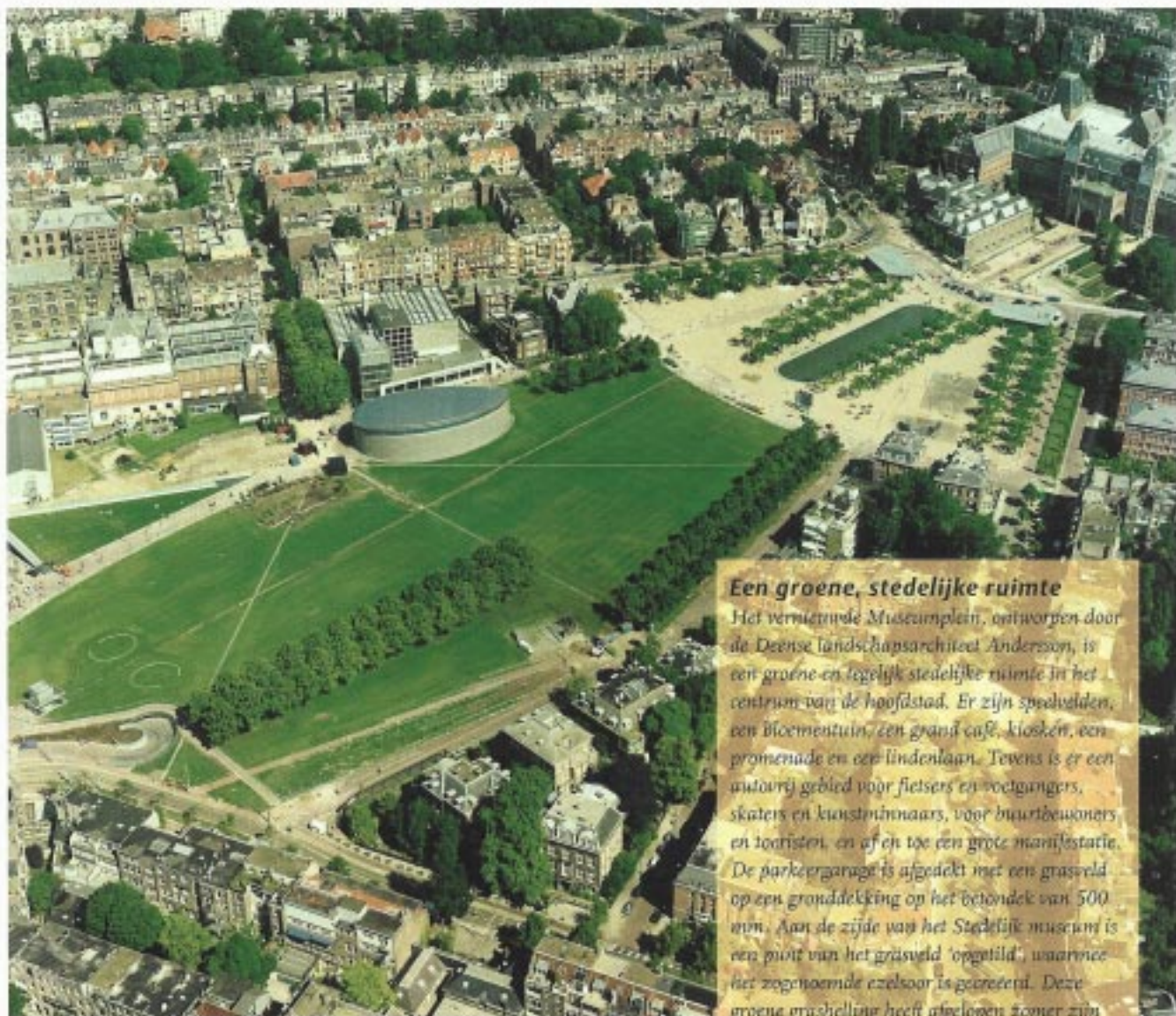


# Meervoudig ruimtegebruik op het Museumplein



## Een groene, stedelijke ruimte

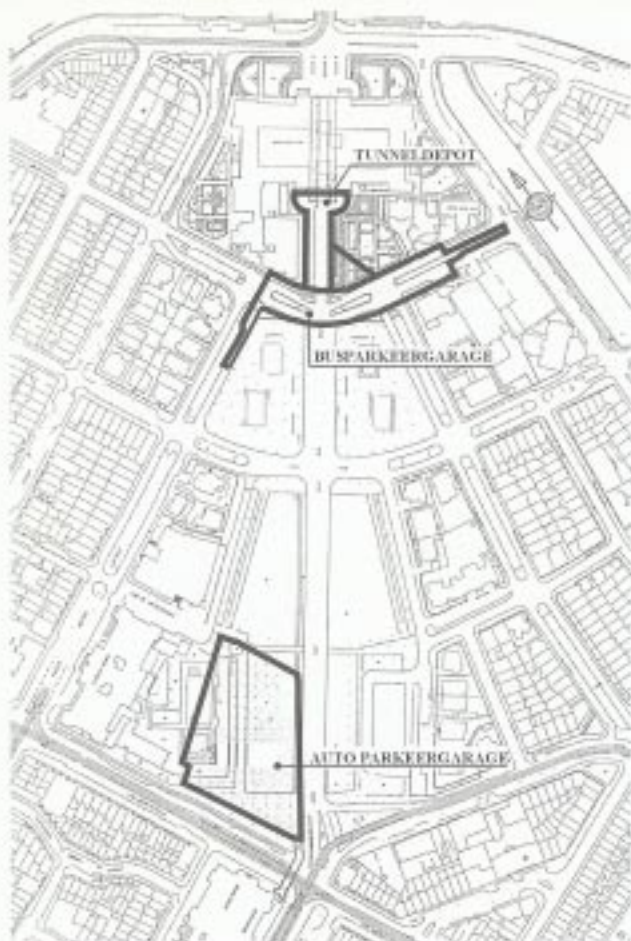
Het vernieuwde Museumplein, ontworpen door de Deense landschapsarchitect Andersson, is een groene en legelijk stedelijke ruimte in het centrum van de hoofdstad. Er zijn speelvelden, een bloementuin, een grand café, kiosken, een promenade en een lindenlaan. Tevens is er een autovrij gebied voor fietsers en voetgangers, skaters en kunststruimelaars, voor buurtbewoners en toeristen, en af en toe een grote manifestatie. De parkeergarage is afgedekt met een grasveld op een gronddekking op het betondek van 500 mm. Aan de zijde van het Stedelijk museum is een poot van het grasveld 'opgetild', waarmee het zogenaamde ezelsoor is gecreëerd. Deze groene grasheiliging heeft afgelopen zomer zijn functie reeds bewezen als tribune bij evenementen op het plein en als ligterras in de zon. Onder het ezelsoor is de inrit van de parkeergarage gelegen en tevens de entree naar de ondergrondse supermarkt op de eerste laag. De uitrit bevindt zich aan de Van Baerlestraat, recht tegenover