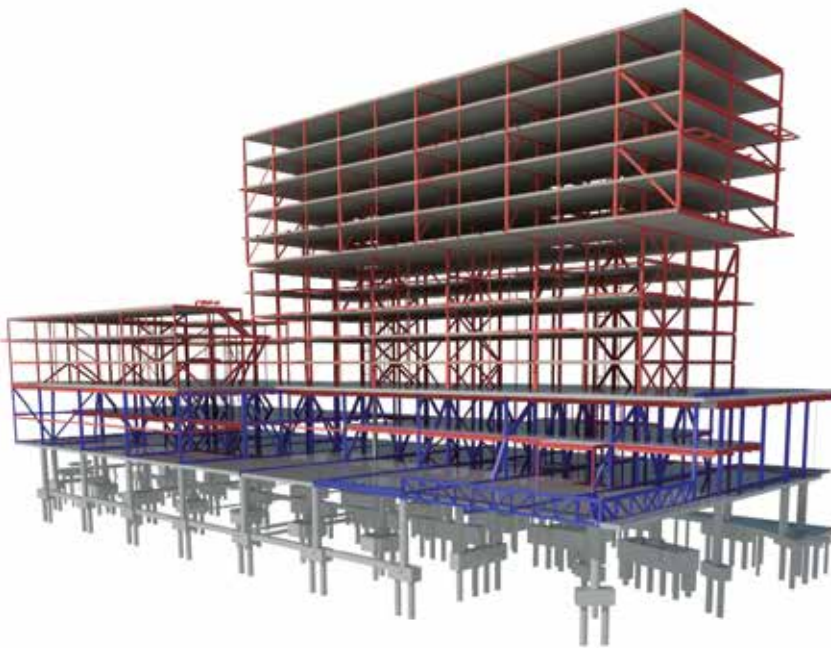


# Dubbel op



**Bij het project Het platform in Utrecht komt alles samen. Openbaar vervoer op maaiveld, fietsers en voetgangers rondom, reuring en trillingen aan belendingen. De al geplande betonnen overgangsconstructie tussen de begane grond en de bovenbouw is herontworpen. Stalen vakwerken zijn toegevoegd voor slankheid en minder gewicht. Doorkijk in een overgangsfase.**

ing. R.J. Stark RO, ing. H.P.P. Zuidwijk RO en ing. B. Oostdam RC

Rob Stark is directeur van IMd Raadgevende Ingenieurs in Rotterdam. Hielke Zuidwijk is raadgevend ingenieur en Bianca Oostdam is projectleider, beiden bij IMd Raadgevende Ingenieurs.

Het Platform in Utrecht is een *MicroCity* boven een bus- en tramgebied met perrons. Vanwege deze functie op maaiveld worden er strenge voorwaarden gesteld aan de kolomindeling. Het oorspronkelijke plan was om hiertoe een zware betonnen tafelconstructie te maken, als overgangsconstructie voor de bovenbouw.

Een belangrijke bijdrage in de haalbaarheid van het project is een constructief herontwerp waarbij deze tafelconstructie is geïntegreerd in de twee commerciële verdiepingen, de 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> verdieping, via vakwerkconstructies. Tussen de vakwerken liggen de vloeren van

de commerciële ruimten en het dek van de tafel zelf. Met een uitgebreide variantenstudie van stramienmaten en vloertypes van de appartementen die op de vakwerken worden geplaatst, heeft dit uiteindelijk tot een functioneel en financieel optimale constructie geleid.

