ONTWERPBOEK VOOR ARCHITECTEN

VERDIEPINGBOUW MET STAAL

bouwen met staal

samensteller W.H. Verburg
eindredactie C.H. van Eldik
vormgeving E.J.W. Sandifort
druk VDA-groep

Postbus 190
2700 AD Zoetermeer
tel. +31(0)79 353 12 77
fax +31(0)79 353 12 78
e-mail info@bouwenmetstaal.nl
internet www.bouwenmetstaal.nl

ISBN 90-72830-00-8
© Bouwen met Staal, 2005

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand en/of openbaar gemaakt – in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier – zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Aan de totstandkoming van deze publicatie is de uiterste zorg besteed. Desondanks zijn eventuele (druk)fouten niet uit te sluiten. De uitgever sluit, mede namens al degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, elke aansprakelijkheid uit voor directe en indirecte schade, ontstaan door of verband houdende met de toepassing van deze publicatie.

TEN GELEIDE

Verdiepinggebouwen met een staalskelet zijn in Nederland inmiddels een vertrouwd beeld geworden. De afgelopen tien jaar heeft het bouwen met staal voor utiliteitsgebouwen van twee tot zes bouwlagen zelfs een grote vlucht genomen.
De keuze van de draagconstructie voor een verdiepinggebouw maakt steeds vaker deel uit van een afwegingsproces, waarbij naast de materialen en de technieken voor de constructies ook bijvoorbeeld de afbouw, de installaties en de toekomstige flexibiliteit zijn betrokken. Voor een dergelijke integrale ontwerpaanpak is, zeker voor grootschalige projecten, een compleet ontwerpteam nodig van opdrachtgever, architect, constructeur, bouwfysicus, installateur en bouwer. Bij veel van deze partijen ontbreekt het nog vaak aan actuele kennis om in staal te kunnen ontwerpen en te bouwen.
Dit boek is vooral bedoeld om de kennis toegankelijk te maken die in de Nederlandse praktijk is opgedaan met staalskeletbouw. Deze informatie kunnen architecten en constructeurs gebruiken in hun dagelijkse ontwerppraktijk. Ze krijgen zo ook een beter inzicht in de technische en financiële consequenties van hun keuze voor staal.

Het eerste deel van dit boek gaat in op de belangrijkste ontwerpaspecten die samenhangen met het toepassen van een staalconstructie, zoals de keuze van de vloerconstructie, detailleren, brandveiligheid, conserveren en duurzaam bouwen. De twee bijlagen verschaffen beknopte informatie over de verschillende staalsoorten en op welke wijze een staalconstructie wordt gefabriceerd.
In het tweede deel van dit boek worden dertien recente Nederlandse projecten met een staalconstructie beschreven. Van elk project licht de ontwerper, via een interview, toe welke overwegingen en argumenten hebben geleid tot de keuze voor een staalskelet. De gekozen projecten geven een representatief beeld van projecten waarin de staalconstructie een rol speelde in het architectonische en/of bouwkundige ontwerp.

De eerste ideeën en de opzet van het boek kwamen tot stand door inbreng van de volgende architecten:

P.N.M. Blonk	Erick van Egeraat associated architects
mw. S. van den Brink	Architectenbureau ir. Marlies Rohmer
D.D. de Gunst	Hans van Heeswijk architect
R.A.J. van Houten	Cepezed
E. Keijzer	Dynamo Architecten
E.M. Kolpa	Lofvers van Bergen Kolpa Architecten
H. Kooij	Atelier Bouwkunde Rotterdam
M. Prins	Studio Seven
R. Top	Zwarts & Jansma Architecten
M.J. Verburg	Verburg Hoogendijk Architecten
P.J. Walraad	EGM Architecten
mw. A. Willemen	De Architecten Cie

De conceptteksten voor de acht hoofdstukken en de twee bijlagen zijn samengesteld door W.H. Verburg (Adviesbureau voor Bouwmarketing) en bewerkt door I. ter Borch (Archispecials.com). De teksten van de voorbeeldprojecten, inclusief interviews met de ontwerpers, zijn geschreven door K. Peterse (Pansa Bouwjournalistiek). De eindredactie van het gehele boek berustte bij C.H. van Eldik (Bouwen met Staal).
De ontwikkeling en uitgave van het boek is mede mogelijk gemaakt dankzij een financiële bijdrage van Arcelor Sections en van Peine Träger.

Zoetermeer
februari 2005

VOORWOORD

Elk bouwmateriaal heeft zo zijn eigen charme en je vindt allerlei associaties bij belangrijke materialen terug in ons dagelijks spraakgebruik. Denk daarbij aan uitdrukkingen zoals ‘Wie is van hout?’ en ‘Een man van staal’ tot in de verslagen van de Tweede Kamer toe, waar een fractievoorzitter recent verklaarde dat ‘de minister van Binnenlandse Zaken soms wat betonnerig overkomt …’.

Naast de toegepaste mechanica behoorde de studie van de materialen hout, staal en beton lange tijd tot de verplichte vakonderdelen in de Delftse architectuuropleiding. Tijdens mijn eigen studietijd in de zeventiger jaren van de vorige eeuw was die verplichting voor alle drie materialen al vervallen; je hoefde er nog maar één te volgen en ik koos voor staal. Eenvoudige berekeningen rond stijfheid, sterkte en dimensionering, naast de detaillering van stalen kolommen en liggers, waren het tastbare resultaat. De opgedane kennis hielp me bij het zelf berekenen en tekenen van ondersteunende staalconstructies binnen de bescheiden verbouwingen die ik in de eerste jaren van mijn architectenpraktijk mocht ontwerpen.

Pas bij mijn eerste grote nieuwbouwproject, de 11.000 m^2 grote uitbreiding van het ministerie van Verkeer & Waterstaat in Den Haag, maakte ik aan den lijve kennis met het construeren als apart specialisme. Mijn ontwerpideeën werden door adviseur Ger van Went voorzien van constructieve en bouwtechnische suggesties, waarbij van mij als architect én voorzitter van het ontwerpteam telkens keuzes werden verwacht. De opgedane ervaring – samen met de inmiddels ontwikkelde gevoeligheid voor het krachtenspel, vooral beïnvloed door de onnavolgbare lessen van Dick Dicke, de toenmalige hoogleraar Toegepaste Mechanica – maakten dat die keuzes ook verantwoord tot stand kwamen.

Daarom is het juist nu – in een periode dat ‘verdieping’ van de technische vakken in het hoger beroepsonderwijs en aan de universiteit onder druk staat – zo nuttig dat Bouwen met Staal deze publicatie heeft uitgegeven. Dit boek biedt architecten en andere bouwkundigen (en diegenen die daartoe worden opgeleid) een bijkans compleet overzicht van alle aspecten die bij verdiepingbouw in staal aan de orde komen, geïllustreerd aan de hand van eigentijdse en hoogwaardige architectonische voorbeelden.

Als voorzitter van de Bond van Nederlandse Architecten (BNA) ben ik uiteraard opgetogen over het hoofdstuk Duurzaam bouwen, waarin ons standpunt over vitale architectuur zo uitgebreid de aandacht krijgt. Het is inderdaad van wezenlijk belang dat, na een periode waarin het thema ‘architectonische kwaliteit’ vooral werd gekenmerkt door de gebruikswaarde en de culturele waarde, nu ook de toekomstwaarde van gebouwen meer aandacht krijgt. De mogelijkheden van staal zijn wat dat betreft groot, tot aan de uiteindelijke demontage van gebouwen toe.

Dat de Nederlandse staalbouw een uitstekende naam heeft in het buitenland, mocht ik nog kortgeleden ervaren bij een bezoek aan het spectaculaire 180 m hoge kantoorgebouw voor SwissRe in hartje Londen (naar ontwerp van architectenbureau Foster and Partners). Toen de projectleider daar hoorde dat wij uit Nederland kwamen, kon hij niet nalaten te vertellen dat ‘zonder de hoge graad van perfectie in productiekwaliteit, toleranties en just-in-time logistiek van de Hollandse staalbouwer het gebouw nooit op tijd gereed was gekomen …’.

Nu ontstaat ook architectonische kwaliteit natuurlijk zelden door toeval; het is immer het resultaat van een proces dat naast inventiviteit en vakkennis veel energie en liefde vraagt. En dat is wat mij betreft tevens te zien aan dit bijzondere boek, waarmee ik u dan ook veel studie- en leesgenoegen toewens!

ir. Kees van der Hoeven
voorzitter Bond van Nederlandse Architecten

VOORWOORD 5

1 VERDIEPINGBOUW 10

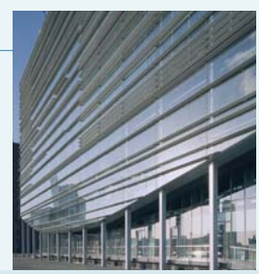
1.1 **Staalskeletbouw in Nederland** 11
1.2 **Kiezen voor een staalskelet** 12
1.2.1 Tijdwinst bij de bouwvoorbereiding 12
1.2.2 Tijdwinst bij de uitvoering 13
1.2.3 Tijdwinst door weersonafhankelijkheid 13
1.2.4 Gewichtsbesparing 13
1.2.5 Functiescheiding 14
1.2.6 Duurzaamheid en flexibiliteit 14
1.2.7 Bijzondere constructieve mogelijkheden 15
1.3 **Kiezen met de juiste argumenten** 15
1.3.1 Kosten 15
1.3.2 Brandveiligheid 16
1.3.3 Bouwfysisch gedrag 17

2 DRAAGCONSTRUCTIE 18

2.1 **Keuze van het vloersysteem** 19
2.2 **Vloerconstructie** 20
2.2.1 Kanaalplaatvloeren 22
2.2.2 Hoge staalplaat-betonvloeren 26
2.2.3 Lage staalplaat-betonvloeren 29
2.2.4 Infra+-vloeren 34
2.3 **Kolommen** 35
2.3.1 Brandwerendheid 35
2.4 **Stabiliteitsconstructie** 36
2.5 **Ontwikkelingen** 36
2.5.1 Staalframevloeren 36
2.5.2 Additiv Decke 38
2.5.3 Staggered-trusssysteem 38

3 GEVEL 40

3.1 **Vliesgevel** 41
3.2 **Sandwichpanelen** 44
3.3 **Plaatmateriaal** 46
3.4 **Metselwerk** 48
3.5 **Prefab beton** 50



4 DETAILLEREN 52

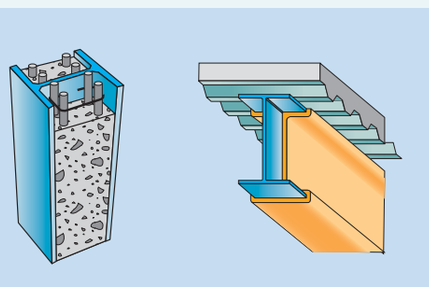
4.1 **Wie ontwerpt de constructiedetails?** 53
4.1.1 Wel of geen principedetails? 53
4.2 **Detailleren van een staalconstructie** 54
4.2.1 Bepaal het ontwerpprincipe 54
4.2.2 Bepaal welke details relevant zijn 54
4.2.3 Beperk het aantal afwijkende details 56
4.2.4 Stem de detaillering af op de klimaatklasse 56
4.2.5 Houd rekening met toleranties 57
4.2.6 Houd rekening met de fabricage 58
4.2.7 Beperk het aantal bouttypen en plaatdikten 58
4.2.8 Houd rekening met de montage 60
4.3 **Kwaliteitsbeheersing en communicatie** 61

5 BOUWFYSICA 62

5.1 **Integraal ontwerpen** 63
5.1.1 Comfortabel klimaat versus duurzaamheid 63
5.1.2 Integraal ontwerpen 63
5.1.3 Integraal gebouw- en installatieconcept 63
5.2 **Staalskeletbouw en intergraal concept** 64
5.2.1 Geluidisolatie 64
5.2.2 Relatie massa en energieverbruik 67
5.2.3 Trillingen 68
5.3 **Praktijkvoorbeelden** 68
5.3.1 Kantoorgebouw Cepezed, Delft 68
5.3.2 Centre for Human Drug Research, Leiden 70
5.3.3 Kantoorgebouw Columbus, Schiphol 71
5.3.4 Kantoorgebouw Kennemerplein, Haarlem 72
5.3.5 Kantoorgebouw ING, Amsterdam 73
5.3.6 InHolland Hogeschool, Rotterdam 74
5.3.7 Albus Grand Hotel, Amsterdam 75

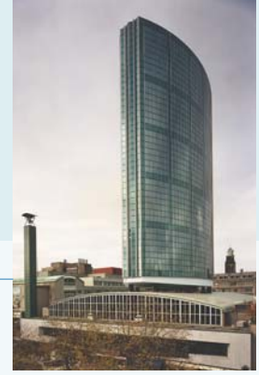
6 BRANDVEILIGHEID 76

6.1 **Prestatie-eisen Bouwbesluit** 77
6.1.1 Woongebouwen 78
6.1.2 Utiliteitsgebouwen 78
6.1.3 Reductie van de eisen 79
6.2 **Brand en gedrag van staal bij brand** 79
6.2.1 Staal als constructiemateriaal 80
6.2.2 Staal als afbouwmateriaal 80
6.3 **Brandveilige oplossingen** 80
6.3.1 Vroegtijdige blussing 80
6.3.2 Bouwkundige maatregelen 80
6.4 **Projecten en gekozen oplossingen** 83
6.4.1 Woongebouwen 83
6.4.2 Logiesgebouwen 84
6.4.3 Onderwijsgebouwen 84
6.4.4 Gebouwen voor de gezondheidszorg 86
6.4.5 Kantoorgebouwen 86
6.4.6 Industriegebouwen 88



7 CONSERVEREN 90

7.1 **Verf en verfsystemen** 92
7.1.1 Wat is verf 92
7.1.2 Verfsoorten 92
7.1.3 Ondergrond 94
7.1.4 Applicatiemethoden 96
7.1.5 Wel of niet verven? 97
7.1.6 Keuze van het verfsysteem 98
7.2 **Thermisch verzinken** 100
7.3 **Conserveringsbestek** 101
7.4 **Garanties** 101



8 DUURZAAM BOUWEN 102

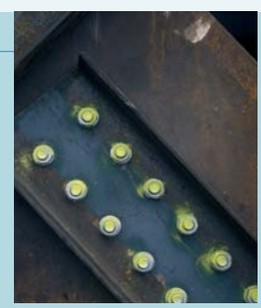
8.1 **Ruimte in de tijd** 103
8.1.1 Gebruik het huidige gebouw en kies niet voor nieuwbouw 103
8.1.2 Gebruik een gebouw tijdelijk 104
8.1.3 Gebruik een tijdelijk gebouw 104
8.1.4 Geef de gebruiker goede documentatie 105
8.2 **Tijd in de ruimte** 107
8.2.1 Waarborg flexibiliteit 107
8.2.2 Geef gebouwen overmaat 107
8.2.3 Maak demontage op systeem- en componentniveau mogelijk 107
8.2.4 Bevorder prefabricage 108
8.3 **Tijd en ruimte** 108
8.3.1 Ontwerp geïntegreerd 108
8.3.2 Stimuleer innovatie 108
8.3.3 Leer systematisch 108

A STAALSOORTEN 110

A.1 **Naamgeving** 111
A.2 **Staalsoorten** 111
A.2.1 Constructiestaal 111
A.2.2 Gietstaal 112
A.2.3 Roestvast staal 112
A.2.4 Weervast staal 113
A.2.5 Gietijzer 114
A.3 **Eigenschappen** 114
A.3.1 Mechanische eigenschappen 114
A.3.2 Productietechnische eigenschappen 114
A.3.3 Fysische eigenschappen 115
A.3.4 Chemische eigenschappen 116
A.4 **Kiezen** 116
A.5 **Besteksomschrijving** 117

B FABRICAGE 118

B.1 **Van constructief ontwerp naar werktekening** 119
B.2 **Technieken voor bewerken en vervormen** 121
B.3 **Van plaat tot ligger of kolom** 121
B.3.1 Coderen 121
B.3.2 Platen snijden 121
B.3.3 Voorbewerken lasnaad 121
B.3.4 Rolbuigen 121
B.3.5 Zetten 121
B.3.6 Samenbouwen en aflassen 122
B.3.7 Afwerken en conserveren 122
B.4 **Van walsprofiel tot ligger of kolom** 122
B.4.1 Ravelen 123
B.4.2 Buigwalsen 124
B.4.3 Montage 124
B.5 **Van buis tot kolom of vakwerk** 124
B.5.1 Verbindingen aan buizen 125



C VOORBEELDPROJECTEN 126

Kantoorgebouw Hobone, Veenendaal 128

Kantoorgebouw Columbus, Schiphol 134

Kantoorgebouw Da Vinci, Zwolle 140

Kantoorgebouw Total Support, Eindhoven 146

Kantoorgebouw ING, Amsterdam 152

Kantoorgebouw Kennedy-toren, Eindhoven 158

Bestuursgebouw De Lens, Nieuwegein 164

Stadhuis, Alphen aan den Rijn 170

Woning Nieuwe Herengracht, Amsterdam 176

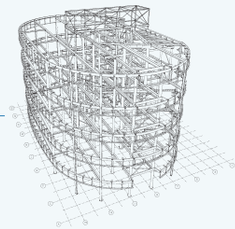
Albus Grand Hotel, Amsterdam 182

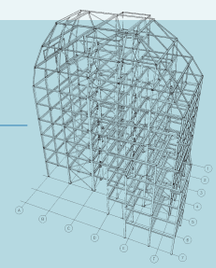
Hogeschool voor Muziek en Dans, Rotterdam 188

InHolland Hogeschool, Rotterdam 194

Bedrijfsgebouw Silverforum, Eindhoven 200

ILLUSTRATIEVERANTWOORDING 207





1 VERDIEPINGBOUW

Staal en verdiepingbouw vormen al meer dan honderdvijftig jaar een succesvolle combinatie. Skeletbouw in het algemeen zorgt voor een vrije indeelbaarheid van plattegronden en van gevels door de scheiding van draagconstructie en afbouw. Staalskeletbouw voegt daar nog een dimensie aan toe: een slanke constructie, waarmee bovendien afwijkende gebouwvormen gemakkelijk zijn te ontwerpen.

Vanaf het midden van de 19e eeuw nam in Amerika en in Europa de bouwproductie een hoge vlucht door de toenemende industrialisatie. De behoefte aan nieuwe gebouwtypen – zoals productiehallen, fabrieken, kantoren en stations – en aan snellere bouwmethoden leidden al direct tot de ontwikkeling van nieuwe constructiemethoden: eerst in gietijzer en smeedijzer en later in staal.

Dit hoofdstuk plaatst de toepassing van staalskeletbouw in Nederland in een historisch perspectief. Daarbij worden de specifieke eigenschappen van staalskeletbouw en de motivatie om te kiezen voor staal als constructiemateriaal kort belicht.

De toepassing van staal als constructiemateriaal voor gebouwen kreeg een belangrijke stimulans door de eerste wereldtentoonstelling die in 1851 in Londen werd gehouden. Het Crystal Palace – een mega-tentoonstellingshal in gietijzer en glas, dat speciaal voor deze expositie werd ontworpen door Joseph Paxton **(afb. 1.1)** – inspireerde vele architecten en ingenieurs. Ook in Nederland vond dit voorbeeld navolging in het Paleis voor Volksvlijt in Amsterdam, gebouwd in 1864 door architect-ingenieur Cornelis Outshoorn **(afb. 1.2)**. De indrukwekkende afmetingen en de pretentieuze uitstraling van het gebouw lieten bij de Nederlandse bevolking een onuitwisbare indruk achter. Hoewel het gebouw bij een brand in 1929 is verwoest, geniet het Paleis voor Volksvlijt nog altijd een grote naamsbekendheid.

Aan het eind van de 19e eeuw was het geloof in de potentie van staal als bouwmateriaal van de toekomst bijzonder groot. Dat leverde wereldberoemde iconen op, zoals het Vrijheidsbeeld in New York (1886), de Eiffeltoren in Parijs (1889) en de spoorbrug over de Firth of Forth in Schotland (1889).

De echte doorbraak voor de toepassing van staalskeletbouw in de verdiepingbouw vond plaats in Amerika met de bouw van wolkenkrabbers. Het zijn gebouwen met een skelet van liggers en kolommen, ingevuld met een onafhankelijke gevelconstructie. De oudste voorbeelden hiervan zijn het Jayne Building in Philadelphia (1852) met tien bouwlagen en het Harper Building in New York (1854) met acht bouwlagen. Dergelijke gebouwen met een staalskelet wisten zich te ontworstelen aan de karakteristieke ‘gewichtigheid’ van gebouwen met een steenachtige draagconstructie. Toch was het nog lang gebruikelijk het staalskelet te verbergen achter een gemetselde gevel, zoals bij het Woolworth Building in New York uit 1913 **(afb. 1.3)**.

Typerend voor veel klassieke hoog-bouwprojecten in staal zijn de karakteristieke 'setbacks' (een setback is een sprong in de gevel) – bij het Woolworth Building op de 29e bouwlaag – die toen in andere constructiematerialen niet of maar zeer beperkt waren uit te voeren. In latere ontwerpen gaat het staalskelet juist een expressieve rol spelen in de architectuur van hoge gebouwen. Een voorbeeld hiervan is het John Hancock Center in Chicago (1969) en meer recent het ontwerp voor de 187 m hoge Coolsingel-toren in Rotterdam **(afb. 1.4)**.

1.1 STAALSKELETBOUW IN NEDERLAND

In Nederland zijn vanaf omstreeks 1900 de eerste verdiepinggebouwen met een staalconstructie gebouwd. De ontwikkeling van de staalskeletbouw heeft met name in de jaren dertig vóór de Tweede Wereldoorlog een grote vlucht genomen, vooral door de introductie van het elektrisch lassen. Een voorbeeld is het kantoorgebouw van de Oranje Nassau-mijnen in Heerlen[2] uit 1932 van architect Dirk Roosenburg, dat in 1997 geheel is gerenoveerd **(afb. 1.5)**.

1.1 Crystal Palace, Londen (1851, gedemonteerd en heropgebouwd in Hyde Park in 1852, door brand verwoest in 1936). De referentie bij uitstek voor het moderne bouwen: een geprefabriceerd bouwwerk waarin de stand van de techniek volledig is benut: de glasmaat, de giettechniek en de montagetechniek gaan hand in hand. Korte voorbereidingstijd, gebruikersvriendelijke indelingsmogelijkheden en hergebruik... het zijn termen die tegenwoordig nog steeds de boventoon voeren.

1.2 Paleis voor Volksvlijt, Amsterdam (1864-1929).

Op het vaste land van Europa is de toepassing van staalskeletbouw vanaf medio 1940 in onbruik geraakt. De oorlogsindustrie gebruikte zoveel staal dat dit leidde tot schaarste aan bouwstaal. Na de oorlog werd het beschikbare staal vooral gebruikt voor de wederopbouw van de industrie (hallen) en van de infrastructuur (bruggen). Bovendien raakte in die tijd vooral het gebruik van prefab beton in Nederland in zwang.
Vanaf het midden van de jaren negentig neemt de belangstelling voor staalskeletbouw in Nederland weer toe. Professionele opdrachtgevers zoals Unidek (hoofdkantoor, Gemert[2]) **(afb. 1.6)**, Krasnapolsky (hoteluitbreiding Voorburgwal, Amsterdam[3]), NS-Vastgoed (kantoor voor de Rijksgebouwendienst, Haarlem[4]) **(afb. 1.7)** en DVM, het vroegere Sedijko (Rembrandt-toren[5] **(afb. 1.8)** en Breitner-toren, Amsterdam[6]) ondersteunen bij het ontwikkelen van nieuwe huisvesting de keuze van de architect en de constructeur voor staalskeletbouw.
In de afgelopen tien jaar is de toepassing van staalskeletbouw in verdiepinggebouwen daarom sterk toegenomen. Voor een gebouw van zes bouwlagen wordt het in ons land al steeds gebruikelijker om voor een staalskelet te kiezen. Architecten, maar ook opdrachtgevers, zijn zich steeds beter bewust van de architectonische mogelijkheden en technische kwaliteiten van een staalskelet. Maar ook gelet op bouwkosten is een staalconstructie vaak meer dan concurrerend[7]. Door de vergaande graad van automatisering in de staalconstructiebranche daalt het aantal ‘manuren per ton’ opgeleverde staalconstructie nog steeds. Door deze ontwikkeling zal de toepassing van staalskeletbouw bij verdiepinggebouwen nog steeds toenemen.

1.3 Woolworth Building, New York (1913). De staalconstructie is 'weggewerkt' achter een bakstenen gevel.

1.4 Ontwerp van de Coolsingel-toren, Rotterdam. De staalconstructie is in de gevel zichtbaar.

1.2 KIEZEN VOOR EEN STAALSKELET

Er zijn vele redenen waarom architecten, constructeurs en opdrachtgevers voor een staalskelet kiezen. Naast architectonische en/of technische argumenten is de meest simpele reden: deze keuze levert per saldo namelijk geld op. Die winst zit minder in de 'primaire' kosten van een stalen draagconstructie (vergeleken met alternatieven in andere bouwmaterialen), maar vooral in 'secundaire' besparingen of waardevermeerdering. De belangrijkste daarvan zijn:

- tijdwinst bij de bouwvoorbereiding;
- tijdwinst bij de uitvoering;
- tijdwinst door weersonafhankelijkheid;
- gewichtsbesparing;
- functiescheiding (drager versus afbouw);
- duurzaamheid en flexibiliteit;
- bijzondere constructieve mogelijkheden.

1.5 Kantoorgebouw Oranje Nassau-mijnen, Heerlen (1932, gerenoveerd in 1997).

1.6 Hoofdkantoor Unidek, Gemert (1995).

1.7 Kantoorgebouw voor de Rijksgebouwendienst, Haarlem (1997).

1.2.1 Tijdwinst bij de bouwvoorbereiding

Een korte voorbereidingstijd kan de doorlooptijd van een bouwproject aanzienlijk versnellen en daarmee tijdrovende overheidsprocedures tot een minimum beperken. In Nederland is de kennis en de ervaring op het gebied van staalskeletbouw inmiddels zo ver ontwikkeld, dat slechts enkele maanden nodig zijn voor het ontwerpen en monteren van een staalconstructie. Voor het bestuursgebouw De Lens in Nieuwegein

1.8 Rembrandt-toren, Amsterdam (1992).

1.9 Bestuursgebouw De Lens, Nieuwegein (2000): ontworpen en gebouwd in twaalf maanden.

1.10 Breitner-toren, Amsterdam (2002). De stalen kolommen lopen vanaf de fundering op 13 m –NAP in één lengte van 21,7 m door tot de onderzijde van de derde bouwlaag.

(afb. 1.9) bijvoorbeeld was een bijzonder krap tijdschema van twaalf maanden beschikbaar voor de bouw, inclusief voorbereiding[8]. Dit was de belangrijkste reden om voor een staalconstructie te kiezen.
Ingenieursbureaus en staalconstructiebedrijven die ervaring hebben met staal en/of met verdiepingbouw staan vermeld in de *Gids Staalbouw*[9].

1.2.2 Tijdwinst bij de uitvoering

Naarmate een bouwproject vordert, neemt het geïnvesteerd vermogen toe en daardoor ook de bouwrente. De bouwrente wordt betaald door de opdrachtgever. Het verkorten van de periode waarin rente moet worden betaald, levert dus geld op. Een korte bouwtijd leidt bij gelijke kosten tot een reductie van de rentelasten.
Een relatief korte bouwtijd is kenmerkend voor staalskeletbouw dankzij de hoge montagesnelheid, de mogelijkheden tot prefabricage en voldoende productiecapaciteit bij de grote Nederlandse staalconstructiebedrijven. De productiecapaciteit van een groot staalconstructiebedrijf bedraagt meer dan 1.000 ton per maand. Dat is voldoende voor bijvoorbeeld een verdiepinggebouw met een omvang van 20.000 m^2 brutovloeroppervlak.
De Breitner-toren in Amsterdam is een voorbeeld van de optimalisatie van de bouwtijd bij toepassing van een staalskelet. Bij dit project werd gelijktijdig gewerkt aan de vier kelderlagen, de betonnen kern, de staalconstructie rond de kern, inclusief de vloeren, en de montage van de gevel. Deze werkwijze met vier bouwstromen was mogelijk, omdat de bovenbouw niet rust op de betonnen kelder maar op stalen kolommen die vanaf de funderingsplaat op 13 m –NAP in één lengte van 21,7 m doorlopen tot de onderzijde van de derde bouwlaag **(afb. 1.10)**.

1.2.3 Tijdwinst door weersonafhankelijkheid

De montage van een staalskelet kan in Nederland onder nagenoeg alle weersomstandigheden doorgaan, dus ook tijdens zogeheten ‘onwerkbare dagen’ wanneer het vriest. Uitsluitend bij stormachtig weer met een sterke wind komt de montage van een staalconstructie tot stilstand, omdat bouwkranen dan buiten bedrijf worden gesteld. Het weersonafhankelijk bouwen van een staalconstructie levert vooral winst op bij hoge gebouwen, zoals de Rembrandt-toren in Amsterdam of de Kennedy-toren in Eindhoven **(afb. 1.11)**.

1.2.4 Gewichtsbesparing

Het gewicht van een constructie speelt een belangrijke rol in de totale bouwkosten. Immers elke kilo materiaal moet naar de bouwplaats worden vervoerd en ter plaatse naar zijn positie in het gebouw worden getransporteerd. De fundering moet altijd worden afgestemd op het totale gewicht van de bovenliggende constructie. Dus hoe minder gewicht de fundering hoeft te dragen, des te lichter de fundering kan worden uitgevoerd. Materiaalbesparing – of materiaalextensief bouwen – levert geld op.
Soms is een lichte draagconstructie de enige mogelijkheid om

een project mogelijk te maken. Een recent voorbeeld is de uitbreiding van kantoor Huygenshof II in Rotterdam **(afb. 1.12)**. Op een bestaand betonskelet uit 1963 is in 2003 een uitbreiding gebouwd van drie bouwlagen met een staalskelet en staalplaat-betonvloeren.

1.2.5 Functiescheiding

Een staalskelet is in feite niet meer dan de drager van het gebouw. De klimaatscheiding (gevel) en functiescheiding (binnenwanden) worden verzorgd door andere gebouwdelen. Omdat de moderne eisen die aan verdiepinggebouwen worden gesteld continue veranderen, verlangen opdrachtgevers en gebruikers van gebouwen een steeds grotere flexibiliteit van hun gebouw. Om aan deze vraag te kunnen voldoen, ligt de keuze voor een skeletvormige draagconstructie voor de hand.

1.2.6 Duurzaamheid en flexibiliteit

De economische levensduur, en dus ook de duurzaamheid van een verdiepinggebouw, hangt vooral af van de mate waarin het gebouw zich aan veranderende omstandigheden kan aanpassen. Om die reden neemt de wens toe om gebouwen aanpasbaar en flexibel te maken.

Flexibiliteit speelt vooral in de utiliteitsbouw een belangrijke rol. NS-Vastgoed bijvoorbeeld koos voor haar kantoor bij het station in Haarlem voor een skeletvormige drager **(zie afb. 1.6)**. De stalen stabiliteitsverbanden zijn zo in de plattegrond geplaatst dat ze toekomstige aanpassingen van de gebouwindeling niet belemmeren. Ook kan het gebouw gemakkelijk een andere gevel krijgen wanneer dat nodig is.

Een ander voorbeeld is de toepassing van zogeheten holte- of leidingvloeren in combinatie met een staalskelet bij de kantoorgebouwen Opus in Roosendaal en Total Support in Eindhoven **(afb. 1.13)**. Dankzij deze innovatieve constructie kreeg dit laatste project in 2000 de IFD-status. (IFD staat voor industrieel, flexibel en demontabel bouwen.)

Binnen de utiliteitsbouw nemen gebouwen voor de gezondheidszorg een specifieke plaats in. De afgelopen decennia zijn de opvattingen over gezondheidszorg en verzorging sterk gewijzigd. Gebouwen in de gezondheidszorg die twintig jaar geleden zijn gebouwd, zoals verpleeghuizen, voldoen niet meer aan de huidige eisen. Moderne verzorgingsgebouwen moeten flexibel indeelbaar zijn om aan de veranderende zorgvragen te kunnen voldoen. Omdat de behoefte aan gebouwen in de zorg snel toeneemt, is naast uitvoersnelheid ook flexibiliteit een reden om voor een skeletvormige constructie te kiezen. Een voorbeeld zijn de flexibele zorgappartementen van het zorgcentrum Op 't Hoogveld in Boxmeer-St. Anthonis **(afb. 1.14)**.

Ook opdrachtgevers in de woningbouw onderkennen steeds vaker het belang van aanpasbaarheid en flexibiliteit. Een recent voorbeeld is het woongebouw La Fenêtre in Den Haag **(afb. 1.15)**. Door bij dit project te kiezen voor een staalskelet wil de belegger de verhuurbaarheid van de appartementen op langere termijn veilig stellen. Het staalskelet is ingevuld met leidingvloeren, waardoor bijvoorbeeld de keuken en de natte

1.11 Kennedy-toren, Eindhoven (2003).

1.12 Kantoorgebouw Huygenshof II, Rotterdam (betonskelet 1963, in 2003 uitgebreid met drie bouwlagen in staal).

1.13 Kantoorgebouw Total Support, Eindhoven (2001): staalskelet met leidingvloeren.

1.14 Zorgcentrum Op 't Hoogveld, Boxmeer-St. Anthonis (2002): flexibiliteit dankzij een staalskelet.

1.15 Woongebouw La Fenêtre in Den Haag (oplevering medio 2005): staalskelet met leidingvloeren verhoogt de verhuurbaarheid op de lange termijn.

1.16 Royal Wing: uitbreiding van hotel Krasnapolsky, Amsterdam (1995).

ruimten van elk appartement zijn te verplaatsen zonder andere appartementen te hoeven ontruimen.

1.2.7 Bijzondere constructieve mogelijkheden

Toekomstige bouwopgaven zullen steeds vaker gericht zijn op het bouwen in bestaande, soms complexe en/of historische, stedelijk gebieden. Het vermijden van overlast voor de omgeving is dan bijvoorbeeld een reden om voor een staalskelet te kiezen. Een voorbeeld is de uitbreiding van Hotel Krasnapolsky in het historische centrum van Amsterdam in 1995 **(afb. 1.16)**. Vrijwel zonder overlast voor de binnenstad is het hotel uitgebreid met de Royal Wing met zeven bouwlagen en bijna tachtig kamers[4].

Een staalconstructie biedt ook uitkomst in situaties met complexe randvoorwaarden en programmatische eisen. Een voorbeeld hiervan is bij de uitbreiding van het Rotterdamse Zeemanshuis[10] **(afb. 1.17)**. Een uitbreiding van het hotel naar aangrenzende panden was onmogelijk en de bestaande constructie en fundering konden een belasting door extra verdiepingen niet opnemen. De architect en constructeur ontwierpen de uitbreiding óver het bestaande gebouw heen en plaatsten de extra verdiepingen in een zelfstandige staalconstructie met een eigen fundering. De stalen 'poten' van de overbouwing zijn prominent aanwezig in het gevelbeeld en geven het bestaande gebouw een nieuwe architectonische uitstraling.

Bij het ontwerp van het World Port Centre in Rotterdam op de Kop van Zuid[11] tenslotte speelde een ander motief een rol. Opdrachtgever ING-Vastgoedontwikkeling wenste extreem slanke kolommen voor het 100 m hoge gebouw om daardoor een zo groot mogelijk verhuurbaar oppervlak te verkrijgen. Kolommen met een dwarsdoorsnede van meer dan 0,5 m^2 worden namelijk op het verhuurbare oppervlakte in mindering gebracht. De constructeur kon met staal-beton kolommen aan de wens van de opdrachtgever voldoen: de ronde kolommen hebben een diameter van 600 mm **(afb. 1.18)**.

Hoofdstuk 2 (Draagconstructie) gaat in op de constructieconcepten voor staalskeletbouw die in Nederland gangbaar zijn.

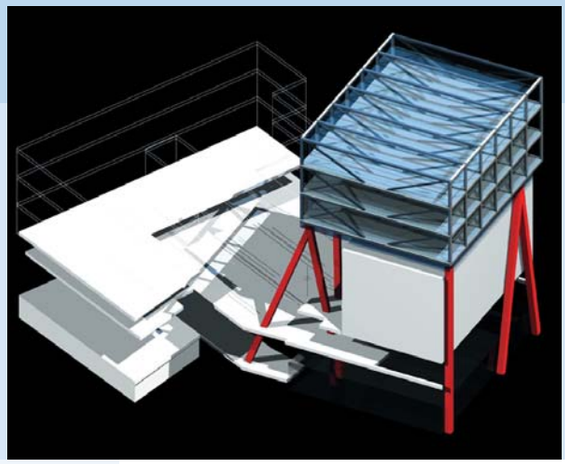
1.3 KIEZEN MET DE JUISTE ARGUMENTEN

In het proces om het meest optimale constructieconcept te bepalen, kunnen er natuurlijk ook argumenten zijn om niet voor een staalskelet te kiezen. In de praktijk blijkt dat er tijdens de besluitvorming soms argumenten worden gebruikt die niet valide zijn. Daarom worden hier drie argumenten kort besproken waarbij vaak onterechte vooroordelen in de discussie een rol spelen, namelijk:

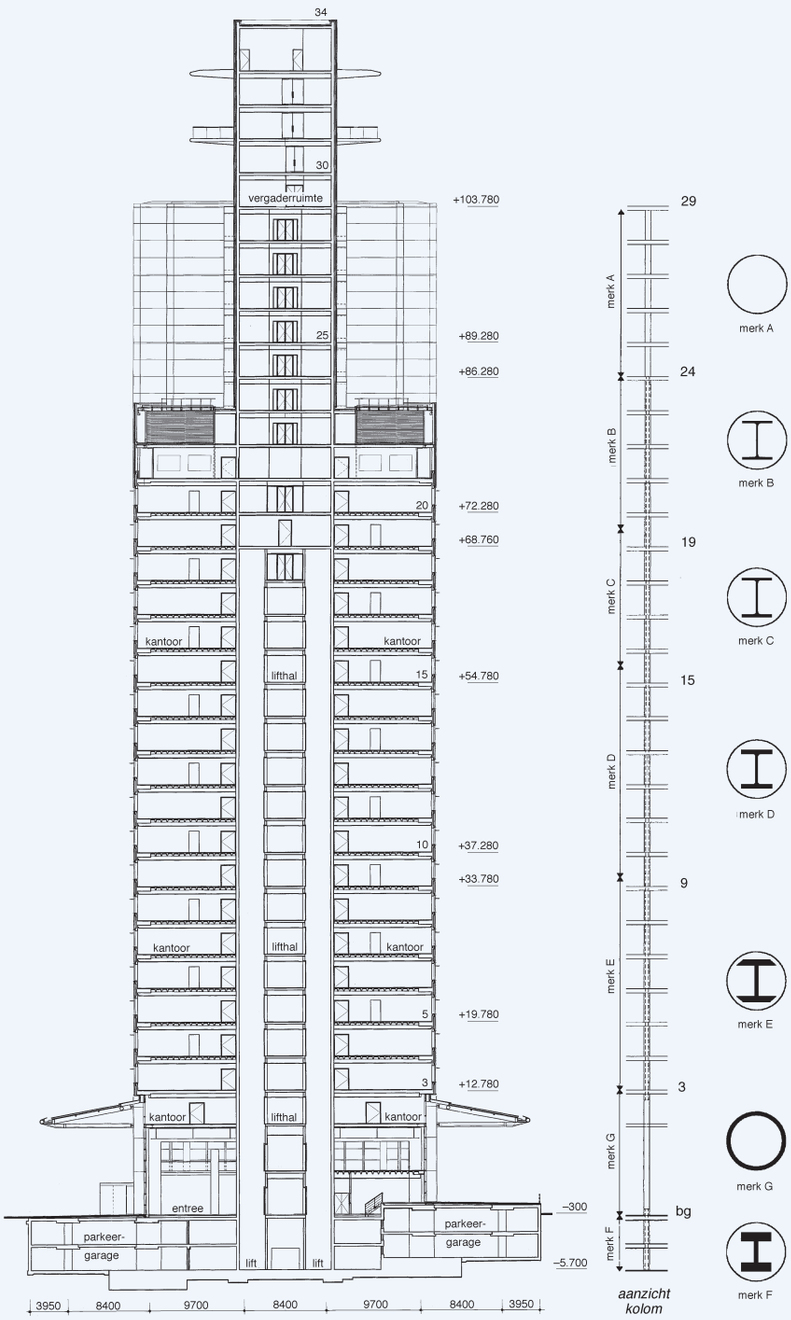
- kosten;
- brandveiligheid;
- bouwfysisch gedrag.

1.3.1 Kosten

Bij de kostenraming van een project vergelijken bouwkostendeskundigen meestal de directe kosten van een staalconstructie met de directe kosten van een constructie in een ander materiaal. De 'secundaire' voordelen van een staal-



1.17 Uitbreiding van het Zeemanshuis, Rotterdam (2000).



1.18 Gevelkolommen in het World Port Center, Rotterdam (2000): minimale kolomdoorsneden zorgen voor een zo groot mogelijk verhuurbaar oppervlak.

skelet – zoals een kortere bouwtijd – worden zelden meegerekend. Daarnaast worden de kosten van bijvoorbeeld brandwerende voorzieningen 'voor de zekerheid' soms te hoog ingeschat!