de Lairessestraat. Voorts zijn bovengronds nog de glazen opbouwen zichtbaar van twee voetgangsuitgangen. De busgarage biedt plaats aan 26 touringcars en is zodanig ingericht, dat 's avonds en buiten het toeristenseizoen ook auto's van de garage gebruik kunnen maken. Op maaiveld bevinden zich twee fraai vormgegeven paviljoens, waarin museumshops en horeca gevestigd zijn.

Het nieuwe Museumplein

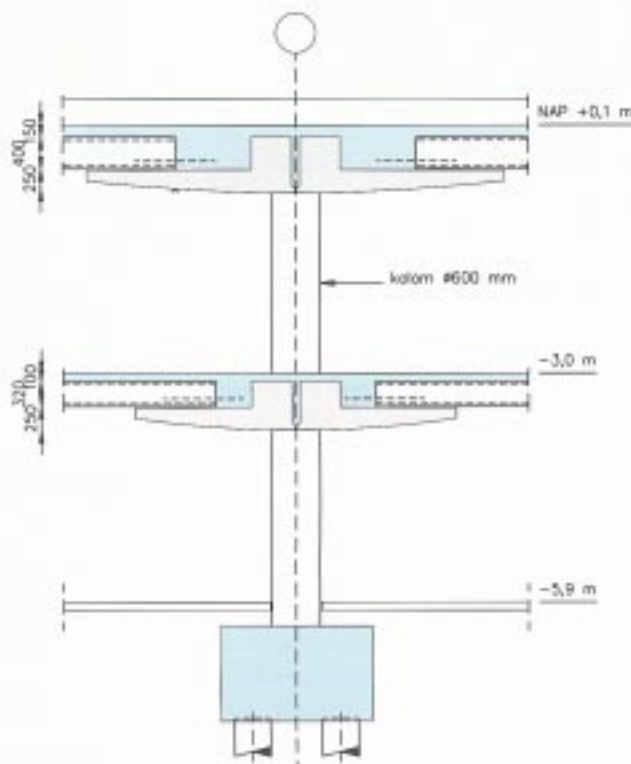
foto: KLM Aeroartco, Amhem

ir. A.C. Lindhoud, Arcadis Bouw/Infra

Sinds afgelopen zomer is het Museumplein het domein van voetgangers en fietsers. Na honderd jaren plannen maken lijkt een intensievere benutting van het plein nu echt realiteit te gaan worden. Een belangrijke factor voor succes hierbij vormen de functies die onder het plein zijn aangebracht: een parkeergarage voor circa zeshonderd auto's, een garage voor 26 touringcars en een ondergronds depot voor het Rijksmuseum. In dit artikel worden de constructieve ontwerpen van deze drie projecten toegelicht. In het volgende nummer van Cement zal de leverancier van de geprefabriceerde betonelementen de montage van het prefab betan bespreken.