## Opgave en tenderfase

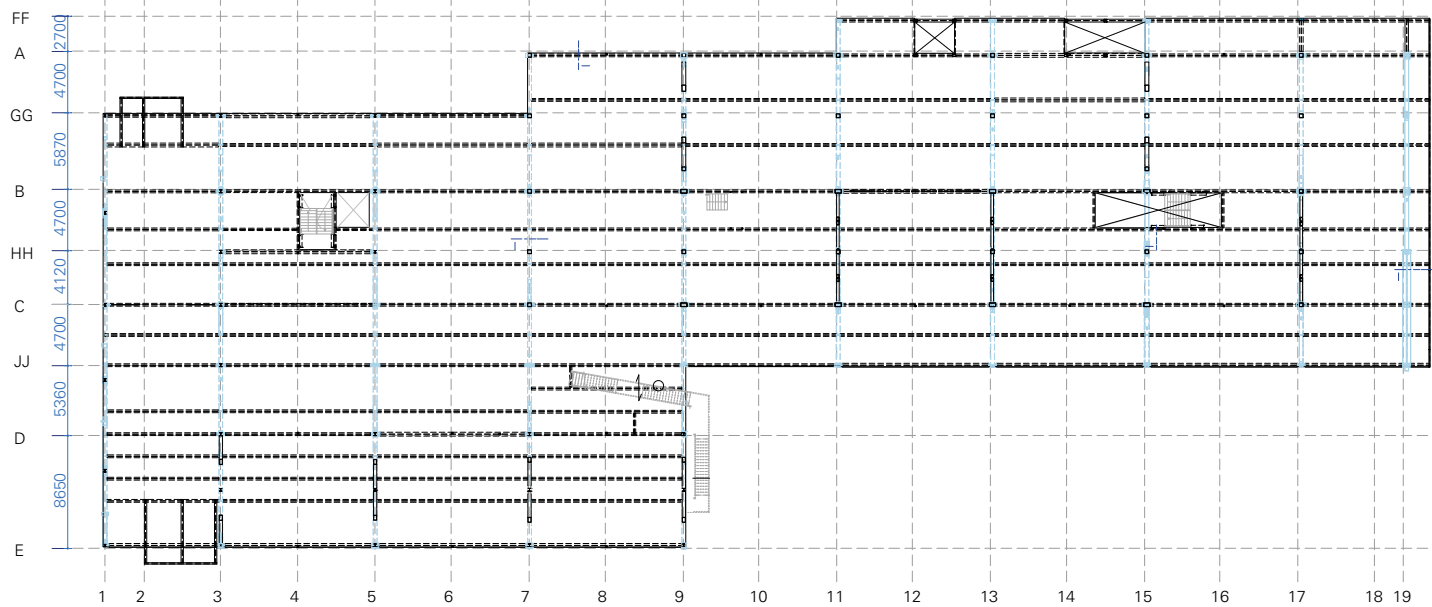
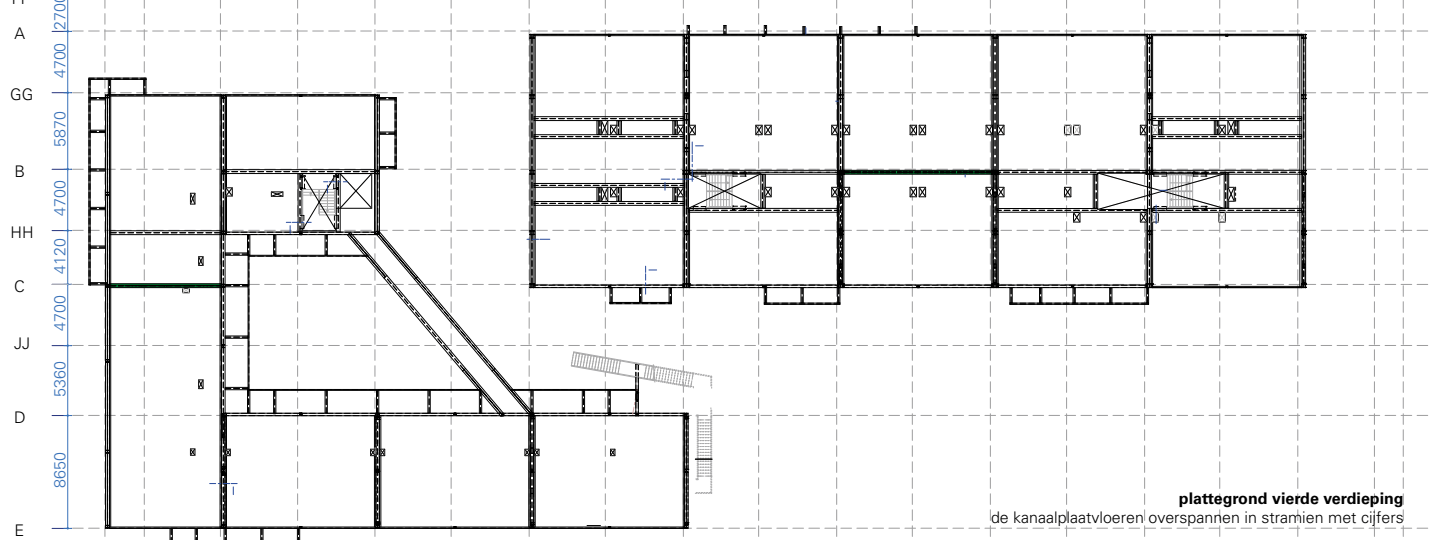
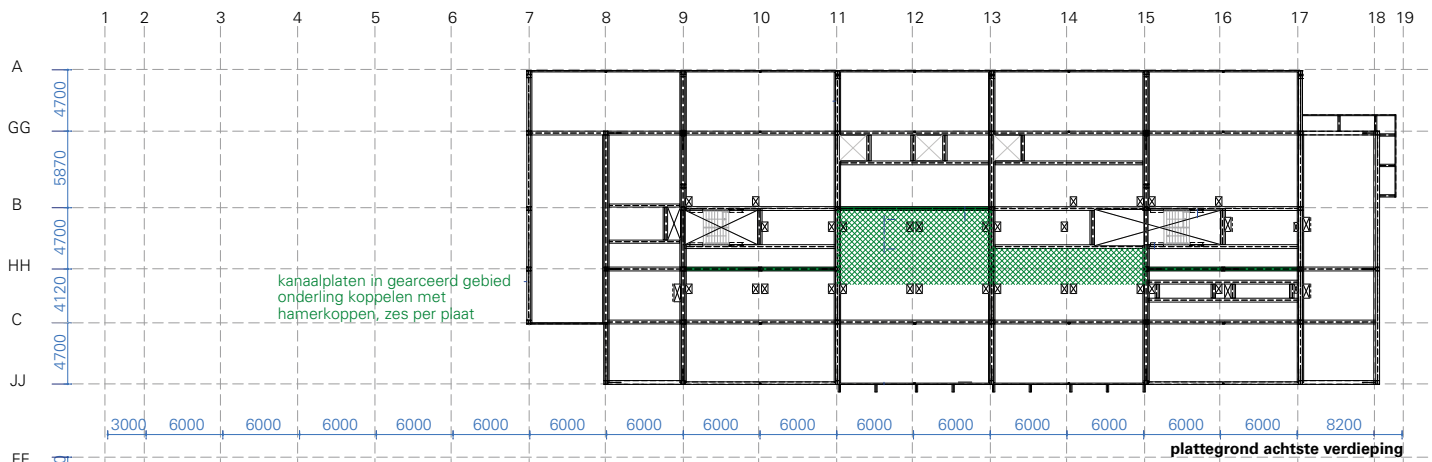
Het uiteindelijke, definitieve (constructief) ontwerp van de tafelconstructie is tijdens de tenderfase ontstaan. Voor deze fase werd een ander, eerder constructief ontwerp door de gemeente Utrecht meegegeven. De tafelconstructie uit dit oorspronkelijk ontwerp was op

