gebouw nauwelijks hindert. Maar constructief is een hangconstructie in het nadeel. De verticale belastingen uit de vloeren gaan namelijk eerst langs de achtergevel omhoog en vervolgens via de ondersteunende kolommen van de uitkraging 50 m omlaag naar de fundering. Zijn deze kolommen van beton, dan nemen de vervormingen door kruip in de tijd toe. Stalen kolommen hebben dat nadeel niet, maar maken deze oplossing vrij kostbaar. Omdat de kracht een langere weg aflegt, moeten stalen kolommen namelijk extra zwaar worden om de extra vervorming te compenseren. Verder is een hangconstructie lastig in de uitvoering.

Een oplossing met de uitkraging op het dak heeft constructief dus niet de voorkeur. Ook stuitte deze oplossing aanvankelijk op bezwaren van Welstand, onder meer omdat schoren op het dak de maximale bouwhoogte overschrijden.

Of stapelen?

Constructief is een stapelconstructie in het voordeel. De bouwvolgorde is betrekkelijk eenvoudig, van beneden naar boven. Ook worden de belastingen

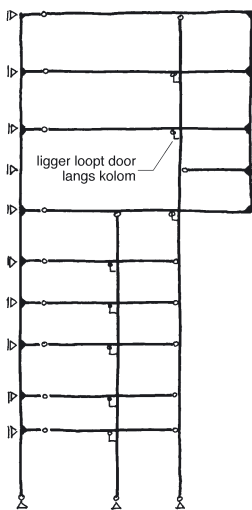
in verticale richting minder ver omgeleid dan bij een hangconstructie: ze hoeven niet eerst omhoog. Daardoor is minder materiaal nodig. Maar een stapelconstructie heeft ruimtelijk weer nadelen: de console steekt onder de uitkragende vloeren uit en daarvoor was geen ruimte beschikbaar. Hij zou de roltrappen en nieuwbouw op het dak van De Doelen in de weg zitten. Ook moet de constructie achter de console de grote dwarskrachten uit de console kunnen opnemen; daarvoor zijn diagonalen of dichte wanden nodig, wat het gebruik hindert. Ook stapelen was dus niet de oplossing.

Liggers bovenbouw

Uiteindelijk is ervoor gekozen de vloeren van de zesde verdieping tot en met het dak elk afzonderlijk te laten uitkragen. Daarvoor zijn verschillende varianten onderzocht: met verschillende typen liggers in langs- dan wel dwarsrichting, dragende gewels, kanaalplaten dan wel breedplaatvloeren enzovoorts.

Al snel viel de keuze op stalen liggers in dwarsrichting van het gebouw die bij de achtergevel uitkragen. De uitkraging, die in de loop van het proces is gegroeid tot 6,5 m, is zo verbonden met een groot veld van 13 m diep tussen twee kolommen.

Per verdieping uitkragende vloeren vragen in dit geval niet meer materiaal dan



Om de stijfheid van de uitkragende liggers (rechts) te verhogen, zijn ze momentvast met de gevelstijlen verbonden. De stijve verbinding van de liggers met de gevelkolommen (links) reduceert het veldmoment.

één oplossing voor alle verdiepingen tegelijk, omdat hier hoge liggers mogelijk waren. Hoge liggers waren toch al nodig voor de overspanning van 13 m, terwijl het door de grote verdiepinghoogte van ongeveer 4,8 m niet bezwaarlijk was dat de liggers tot ongeveer 500 mm onder de vloer uitsteken. Deze hoge liggers leidden niet tot extra hoogte, omdat de installaties in deze grote ruimten ook al fors bemeten zijn. De liggers en installatiekanalen kruisen elkaar niet.

Stalen liggers hebben ten opzichte van in het werk gestort beton het voordeel dat ze direct zijn te belasten. Ze zijn niet uitgevoerd als staal-beton liggers; dat was niet nodig omdat er genoeg constructiehoogte beschikbaar was. Het had ook weinig zin, omdat een groot deel van de ligger belast wordt door een negatief steunpuntsmoment. Daar zit het beton in de trekzone van de ligger en draagt het dus weinig bij aan sterkte en stijfheid.