Een ervaren staalconstructeur kan een kostenraming op dergelijke 'secundaire' aspecten controleren en bijvoorbeeld voorstellen de gewenste bouwtijd en de algemene bouwplaatskosten bij de besluitvorming te betrekken. Bouwen met Staal biedt via de gratis service Projectadvies ook deze ondersteuning.

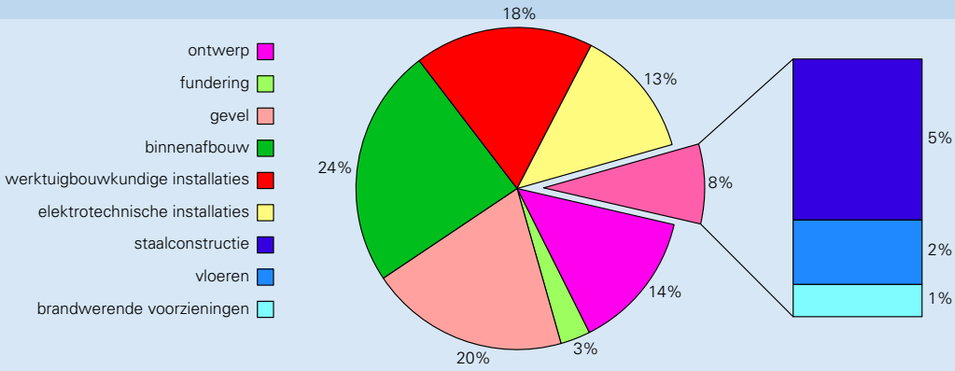
Het is aan te bevelen om te controleren of de post ‘algemene kosten’ wel een goede afspiegeling is van de werkelijke kosten. Immers bij de keuze voor een staalskelet neemt het staalconstructiebedrijf een aantal taken over van de aannemer, waardoor de algemene kosten omlaag kunnen.

Dit boek gaat niet verder in op de kostprijs van een staalconstructie. **Afbeelding 1.19** geeft een globaal idee van de opbouw van de totale bouwkosten van een verdiepinggebouw in staal. Bij grote projecten – met een omvang van meer dan 500 ton staal – kunnen aparte afspraken worden gemaakt met de leverancier van de staalprofielen. Zie ook de publicatie *Kostenbewust bouwen met staal* [7].

1.3.2 Brandveiligheid

De brandveiligheid van een staalconstructie is een onderwerp waarover veel vooroordelen en misverstanden bestaan. Een goed ontworpen staalconstructie voldoet aan de gestelde brandwerendheidseisen en kan een brand meerdere uren weerstaan. In kostenramingen worden de kosten voor de brandveiligheidsvoorzieningen van een staalconstructie echter vaak te hoog ingeschat. Het verdient aanbeveling om per constructiedeel na te gaan welke eisen het Bouwbesluit stelt, afhankelijk van de gebruiksfunctie.

Verzekeraars streven er naar het risicoprofiel van hun portefeuille te beperken. Daarbij speelt niet alleen het verlies van of schade aan het gebouw een rol. Meestal zijn de kosten die te maken hebben met de bedrijfsvoering maatgevend. Daarom eisen verzekeraars steeds vaker actieve voorzieningen, zoals sprinklers. Wanneer een sprinkler om die reden wordt voorgeschreven gelden er voor de passieve voorzieningen, denk aan een de brandwerende bekleding van een staalconstructie, doorgaans beduidend lagere eisen. Een voorbeeld is de centrale bibliotheek van de Technische Universiteit Delft[12] **(afb. 1.20)**. In dit project is een sprinklerinstallatie toegepast, waardoor het niet meer nodig was om de



1.19 **Globale opbouw van de totale bouwkosten van een verdiepingge-bouw met een staalconstructie.**

staalconstructie brandwerend te bekleden. Hoofdstuk 6 (Brandveiligheid) gaat hier nader op in.

1.3.3 Bouwfysisch gedrag

Er bestaat in de Nederlandse bouw een hardnekkig misverstand dat een goede geluidisolatie uitsluitend mogelijk is met een zware constructie: massa dus. Natuurlijk kan een betonnen wand of betonnen vloer aan alle geluidisolatie-eisen voldoen. Maar het kan ook anders, namelijk met buigslappe constructies en het ontkoppelen van constructiedelen. Deze laatste oplossing is uitermate geschikt voor toepassing in verdiepinggebouwen met een staalconstructie.

Ook over ontwerpen van een energiezuinig gebouw bestaan dezelfde vooroordelen, namelijk dat het gebruik van een zware constructie de enige mogelijkheid is. Het is zeker waar dat het warmte-accumulerend vermogen van beton een gunstige rol speelt in de energiehuishouding, maar deze bijdrage moet niet worden overschat. Juist bij een staalconstructie kan massa naar behoefte worden ingezet. Door massa alleen daar toe te passen waar het efficiënt is, los van de constructieve noodzaak, ontstaat er een grote flexibiliteit in het ontwerp en wordt overcapaciteit vermeden. In deze publicatie zijn een aantal projecten beschreven met een staalconstructie die uitstekend voldoen aan alle bouwfysische eisen en bovendien energiezuinig zijn.

Hoofdstuk 5 (Bouwfysica) gaat nader in op de bouwfysische eigenschappen en mogelijkheden van verdiepinggebouwen met een staalskelet.

1.20 **Centrale bibliotheek van de Technische Universiteit Delft (1998): door het toepassen van een sprinkler kon de staalconstructie onbekleed blijven.**

Literatuur

1. H. Mertens, 'Monument van Roosenburg na restauratie weer functioneel', *Bouwen met Staal* 147 (1999), p. 40-43. Artikel over de renovatie van het voormalige kantoorgebouw van de Oranje Nassau-mijnen in Heerlen.
2. J.H. van der Zanden en T.P. van der Zanden, 'Hoofdkantoor Unidek, Gemert', *Bouwen met Staal* 123 (1995), p. 40-46.
3. A. Bronsvoort, 'Hotel Krasnapolsky, Amsterdam', *Bouwen met Staal* 122 (1995), p. 35-40.
4. J. Bullens, Th.J.P. Janssen, N. Kunnen en E. van Rest, 'Hybride draagconstructie heeft grote potentie', *Bouwen met Staal* 134 (1997), p. 42-50. Artikel over het kantoorgebouw voor de Rijksgebouwendienst in Haarlem.
5. 'Rembrandt Tower, Amsterdam', *Bouwen met Staal* 125 (1995), p. 26-47.
6. 'Kantoorgebouw Breitner Center', *Bouwen met Staal* 170 (2003), p. 28-45.
7. H. Evers, R. Hamerlinck en A. Dolsma, *Kostenbewust bouwen met staal*, uitgave Bouwen met Staal, Rotterdam 2003.
8. M. Lachmann, 'Maximale kwaliteit tegen minimale kosten', *Bouwen met Staal* 159 (2001), p. 12-17. Artikel over het bestuursgebouw De Lens in Nieuwegein.
9. C.H. van Eldik(red.), *Gids Staalbouw 2003-2004*, uitgave Bouwen met Staal Rotterdam 2003. De twee editie van deze gids verschijnt medio 2005.
10. J.P. van der Windt, 'Boorplatform in havenstad', *Bouwen met Staal* 174 (2003), p. 18-21. Artikel over de uitbreiding van het Zeemanshuis in Rotterdam.
11. P. Langendijk en G.L.H.M. Henkens, 'Baken voor Kop van Zuid', *Bouwen met Staal* 162 (2001), p. 44-51. Artikel over het World Port Center in Rotterdam.
12. H.G. Krijgsman en W. Spangenberg, 'Toppunt van leesplezier', *Bouwen met Staal* 139 (1997), p. 30-37. Artikel over de centrale bibliotheek van de TU Delft.

2 DRAAGCONSTRUCTIE

De draagconstructie van een verdiepingbouw met een staalskelet bestaat uit drie onderdelen: de vloerconstructie, de kolommen en de stabiliteitsconstructie. Deze drie onderdelen kunnen vrijwel onafhankelijk van elkaar worden ontworpen. De belangrijkste kenmerken en ontwerpvrijheden worden in dit hoofdstuk beschreven. Centraal staan de constructieve mogelijkheden die staal biedt en welke consequenties de keus voor staal heeft voor het bouwkundig ontwerp.

De draagconstructie van een verdiepinggebouw met een staalskelet bestaat in hoofdzaak uit de volgende drie onderdelen:

- vloerconstructie, bestaande uit de vloer zelf en de stalen liggers (als onderdeel van het staalskelet);
- kolommen (als onderdeel van het staalskelet);
- stabiliteitsconstructie, bestaande uit stalen stabiliteitsverbanden (vaak opgenomen in het staalskelet) en/of betonnen wanden en kernen.

Deze drie onderdelen van de draagconstructie kunnen elk afzonderlijk worden ontworpen in staal. In de praktijk wordt vaak gekozen voor een combinatie van staal en beton. Wanneer de liggers die de vloeren dragen én de kolommen zijn uitgevoerd in staal dan spreken we van een staalskelet **(afb. 2.1)**.

De vloerconstructie brengt de verticale belastingen op de vloer, zoals het gewicht van mensen en interieur, over naar de kolommen. De kolommen brengen de verticale belasting vervolgens naar de fundering.
De stabiliteitsconstructie brengt de horizontale belastingen (denk aan wind en scheefstand) over op de fundering. Meestal ondersteunt de vloer ook de gevel. Dat betekent dan dat de vloer de horizontale windbelasting die op de gevel aangrijpt moet afvoeren naar de stabiliteitsconstructie.
In de Nederlandse staalskeletbouw zijn er een groot aantal varianten ontwikkeld en toegepast om een staalskelet als draagconstructie toe te passen. Dit hoofdstuk beperkt zich tot die mogelijkheden die hun waarde in de afgelopen tien jaar in de praktijk hebben bewezen. Paragraaf 2.5 ten slotte gaat kort in op enkele nieuwe mogelijkheden die nog niet of op beperkte schaal in de Nederlandse praktijk worden toegepast.

2.1 KEUZE VAN HET VLOERSYSTEEM

De vloerconstructie voor een verdiepinggebouw moet niet alleen voldoende sterk en stijf zijn om mens en materie te dragen, maar moet vooral ook geschikt zijn voor de functie die het gebouw huisvest. Voldoende geluidisolatie is dan bijvoorbeeld een ontwerpaspect. Daarnaast leidt de toename van de interne warmtelast en de hoge isolatiegraad van gebouwen er steeds vaker toe dat de noodzaak tot koelen groter wordt dan de behoefte tot verwarmen.
De laatste decennia is het belang van installaties in de kantorenbouw sterk toegenomen, zelfs tot meer dan 25-30% van de totale bouwsom. Daarmee komt de keuze van de draagconstructie en van het vloersysteem in een ander perspectief te staan. Ook de veranderende wensen ten aanzien van flexibiliteit, binnenklimaat en bouwfysica vragen om een nieuwe benadering en om een meer integrale aanpak van de ontwerpopgave.
Welk vloersysteem uiteindelijk wordt gekozen, hangt daarom onder meer af van vragen als:

- ‘Zijn de gangbare afmetingen waarin het vloersysteem verkrijgbaar is geschikt voor een logische en functionele opbouw van de plattegrond?’
- ‘Is het mogelijk om leidingen en dergelijke in het vloersysteem op te nemen?’
- ‘Komt er een systeemplafond of blijft de vloer zichtbaar?
- ‘Mogen vloerliggers onder de vloer uitsteken of juist niet?
- ‘Moet de vloer een bijdrage leveren aan het beheersen van het energieverbruik?’

Bij het beheersen van het binnenklimaat kan gebruik worden gemaakt van het warmteaccumulerend vermogen van de vloerconstructie. Dat is het vermogen van de vloer om warmte op te nemen en weer af te staan. Dit warmteaccumulerend

2.1 Voorbeelden van een staalskelet: links met een betonnen kern en rechts met een stalen stabiliteitsconstructie.

vermogen kan worden benut om de temperatuurschommelingen in een ruimte af te vlakken.
In een kantoor wordt meestal gewerkt van 8 uur 's ochtends tot 8 uur 's avonds. Tijdens die twaalf uur moeten de kantoorruimten verwarmd zijn. Tijdens de andere twaalf uur mag in de ruimten een lagere temperatuur heersen. Het warmteaccumulerend vermogen blijkt af te hangen van de thermische eigenschappen van het materiaal (soortelijke warmte en warmtegeleiding) en van het materiaaloppervlak. Bij steenachtige materialen wordt tijdens een periode van twaalf uur slechts de buitenste schil van het constructiedeel opgewarmd. Dat is ongeveer 50 mm.
Vloeren zijn in een verdiepinggebouw het grootste bouwdeel waarvan het oppervlak aan de ruimtetemperatuur is blootgesteld. Daarom heeft het warmteaccumulerend vermogen van de vloer meer invloed op het binnenklimaat dan het warmteaccumulerend vermogen van de binnenzijde van de gevel. Het accumulerend vermogen van een vloer is het beste te benutten door de vloer aan de bovenzijde niet af te schermen met een vloerbedekking en aan de onderzijde niet met een gesloten plafond. Een beperkende factor is dat de meeste systeemplafonds gesloten zijn en zo verhinderen dat de buffercapaciteit van de vloeren (via warmteopslag in de vloeren) niet of maar ten dele kan worden benut om temperatuurpieken op te vangen.

Verdiepinggebouwen zijn er in vele typen en voor vele functies. Een woongebouw bijvoorbeeld heeft andere stramienmaten dan een kantoorgebouw of een schoolgebouw. Bovendien verandert de gewenste indeling van scholen en kantoren, maar ook van woningen, voortdurend. Hierdoor neemt het belang toe van flexibiliteit in het ontwerp van de (vloer)constructie. Met name innovatieve kantoorconcepten – zoals flexibele werkplekken en kantoorlandschappen met 'stilte zones' – vragen om een flexibele indeling van de plattegrond en dus om een draagconstructie die dat mogelijk maakt. Daarnaast is het belangrijk te weten of afwijkingen van het standaardstramien in het gekozen vloersysteem eenvoudig mogelijk zijn, evenals bijvoorbeeld ronde en amorfe plattegrondvormen.
Economische afwegingen kunnen een rol spelen bij de keuze van het vloersysteem, bijvoorbeeld wanneer de verdiepinghoogte tot een minimum moet worden beperkt. Het is dan te overwegen de installatietechniek in de constructieve zone op te nemen.
Bij een volledig vrij indeelbare plattegrond, zonder inpandige kolommen of stabiliteitsconstructies, ligt het voor de hand een vloersysteem te kiezen dat van gevel tot gevel overspant. Plattegrondindelingen waarbij sprake is van relatief kleine ruimten met gangen, hebben minder last van kolommen. Hiervoor komen ook vloersystemen in aanmerking die met name geschikt zijn voor minder grote overspanningen. Het bieden van meer functionaliteit en een betere bruto-netto verhouding is dan van grotere waarde dan de extra flexibiliteit van een kolomvrije ruimte.

Afbeelding 2.2 toont een aantal indelingsvarianten van kantoorplattegronden waarbij de relatie is aangegeven tussen de gekozen ruimtelijke indeling en de (mogelijke) maatvoering van het stramien van de draagconstructie.

2.2 VLOERCONSTRUCTIE

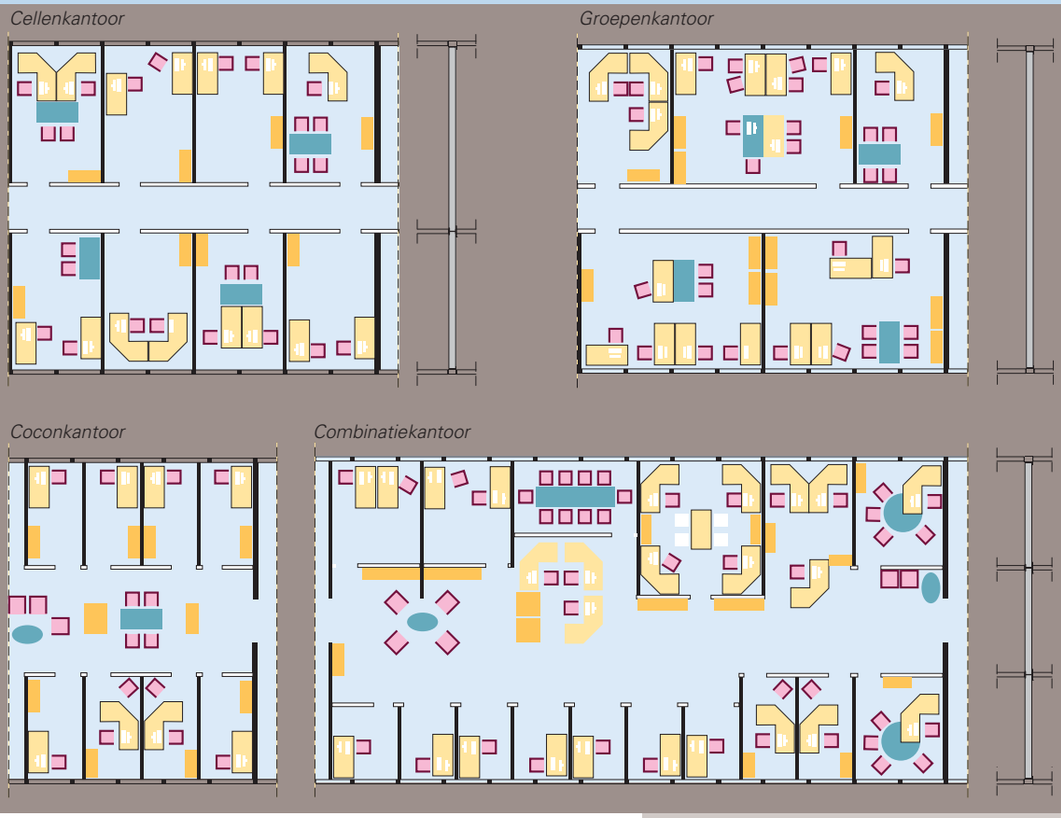
De vloerconstructie in een staalskelet bestaat uit een combinatie van stalen liggers met geheel of gedeeltelijk geprefabriceerde vloeren van staal of van beton. Voor de vloeren in verdiepinggebouwen met een staalconstructie komen in de Nederlandse praktijk vier vloersystemen voor **(afb. 2.3)**:

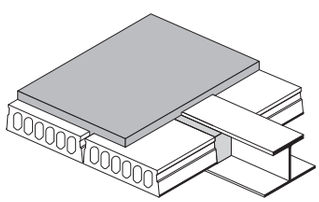
- kanaalplaatvloeren;
- hoge staalplaat-betonvloeren;
- lage staalplaat-betonvloeren;
- Infra+-vloeren.

Dit overzicht is niet volledig. Zo kan het staalskelet natuurlijk ook worden ingevuld met breedplaatvloeren (bekistingsplaatvloeren) of met Bubbledeck-vloeren, maar dat is in de Nederlandse praktijk (nog) niet gebruikelijk.
De eerste twee vloersystemen worden meestal toegepast in combinatie met geïntegreerde liggers, die in het vlak van de vloer liggen. De laatste twee vloersystemen worden meestal toegepast in combinatie met gewalste liggers (IPE- en HE-profielen). Bij de lage staalplaat-betonvloeren steken de liggers altijd onder de vloer uit. Bij de Infra+-vloer is het liggerprofiel bijna altijd zo te kiezen dat de ligger niet hoger is dan de dikte van de vloer zelf, óf dat een combinatie met een geïntegreerde ligger mogelijk is.
Van elk van de vier genoemde vloersystemen worden ontwerptabellen gegeven voor de vloerdikte, afhankelijk van de overspanning en de constructieve plattegrond.
Let er op dat er naast ruimte voor de constructie ook nog ruimte moet worden gereserveerd voor eventuele leidingen en een plafond. Bij kanaalplaatvloeren en hoge staalplaat-betonvloeren, beide met geïntegreerde liggers, moet de installatiehoogte nog bij de constructiehoogte (vloerdikte) worden opgeteld om de totale dikte van het vloerpakket te bepalen. Bij lage staalplaat-betonvloeren zijn de vloerliggers niet geïntegreerd. Daardoor is de constructiehoogte ongeveer gelijk aan de totale dikte van het vloerpakket, omdat installaties tussen de vloerliggers kunnen worden aangebracht **(afb. 2.4)**. Bij de Infra+-vloer worden alle leidingen in de vloer zelf ondergebracht en is een plafond niet nodig.
De keuze van de vloerconstructie hangt voor elk project onder meer af van de volgende parameters:

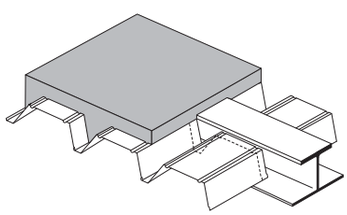
- vorm van de plattegrond;
- overspanning in relatie tot de indeling van de plattegrond;
- eigen gewicht;
- dikte van het vloerpakket (onder meer constructiehoogte);
- bouwfysische aspecten (zoals klimaatbeheersing, accumulerend vermogen en akoestiek);
- mogelijkheden om leidingen en installaties in de vloerconstructie te integreren;
- aanpasbaarheid in de gebruikssituatie.

2.2 **Varianten van kantoorindelingen: cellenkantoor, groepenkantoor, coconkantoor en combinatiekantoor.**

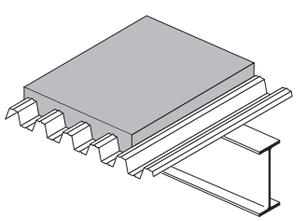




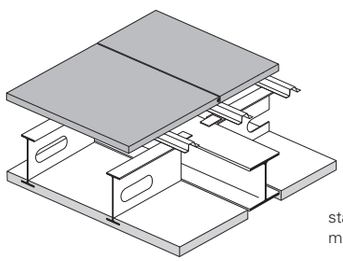
geïntegreerde ligger
met kanaalplaatvloer



geïntegreerde ligger met
hoge staalplaat-betonvloer

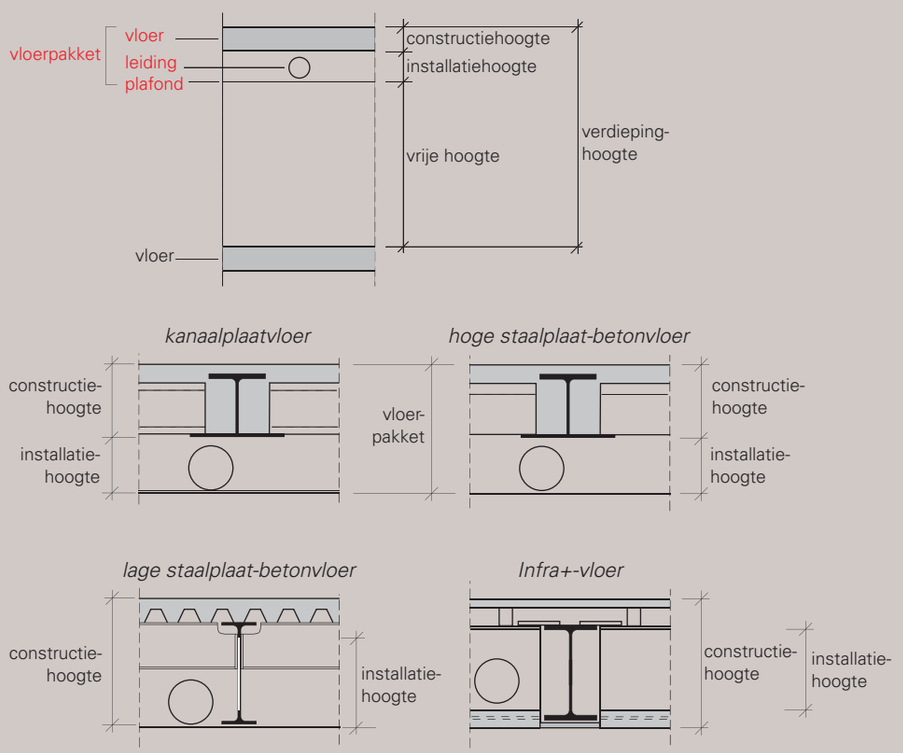


stalen ligger met
lage staalplaat-betonvloer



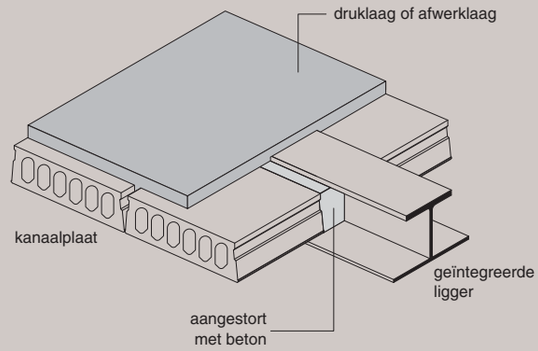
stalen ligger
met Infra+-vloer

2.3 **De vier meest gebruikte vloerconstructies voor een staalskelet.**



2.4 **Relatie tussen de dikte van het vloerpakket, constructiehoogte en ruimte benodigd voor leidingen en installaties voor de vier verschillende vloersystemen.**

2.5 Isometrie van een geïntegreerde ligger met een kanaalplaatvloer en enkele toepassingen.



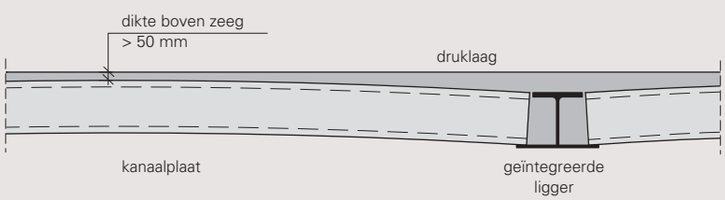
2.2.1 Kanaalplaatvloeren

Kanaalplaatvloeren bestaan uit geprefabriceerde betonnen kanaalplaten. De kanaalplaten hebben een standaardbreedte van 1,2 m. Er zijn ook platen leverbaar met een breedte van 0,3 m en van 0,6 m. De kanaalplaten liggen op de onderflens van een geïntegreerde ligger **(afb. 2.5)**.
In de gevelzone wordt er soms voor gekozen om de kanaalplaten op de bovenflens van een gewalste ligger op te leggen.

• **Vorm plattegrond.** Kanaalplaatvloeren zijn vooral geschikt voor gebouwen met rechthoekige plattegronden.
• **Overspanning en constructiehoogte.** De constructieve mogelijkheden en stramienmaten zijn schematisch weergegeven in **afbeelding 2.6.** Daarbij is uitgegaan van een veranderlijke vloerbelasting van 4 kN/m^2 (incl. lichte scheidingswanden), een steenachtige (afwerk)vloer van 1 kN/m^2 en uiteraard het eigen gewicht.
Een algemene ontwerpregel is dat de kanaalplaten in de langste richting overspannen en de stalen liggers in de kortste richting. (In **afbeelding 2.6** betekent dit dat $b \geq K_{max}$. Hierbij is K_{max} de grootste waarde van K_1 of K_2.)
In het algemeen geldt ook dat de hoogte van de kanaalplaat ongeveer gelijk is aan de hoogte van de geïntegreerde ligger. Kleine verschillen in hoogte tussen kanaalplaat en ligger worden 'opgevangen' in de druklaag en/of afwerklaag.
De vloerdragende randligger kan een geïntegreerde ligger zijn (waarvan de liggerhoogte h_1 vrijwel gelijk is aan de dikte van de kanaalplaat), maar ook een ligger die onder de vloer ligt (met hoogte h_2). In de gevel is het vaak geen bezwaar dat de vloerligger onder de vloer uitsteekt. De hoogte van de randligger is dan onafhankelijk van de dikte van de kanaalplaat.
Het kolomstramien in de gevel (k) is bij een staalskelet onafhankelijk te kiezen van het inpandige kolomstramien (K). Een interessante mogelijkheid is de keuze voor een klein kolomstramien in de gevel, waardoor de kolomdoorsnede gering blijft en de slanke gevelkolommen gemakkelijk in de kozijnen zijn te integreren. Een voorbeeld hiervan is bestuursgebouw De Lens in Nieuwegein **(zie ook blz. 164)**, met een kolomstramien in de gevel van 1,2 m en kokervormige gevelkolommen met een doorsnede van 140x140 mm.
• **Gewicht.** Het eigen gewicht van een kanaalplaatvloer is aanmerkelijk lager dan dat van een massieve steenachtige vloer. Het gewicht hangt af van de dikte van de kanaalplaten **(afb. 2.7)**. Het totale gewicht van een kanaalplaatvloer hangt af van de dikte van een eventuele druklaag en/of afwerklaag. Constructief gezien is een druklaag meestal niet nodig. Aangezien kanaalplaten altijd een onregelmatige opwaartse zeeg vertonen als gevolg van de voorspanning moet de vloer altijd worden uitgevlakt. Het al of niet toepassen van een (gewapende) druklaag hangt ook af van de gewenste vloerafwerking. Bij toepassing van steenachtige vloeren (met name tegels) is een gewapende druklaag noodzakelijk om ongewenste scheurvorming te voorkomen.

dikte (mm)	gewicht (kg/m^2)
200	300
260	390
320	450
400	500

2.7 Eigen gewicht van kanaalplaten (incl. voegvulling, excl. eventuele druklaag en/of afwerklaag).



2.8 **Dikte van de druklaag van kanaalplaten boven de zeeg.**

• **Bouwfysische aspecten.** De bijdrage van een kanaalplaatvloer aan het beheersen van het binnenklimaat door warmteaccumulatie is vergelijkbaar met dat van een massieve steenachtige vloer. Door het geringe eigen gewicht is de geluidisolatie minder dan dat van een massieve steenachtige vloer. In combinatie met een zwevende dekvloer kan een kanaalplaatvloer worden toegepast als woningscheidende vloer[1].

• **Leidingintegratie.** De integratie van leidingen voor een klimaatinstallatie is niet mogelijk. Met de zogeheten wingvloer – een kanaalplaat waarbij aan een of beide zijden een aantal ribben is weggelaten en er een vlakke onderplaat overblijft – zijn kleine leidingen (zoals afvoeren van wc's) in de vloer te integreren. De overblijvende ruimte wordt meestal weer afgestort. Door gaten te maken kunnen beperkt kleine leidingen uitsluitend dwars door de kanaalplaat worden doorgevoerd.

• **Aanpasbaarheid.** Het is praktisch niet uitvoerbaar om leidingen aan te passen die in een kanaalplaatvloer zijn opgenomen en ingestort. De aanpasbaarheid is beperkt tot het boren van gaten ter plaatse van de kanalen in de platen. Het achteraf aanbrengen van grote sparingen of trapgaten is uitsluitend mogelijk met behulp van extra staalconstructies.

• **Bijzonderheden**. Kanaalplaatvloeren vertonen in de praktijk vaak scheuren ter plaatse van de oplegging van de platen. Karakteristiek zijn rechte scheuren in harde vloerafwerkingen. Deze scheuren ontstaan doordat een vloer van kanaalplaten feitelijk bestaat uit tegen elkaar liggende betonnen elementen die door kruip, krimp en doorbuiging van vorm veranderen. Maatregelen om scheurvorming te voorkomen zijn beschreven in SBR-publicatie 457[2]. De aanbevolen maatregelen zijn het aanbrengen van een druklaag met een voldoende wapening óf een zwevende dekvloer. De dikte van de druklaag moet minimaal 50 mm bedragen. Deze dikte moet ook aanwezig zijn ter plaatse van de zeeg: bij de opleggingen is de dikte dus groter dan 50 mm, namelijk 50 mm plus de zeeg (**afb. 2.8**). Meer informatie over de grootte van de zeeg bij kanaalplaten staat in de publicatie *Verdiepingbouw in staal en beton*[3]. Bij een druklaag van 50 mm of meer wordt een wapeningsnet met een maximale maaswijdte van 150 mm en staven met een diameter van ten minste 8 mm aanbevolen. Bovendien wordt aanbevolen om ter plaatse van steunpunten en kopvoegen een dilatatievoeg in de vloerafwerking op te nemen.

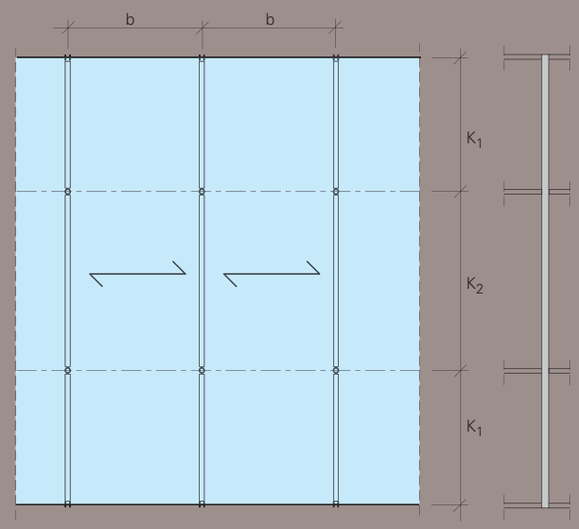
Wanneer het ongewenst is om de druklaag ter plaatse van de opleggingen van de kanaalplaten te dilateren bijvoorbeeld om constructieve redenen – kan een zwevende dekvloer een oplossing bieden. Meer informatie over het ontwerpen, detailleren en uitvoeren van zwevende dekvloeren is te vinden in SBR-publicatie 485[1].

2.6 Overspanningen en afmetingen van een vloerconstructie bestaande uit geïntegreerde liggers met kanaalplaten. Veranderlijke vloerbelasting 4 kN/m^2 (incl. scheidingswanden) + rustende belasting 1 kN/m^2 + eigen gewicht.

1) Zie hoofdstuk 6 voor de brandwerendheid van de stalen liggers.
2) Constructiehoogte = hoogte geïntegreerde ligger óf dikte kanaalplaat plus dikte onderflens ligger (gemiddeld 15 mm) plus dikte druklaag en/of afwerklaag (gemiddeld 50 mm). Let bij het bepalen van de exacte dikte van de druklaag en/of afwerklaag op de zeeg in de kanaalplaten én op de zeeg in de geïntegreerde liggers. Zie ook afbeelding 2.8.

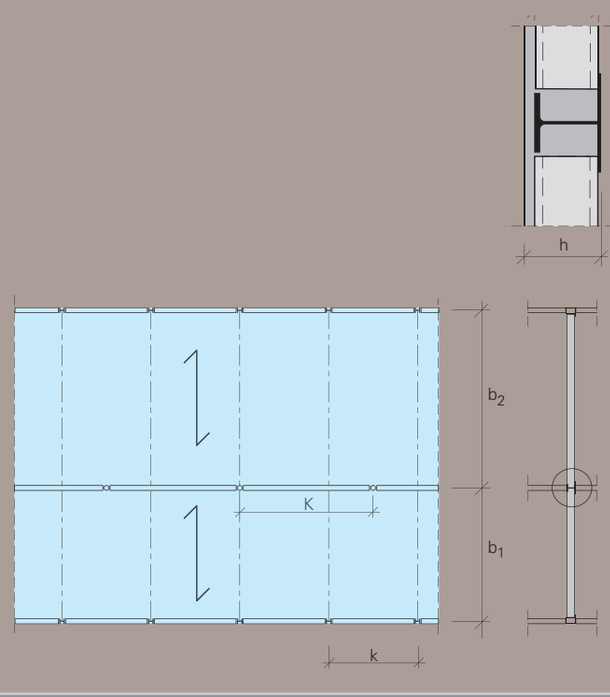
cocon- + combinatiekantoor (twee rijen middenkolommen)

gebouwdiepte	kanaalplaat		ligger [1]	constructie-hoogte [2]
$K_1 + K_2 + K_1$ (m)	b (m)	d (mm)	K_{max} (m)	h (mm)
16,2 (5,4+5,4+5,4)	5,4	200	5,4	245
	7,2	200	5,4	265
	9,0	260	5,4	325
18,0 (5,4+7,2+5,4)	7,2	260	7,2	325
	9,0	260	7,2	335
19,8 (5,4+9,0+5,4)	9,0	320	9,0	375
19,8 (7,2+5,4+7,2)	7,2	260	7,2	325
	9,0	260	7,2	335

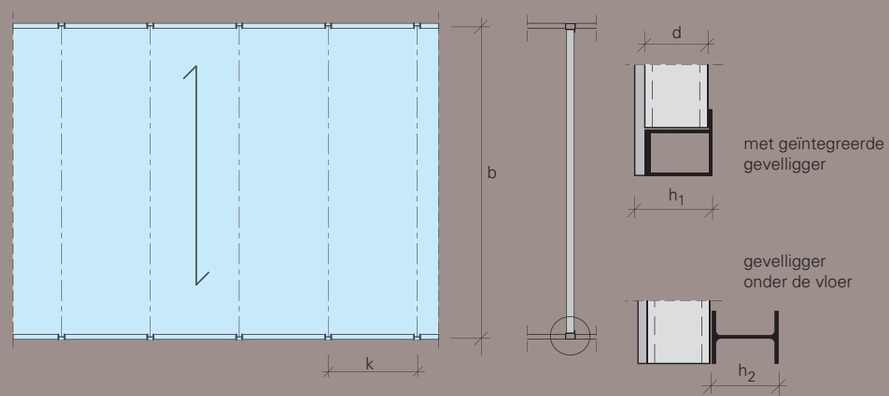


cellenkantoor (één rij middenkolommen)

gebouwdiepte	kanaalplaat		middenligger [1,4]	constructie-hoogte [2,3]
$b_1 + b_2$ (m)	b_{max} (m)	d (mm)	K (m)	h (mm)
16,2 (5,4+7,2)	7,2	200	3,6	265
		200	5,4	265
		260	7,2	325
14,4 (5,4+9,0)	9,0	260	3,6	325
		260	5,4	325
		260	7,2	325
14,4 (7,2+7,2)	7,2	200	3,6	265
		200	5,4	265
		260	7,2	325
16,2 (7,2+9,0)	9,0	260	3,6	325
		260	5,4	325
		260	7,2	325



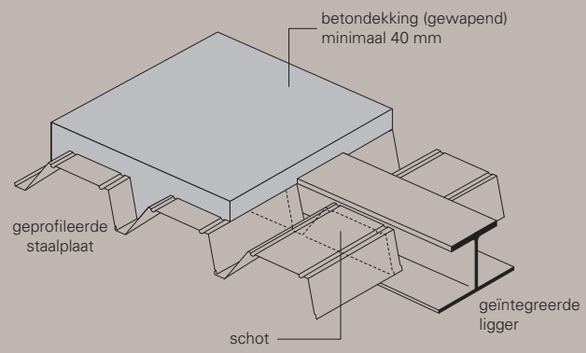
3) Uitgegaan is van doorgaande kolommen en ingehangen (enkelvelds) liggers. Bij toepassing van verdiepinghoge kolommen en doorgaande liggers kan de constructiehoogte worden verminderd met gemiddeld 20-40 mm.
4) De overspanning k van de gevelligger hangt af van de gevelindeling en is vrij te kiezen. De hoogte van de gevelligger hangt af van de gekozen oplossing, maar is in principe nooit groter dan de hoogte van de middenligger.
5) Constructiehoogte = dikte kanaalplaat plus dikte druklaag en/of afwerklaag (gemiddeld 50 mm). Let bij het bepalen van de exacte dikte van de druklaag en/of afwerklaag op de zeeg in de kanaalplaten én op de zeeg in de geïntegreerde liggers. Zie ook afbeelding 2.8.
6) Constructiehoogte = hoogte gewalste ligger.



groepenkantoor (geen middenkolommen)

	kanaalplaat			gevelligger [1,3]		
gebouwdiepte	**overspanning**	**dikte vloer**	**constructie hoogte [5]**	**stramien**	**geïntegreerd [2]**	**onder de vloer [6]**
b (m)	**b (m)**	**d (mm)**	**h (mm)**	**k (m)**	**h_1 (mm)**	**h_2 (mm)**
10,8	10,8	260	310	1,8 3,6 5,4 7,2	325 325 325 325	200 200 200 265
12,6	12,6	260	310	1,8 3,6 5,4 7,2	325 325 325 325	200 200 200 265
14,4	14,4	320	370	1,8 3,6 5,4 7,2	385 385 385 385	200 200 200 265
16,2	16,2	400	450	1,8 3,6 5,4 7,2	465 465 465 465	200 200 200 265

2.10 Isometrie van een geïntegreerde ligger met een hoge staalplaat-betonvloer.



2.2.2 Hoge staalplaat-betonvloeren

Hoge staalplaat-betonvloeren bestaan uit hoge geprofileerde staalplaten, waarop in het werk beton wordt gestort **(afb. 2.9)**. De staalplaat-betonvloer ligt op de onderflens van een geïntegreerde ligger **(afb. 2.10)**. Een hoge staalplaat-betonvloer onderscheidt zich van een lage staalplaat-betonvloer doordat de afmetingen van de geprofileerde staalplaten groter zijn, waardoor grotere overspanningen mogelijk zijn. Bovendien hoeft een hoge staalplaat-betonvloer tijdens de uitvoering niet te worden onderstempeld bij overspanningen tot 5,4 m.

• **Vorm plattegrond**. De vorm van de plattegrond kent bij toepassing van hoge staalplaat-betonvloeren geen beperkingen, omdat de staalplaat zich gemakkelijk in het werk in de gewenste vorm laat slijpen of knippen.