dat moment al in opdracht gegeven aan aannemer BAM. Dit plan voorzag in een betonconstructie opgebouwd uit een raster van balken met een hart-op-hart afstand van 7,2 m en betonvloeren van 300 mm dik. De totale constructiehoogte van deze 1<sup>e</sup> verdiepingvloer was daarmee 1,5 m dik gedragen door kolommen met een diameter van maximaal 1100 mm. Aan de posities van de kolommen op maaiveld werden strikte voorwaarden gesteld: uitsluitend in het midden van de perrons en naast de tramsporen. Aan de zuidwestzijde (stationskant) gaan de sporen over in een bocht. De kolomindeling wordt hiermee mede bepaald door de vereiste zichtlijnen voor trambestuurders. In de langsrichting van het gebouw was de kolomafstand 7,2 m en in de dwarsrichting varieerde de hart-op-hart-afstand, afhankelijk van de perronafstand en zichtlijnen.

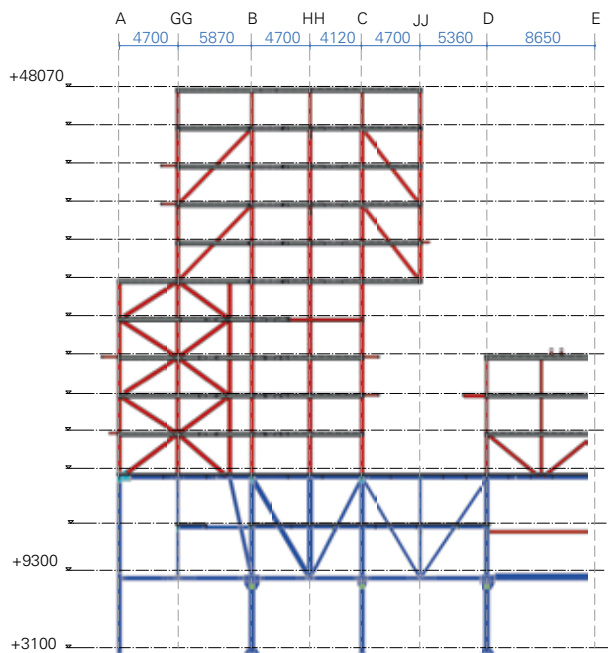
In de tenderfase is naar geoptimaliseerde alternatieven gezocht. Reden was met name dat het te realiseren programma niet goed af te stemmen was op de stramienmaat van 7,2 m vanuit de tafelconstructie. Daarnaast was het doel onderscheid te maken (met andere aanbieders) door een goedkoper en duurzamer gebouw.

Daartoe is uiteindelijk een alternatief ontwerp van de onderbouw gemaakt met een stramienmaat van 12 m, die goed aansluit op het programma van de bovenbouw en goed was in te passen in het onderliggende OV-knooppunt. Door per stramien een stalen vakwerkconstructie toe te passen kon op bouwhoogte en materiaal worden bespaard. Deze spanten dragen niet alleen de bovenliggende constructie, maar vervangen ook de 1,5 m dikke betonnen tafel. De hoogte van de spanten is de totale hoogte van de 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> verdieping samen. Voor de eerste verdiepingvloer, het plafond van het bus- en tramgebied, is een breedplaatvloer van 400 mm dik toegepast met gewichtsbesparende elementen. Voordelen van de nieuwe opzet zijn als volgt.

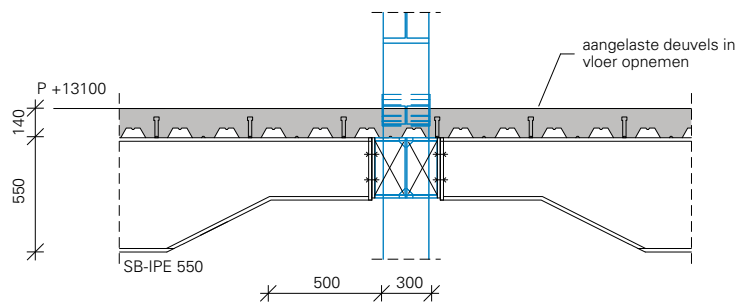
- Reductie aantal kolommen op maaiveld.
- Reductie totale constructiehoogte van de 1<sup>e</sup> verdiepingvloer met 900 mm.
- Reductie gebouwhoogte, en daarmee bouw-tijd en -kosten.
- Reductie materiaalgebruik.