De liggers zijn gesplitst in twee samengestelde helften die langs de kolommen lopen. Dat heeft het voordeel dat zowel de liggers als de kolommen doorgaand zijn. De liggers moesten wel doorgaand zijn om de grote uitkraging te kunnen maken. Doorgaande kolommen waren wenselijk, omdat die een gunstig effect hebben op de bouwsnelheid. Ook het constructieschema vroeg om doorgaan-

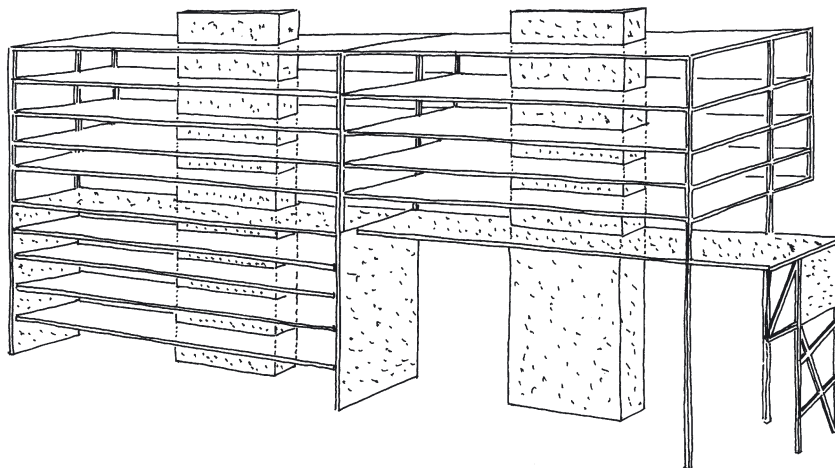
de kolommen. Aan de kolommen van de voorgevel is in de constructiewerkplaats een liggerdeel gelast tot het momentenulpunt. De stijve verbindingen reduceren daardoor het veldmoment in de ligger zodat daarvoor een lichter profiel volstaat.

De twee helften van het liggerprofiel zijn met beton omstort waardoor ze uiteindelijk één geheel vormen. In de eindfase zijn er dus geen excentriciteiten. Hoewel het geen staal-beton liggers zijn, waarbij beton en staal constructief samenwerken, vullen de twee materialen elkaar wel aan.

Een nadeel van uitkragingen is dat de stijfheid vaak onvoldoende is. Om de stijfheid te verhogen, zijn de uitkragende liggers met gevelstijlen momentvast verbonden. Deze verbinding is gemaakt nadat het gewicht van de ruwbouw was aangebracht. Het raamwerk dat zo is gevormd werkt dus uitsluitend voor de veranderlijke belastingen en de rustende belasting van de gemetselde gevel. De uitkragende liggers zelf blijven de rustende belasting van de vloeren volledig dragen.

Ter plaatse van de beide kernen zouden gecompliceerde voorzieningen nodig zijn om uitkragende liggers te maken. Deze oplossing was nog wel voorzien bij de aanbesteding, maar naderhand bleek een schoorconstructie op het dak voor

Twee betonnen kernen zorgen voor de stabiliteit, zowel in langs- als dwarsrichting. Een tafelconstructie steunt de twee kernen horizontaal. Deze constructie bestaat uit de vloer van de vijfde verdieping, de twee kopgevels van de onderbouw en het vrijstaande, verticale vakwerk.