• **Overspanning en constructiehoogte**. De constructieve mogelijkheden en stramienmaten zijn schematisch weer-gegeven in **afbeelding 2.11**. Daarbij is uitgegaan van een veranderlijke vloerbelasting van 4 kN/m^2 (incl. lichte scheidingswanden), een steenachtige (afwerk)vloer van 1 kN/m^2 en uiteraard het eigen gewicht.

De vloerdragende randligger kan een geïntegreerde ligger zijn (waarvan de liggerhoogte vrijwel gelijk is aan de dikte van de hoge staalplaat-betonvloer), maar ook een ligger die onder de vloer ligt. In de gevel is het vaak geen bezwaar dat de vloerligger onder de vloer uitsteekt. De hoogte van de randligger is dan onafhankelijk van de dikte van de kanaalplaat.

Het kolomstramien in de gevel (k) is bij een staalskelet onafhankelijk te kiezen van het inpandige kolomstramien (K). Een interessante mogelijkheid is te kiezen voor een klein kolomstramien in de gevel, waardoor de kolomdoorsnede gering blijft en de slanke gevelkolommen gemakkelijk in de kozijnen zijn te integreren. Een voorbeeld hiervan is bestuursgebouw De Lens in Nieuwegein **(zie ook blz. 164)**, met een kolomstramien in de gevel van 1,2 m en kokervormige gevelkolommen met een doorsnede van 140x140 mm.

De hoge staalplaat-betonvloer is niet geschikt voor het type groepenkantoor, omdat de maximale overspanning van de hoge staalplaat-betonvloer in een enkelveldsuitvoering (met een onderstempeling tijdens de uitvoering) beperkt is tot 8 m.

• **Gewicht**. Het gewicht van een hoge staalplaat-betonvloer is aanmerkelijk lager dan dat van een massieve steenachtige vloer en ook lager dan dat van een kanaalplaatvloer. Het gewicht hangt voornamelijk af van de dikte van het beton boven de staalplaat **(afb. 2.12)**.

• **Bouwfysische aspecten**. De bijdrage van de hoge staalplaat-betonvloer aan het beheersen van het binnenklimaat door warmte-accumulatie is vergelijkbaar met dat van een massieve steenachtige vloer. Door het geringe eigen gewicht is de geluidisolatie minder dan dat van een massieve steenachtige vloer. In combinatie met een zwevende dekvloer kan een hoge staalplaat-betonvloer worden toegepast als woningscheidende vloer. Bij het detailleren van vloeraansluitingen moet worden gelet op het voorkomen van geluidoverdracht.

	gewicht (kg/m^2)	
dikte (mm)	≤ 5,4 m	≤ 7,2 m
280	320	295
300	365	340

2.12 Eigen gewicht van hoge staalplaat-betonvloeren. Tot 5,4 m overspanning hoeft de vloer niet te worden onderstempeld. Dat leidt wel tot een wat grotere doorbuiging in de uitvoering en daardoor tot een groter betonvolume.

• **Leidingintegratie**. Elektriciteitsleidingen kunnen in de hoge staalplaat-betonvloer worden ingestort. De hoge staalplaat-betonvloer is niet geschikt voor het integreren van leidingen van installaties in de vloer zelf. De ruimte aan de onderzijde tussen de ribben kan wel worden benut voor het aanbrengen van leidingen, installaties of verlichting in de lengterichting van de vloer.

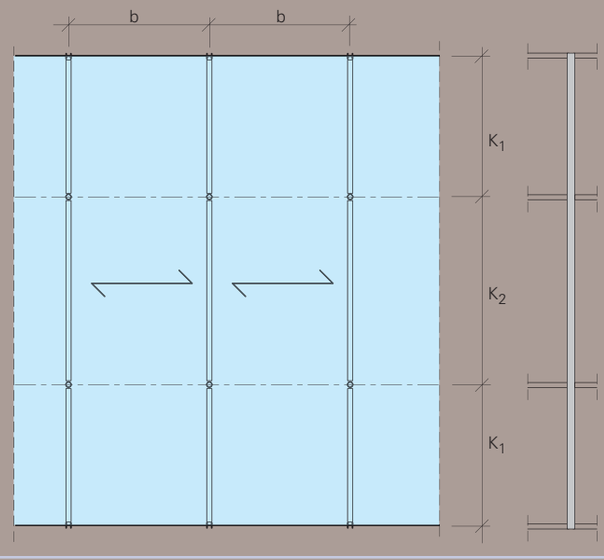
• **Aanpasbaarheid**. In combinatie met een computervloer biedt de hoge staalplaat-betonvloer voor kantoorfuncties een optimale flexibiliteit. Kleine sparingen kunnen in het werk worden aangebracht tussen de ribben van de vloer. Achteraf kunnen grote sparingen of trapgaten uitsluitend worden aangebracht met behulp van extra staalconstructies (zoals een raveling).

• **Bijzonderheden**. Na de montage van de staalplaten (en eventuele wapening) en een randbekisting in de vorm van een gezette staalplaat wordt in het werk beton gestort. Alle denkbare vloerafwerkingen zijn mogelijk.

2.11 Overspanningen en afmetingen van een vloerconstructie bestaande uit geïntegreerde liggers met een hoge staalplaat-betonvloer (sb-vloer). Veranderlijke vloerbelasting 4 kN/m^2 (incl. scheidingswanden) + rustende belasting 1 kN/m^2 + eigen gewicht.

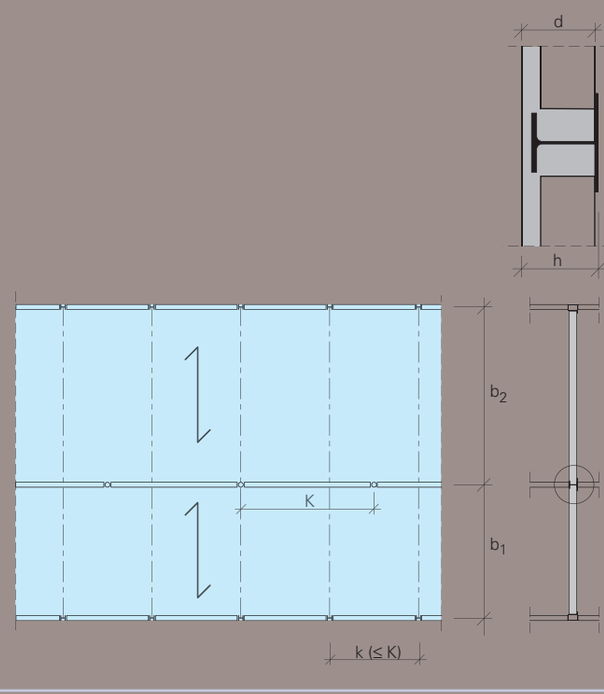
cocon- + combinatiekantoor (twee rijen middenkolommen)

gebouwdiepte	hoge sb-vloer		ligger [1]	constructie-hoogte [2,3]
$K_1 + K_2 + K_1$ (m)	b (m)	d (mm)	K_{max} (m)	h (mm)
16,2 (5,4+5,4+5,4)	5,4 7,2 [4]	280 300	5,4 5,4	315 315
18,0 (5,4+7,2+5,4)	5,4 7,2 [4]	280 300	7,2 7,2	325 345
19,8 (5,4+9,0+5,4)	5,4 7,2 [4]	280 300	9,0 9,0	355 365
19,8 (7,2+5,4+7,2)	5,4 7,2 [4]	280 300	7,2 7,2	335 345



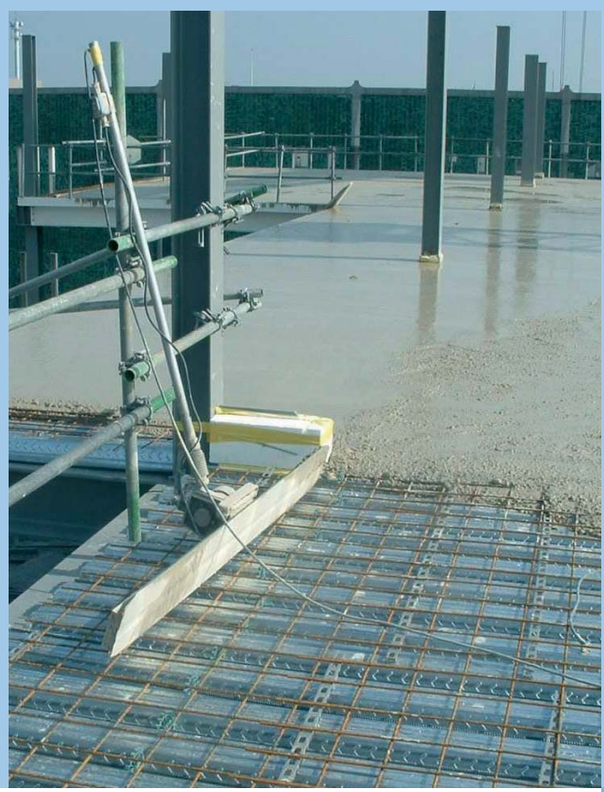
cellenkantoor (één rij middenkolommen)

gebouwdiepte	hoge sb-vloer		midden-ligger [1,5]	constructie-hoogte [3]
$b_1 + b_2$ (m)	b_{max} (m)	d (mm)	K (m)	h (mm)
12,6 (5,4+7,2)	7,2 [4]	300	3,6 5,4 7,2	320 320 330
14,4 (7,2+7,2)	7,2 [4]	300	3,6 5,4 7,2	320 320 330

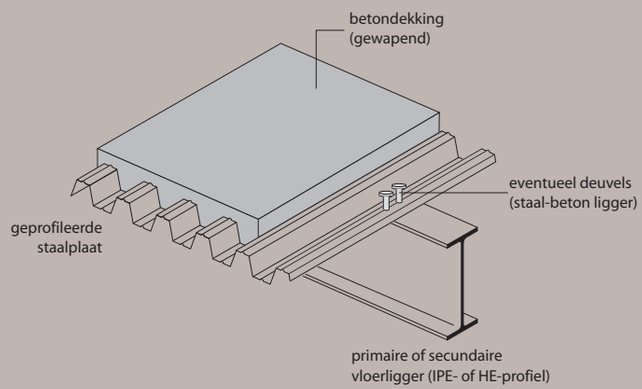


1) Zie hoofdstuk 6 voor de brandwerendheid van de stalen liggers.
2) Constructiehoogte = hoogte geïntegreerde ligger + gemiddeld 40 mm betondekking (met wapening) op de bovenflens, exclusief een eventuele afwerklaag. Een geringere constructiehoogte is mogelijk door een zwaardere vloerligger te kiezen, waarbij geldt: bovenkant hoge staalplaat-betonvloer = bovenkant flens geïntegreerde ligger.
3) Uitgegaan is van doorgaande kolommen en ingehangen (enkelvelds) liggers. Bij toepassing van verdiepinghoge kolommen en doorgaande liggers kan de constructiehoogte worden verminderd met gemiddeld 20-40 mm.
4) Tijdelijke onderstempeling van de hoge staalplaat-betonvloer tijdens de uitvoering is noodzakelijk. Een grotere overspanning dan 7,2 m is mogelijk na overleg met de leverancier.
5) De overspanning k van de gevelligger hangt af van de gevelindeling en is vrij te kiezen. De hoogte van de gevelligger hangt af van de gekozen oplossing, maar is in principe nooit groter dan de hoogte van de middenligger.

2.9 Hoge staalplaat-betonvloer tijdens de uitvoering.



2.13 Lage staalplaat-betonvloer tijdens de uitvoering.



2.14 Isometrie van een stalen ligger met een lage staalplaat-betonvloer.

overspanning staalplaat (m)	vloerdikte (mm)	gewicht (kg/m^2)
2,4	120	260
3,0	140	270
3,6	150	275

2.16 Eigen gewicht van lage staalplaat-betonvloeren, afhankelijk van type staalplaat (profilering).

2.2.3 Lage staalplaat-betonvloeren

Lage staalplaat-betonvloeren bestaan uit lage geprofileerde staalplaten, waarop in het werk beton wordt gestort **(afb. 2.13)**. De staalplaat-betonvloer ligt op de bovenflens van een gewalste ligger (HE- of IPE-profiel), die daardoor altijd onder de vloer uitsteekt **(afb. 2.14)**.

• **Vorm plattegrond**. De vorm van de plattegrond kent bij toepassing van lage staalplaat-betonvloeren geen beperkingen, omdat de staalplaat zich gemakkelijk in het werk in de gewenste vorm laat slijpen.

• **Overspanning en constructiehoogte**. De constructieve mogelijkheden en stramienmaten zijn schematisch weergegeven in **afbeelding 2.15**. Daarbij is uitgegaan van een veranderlijke vloerbelasting van 4 kN/m^2 (incl. lichte scheidingswanden), een steenachtige (afwerk)vloer van 1 kN/m^2 en uiteraard het eigen gewicht.

Een algemene ontwerpregel is dat de primaire liggers in de langste richting overspannen en de secundaire liggers in de kortste richting. (In a**fbeelding 2.15** betekent dit dat $b \leq K_{max}$ (cocon- en combinatiekantoor) of $k \leq b_{max}$ (cellenkantoor).)

In het algemeen geldt ook dat de hoogte van de secundaire ligger minder is dan de hoogte van de primaire ligger.

• **Gewicht**. Het gewicht van een lage staalplaat-betonvloer hangt af van de vloerdikte en van de profilering van staalplaat. Het gewicht van de vloer, inclusief de stalen vloerliggers, is vrijwel onafhankelijk van de overspanning van de vloer **(afb. 2.16)**.

• **Bouwfysische aspecten**. De bijdrage van de lage staalplaat-betonvloer aan het beheersen van het binnenklimaat door warmte-accumulatie is beter dan dat van een massieve steenachtige vloer, ondanks het geringe eigen gewicht. Dit komt omdat het oppervlak van de onderzijde van de staalplaat-betonvloer – waar warmte kan worden afgegeven of opgenomen – groter is dan dat van een vlakke vloer. Door het geringe eigen gewicht is de geluidisolatie minder dan dat van een massieve steenachtige vloer. Bij toepassing in kantoorgebouwen voldoet de lage staalplaat-betonvloer aan de gestelde eisen. In combinatie met een zwevende dekvloer kan de vloer worden toegepast als woningscheidende vloer.

• **Leidingintegratie.** Elektriciteitsleidingen kunnen in de lage staalplaat-betonvloer worden ingestort. De lage staalplaat-betonvloer is niet geschikt voor het integreren van leidingen van klimaatinstallaties.

• **Aanpasbaarheid.** Leidingwerk wordt aangebracht onder een verhoogde (computer)vloer en/of onder de vloer. Door openingen in het lijf van de vloerliggers zijn leidingen eenvoudig onder de vloer aan te brengen. Hierdoor blijft de brutoverdiepinghoogte beperkt.

Sparingen voor leidingen met een diameter van 200 mm kunnen achteraf zonder aanvullende voorzieningen in de lage staalplaat-betonvloer worden geboord. Sparingen tot maximaal 600 mm zijn mogelijk wanneer vóór het aanbrengen van het beton extra wapening wordt aangebracht. Het maken van grote sparingen of trapgaten in de gebruikssituatie is uitsluitend mogelijk na het aanbrengen van extra staalconstructies (bijvoorbeeld een raveling).

• **Bijzonderheden**. Na de montage van de staalplaten, de wapening en een randbekisting in de vorm van een gezette staalplaat wordt het beton in het werk gestort. Alle denkbare vloerafwerkingen zijn mogelijk.

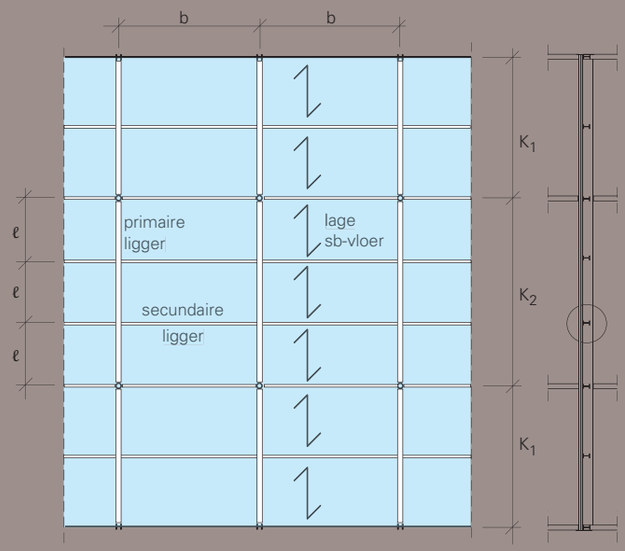
2.15 Overspanningen en afmetingen van een vloerconstructie bestaande uit gewalste liggers met een lage staalplaat-betonvloer (sb-vloer). Veranderlijke vloerbelasting 4 kN/m^2 (incl. scheidingswanden) + rustende belasting 1 kN/m^2 + eigen gewicht.

1) Zie hoofdstuk 6 voor de brandwerendheid van de stalen liggers.
2) Constructiehoogte = hoogte primaire ligger (meestal HE-profiel) + dikte lage staalplaat-betonvloer. De secundaire vloerliggers die direct de lage staalplaat-betonvloer dragen (meestal IPE-profiel) zijn niet hoger dan de primaire liggers. In het algemeen geldt: bovenkant primaire ligger = bovenkant secundaire ligger.

cocon- + combinatiekantoor (twee rijen middenkolommen)

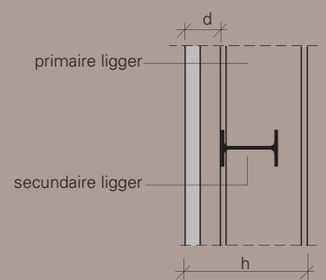
gebouwdiepte	lage sb-vloer		primaire-ligger [1]	constructie-hoogte [2,3]
$K_1 + K_2 + K_1$ (m)	b (m)	d (mm)	K_{max} (m)	h (mm)
16,2 (5,4+5,4+5,4)	3,6	140	5,4	370
	5,4	140	5,4	390
18,0 (5,4+7,2+5,4)	3,6	150	7,2	440
	5,4	150	7,2	480
	7,2	150	7,2	540
19,8 (5,4+9,0+5,4)	3,6	140	9,0	490
	5,4	140	9,0	580
	7,2	140	9,0	630
	9,0	140	9,0	630
19,8 (7,2+5,4+7,2)	3,6	150	7,2	440
	5,4	150	7,2	480
	7,2	150	7,2	540

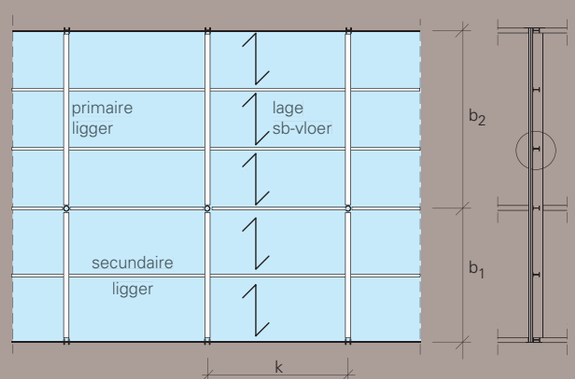
ℓ: een overspanning van 3,6 m is een praktische maat voor de lage staalplaat-betonvloer. Bij een grotere afstand is stempelen nodig.



cellenkantoor (één rij middenkolommen)

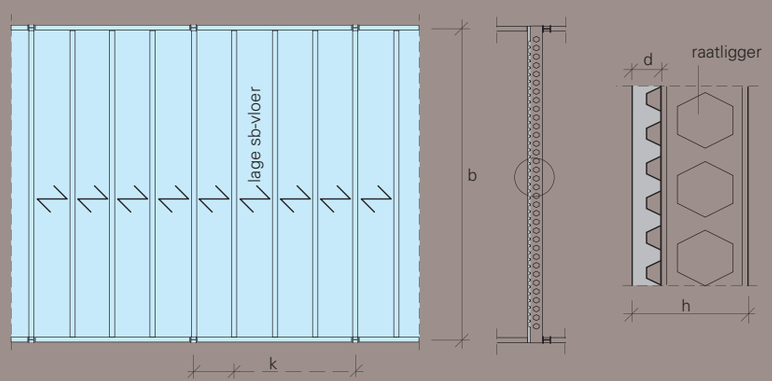
gebouwdiepte	lage sb-vloer		primaire-ligger [1]	constructie-hoogte [2,3]
$b_1 + b_2$ (m)	k (m)	d (mm)	b_{max} (m)	h (mm)
12,6 (5,4+7,2)	3,6	150	7,2	440
	5,4	150	7,2	480
	7,2	150	7,2	540
14,4 (5,4+9,0)	3,6	140	9,0	490
	5,4	140	9,0	580
	7,2	140	9,0	630
	9,0	140	9,0	630
14,4 (7,2+7,2)	3,6	150	7,2	440
	5,4	150	7,2	480
	7,2	150	7,2	540
16,2 (7,2+9,0)	3,6	140	9,0	490
	5,4	140	9,0	580
	7,2	140	9,0	630
	9,0	140	9,0	630





3) Er is niet uitgegaan van constructieve samenwerking tussen lage staalplaat-betonvloer en secundaire ligger (staal-beton ligger). Uitgegaan is van doorgaande kolommen en ingehangen (enkelvelds) liggers. Bij toepassing van verdiepinghoge kolommen en doorgaande liggers, eventueel in combinatie met staal-beton liggers kan de constructiehoogte worden verminderd met gemiddeld 20-60 mm.

4) Constructiehoogte = hoogte raatligger + dikte lage staalplaat-betonvloer. De staalplaat-betonvloer wordt direct op de raatliggers aangebracht. Bij gevelafstanden k = 1,8 m en k = 3,6 m ligt elke raatligger op een kolom in de gevel. Bij grotere gevelafstanden k is een extra gevelligger nodig.



groepenkantoor (geen middenkolommen)

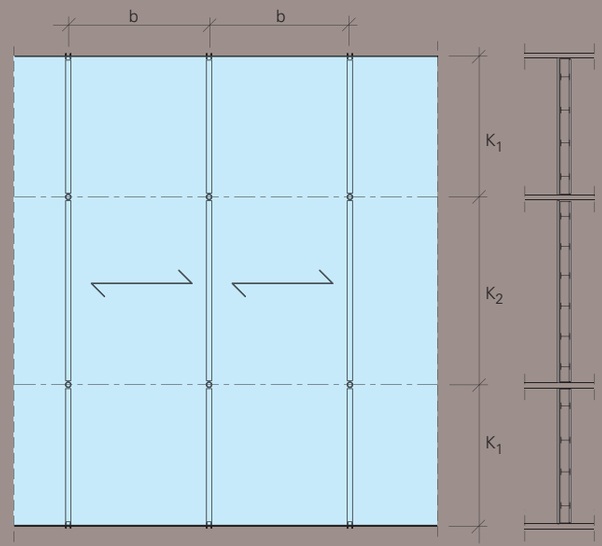
gebouwdiepte	lage sb-vloer			constructie-hoogte [1,4]
b (m)	b (m)	k (m)	d (mm)	h (mm)
10,8	10,8	1,8 3,6 5,4 7,2	120 150 140 150	530 650 610 650
12,6	12,6	1,8 3,6 5,4 7,2	120 150 140 150	590 740 670 740
14,4	14,4	1,8 3,6 5,4 7,2	120 150 140 150	650 810 730 810
16,2	16,2	1,8 3,6 5,4 7,2	120 150 140 150	710 890 800 890

2.18 Overspanningen en afmetingen van een vloerconstructie bestaande uit gewalste liggers met een Infra+-vloer. Veranderlijke vloerbelasting 4 kN/m^2 (incl. scheidingswanden) + rustende belasting 1 kN/m^2 + eigen gewicht.

1) Zie hoofdstuk 6 voor de brandwerendheid van de stalen liggers.
2) Constructiehoogte = hoogte basisvloer (betonnen plaat + ingestort walsprofiel) plus akoestische ontkoppeling plus geprofileerde staalplaat plus anhydriet- of zandcement-afwerklaag.

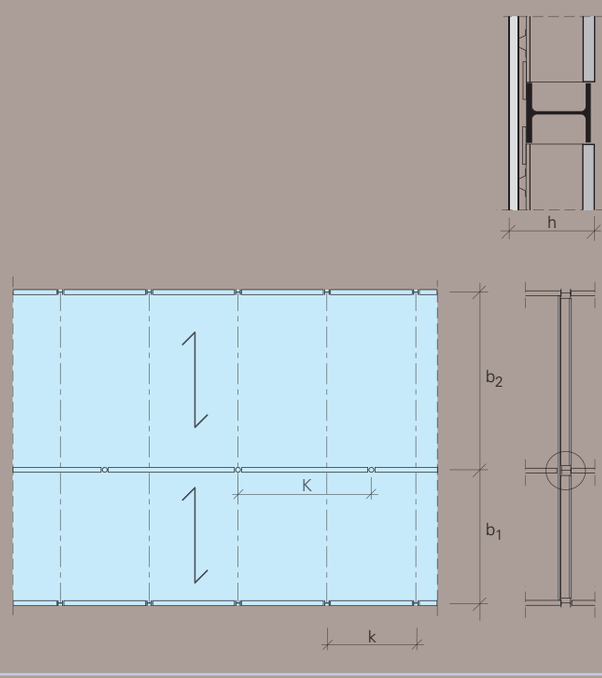
cocon- + combinatiekantoor (twee rijen middenkolommen)

gebouwdiepte	Infra+-vloer	ligger [1]	constructiehoogte	
			topvloer gesloten [2]	topvloer demon-tabel [3]
$K_1 + K_2 + K_1$ (m)	b (m)	K_{max} (m)	h (mm)	h (mm)
16,2 (5,4+5,4+5,4)	5,4 7,2 9,0	5,4 5,4 5,4	340 400 460	355 412 475
18,0 (5,4+7,2+5,4)	5,4 7,2 9,0	7,2 7,2 7,2	340 400 460	355 412 475
19,8 (5,4+9,0+5,4)	5,4 7,2 9,0	9,0 9,0 9,0	340 400 460	355 412 475
19,8 (7,2+5,4+7,2)	5,4 7,2 9,0	7,2 7,2 7,2	340 400 460	355 412 475

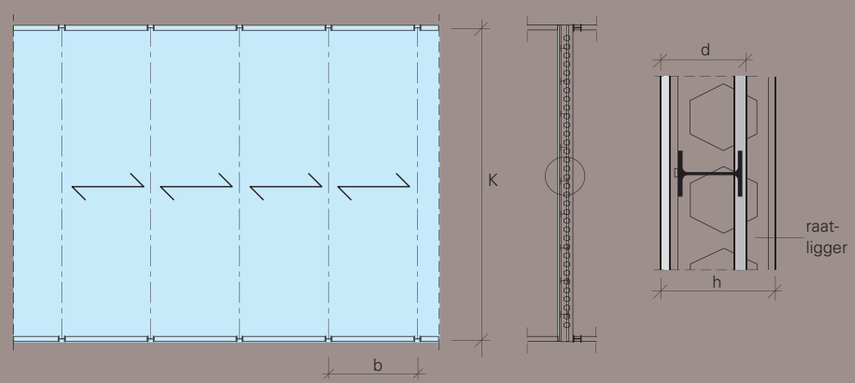


cellenkantoor (één rij middenkolommen)

gebouwdiepte	Infra+-vloer	midden-ligger [1,2]	constructiehoogte	
			topvloer gesloten [2]	topvloer demon-tabel [3]
$b_1 + b_2$ (m)	b_{max} (m)	K (m)	h (mm)	h (mm)
12,6 (5,4+7,2)	7,2	3,6 5,4 7,2	400	415
14,4 (5,4+9,0)	9,0	3,6 5,4 7,2	460	475
14,4 (7,2+7,2)	7,2	3,6 5,4 7,2	400	415
16,2 (7,2+9,0)	9,0	3,6 5,4 7,2	460	475

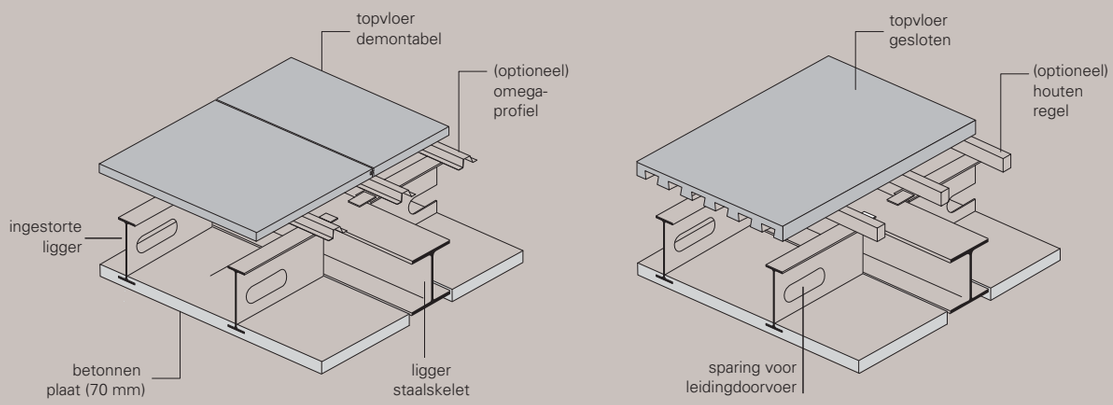


3) Constructiehoogte = hoogte basisvloer plus akoestische ontkoppeling plus koudgevormd Omega-profiel 40 mm plus plaatmateriaal.
4) Dikte = hoogte basisvloer (betonnen plaat + ingestort walsprofiel) plus akoestische ontkoppeling plus geprofileerde staalplaat plus anhydriet- of zandcement-afwerklaag.
5) Dikte = hoogte basisvloer plus akoestische ontkoppeling plus koudgevormd Omega-profiel 40 mm plus plaatmateriaal.
6) Constructiehoogte = hoogte raatligger (op basis van HEB-profiel) plus topvloer.



groepenkantoor (geen middenkolommen)

gebouwdiepte	Infra+-vloer	dikte		constructiehoogte [1,6]	
		topvloer gesloten [4]	topvloer demon-tabel [5]	topvloer gesloten	topvloer demon-tabel
K (m)	b (m)	d (mm)	d (m)	h (mm)	h (mm)
10,8	5,4 7,2	340 400	355 415	580 670	595 685
12,6	5,4 7,2	340 400	355 415	670 820	685 835
14,4	5,4 7,2	340 400	355 415	820 900	835 915



2.17 Isometrie van een gewalste ligger met een Infra+-vloer en een toepassingsvoorbeeld.

2.2.4 Infra+-vloeren

Infra+-vloeren bestaan uit geprefabriceerde vloerelementen met een standaardbreedte van 2,4 m. De vloerelementen bestaan uit stalen I-vormige liggers hart-op-hart 0,6 m of 1,2 m, waarvan de onderflenzen zijn ingestort in een betonnen plaat van 70 mm dikte **(afb. 2.17)**. Over de I-vormige liggers komt een topvloer bestaande uit een geprofileerde staalplaat met een cement- of anhydrietvloer.

Een variant met een droge topvloer, bestaande uit een plaatmateriaal op 40 mm hoge stalen koudgevormde profielen of houten regels, is ook mogelijk.

De vloerelementen rusten op de bovenflens van de liggers van het staalskelet. Dat kan op twee manieren gebeuren:

• *via de onderflens van de IPE-liggers,* die daartoe iets voorbij de betonnen plaat doorlopen (meestal bij randliggers);

• *via een aangelaste nok op de bovenkant van de IPE-liggers* (meestal bij middenliggers). De liggers van het staalskelet zijn bijna altijd zo te kiezen dat ze niet onder de vloer uitsteken.

Opgemerkt wordt dat de Infra+-vloer ook kan worden gecombineerd met een geïntegreerde ligger.

• **Vorm plattegrond**. De vorm van de plattegrond kent bij toepassing van de Infra+-vloer geen beperkingen. Ronde of schuine hoeken en uitkragingen zijn goed mogelijk.

• **Overspanning en constructiehoogte**. De constructieve mogelijkheden en stramienmaten van Infra+-vloeren zijn schematisch weergegeven in **afbeelding 2.18**. Daarbij is uitgegaan van een veranderlijke vloerbelasting van 4 kN/m^2 (incl. lichte scheidingswanden), een steenachtige (afwerk)vloer van 1 kN/m^2 en uiteraard het eigen gewicht.

• **Gewicht**. Het gewicht van de Infra+-vloer is vrijwel onafhankelijk van de overspanning. Bij grote overspanningen blijft de dikte van betonschil gelijk en variëren uitsluitend de afmetingen van de I-vormige stalen liggers. Het gewicht van een 'kale' Infra+-vloer zonder topvloer bedraagt ongeveer 195 kg/m^2. Het gewicht van de complete vloer hangt af van de toegepaste topvloer en varieert van 250-300 kg/m^2.

• **Bouwfysische aspecten**. De bijdrage van de Infra+-vloer aan het beheersen van het binnenklimaat is vergelijkbaar met dat van een massieve steenachtige vloer, ondanks het geringe eigen gewicht. In de betonnen plaat kunnen leidingen worden opgenomen, waardoor de vloer als koelplafond kan worden benut (betonkernactivering). De vloer moet dan zonder plafond óf in combinatie met een thermisch open plafond worden toegepast. Akoestisch gedraagt de Infra+-vloer zich als een dubbelwandige constructie. Hierdoor zijn de akoestische prestaties van de vloer zodanig dat ook een toepassing als woningscheidende vloer in woongebouwen goed mogelijk is. De geluidisolatie van de betonschil is zodanig dat ook wordt voldaan aan de eisen in het Bouwbesluit met betrekking tot het geluid van 'in werking zijnde' installaties.

• **Leidingintegratie**. De Infra+-vloer is bij uitstek geschikt voor het integreren van leidingen van installaties. In het lijf van de I-vormige stalen profielen zijn op regelmatige afstanden gaten aangebracht, waardoor leidingen eenvoudig kunnen worden doorgevoerd. De maximale hoogte van de gaten hangt af van het toegepast walsprofiel en bedraagt iets minder dan de hoogte van lijf van de ligger.

• **Aanpasbaarheid**. De Infra+-vloer is ontwikkeld op basis van het principe van het scheiden van drager, installaties en afbouw. De installaties zijn opgenomen in de holle ruimte van de vloer. Aanpassingen in de gebruiksituatie zijn mogelijk bij de keuze voor een demontabele topvloer. Het maken van grote sparingen of trapgaten in de gebruiksituatie kan uitsluitend na het aanbrengen van extra staalconstructies (bijvoorbeeld een raveling).

• **Bijzonderheden**. De mogelijkheden om de vloer af te werken hangen af van de toegepaste topvloer. Alle denkbare vloerafwerkingen zijn mogelijk.

2.3 KOLOMMEN

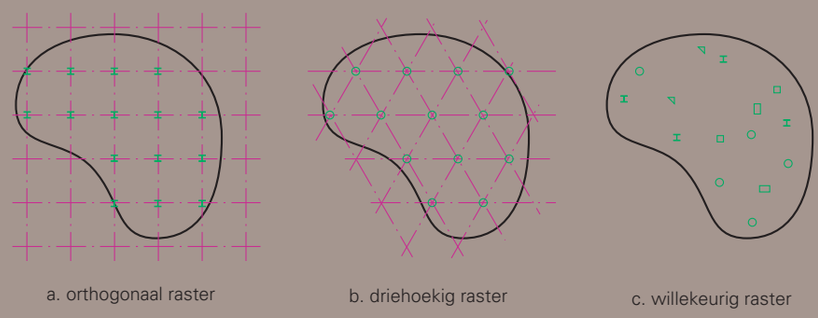
Bij een staalskelet is de plaats van de kolommen in de plattegrond in principe vrij te kiezen **(afb. 2.19)**. Wel heeft de kolomplaatsing gevolgen voor de opzet van de vloerconstructie. Een vloer opgebouwd uit rechthoekige velden is bijvoorbeeld moeilijk te combineren met een driehoekig kolomraster.

Kolommen brengen het eigen gewicht van en de veranderlijke en rustende verticale belasting op de verdiepingvloeren over naar de fundering. Voor de profielkeuze van een enkelvoudige kolom komen bijna alle warmgewalste profielen in aanmerking: ronde, vierkante en rechthoekige buizen én H-vormige walsprofielen **(afb. 2.20)**. I-profielen worden in verdiepinggebouwen weinig als kolom gebruikt vanwege de relatief grote gevoeligheid voor knik.

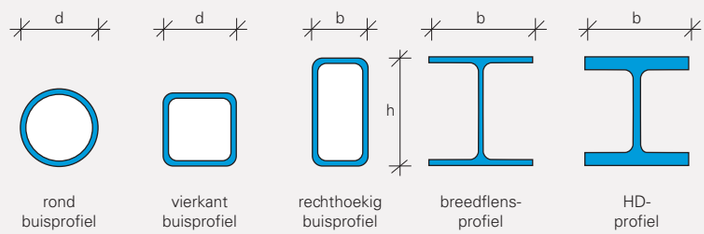
Voor het verkrijgen van zo slank mogelijke enkelvoudige kolommen zijn H-profielen geschikt. Met de profielserie HE-A/B/M kan voor middelhoge gebouwen een slanke kolomstapeling worden gemaakt. Voor hoge gebouwen of voor zwaar belaste kolommen is een speciale profielserie beschikbaar, namelijk de HD-serie waarvan de zwaardere profielen dikke lijven en flenzen hebben.

Voor extreem lange of zwaarbelaste kolommen óf voor kolommen met een bijzondere vorm zijn gelaste profielen, samengesteld uit staalplaat al of niet in combinatie met een walsprofiel, mogelijk **(afb. 2.21)**. Bij een slimme doorsnedevorm en een aangepaste plaatdikte zijn op deze manier zeer slanke kolommen te ontwerpen.

Afbeelding 2.22 bevat enkele vuistregels om globaal de minimale dwarsafmetingen van kolommen in een verdiepinggebouw te schatten.

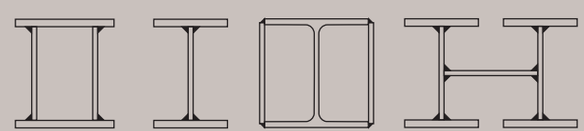


2.19 De plaats van de kolommen in de plattegrond is in principe vrij te kiezen.



2.20 Warmgewalste profielen die door hun doorsnedevorm bij uitstek geschikt zijn als kolom. Met een vuistregel kunnen de globale profielafmetingen worden bepaald (lbuc is de kniklengte).

2.21 Gelaste profielen die geschikt zijn voor toepassing als kolom.



2.3.1 Brandwerendheid

Kolommen moeten voldoen aan de eisen die het Bouwbesluit stelt aan de constructieve brandveiligheid. De brandwerendheid van een ‘onbeklede’ stalen kolom bedraagt ongeveer 20 minuten. De vereiste brandwerendheid is echter meestal groter. Hoofdstuk 6 (Brandveiligheid) gaat nader in op de brandveiligheid van staalconstructies.

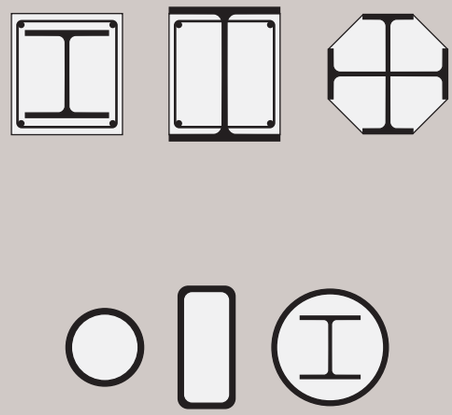
De brandwerendheid van H-vormige kolommen is te vergroten door het rondom aanbrengen van een isolerende bekleding. De laatste jaren is er in Nederland ook ervaring opgedaan met het toepassen van zogeheten opschuimende coatings. Een dergelijke coating zwelt bij een brand zodanig op dat er een voldoende dikke isolerende laag ontstaat.

De brandwerendheid van een staalprofiel neemt ook toe door het warmteaccumulerend vermogen te vergroten. Dit kan door het profiel te vullen met beton. Buizen kunnen natuurlijk ook met water worden gevuld worden.

Wanneer het staal en het beton ook constructief samenwerken ontstaan zogeheten staal-beton kolommen **(afb. 2.23)**. Deze kolommen combineren een hoge brandwerendheid met een kleine dwarsdoorsnede en een zeer hoge draagkracht.

constructie-element	horizontale en verticale doorsnede		hoogte h in (m)	verhouding h/d
gewalst of gelast profiel	d d h	één bouwlaag meer bouwlagen	2…8 2…4	25…20 18…7
buisprofiel	d d h	één bouwlaag meer bouwlagen	2…8 2…4	35…20 28…7
staal-beton kolom	d d h		2…4	15…6
kolom samengesteld uit profielen	d h		4…10	25…20

2.22 Vuistregels voor het schatten van de minimale dwarsafmeting van kolommen, afhankelijk van de hoogte.



2.23 Voorbeelden van staal-beton kolommen.

2.4 STABILITEITSCONSTRUCTIE

Bij staalconstructies voor verdiepinggebouwen worden de kolommen en de vloerliggers zoveel mogelijk scharnierend met elkaar verbonden. De verbindingen tussen kolom en ligger blijft dan eenvoudig (en dus goedkoop), terwijl de montage ook snel en gemakkelijk verloopt. Voor het opnemen van horizontale belastingen – met name door wind en initiële scheefstand – zijn dan aparte stabiliteitsconstructies nodig in de vorm van verticale verbanden in staal of schijven en kernen in gewapend beton. Een verband is altijd transparant, terwijl schijven en kernen monoliet zijn en vergaand de indeling van het gebouw beïvloeden. Voor de detaillering van een stabiliteitsverband bestaan vele mogelijkheden **(afb. 2.24)**. Natuurlijk is het ook mogelijk een staalskelet te maken zonder aparte stabiliteitsconstructies. Een bekend voorbeeld is het voormalige Nissan-gebouw in Amsterdam. Ook het hoofdgebouw van het Nederlands Architectuur-instituut in Rotterdam bijvoorbeeld heeft in dwarsrichting geen stabiliteitsverbanden. Wanneer een staalconstructie zonder verbanden wordt uitgevoerd, dan moeten de verbindingen tussen liggers en kolommen niet scharnierend, maar juist momentvast worden uitgevoerd waardoor er stabiele portalen ontstaan. Het resultaat is een volstrekt vrij indeelbaar kantoor. Deze wijze van construeren is echter wel materiaal intensief en daardoor relatief duur. Dat is de reden dat dit constructieprincipe weinig wordt toegepast.