de staalplaat-betonvloeren overspannen in stramien met letters

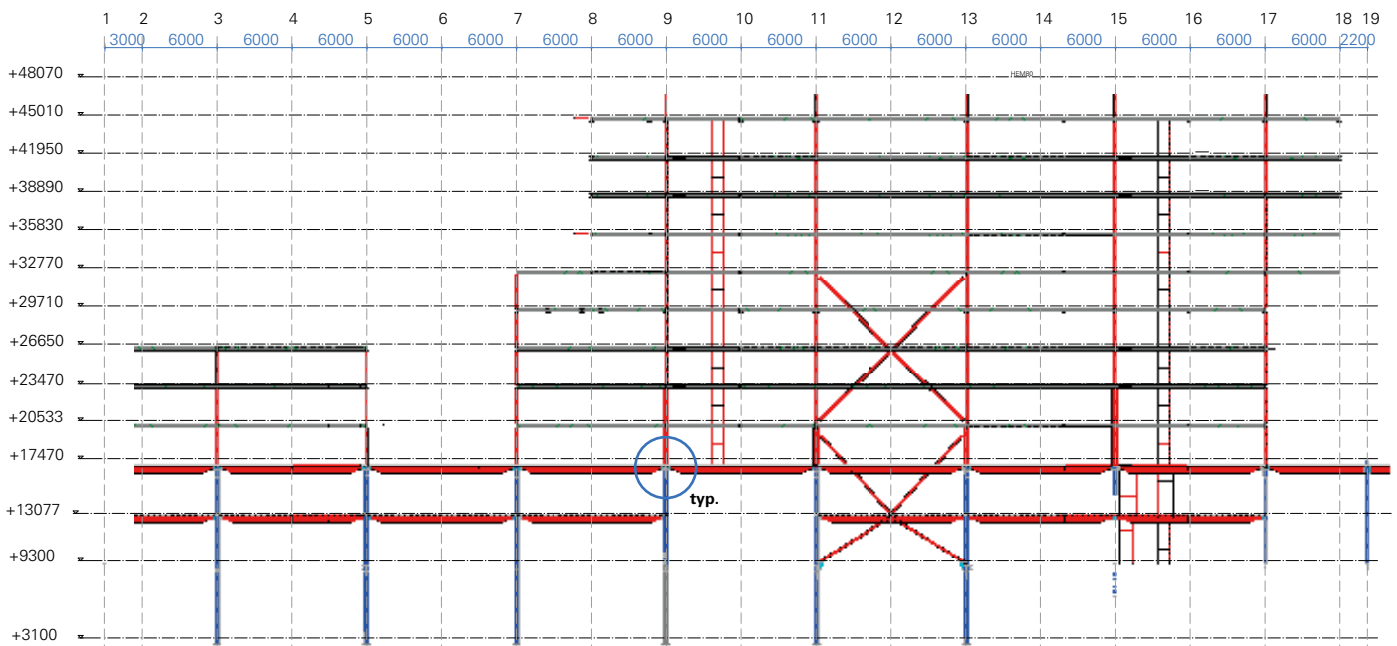


**doorsnede as 9**  
 blauw: staal van de tafelconstructie (BAM/Buiting)  
 rood: constructie van de bovenbouw (Bouw21/Hutten Metaal)



**typische aansluiting**  
 kolom-ligger/staalplaat-betonvloer

De spanten van de tafelconstructie zijn uitgelegd op een stramienmaat van 12 m met een constructieve hoogte van twee verdiepingen.



Op de twee lagen van de onderbouw zijn commerciële ruimtes geprojecteerd waarin zoveel mogelijk vrije indeelbare ruimte wordt beoogd.

**doorsnede as B**

- Reductie diameters kolommen op maaiveld van 1100 mm naar 800 mm, door de wijziging van betonkolommen naar staal-beton kolommen. Dit komt de functionaliteit en veiligheid op de perrons ten goede.

Het voorstel van de aangepaste geïntegreerde tafelconstructie was dan ook een belangrijke factor in het winnen van de tender.

### Constructief ontwerp onderbouw

De spanten van de tafelconstructie zijn, zoals hiervoor omschreven, uitgelegd op een stramienmaat van 12 m met een constructieve hoogte van de twee verdiepingen.

Op de twee lagen van de onderbouw zijn commerciële ruimtes geprojecteerd waarin zoveel mogelijk vrije indeelbare ruimte wordt beoogd. Naast de afstemming met de kolomposities in het OV-knooppunt, is de stramienmaat van 12 m gekozen om aan deze wens tegemoet te komen. De 12 m is eveneens een optimale overspanning van de kanaalplaatvloeren in de bovenbouw. Doordat de spanten zijn uitgevoerd als vakwerkconstructies zijn in deze ruimten om de 12 m diagonale constructieve elementen aanwezig. Deze zijn echter zo in het ontwerp opgenomen, dat het de functionaliteit van de commerciële ruimten op beide verdiepingen zo min mogelijk beperkt. Daar waar de diagonalen niet passen in de functie van de ruimte, zijn aanvullende voorzieningen getroffen. Zo zijn bijvoorbeeld enkele diagonalen naar de bovenliggende verdiepingen geplaatst. De totale constructiehoogte van de vakwerken is  $\pm 7,5$  m. Dit geeft een gunstige verhouding voor de overspanningslengte van maximaal 10,5 m.