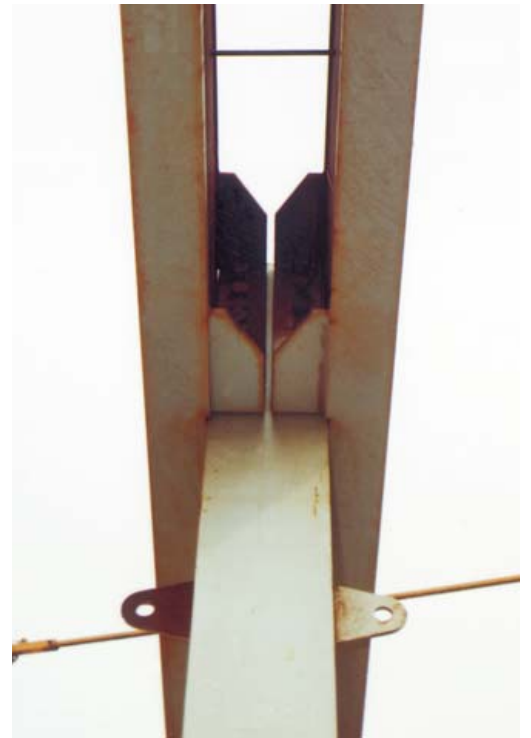
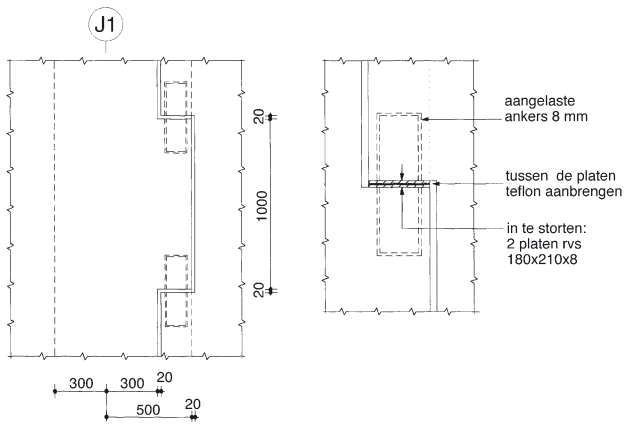
Welstand toch acceptabel. Daarom zijn voor de overbouwing bij de kernen toch hangconstructies gemaakt; voor de tussenliggende velden is wel vastgehouden aan de oplossing met uitkragende liggers. Omdat de kernen tijdens de bouw vooruit liepen op de rest van de bouw lagen de hangconstructies niet op het kritieke pad.

Liggers onderbouw

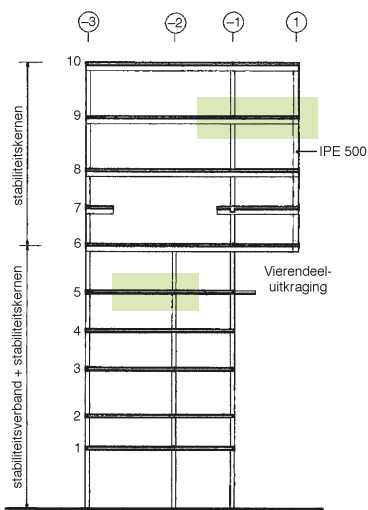
De vloerconstructie voor de eerste tot en met vijfde verdieping lijkt sterk op die van de verdiepingen erboven. Belangrijkste verschil is dat de uitkraging hier ontbreekt en de overspanning in dwarsrichting met een middenkolom is opgedeeld in velden van 8 m en 5 m.

In de onderbouw is gekozen voor middenkolommen, omdat hier geen uitkragingen zijn die het veldmoment van een grote overspanning reduceren. Bovendien is hier maar weinig constructiehoogte beschikbaar doordat er voor de conservatoriumvertrekken veel installaties nodig zijn. De liggers mogen hier niet veel onder de vloer uitsteken. Door de betrekkelijk kleine maat van de vertrekken zijn grote overspanningen ook niet echt nodig.