Om een gebouw stabiel te maken, zijn tenminste drie afzonderlijke of gegroepeerde stabiliteitsconstructies nodig. Deze moeten bovendien zodanig in de plattegrond zijn georiënteerd dat de systeemlijnen niet evenwijdig lopen en ook geen gemeenschappelijk snijpunt bezitten **(afb. 2.25)**.

De vloeren brengen de horizontale belasting door wind of uit scheefstand op de stabiliteitsverbanden over. Meestal is hiervoor de vloerconstructie zelf geschikt. Wanneer dat niet kan – afhankelijk van de keuze en de detaillering van het vloersysteem en van de indeling van de plattegrond (denk aan grote vides of trapgaten) – dan kunnen de horizontale belastingen ook via horizontale verbanden (van stripstaal) in het vlak van de vloer of het dak naar de verticale stabiliteitsconstructies worden overgebracht **(afb. 2.26)**.

De belangrijkste afmeting van een stabiliteitsverband is de breedte van het verband ten opzichte van de hoogte van het gebouw. Deze verhouding is schematisch aangegeven in **afbeelding 2.27**.

De getekende verbanden in **afbeelding 2.27** zijn K-verbanden. Dit verband is voor een staalconstructie een optimale keuze. In de praktijk komt het echter vaak voor dat er een deur of een andere opening in het verband moet worden gemaakt. In die gevallen kan er een andere oplossing worden gezocht **(afb. 2.24)**. Bij een eerste ontwerp kunnen daarbij de breedte/hoogte-verhouding van K-verbanden worden aangehouden.

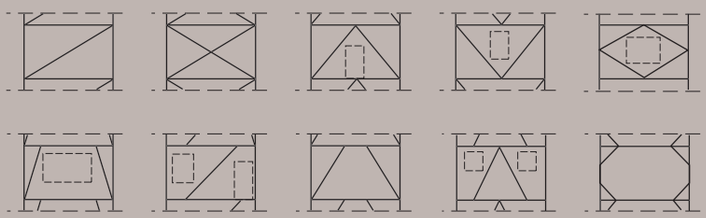
2.5 ONTWIKKELINGEN

De hiervoor behandelde gebouwen met een staalconstructie, in combinatie met één van de vier omschreven type vloerconstructies, representeren de Nederlandse bouwpraktijk van de laatste jaren. Deze paragraaf beschrijft in het kort enkele recente ontwikkelingen, die de mogelijkheden van staalskeletbouw nog meer kunnen vergroten:

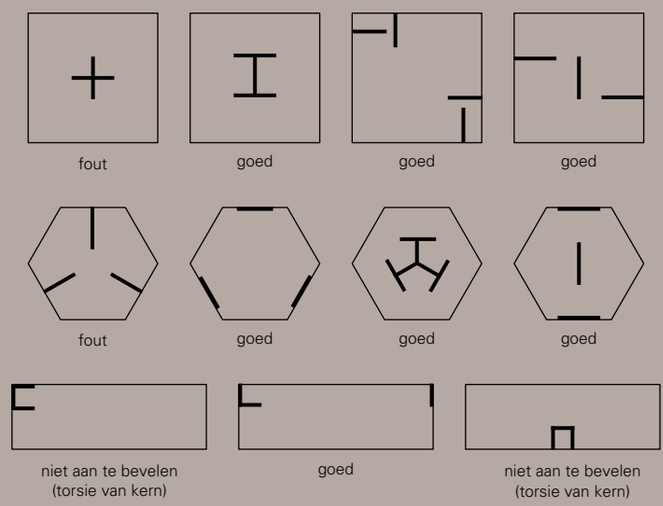
- staalframevloeren;
- Additiv Decke;
- staggered-trusssysteem.

2.5.1 Staalframevloeren

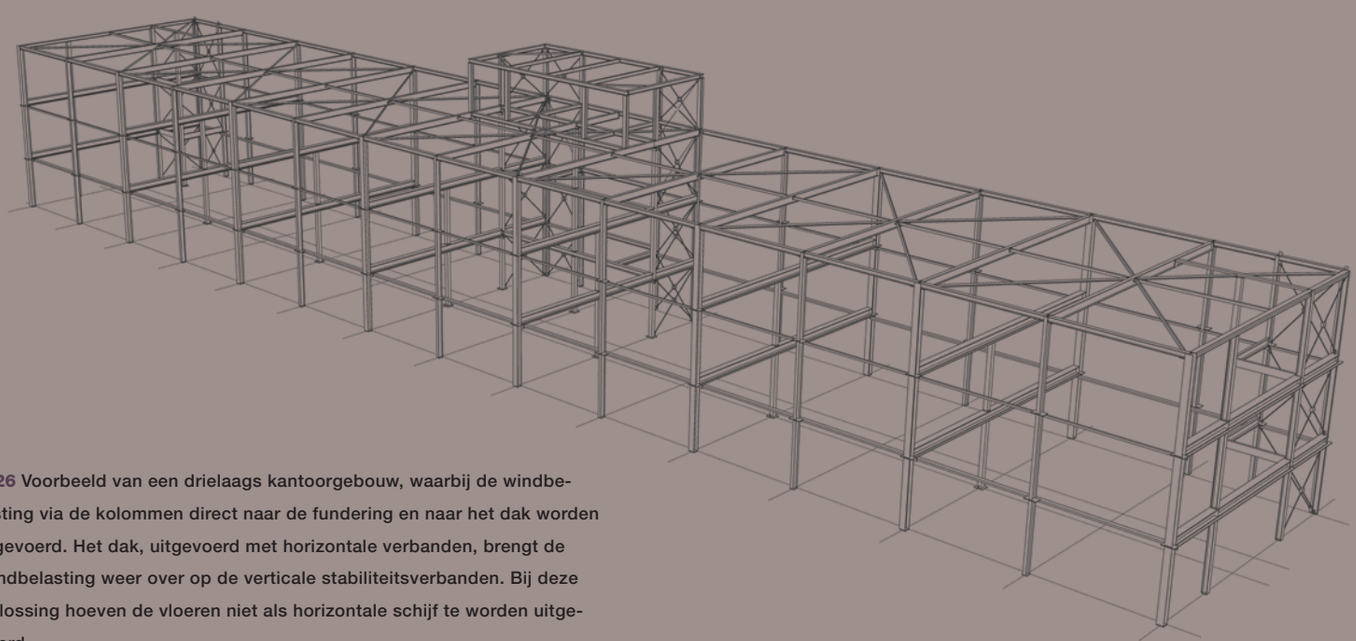
Een staalframevloer is een lichte, holle vloer bestaande uit geïntegreerde stalen vloerliggers en geprefabriceerde vloerelementen in staalframebouw. De vloerelementen liggen op de onderflens van de geïntegreerde liggers **(afb. 2.28)**. In de holle ruimte kunnen leidingen worden opgenomen.



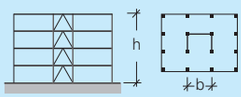
2.24 Voorbeelden van stalen stabiliteitsverbanden voor het afvoeren van horizontale belastingen. Met een stippellijn zijn mogelijke deur- en raamopeningen aangegeven.



2.25 Plaatsing van verticale stabiliteitsconstructies in de plattegrond. De werklijnen hiervan mogen niet alle evenwijdig zijn en mogen elkaar ook niet alle in één punt snijden.



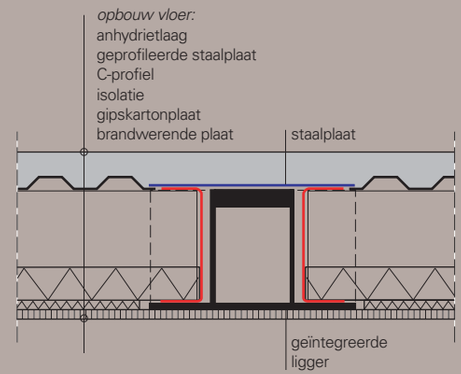
2.26 Voorbeeld van een drielaags kantoorgebouw, waarbij de windbelasting via de kolommen direct naar de fundering en naar het dak worden afgevoerd. Het dak, uitgevoerd met horizontale verbanden, brengt de windbelasting weer over op de verticale stabiliteitsverbanden. Bij deze oplossing hoeven de vloeren niet als horizontale schijf te worden uitgevoerd.

constructie-element	doorsnede	aantal bouwlagen h	verhouding h/b	opmerkingen
geschoord raamwerk met scharnierende verbindingen		5···20	8···6	Constructie uit te voeren met scharnierende verbindingen en is bij het aantal aangegeven verdiepingen zeer efficient.

2.27 Vuistregels voor het schatten van de afmetingen van geschoorde portalen.

2.28 Isometrie van een geïntegreerde ligger met een staalframevloer.

De staalframevloer wordt nu nog voornamelijk toegepast in de woningbouw. De constructieve mogelijkheden en stramienmaten zijn schematisch weergegeven in **afbeelding 2.29**.
Het gewicht van het stalen frame van koudgevormde profielen bedraagt ongeveer 12,5 kg/m^2. Het totale vloergewicht hangt af van de invulling van het frame. Een staalframevloer die voldoet aan de eisen van woningscheidende vloeren, voorzien van een steenachtige topvloer en een plafond met twee lagen gipskartonplaat (tweemaal 9 mm) weegt ongeveer 160 kg/m^2.
De afwerkingmogelijkheden hangen af van de beplating. Bij een houten beplating is een ceramische afwerking niet mogelijk. Bij toepassing van een geprofileerde stalen beplating in combinatie met een steenachtige afwerklaag is wel een ceramische afwerking mogelijk. De steenachtige afwerking kan bestaan uit een calciumsulfaatmortel (anhydrietvloer) of een zand-cement mortel. De steenachtige afwerking kan worden beschouwd als de dekvloer van een zwevende dekvloer. Voor het ontwerp, de detaillering en uitvoering hiervan wordt verwezen naar SBR-rapport 485[1].
Door zijn geringe gewicht heeft een staalframevloer een te verwaarlozen warmteaccumulerend vermogen. Het voordeel hiervan is dat een ruimte snel op temperatuur is. Dit heeft als nadeel is dat het snel te warm kan worden. Het is daarom aan te bevelen directe toetreding van de zon te voorkomen.
Het akoestisch gedrag van een staalframevloer wordt geheel bepaald door de afwerking aan de boven- en onderzijde. Een woningscheidende kwaliteit is praktisch mogelijk.



2.5.2 Additiv Decke

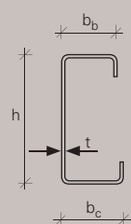
De Additiv Decke is een vloersysteem dat in Duitsland is ontwikkeld voor toepassing in parkeergarages. Het is een bijzondere uitvoering van de hoge staalplaat-betonvloer, waarbij de geprofileerde staalplaat van de vloer rust op oplegnokken die op de bovenflens van de stalen vloerliggers zijn gelast **(afb. 2.30)**. De stalen liggers werken samen met de betonnen schil en kunnen hierdoor maximaal zo'n 16 m overspannen. Het gewicht is aanmerkelijk minder dan dat van massieve steenachtige vloeren en hangt af van de dikte van de betonnen schil. Na montage worden de hoge staalplaten in het werk afgestort met beton.

2.5.3 Staggered-trusssysteem

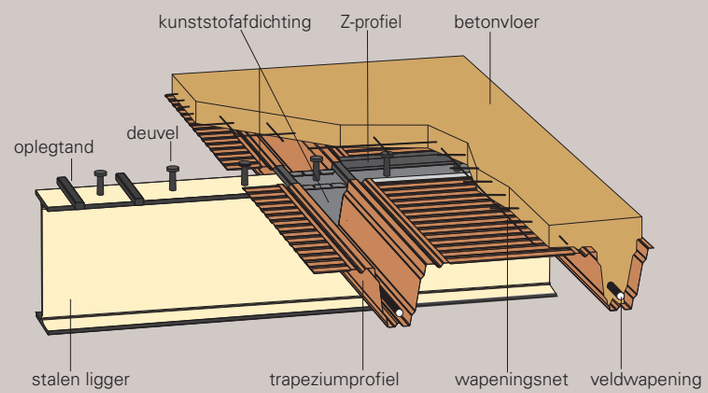
Het staggered-trusssysteem is een bijzondere uitvoering van het staalskelet, namelijk met verdiepinghoge vakwerkspanten die in de binnenwanden zijn opgenomen **(afb. 2.31 en 2.32)**. Het systeem wordt in de Verenigde Staten vaak toegepast, maar is in Europa tamelijk onbekend. Bij dit systeem kunnen de vakwerkspanten in één keer van gevel tot gevel zo'n 20 m of meer overspannen. In opeenvolgende plattegronden verspringen de vakwerkspanten steeds één stramien ten opzichte van elkaar. Hierdoor zijn bijzonder grote kolomvrije ruimten te ontwerpen.
Het staggered-trusssysteem is met alle genoemde vloerconstructies te combineren. In combinatie met staalplaat-betonvloeren zijn kolomvrije ruimten van 20x20 m mogelijk. In dwarsrichting verzorgen de vakwerkspanten ook de stabiliteit.

uitgangspunten	variabele belasting: 2,5 kN/m^2 (3,0 kN puntlast)
	permanente belasting: 0,9 kN/m^2
	belasting van scheidingswanden: 0,5 kN/m^2
	doorbuigingseis: $u_{tot} = \ell / 400$ èn $u_{tot} < 1$ mm voor een last van 1 kN

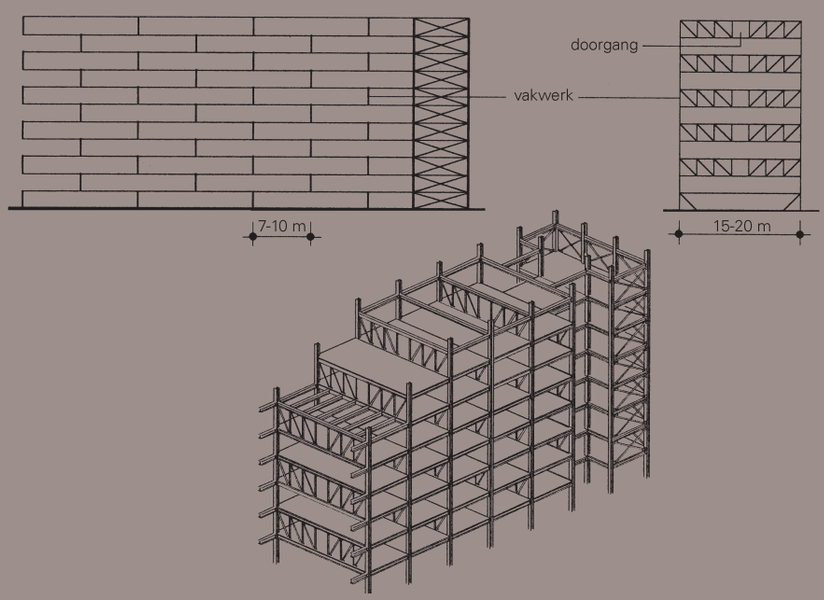
enkele ligger Chxb_cxb_b/t	h.o.h. 300 mm ℓ_{max} (m)	h.o.h. 400 mm ℓ_{max} (m)	h.o.h. 500 mm ℓ_{max} (m)
C150x46x40/1,5	3,2	3,1	2,9
C200x45x41/1,5	4,0	3,9	3,7
C200x45x41/2	4,5	4,4	4,1
C200x74x66/2	4,8	4,7	4,4
C200x74x66/2,5	5,4	5,3	5,0
C250x74x66/2,5	6,4	6,3	5,9
C300x97x88/3	8,3	8,1	7,6



2.29 Overspanningen en afmetingen van vloeren bestaande uit geïntegreerde liggers en staalframevloeren.



2.30 Isometrie van de Additiv Decke.



2.31 Principe van het staggered-trusssysteem.

2.32 Staggered-trusssysteem van Embassy Suites Hotel in New York.

Literatuur

1. P. van Deelen, *Zwevende dekvloeren op thermische of akoestische isolatie in de woningbouw* (SBR-publicatie 485), Rotterdam 2001.
2. M.R.J. Swinkels, *Rechtlijnige scheuren in harde afwerkingen op prefab betonvloeren* (SBR-publicatie 457), Rotterdam 1999.
3. A.W.A.M.J. van de Bogaard en C.H. van Eldik (red.), *Verdiepingbouw in staal en beton. Staalskelet met geïntegreerde liggers en kanaalplaten*, uitgave Staalbouw Instituut, Rotterdam 1995.
4. W.H. Verburg (samenst.), *Basisboek* ((Over)spannend staal. Deel 1), Rotterdam 2004 (4e druk).

3 GEVEL

Bij een verdiepinggebouw met een staalskelet heeft de gevel geen primaire dragende functie. Hierdoor heeft de ontwerper een grote vrijheid in de materiaalkeuze en in de esthetische vormgeving van de gevel.

Dit hoofdstuk geeft een beknopt overzicht van de geveltypen die in Nederland worden toegepast in combinatie met een staalconstructie. De geveltypen zijn ingedeeld naar materiaalgebruik en naar de constructieve opbouw.

Dankzij de functiesplitsing tussen ‘dragen’ en ‘scheiden’ bij staalskeletbouw heeft de ontwerper een grote keuzevrijheid in de vormgeving en de materialisering van de gevel. Voor de buitenhuid (of buitenblad) komen alle materialen in aanmerking die geschikt zijn voor blootstelling aan de buitenlucht of die daarvoor geschikt kunnen worden gemaakt. In staalskeletbouw kan de gevel op twee manieren aan de constructie worden bevestigd: aan de kolommen of aan de rand van de vloer. Bij gevels die bestaan uit een buiten- en een binnenspouwblad staat het binnenblad vaak op de vloer(rand) en loopt het buitenblad voor de vloer langs. Bij vliesgevels gaat het gevelpakket in zijn geheel voor de vloer langs.

Gevels kunnen in principe direct aan de hoofddraagconstructie (staalskelet) worden bevestigd. Vaak echter wordt eerst een aparte achterconstructie gemonteerd, waarmee tevens maattoleranties en eventuele scheefstand worden opgevangen. De volgende geveltypen worden hier besproken:

- vliesgevel;
- sandwichpanelen;
- plaatmateriaal;
- metselwerk;
- prefab beton.

De opbouw en detaillering van deze geveltypen wordt toegelicht aan de hand van uitgevoerde projecten in Nederland.

Bij het ontwerpen van gevels voor verdiepinggebouwen is het aansluitdetail tussen vloer en gevel van belang voor de brandveiligheid. Meestal fungeert de vloerconstructie als brandscheiding tussen de brandcompartimenten. De aansluiting tussen vloer en gevel moet dan ook voldoen aan de eisen met betrekking tot de weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag (wbdbo); zie ook hoofdstuk 6 (Brandveiligheid). De wbdbo-eis voor verdiepinggebouwen met drie of meer bouwlagen bedraagt 60 minuten; bij overige gebouwen is deze eis 30 minuten. **Afbeelding 3.1** toont een principe-oplossing die voldoet aan de eisen voor verdiepingbouw.

3.1 VLIESGEVEL

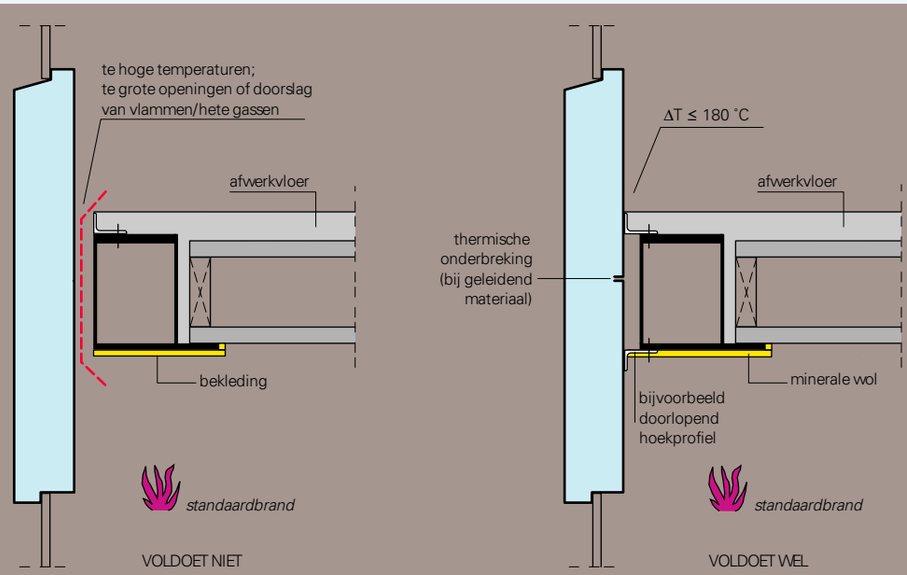
Onder een vliesgevel wordt hier verstaan een (relatief lichte) doorlopende gevel, bestaande uit verdiepinghoge elementen van aluminiumprofielen met een invulling van voornamelijk glas.

Technologische ontwikkelingen in de glasindustrie én in de gevelbouw hebben er voor gezorgd dat dergelijke gevels van aluminium en glas vaak worden toegepast bij grote verdiepinggebouwen. Een recent voorbeeld is het ING House in Amsterdam. Andere projecten met aluminium/glas-gevels zijn onder meer de toren van het World Trade Center in Rotterdam, bestuursgebouw De Lens in Nieuwegein, het Breitner Center in Amsterdam, de InHolland Hogeschool in Rotterdam en de Kennedy-toren in Eindhoven.

• Bij de *InHolland Hogeschool* **(afb. 3.2)** is gekozen voor een gevel met dominante horizontale lijnen. De overspanning van de gevelelementen – die aan de gevelkolommen hangen – is hier gelijk aan het stramien van de gevel-kolommen, namelijk 5,4 m.

• Het *Breitner Center* **(afb. 3.3)** is een voorbeeld van een gebouw waarbij de verticale lijnen in het gevelontwerp overheersen. Bij gebouwen van deze omvang wordt voor de gevel doorgaans gekozen voor verdiepinghoge elementen. De breedte van de elementen bedraagt hier 1,8 m en de hoogte 3,6 m. Bij kleine gebouwen wordt de gevel meestal in het werk samengesteld.

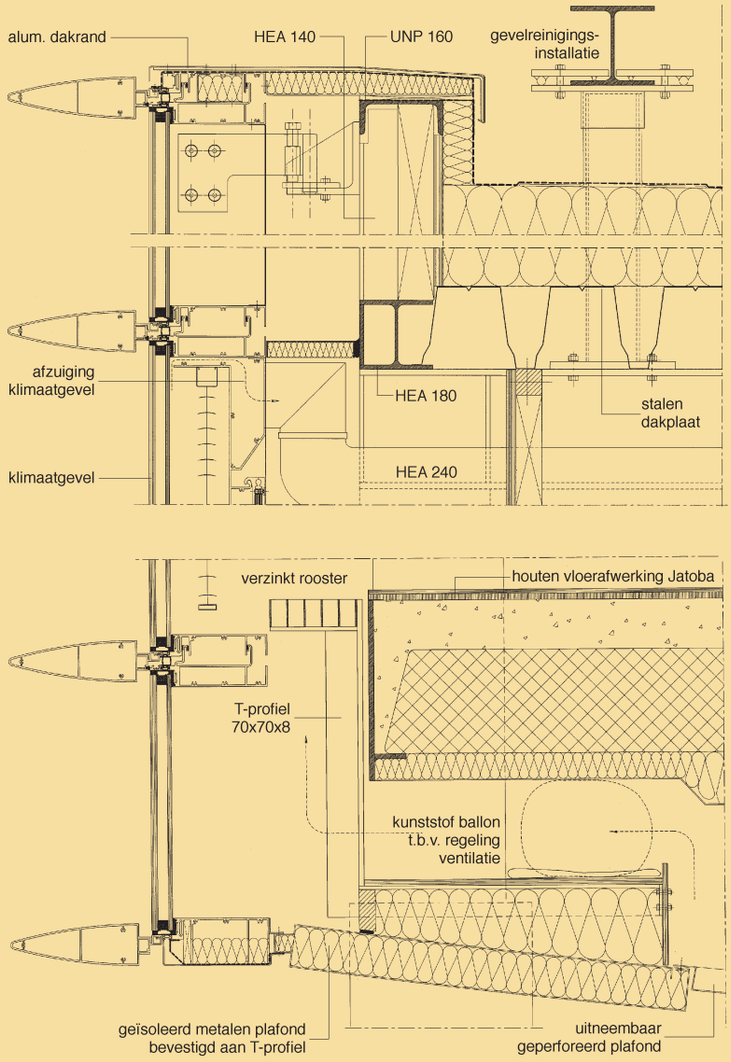
De gevelkolommen van het Breitner Center staan hart-op-

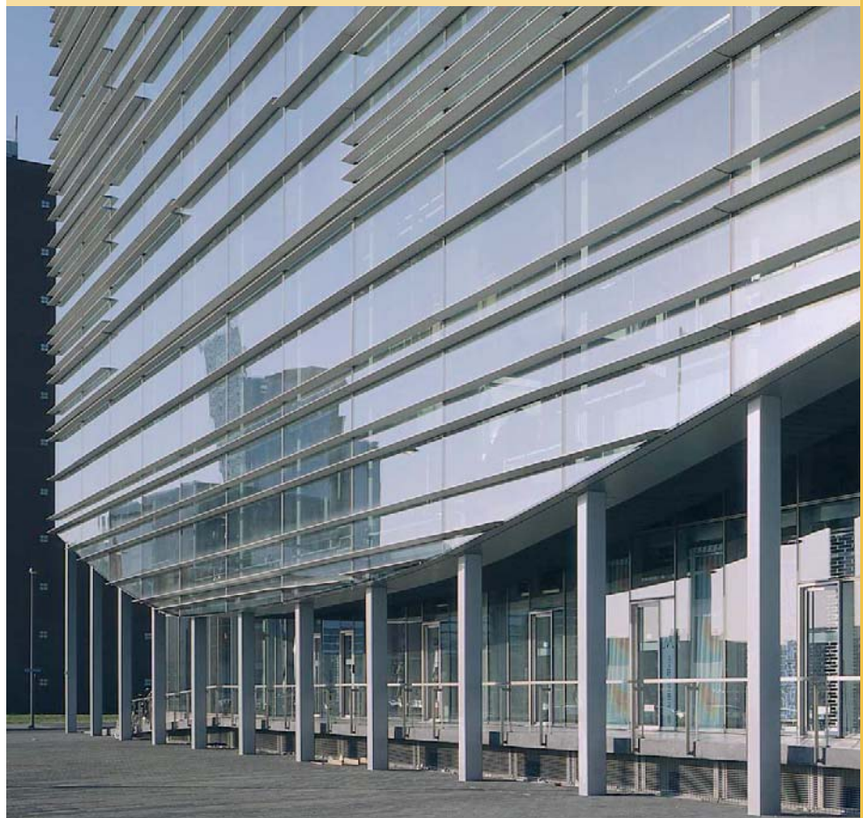


3.1 Beoordeling van de branddoorslag van een aansluiting tussen gevel en vloer.

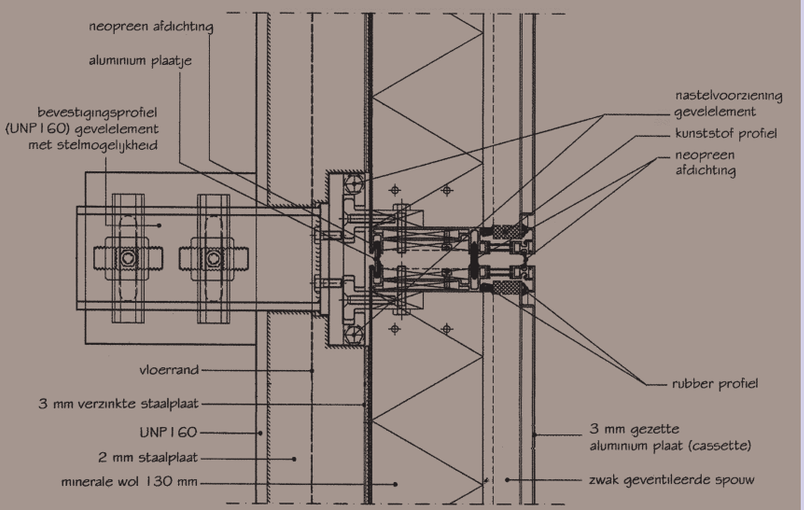
hart 7,2 m. De verdiepinghoge elementen rusten op de vloerrand. Om te voorkomen dat de horizontale belijning van de gevel doorhangt, moet de randligger voldoen aan strengere doorbuigingseisen dan constructief gezien nodig is. Hiervoor is overleg met de gevelbouwer noodzakelijk. De stalen randligger bestaat bij dit gebouw uit een UNP-300.
In het detail van de aansluiting van de gevel aan de vloer is te zien hoe deze aansluiting brandwerend is gemaakt en daarmee voldoet aan de wbdbo-eis van 60 minuten. Tussen het UPN-profiel en de gevelelementen is een 2 mm dikke staalplaat geschroefd; de ruimte erboven is opgevuld met minerale wol. Deze methode van detailleren kan ook bij de andere geveltypen worden toegepast. Het UNP-profiel hoeft aan de onderzijde niet brandwerend te worden bekleed, omdat slechts een klein gedeelte van het profiel aan brand wordt blootgesteld. Hierdoor warmt het UNP-profiel onder brandomstandigheden dus zeer langzaam op. Dankzij de staalplaat in de gevelelementen voldoen de elementen zelf ook aan de wbdbo-eis, staal is immers onbrandbaar.

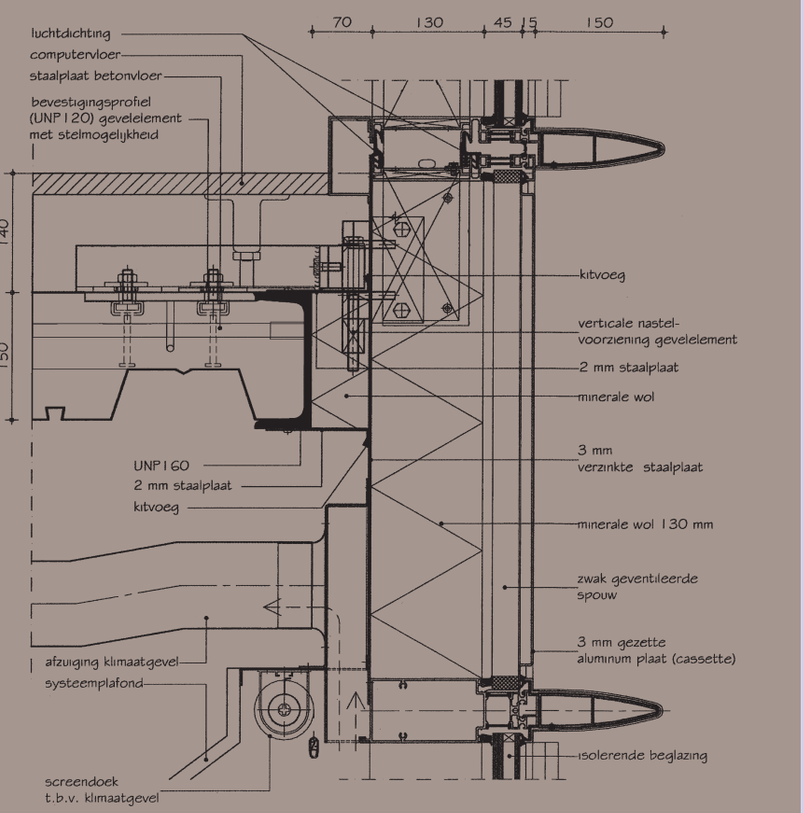
Voor het bevestigen van vliesgevels wordt doorgaans aan de vloerconstructie een zogeheten ‘schoen’ bevestigd. Deze schoen is in het horizontale vlak in twee richtingen nastelbaar **(afb. 3.3)**. In de schoen is bovendien een voorziening getroffen om de gevelelementen op hoogte te kunnen stellen. Door deze werkwijze kunnen de schoenen voor de aanvang van de gevelmontage worden uitgelijnd en op hoogte gesteld. Het plaatsen van de gevel komt nu neer op het inhangen van de elementen.
Bij hoge gebouwen is de bouwsnelheid extra belangrijk. Naarmate het gebouw eerder kan worden opgeleverd, kan het ook eerder in gebruik worden genomen zodat de investering sneller wordt terugverdiend. Bij hoge gebouwen nemen de kosten van het verticaal transport van bouwdelen in verhouding toe. Het is dus niet handig om de gevelelementen met een bouwkraan te monteren. Bij vliesgevels van verdiepinghoge elementen is dat ook niet nodig **(afb. 3.4)**. De gevelelementen worden op pallets aangevoerd en in het gebouw geplaatst. Zo worden bijvoorbeeld alle elementen voor de verdieping 14 t/m 18 op de 18e verdieping neergezet. Met een mobiele montagekraan worden de elementen vanaf de 18e verdieping van binnenuit op de ondergelegen verdiepingen gemonteerd. Een combinatie van staalskeletbouw met een vliesgevel maakt een korte bouwtijd mogelijk.





3.2 InHolland Hogeschool, Rotterdam. Dwarsdoorsnede over de westgevel, uitgevoerd als klimaatgevel.





3.3 Breitner Center, Amsterdam. De vliesgevel bestaat uit verdiepinghoge elementen die aan de vloerrand zijn bevestigd.

3.4 Rembrandttoren, Amsterdam. Montage van de vliesgevel in beeld gebracht.

3.2 SANDWICHPANELEN

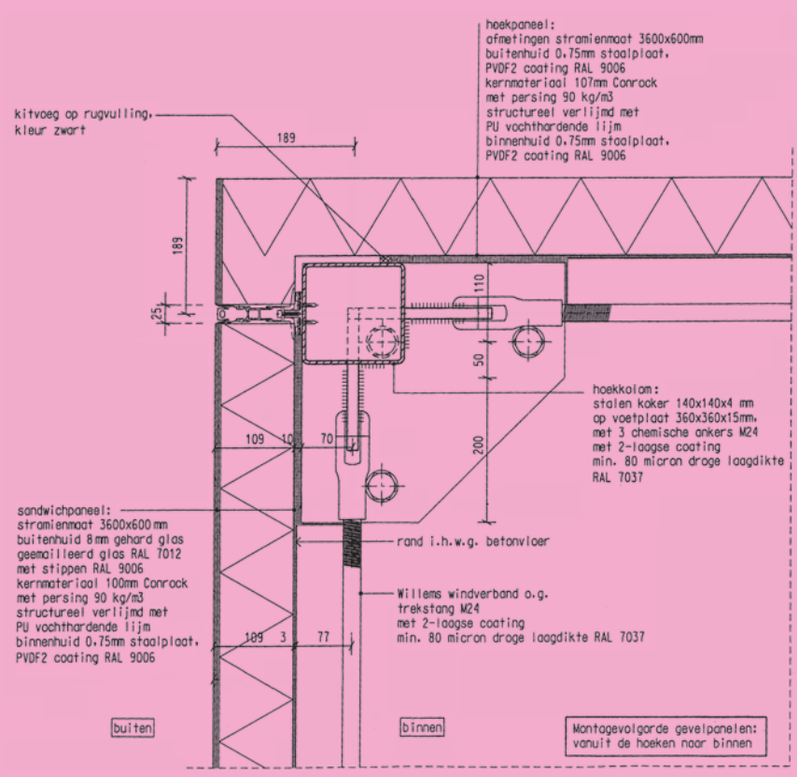
Een sandwichpaneel is een geprefabriceerd en compleet afgewerkt bouwelement met een gelaagde opbouw: een licht kernmateriaal (isolatie) met aan beide zijden een lichte huid. De huid is meestal van metaal, maar kan bijvoorbeeld ook van glas zijn. De toepassing van sandwichpanelen in het algemeen is beschreven in de publicatie *Metalen sandwichpanelen in de bouw*[1].

Voorbeelden van de toepassing van stalen sandwichpanelen in de gevel zijn het kantoorgebouw van Hobone in Veenendaal (noordgevel) en het bedrijfsgebouw Langerak Wielen in Utrecht **(afb. 3.5)**. Bij dit project zijn de sandwichpanelen gekromd. De panelen hebben een sponning waarin het glas is verlijmd, zonder tussenkomst van een kozijn.

De distributiegebouwen voor TPG-Post hebben bijvoorbeeld sandwichpanelen met een buitenhuid van geëmailleerd glas **(afb. 3.6)**.

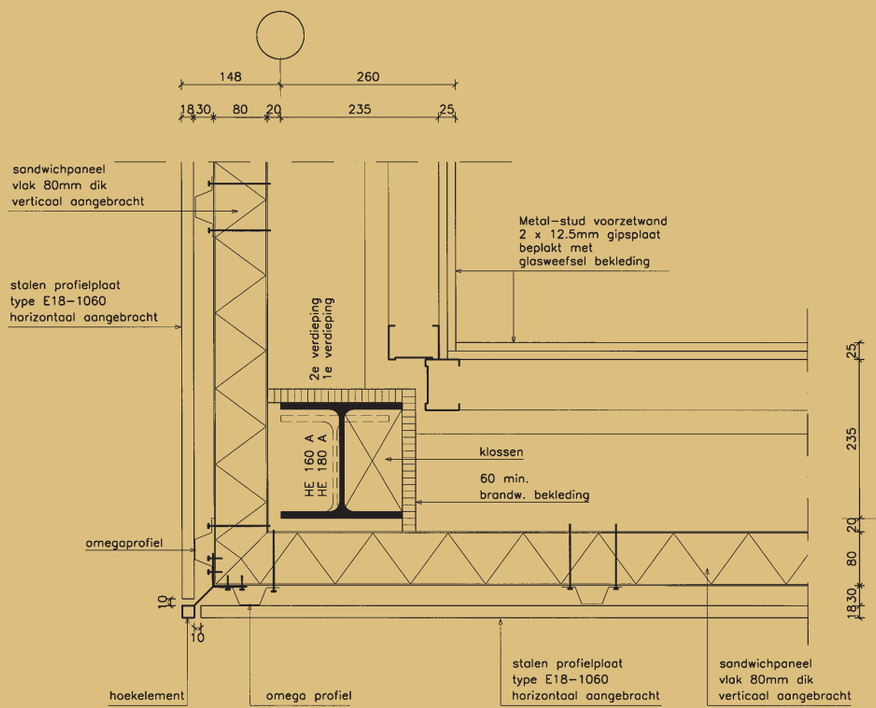
Sandwichpanelen kunnen ook dienen als binnenblad van een gevel, zoals bij het hierboven genoemde kantoorgebouw in Veenendaal. Bij dit kantoor zijn de panelen aan de zuidgevel verticaal gemonteerd. Hierop zijn aan de buitenzijde omegaprofielen geschroefd, waarop vervolgens horizontaal een geprofileerde staalplaat is bevestigd. De gevel is aan de binnenzijde afgewerkt met een metal-stud voorzetwand waarin de leidinggoot is opgenomen **(afb. 3.7)**.

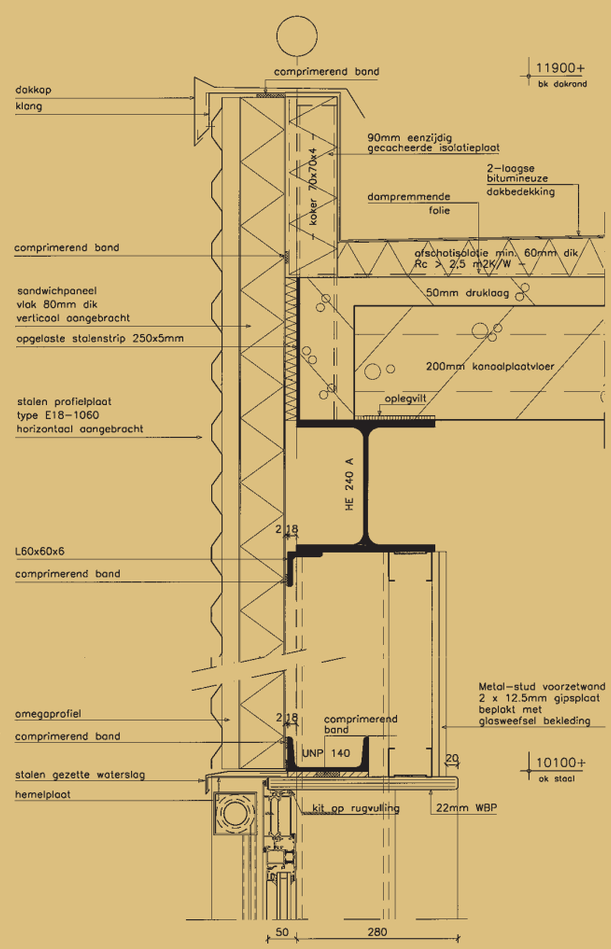
3.5 Bedrijfsgebouw Langerak Wielen, Utrecht. Toepassing van gebogen sandwichpanelen als gevelbekleding.