1 | Situering parkeergarages en depot Rijksmuseum

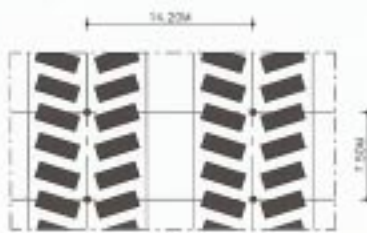


3 | Oplegging kanaalplaten op verzwaarde stroken

De parkeergarage ligt aan de Van Baerlestraat en grenst zowel aan het uitbreidingsplan van het Stedelijk Museum als aan de gerealiseerde uitbreiding van het Van Goghmuseum. De busgarage bevindt zich onder de Hobbemastraat en het ondergronds depot onder de Museumstraat (fig.1). Het totale ondergronds gerealiseerde parkeeroppervlak bedraagt circa 25 000 m<sup>2</sup>. Ter vergelijking: het totale oppervlak van het Museumplein bedraagt ongeveer 80 000 m<sup>2</sup>.

#### Autogarage

Het totale parkeeroppervlak van de autogarage is gerealiseerd in twee bouwlagen, omsloten door een stalen damwand. Op de eerste ondergrondse bouwlaag bevindt zich tevens een supermarkt met een oppervlak van 2000 m<sup>2</sup>. De lengte van de garage bedraagt maximaal 150 m, de breedte gemiddeld 80 m. De parkeerbeuken zijn 14,20 m breed (fig. 2), de kolommen op de scheidingen van de parkeerbeuken staan 7,50 m h.o.h. Er wordt geparkeerd onder een hoek van 70°. De rijbaan tussen de parkeervakken heeft éénrichtingsverkeer.



2 | Parkeerbeuken en kolomplaatsing in autogarage

De vereiste vrije hoogte in de supermarkt is 800 mm meer dan in de parkeergarage. De consequentie hiervan is, dat de vloeren ter plaatse van de supermarkt op de niveaus -1 en -2, 800 mm lager liggen dan de naastgelegen vloeren. Om dit hoogteverschil te overbruggen zijn hellingbanen toegepast.

#### Constructieprincipe

Het principe van het constructiesysteem van de vloeren op de

niveaus 0 en -1 is hetzelfde. Op niveau 0 zijn de afmetingen alleen groter in verband met de hogere belastingen op maaiveld.

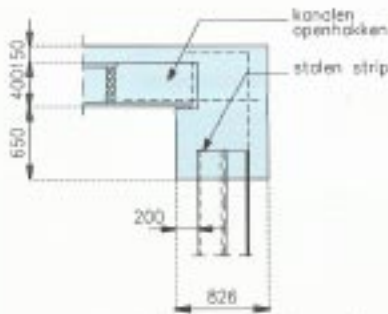
De aangehouden belasting op maaiveld bestaat uit een permanente belasting door 500 mm gronddekking en een veranderlijke belasting van 10 kN/m<sup>2</sup>. Tevens is gerekend op een mogelijke belasting door voertuigen, behorend bij verkeersklasse 30. De veranderlijke belasting op niveau -1 is in het parkeergedeelte, conform NEN 6702, 2 kN/m<sup>2</sup>, in de supermarkt 10 kN/m<sup>2</sup>.

In de richting van de grootste overspanning zijn voorgespannen kanaalplaten met een in het werk te storten druklaag toegepast, uitgevoerd als statisch onbepaalde doorgaande liggers. De platen zijn opgelegd op verzwaarde stroken, opgelegd op geprefabriceerde kolommen (fig. 3). De verzwaarde stroken hebben een overspanning van 7,50 m en zijn om esthetische redenen aan de onderzijde afgerond. Het in figuur 3 gearceerde gedeelte is geprefabriceerd uitgevoerd. Om de noodzakelijke onderstempling in het uitvoeringsstadium te beperken, is aan de bovenzijde een verstijvingsrib aangebracht.

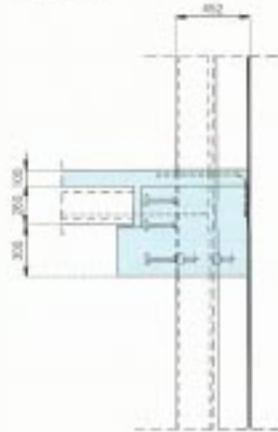
In het bestekontwerp waren de verzwaarde stroken opgelegd op consoleplaten, 1000 x 1000 mm<sup>2</sup>, aan de bovenzijde van de kolommen. De oplegging was uitgevoerd als tandoplegging, waardoor deze platen niet onder de constructie uitstaken. Bovendien waren de oplegplaten aan de onderzijde op overeenkomstige wijze afgerond als de aansluitende verzwaarde stroken.

In het volgende nummer van Cement zal de leverancier van de prefab betonelementen de aangebrachte modificaties bij deze oplegging toelichten.

Voor de oplegging van de constructie-elementen op de damwand zijn op de niveaus 0 en -1 respectievelijk een betonnen balk



4 | Aansluiting kanaalplaten op damwand op niveau 0



5 | Aansluiting kanaalplaten tegen damwand op niveau -1

op en tegen de damwand aangebracht (fig. 4 en 5). Om het excentriciteitsmoment te kunnen opnemen, zijn voor de balk op niveau 0 aan de buitenzijde staven betonstaal aan de damwand gelast, terwijl aan de binnenzijde stalen strips op de damwand zijn gelast om in de drukzone de spanningen in het beton te beperken. Voor de balk op niveau -1 zijn voor opname van de dwarskracht stiftdeuvels op de damwand gelast. Voor het verkrijgen van monoliete verbindingen tussen kanaalplaten en opleggingselementen zijn per kanaalplaat steeds twee kanalen opengehakt, van wapening voorzien en met de druklagen aangestort.