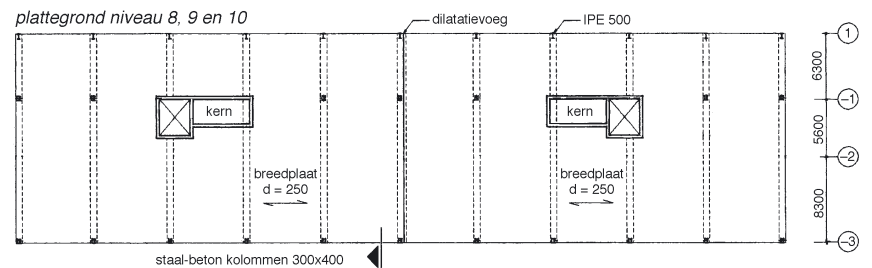
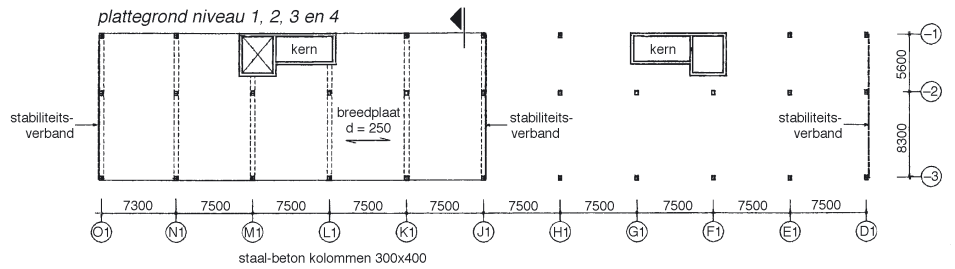
Een ander voordeel van middenkolommen is dat er minder belasting komt op de fundering dicht naast de bestaande Doelen, zodat pal daarnaast minder



Een tandverbinding in de vloer van de vijfde verdieping staat alleen beweging in langsricting van het gebouw toe; in dwarsrichting kan deze verbinding krachten overdragen. Bovenaanzicht.



