



Boeiende draagconstructie voor nieuwbouw De Bastei in Nijmegen

Innovatief bouwen tussen archeologie



ir. Ronald Wenting

ABT

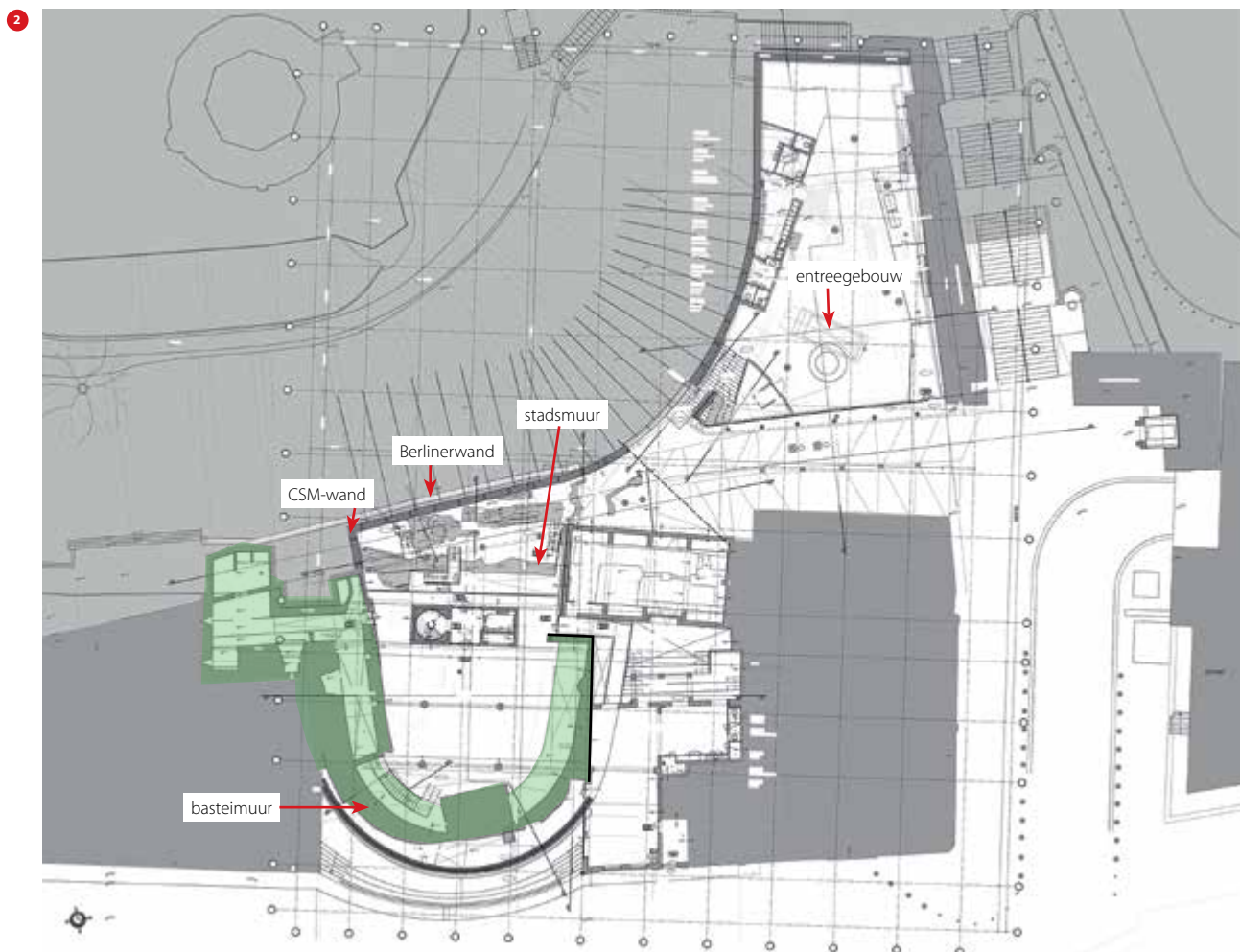
ir. Marlène van Gessel

van roosmalen van gessel architecten e.p.

1 De Bastei aan de Waalkade, met daarachter de Valkhofheuvel met op de uiterste rand de St. Nicolaaskapel

foto: bureau Beeldtaal

2 Plattegrond van De Bastei met in groen de restanten van de oude toren



Aan de voet van de Valkhofheuvel, aan de Waalkade in Nijmegen, is een fascinerend nieuw museum gebouwd op, over en in een middeleeuwse verdedigingstoren. Tijdens de bouw zijn belangwekkende archeologische vondsten aangetroffen die op fraaie wijze in het plan zijn opgenomen. De draagconstructie is mede daardoor spectaculair geworden met onder meer hoge grondkerende CSM-wanden, ruim 10 m lange boomstammen als kolommen en een kern van zandkleurig schoonbeton. Blikvanger van het project is een grote uitkragende, volledig glazen erker.