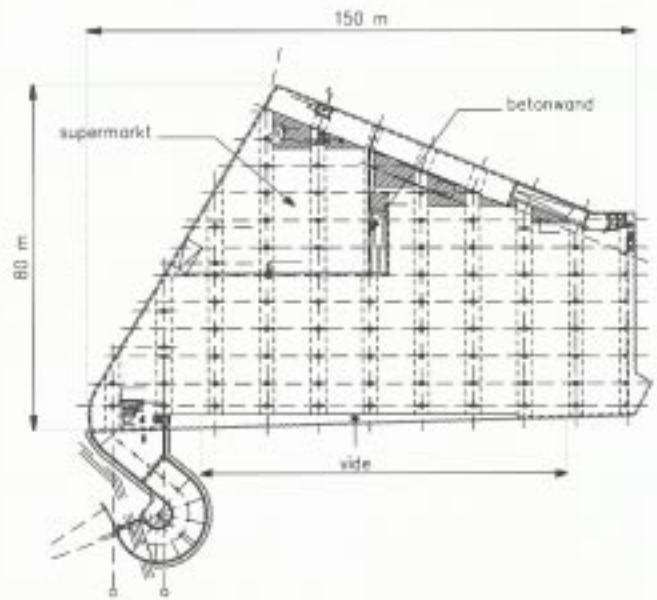
### Stempelfunctie van de vloeren

In het uitvoeringsstadium is langs de gehele omtrek van de bouwput de permanente stalen damwand verankerd door groutankers. In de eindsituatie wordt de damwand gesteund door de vloeren op niveau 0 en niveau -1. Een complicatie hierbij wordt veroorzaakt door de vide op niveau -1, lang 100 m, onder de lichtlijn bij de langste zijde (fig. 6). De stempelkrachten in de vloerschiif op niveau -1, veroorzaakt door de grond achter de damwand aan de zijde van het Stedelijk Museum, zijn vanwege deze vide niet afgesteund op de stempelkrachten, veroorzaakt door gronddruk achter de damwand aan de tegenover gelegen zijde.

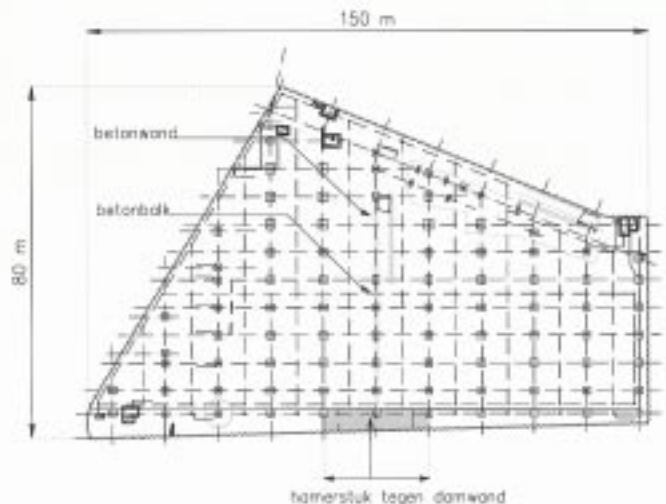
Het systeem dat deze stempelkrachten in evenwicht houdt, wordt gevormd door drie constructieve elementen (fig. 7):

- een verticale betonwand op de scheiding van supermarkt en parkeergedeelte;
- de vloerschiif op niveau 0;
- een betonbalk op niveau -2, met een hamerstuk afgesteund op de damwand (fig. 8).

De betonschiif verdeelt de stempelkrachten over de dekvloer en het aangebrachte stempel op niveau -2. Dit stempel is nodig omdat op niveau -2 geen betonnen vloerschiif aanwezig is. Vanwege het ontbreken van de stempeling op niveau -1 langs de vide, is over de lengte van de vide een zwaarder damwandprofiel toegepast.



6 | Plattegrond niveau -1 met vide



8 | Plattegrond niveau -2 met betonbalk en hamerstuk

### Fundering

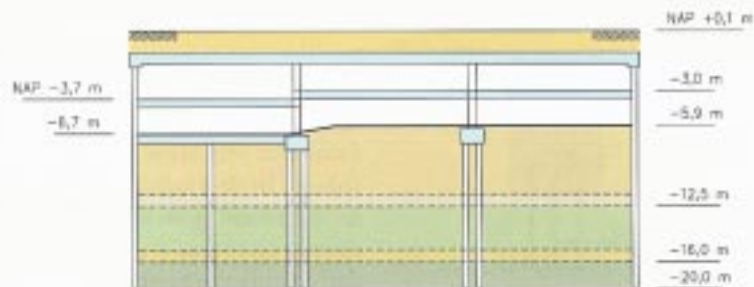
Het maaiveld bevindt zich op ongeveer NAP + 0,60 m. Vanaf maaiveld tot circa NAP - 2,50 m