doorsnede

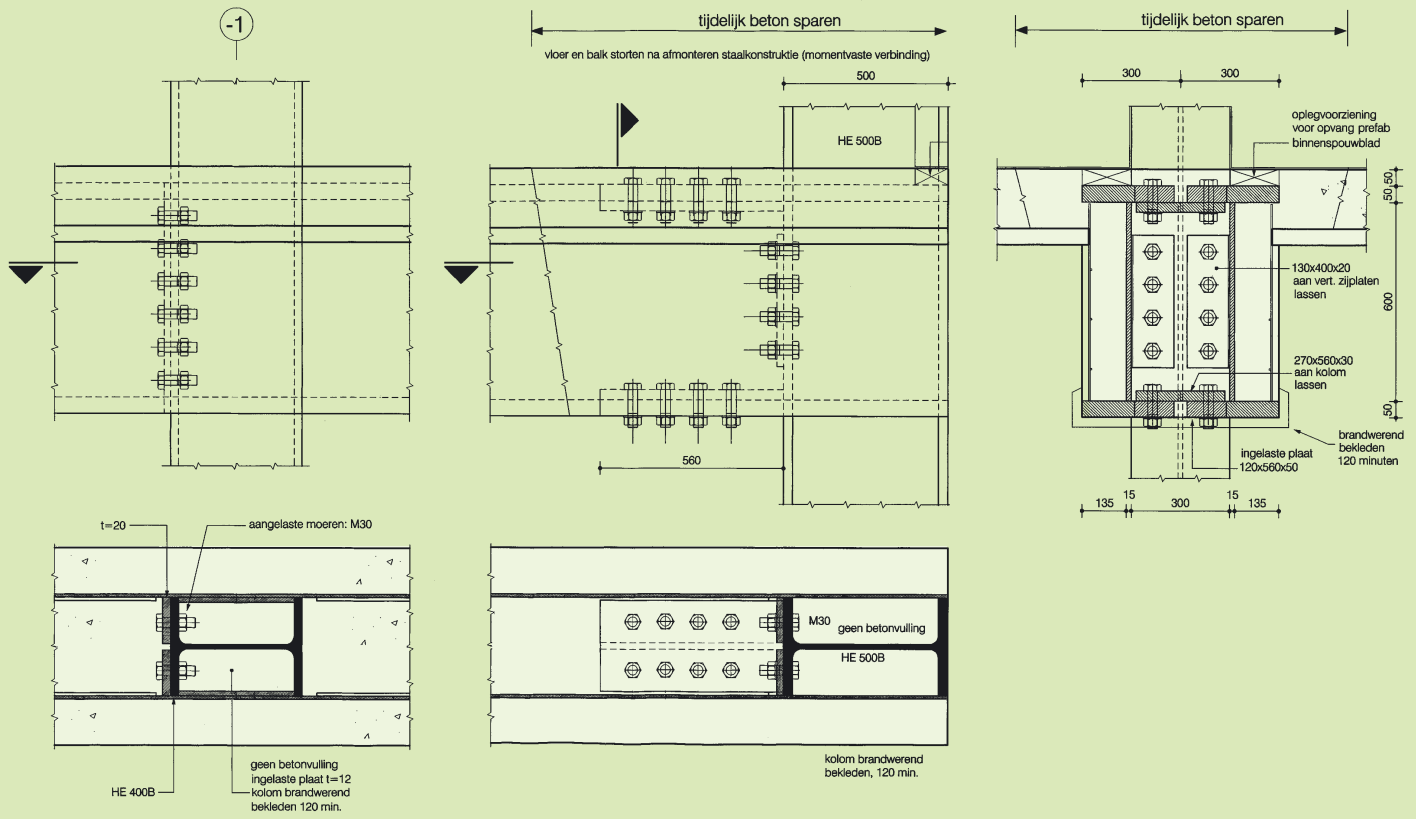


De vloeren van de zesde verdieping tot en met het dak kragen elk afzonderlijk uit.

Plattegrond van de constructie in de onder- en bovenbouw. Weergegeven zijn de vloeren zonder vides.