Aan de oostzijde, waar de tram het perron verlaat, is een duidelijke afwijking van de kolomindeling te zien. Deze werd bepaald door de zichtlijnen van de trambestuurders bij het verlaten van het station. De vormgeving van de spanten is aangepast aan deze afwijkende kolomposities. Dit was goed mogelijk zonder afbreuk te doen aan het constructieve principe van de geïntegreerde tafelconstructie. De staal-beton kolommen van de onderbouw staan op betonnen poeren met grondverdringende schroefpalen. De palen zijn geluids- en trillingsarm aangebracht met een stalen boor-

buis en een verloren boorpunt (maximaal paal draagvermogen 4400 kN).

In de lengterichting van gebouw is op maaiveldniveau een betonwand aangebracht die aansluit op de hellingbaan van de naastliggende panden. Deze wand, die zorgt voor de langstabiliteit, is gepositioneerd langs de busbaan en voorzien van sparingen.

De hoofddraagconstructie van de onderbouw is ontworpen op een brandwerendheid tegen bezwijken van 120 minuten. De staal-beton kolommen onder de tafelconstructie zijn uitgevoerd als stalen HD-kolommen die met beton zijn omstort en daarmee voldoen aan de brandwerendheidsis. Voor de vloer van de 1<sup>e</sup> verdieping is onder andere een verhoogde dekking op de wapening toegepast. De stalen spantconstructies zijn 120 minuten brandwerend bekleed met plaatmateriaal.

De 2<sup>e</sup> en 3<sup>e</sup> verdiepingvloer liggen tussen de vakwerkconstructies. In de commerciële ruimten zijn meer voorzieningen voor installaties nodig dan bij de bovenliggende woningen. Daarnaast is het gewenst de vloer aan te passen, zoals bijvoorbeeld voor trapsparingen. Daarom zijn deze vloeren uitgevoerd als staalplaat-betonvloeren. De secundaire liggers die deze vloeren afdragen naar de vakwerken, zijn uitgevoerd uit staal-beton die om en om zijn bekleed met een brandwerende beplating. Dit omdat de vloer in een brandsituatie in staat is een dubbele overspanning via membraamwerking te dragen. Om dit te kunnen aantonen, is gebruik gemaakt van het in Europees verband ontwikkelde programma MACS+.

### Constructief ontwerp bovenbouw

Op de tafelconstructie staan twee woningbouw delen. Een laagbouw met zes bouwlagen en een hoogbouw met twaalf bouwlagen. Binnen het stramien van 12 m komen twee woningen.

Voor de tafelconstructie en fundering is het gunstig om een zo licht mogelijke opbouw te realiseren. Elke ton aan materiaal dat in de opbouw wordt toegepast moet worden opgevangen door de vakwerken, de kolommen onder de vakwerken en uiteindelijk door de fundering.

Na het bestuderen van diverse varianten voor de hoofddraagconstructie blijkt een staalcon-

structie met kanaalplaatvloeren de beste optie te zijn. Een maat van 12 m bleek de maximale overspanning voor de vloeren bij de gegeven belastingen en brandwerendheidsis. Dit is, in combinatie met een optimale kolomindeling, bepalend geweest voor de stramienmaat van de spanten.

De brandwerendheid van de stalen hoofddraagconstructie van de opbouw wordt, net als de onderbouw, verkregen door omkleding. Door de overspanning van de vloeren te beperken en geen gebruik te maken van een constructieve druklaag, was het niet nodig de onderzijde te behandelen met een brandwerende coating, wat een aanzienlijke besparing heeft opgeleverd. De verticale constructie-elementen zijn weggewerkt in de woningscheidende wanden. De kolommen en diagonalen zijn in deze woningscheidende wanden dan ook 'automatisch' beschermd tegen brand. De stalen liggers zijn geïntegreerde liggers waarbij de onderflens bekleed is om aan de brandwerendheidsis te voldoen.