7 | Evenwicht stempelkrachten door betonwand, vloer op niveau 0 en betonbalk met hamerstuk

wordt ophoogzand aangetroffen, vervolgens tot een diepte van gemiddeld NAP - 12,5 m afwisselend klei- en zandlagen met aan de onderzijde een 0,20 à 0,40 m dun laagje veen, het zogenoemde basisveen. Onder dit laagje basisveen is een 2 à 3 m dikke zandlaag aanwezig, de zogenaamde eerste zandlaag. Op een diepte van ongeveer NAP - 16 m bevindt zich een tussenlaag van zandhoudende klei, waarvan de dikte en het waterremmend vermogen wisselend zijn. In het noordelijke gedeelte van de bouwput is deze laag afwezig. De meer draagkrachtige tweede zandlaag is aanwezig vanaf een diepte van ongeveer NAP - 17,0 m.

Het funderingsniveau is ongeveer NAP - 20 m (fig. 9). Langs de buitenomtrek is de stalen damwand het verticaal dragende funderingselement, in het middengebied zijn prefab betonpalen 450



10 | Ligging waterremmende lagen

x 450 mm<sup>2</sup> toegepast. De rekenwaarde van het bezwijkdraagvermogen van de damwand is 300 kN/m en van de palen 1500 kN.

#### Polderprincipe

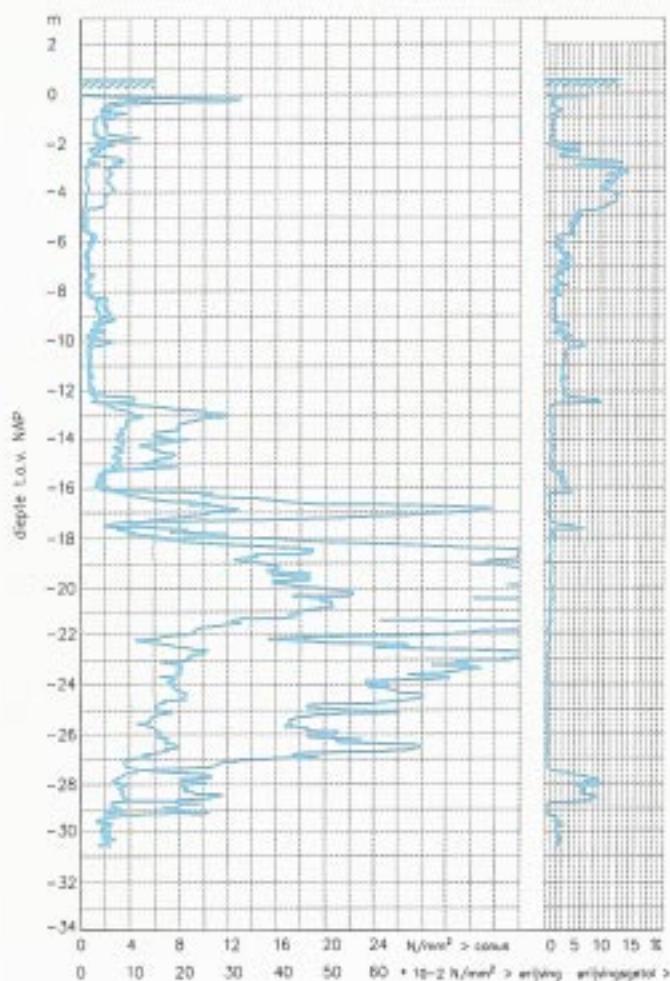
Niveau -2 bestaat dus uit een verdiept en een niet-verdiept gedeelte. Ter plaatse van het verdiepte gedeelte onder de supermarkt bevindt de bestrating op niveau -2 zich op NAP - 6,70 m en in het niet-verdiepte gedeelte op NAP - 5,90 m. Bij het onderzoek naar de technische haalbaarheid van het poldersysteem waren twee zaken van belang: de stabiliteit van de bouwputbodem moest voldoende zijn gewaarborgd, ofwel de veiligheid tegen opbarsten moest voldoende zijn, en het waterbezwaar moest beperkt zijn om vergunning te verkrijgen.

Het waterbezwaar wordt veroorzaakt door lekkage door de damwandsloten en kwel door de waterremmende lagen aan de onderzijde van de bouwput. In het vooronderzoek is vastgesteld dat het waterbezwaar niet meer zou bedragen dan enkele tientallen m<sup>3</sup> per dag indien een gat in de waterremmende laag in het noordelijke gedeelte van de bouwput zou worden gedicht door middel van jetgrouten.

Bij gebruik van de veenlaag op NAP - 12,5 m als referentielaag is de veiligheid tegen opbarsten onvoldoende. Dit geldt voor het verdiepte en in mindere mate voor het niet-verdiepte gedeelte. Om deze reden is de tweede waterremmende laag op NAP - 16 m als afsluiting aan de onderzijde gekozen (fig. 10).