Het nieuwe museum De Bastei, centrum voor natuur en cultuurhistorie (foto 1) slaat een brug tussen historie en eigentijdse kwesties, passend bij de oudste stad van Nederland. De archeologische vondsten die tijdens de bouw zijn blootgelegd, boden een unieke kans dat verhaal kracht bij te zetten en te laten zien hoe de stad vanouds reageerde op haar levensader: de Waal.

De ontwerpogave was het bestaande museum en rijksmonument De Stratemakerstoren op deze plek uit te breiden en geschikt te maken voor een nieuwe gebruiker. De basis voor het ontwerp is een middeleeuwse hoefijzervormige toren (fig. 2) met een inwendige kanonsgang, een zogenaamde bastei. Zo'n bastei is met aarde gevuld. In de jaren tachtig is, na het bloot-



3

3 Het entreegebouw aan de achterzijde van De Bastei, ingebed tussen de Valkhofheuvel en de muur van het Groene Balkon

foto: Gersfotografie

4 Het uitgraven van de bouwput met de archeologische vondsten en getrapte grondkering voor de bouwput: achtereenvolgens de middeleeuwse stadsmuur, de nieuwe CSM-wand (rechtsboven) en de bestaande berlinerwand (achter de CSM-wand)

bron: ABT

leggen van de toren, al een groot deel van die aarde afgegraven. Door het volume verder uit te graven en de ruimte vervolgens in te vullen met enkele verdiepingen konden expositieruimten worden gerealiseerd.

Het museum is aan de Waalkade voorzien van een nieuwe gevel. Schuin achter De Bastei is een entreegebouw gerealiseerd, tussen de Valkhofheuvel en een muur van het Nijmeegse 'Groene Balkon' (foto 3).

De entree is, via een onderdoorgang onder een straatje aan de achterzijde van De Bastei, verbonden met het museumgedeelte. Er is bewust gekozen de entree aan de achterzijde van het plan te positioneren, aangezien een verdedigingswerk geen entree aan de aanvalzijde heeft.

De voorgevel is een achteroverhellende conisch gemetselde wand. De Bastei heeft daarmee zijn oorspronkelijke verschijningsvorm teruggekregen.

Op een markante plek in deze gevel kraagt een volglazen tweeverdiepingshoge erker uit, die zowel binnen met buiten als museum met rivier en natuur verbindt.