3.6 Distributiegebouw voor TPG-Post. Toepassing van sandwichpanelen met een buitenhuid van geëmailleerd glas.

3.7 Kantoorgebouw Hobone, Veenendaal. Sandwichpanelen als binnenspouwblad (zuidgevel, tekening) en als buitenblad (foto).





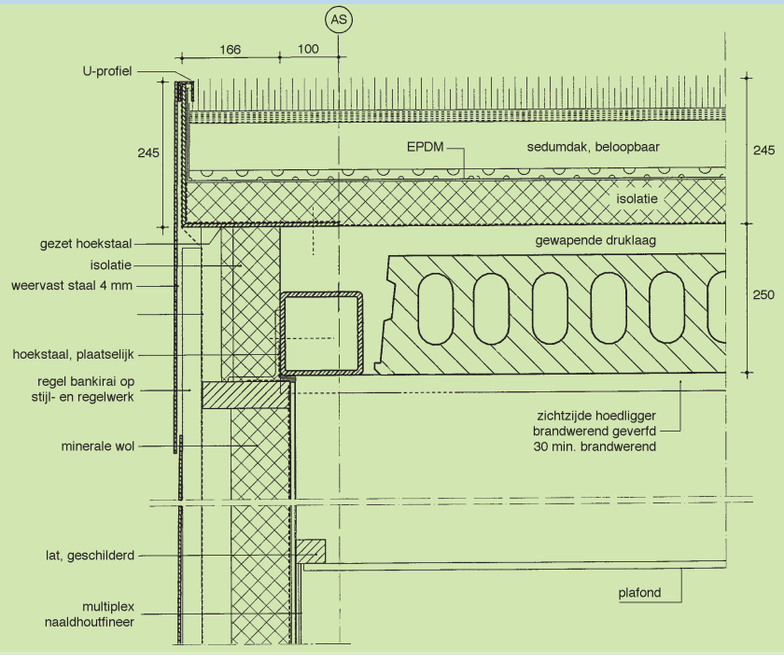
3.3 PLAATMATERIAAL

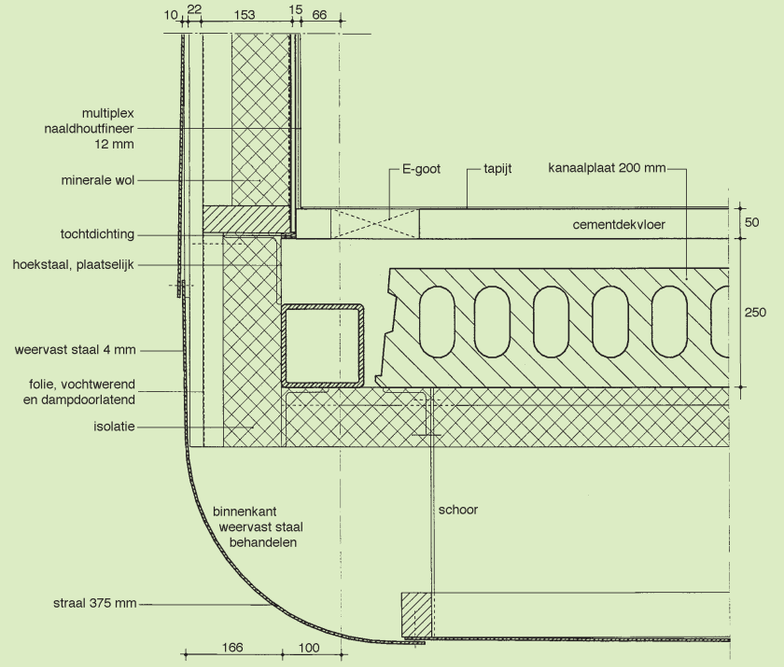
Bij dit geveltype bestaat de buitenhuid uit een plaatmateriaal – vlak of geprofileerd – dat is bevestigd aan of op een achterconstructie. Deze achterconstructie kan een binnenspouwblad zijn, maar ook een apart stijl- en regelwerk. Afhankelijk van de constructieve mogelijkheden en de eisen aan de achterconstructie is er voor de buitenhuid een ruime keus aan plaatmateriaal beschikbaar zoals staal, aluminium, hout, kunststof, natuursteen of keramiek.

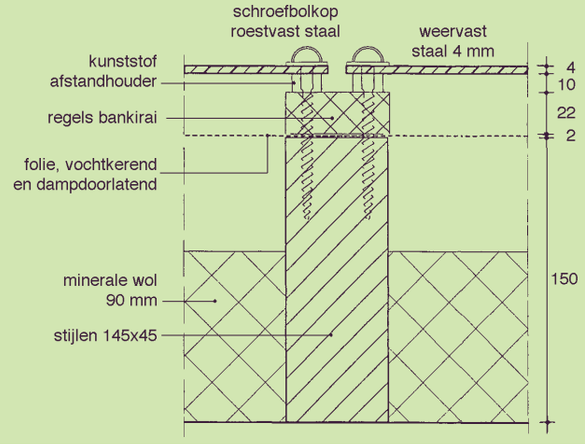
Het gebouw van de RVU in Hilversum heeft een houten binnenspouwblad en is afgewerkt met een beplating van weervast staal (**afb. 3.8**). Het binnenblad draagt het eigen gewicht van de beplating. Een binnenspouwblad in staalframebouw is ook mogelijk, zoals bij het HSSP-kantoor bij Corus in IJmuiden (**afb. 3.9**). Meer informatie over staalframebouw is te vinden in het *Handboek staalframebouw*[2]. Een aparte toepassing is het futuristisch vormgegeven Modecentrum in Almere (**afb. 3.10**). Hier wordt een aluminium buitenbeplating gedragen door een geprofileerde staalplaat, die is gemonteerd op gebogen profielen HEA 120. De naden tussen de geprofileerde staalplaten zijn afgeplakt ter plaatse van de gebogen HE-profielen. Hierdoor ontstaat een damp- en luchtdicht stalen binnenblad. Voor het bevestigen van de kozijnen aan dit binnenblad is gebruik gemaakt van stelkozijnen[3].

Eenzelfde soort detaillering is ook gekozen voor de gevel van het Silverforum in Eindhoven **(zie ook blz. 200)**. Hier is een vlakke aluminium beplating gemonteerd op een stalen binnendoosconstructie.

Overigens is het gebruik van een (stalen) gevelbeplating niet nieuw[4]. Al in 1932 bijvoorbeeld koos architect Roosenburg voor het hoofdgebouw van de Oranje-Nassaumijnen in Heerlen voor een dergelijke gevel **(zie afb. 1.5)**. De gevel bestaat hier uit staalplaten met aan de binnenzijde een isolatie en afwerking. Dit gebouw is in 1997 gerenoveerd, waarbij de gevel in zijn oorspronkelijk vorm geheel is behouden.

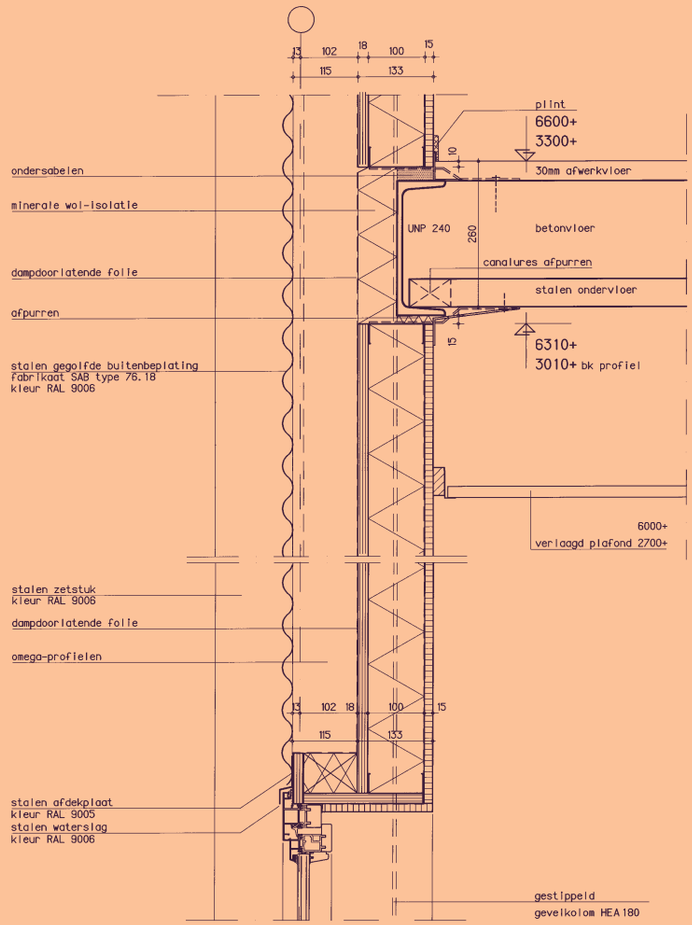




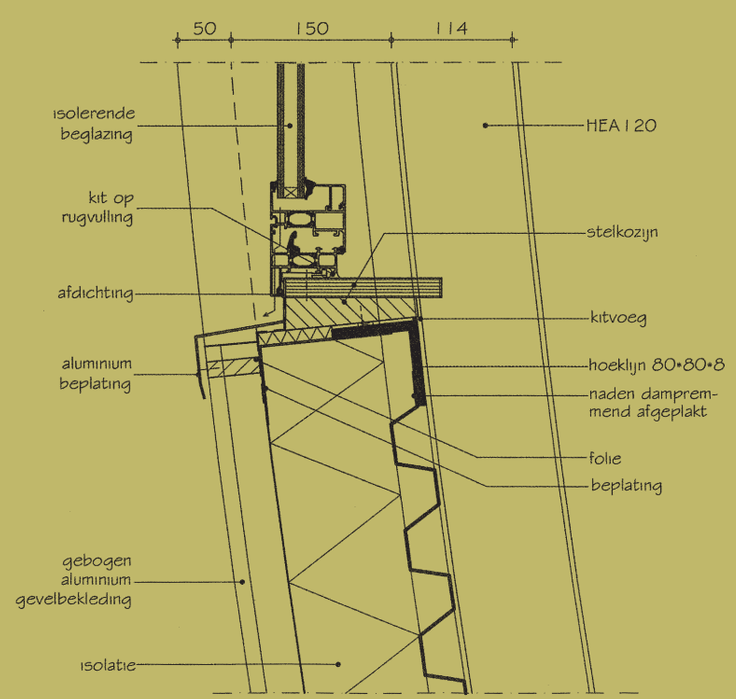


3.8 Gebouw RVU, Hilversum. Gevelbeplating van weervast staal op een binnenblad in houtskeletbouw.

3.9 Kantoorgebouw HSSP, IJmuiden. Gevelbeplating op een binnenblad in staalframebouw.



3.10 Modecentrum, Almere. Geprofileerde aluminium gevelbeplating gemonteerd op een horizontale beplating van geprofileerd staal.



3.4 METSELWERK

Bij de keuze voor een gemetselde gevel moeten voldoende opvangconstructies worden aangebracht: een gemetseld buitenblad kan maximaal over drie bouwlagen doorlopen. Meestal wordt het buitenblad per bouwlaag opgevangen.

Het metselwerk van het kantoorgebouw Da Vinci in Zwolle bijvoorbeeld rust op een staalprofiel dat per verdieping hangt aan de vloerrand **(afb. 3.11)**. Ter plaatse van de ronde gevel bestaat de vloerrand uit een profiel UNP 300. Dit gebogen profiel is langs de gehele verdiepingvloer aanwezig. De vloerrand draagt ook de staalplaat-betonvloer.

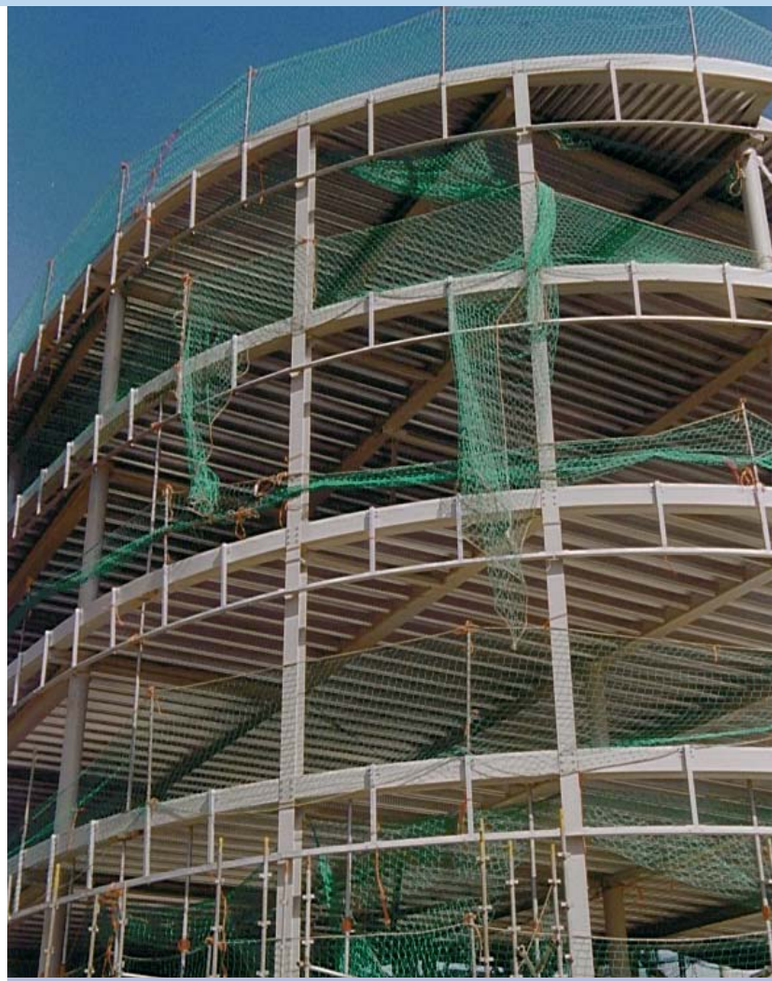
Om het metselwerk op te vangen is aan de vloerrand een hulpconstructie bevestigd van verticale kokerprofielen met een horizontaal hoekprofiel. Het hoekprofiel bevindt zich aan de bovenzijde van de kozijnen. Aan de binnenzijde is een binnenspouwblad in houtskeletbouw aangebracht. De kokerprofielen (60x40) zijn geheel opgenomen in de spouw. Hoewel het kokerprofiel is verzinkt, wordt het profiel toch vrij gehouden van het buitenspouwblad. De ruimte tussen het kokerprofiel en het buitenspouwblad bedraagt in dit project 30 mm. Deze maat is een ondergrens. (In Engeland wordt aanbevolen om de staalconstructie minimaal 40 mm vrij te houden van metselwerk vanwege de vorming van (mortel)baarden.) Het rondlopende hoekprofiel is verzinkt; bij hoge gebouwen in een stedelijke omgeving wordt aanbevolen ook nog een tweelaags verfsysteem aan te brengen, zie ook hoofdstuk 7 (Conserveren).

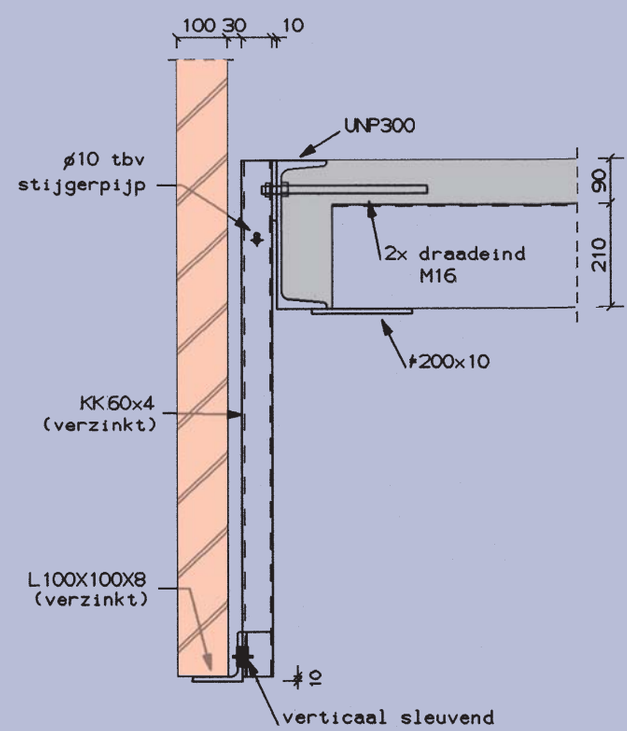
De detaillering van de opvang van het metselwerk bij kantoorgebouw Da Vinci is geschikt voor zowel rechte als voor gekromde gevels. Om koudebruggen te voorkomen moet het UNP-profiel aan de buitenzijde worden geïsoleerd. Om dezelfde reden moet het contactvlak tussen het kokerprofiel en het UNP-profiel beperkt blijven tot de lasnaden.

Een vergelijkbare opvangconstructie voor het metselwerk is toegepast bij het kantoorgedeelte van de brandweergarage in Breda **(afb. 3.12)**. Bij dit project hangt het metselwerk niet aan de vloerrand, maar aan de kolommen, die op een stramien van 2,4 m staan. De kabelgoot en de verwarming is hier ‘weggewerkt’ in het binnenspouwblad. Desondanks blijft de dikte van het gevelpakket beperkt tot 270 mm.

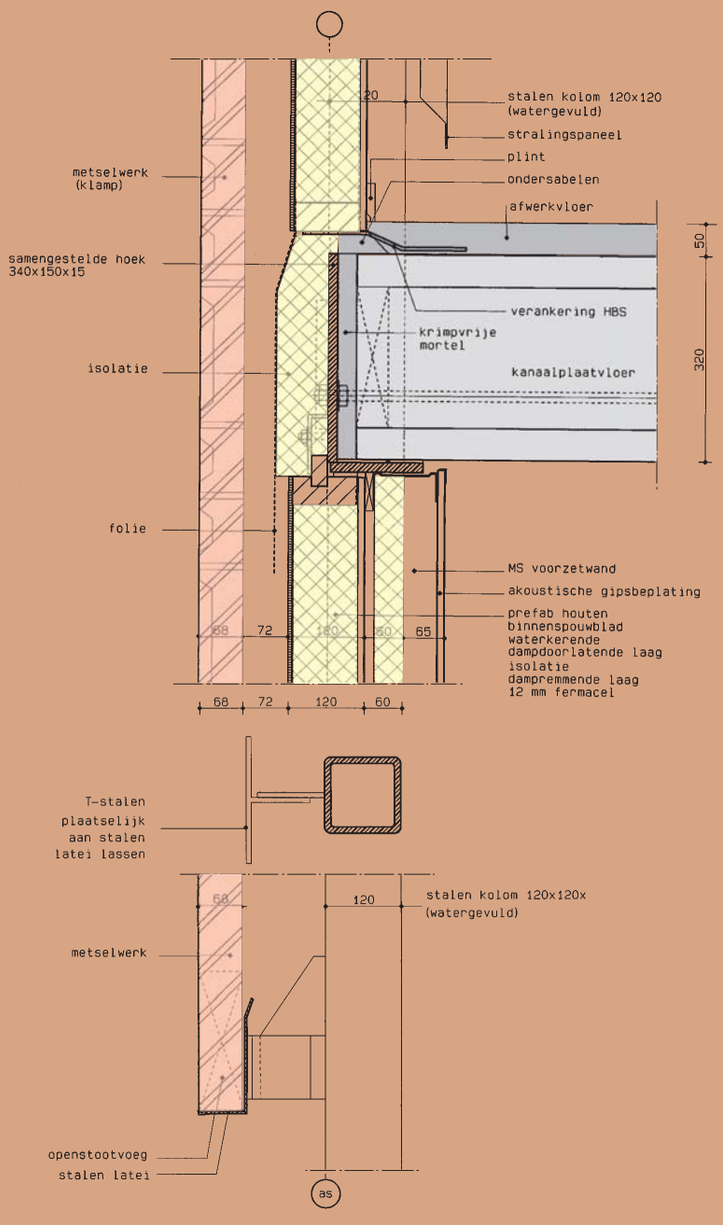
Bij projecten waar kanaalplaten zijn gecombineerd met geïntegreerde liggers kunnen de geveldragers voor het metselwerk worden bevestigd aan de randliggers. Dat zijn doorgaans asymmetrische geïntegreerde liggers, die ook wel ‘petliggers’ worden genoemd. Een voorbeeld van een dergelijke detaillering staat in **afbeelding 3.13**.

De Hogeschool voor Muziek en Dans in Rotterdam bijvoorbeeld heeft een buitenspouwblad van metselwerk dat wordt gedragen door metselwerkdragers die zijn bevestigd aan een binnenspouwblad van beton **(zie blz. 191)**. Vanwege de vereiste geluidsisolatie is hier gekozen voor een zwaar binnenspouwblad. De binnenspouwbladen zelf staan tussen de kolommen op de vloeren.

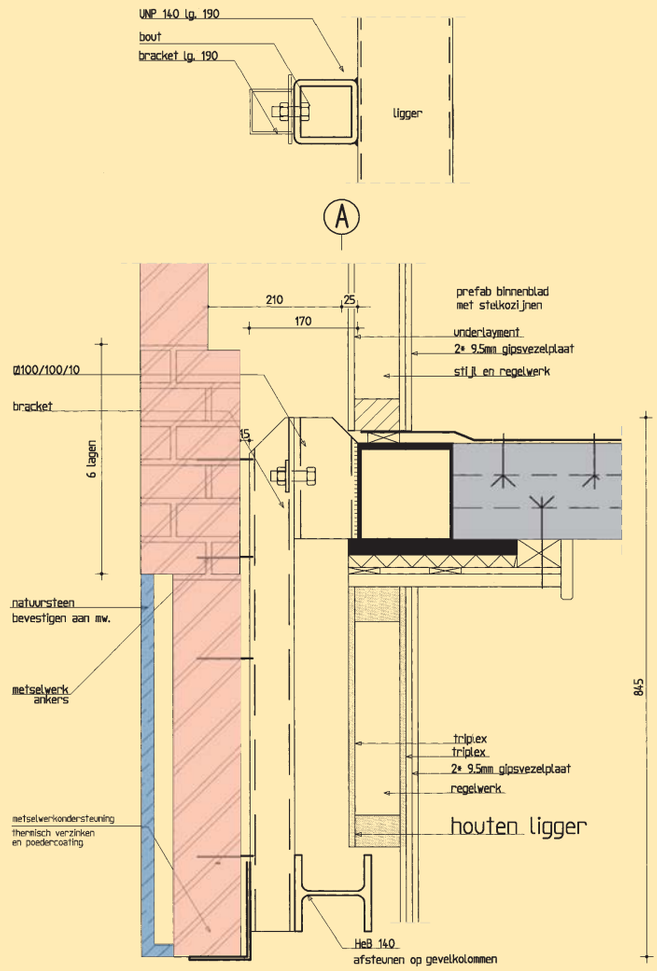




3.11 Kantoorgebouw Da Vinci, Zwolle. Het gemetseld buitenblad wordt per bouwlaag opgevangen door een constructie aan de vloerrand.



3.12 Brandweerkazerne, Breda. Het gemetseld buitenblad wordt opgevangen door een latei die met consoles aan de kolommen is bevestigd.



3.13 Albus Grand Hotel, Amsterdam Het gemetseld buitenblad wordt per bouwlaag opgevangen door een constructie aan de geïntegreerde randligger.

3.14 Voormalig hoofdkantoor van Nissan, Amsterdam. De verdiepinghoge gevelelementen van beton hangen aan de kolommen.

3.5 PREFAB BETON

Staalskeletbouw is ook uitstekend te combineren met een (niet-dragende) gevel in prefab beton. Voorbeelden hiervan zijn onder meer het kantoorgebouw Kennemerplein bij het station in Haarlem, de kantoortoren De Splinter in Rotterdam én het voormalige Nissan-kantoorgebouw en het kantoorgebouw Solaris Eclips, beide in Amsterdam.

• Het *voormalige Nissan-kantoorgebouw* heeft een prefab betonnen gevel, waarbij de betonelementen zijn uitgevoerd als sandwichconstructie **(afb. 3.14)**. De lengte van gevelpanelen komt overeen met het kolomstramien van 7,2 m. De hoogte is gelijk aan de bruto-verdiepinghoogte. De betonelementen liggen op consoles die aan de kolommen zijn gelast. De oplegpunten zijn verstelbaar uitgevoerd om toleranties op te vangen.

• De gevel van het *kantoor aan het Kennemerplein* heeft het karakter van een strokengevel **(afb. 3.15)**. Kenmerkend hierbij zijn de drie horizontale lichtstroken per verdieping. Door de positie van de lichtstroken valt het daglicht diep in de kantoren. De lengte van de gevelelementen is gelijk aan de stramienmaat van 7,2 m. De elementen zijn ongeveer 1,7 m hoog; dat is de halve bruto-verdiepinghoogte.

• Bij *kantoorgebouw De Splinter* is gekozen voor een vlakke gevel **(afb. 3.16)**. Ook hier bestaat de gevel uit niet-dragende sandwichpanelen van prefab beton. Hier rusten de gevelelementen op de stalen randliggers van de vloer.

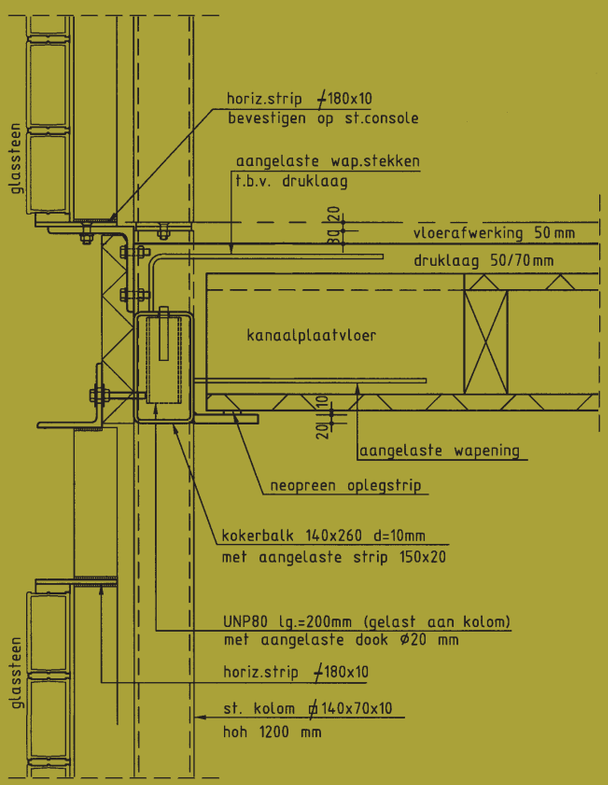
• Bij *kantoorgebouw Solaris Eclips* is de gevel opgebouwd uit prefab elementen met glazen bouwstenen **(afb. 3.17)**. De elementen zijn 3,6 m hoog en 1,2 m breed en staan op rand van de vloer.

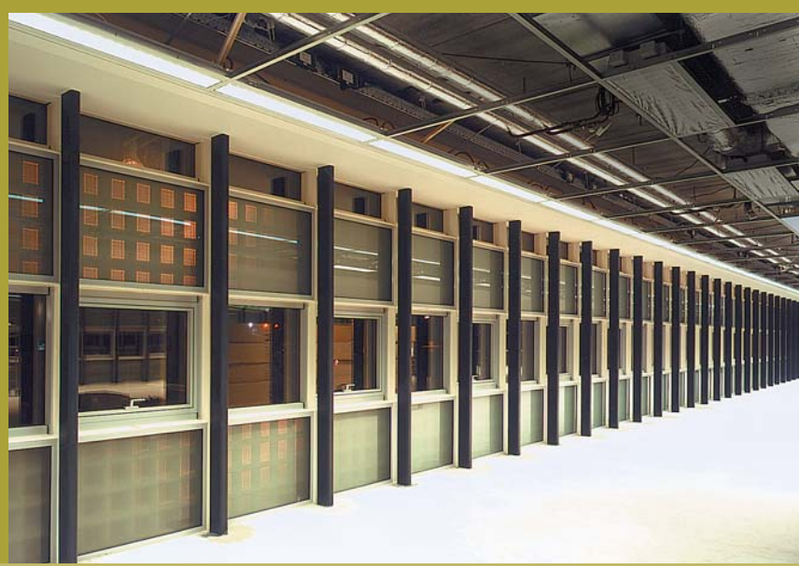
3.15 Kantoorgebouw Kennemerplein, Haarlem. De betonnen gevelelementen zijn met stelbouten bevestigd aan consoles aan de gevelkolommen.

Literatuur

1. *Metalen sandwichpanelen in de bouw*, uitgave Bouwen met Staal, Zoetermeer 2004.
2. *Handboek staalframebouw*, uitgave Bouwen met Staal, Zoetermeer 2004.
3. *Metalen gevelelementen. Projectdetails utiliteitsbouw*, uitgave SBR en VMRG, Rotterdam 2002.
4. H. Mertens, 'Monument van Roosenburg na restauratie weer functioneel', *Bouwen met Staal* 147 (1999), p. 40-43.

3.16 Kantoorgebouw De Splinter, Rotterdam. De betonnen gevelelementen rusten op de vloerrand.





3.17 Kantoorgebouw Solaris Eclips, Amsterdam. De gevel bestaat uit glazen bouwstenen die zijn gevat in een frame van hoekprofielen en stalen strippen.

4 DETAILLEREN

Een staalskelet voor een verdiepingsgebouw wordt samengesteld uit halffabrikaten die de nodige bewerkingen moeten ondergaan. Denk bijvoorbeeld aan afkorten, lassen, gaten boren, maar ook aan stralen en schilderen. De architect, de constructeur en het staalconstructiebedrijf bepalen hoe de staalconstructie er in detail uitziet. Deze detaillering vormt de basis voor de bewerkingen van de halffabrikaten. Dit hoofdstuk gaat in op de basisregels voor het detailleren van een staalconstructie en op de rol van de architect bij het ontwerpen van de constructieve details.

4.1 WIE ONTWERPT DE CONSTRUCTIEDETAILS?

De detaillering van een staalconstructie is essentieel voor het bereiken van een goed constructief en esthetisch eindresultaat. Vanzelfsprekend moeten de verbindingdetails in staat zijn de te verwachten krachten (en soms ook vervormingen) over te brengen. Daarnaast speelt de esthetische vormgeving van zichtbare constructiedetails een belangrijke rol in de uitstraling van het architectonische ontwerp. Tenslotte moet ook het kostenaspect niet worden vergeten bij het ontwerpen van details. Kostenbewust en efficiënt detailleren levert in veel gevallen een grote besparing op.

Voor het ontwerpen en detailleren van een staalconstructie kan gebruik worden gemaakt van de ruime ervaring die er in de afgelopen decennia is opgebouwd. In Nederland is het tweemaandelijkse vaktijdschrift *Bouwen met Staal*, dat verschijnt vanaf 1968, de belangrijkste bron van informatie.

De architect bepaalt in het schetsontwerp welke rol de draagconstructie in het architectonisch ontwerp speelt. Zo kunnen zowel de constructieve functie als de esthetische verschijningsvorm beide als uitgangspunt dienen voor het constructieve ontwerp. Wanneer de constructie in het zicht komt en deel uitmaakt van het architectonische concept, zal in een vroeg stadium van het voorlopig ontwerp een constructief adviseur worden ingeschakeld.

De rol van de architect bij het ontwerpen van de constructieve details is groter bij een zichtbare staalconstructie dan wanneer de constructie niet in het zicht komt. In beide gevallen is het overigens aan te bevelen dat het uitgangspunt voor het constructief ontwerp gericht is op een heldere krachtsoverdracht en een efficiënt productieproces van de details.

Natuurlijk kan de detaillering ook geheel worden overgelaten aan de constructeur en het uitvoerend staalconstructiebedrijf. Dit was bijvoorbeeld het geval bij het ontwikkelen van het detail van de stabiliteitsconstructie van de Kennedytoren in Eindhoven **(afb. 4.1)**. De uitgangspunten voor het ontwerp van deze constructie waren de efficiënte krachtsoverdracht van de diagonaal naar de kolom en de praktische uitvoerbaarheid van de aansluitdetails. Bij constructies voor industriële bouwwerken, zoals in de petrochemie en in de offshore, is zo'n praktische benadering erg gebruikelijk.

4.1 Aansluitdetail van de staalconstructie in de Kennedytoren, Eindhoven.

4.1.1 Wel of geen principedetails?

Wanneer de esthetische verschijningsvorm het uitgangspunt vormt voor het constructief ontwerp, dan wordt van de constructeur en het staalconstructiebedrijf verwacht dat ze de principedetails van de architect technisch uitwerken **(afb. 4.2)**. Het staalconstructiebedrijf streeft altijd naar een zo efficiënt mogelijk productieproces. Bij de fabricage wil het bedrijf zijn machines namelijk optimaal kunnen gebruiken zonder extra aanpassingen. Een staalconstructiebedrijf wil dus altijd invloed hebben op de detaillering. Grote staalconstructiebedrijven beschikken over een eigen tekenkamer, die de constructieve details afstemt op een zo efficiënt mogelijke fabricage. Kleine staalconstructiebedrijven maken gebruik van gespecialiseerde tekenbureaus. Zie de *Gids Staalbouw* voor een volledig overzicht.

4.2 Een verbindingsdetail van de staalconstructie van het ING-House in Amsterdam. De buitenste flenzen van ligger en kolom zijn hier doorgezet met een gebogen flens. Een constructeur zou een rechte flens hebben gekozen

Architect en constructeur bepalen de speelruimte waarbinnen het staalconstructiebedrijf de detaillering van de constructie kan uitwerken. Wanneer het bestek geen nadere informatie geeft over de detaillering (wel of niet bouten, wel of niet lassen, wel of geen kopplaten, enzovoorts), dan detailleert het staalconstructiebedrijf de constructie zo dat voor hen de fabricage en de montage het meest efficiënt zijn. Wanneer de architect nadrukkelijk zelf de uitwerking van constructiedetails wil bepalen, dan moet hij hiervoor in het bestek principedetails opnemen. Deze principedetails moeten uiteraard door de constructeur zijn beoordeeld en getoetst.
Indien achteraf blijkt dat de principedetails niet voldoen, dan leidt dat bijna altijd tot meerwerk door het staalconstructiebedrijf. Een staalconstructiebedrijf maakt namelijk een prijsopgave op basis van het bestek, waarbij zij vóóraf de verstrekte principedetails niet constructief toetsen. Wanneer na aanbesteding bij de constructieve controle van de principedetails blijkt dat deze niet voldoen, dan maakt een beroep op de precontractuele waarschuwingsplicht door de opdrachtgever weinig kans.

4.2 DETAILLEREN VAN EEN STAALCONSTRUCTIE

Een voordeel van het ontwerpen van een constructie in staal is de vormgevingsvrijheid. De detaillering bepaalt hoe de constructie wordt gefabriceerd en gemonteerd. De detaillering beïnvloedt niet alleen de constructieve werking en het uiterlijk van de constructie, maar ook de kosten van fabricage, montage en onderhoud. **Tabel 4.3** geeft een verdeling van de kostenposten voor staalconstructies van verdiepinggebouwen.
De ontwerper(s) formuleert in de bestekfase de uitgangspunten voor het detailleren. Zonder deze informatie kan het staalconstructiebedrijf geen offerte maken voor de constructie en kunnen er geen fabricagetekeningen worden gemaakt.
Voor het detailleren van een staalconstructie gelden de volgende algemene uitgangspunten:

- bepaal het ontwerpprincipe (zoals een helder afleesbare krachtswerking en de gewenste esthetische uitstraling);
- bepaal welke details relevant zijn voor het ontwerp;
- beperk het aantal afwijkende details;
- stem de detaillering af op de klimaatklasse;
- beperk het aantal verschillende bouttypen en plaatdikten;
- houd rekening met toleranties van halffabrikaten;
- houd rekening met de fabricage;
- houd rekening met de montage.

In de praktijk is de manier waarop een staalconstructie uiteindelijk wordt uitgevoerd vaak (maar zeker niet altijd!) een compromis tussen de esthetische aantrekkelijkheid enerzijds en uitvoeringsmogelijkheden en kosten anderzijds. Voor een optimale keuze is inzicht in de kosten van ontwerpbeslissingen tijdens het ontwerpproces noodzakelijk.

4.2.1 Bepaal het ontwerpprincipe

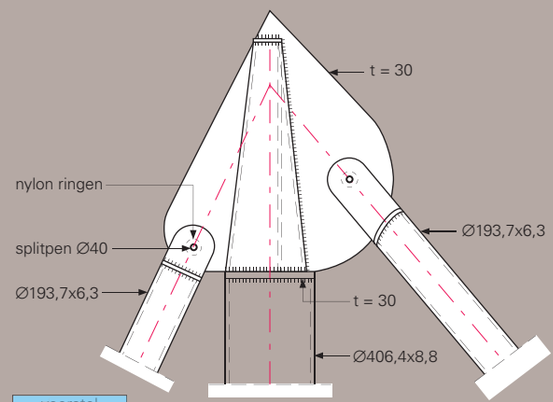
Om een constructieberekening te kunnen maken, moet een constructeur de constructie schematiseren. Een staalprofiel wordt daarbij in het krachtenschema weergegeven met één lijn, de zogeheten systeemlijn. Op de plaatsen waar deze systeemlijnen samenkomen, is het constructief gezien wenselijk dat deze lijnen door één punt gaan. Maar deze wenselijkheid hoeft echter niet samen te vallen met de esthetische overwegingen van de architect, zie bijvoorbeeld **afbeelding 4.4**.
Voor de constructeur is een centrische aansluiting – waarbij alle systeemlijnen door één punt gaan – de meest efficiënte oplossing. Vanuit esthetische overwegingen kan juist voor een acentrische aansluiting worden gekozen (niet alle systeemlijnen door één punt). In dat geval ontstaan buigende momenten in de verbinding, waarop de aansluiting moet worden gecontroleerd en zonodig verzwaard. De keuze voor een acentrische verbinding kan dus extra materiaalkosten met zich meebrengen. Ook is het berekenen van een acentrische verbinding voor de constructeur bewerkelijker en kost meer tijd die in rekening moet worden gebracht.
Bij verdiepinggebouwen is de manier waarop de kolommen op elkaar worden gestapeld belangrijk voor de verticale krachtsoverdracht. De kolommen van de onderste verdieping dragen meer belasting dan die van de verdiepingen er boven. Gelet op de afname van de drukkrachten in de kolommen zouden de kolommen van de hogere verdiepingen kunnen ‘verjongen’. Gelet op het krachtsverloop in de constructie moeten de systeemlijnen van de kolommen bij voorkeur in elkaars verlengde liggen. Dat resulteert namelijk in zo slank mogelijke kolommen.
Constructief gezien heeft het laten doorlopen van de systeemlijnen in kolommen voordelen, echter vanuit bouwkundige overwegingen is deze oplossing niet altijd handig. Er zal dus een keuze gemaakt moeten worden welke overwegingen doorslaggevend zijn voor het ontwerp.
Een voorbeeld van een project waarbij gekozen is voor het ‘bouwkundig stapelen’ van kolommen is het gebouw van Hobone in Veenendaal **(afb. 4.5)**. De architect koos er bij dit gebouw voor de kolommen zo te stapelen dat het bevestigingsdetail van de gevel voor alle verdiepingen gelijk is. Om dat mogelijk te maken zijn de kolommen zo op elkaar geplaatst dat de systeemlijnen ter plaatse van de onderlinge verbindingen iets verschuiven.

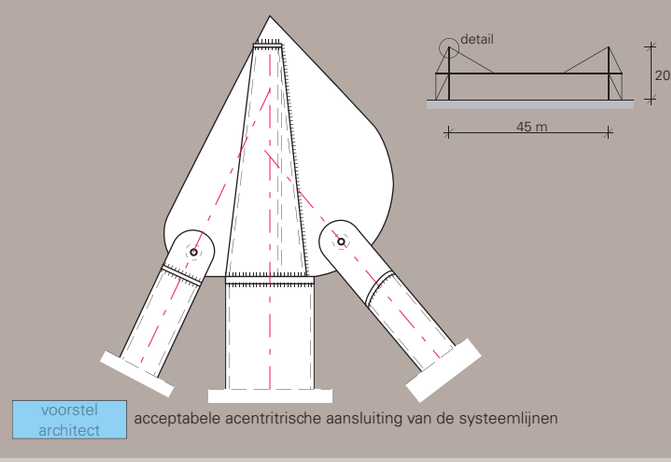
4.2.2 Bepaal welke details relevant zijn

Details en delen van de constructie die in het zicht komen, zullen een rol spelen in het architectonische ontwerp. De architect zal voor deze constructiedelen de gewenste uiterlijke verschijningsvorm moeten vastleggen in principe details.
De detaillering van delen van een staalconstructie die niet in het zicht komen kan geheel worden overgelaten aan de constructeur en het uitvoerende staalconstructiebedrijf. In dat geval zal de detaillering zijn afgestemd op de constructieve werking, de efficiënte fabricage en montage. Natuurlijk kan de architect ook de industriële, technische uitstraling van de constructie als architectonisch ontwerpuitgangspunt nemen. Een voorbeeld hiervan is de constructie van het Bruggebouw West in Den Haag **(afb. 4.6)**.