De afmetingen van de hoofddraagconstructie zijn beperkt tot een maximale constructiehoogte van 320 mm van de vloeren, inclusief liggers. De maximale breedte van de kolommen en diagonalen is 300 mm. Door deze maten te limiteren kon de verdiepinghoogte en dikte van de woningscheidende wanden worden beperkt. Met tot gevolg dat er meer vierkante meters beschikbaar zijn voor het gebruiksoppervlak.

Rondom de bouw delen worden er balkons, galerijen en plantenbakken aan de randliggers opgehangen met uitkragende stalen liggers. Om deze elementen uitsluitend met enkele uitkragende liggers op te kunnen vangen, dient het gewicht van deze elementen beperkt te worden. Er is hier gekozen voor houten vloeren in de balkons en galerijen.

### Stabiliteit

De stabiliteit van het gebouw wordt tot aan de 1<sup>e</sup> verdiepingvloer, de tafelvloer, verzorgd door verticale windverbanden in combinatie met horizontale vloerschijven. Bij de 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> verdieping verzorgt de staalplaat-betonvloer de schijfwerking. Op de kanaalplaatvloeren van de verdiepingen daarboven is geen druk-laag toegepast om gewicht te besparen, wel is een dunne afwerk vloer toegepast. De

schijfwerking wordt hier verkregen door de kanaalplaatvloeren, waar nodig, onderling te koppelen en te verbinden (omsluiten) met de randliggers.

Voor de verticale stabiliteit is gebruik gemaakt van enkele windverbanden in de woningscheidende wanden. Deze windverbanden dragen hun krachten af naar de onderliggende vakwerken in de tafelconstructie. In de lengterichting van het gebouw zijn op strategische plaatsen windverbanden toegepast die 12 m tussen de spanten overspannen. De stabiliteit van de tafelconstructie wordt in de dwarsrichting verzorgd door de kolommen in te klemmen in de vakwerkconstructie. In de lengterichting van het gebouw is, aan de noordzijde, een betonnen wand ontworpen die de krachten afdraagt naar de fundering. Doordat deze wand aan de zijkant van de plattegrond is gepositioneerd werken de ingeklemde kolommen in deze richting ook mee om de krachten uit het torsiemoment op te vangen. Het stabiliteitssysteem van de bovenste verdieping wijkt af. Stabiliteit is hier verkregen via portaalwerking tussen liggers en kolommen. Dit om grotere vrij indeelbare ruimten te kunnen maken voor de penthouses.

### Robuustheidsanalyse

De tafelconstructie is ontworpen in gevolgklasse CC3. Daarom is het verplicht om een door derden uit te voeren constructieve toets uit te laten voeren.

Het Uitvoeringsgereed Ontwerp, de detail-engineering en realisatie is uitgevoerd door uitvoerder BAM. BAM Advies & Engineering heeft het constructieve ontwerp getoetst en verder uitgewerkt. Bij de verdere engineering is nauw samengewerkt tussen IMd en BAM voor een robuust en constructief veilig ontwerp. Een voorbeeld hiervan is dat beide partijen een gewichts- en stabiliteitsberekening hebben gemaakt van de tafelconstructie met de volledige opbouw. De reactiekrachten en staafkrachten in de spanten zijn uitgewisseld en met elkaar vergeleken en gecontroleerd. Een gevoeligheidsanalyse (tweede draagweg) is gemaakt bij het wegvallen van enkele belangrijke constructieve onderdelen. Zo zijn er sterkteberekeningen gemaakt wanneer een kolom of een diagonaal in een van de bouwdeelen bezwijkt. Er is gezorgd voor voldoende

mogelijkheden tot het vormen van een tweede draagweg. Niet alleen door horizontale en verticale trekelementen, maar ook door bepaalde elementen over te dimensioneren. Bij de hoogbouw, die vanaf de 8<sup>e</sup> verdieping in twee richtingen ruim 6 m uitsteekt, zijn de uitkragingen bijvoorbeeld gerealiseerd door de vloeren met diagonale staalstrippen op te hangen aan de bovenliggende vloeren. Voor robuustheid zijn deze strippen eveneens zodanig ontworpen dat er altijd één kan bezwijken, door een willekeurige oorzaak. In het bus- en tramplatform zijn de kolommen berekend op een aanrijdbelasting door een bus of tram.