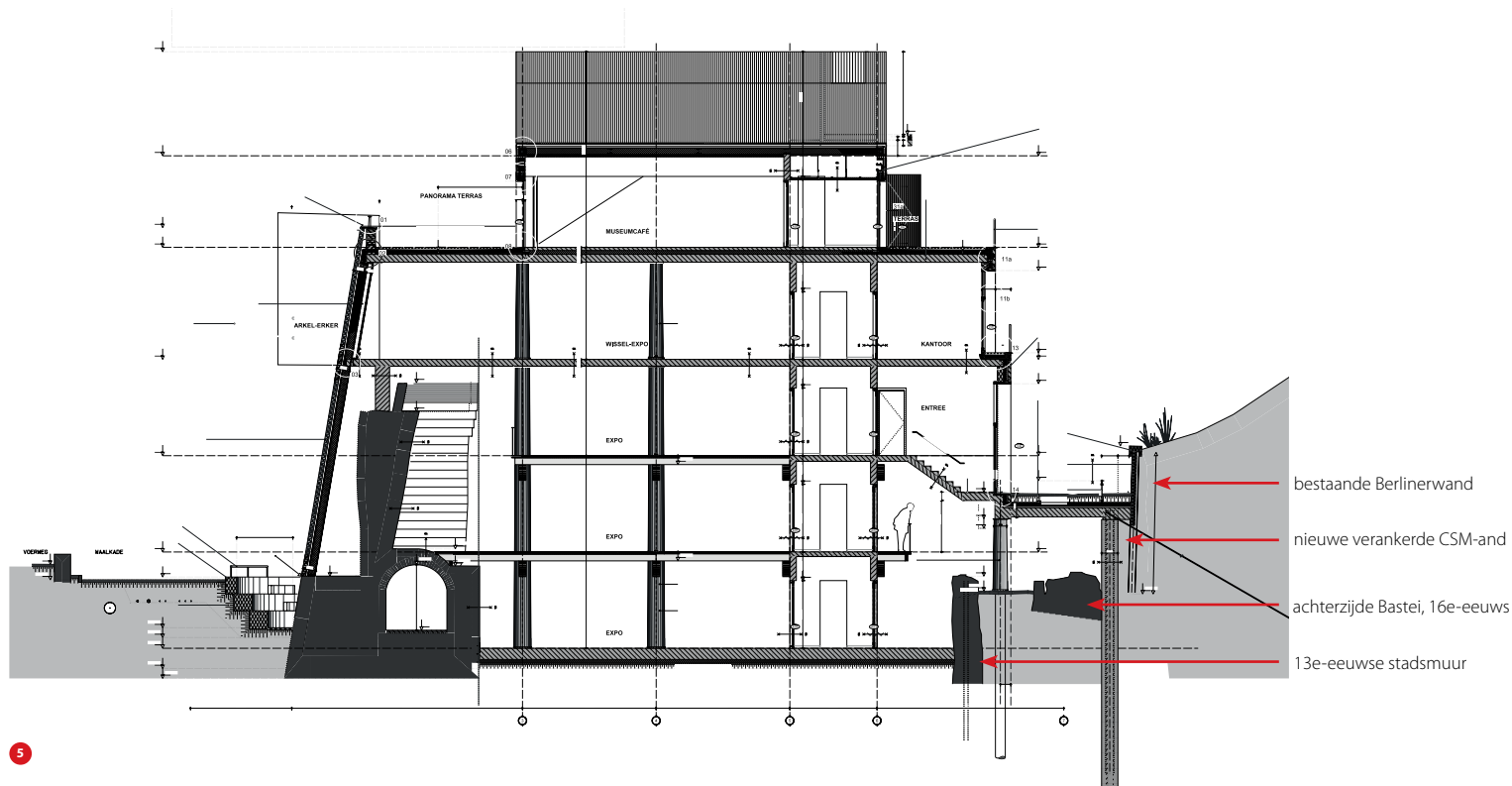
Grondkering

Gelet op de bijzondere plek in de stad, met name omdat er aan de voet van het grondmassief van het Valkhof werd gegraven, is veel aandacht besteed aan het ontwerp van de benodigde grondkeringen. In de jaren tachtig is hier een grondkerende berlinerwand aangebracht, die het grondpakket van de heuvel boven straatniveau keert en stabiliseert, nadat een deel van de heuvel dreigde af te glijden. Deze berlinerwand was volstrekt ontoereikend voor de nieuwe situatie.

Om elke beweging van de grond uit te sluiten en het grondmassief van de heuvel voor de 6 m diepe kelder te keren, is in overleg met de aannemer een stijve grondkerende CSM-wand (cutter soil mix) toegepast (fig. 5). De hoge stijfheid van de wand in combinatie met de verschijningsvorm waren de voornaamste redenen hiervoor te kiezen. Om het krachtenspel in de grondkering in toom te houden, waren twee ankerrijen voorzien. Eén rij ter hoogte van het betonnen dek op straatniveau en één rij halverwege de ontgraving.

4





Archeologische vondsten

Tijdens de ontgraving kwamen bijzondere archeologische vondsten naar boven, zoals de achterzijde van De Bastei, de stadsmuur met toren uit de 13e eeuw, Romeinse muren uit de 1e en 4e eeuw, én funderingen van bakstenen huizen uit de 14e eeuw (foto 4). De stadsarcheologen en rijksarcheoloog zijn dan ook nauw betrokken geweest bij de realisering van dit project. Bijzonder is dat uiteindelijk alle archeologische vondsten in situ zijn bewaard en in het museum zijn ingepast. Dit kon alleen dankzij de nodige inventiviteit en intensieve samenwerking tussen alle betrokken partijen. Elke nieuwe vondst kon betekenen dat het ontwerp met bijhorende uitvoeringswijze moest worden aangepast en bijgesteld.

Ontgravingsdiepte

Door de archeologische vondsten kon de tweede ankerrij voor de CSM-wand niet worden gerealiseerd. Hierdoor werd de ontgravingsdiepte voor de kelder gelimiteerd: berekeningen in Plaxis toonden aan dat het krachtenspel in de CSM-wand bij dieper uitgraven ontoelaatbaar hoog zou worden. Maar dieper uitgraven was wel gewenst, enerzijds om de archeologische