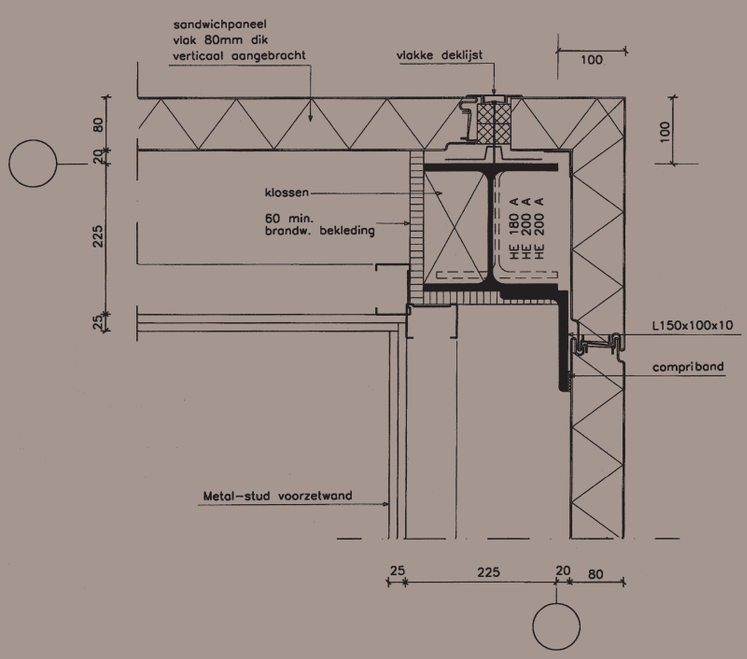
kostenposten	materiaal (%)	arbeid (%)	totaal (%)
materiaal	30	0	30
detail-engineering	0	5	5
fabricage	0	40	40
montage	0	15	15
conservering	5	5	10
totaal	35	65	100

4.3 Verdeling van de kosten voor een gemiddelde staalconstructie voor een verdiepinggebouw (excl. de kosten voor brandwerende bekleding).

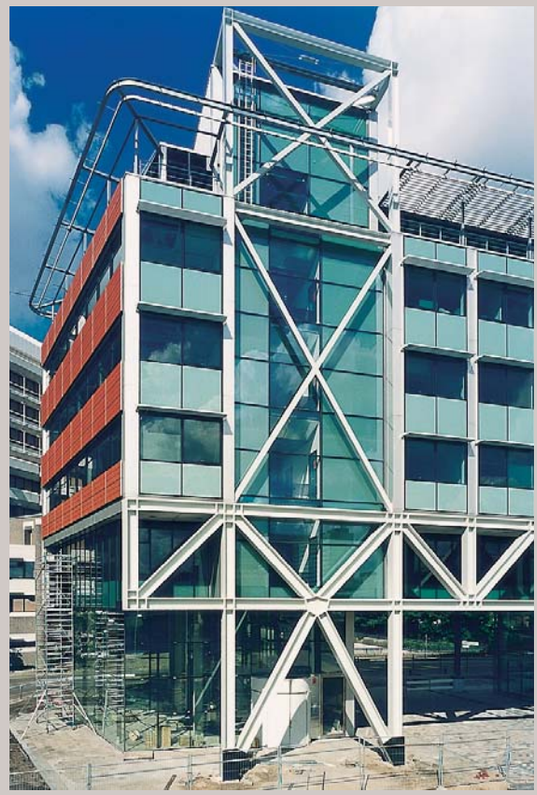




4.4 Ontmoeting van de systeemlijnen in de pylonen voor de dakconstructie van Burgers' Bush in Arnhem. Het constructief logische ontwerp van de constructeur is door de architect aangepast.



4.5 Bouwkundig stapelen van kolommen. De buitenkanten van de kolommen vallen hier samen, waardoor het bevestigingsdetail van de gevel voor alle verdiepingen gelijk is.



4.6 De staalconstructie van Bruggebouw West in Den Haag speelt een rol in de architectuur.

4.2.3 Beperk het aantal afwijkende details

Kostenbewust ontwerpen en detailleren van een constructie betekent in de praktijk bijvoorbeeld het gebruik van zoveel mogelijk gestandaardiseerde constructieonderdelen en aansluitingen. Door de hoge graad van automatisering in de staalconstructiebedrijven zijn afwijkende onderdelen en details echter wel gemakkelijk te fabriceren. Elk afwijkend onderdeel leidt in principe tot extra tekenwerk en vraagt om extra aandacht bij de fabricage en de montage. Naar mate de complexiteit groter wordt, neemt de kostprijs van een staalconstructie toe. Om kosten te sparen moeten unieke onderdelen beperkt blijven tot díe delen die bepalend zijn voor het uiterlijk van de constructie.

De kostprijs van een staalconstructie wordt in de praktijk van oudsher gebaseerd op het aantal kilo's en op de 'moeilijkheidsgraad' van de constructie. Het ontwikkelen van afwijkende details uitsluitend om materiaal te besparen, leidt echter niet automatisch tot een vermindering van de kosten. De lichtste constructie is dus niet vanzelfsprekend ook de goedkoopste.

In een staalconstructie voor een verdiepinggebouw vormen de vloerliggers de grootste kostenpost. Het is dus belangrijk dat deze liggers en de verbindingen door het staalconstructiebedrijf zoveel mogelijk machinaal kunnen worden geproduceerd.

4.2.4 Stem de detaillering af op de klimaatklasse

Een staalconstructie die is blootgesteld aan een agressief klimaat moet worden geconserveerd door een verf- of zinklaag. Hoe agressief het klimaat inwerkt op de constructie hangt af van de aanwezigheid van zwaveldeeltjes en chloriden in de lucht én van de tijdsduur dat het staal nat is. Om de invloed van het klimaat op de mate van conservering te bepalen zijn zes klimaatklassen beschikbaar **(zie afb. 7.1)**.

De ontwerper kan het negatieve effect van het klimaat op de levensduur verminderen door de constructie zo te detailleren dat water geen kans krijgt om op of in de constructieonderdelen te blijven staan. Hoe lang een constructie nat blijft, is namelijk van invloed op de duurzaamheid van het staal.

Een niet-geconserveerde staalconstructie die is blootgesteld aan klimaatklasse C1 (binnenklimaat) blijkt in de praktijk toch heel licht te roesten. De materiaalafname is echter zo gering dat er op basis van constructieve motieven geen conservering nodig is. Voor liggers en kolommen in klimaatklasse C1 achter een brandwerende bekleding of plafonds is geen conservering nodig **(afb. 4.7)**. Om aflopend roestwater tijdens de uitvoering te vermijden, wordt aanbevolen de kolommen in de gevelzone van een primer te voorzien.

Bij de detaillering van constructies in de klimaatklassen C2 t/m C5 is het noodzakelijk de constructie zo te detailleren dat deze na een regenbui snel kan opdrogen. Zie ook hoofdstuk 7 (Conserveren).

4.2.5 Houd rekening met toleranties

Profieltabellen en profielboekjes geven uitsluitend informatie over de (genormeerde) afmetingen van walsprofielen. Bedenk echter dat de toegestane toleranties (lees: maatafwijkingen) van deze profielen enkele millimeters kan bedragen **(afb. 4.8)**. Wanneer met standaard walsprofielen een constructie wordt samengesteld, moet de ontwerper met de toegestane toleranties rekening gehouden. De toegestane toleranties van alle genormaliseerde walsprofielen ligt vast in normen. Zie hiervoor de *Gids Staalbouw*.

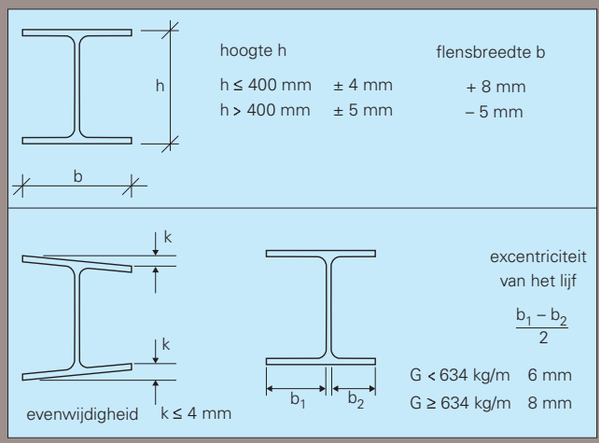
Wanneer bijvoorbeeld de bovenkant of de zijkant van een staalprofiel op een exact aangegeven positie moet worden gemonteerd – denk aan gevelstijlen of vloerliggers die precies in één vlak moeten liggen – moet dit in het bestek expliciet worden vermeld. Het risico bestaat anders dat door maatafwijkingen de buitenkant van de profielen niet in één lijn komen te liggen: ook bij staalskeletbouw moet rekening worden gehouden met maatafwijkingen die kunnen ontstaan door toleranties in de onderdelen. Het is daarom belangrijk de maattoleranties aan te geven in het bestek volgens NEN-EN 1090-1. Vaak kunnen toleranties worden opgevangen in de stelruimte van de bouwkundige aansluiting.

Afbeelding 4.9 geeft aan hoe bij het detailleren met fabricagetoleranties rekening kan worden gehouden. Het toepassen van schotten tussen de flensen is constructief gezien zelden nodig. Ook vanuit onderhoudsoverwegingen is het toepassen van schotten tussen de flensen ongewenst.

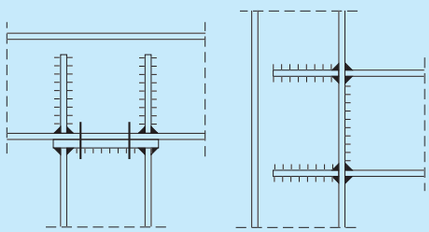
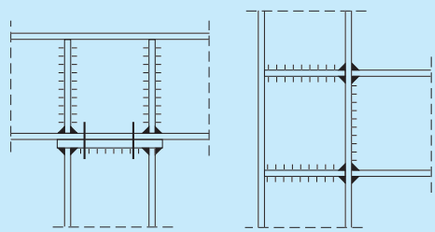
Soms is het toepassen van hele schotten noodzakelijk om een grote kracht door een profiel te kunnen leiden. Dit komt bijvoorbeeld voor bij raamwerken met meerdere beuken, bij Vierendeelliggers en ter plaatse van ondersteuningen **(afb. 4.10)**.

4.7 De staalconstructie van de Commerzbank in Frankfurt is bewust niet geconserveerd.

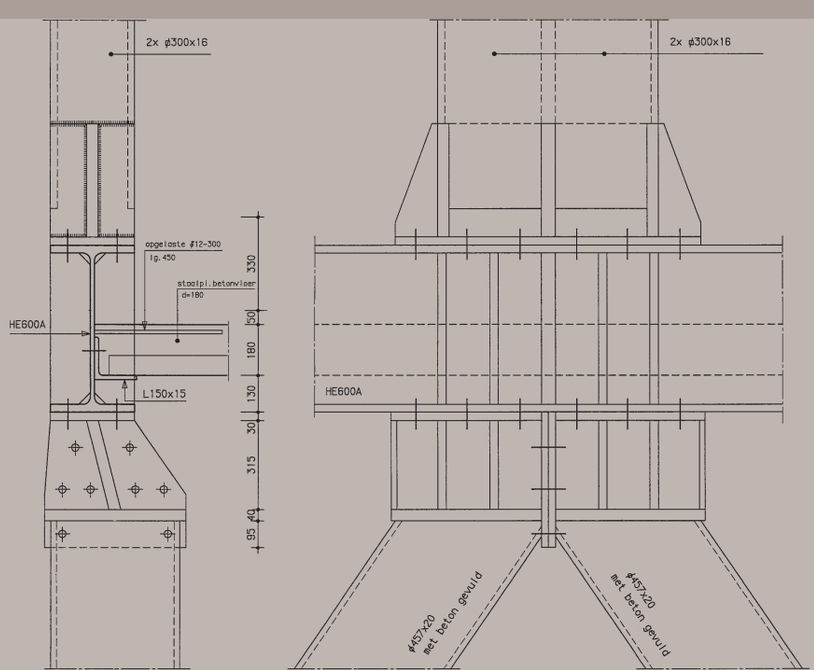
4.8 **Toegestane toleranties van H-profielen volgens NEN-EN 10034.**



4.9 **Pas op grond van fabricage- en onderhoudskosten bij voorkeur 'halve-schotten' toe.**

	handig	minder handig	opmerkingen
details algemeen	 schotten in verband met de toleranties niet pas maken, tenzij dat noodzakelijk is	 schotten pas gemaakt tussen de flenzen	schotten zoveel mogelijk vermijden

4.10 **Hele schotten zijn meestal onvermijdelijk wanneer grote krachten door een verbindings- of oplegdetail moeten worden gevoerd.**



4.2.6 Houd rekening met de fabricage

De ‘routing’ van het productieproces bij een staalconstructiebedrijf is schematisch beschreven in bijlage B. Een onderdeel daarvan is de zogeheten zaagboorstraat **(afb. 4.11)** waarbij een staalprofiel op maat wordt gezaagd (eventueel onder een hoek) en tevens alle benodigde gaten worden geboord. Een dergelijke zaagboorstraat wordt volledig automatisch bestuurd vanuit het tekenpakket. De fabricagekosten van constructiedelen die op deze manier worden geproduceerd zijn lager dan in tabel 4.3 is aangegeven.

Bij laswerk wordt onderscheid gemaakt tussen hoeklassen en stompe lassen **(afb. 4.12)**. Hoeklassen worden toegepast om plaatdelen die op elkaar liggen te verbinden. Een belangrijk voordeel van hoeklassen is dat de laskanten niet hoeven te worden voorbewerkt (lees: afgeschuind), zoals bij stompe lassen **(afb. 4.13)**.

Stompe lassen zijn duurder dan hoeklassen. Bij beide kunnen echter ongewenste vervormingen van de constructie optreden (zogeheten kromtrekken). Stompe lassen zijn constructief vaak onvermijdelijk bij plaatconstructies, zoals voor de pyloon van de Erasmusbrug in Rotterdam.

Soms maakt het gewenste uiterlijk van de constructie de toepassing van stompe lassen noodzakelijk. Een voorbeeld is het raamwerk in de gevel van het stadhuis in Den Haag **(afb. 4.14)**. Het raamwerk bestaat hier uit kokers die alle in één vlak liggen. Hoeklassen zijn dan niet mogelijk.

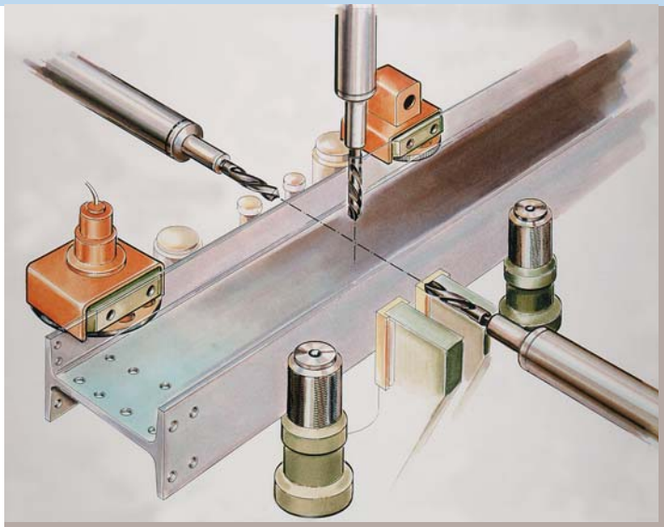
Omdat het laswerk nog vaak handwerk is, zijn de kosten van laswerk ongeveer evenredig met het lasvolume: hoe kleiner het lasvolume hoe geringer de kosten.

4.2.7 Beperk het aantal bouttypen en plaatdikten

Boutverbindingen komen veel voor bij staalconstructies. Constructief gezien is het vaak verantwoord om verschillende typen bouten (combinatie van diameter én lengte) te gebruiken. Echter vanuit kostenoverwegingen is het beter om zoveel mogelijk één type bout te gebruiken. De plaats van de bouten (en dus ook van de boutgaten) wordt hoofdzakelijk bepaald door praktische overwegingen voor wat betreft montage en fabricage.

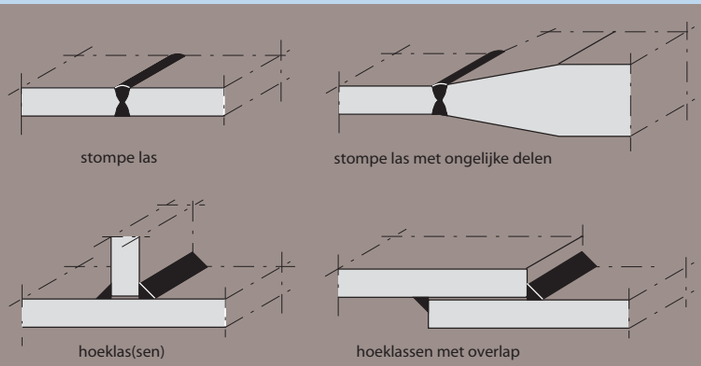
Vanwege onderhoud of om esthetische redenen kan het wenselijk zijn om afwijkende bouttypen voor te schrijven. In dat geval wordt vaak gekozen voor verzinkte of roestvrij stalen bevestigingsmiddelen. Het ontwerp voor boutverbindingen moet altijd constructief worden getoetst **(afb. 4.15)**.

Wanneer een constructie of constructieonderdeel wordt samengesteld uit plaatmateriaal wordt aanbevolen om zoveel mogelijk één plaatdikte te gebruiken. Het aantal verschillende onderdelen binnen een constructie wordt namelijk aanzienlijk beperkt door gebruik te maken van standaardplaten **(afb. 4.16)**.

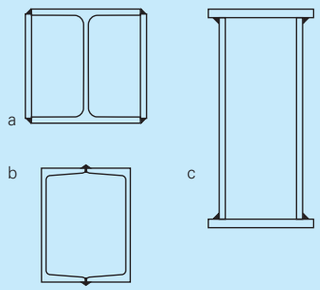
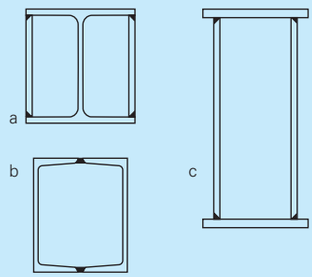
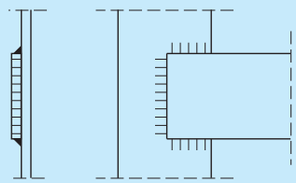
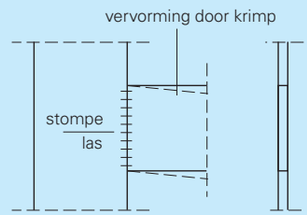
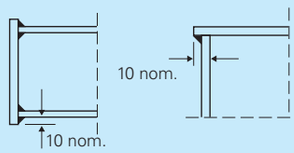
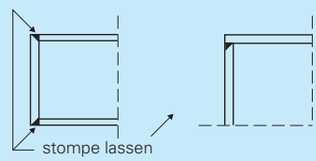
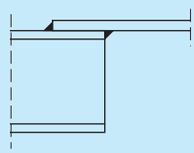
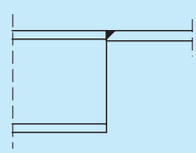


4.11 Boorgedeelte van een zaagboorstraat.

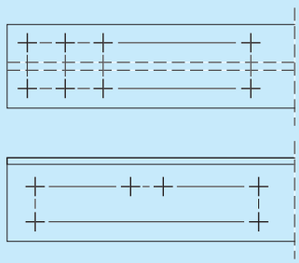
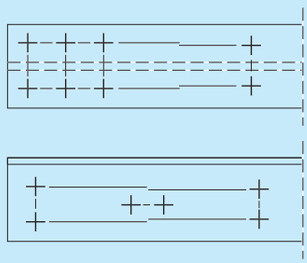
4.14 Het raamwerk in de gevel van het stadhuis in Den Haag bestaat uit kokerprofielen die in één vlak liggen. Stompe lassen zijn dan noodzakelijk.



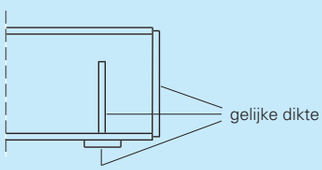
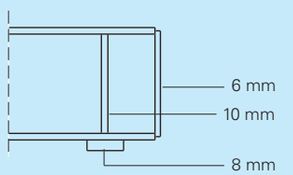
4.12 **Hoeklassen en stompe lassen.**

	handig	minder handig	opmerkingen
afkorten van profielen	 a. door de platen op de kolom te lassen wordt de invloed van walstoleranties geëlimineerd; b. lasnaden zijn niet voorbewerkt; c. lasnaden uitgevoerd als hoeklas.	 a. de platen zijn tussen de flenzen gelast; door de toleranties moet elke plaat pas worden gemaakt en moeten de lasnaden worden voorbewerkt; b. lasnaden zijn voorbewerkt; c. lasnaden zijn uitgevoerd als stompe las.	schotten zoveel mogelijk vermijden
lassen	 met hoeklassen bevestigde plaat		bij het lassen moet men altijd bedacht zijn op de gevolgen van krimp
	 kopschotten bevestigen met hoeklassen.		te kleine rand-afstanden verzwakken de verbinding
	 hoeklassen indien mogelijk hoeklassen toepassen; bij hoeklassen is het niet nodig de lasnaad voor te bewerken	 stompe lassen indien mogelijk stompe lassen vermijden; bij stompe lassen is het nodig de lasnaad voor te bewerken	geldt voor overwegend statisch belaste constructies; bij dynamisch belaste constructies zijn hoeklassen niet altijd mogelijk

4.13 **Pas bij voorkeur hoeklassen toe.**

	handig	minder handig	opmerkingen
boren	 gelijke boutdiameters; door de gaten op één lijn aan te brengen worden fouten voorkomen	 verschillende boutdiameters én de gaten niet aangebracht op één lijn	door in een constructiedeel gaten met gelijke diameter te boren én door de boutpatronen eenvoudig te houden, wordt optimaal gebruik gemaakt van boormachines

4.15 Aandachtspunten voor het ontwerp van boutverbindingen vanuit het oogpunt van fabricage en montage.

	handig	minder handig	opmerkingen
details algemeen			bij voorkeur één schotdikte gebruiken

4.16 Maak bij voorkeur gebruik van platen met een gelijke dikte.

4.2.8 Houd rekening met de montage

De meeste staalconstructies zijn zo groot dat ze niet in één keer, maar in onderdelen naar de bouwplaats moeten worden vervoerd. De constructie moet ter plaatse worden gemonteerd. Het is dan van belang dat de constructie ook in de montagefase stabiel is. **Afbeelding 4.17** geeft enkele aandachtspunten voor het detailleren van constructies voor een eenvoudige montage.

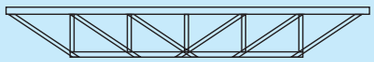
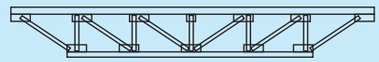
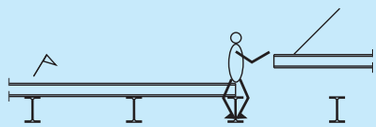
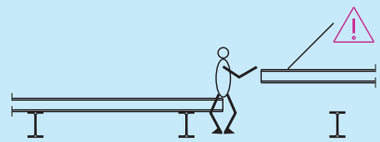
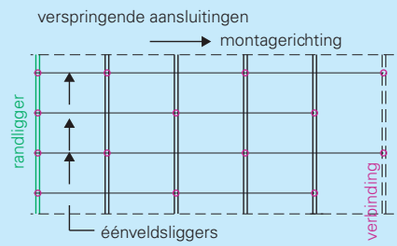
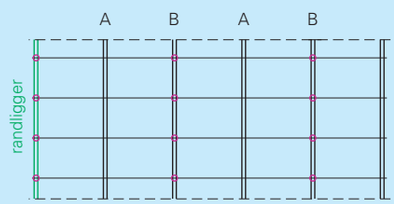
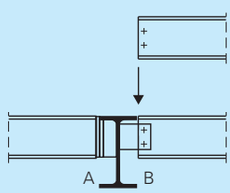
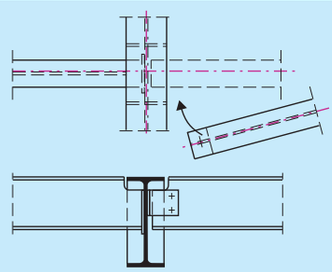
In het voorbeeld van **afbeelding 4.18** is de detaillering van de verbindingen van het vakwerk uit montageoverwegingen niet optimaal. De profielkeuze (een geïntegreerde ligger als bovenrand en vierkante buizen voor de diagonalen) bood de constructeur echter weinig andere mogelijkheden. Wellicht was het mogelijk geweest het gehele vakwerk, of delen hiervan, in de constructiewerkplaats in elkaar te lassen.

4.3 KWALITEITSBEHEERSING EN COMMUNICATIE

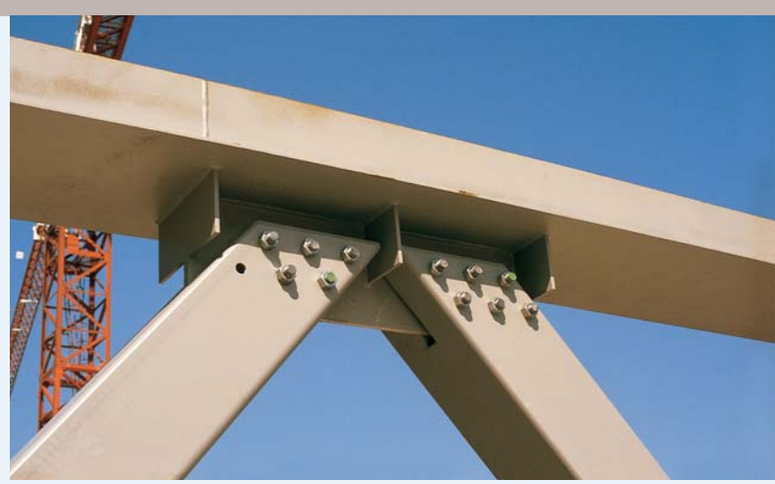
Het is belangrijk om de kwaliteit van een staalconstructie op het werk te kunnen beheersen én om voldoende aandacht te geven aan de ontwerpaanbevelingen in de vorige paragraaf. Daarom is het absoluut noodzakelijk dat heldere afspraken worden gemaakt tussen de partijen die bij het ontwerp en de uitvoering betrokken zijn.

In het stadium van het voorlopig ontwerp moeten de uitgangspunten voor de staalconstructie en constructiedetails worden bepaald. In deze fase wordt de esthetische uitstraling vastgelegd en is er duidelijkheid over aspecten die het ontwerp beïnvloeden, zoals kosten, bouwtijd en onderhoud. Het is belangrijk dat er bij alle partijen duidelijkheid bestaat over de uitgangspunten voor de detaillering en wie waarvoor verantwoordelijk is. Een goede communicatie tussen de partijen en een heldere verslaglegging zijn hierbij noodzakelijke instrumenten.

In de besteksfase is een goede coördinatie tussen architect, constructeur en staalconstructiebedrijf essentieel. Alleen dan is het mogelijk alle bouwdelen zo op elkaar af te stemmen, dat er repetitie ontstaat en de kans op bouwfouten minimaal is.

	handige economische montage	minder handige montage	opmerkingen
aanvoeren van constructiedelen	 – streef naar een minimaal aantal constructiedelen – vakwerkconstructies zo groot mogelijk gelast aanleveren	 – kleine constructiedelen – vakwerken op het werk met bouten in elkaar zetten	het hijsen van één klein constructiedeel gaat niet sneller dan van één groot deel
positie van verbindingen van liggers	 verbinding boven het steunpunt: – monteur kan veilig op de steunbalk bewegen – (las)werkzaamheden zijn veilig uit te voeren – geen bijzondere montageverbindingen nodig	 verbinding in het veld: – monteur zit niet zonder gevaar op de ligger; om de volgende ligger te monteren moet hij extra en gevaarlijke klimhandelingen verrichten – ook zijn bijzondere voorzieningen nodig	
	 over twee velden verspringende liggers: – uitkragende liggers dragen de volgende hoofdligger – gelijkmatige belasting van de hoofdligger	 – volgende hoofdligger moet provisorisch worden gesteld – de liggers op drie steunpunten dragen de meeste belasting af op hoofdligger A	
mogelijkheden van aansluitingen van liggers	 – liggers zijn eenvoudig van bovenaf te monteren met boutverbindingen; alternatief B heeft de voorkeur – vanwege het stellen moet de werkelijke liggerlengte 3 à 5 mm korter zijn dan de theoretische lengte	 – liggers moeten zijwaarts worden ingehangen – al aangebrachte bouten moeten worden verwijderd – verstijvingsribben maken de montage moeilijk	alternatief B gebruiken wanneer de ligger niet de kipstabiliteit hoeft te waarborgen

4.17 Aandachtspunten bij het ontwerp van de staal-constructie vanuit het oogpunt de montage.



4.18 Detaillering van een verbinding in een vakwerk.

5 BOUWFYSICA

Gebouwen moet tegenwoordig energiezuinig zijn en tegelijkertijd een gezond en comfortabel verblijfsklimaat bieden. Een goede methode om deze twee doelen te bereiken is een integrale ontwerpaanpak. Daarbij worden de architectuur, de installatietechniek en de bouwfysische eigenschappen van het gebouw in één concept op elkaar afgestemd. Staalskeletbouw biedt de ontwerper alle vrijheid om integraal te ontwerpen.

Recente staalbouwprojecten met een innovatief gebouw- en installatieconcept laten zien tot welke creatieve, uiteenlopende oplossingen een integrale ontwerpaanpak kan leiden.

5.1 INTEGRAAL ONTWERPEN

Eén van de primaire eisen waaraan een modern gebouw moet voldoen is het bieden van een gezond en comfortabel werk- en verblijfsklimaat. Om dat te bereiken is het aan te bevelen een integraal gebouw- en installatieconcept te ontwikkelen. Bij een dergelijk aanpak ontstaat er een wisselwerking tussen het gebouw en de installatie: een wisselwerking die leidt tot een meerwaarde voor het geheel.

5.1.1 Comfortabel klimaat versus duurzaamheid

Het klimaat in een gebouw vinden we comfortabel en gezond wanneer de temperatuur prettig aanvoelt, de lucht fris is en de vochtigheidsgraad goed. Het daglicht dat de ruimte binnenkomt mag onze ogen niet hinderen en de kunstverlichting moet prettig en functioneel zijn. Tenslotte moet ook de akoestiek goed zijn en mag er geen hinderlijk geluid van buiten af in de ruimte doordringen. Het liefst willen we deze condities ook nog zoveel mogelijk individueel regelen. Tegelijkertijd stellen we ook hoge eisen aan de duurzaamheid van het gebouw. Het creëren van comfortabele condities binnen het gebouw mag het milieu niet belasten. Gebouwen moeten energiezuinig zijn, installaties moeten efficiënt omgaan met energie.

Met het ondertekenen in 1997 van het Kyoto-protocol ging de Nederlandse overheid de verplichting aan om de uitstoot van CO_2 drastisch te verminderen. Voor nieuwe gebouwen gelden sindsdien strenge eisen die zijn omschreven in de energieprestatienormering (EPN). Ook op het gebied van de installatietechniek leidde het milieubewuste denken tot nieuwe ontwikkelingen. Conventionele gasgestookte cv-installaties en energieverslindende airco-systemen worden steeds vaker vervangen door energie-efficiënte systemen, zoals warmtepompen in combinatie met energie-opslag.

Een duurzaam gebouw past zich bovendien gemakkelijk aan bij toekomstige functieveranderingen en moet daarom flexibel indeelbaar zijn. Van de installatietechniek wordt uiteraard dezelfde flexibiliteit verwacht. Bij een duurzaam gebouw zijn (in het meest ideale geval) het gebouwontwerp en de installatietechniek zo op elkaar afgestemd dat het energieverbruik minimaal en ook uiterst efficiënt is.

5.1.2 Integraal ontwerpen

Het gebouwontwerp en de materiaalkeuze van vloeren en gevels – en daarmee de bouwfysische eigenschappen van het gebouw – beïnvloeden in grote mate de energiebehoefte om het gebouw te klimatiseren. Bij een integrale aanpak is het belangrijk dat de opdrachtgever, de architect en de adviseurs in een vroeg stadium van het ontwerp samenwerken aan een integraal gebouw- en installatieconcept.

Integratie van gebouw en installatie gaat echter verder dan het integreren van leidingen en kanalen in vloeren en gevels **(afb. 5.1)**. Passieve, gebouwgebonden maatregelen helpen bij het creëren van het gewenste binnenklimaat zonder inzet van actieve installaties. Eén van de mogelijkheden is bijvoorbeeld om het warmte-accumulerend vermogen van bouwdelen te gebruiken bij het verwarmen of koelen van de ruimte. In het gevelontwerp kunnen architectonische elementen dienen als zonwering. En op daken met veel glas kunnen fotovoltaïsche cellen worden geplaatst. Die cellen produceren dan niet alleen energie, maar weren ook de zon en voorkomen zo dat de ruimte onder het glas te sterk opwarmt.

5.1 Integratie van gebouw en installatie gaat verder dan het integreren van leidingen en kanalen in vloeren. Het is belangrijk dat de opdrachtgever, de architect en de adviseurs in een vroeg stadium van het ontwerp samenwerken aan een integraal gebouw- en installatieconcept.

5.1.3 Integraal gebouw- en installatieconcept

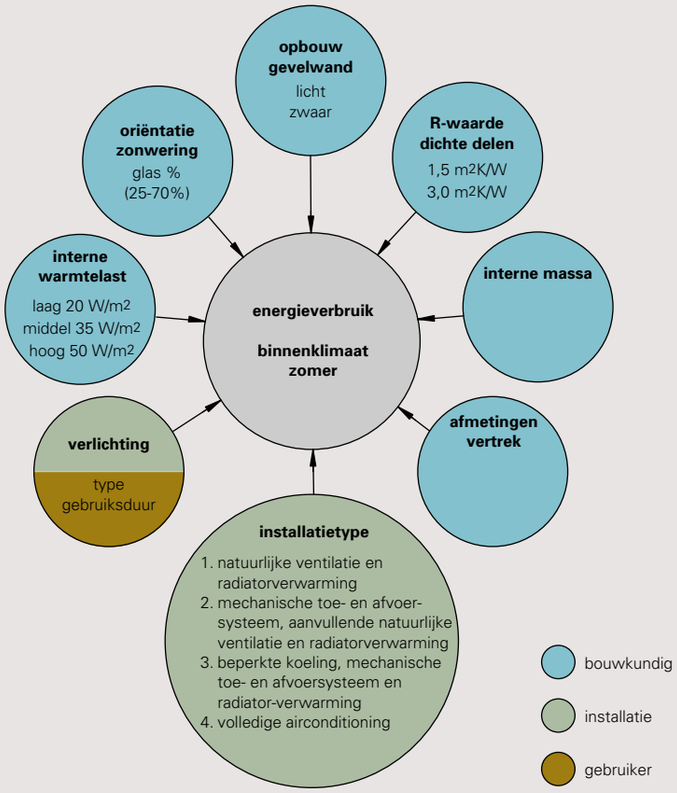
Bij het ontwikkelen van een duurzaam integraal gebouw- en installatieconcept spelen veel uiteenlopende factoren een rol, zoals:

- de architectonische vormgeving;
- de lokale omstandigheden;
- de gebouwfunctie;
- de gebruikerswensen;
- het comfortniveau;
- het bouwkundig ontwerp;
- de gewenste installatietechniek.

Er bestaat dan ook geen vaste formule voor concepten die leiden tot een architectonisch aantrekkelijk, duurzaam en energie-efficiënt gebouw.

Het bouwkundig ontwerp beïnvloedt de energiebehoefte, doordat de isolerende eigenschappen van gevels en vloeren afhangen van zowel de materiaalkeuze als van hun opbouw. De vormgeving van de gevel bepaalt hoeveel daglicht er binnenkomt. Hoge ramen laten het daglicht diep in de ruimte toe, waardoor er minder kunstverlichting nodig is. Ook de gewenste architectuur of uitstraling kan gevolgen hebben voor de voorzieningen en de installatietechniek. Zo stellen transparante gebouwen andere eisen aan bijvoorbeeld zonwering of koeling dan gebouwen met een gesloten uitstraling.

Het gebouwontwerp is dus van grote invloed op de energiehuishouding van het gebouw en daarmee op de benodigde installatietechniek. Natuurlijk zijn er meer factoren die de



5.2 Het energieverbruik van een vertrek of een gebouw hangt af van veel factoren.

energiehuishouding beïnvloeden, zoals de warmteproductie in het gebouw door mensen en apparatuur **(afb. 5.2)**. Ook omgevingsfactoren spelen een rol, denk aan de oriëntatie of de geluidbelasting waardoor zonwering nodig is of waardoor er zwaardere eisen aan de geluidisolatie van de gevel worden gesteld.

Tenslotte hangt veel af van het ambitieniveau van de opdrachtgever. Ziet hij het als een uitdaging om te investeren in innovatieve energie-efficiënte installatietechnieken of vind hij het juist belangrijk om zo min mogelijk installaties in het gebouw te hebben. Is het de bedoeling om nét te voldoen aan de energieprestatienormen of reikt de ambitie tot een niveau waarbij het gebouw meer energie produceert dan verbruikt.

Een integraal gebouw- en installatieconcept verschilt per project en wordt 'op maat' samengesteld. Hoe zo'n concept er in staalskeletbouw uit ziet, en hoe het concept in de praktijk is uitgewerkt, wordt geïllustreerd aan de hand van een aantal Nederlandse praktijkvoorbeelden, zie paragraaf 5.3. Meer informatie over integraal ontwerpen in het algemeen biedt de SBR-publicatie *Handreiking voor ontwerpteams. Innovatieve en duurzame gebouw- en installatieconcepten. Een integrale aanpak*[1].

5.2 STAALSKELETBOUW EN INTEGRAAL CONCEPT

Staalskeletbouw is uitermate geschikt voor een integrale ontwerpaanpak. Het kenmerk van een staalskelet als draagconstructie is de keuzevrijheid bij het samenstellen van de gebouwdelen die een grote bijdrage leveren aan het comfort en aan het energiegebruik in een gebouw. De wisselwerking tussen gebouw en installatie kan bij staalskeletbouw 'op maat' worden ingevuld. Efficiënt materiaalgebruik – bijvoorbeeld door massa uitsluitend toe te voegen op plaatsen waar dat gunstig is voor het energieverbruik – verhoogt de duurzaamheid van het gebouw. Door transparante geveldelen af te stemmen op een optimale daglichttoetreding is er minder kunstlicht nodig **(afb. 5.3)** – en daardoor dus ook minder energie voor de verlichting – maar komt in het gebouw ook minder warmte vrij.

Wanneer wordt gekozen voor lichte vloeren of andere lichte bouwdelen dan verdienen de thermische en geluidwerende eigenschappen van het constructiepakket extra aandacht. Het ontbreken van massa in de gevel of in de vloer heeft onder meer gevolgen voor het effect van de zoninstraling en het temperatuurverloop in de ruimte. Ook zaken als geluidhinder en trillingen spelen dan in het ontwerp een grotere rol dan normaal het geval is.

5.2.1 Geluidisolatie

De geluidisolerende eigenschappen van gevels, vloeren en wanden hangen bij staalskeletbouw af van de systeemkeuze, de materiaalsamenstelling en de opbouw van deze gebouwdelen. De vloer bijvoorbeeld moet naast het vervullen van een dragende en ruimtescheidende functie ook in staat zijn hinderlijk contact- en luchtgeluid te voorkomen.

De opbouw van een vloer is gebaseerd op functie-integratie óf op functiescheiding. Bij functie-integratie zijn de ruimtescheidende en dragende functie van de vloer gecombineerd in één massieve vloerlaag. Bij functiescheiding is de vloer opgebouwd uit meerdere lagen die deze functies elk afzonderlijk, maar wel in samenhang vervullen. Het geluidwerend gedrag van beide vloersystemen verschilt aanzienlijk.

Pas sinds de laatste jaren zijn complete, lichtgewicht vloersystemen ontwikkeld waarmee aan de huidige zware Bouwbesluit-eisen voor woongebouwen wordt voldaan. Deze vloeren zijn opgebouwd uit lichtgewicht constructielagen of uit een combinatie van lichte en zwaardere lagen. De volgende aspecten spelen daarbij een rol.