Bij de stabiliteitsberekening van de bouwputbodem is uitgegaan van een stijghoogte van het water in de tweede zandlaag van NAP - 2,40 m. In de uitvoeringsfase is de situatie uiteraard het meest kritisch, omdat in deze fase diepere ontgravniveaus voorkomen bij het aanleggen van het drainagesysteem onder de bestrating en de plaatselijk diepere ontgravingen ten behoeve van de vervaardiging van funderingsconstructies en liftputten. Van belang is de stijghoogte in de eerste zandlaag tussen de twee waterremmende lagen. Deze is afhankelijk van de verhouding van de doorlatendheden van de twee waterremmen-

9 | Representatieve sondering



#### Voetgangerstraverse

Op beide parkeerlagen is langs de buitenzijde een traverse voor voetgangers aangebracht, door een glazen wand gescheiden van het parkeergedeelte. In de traverse valt daglicht door een 400 mm brede doorgaande opening in de dekvloer, die met glas is afgedicht. Deze zogenoemde lichtlijn maakt deel uit van een in totaal 400 m lange lijn in het maaiveld, die 's avonds is verlicht.

De luchtbehandeling geschiedt volgens het systeem van langsventilatie, zoals ook wordt toegepast in verkeerstunnels. Bij dit systeem houden aan het plafond opgehangen ventilatoren de lucht constant in beweging. De luchttoevoer heeft plaats via de in- en uitritten, de luchtafvoer via schachten.



De autogarage

de lagen. Bij tegenvallende waterremmende eigenschappen van de kleilaag op NAP - 16 m, zal de stijghoogte in de eerste zandlaag in het ongunstigste geval gelijk zijn aan die in de tweede zandlaag, namelijk NAP - 2,40 m. In dat geval is in de eindsituatie de veiligheid tegen opbarsten in het niet-verdiepte gedeelte gelijk aan 1,08, hetgeen onvoldoende is. In het verdiepte gedeelte is de veiligheid zelfs lager dan 1.

Om in de eerste zandlaag een voldoende lage stijghoogte te bereiken is voorzien in een systeem van vijftien ontlastbronnen, waarvan het filter zich in de eerste zandlaag bevindt. Tijdens de ontgraving bleek dat met de geplaatste ontlastbronnen onvoldoende verlagings van de stijghoogte werd bereikt. Als aanvullende maatregelen werden achtereenvolgens extra ontlastbronnen geïnstalleerd en werden deze actief bemalen. Krachtiger maatregelen bleken echter noodzakelijk: er zijn enkele diep wells geïnstalleerd, waarmee het gewenste resultaat werd bereikt. Uiteraard ging het inzetten van de diep wells gepaard met een uitgebreid monitoringsplan om tijdig ongewenste situaties in de omgeving van de bouwput te kunnen signaleren.

Inmiddels was duidelijk dat ook voor de eindsituatie ter plaatse van het verdiepte gedeelte aanvul-

lende maatregelen nodig waren ten opzichte van het oorspronkelijke plan, waarin uitsluitend ontlastbronnen zouden worden toegepast. Verschillende mogelijkheden zijn onderzocht, zoals het aanbrengen van ballast door een laag ijzererts. Deze oplossing is echter duur en brengt milieubezwaren met zich mee. Een andere methode is vernageling, waarbij palen worden aangebracht in een stramien van bijvoorbeeld 4 x 4 m<sup>2</sup>. Aan de bovenzijde wordt op de paal een betonnen plaat aangebracht van 1 x 1 m<sup>2</sup>. De opwaartse gronddruk wordt opgenomen door gewelfwerking in de grond tussen de palen. Het aanwezige wadzand werd echter niet in staat geacht deze gewelfwerking te doen ontstaan.

Gekozen is voor het aanbrengen van een betonvloer, dik 300 mm, door trekpalen verankerd in de tweede zandlaag. Het zal duidelijk zijn dat een en ander ingrijpende gevolgen heeft gehad voor het uitvoeringsplan.

De opwaartse gronddruk tegen de onderzijde van de vloer wordt bepaald door de opwaarts gerichte gronddruk tegen de onderzijde van de veenlaag op NAP - 12,5 m en het neerwaarts gerichte gewicht van het grondpakket tussen de veenlaag en de onderzijde van de vloer op NAP - 7,0 m. Berekening levert een waarde op van de opwaartse gronddruk van circa 20 kN/m<sup>2</sup>.

Om te voorkomen dat de waterdruk tegen de onderzijde van de betonvloer te hoog wordt, is een drainagesysteem onder de vloer aangebracht. Van beneden naar boven bestaat dit systeem uit een grondscheidend en waterdoorlatend doek, een 250 mm dikke laag drainzand en een 250 mm dikke laag grind. Tevens zijn op onderlinge afstanden van 7,0 m drains aangebracht.

In het niet-verdiepte gedeelte is het stelsel van ontlastbronnen aangesloten op verzamelleidingen, die op twee locaties zijn voorzien van een verticaal buizenstelsel, waarin een drietal overlooptniveaus kan worden ingesteld. In peilbuizen kan de stijghoogte worden afgelezen. Als de stijghoogte in de eerste zandlaag de kritische waarde nadert, wordt in de beheerdersruimte een waarschuwingssignaal gegeven. Het overlooptniveau kan dan zodanig worden aangepast, dat de stijghoogte weer afneemt tot een acceptabele waarde. Geruststellend is dat bij de meest ongunstige stijghoogte de veiligheid tegen opbarsten nog groter dan 1 is.