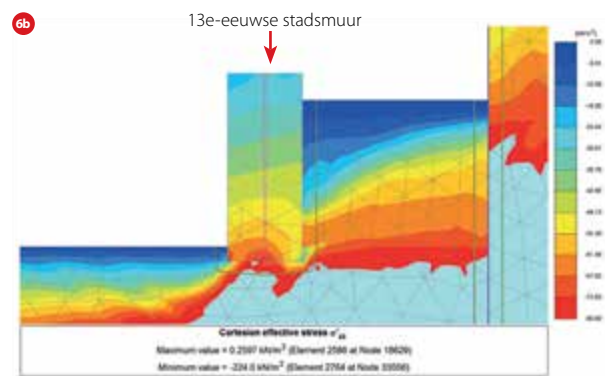
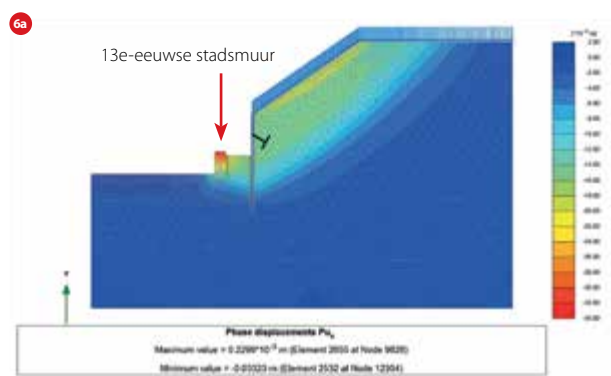
vondsten goed zichtbaar te maken, anderzijds om de kelder voldoende vrije hoogte te kunnen geven.

De oplossing is gevonden in een optimalisatie van de ontgravingsniveaus langs de verschillende tracés in de bouwput en om de oude stadsmuur – die vóór de CSM-wand ligt – in te zetten als extra steun. Deze ruim 1 m brede bakstenen stadsmuur uit de 13e eeuw was een van de archeologische vondsten. Ook is de ontgravingsdiepte 0,5 m verminderd ten opzichte van het oorspronkelijke ontwerp.

Om de stadsmuur als steun in te kunnen zetten, is onderzoek gedaan naar de samenhang van het metselwerk van deze muur en de grondgesteldheid eronder. Hiervoor zijn kernboringen over de volledige hoogte van de stadsmuur verricht. Het metselwerk bleek in goede staat. Ook bleek de grondgesteldheid onder de muur zand te zijn en zodoende voldoende draagkrachtig (fig. 6). Om de krachten in de stadsmuur te kunnen opnemen, is deze versterkt met acht groutinjectionpalen ($\varnothing_{\text{groutlichaam}} 170 \text{ mm}$ met stalen buistype $\varnothing 60,3 \times 16 \text{ mm}^2$, h.o.h. ca. 1,2 m) die vanaf de bovenzijde in het hart van de wand door de wand zijn aangebracht.

5 Dwarsdoorsnede met links de opgehoogde Waalkade, rechts daarvan de restanten van de oorspronkelijke bastei met kanongang en geheel rechts de grondkerende constructie aan de voet van de Valkhofheuvel
bron: De Twee Snoeken

6 Weergave van de de vervormde toestand (a) en spanningen onder de stadsmuur (b) uit het Plaxis-rekenmodel van de grondkerende constructie
bron: ABT





7

7 De beschikbare werkruimte voor uitvoering van de grondkerende constructie was erg beperkt

bron: ABT bv

8 Douglasboomstammen tussen de muurresten. Archeologische vondsten zichtbaar in het museum, net als de grondkerende CSM-wand op de achtergrond

bron: De Bastei

9 Verticale doorsnede met schematisch weergegeven de laagsgewijze stapeling van verschillende constructiematerialen met de over drie verdiepingen doorgaande dragende douglassparren

bron: ABT bv

Beperkte werkruimte

Door de binnenstedelijke locatie, het smalle straatje en de aanwezige bebouwing, was de werkruimte voor de aannemer uiterst beperkt. Ook de aanwezige archeologische vondsten vroegen om uiterste zorgvuldigheid. Dat bepaalde welk type materieel kon worden ingezet. Ook heeft dit geleid tot herhaaldelijk grondverzet om tijdelijke werkplateaus te maken. De uitvoering werd hierdoor een uitdagende operatie (foto 7).

Stapelings constructiesystemen

De constructie van de vloeren van De Bastei zijn ontworpen als een stapeling van constructiesystemen in verschillende constructiematerialen. 10 m hoge douglasboomstammen dragen grotendeels de verdiepingen (foto 8). De onderste twee verdiepingen hebben een houten vloerconstructie met gelamineerde houten liggers $240 \times 560 \text{ mm}^2$ bevestigd aan de boomstammen en opgelegd in sparingen in het historische muurwerk. Daarop ligt een vloerpakket, uitgevoerd als een zo compact mogelijke 'constructieve sandwich' van 70 mm dik bestaande uit OSB-plaat, houten regels en multiplexplaat. Het pakket wordt gedragen door houten balklagen $96 \times 246 \text{ mm}^2$ (fig. 9). In het pakket zijn vloerpotten en leidingen voor verlichting en data aangebracht.