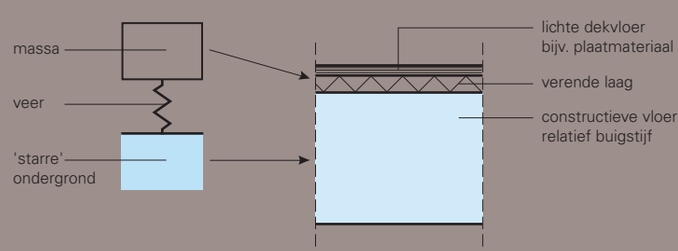
- Om de **luchtgeluidisolatie** van een vloer met 3 dB te verbeteren moet de massa van een massieve vloer worden verdubbeld. De akoestische kwaliteit van een massieve woningscheidende vloer voldoet pas aan het Bouwbesluit met een massa van 800 kg/m^2. Het inzetten van massa als oplossing voor geluidisolatie kost dus veel materiaal.
- Een vloer die is opgebouwd uit **meerdere lagen** bestaat uit één laag die voldoet aan de constructieve eisen en één laag die is afgestemd op de akoestische eisen. Deze meerlaagse oplossing is – vergeleken met de éénlaagse massa-oplossing – niet alleen efficiënter in materiaalgebruik, maar ook efficiënter in akoestisch opzicht. Bij een meerlaagse oplossing kan

5.3 Een staalskelet biedt volop keuzevrijheid bij het samenstellen van de gebouwdelen. Door bijvoorbeeld transparante geveldelen af te stemmen op een optimale daglichttoetreding is er minder kunstlicht nodig (Kantoorgebouw Kropman Installatietechniek, Utrecht).

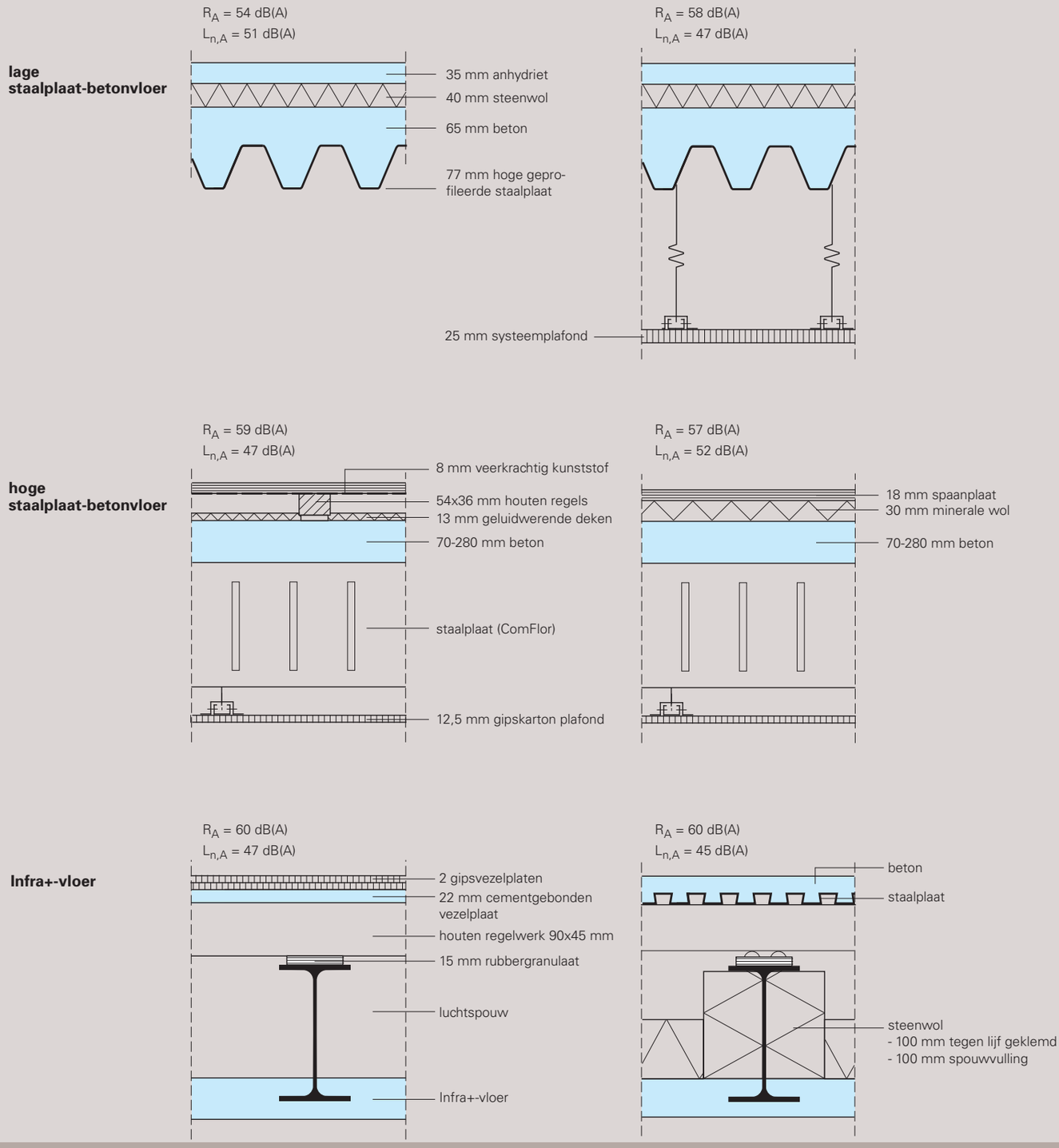
met weinig materiaal een verbetering van 3 dB worden bereikt. Een bijkomend voordeel van een meerlaagse oplossing is dat de flankerende transmissie minder is. Het akoestische principe staat in **afbeelding 5.4**. Voor meer informatie over dit onderwerp wordt verwezen naar de SBR-publicatie *Zwevende dekvloeren op thermische of akoestische isolatie in de woningbouw*[2].

• **Lichtgewicht wandsystemen** waarmee in woongebouwen aan de eisen van het Bouwbesluit 2003 tussen woningen kan worden voldaan zijn al jaren beschikbaar. Deze wanden bestaan uit een gescheiden stijl- en regelwerk met aan weerszijden een gipskartonbeplating. De spouw tussen de bladen is relatief groot: minimaal 150 mm, meestal meer. In de spouw zit minerale wol. Met deze wanden is een hoge geluidisolatie bereikbaar van $R_A \geq 60$ dB(A). Daarmee is $I_{lu,k} = +5$ dB haalbaar. De akoestische eigenschappen van drie vloerconstructies die zijn behandeld in paragraaf 2.2 (Vloerconstructie) voldoen alle aan de eisen voor ruimtescheidende vloeren. In combinatie met een zwevende dekvloer zijn vloerconstructies ook geschikt als woningscheidende vloer **(afb. 5.5)**. De Infra+-vloer bezit overigens standaard een zwevende dekvloer, waarvan de detaillering afhangt van de gewenste akoestische prestaties.

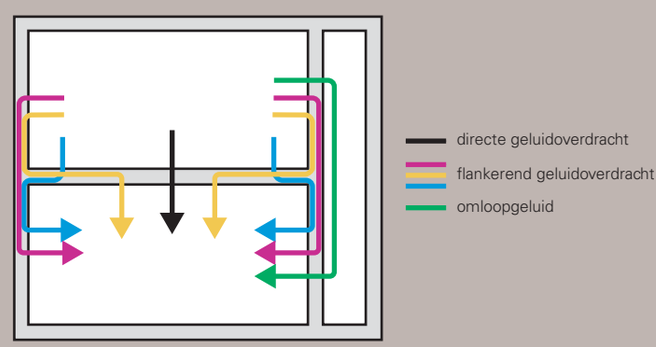
Naast de directe geluidoverdracht door de vloerconstructie spelen ook andere geluidtransmissiewegen een rol **(afb. 5.6)**. Daarom moeten de akoestische prestaties van een vloer tenminste $R_A \geq 55$ dB(A) en $L_{n,A} \leq 50$ dB(A) zijn om aan de eisen in het Bouwbesluit te voldoen.



5.4 Akoestische principe van een zwevende dekvloer. De vloer wordt geschematiseerd tot een massa-veersysteem, bestaande uit de constructieve vloer, de dekvloer en daartussen een verend isolatiemateriaal. De berekening van de akoestische isolatie is het werk voor bouwfysische adviseurs.



5.5 Lucht- en contactgeluidisolatie van drie vloertypen uit paragraaf 2.2. Vermeld zijn de in het laboratorium gemeten waarden.



5.6 Vormen van geluidoverdracht tussen twee boven of naast elkaar gelegen ruimten.

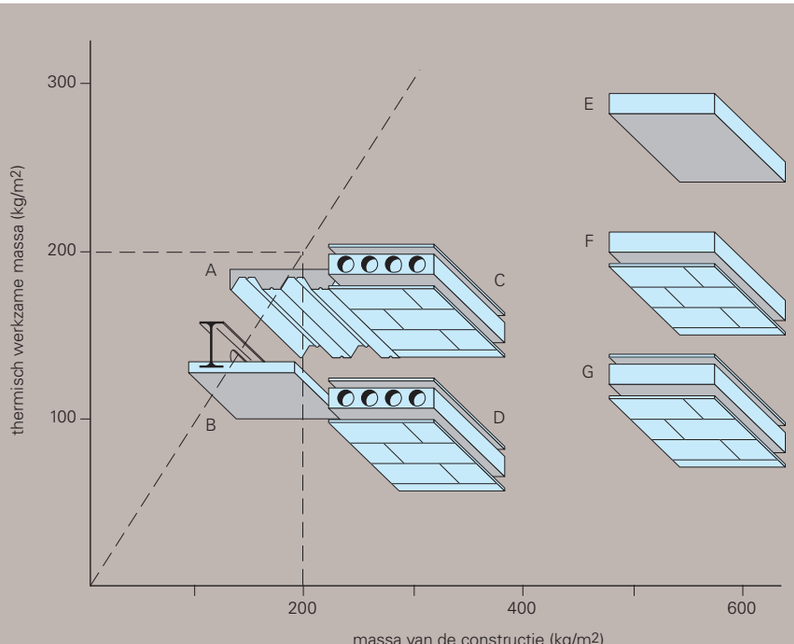
5.2.2 Relatie massa en energieverbruik

De thermische isolatie van gevels en daken van gebouwen is tegenwoordig uitstekend. Dankzij de hoge eisen in het Bouwbesluit aan de energieprestatiecoëfficiënt wordt het binnen al gauw te warm. Bij gebouwen zoals kantoren en scholen met een hoge interne warmteproductie (veroorzaakt door apparatuur, verlichting en mensen) ontstaat er bij een buitentemperatuur van 10 ˚C al een dusdanig warmteoverschot dat maatregelen om te koelen onvermijdelijk zijn. Het opwekken van kou met conventionele koelsystemen kost veel energie. Alle maatregelen en voorzieningen die de toepassing van conventionele koelsystemen overbodig maakt, levert winst op bij het terugdringen van het energieverbruik. In de praktijk zijn de volgende maatregelen gebruikelijk.

- **Voorkom de directe toetreding van zonnewarmte.**
- **Breng massa in de gevel om de toetreding van zonnewarmte te dempen of te vertragen.** Het effect hiervan hangt af van de opbouw van de gevel. Bij een gevel met een zwak geventileerde spouw aan de buitenzijde van de isolatie komt er weinig zonnewarmte via de gesloten geveldelen het gebouw binnen. Alleen de massa van het gesloten geveldeel aan de binnenzijde van de isolatie functioneert als buffer tegen zonnewarmte
- **Zorg voor voldoende warmte-accumulerend vermogen om de interne warmteproductie op te kunnen slaan.** Bij een gevel is uitsluitend de massa aan de binnenzijde van de isolatie effectief. Een zwaar buitenspouwblad telt dus niet mee bij het accumulerend vermogen van de interne massa[3]. Een zwaar binnenspouwblad heeft uitsluitend een praktisch effect wanneer de oppervlakte ervan groot genoeg is. Bovendien moet het gebouw ‘s nachts kunnen afkoelen. De invloed van een zwaar binnenspouwblad op het binnenklimaat is vooraf te berekenen, waarbij de eisen aan de thermische behaaglijkheid maatgevend zijn.
- **Benut het accumulerend vermogen van de vloermassa.** Het accumulerend vermogen van de vloer kan een veel grotere invloed op het binnenklimaat hebben dan de massa van de gevel. Bij de toepassing van zogeheten open plafonds wordt het betonoppervlak vrij gelaten, zodat warmte desgewenst kan worden opgenomen of afgestaan. Innovatieve installatiesystemen maken zo *actief* slim gebruik van het accumulerende vermogen.

Zo is er een systeem waarbij watergevulde leidingen in de kern van de betonvloer zijn opgenomen (betonkernactivering). Door de leidingen stroomt in de zomer ‘koud’ en in de winter ‘warm’ water. Er is weinig energie nodig om deze watertemperaturen, die variëren van 18-21 ˚C, te bereiken. Vooral wanneer tevens gebruik wordt gemaakt van de temperatuur van het grondwater ontstaat een uitermate energiezuinig systeem.

- **Het accumulerend vermogen van de vloermassa is ook *passief* te benutten.** En ook dan is een open plafond noodzakelijk. Uit de praktijk blijkt dat het activerend vermogen van een vloer is toe te schrijven aan de buitenste 50 tot 60 mm van een betonnen vloer. Dit betekent dat materiaalbesparende vloeren zoals kanaalplaten, staalplaat-betonvloeren en Infra+-vloeren ook geschikt zijn voor een passieve benutting van het accumulerend vermogen **(afb. 5.7)**. Uit de praktijkvoorbeelden in paragraaf 5.3 blijkt dat de inzet van warmteaccumulerende massa goed mogelijk bij relatief lichte gebouwen, zoals gebouwen met een staalskelet.



A staalplaat-betonvloer
B Infra+-vloer
C kanaalplaatvloer waar ventilatielucht door heen wordt gevoerd, met vloerbedekking en verlaagd plafond
D kanaalplaatvloer met vloerbedekking en verlaagd plafond
E massieve betonvloer
F massieve betonvloer met verlaagd plafond
G massieve betonvloer met vloerbedekking en verlaagd plafond

5.7 Het accumulerend vermogen van de vloermassa is ook passief te benutten. Van belang daarbij is de thermisch werkzame massa (buitenste 50 tot 60 mm van een betonnen vloer).

5.2.3 Trillingen

Vloeren waarvan het gewicht minder is dan 100 kg/m^2 worden in de praktijk aangemerkt als een lichte vloer. Een lichte vloer is uiteraard gevoeliger voor trillingen dan een zware vloer. Wanneer de vloer onvoldoende stijf is, kan de vloer bij het belopen hinderlijk gaan trillen, waardoor bijvoorbeeld kopjes gaan rinkelen of lampen die onder de vloer aan het plafond hangen heen en weer gaan zwaaien.

Er bestaan in Nederland nog geen richtlijnen voor het beoordelen van lichte vloersystemen op trillingen. Meer informatie is te vinden in de BmS-publicaties *Bouwen op toplocaties*[4] en *Kansen voor lichte verdiepinggebouwen*[5]. In voorbereiding is een SBR-publicatie met richtlijnen die in 2005 verschijnt[6].

5.3 PRAKTIJKVOORBEELDEN

De ontwerpuitgangspunten van elk verdiepinggebouw hangen af van veel verschillende factoren. Daarom is het lastig om geïntegreerde gebouw- en installatieconcepten in een beperkt aantal herkenbare categorieën onder te brengen.

De gebouwfunctie is een belangrijke factor, omdat de activiteiten die in het gebouw zijn gehuisvest mede de gebruikerswensen en de eisen aan installaties bepalen. Bij kantoorgebouwen is de interne warmteproductie overdag gedurende het gehele jaar hoog door het gebruik van computerapparatuur, kopieerapparaten, verlichting en de aanwezigheid van mensen. Installaties, voorzieningen of maatregelen die zorgen voor voldoende ventilatie en koeling zijn bij kantoorgebouwen onvermijdelijk.

Bij schoolgebouwen is de interne warmteproductie eveneens hoog vanwege de aanwezigheid van veel leerlingen. Vooral in de zomermaanden kan de warmtelast flink oplopen. Maar in de zomervakantie staan de scholen leeg en wordt daarom meestal afgezien van een koelinstallatie. Bij hotels en woongebouwen daarentegen is de interne warmteproductie laag, waardoor de nadruk meer ligt op verwarmingsinstallaties.

De voorbeeldprojecten zijn weliswaar ingedeeld naar gebouwfunctie, maar verschillen sterk binnen de functiecategorie voor wat betreft uitgangspunten en oplossingen.

De toelichting van de voorbeeldprojecten richt zich op de manier waarop de uitgangspunten voor installaties en voorzieningen in het gebouw zijn geïntegreerd. De nadruk ligt daarbij op de toegepaste vloer- en gevelconstructies die inzicht bieden in de mogelijkheden van staalskeletbouw. Ook de lokale omstandigheden worden kort beschreven, omdat die soms de keuze van de gevelopbouw bepalen, bijvoorbeeld een hoge geluidbelasting. Voor meer informatie wordt verwezen naar publicaties over het desbetreffende project.

5.3.1 Kantoorgebouw Cepezed, Delft

Algemene uitgangspunten[7] Het architectenbureau wilde voor het eigen kantoor een gebouw dat tot de essentie is gereduceerd. Minimaal materiaalgebruik, volledig transparante gevels, vloeren met een minimale vloerdikte en zo min mogelijk installaties waren daarbij het uitgangspunt. De noodzakelijke installaties zijn zoveel mogelijk in de vloeren geïntegreerd. Door te kiezen voor zeer dunne vloeren werd een extra verdieping mogelijk binnen de maximaal toegestane bouwhoogte. Het gebouw heeft nu vijf bouwlagen **(afb. 5.8)**.

Omgeving Ruimtebeperking door binnenstedelijke locatie. Hoge geluidbelasting op de gevel door aanwezigheid van spoorviaduct op korte afstand.

Draagconstructie Staalskelet met staalplaatvloeren (IDES-vloer). Stabiliteit uit de staalconstructie.

Vloeren Geïntegreerde liggers, stalen cassettes gevuld met 100 mm steenwol, geprofileerde staalplaat, anhydriet afwerklaag. Totale pakketdikte: 300 mm **(afb. 5.9)**. In de kantoorruimten is geen plafond toegepast. In het vloerpakket zijn alle ventilatiekanalen, bekabeling voor elektra en dataverkeer en spiralen voor de elektrische verwarming geïntegreerd. Om contactgeluid te voorkomen liggen de geprofileerde staalplaten via rubber strippen op de flenzen van de stalen vloercassettes.

Gevel De gevelwand bestaat uit verdiepinghoge schuifpuien van isolatieglas in aluminiumprofielen. Voor de voorgevel (op het zuid-westen) hangt aan de buitenzijde op 600 mm afstand een hardglazen scherm om de geluidbelasting op de achterliggende gevel te beperken. Tevens verhoogt dit scherm de privacy van de achterliggende kantoorruimten. Tussen het scherm en de gevelpui zijn ter plaatse van de vloer verzinkte persroosters aangebracht.

Verlichting en zonwering Er is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van natuurlijke verlichting. Dankzij de verdiepinghoge glasvlakken kan het daglicht ver in de kantoorvertrekken binnendringen. Extra zonwering is niet aangebracht. De horizontale persroosters in de gevel filteren het zonlicht en het gescreende glasscherm houdt hinderlijke lichtstraling tegen. Verlichtingsarmaturen zijn niet in de vloerconstructie geïntegreerd, maar met magneten aan de stalen vloercassettes ‘geklikt’.

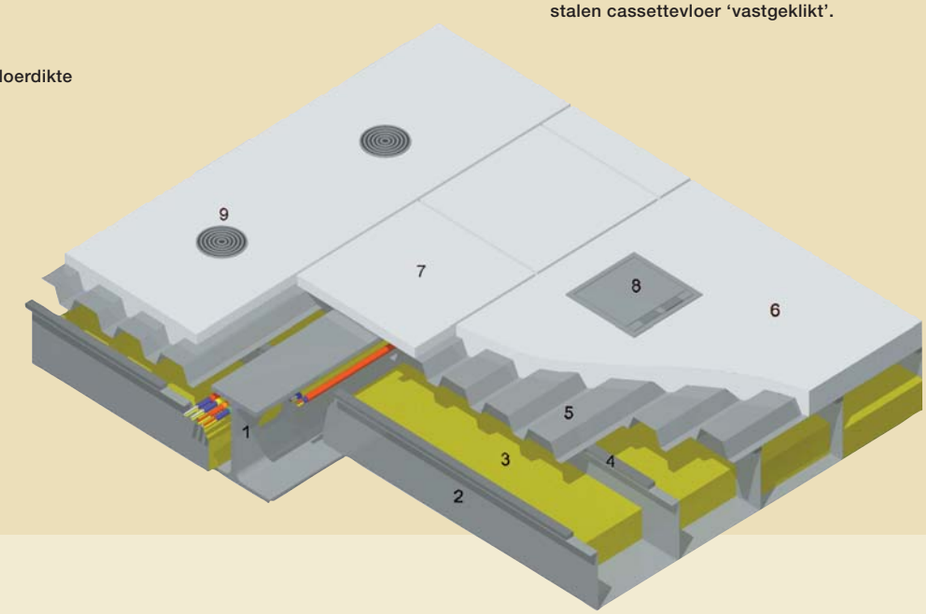
Beheersing binnenklimaat Minimale installaties zorgen voor het binnenklimaat. Er is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van natuurlijke ventilatie. Via kanalen en roosters in de vloer **(afb. 5.10)** wordt relatief koude lucht de ruimte in geblazen, de lucht stijgt op en wordt op plafondhoogte afgezogen aan de zijkant van het gebouw. In de zomersituatie dient deze ventilatielucht als koeling. Er is één stijgpijp voor het luchttransport naar de verdiepingen. Voor de winterperiode zijn elektrische spiralen in de vloer aangebracht om de ventilatielucht te opwarmen. Deze verwarming dient slechts om koudepieken op te vangen. Het gebouw heeft geen gasaansluiting.

5.8 Voor de voorgevel hangt een hardglazen scherm om de geluidbelasting op de achterliggende gevel te beperken.

5.10 De scheidingswanden zijn met magneten aan de onderzijde van de stalen cassettevloer ‘vastgeklikt’.

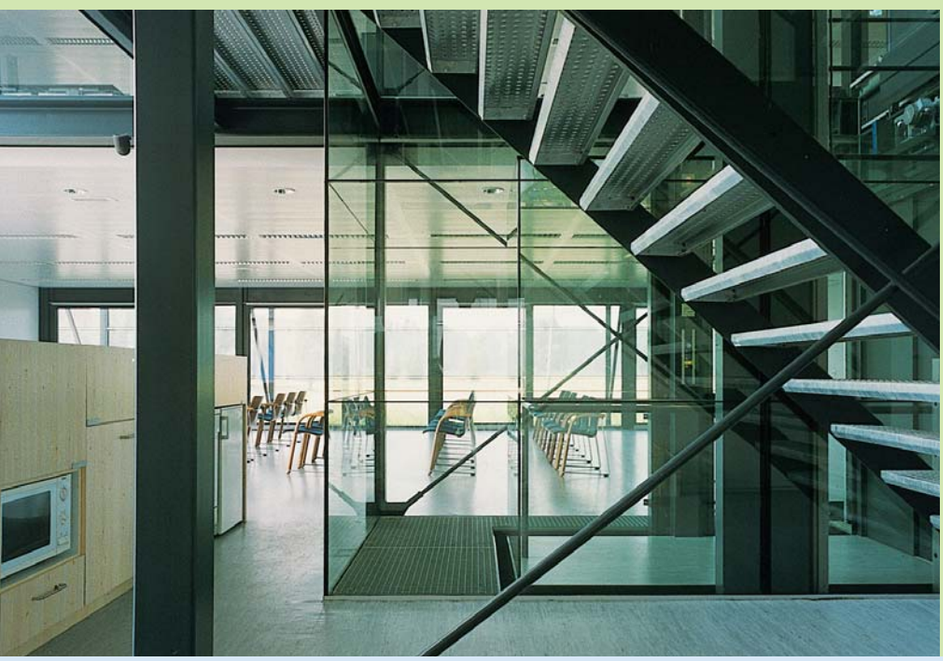
5.9 Opbouw van de IDES-vloer. De totale vloerdikte bedraagt 300 mm.

1 geïntegreerde ligger 280ASB100
2 stalen cassette, gezet, h = 200 mm
3 steenwol, gesealed 100 mm
4 rubberstrip voor geluiddemping 15 mm
5 geprofileerde staalplaat h = 50 mm
6 anhydriet afwerklaag 35 mm
7 anhydriet tegel
8 vloerdoos voor elektra/data
9 ventilatierooster



5.3.2 Centre for Human Drug Research, Leiden

5.11 De schermen van geperforeerde staalplaat houden hinderlijk licht en zonnewarmte tegen.



5.12 Dankzij de verdiepinghoge ramen kan het daglicht ver in de ruimte binnendringen.

Algemene uitgangspunten Het gebouwontwerp houdt maximaal rekening met toekomstige ontwikkelingen. Om deze reden is gekozen voor een flexibel indeelbaar en uitbreidbaar gebouw- en installatieconcept. De installatietechniek is eenvoudig.

Omgeving Geen bijzonderheden.

Draagconstructie Staalskelet met kanaalplaatvloeren. Stalen schermconstructies aan weerszijden van het gebouw dragen de verdiepingvloeren. Inpandig rusten de vloeren op een middenligger op kolommen. Stabiliteit uit de staalconstructie.

Vloeren De vloeren bestaan uit kanaalplaten met een bandrasterplafond. In het plafond zijn stralingspanelen geïntegreerd **(afb. 5.11).**

Gevel De langsgevels bestaan uit kiep-schuifpuien, waarvoor een schermconstructie staat van kokerprofielen bekleedt met geperforeerde staalplaat **(afb. 5.12)**. Vanwege een mogelijke uitbreiding zijn de schermconstructies twee keer zo lang als het huidige gebouw. De kopgevel van het gebouw is tot maximaal drie stramienen te verplaatsen.

Verlichting en zonwering Dankzij de verdiepinghoge ramen kan het daglicht ver in de kantoorvertrekken binnendringen. De schermen van geperforeerde staalplaat houden hinderlijk licht en zonnewarmte tegen. Van buiten af gezien lijken de geperforeerde staalplaten ondoorzichtig. Van binnen uit gezien is de situatie andersom: de staalplaten hinderen het uitzicht nauwelijks.

Beheersing binnenklimaat Bij het ontwerp was een eenvoudige klimaatbeheersing uitgangpunt. In de wintersituatie werken de gevelschermen als stralingsscherm en beperken zo de warmte-afdracht: de glasvlakken koelen minder snel af, omdat de schermen de langsgevels uit de wind houden. In ruimten waar de temperatuur niet mag variëren zijn fancoil-units toegepast. De overige vertrekken worden verwarmd met stralingsplafonds. Bij de ramen staan radiatoren om koudeval te voorkomen.

5.13 De buitenschil van het gebouw bestaat uit een vliesgevel van enkelglas die zowel voor de gevel langs als over het dak heen loopt.

5.3.3 Kantoorgebouw Columbus, Schiphol

Algemene uitgangspunten[8] Columbus is een verhuurkantoor op een locatie met een extreem hoge geluidbelasting (**zie ook blz. 134-139**). Om een maximaal uitzicht te bieden op het opstijgen en landen van vliegtuigen is gekozen voor een zo transparant mogelijk gebouw. Energiezuinigheid was daarnaast één van de ontwerpuitgangspunten. Ondanks de bijzondere omstandigheden en eisen moest het gebouw worden gemaakt voor een marktconform budget.

5.14 De serres maken de energiehuishouding eenvoudig en zuinig.

Omgeving Extreem grote geluidbelasting op de gevel door het opstijgen en landen van vliegtuigen.

Draagconstructie Staalskelet met kanaalplaatvloeren. Stabiliteit uit drie betonnen kernen. Inpandige atria. Gevelliggers en middenliggers op stalen kolommen dragen kanaalplaten met een overspanning van 7,2 m. Ter plaatste van de atria overspannen de vloervelden in één keer 14,4 m. Aan de staalconstructie in de gevel hangt op 1,8 m afstand een vliesgevel van staal en glas die de buitenhuid van het gebouw vormt **(afb. 5.13)**.

Vloeren Kanaalplaten op geïntegreerde liggers. De onderkant van de vloer is vlak om het leidingverloop van installaties te vergemakkelijken. Er is een systeemplafond aangebracht.

Gevel De buitenschil van het gebouw bestaat uit een vliesgevel van enkelglas die zowel voor de gevel langs als over het dak heen loopt. Daarachter ligt de binnengevel met een tussenruimte van 1,8 m, waardoor rond het gebouw ‘serres’ ontstaan. De binnengevel is gemaakt in houtskeletbouw met aan de buitenkant een geperforeerde, geprofileerde stalen beplating en aan de binnenzijde een afwerking met gipskartonplaten.

Verlichting en zonwering De verlichting is opgenomen in het systeemplafond. Er is geen extra zonwering aangebracht.

Beheersing binnenklimaat De 1,8 m diepe serres zorgen voor een reductie van het vliegtuiglawaai en spelen een cruciale rol bij de klimaatbeheersing **(afb. 5.14)**. Dankzij de serres kan het gebouw op een zeer energiezuinige manier worden geventileerd en blijft het binnenklimaat aangenaam, ondanks de afwezigheid van een koelinstallatie. De serres maken de energiehuishouding eenvoudig en zuinig. In de wintersituatie vormen ze een natuurlijke buffer, waardoor het warmteverlies door transmissie vanuit de kantoren naar buiten beperkt blijft. In het voor- en naseizoen kunnen de ramen al vroeg open om de kantoren te verwarmen met lucht uit de serres. In de zomersituatie wordt verbruikte lucht via de serres afgevoerd: een energiezuinige manier van ventileren. Onder en boven in de glazen gevel zijn te openen ramen opgenomen.

5.15 De gevel is afgestemd op de oriëntatie en bestaat uit een raster van geprefabriceerde betonelementen met een sterk horizontale geleding.

5.16 Onder de kanaalplaatvloeren is een open plafond aangebracht; plafondeilanden zorgen voor de akoestiek.

5.3.4 Kantoorgebouw Kennemerplein, Haarlem

Algemene uitgangspunten[9] Een flexibel indeelbaar kantoorgebouw met een minimaal energieverbruik en een lage milieubelasting. De architectonische vormgeving van het gebouw moest het milieubewuste karakter van het gebouw uitstralen **(afb. 5.15)**. Bovendien wilden de opdrachtgevers een daglichtgebouw met veel blank glas. Het beschikbare budget was afgestemd op een standaard kantoorgebouw.

Omgeving Complexe binnenstedelijke locatie (direct achter station Haarlem) met een gemiddelde geluidbelasting op de gevel.

Draagconstructie Staalskelet met kanaalplaten met een dikte van 200 mm met een overspanning van 7,2 m. De kanaalplaten liggen op geïntegreerde stalen liggers. Stabiliteit uit staalconstructie.

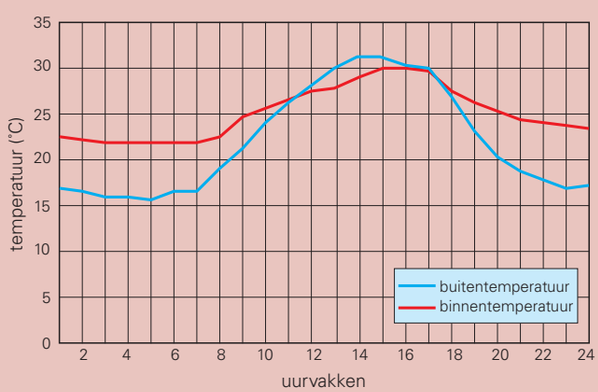
Vloeren Onder de kanaalplaatvloeren is geen systeemplafond aangebracht. Plafondeilanden zorgen voor de akoestiek **(afb. 5.16)**. De akoestische voorzieningen zijn opgenomen in deze plafondeilanden.

Gevel De gevelopbouw bestaat uit een raster van geprefabriceerde betonelementen met een sterk horizontale geleding waarin houten raamkozijnen zijn gezet. De geveldetaillering is afgestemd op de oriëntatie. Het binnenspouwblad is van beton vanwege het warmteaccumulerend vermogen.

Verlichting en zonwering Het kantoor is meer dan 25 m diep. Daglicht komt in het midden van het gebouw binnen via zes lichthoven. Per verdieping zijn er drie horizontale lichtstroken, waardoor de werkruimten aan de gevel optimaal gebruik maken van daglicht. De zuidgevel staat scheef, waardoor het overstek van de betonelementen een natuurlijke zonwering vormt. Bij de noordgevel zijn de horizontalen slank gehouden en de verticalen dieper gemaakt om zoveel mogelijk daglicht binnen te laten.

Beheersing binnenklimaat De doelstelling voor een energiezuinig en energie-efficiënt gebouw is bereikt met verschillende maatregelen. Het gevelontwerp is af gestemd op de oriëntatie, waardoor te grote opwarming door zoninstraling is voorkomen **(afb. 5.17)**. De warmtelast van de verlichting is verminderd door nieuwe verlichtingstechnieken die weinig warmte produceren en door een daglichtafhankelijke regeling.

Door het ontbreken van een systeemplafond wordt het warmteaccumulerend vermogen van de betonvloer passief ingezet. De binnenspouwbladen en scheidingwanden zijn in steenachtige materialen uitgevoerd. Ondanks de relatief lichte constructie maakt het warmte-accumulerend vermogen van het gebouw een koelinstallatie overbodig. Het gebouw wordt mechanisch geventileerd. Vanwege de grote diepte van het gebouw was natuurlijke ventilatie niet mogelijk. De verwarmingsinstallatie is traditioneel met radiatoren langs de gevels.



5.17 Het warmteaccumulerend vermogen van de betonvloer wordt dankzij het open plafond passief benut. Zo worden pieken in het temperatuurverloop afgevlakt.

5.18 De gevel heeft voor het grootste gedeelte een transparante opbouw met een dubbele gevelhuid.

5.3.5 Kantoorgebouw ING, Amsterdam

Algemene uitgangspunten[10] De opdrachtgever wilde dat de architectuur van zijn nieuwe hoofdkantoor zich spectaculair onderscheidde van de andere gebouwen aan de zuid-as van Amsterdam **(afb. 5.18)**. De combinatie van een uiterst transparant gebouw met een extreem comfortabel binnenklimaat en een maximaal energie-efficiënte energiehuishouding vormt het hoofdthema van het gebouw en installatieontwerp (**zie ook blz. 152-157**).

Omgeving Grote geluidbelasting op de gevel door ligging aan de A10.

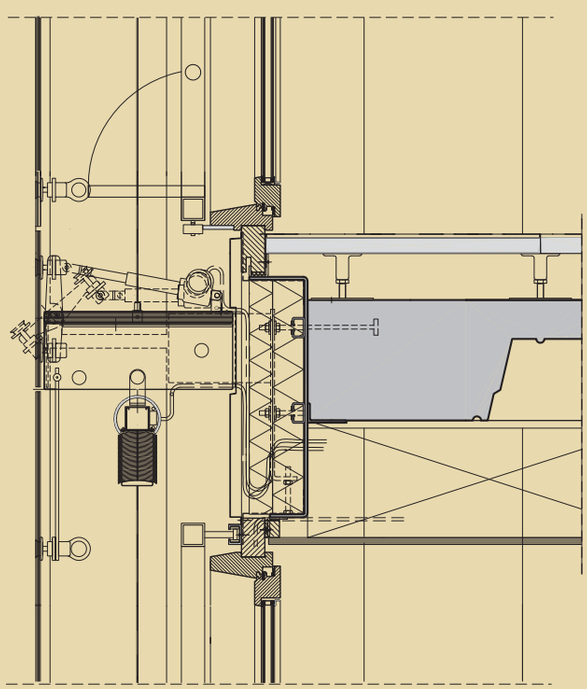
Draagconstructie Staalskelet met hoge staalplaat-betonvloeren en kanaalplaten. Stabiliteit uit de staalconstructie.

Vloeren De hoge staalplaat-betonvloeren zijn aan de bovenzijde afgewerkt met een computervloer en hebben aan de onderkant een bandrasterplafond.

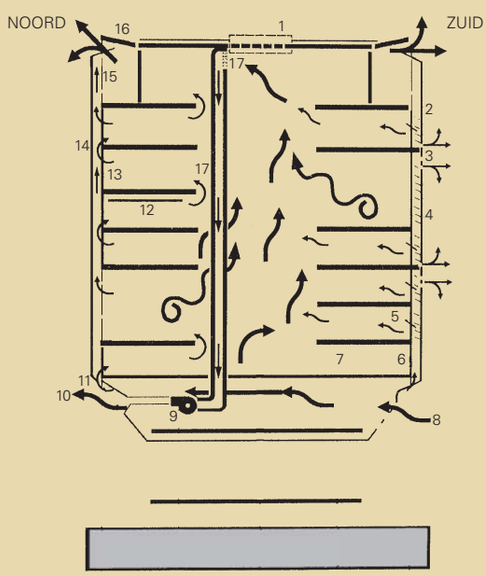
Gevel De gevel heeft grotendeels een transparante opbouw met een dubbele gevelhuid. In de buitenhuid van gehard enkelglas zitten elektrisch bediende ventilatiekleppen **(afb. 5.19)**. De binnenhuid van houten kozijnen met dubbelglas omsluit het functionele deel van het gebouw. De 'spouw' tussen beide gevels maakt deel uit van de klimaatbeheersing.

Verlichting en zonwering Dankzij de verdiepinghoge ramen kan het daglicht ver de kantoorvertrekken binnendringen. In de ruimte tussen de buitenhuid en de binnengevel zitten horizontale lamellen die directe toetreding van zonnewarmte voorkomen.

Beheersing binnenklimaat Het binnenklimaat wordt geregeld zowel met passieve, gebouwgebonden maatregelen als met actieve installaties. Vanwege de hoge geluidbelasting en de vereiste transparantie is gekozen voor een spouw met een tweede glazen huid die tegelijkertijd dient als geluid- en warmtebuffer. De ventilatie is geregeld met computergestuurde glazen kleppen ter hoogte van de verdiepingvloeren. De kleppen scharnieren zodanig dat de lucht uit het ene compartiment kan wegstromen, terwijl buitenlucht voor het andere compartiment wordt aangezogen **(afb. 5.20)**. De verwarming respectievelijk koeling van de ruimten geschiedt via klimaatplafonds. Elke ruimte is aangesloten op het mechanische ventilatiesysteem. De kantoren hebben ramen die zijn te openen. Zodra er een raam opengaat, wordt de installatie in het betreffende vertrek uitgeschakeld. Er kan dus individueel worden gekozen voor natuurlijke ventilatie of voor airconditioning via de installatietechniek. De klimaatbeheersing is aangesloten op het gebouwbeheerssysteem.



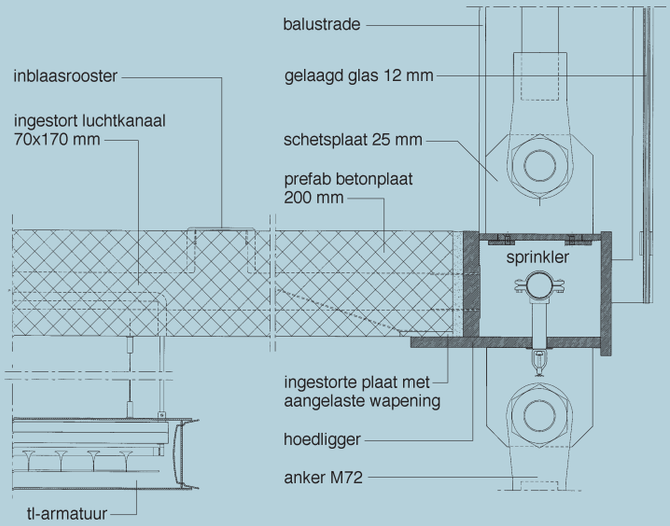
5.19 Doorsnede over de gevel met elektrisch bediende ventilatiekleppen.



5.20 Principe van de klimaatbeheersing.

1 rookkleppen
2 verdiepinghoge, automatische zonwering
3 automatische kleppen in het buitenblad
4 enkele huid
5 handbediende ramen
6 thermische lijn isolerende beglazing
7 fotocellen die de lichtdimmers regelen
8 frisse lucht
9 warmteterugwinning
10 luchtuitlaat
11 automatische afsluitklep
12 multi-service unit (verwarmen, koelen, frisse lucht, licht, sprinklerinstallatie)
13 enkel glas
14 thermische lijn isolerende beglazing
15 rookschacht
16 automatische kleppen

5.21 De staalconstructie maakt deel uit van de architectonische expressie.



5.22 In de vloer van de loopbrug door het atrium is de sprinklerinstallatie geïntegreerd in de holle ruimte van de geïntegreerde liggers.

5.3.6 InHolland Hogeschool, Rotterdam

Algemene uitgangspunten[11] De staalconstructie maakt deel uit van de architectonische expressie **(afb. 5.21)**. De sfeer van schepen en havens vormde het uitgangspunt voor de uitstraling van het gebouw. Het gebouw moet zich flexibel kunnen aanpassen aan veranderingen in het gebruik. Om het open karakter van de organisatie te weerspiegelen en het bijzondere uitzicht te benutten was een transparant gebouw gewenst. Vanwege dit open karakter is afgezien van brandcompartimenteringswanden en heeft het gebouw een sprinklerinstallatie. In een ruimte met veel studenten wordt veel warmte geproduceerd. In de zomer zijn de studenten afwezig; het docentencorps en ondersteunende diensten blijven wel actief. Een temperatuurregeling en voldoende ventilatie zijn daarom noodzakelijk (**zie ook blz. 194-199**).

Omgeving Gemiddelde geluidbelasting op de gevel.