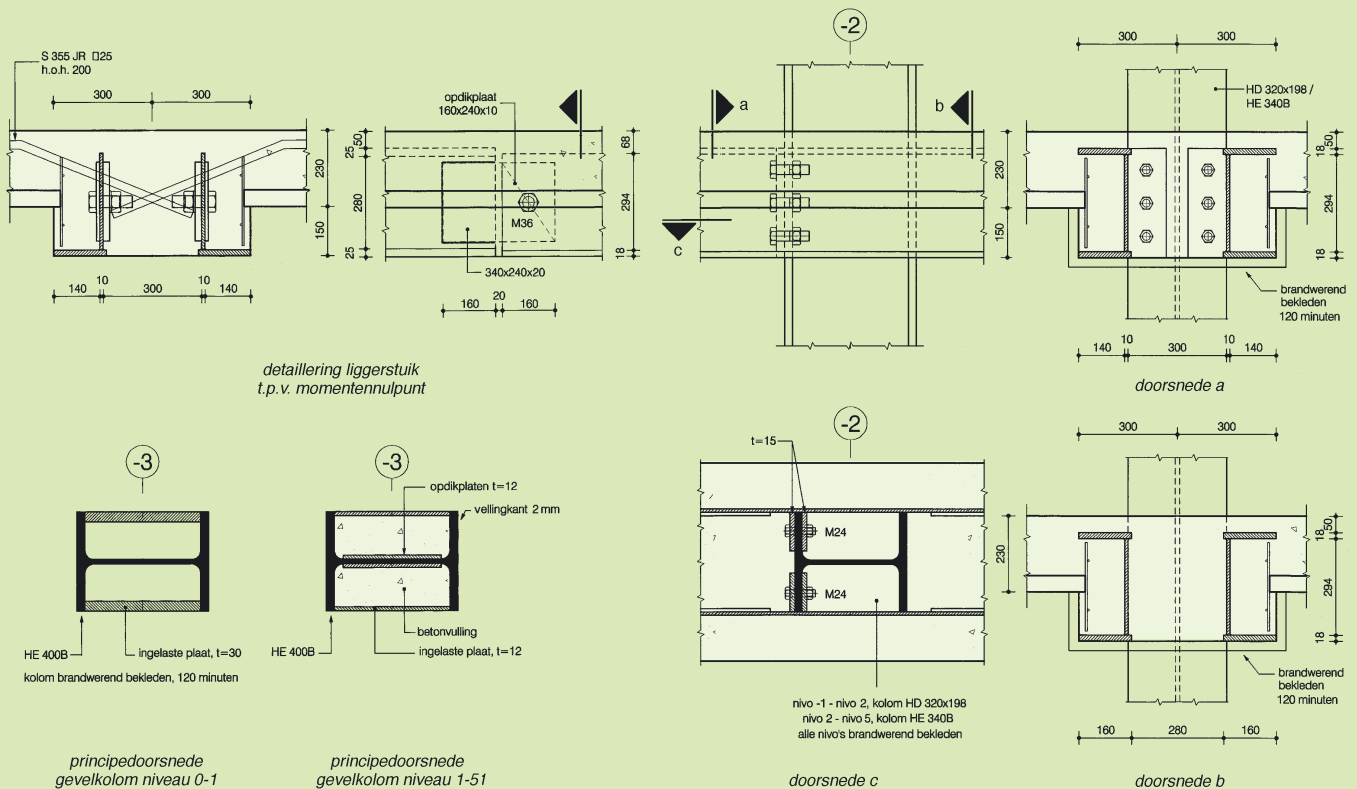


(foto's: Tom de Rooij)



Ligger van de bovenbouw. Beton en staal werken hier niet samen. De gevelstijlen (rechts) zijn momentvast met de ligger verbonden. Net als bij de onderbouw is het veldmoment gereduceerd door een liggereind stijf te verbinden met de gevelkolom.

Ligger van de onderbouw. Het zijn doorgaande, geïntegreerde staal-beton liggers, wat de hoogte zoveel mogelijk beperkt.



detaillering liggerstuk t.p.v. momentenpunt

doorsnede a

princiedoorsnede gevelkolom niveau 0-1

princiedoorsnede gevelkolom niveau 1-51

doorsnede c

doorsnede b



(foto's: Tom de Rooij)

palen en poeren nodig zijn. Een groot deel van de belasting gaat nu via de middenkolommen, die verder van De Doelen af worden gefundeerd.

Geprobeerd is de hoogte van de liggers zoveel mogelijk te beperken. Daarom zijn ze uitgevoerd als staal-beton liggers door de toch al benodigde wapening door de ligger heen te steken: eenvoudig en goedkoop. Voor de stalen liggers zelf zijn twee L-profielen gekozen, waaraan bij de steunpunten bovenflenzen zijn gelast. Daar zit het beton namelijk in de trekzone waar het constructief weinig betekent.

De hoogte van de liggers is verder beperkt door ze, net als bij de verdiepingen erboven, doorgaand te maken. Ook hier lopen twee helften van het liggerprofiel langs de kolommen, die daardoor ook kunnen doorgaan over meer verdiepingen. Net als bij de bovenste verdiepingen is aan de kolommen van de voorgevel een liggereind stijf verbonden, wat het veldmoment beperkt. Dat beperkt de hoogte van de ligger nog verder.

Breedplaatvloer

De overspanning in lengterichting van het gebouw is met 7,5 m gelijk aan die van De Doelen. Hiervoor kwamen verschillende vloertypen in aanmerking. De keuze viel op breedplaatvloeren, vooral vanwege de ontwerpvrijheid en de hoge massa die zorgt voor een goede lucht- en contactgeluidisolatie. Langs de randen van de vloeren komen allerlei afwijkingen voor die met breedplaatvloeren tamelijk eenvoudig zijn op te vangen;

kanaalplaatvloeren lenen zich meer voor 'recht-toe-recht-aan' constructies. De monoliete vloeren vormen schijven die de stalen constructiedelen in lengterichting van het gebouw koppelen en horizontale belastingen afdragen naar de stabiliteitsvoorzieningen.

Om de vloeren van de uitkragingen boven De Doelen te kunnen ondersteunen, is de onderste vloer gemaakt met 190 mm dikke bekistingsplaten. Alle vloeren daarboven kunnen hierop worden doorgestempeld.

Stabiliteit

Twee betonnen kernen met liften en trappen zorgen voor de stabiliteit van het gebouw, zowel in langs- als dwarsrichting. Een complicatie bij de stabiliteit vormen de excentrische ligging van deze kernen in de plattegrond en de uitkragingen. De kernen buigen namelijk horizontaal niet alleen uit door windbelastingen, maar ook door verticale belastingen op de uitkragingen.

Om de kernen in dwarsrichting van het gebouw toch voldoende slank te houden, is een extra stabiliteitsvoorziening toegevoegd. Deze bestaat uit een tafelconstructie, bestaande uit de vloer van de vijfde verdieping, de twee kopgevels van de onderbouw en een vrijstaand, verticaal vakwerk op de kop van de onderbouw. Deze tafelconstructie steunt de twee kernen horizontaal.