De twee bovenliggende vloeren zijn vlakke massieve betonnen plaatvloeren met een dikte van 280 mm. Deze waren nodig vanwege de brandcompartimentering in het gebouw en voor een reductie van de vloerhoogte om binnen de voorgeschreven maximale gebouwhoogte te blijven.

De dakopbouw is door de gearticuleerde vorm uitgevoerd in een lichtgewichtstaalconstructie en ingevuld met een houtsketpakket met eikenhouten latten als bekleding.

Voor de hoofdconstructie, ook de houten boomstammen geldt een brandwerendheidseis van 90 minuten. Voor de houten liggers en balken is die eis 30 minuten.

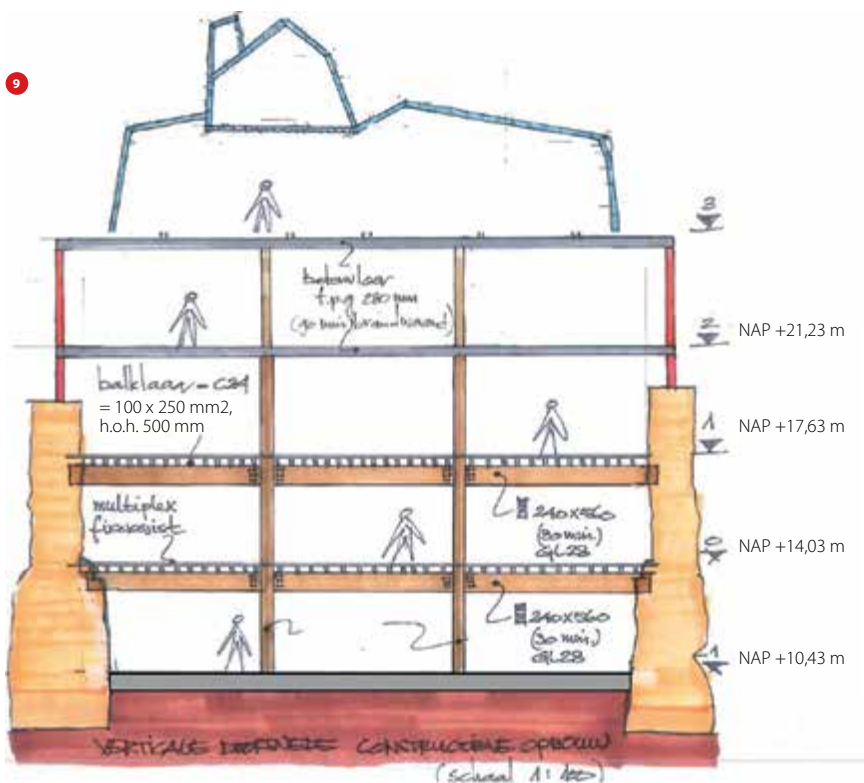
Stabiliteit

De stabiliteit van de constructie in zowel dwars- als langsrichting wordt gewaarborgd door de bestaande basteimuur in combinatie met de betonnen kern rondom lift en trap in het hart van De Bastei. De wanden van de kern hebben een wanddikte van 250 mm en zijn uitgevoerd in schoonbeton. Om de wanden een levendige structuur te geven waarin de delen en zelfs de houtvezels soms leesbaar zijn, zijn gezaagde



8

9





vurenhouten planken in de bekisting opgenomen. Op basis van enkele monsters is proefondervindelijk de juiste zanderige kleur bepaald. Met toevoeging van geel pigment bleek de van nature wat blauwige koude eigen kleur van het standaardbeton een meer natuurlijke kleur te krijgen. Deze specie als basis, de bekisting en de verwerking ter plaatse resulteerden in het gewenste karakter dat op sommige plekken als 'béton brut' te karakteriseren is (foto 11), wat uitstekend accommodeert met de bestaande mergelmuren.

Fundering

De constructie is gezien de aanwezige zandgrond gefundeerd op staal, net als de oorspronkelijke basteimuur. Uitgangspunt in het constructieve ontwerp was om zo veel mogelijk van het toegevoegde gewicht van de nieuwe constructies door nieuwe funderingselementen te laten dragen en zo de bestaande basteimuur niet substantieel meer te belasten. De keldervloer is daarom uitgevoerd als een 400 mm dikke geïsoleerde plaatfundering op staal. Ter plaatse van archeologische vondsten is gekozen de dragende kolommen te funderen op palen. Hierdoor konden de funderingspoeren kleiner blijven en zorgvuldig worden ingepast, waardoor de archeologie maximaal gespaard kon worden. Vanwege de beperkte uitvoeringsruimte is gekozen voor groutinjectiepalen, $\varnothing_{\text{groutlichaam}} 370 \text{ mm}$ met stalen buis $\varnothing 101,6 \times 22 \text{ mm}^2$. Deze konden worden ingebracht met licht materieel dat ook is gebruikt voor het realiseren van de groutankers voor de ankerrijen van de CSM-wand.