#### Busgarage

De plattegrond van de busgarage heeft een gebogen vorm met een lengte van circa 90 m en een breedte van 26 m (fig. 1). Om de overlast op maaiveldniveau zoveel mogelijk te beperken, is de garage gebouwd volgens de wanden-dak-

methode (fig. 11). Eerst zijn de damwanden ingeheid en vervolgens is het dek op het zand gestort, waarbij de aannemer als intermediair tussen zand en beton een metalen beplating heeft toegepast. Bij de overspanning van 26 m heeft het dek een dikte van 900 mm, in het werk voorgespannen.

Evenals bij de autogarage is de busgarage ontworpen volgens het polderprincipe. Omdat de garage slechts één laag heeft, ligt de bestrating hoger en is het polderstelsel derhalve minder kritisch. Als afsluiting aan de onderzijde geldt de veenlaag op NAP - 12,50 m. Een systeem van ontlastbronnen is niet nodig.

Vanwege de zwaardere aslasten door bussen is de opbouw van het drainagepakket onder de bestrating anders dan de gebruikelijke minimaal 700 mm dikke laag drainzand die bij autogarages wordt toegepast. Van beneden naar boven bestaat het pakket uit grondscheidend en waterdoorlatend doek, 600 mm drainzand, 250 mm hoogovenslakken, 50 mm straatzand en 80 mm bestrating.

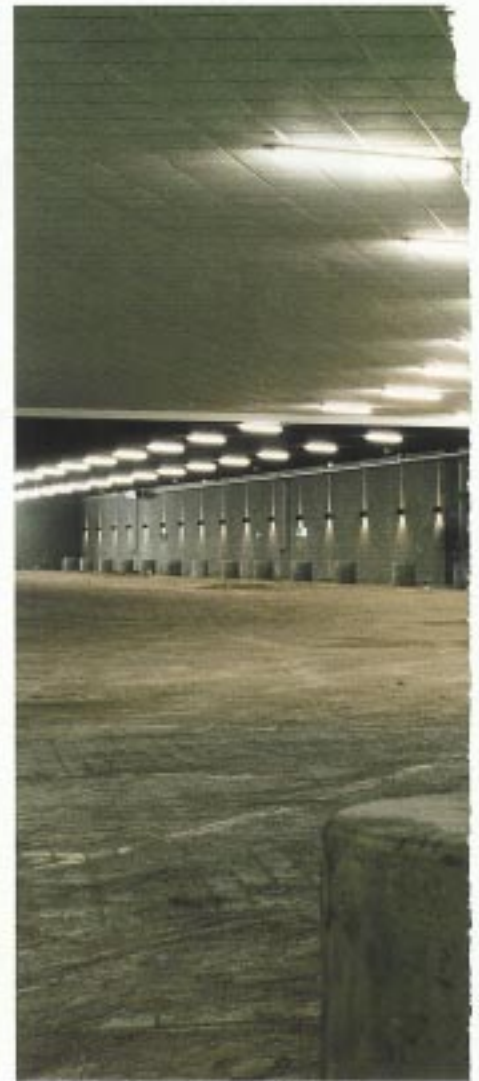
De functie van de damwand is weer tweeledig: verticale begrenzing en afdragen van de verticale belasting naar de draagkrachtige tweede zandlaag. Omdat het

draagvermogen van de damwand ontoereikend is voor de totale verticale belasting, zijn aanvullend om de vier damwandplanken boxpiles toegepast. Om voldoende puntoppervlak bij deze uit damwandplanken samengestelde palen te verkrijgen, is aan de onderzijde een stalen voetplaat gelast. De bovenste 2 m is met beton gevuld, waarbij door uitstekende wapening de verbinding met de betonconstructie van het dek wordt verkregen.