De vloeren van eerste tot en met de vierde verdieping zijn in horizontale richting losgehouden van die kopgevels, zodat de kernen ook van deze verdiepingen de

windbelastingen opnemen. Gelet op de lengte van het gebouw en de aanwezigheid van twee kernen is het gebouw vanaf de vijfde verdieping gedilateerd. De dilatatie zit op een vanzelfsprekende plaats, boven het trappenhuis van De Doelen. De tandverbinding in de vloer van de vijfde verdieping staat alleen beweging in langsrichting van het gebouw toe; in dwarsrichting kan deze verbinding krachten overdragen. In die richting moet deze vloer immers de kernen steunen.

Kolommen en gevel

Vanwege de hoge eisen aan de geluidisolatie is al vroeg in het ontwerpproces gekozen voor betonnen binnenspouwbladen. Die konden de vloeren niet dragen omdat ze evenwijdig lopen aan de overspanningsrichting van de vloeren en er op de begane grond alleen kolommen mogen staan. De elementen konden niet uit één geheel worden gemaakt omdat de verdiepinghoogte te groot was om ze te kunnen vervoeren.

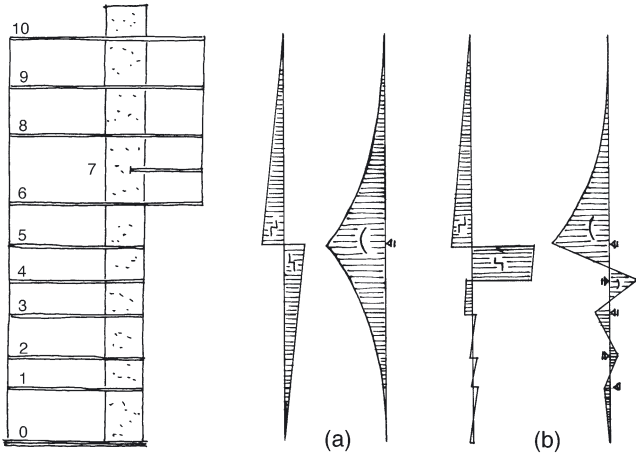
Door de brede raamopeningen bleef er weinig ruimte over voor de gevelkolommen; dat was een van de redenen om slanke stalen kolommen toe te passen.

De gevelelementen zijn per stramien in drieën gedeeld, omdat ze anders niet transporteerbaar waren. Eenmaal gemonteerd werden de elementen door het aangieten van de verticale voegen weer één geheel zodat ze de vloer niet verticaal belasten. De elementen overspannen van kolom tot kolom, met de vloer als trekband.

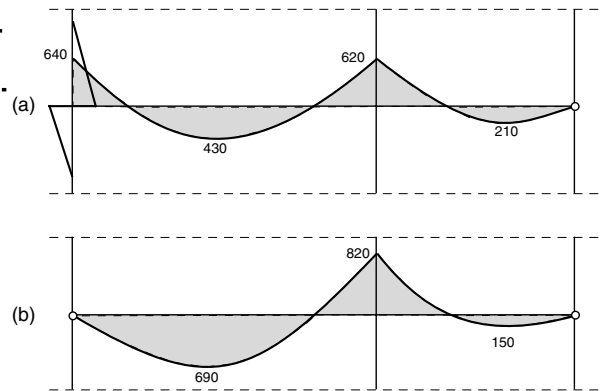
De vloeren van niveau 1-4 zijn in horizontale richting losgehouden van de kopgevels. De kernen nemen dus ook van deze verdiepingen de windbelastingen op. Dit voorkomt dat de dwarskracht in de kernen en vloeren onaanvaardbaar hoog wordt.

a. vloeren niveau 1-4 verbonden met kernen en losgehouden van kopgevels (zoals uitgevoerd).

b. vloeren niveau 1-4 verbonden met kernen én kopgevels.



Aan een deel van de gevelkolommen van de grote overspanning is een liggereïnd momentvast verbonden. Dat reduceert het veldmoment (a) ten opzichte van een scharnier bij de verbinding (b).