Douglasparrén als kolommen

Voor de kolommen in het gehele project, zowel in De Bastei als in het entreegebouw, zijn boomstammen van douglasparrén gebruikt (foto 12). Deze sluiten goed aan bij de duurzaamheidsgedachte van het museum en passen in deze middeleeuwse setting.

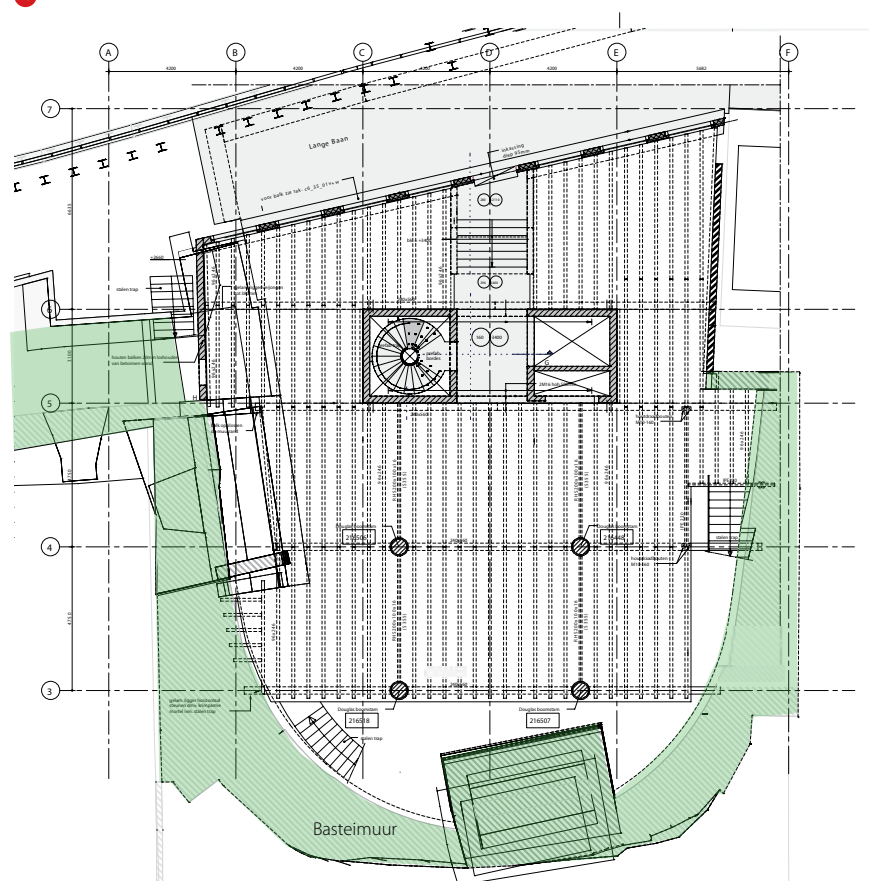
11

De bomen zijn afkomstig uit de bossen van Staatsbosbeheer, één van de partners van De Bastei. Onder de onderste drie lagen van De Bastei zijn er vier drieverdiepingshoge boomstammen met een gemiddelde diameter van circa $\varnothing 600 \text{ mm}$ aangebracht met een lengte van ruim 10 m. Op de verdieping daarboven zijn eenverdiepingshoge boomstammen met een gemiddelde boomdiameter van circa $\varnothing 420 \text{ mm}$ geplaatst, die de betonnen vloer dragen.

10 Plattegrond inbouwverdieping met houten vloerconstructie en BIM-model draagconstructie
bron: ABT bv

11 Het beton heeft een levendige structuur en een zanderige kleur

10





12

Houtkwaliteit

De bomen zijn bij houtzagerij De Vree in Randwijk geselecteerd in aanwezigheid van een specialist van SHR-TU/Eindhoven. Gekeken is naar de rechtheid van de bomen en de grootte en het verloop van de diameter. Na ontschorsen van de boomstammen is een visuele inspectie uitgevoerd voor een beoordeling op onder meer kwasten. De houtkwaliteit is onderzocht met druk- en buigproeven die door TU/Eindhoven zijn begeleid. Na beproeving kon de houtkwaliteit op C24 worden vastgesteld, die nodig was om aan de brandwerendheidseis van 90 minuten te voldoen.