**Ondergronds depot  
Rijksmuseum**

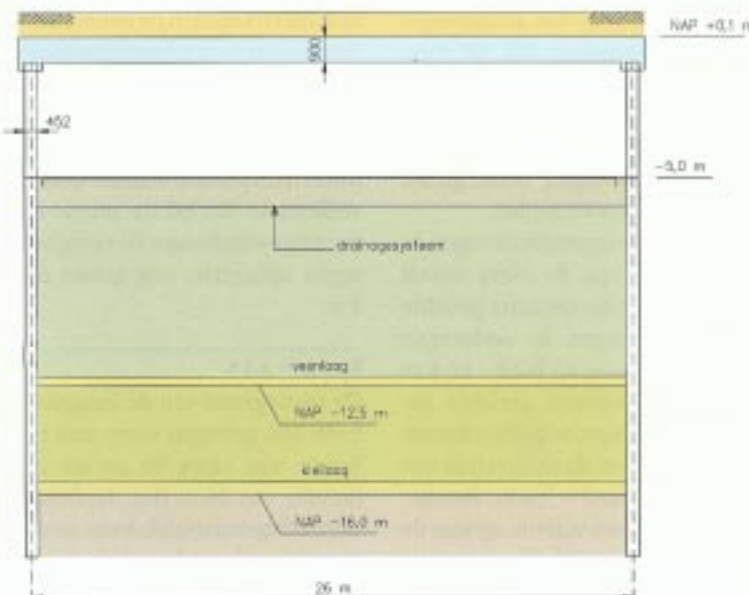
Het depot heeft een lengte van 70 m en een breedte van 20 m (fig. 1). Het straatniveau en daarmee het niveau van het dek is ter plaatse van het Rijksmuseum het hoogst. Dit heeft als consequentie dat over de helft van de lengte, aansluitend op het Rijksmuseum, voldoende hoogte aanwezig is voor de realisering van twee lagen. Het overige gedeelte, dat aansluit op de busgarage, heeft één bouwlaag. Bij de aansluiting van het depot op de busgarage is een remise aanwezig, waar de overslag van goederen plaatsheeft, voor vrachtauto's bereikbaar via de busgarage.

Om de overlast op straatniveau zoveel mogelijk te beperken was, zoals bij de busgarage, het ont-



De busgarage

11 | Dwarsdoorsnede  
over busgarage



werp aanvankelijk gebaseerd op de wanden-dakmethode. Omdat een betonnen funderingsvloer op trekpalen nodig was en bovendien de tussenvloer en tussensteunpunten gedeeltelijk aanwezig waren, bracht deze bouwmethode gecompliceerde uitvoeringsfasen met zich mee. Omdat dit sterk kostenverhogend is, is van beneden naar boven gebouwd in een open bouwput met gestempelde damwanden.

Vanwege bouw fysieke en andere eisen is voor het depot het polderprincipe niet gewenst.

Evenwijdig aan de lengterichting van het depot bevindt zich op circa 10 m afstand de Zuidvleugel van het Rijksmuseum. Ter plaatse van



foto: Loek Boucher, Zaanen

de aansluiting op het museum bevindt zich de zogenoemde Vermeeruitbouw met De Nachtwacht. Door de aanwezige kunst in de belendende bebouwing werden hoge eisen gesteld aan het trillingsniveau. De trekpalen onder de funderingsvloer staan in een stramien van 2 x 3 m. Uitgangspunt was het toepassen van geheide prefab betonpalen. Bij overschrijding van een bepaald trillingsniveau werd overgegaan op in het werk vervaardigde betonnen schroefpalen (systeem Fundex).

De tussenvloer ligt op het niveau van de bestaande kelder van het Rijksmuseum. Op het niveau van deze vloer zijn ter plaatse van de Vermeeruitbouw twee doorbraken gemaakt. Ook hierbij is gebruikgemaakt van een trillingsvrij paalsysteem. ■

#### Projectgegevens

**projectontwikkeling:**

ING Vastgoedontwikkeling

**projectmanagement, constructieve en bouwkundige advisering:**

ARCADIS Bouw/Infra

**architect Museumplein:**

Sven-Ingvor Andersson

**architect autogarage en busgarage:**

Kees Spoorjers

**architect ondergronds tunneldepot**

Rijksmuseum:

Architectengroep

**grondmechanische en geo-hydrologische adviezen:**

OMEGAM

**verkeerskundige adviezen:**

Grontmij

**bouwkundige hoofdaannemer:**

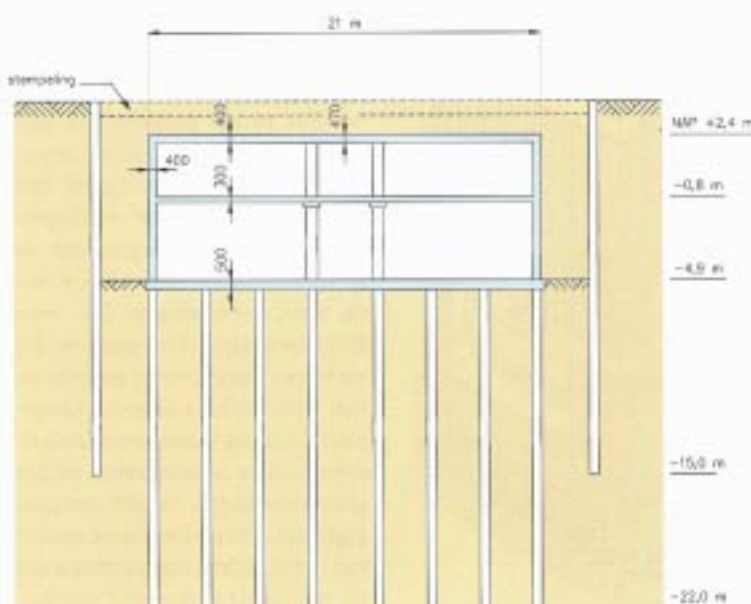
Van Hattum en Blankevoort

**levering en montage prefab beton:**

Spanbeton

**aannemer technische installaties:**

GTJ



12 | Dwarsdoorsnede over depot Rijksmuseum