Vrijstaande kolommen

Een opvallend onderdeel van de constructie zijn de lange, vrijstaande kolommen onder de uitbreiding van De Doelen. Deze kolommen zijn buitengewoon slank: ze zijn slechts 300 mm breed bij een ongesteunde lengte van 12 m. Kolommen met deze lengte zijn normaal ongeveer 800 mm breed.

Dat deze kolommen zo slank kunnen zijn, is te danken aan een beperking van de kniklengte. Ze zijn namelijk ingeklemd in de fundering en naar boven doorgaand. Dit reduceert de kniklengte met een factor twee.

Omdat de kolommen naast een zeer drukke openbare weg staan, zijn ze getoetst op een aanrijding door een vrachtauto. Vanwege de ligging in de bebouwde kom rijden vrachtwagens ter plaatse niet al te hard; de snelheid neemt verder af door de afstand tussen de rijweg en de kolom. De belastingen en reducties zijn ontleend aan NEN 6702. Deze belasting bleek niet maatgevend: bij een kolom van 12 m lang die aan beide einden is ingeklemd, wordt een horizontale kracht op 1 m hoogte vrijwel geheel afgevoerd naar de inklemming aan de voet.

Ontbrekende kolom

Zo mogelijk nóg opvallender aan de draagconstructie is dat zo'n slanke, vrijstaande kolom op de hoek ontbreekt. Dit was een wens van de architect om Kruisplein en Schouwburgplein vloeiend met elkaar te verbinden.

Dit bleek mogelijk door het stabiliteits-

verband dat op deze as staat. De kolombelastingen uit de hoek van de bovenbouw worden opgevangen door een vakwerk in de gevel van de uitbreiding van De Doelen.

Brandveiligheid

Alle onderdelen van de hoofddragconstructie moesten tenminste 120 minuten brandwerend zijn. Deze brandwerendheid is bij sommige delen van de constructie bereikt door een omstorting met beton. Daarbij is zondig extra betonstaal toegevoegd. Dit beton was op verschillende plaatsen toch al nodig om constructieve redenen. Op deze manier is de brandwerendheid verhoogd bij de gevelkolommen en de bovenzijde van de liggers in boven- en onderbouw.

De overige kolommen binnen zijn omtimmerd met gipskartonplaat. De onderzijde van de liggers in het veld van de overspanning zijn bekleed met brandwerende materialen.

Bij de kolommen in de voorgevel is de omstorting met beton en de aansluitingen op de prefab binnenspouwbladen aangevuld met een verstijving van het kolomlijf om aan de vereiste brandwerendheid te voldoen (bij afnemende sterkte zou de kolom anders voortijdig uitknikken).

De vrijstaande kolommen zijn bekleed met steenwol, dat tegelijk zorgt voor de warmte-isolatie en de brandwerendheid. Reductie van de vuurbelasting is niet toegepast vanwege de relatief grote hoeveelheid hout, bijvoorbeeld in dansvloeren en plafonds.



Projectgegevens

Locatie Kruisplein, Rotterdam • Architectuur Jan Hoogstad Architecten, Rotterdam • Constructief ontwerp Aronsohn raadgevende ingenieurs, Rotterdam • Uitvoering Geveke/CFE vof, Rotterdam • Staalconstructie Victor Buyck, Eeklo (B) • Data begin ontwerp 1996, begin bouw december 1997, ingebruikneming december 2000 • Bouwkosten Hogeschool voor Muziek en Dans 22 miljoen gulden, uitbreiding De Doelen 18 miljoen.

Technische gegevens

Belangrijkste afmetingen lengte 75 m, breedte 13,7 m (onderbouw) 20 m (bovenbouw), hoogte 48 m • Staalkwaliteiten S355JR • Vrijstaande kolommen HEB 400 met tussen de flenzen gelaste platen, staalkwaliteit S 355 • Conservering omgeven door beton: niet geconserveerd; overig: 80 µm verf; vrijstaande kolommen thermisch verzinkt • Totaal staalverbruik 750 ton, excl. uitbreiding De Doelen.