### integraal ontwerp

Constructie, architectuur, installatietechniek en bouwfysica zijn zorgvuldig afgestemd om de beschikbare ruimte optimaal te benutten. Zo zijn bijvoorbeeld de verticale installatieschachten al in een vroeg stadium van het ontwerp vastgelegd. De grote en positie zijn afgestemd op de vloercapaciteit zodat er beperkte extra stalen liggers als ravelingen nodig waren.

In de VO-fase zijn ook enkele details uitvoerig doorgenomen en afgestemd tussen de verschillende disciplines. Bijvoorbeeld de benodigde ruimte voor brandwerende bekleding en de bevestiging van de balkons. Door bijtijds met de ontwerppartners na te denken en van elke partij de randvoorwaarden vast te leggen, zijn optimale details verkregen.

Ook is aandacht uitgegaan naar andere (externe) factoren. Met name trillingen door het vervoer rondom en onder het gebouw zijn uitvoerig beschouwd. Buro Peutz heeft nauwkeurige studies gemaakt van het gedrag van de constructie en meerdere modellen onderzocht voor de voorspellingen van het gedrag door trillingen.

Enerzijds is in het ontwerp gewicht bespaard en anderzijds is er nog voldoende massa tegen hinderlijke trillingen. Tijdens de ontwerpfase maar ook in de uitvoeringsfase is het totale gewicht per verdieping gemonitord. Het toelaatbare gewicht van de plantenbakken is, net als het gewicht van de daktuinen, zorgvuldig afgestemd tussen landschapsarchitect, gebouwarchitect en constructeur. Ook voor deze onderdelen geldt dat het

maximale gewicht nauwkeurig moet worden gemonitord. De opbouw van daktuinen en plantenbakken dienen echter wel voldoende te zijn om er de gewenste bomen en planten goed in te kunnen laten groeien. Deze balans is voor elke situatie opnieuw beoordeeld en afgewogen.

### Tijdelijke constructies

Vanwege de locatie van het project, midden in de binnenstad van Utrecht, is er zeer weinig ruimte rondom het bouwterrein. Veel materiaal moet daarom in het gebouw opgeslagen worden en is er buiten de tafelconstructie nauwelijks plaats voor materieel. Zo zijn er ketens en talloze steigers maar ook twee kranen op de tafelconstructie geplaatst. Voor het tijdelijk, inpandige bouwterrein zijn uitvoerige werkplannen gemaakt, en afgestemd tussen constructeur en aannemer. Door slim om te gaan met de berekende capaciteit van de constructie zijn locaties binnen het project aangemerkt om materieel op te kunnen plaatsen. Tijdens de bouwfase is bijvoorbeeld nog niet de volledige ingecalculerde vloerbelasting van de daktuinen aanwezig. Door deze gebieden te gebruiken voor de ketens en de steigers waren er weinig extra voorzieningen noodzakelijk om de betreffende onderdelen te kunnen plaatsen.

Doordat de daktuin op de eerste verdieping in de bouwfase al is belast met steigers en ketens, was hier geen ruimte beschikbaar in de capaciteit van de vloer om ook materiaal op te kunnen slaan. Deze materialen zijn daardoor tijdelijk op de vloeren van de commerciële ruimten geplaatst.

Voor de 50 m hoge kranen is een stalen fundatie ontworpen als overgangsconstructie waarmee de redelijk hoge krachten kunnen worden afgedragen naar de onderliggende staal-beton kolommen. Deze fundatie is zo uitgevoerd dat hiervoor geen extra voorzieningen aan de tafelconstructie nodig waren. De fundatie is eenvoudigweg op de tafel geplaatst en wanneer de kranen niet meer nodig zijn, kan deze ook evenzo eenvoudig worden verwijderd. •



*Er is gezorgd voor voldoende mogelijkheden tot het vormen van een tweede draagweg.*



*Constructie, architectuur, installatietechniek en bouwfysica zijn zorgvuldig afgestemd om de beschikbare ruimte optimaal te benutten.*