Excentriciteiten

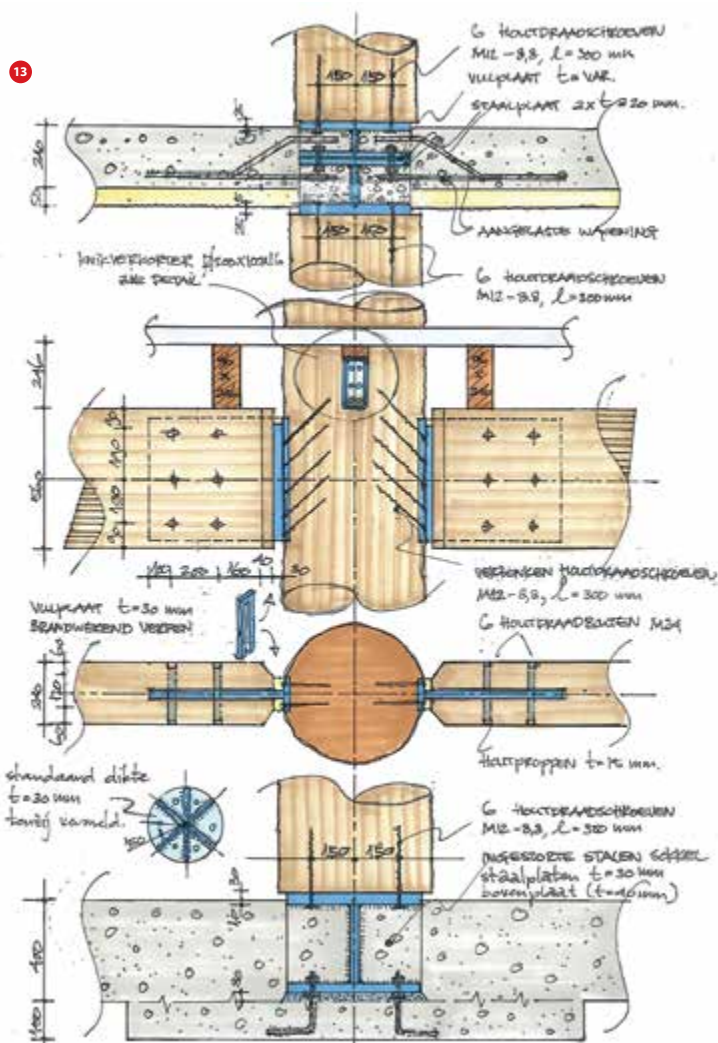
De bomen zijn door de aannemer in twee richtingen ingemeten. De gevonden excentriciteiten zijn meegenomen in de sterkteberekening. Wat opviel is dat de geselecteerde bomen bijzonder recht waren, zodat de excentriciteitsmomenten gering waren.

Verbinding

De nodige aandacht is uitgegaan naar architectonische, constructieve en uitvoeringstechnische aspecten van de details, mede om recht te doen aan het principe 'ruwbouw is afbouw'. Voor de verbinding van de gelamineerde vloerbalken met de boomstammen heeft ABT een detail ontwikkeld (fig. 13). Hierbij is een stalen T-plaat aan de boom geschroefd met 300 mm lange voldraadschroeven (M12) die 45° omhoog wijzen. Het lijf van de stalen T-plaat is als slisplaat ingelaten in de gelamineerde liggers.



14



13

De toepassing van schuine schroeven is relatief nieuw. Een schroef presteert wezenlijk beter op trek dan op afschuiving en dus ligt het voor de hand om een belasting 'op te hangen'. Door de schroef onder 45° te plaatsen, wordt de afschuifkracht omgezet in een trek- en een drukkracht. Deze drukkracht heeft daarbij ook nog een positieve invloed op de totale capaciteit omdat deze wrijving genereert. Deze aansluiting kan echter alleen op afschuiving worden belast. Rotatie in het aansluitvlak

12 Douglassparren als kolommen
bron: ABT bv

13 Aansluitdetails douglasboomstammen
bron: ABT bv

14 Uitkragende volledig glazen erker aan de voorzijde van De Bastei aan de Waalkade, met een fantastische blik op de Waal en de uiterwaarden
foto: Pieter Kers / beeld.nu

moet worden voorkomen. Dit betekent dat de slisplaat momentvast aan de ligger moet worden bevestigd en dat de passing van de stiften in het hout en staal met minimale tolerantie moet worden uitgevoerd. De aannemer heeft deze klus geklaard door de gaten in de liggers in het werk in te meten en daarna pas te boren. Hierdoor kon een passende verbinding worden gemaakt.

Aansluiting hout-beton

Aan de onderzijde staan de boomstammen op stalen sokkels die zijn geïntegreerd in de betonnen funderingspoeren (fig. 13). Op deze manier konden de bomen goed worden gemoniteerd en is er een relatief simpele en nastelbare verbinding gerealiseerd. Belangrijk aandachtspunt voor de uitvoering was dat de bomen exact haaks moesten worden afgezaagd voor het voorkomen van spanningsconcentraties in het hout.

Dit geldt ook voor de verbinding aan de bovenzijde waar de betonnen vloerplaten op de boomstammen zijn opgelegd. Hier is voor de oplegging een staalplaat met veldschroeven in de boomstammen geschroefd om ook hier spanningsconcentraties in het hout te voorkomen. Door fixatie van de bomen met uitsluitend een ingelijmd anker (M24) in het hart van de boomstammen wordt voorkomen dat de bomen ongewenste inklemningsmomenten aantrekken.

Op dit niveau 2 zijn de ondergelegen boomstammen gekoppeld met de bovenliggende boomstammen op niveau 3. Ook hier is gebruikgemaakt van stalen sokkels voor de nastelbaarheid. Aan deze sokkels is in de fabriek ophangwapening gelast met krachtslassen. Samen met de ponswapening zorgen deze voor de krachtsinleiding van de krachten uit de niveau-2-vloer in de boomstammen (fig. 13).

Door inspanningen van het bouwteam voor een zorgvuldige detaillering is een fraai resultaat ontstaan.

Glazen uitkragende arkelerker

Icoon van het project is een uitkragende volledig glazen erker aan de Waalzijde (foto 14). Dit contrastrijke element verwijst naar het oorspronkelijke gemetselde arkeltorentje, een klein uitkragend torentje aan de bovenzijde van de toren. De huidige erker biedt fantastisch zicht op de Waal en wijde omgeving en 's avonds fungeert deze als lichtbaken.

De bezoeker kan de erker vanaf twee niveaus betreden. Het onderste niveau is bereikbaar vanuit de wisselexpositieruimte in het museum. Het bovenste niveau van de erker is een balkon en is toegankelijk vanaf het dakterras.

De uitkraging van de erker uit de metselwerkgevel bedraagt 3,2 m. De erker is 2 m breed en 5,5 m hoog. Daardoor is een

bijzondere, volledig transparante ruimte ontstaan waarin zonder enig probleem meerdere mensen kunnen staan.

De erker is volledig geïsoleerd uitgevoerd met een binnenruit en buitenruit inclusief spouw om koudebruggen en condensvorming op het glas te voorkomen. De glazen wanden bestaan uit een dragende buitenruit 3 × 12 mm dik gehard glas en een binnenruit van enkellaags gehard glas, 12 mm dik. De binnenruit vormt daarmee de thermische schil die tegen de constructief gelaagde buitenruit is geplaatst.

Om de ontwerpambitie van een volledig glazen erker te realiseren, is aandacht besteed aan de ogenschijnlijk minimale verbindingen. De glazen vloeren zijn via een stalen kader gefixeerd aan de glazen wanden met behulp van rozetten. Door deze in het vloerpakket te integreren is de aanwezigheid ervan beperkt. Door een uitgekende detaillering is het gelukt de overige verbindingen aan het zicht te onttrekken met een maximale transparantie als resultaat.

Tot slot

Na een bouwperiode van drie jaar vol verrassingen en onverwachte vondsten, is het museum in mei 2018 opengegaan. Nijmegen is daarmee een boeiend museum rijker waarbij de bezoekers ondergronds 2000 jaar geschiedenis van de oudste stad van Nederland kunnen ervaren en beleven. Nieuwe inventieve bouwtechnieken en ook een intensieve samenwerking hebben het mogelijk gemaakt dit museum te realiseren. Het is zeker een bezoek waard. ☒

PROJECTGEGEVENS

project De Bastei Nijmegen

opdrachtgever gemeente Nijmegen

partners Museum de Stratemakerstoren, Natuurmuseum Nijmegen, Staatsbosbeheer, IVN Rijk van Nijmegen, Rijkswaterstaat Oost-Nederland

gebruikers De Bastei, centrum voor natuur en cultuurhistorie

ontwerp en detaillering van roosmalen van gessel architecten e.p.

bouwkundig tekenwerk De Twee Snoeken

constructeur ABT bv

aannemer Mertens Bouwbedrijf

adviseur installaties-bouwfysica-brandveiligheid DWA

bruto vloeroppervlak ca. 3000 m²

bouwperiode mei 2015 – mei 2018 (met een onderbreking van ruim een halfjaar. In verband met de archeologische vondsten is alles op alles gezet deze te behouden. Ter compensatie is het entreegebouw vergroot. Daarvoor was behalve een nieuw ontwerp ook een nieuw bestemmingsplan nodig)

bouwkosten ca. € 8.500.000,-