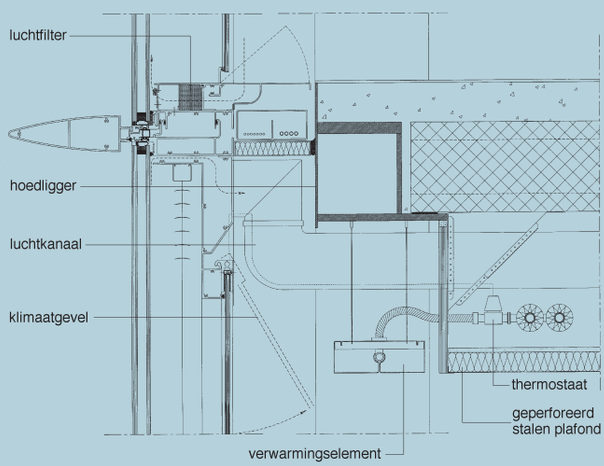
Draagconstructie Staalskelet met geïntegreerde liggers en kanaalplaten. Stabiliteit door betonnen schachten en wanden.

Vloeren Onder de kanaalplaatvloeren is een geperforeerd stalen plafond aangebracht. In de ruimte tussen het plafond en de vloer lopen ventilatiekanalen. Dankzij de geïntegreerde liggers is de onderkant van de vloer vlak en wordt het kanaalverloop niet gehinderd. De vloer van de loopbrug door het atrium is uitgevoerd als 200 mm prefab betonnen plaat waarin luchtkanalen zijn ingestort. Bijzonder is dat hier de sprinklerinstallatie is geïntegreerd in de holle ruimte van de geïntegreerde liggers die de vloerplaten dragen. Deze holle ruimte fungeert tevens als luchtkanaal voor de ventilatie **(afb. 5.22)**.

Gevel De gevel bestaat uit verdiepinghoge gevelelementen van isolatieglas in aluminiumprofielen. De zuidgevel is uitgevoerd als klimaatgevel en heeft een spouw met enkelglas.

Verlichting en zonwering Dankzij de verdiepinghoge ramen dringt het daglicht ver de kantoorvertrekken binnen. Voor de verlichting in het atrium hangen speciale tl-armaturen met staaldraden aan de vloeren van de loopbruggen. De onderkant van de vloeren wordt zo niet ontsiert door inbouwarmaturen. Horizontale aluminium ‘vleugels’ zorgen voor ritmiek in de gevel en zorgen tegelijkertijd voor schaduw. In de ruimte tussen de twee glasvlakken zitten horizontale lamellen die directe toetreding van zonnewarmte voorkomen.

Beheersing binnenklimaat Het gebouw heeft een mechanisch ventilatiesysteem. De zuid- en westgevel zijn vanwege de warmtelast uitgevoerd als klimaatgevel. De warmte in de klimaatgevels wordt mechanisch afgezogen **(afb. 5.23)**. Het ventilatiesysteem van de spouw is zo ontworpen dat een overschot aan warmte aan de zuidzijde op andere plaatsen in het gebouw kan worden gebruikt. Ter plaatse van de ramen zijn verwarmingselementen aangebracht. Het gebouw heeft geen koeling.



5.23 De warmte in de klimaatgevels wordt mechanisch afgezogen.

5.3.7 Albus Grand Hotel, Amsterdam

Algemene uitgangspunten[11] Vanwege een binnenstedelijke locatie is gekozen voor een staalconstructie om de bouwsnelheid te vergroten en om logistieke bouwplaatsproblemen te vermijden (**zie ook blz. 182-187**). Om commerciële redenen moest het toegestane bouwvolume optimaal worden benut. Vanwege de inpassing in het historische gevelbeeld is de architectonische uitstraling traditioneel **(afb. 5.24)**.
Omgeving Kleine geluidbelasting op de gevel. Complexe binnenstedelijke locatie.
Draagconstructie Staalskelet met geïntegreerde liggers en kanaalplaten. Stabiliteit uit de staalconstructie.
Vloeren Constructief gezien kon worden volstaan met een kanaalplaat van 150 mm dikte. De gewenste luchtgeluid- en contactgeluidisolatie is bereikt door het aanbrengen van een zwevende dekvloer bestaande uit 30 mm isolatie en een laag anhydriet van 50 mm. Er is geen plafond toegepast.
Gevel De gevel bestaat uit een buitenspouwblad van metselwerk. Het binnenspouwblad is opgebouwd uit een houten stijl- en regelwerk, bekleed met triplex en gipsvezelplaat.
Verlichting en zonwering Geen bijzonderheden.
Beheersing binnenklimaat Het hotel heeft een centrale verwarming en mechanische ventilatie.

5.24 De gewenste luchtgeluid- en contactgeluidisolatie is bereikt door het aanbrengen van een zwevende dekvloer.

Literatuur

1. E. Sonneman en B. Poel (rap.), *Handreiking voor ontwerpteams. Innovatieve en duurzame gebouw- en installatieconcepten. Een integrale aanpak*, SBR-publicatie 808, Rotterdam 2002.
2. P.F. van Deelen, *Zwevende dekvloeren op thermische of akoestische isolatie in de woningbouw*, SBR-publicatie 485, Rotterdam 2001.
3. G.A.M. van Schaik en C.L.M. Leenaerts, *Ontwerpen van energie-efficiënte kantoorgebouwen. Integratie van gebouw en installaties*, SBR-publicatie 213, Rotterdam 1990.
4. *Bouwen op toplocaties*, uitgave Bouwen met Staal, Rotterdam 2000.
5. P.F. van Deelen, S. Bron-Van der Jagt en E. Gerretsen, *Kansen voor lichte verdiepinggebouwen*, uitgave Bouwen met Staal, Zoetermeer 2004.
6. P. Waarts, R. Donkevoort en F. van Duin, *Richtlijnen voor trillingen van vloeren door lopen. Voorspellen, meten en beoordelen*, SBR-publicatie 471, Rotterdam 2005.
7. T. Jütte, 'Meer gebouw door intelligente vloer', *Bouwen met Staal* 151 (1999), p. 46-53.
8. H.A. van Vliet, 'Glazen stolp houdt vliegtuiglawaai binnen', *Bouwen met Staal* 162 (2001), p. 26-31.
9. Th.J.P. Janssen, J. Bullens, N. Kunnen en E. van Rest, 'Hybride draagconstructie heeft grote potentie', *Bouwen met Staal* 134 (1997), p. 42-50.
10. J.M.G. Hendriks en M. de Boer, 'Spraakmakende vorm vertaald in staal', *Bouwen met Staal* 172 (2003), p. 12-29.
11. M. Lammers, W. Spangenberg en W.J. Houweling, 'Leren en werken in een stoer havengebouw', *Bouwen met Staal* 154 (2000), p. 14-20.
12. K. Peterse, '*Compact staalskelet in een traditionele jas*', Bouwen met Staal 150 (1999), p. 40-45.

6 BRANDVEILIGHEID

Een staalskelet moet voldoen aan de brandveiligheidseisen van het Bouwbesluit. Deze eisen hangen uitsluitend af van de functie van het gebouw én van de hoogte van het gebouw. De eisen zijn gebaseerd op een zogeheten standaardbrand: dat is een fictieve, gemodelleerde brand. Dit hoofdstuk beschrijft hoe een onbeklede staalconstructie zich gedraagt bij blootstelling aan de standaardbrand en welke mogelijkheden beschikbaar zijn om met een staalconstructie te voldoen aan de brandwerendheidseisen.
Voorbeelden laten zien hoe de staalconstructie in een aantal Nederlandse verdiepingbouwprojecten voldoende brandwerend is gemaakt.

Met de aanpassing van het Bouwbesluit in 2003 gelden in Nederland overal dezelfde prestatie-eisen op het gebied van veiligheid. Deze eisen hangen niet af van het materiaal waarmee een gebouw is opgetrokken, maar uitsluitend van de gebruiksfunctie en van de hoogte van het betreffende gebouw **(afb. 6.1)**. De eisen op het gebied van veiligheid zijn ingedeeld in vier gebieden, namelijk:

- constructieve veiligheid;
- gebruiksveiligheid;
- brandveiligheid;
- sociale veiligheid.

In het kader van verdiepingbouw zijn de volgende gebruiksfuncties van belang:

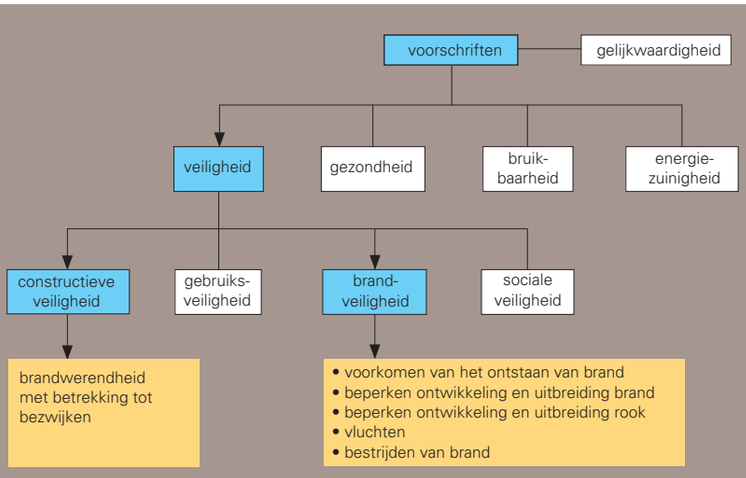
- wonen (in een woongebouw);
- logies (bijvoorbeeld een hotel);
- onderwijs;
- gezondheidszorg;
- kantoor;
- industrie.

In hoofdstuk 1 (Verdiepingbouw) is aangegeven dat in Nederland gebouwen met een staalskelet in alle functiecategorieën voorkomen. Wanneer er in een gebouw brand ontstaat moet de hoofddraagconstructie van het gebouw hiertegen bestand zijn gedurende een vastgestelde tijdsperiode (in minuten). Dit wordt aangeduid als ‘de brandwerendheid met betrekking tot bezwijken’ (in het vervolg aangeduid als 'brandwerendheid'). Deze brandwerendheid maakt deel uit van de constructieve veiligheid.
Een constructiedeel behoort tot de hoofddraagconstructie van een gebouw wanneer het gebouw gedeeltelijk of geheel bezwijkt indien dat constructiedeel er niet zou zijn ('kaartenhuis'-effect of voortschrijdende instorting). Kolommen en stabiliteitsconstructies horen tot de hoofddraagconstructie, met uitzondering van (die op) de bovenste bouwlaag. En wanneer er extra stabiliteitsverbanden aanwezig zijn (in andere brandcompartimenten) dan behoren de stabiliteitsconstructies ook niet tot de hoofddraagconstructie.
Er zijn gevallen waarbij de brandwerendheidseisen met betrekking tot bezwijken hoger zijn dan de eisen ten aanzien van de brandveiligheid met betrekking tot de scheidende functie (compartimentering). In die gevallen kan het handig zijn het gebouw zo te ontwerpen dat de vloeren geen deel uitmaken van de hoofddraagconstructie. In één van de praktijkvoorbeelden wordt dit nader toegelicht.
De eisen met betrekking tot de brandveiligheid betreffen onder meer het voorkomen van brand, de verdere verspreiding en de uitbreiding van de brand (weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag; afgekort tot wbdbo), het vluchten en het bestrijden van de brand.

6.1 PRESTATIE-EISEN BOUWBESLUIT

De prestatie-eisen in het Bouwbesluit zijn geformuleerd in een voor velen onbegrijpelijk juridisch taalgebruik. Om die reden publiceerde de Stichting Bouw Research (SBR) in 2003 de serie *Brandveiligheid: ontwerpen en toetsen*[1], waarin de prestatie-eisen nader zijn toegelicht. Deze handboeken zijn opgezet als ontwerprichtlijnen. Er zijn ontwerprichtlijnen voor 'utiliteitsbouw' en voor 'woningen en woongebouwen'. De thema’s die hierbij aan de orde komen staan in **afbeelding 6.2.** Ze volgen het ontwerpproces van 'grof' naar 'fijn'.
Dit hoofdstuk gaat niet in op de onderwerpen die in de SBR-richtlijnen zijn beschreven. Hier wordt uitsluitend besproken hoe de brandwerendheid met betrekking tot bezwijken van een stalen hoofddraagconstructie kan worden verzorgd. Dat wil zeggen: op welke wijze kan worden voldaan aan de eisen in het thema ‘bouwconstructie’ van **afbeelding 6.2.** Hoofdstuk 3 (Gevel) van dit boek gaat nader in op de toepassing van de wbdbo-eisen bij staalskeletbouw.
Het Bouwbesluit stelt verschillende eisen aan de brandwerendheid van de hoofddraagconstructie:

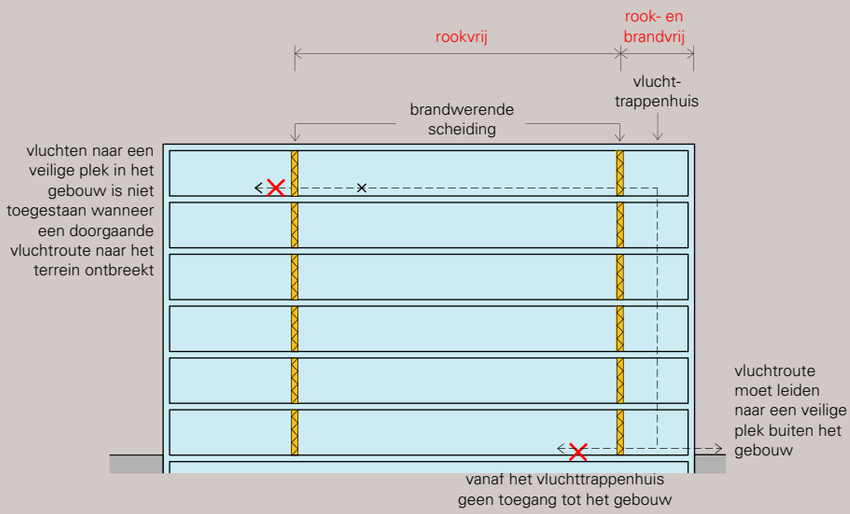
- woongebouwen;
- utiliteitsgebouwen.



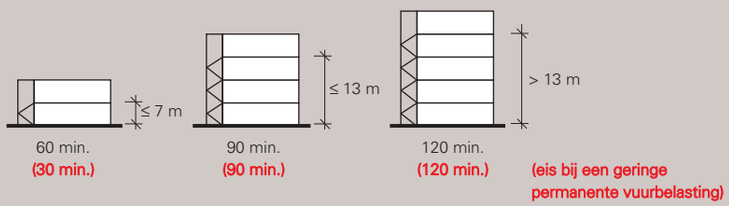
6.1 Brandveiligheid in het Bouwbesluit in relatie tot andere eisen die aan de constructie worden gesteld.

- **Aanrijroutes en opstelplaatsen voor brandweervoertuigen**
- **Bluswatervoorzieningen**
- **Situering van het gebouw ten opzichte van andere gebouwen**
- **Hoogte van de bouwmassa en bouwvolume**
- **Horizontale en verticale geledingen van de bouwmassa**
- **Bouwconstructie**
- **Verdeling in brandcompartimenten**
- **Verdeling in rookcompartimenten**
- **Vluchtroutes algemeen**
- **Verticale vluchtroutes**
- **Horizontale vluchtroutes**
- **Vluchttrappenhuis / veiligheidstrappenhuis / toegangssluis**
- **Lift**
- **Leidingkokers en -kanalen**
- **Indeling van een rookcompartiment / verblijfsruimte**
- **Capaciteit van doorgangen / draairichting van deuren**
- **Blusmiddelen**
- **Noodverlichting en brandveiligheidsinstallaties**

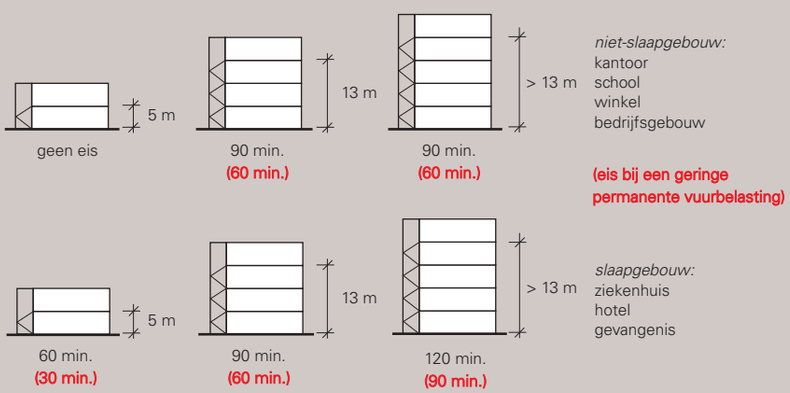
6.2 Thema’s in de SBR-ontwerprichtlijnen voor 'utiliteitsbouw' en voor ‘woningen en woongebouwen’.



6.3 Eisen aan de vluchtroute van woongebouwen.



6.4 Eisen aan de hoofddraagconstructies van woongebouwen.



6.5 Eisen aan de hoofddraagconstructies van utiliteitsgebouwen.

6.1.1 Woongebouwen

Om bij *woongebouwen* de bewoners de gelegenheid te geven het gebouw bij brand tijdig te verlaten **(afb. 6.3)** én om de brandweer in staat te stellen het gebouw te doorzoeken, stelt het Bouwbesluit eisen aan de sterkte van bouwconstructies. Het gaat hierbij om de brandwerendheid met betrekking tot bezwijken van:

- bouwconstructies rondom rookvrije vluchtroutes (Bouwbesluit 2.9, lid 1);
- delen van de hoofddraagconstructie (Bouwbesluit 2.9, lid 2).

Rookvrije vluchtroutes van grote woningen (zogeheten megawoningen met meer dan 500 m^2 vloeroppervlak) en van woongebouwen moeten volgens de eisen minimaal 30 minuten lang bruikbaar blijven.

De eisen die gelden voor een hoofddraagconstructie zijn gerelateerd aan het niveau van het hoogstgelegen verblijfsgebied, zie **afbeelding 6.4.** Voor woningen die niet in een woongebouw liggen én waarvan de hoogste vloer op maximaal 7 m boven het maaiveld ligt is de eis 30 minuten lager, indien de permanente vuurbelasting aantoonbaar lager is dan 500 MJ/m^2 vloeroppervlak (zie paragraaf 6.1.3).

6.1.2 Utiliteitsgebouwen

Voor de eisen die het Bouwbesluit stelt aan de hoofddraagconstructie van *utiliteitsgebouwen* geldt dezelfde motivering als voor woongebouwen. In de utiliteitsbouw wordt nog een onderscheid gemaakt in gebouwfuncties. De hoofddraagconstructie van utiliteitsgebouwen waarin zich ruimten bevinden voor ‘vrijwillig of onvrijwillig’ dag- en nachtverblijf moet soms voldoen aan strengere eisen. Er is dus sprake van een verschil tussen ‘slaapgebouwen’ en ‘niet-slaapgebouwen’.

Voor slaapgebouwen (zoals hotels, ziekenhuizen en gevangenissen) zijn de eisen hoger dan voor niet-slaapgebouwen (zoals kantoren, bedrijfsgebouwen, scholen en winkels). Hoe hoger het gebouw, hoe zwaarder de eisen. De brandwerendheidseisen hangen af van de ligging van de vloer van het hoogste verblijfsgebied, waarbij een hoogte van 5 m en van 13 m telkens een grens aangeeft. Het gaat hierbij om het hoogteverschil tussen de hoogste vloer van een verblijfsgebied van de beschouwde gebruiksfunctie en het aansluitende terrein, doorgaans het maaiveld, **zie afbeelding 6.5.**

Deze eisen zijn 30 minuten lager indien de permanente vuurbelasting aantoonbaar lager is dan 500 MJ/m^2 vloeroppervlak (zie paragraaf 6.1.3). Met onbrandbare bouwmaterialen zoals beton en staal wordt vrijwel altijd voldaan aan dit criterium. Deze lagere eisen zijn ook in **afbeelding 6.5** aangegeven. Een eventuele verdere reductie van de brandwerendheidseisen hangt af van de gekozen brandveiligheidsoplossing(en).

Naast eisen voor de hóófddraagconstructie, kunnen er ook eisen gelden voor de draagconstructie. Bijvoorbeeld voor het in stand houden van een rookvrije vluchtroute, voor brandcompartimentering óf om brandoverslag naar andere gebouwen tegen te gaan. Constructiedelen die hierbij een functie

vervullen, moeten doorgaans 30 minuten brandwerend zijn. In twee gevallen moeten de constructiedelen 60 minuten brandwerend zijn, namelijk:

• wanneer ze een functie vervullen bij een brandscheiding in een gebouw met drie of meer bouwlagen (een hoogste verdiepingvloer op meer dan 5 m);

• wanneer ze het veiligheidstrappenhuis tegen branddoorslag moeten beschermen.

6.1.3 Reductie van de eisen

De brandwerendheidseisen aan de hoofddraagconstructie mogen volgens het Bouwbesluit in een aantal gevallen worden gereduceerd, namelijk:

- bij een geringe permanente vuurbelasting;
- bij gebruik van een sprinklerinstallatie.

• Bij een **geringe permanente vuurbelasting** (minder dan 500 MJ/m^2) mogen de brandwerendheidseisen in een aantal gevallen worden verlaagd. Deze verlaging geldt voor alle niet tot bewoning bestemde gebouwen waarvan het hoogste verblijfsgebied *hoger* is dan 5 m boven het maaiveld én voor woningen waarvan het hoogste verblijfsgebied *lager of gelijk* is aan 7 m en die bovendien geen deel uitmaken van een woongebouw.

De waarde van 500 MJ/m^2 komt overeen met 25 kg vurenhout per m^2. De permanente vuurbelasting is de verbrandingswaarde van alle vergunningplichtige brandbare bouwdelen. Bij de huidige wijze van bouwen met veelal onbrandbare bouwmaterialen (steenachtige materialen, staal, gips en onbrandbare isolatiematerialen) is de permanente vuurbelasting vaak aanmerkelijk lager dan de grenswaarde van 500 MJ/m^2. Door bij de bouwaanvraag een berekening van de permanente vuurbelasting te voegen, kan de hoofddraagconstructie met een 30 minuten lagere brandwerendheid worden uitgevoerd. Elke brandveiligheidsspecialist kan deze berekening maken.

Uitsluitend de bouwvergunningplichtige onderdelen dragen bij aan de permanente vuurbelasting, zoals deuren, kozijnen, daken en binnenwanden (die een verblijfsgebied begrenzen). Afbouwdelen – zoals plafonds, niet-dragende scheidingswanden, binnendeuren en plinten – en bijvoorbeeld de vloerbedekking leveren dus geen bijdrage aan de permanente vuurbelasting!

• Een **sprinklerinstallatie** blust de brand in een vroeg stadium. Hierdoor blijft uitbreiding van brand en brandschade beperkt. De brandtemperaturen blijven relatief laag, waardoor de staaltemperatuur onder de 200 °C blijft. Bezwijken van de staalconstructie treedt dan ook niet op.

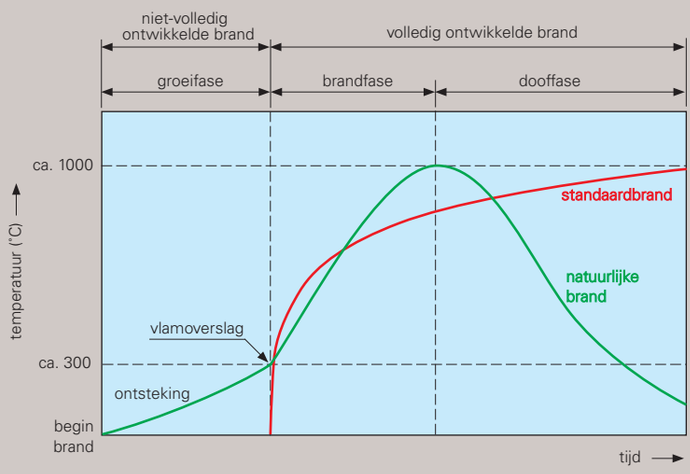
Het effect van sprinklers wordt in Nederland uitgedrukt met een reductie van de 'brandwerendheid met betrekking tot bezwijken'. De reductie is 30 of 60 minuten. Welke reductie in rekening mag worden gebracht hangt af van de locale vergunningverlenende instantie. Daarom is overleg met het Gemeentelijk Bouwtoezicht en de brandweer in een vroeg stadium van het ontwerp aan te bevelen.

6.2 BRAND EN GEDRAG VAN STAAL BIJ BRAND

Staal is onbrandbaar bij de temperaturen die optreden bij branden in gebouwen. Desondanks kunnen gebouwen met een draagconstructie van staal bezwijken bij brand. Dat komt, omdat bij staal – evenals bij alle andere bouwmaterialen – de sterkte-eigenschappen afnemen bij hoge temperaturen. Wanneer bij het ontwerpen van een staalconstructie rekening wordt gehouden met deze afname van de sterkte kan een gebouw met een hoofddraagconstructie van staal aan elke brandwerendheid zonder problemen voldoen.

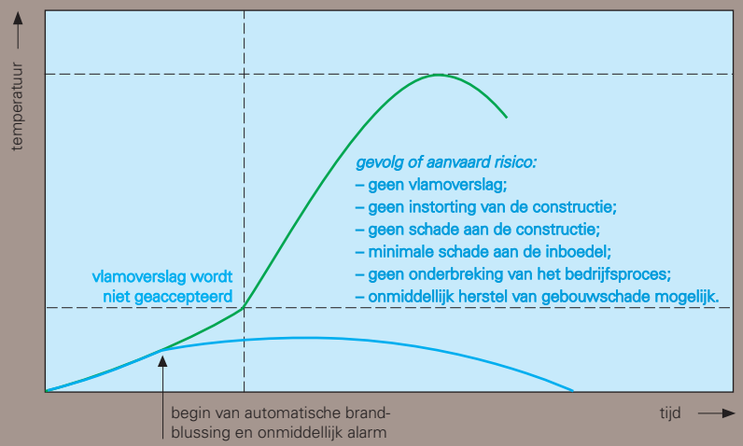
Er is er veel onderzoek verricht naar de temperatuurontwikkeling bij branden. Op basis hiervan wordt een brand nu in gedeeld in drie fasen **(afb. 6.6)**. Deze fasering biedt aanknopingspunten voor de maatregelen die genomen kunnen worden om de 'brandwerendheid met betrekking tot bezwijken' van constructies te verbeteren.

Bij de ontwikkeling van een brand is er een moment waarop de brand (net) niet meer is te blussen. Dit moment wordt aangeduid met vlamoverslag. Wanneer een brand kan worden bestreden vóórdat vlamoverslag optreedt, dan kan het brandcompartiment tijdig worden ontruimd en kan de brand eenvoudig worden geblust. Bovendien is de materiële schade dan nog gering. Het tijdstip waarop vlamoverslag optreedt is vrijwel onafhankelijk van de materialen waaruit de draagconstructie is samengesteld. De materialen van de inventaris en van de brandbare bouwmaterialen spelen een veel belangrijker rol: die worden namelijk zo heet dat er brandbare gassen in de ruimte vrijkomen. Op het moment dat het concentratieniveau van het gas in de ruimte een kritiek punt overschrijdt, treedt vlamoverslag op en staat het brandcompartiment volledig in brand ('in lichterlaaie').

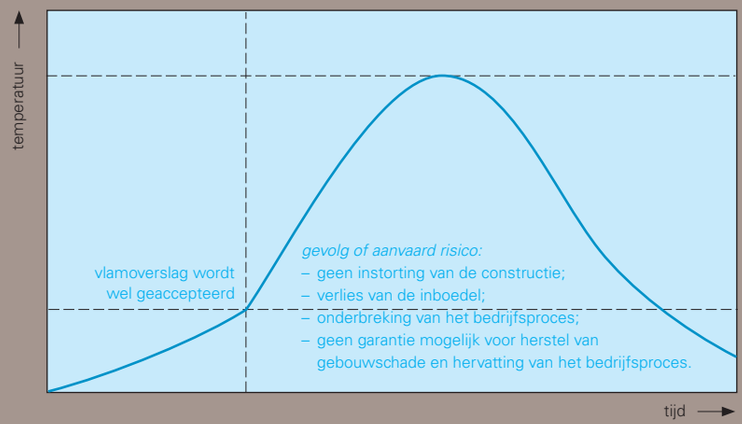


6.6 Temperatuurontwikkeling van een werkelijke (natuurlijke) brand en die van de (fictieve) standaardbrand.

6.7 Brandveiligheidconcept op basis van vroegtijdige blussing.



6.8 Brandveiligheidconcept op basis van bouwkundige maatregelen.



6.2.1 Staal als constructiemateriaal

Staal is onbrandbaar bij de temperaturen die voorkomen bij branden in (verdieping)gebouwen. De sterkte van staal neemt echter af bij een temperatuur vanaf 400 °C. Dit is vergelijkbaar met de afname van de sterkte van andere bouwmaterialen.

Door de hoge sterkte van staal ten opzichte van andere bouwmaterialen zijn staalconstructies relatief slank. Er is dus bij brand ook minder materiaal om op te warmen. Om die reden warmt een onbeklede staalconstructie sneller op dan bijvoorbeeld een constructie van steenachtige materialen.

Het opwarmen van een staalconstructie – en daardoor een verlies aan sterkte – is op twee manieren te voorkomen, namelijk:

• door er voor te zorgen dat er geen vlamoverslag optreedt en de brand zich niet kan ontwikkelen (brandveiligheidsconcept op basis van vroegtijdige blussing);

• door er voor te zorgen dat de staalconstructie voldoende tegen brand is beschermd (brandveiligheidsconcept op basis van bouwkundige maatregelen).

Welke maatregelen behoren bij deze concepten wordt behandeld in paragraaf 6.3.

6.2.2 Staal als afbouwmateriaal

Het belangrijkste kenmerk van materialen die voor de afbouw worden gebruikt is dat ze geen dragende functie vervullen. Afbouwmaterialen moeten slechts zichzelf in vorm houden. Aangezien staal onbrandbaar is, is dit materiaal bijzonder geschikt als brandscheiding. Branddeuren hebben daarom altijd een stalen bekleding. Ook bij brandwerende puien komt deze eigenschap van staal optimaal tot zijn recht.

Wanneer voor de brandscheiding een stalen beplating wordt gebruikt, moet het materiaal bij brand kunnen uitzetten (vervormen) zonder dat er ongewenste effecten optreden, zoals rooktransport naar het aangrenzende compartiment. Fabrikanten van bijvoorbeeld brandscheidende deuren houden hiermee bij de detaillering rekening.

6.3 BRANDVEILIGE OPLOSSINGEN

De maatregelen die een ontwerper kan nemen om een staalconstructie voldoende brandveilig te maken volgen uit het gekozen brandveiligheidsconcept. Voor verdiepinggebouwen zijn de volgende twee oplossingen mogelijk:

- brandveiligheidsconcept op basis van vroegtijdige blussing;
- brandveiligheidsconcept op basis van bouwkundige maatregelen.

6.3.1 Vroegtijdige blussing

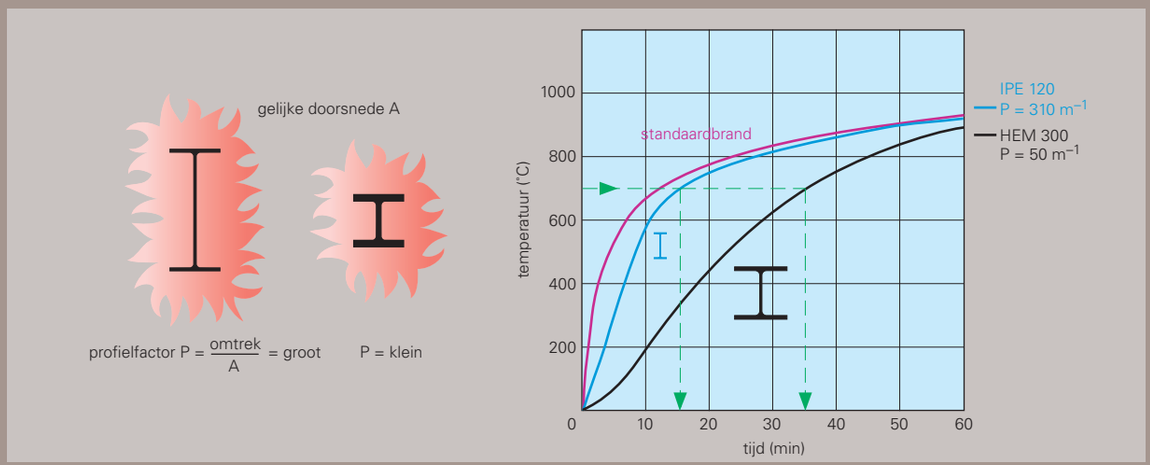
Uitgangspunt bij het brandveiligheidsconcept op basis van vroegtijdige blussing is het voorkomen van vlamoverslag **(afb. 6.7)**. Bij verdiepinggebouwen is dat bijvoorbeeld mogelijk door het installeren van sprinklers: die voorkomen dat een brand zich uitbreidt zodat slechts een deel van het gebouw onbruikbaar wordt. Sprinklers hebben voor gebruikers van verdiepinggebouwen als groot voordeel dat het bedrijfsproces bij een brand niet of nauwelijks in gevaar komt. Verzekeraars stellen soms de aanwezigheid van een sprinklerinstallatie als voorwaarde voor de brandverzekering.

Afhankelijk van de wijze waarop de vergunningverlenende instantie de toepassing van sprinklers waardeert in relatie tot de eisen van het Bouwbesluit kan een staalconstructie zonder verdere maatregelen worden toegepast. Toepassingen van sprinklers zijn beschreven in paragraaf 6.4.

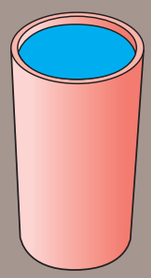
6.3.2 Bouwkundige maatregelen

Het uitgangpunt bij het brandveiligheidsconcept op basis van bouwkundige maatregelen is het accepteren van vlamoverslag **(afb. 6.8)**. De beschikbare oplossingen zijn;

- dimensioneren op brand;
- constructie buiten het gebouw plaatsen;
- vullen met water;
- vullen of omhullen met beton;
- bouwkundig integreren;
- warmte-isolerend bekleden;
- aanbrengen van brandwerende coating.



6.9 Dikke profielen warmen minder snel op dan dunne profielen met eenzelfde oppervlakte.



6.11 Buis gevuld met water.

Dimensioneren op brand. Bij constructies die nét niet voldoen aan een brandwerendheidseis van 30 minuten is het vaak mogelijk deze eis toch te halen door de constructie (iets) sterker te maken dan op basis van alleen de sterkte-eisen noodzakelijk is. Dit dimensioneren op brand kan op verschillende manieren gebeuren. Voorbeelden hiervan zijn:

- Toepassen van (iets) dikkere profielen, waardoor de constructie wat massiever wordt en de opwarming ook iets langer duurt.
- Toepassen van staal met een hogere treksterkte, waardoor er ook na afname van de sterkte voldoende draagkracht resteert.
- De liggers en kolommen bij brand uitrekenen als doorgaande ligger en/of als ingeklemde kolom. Dat is mogelijk doordat er een verschil bestaat tussen het gedrag van de staalconstructie in het brandcompartiment dat in brand staat (warm) en dat in de overige brandcompartimenten (koud). Een constructeur kan deze berekening uitvoeren.

Bij het dimensioneren op brand is een goede samenwerking met de constructeur noodzakelijk. Bij de keuze voor dikkere (zwaardere) profielen heeft de constructeur doorgaans een voorkeur voor de meer compacte H-profielen: deze warmen minder snel op dan I-profielen omdat de flenzen dikker zijn **(afb. 6.9)**. Een keuze voor buisprofielen met dikkere wanden is ook effectief. De berekeningen voor deze oplossingen zijn relatief eenvoudig.

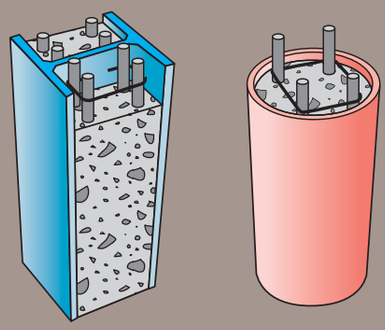
Constructie buiten gebouw plaatsen. Een staalconstructie buiten het gebouw warmt minder snel op door afkoeling aan de buitenlucht. Bovendien wordt de staalconstructie bij brand slechts aan één zijde door het vuur aangestraald. Het draagvermogen van de constructie neemt in werkelijkheid veel minder snel af dan berekeningen volgens de standaardbrandkromme aangeven. In veel gevallen kan een dergelijke 'externe' staalconstructie onbekleed blijven **(afb. 6.10)**. Om aan te tonen dat een constructie die zich buiten het gebouw bevindt voldoende brandwerend is, zijn complexe berekeningen nodig. Het inschakelen van een adviesbureau met ervaring op dit gebied is dan ook aan te bevelen, zie voor namen en adressen de *Gids Staalbouw*[2]. Een alternatief is om te rekenen met een 'gereduceerde' standaardbrand, waardoor de staalconstructie niet warmer wordt dan zo'n 680 °C.

Vullen met water. Een staalconstructie van buisprofielen kan met water worden gevuld **(afb. 6.11)**. Bij brand warmt het water op tot maximaal 100 °C (kookpunt). Het afvoeren van warmte kan op twee manieren plaatsvinden, namelijk via:

- natuurlijke stroming;
- geforceerde stroming.

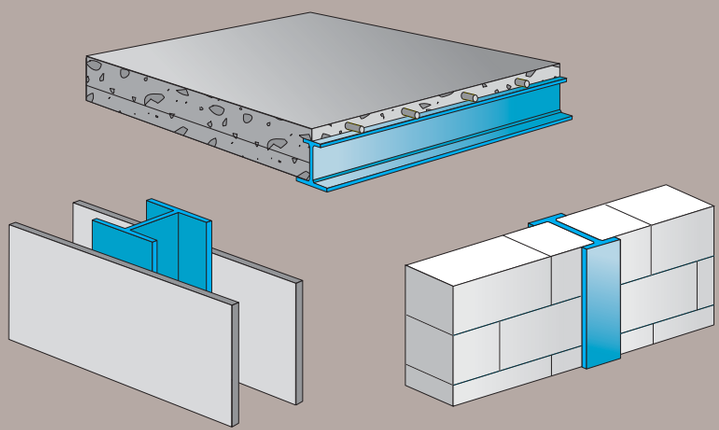
Bij een *natuurlijke stroming* wordt gebruik gemaakt van het natuurkundig principe dat warm water lichter is dan koud

6.10 Staalconstructie buiten het gebouw: bruggebouw over de Utrechtsebaan, Den Haag.



6.12 Staalprofiel gevuld met beton.

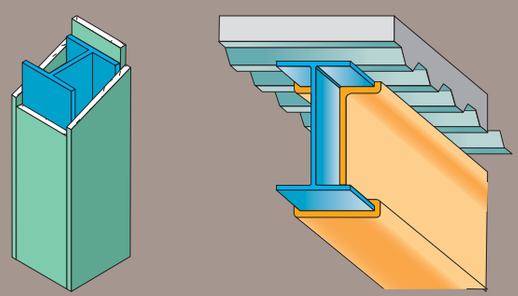
water en daardoor in de constructie naar boven stroomt. In het geval van een *geforceerde stroming* verzorgt een pompinstallatie de stroming. De temperatuur van de staalconstructie blijft in beide gevallen onder de 200 ˚C.
Voor de oplossing met een watergevulde staalconstructie is specifieke ervaring gewenst en in sommige gevallen is wellicht nader onderzoek nodig. Een goede samenwerking met de constructeur is noodzakelijk. Het systeem is vooral aantrekkelijk voor kolommen in relatief hoge gebouwen. Met deze oplossing is een brandwerendheid van 120 minuten te bereiken.



6.13 Staalconstructie geïntegreerd in de gevel, scheidingswand of vloer.

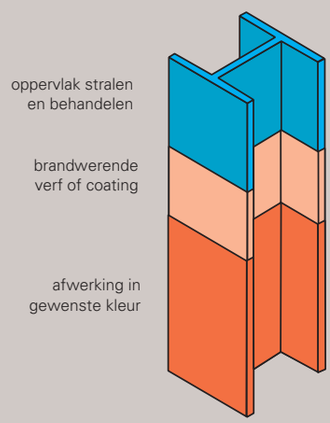
Vullen of omhullen met beton. Door stalen buizen te vullen met beton óf door stalen walsprofielen in beton te storten neemt de warmtecapaciteit van het constructiedeel sterk toe **(afb. 6.12)**. De opwarming van het staal wordt hierdoor dan ook sterk vertraagd. Een constructie waarbij een staalprofiel constructief samenwerkt met het beton heet een staal-beton constructie. Deze constructies hebben, naast goede brandwerende eigenschappen, ook als voordeel dat kolommen zeer slank kunnen zijn. Een brandwerendheid van 120 minuten is mogelijk. Over dit type oplossing is veel informatie beschikbaar.

Bouwkundig integreren. De ontwerper kan ervoor kiezen stalen kolommen geheel of gedeeltelijk op te nemen in de doorsnede van de gevel of van een scheidingswand. Dit geldt ook voor stabiliteitsconstructies. De vloerconstructie kan eveneens zo worden ontworpen dat de stalen vloerliggers in het vlak van de vloer vallen **(afb. 6.13)**. Voorbeelden van deze oplossing zijn beschreven in hoofdstuk 2 (Draagconstructie).
Bij een bouwkundig geïntegreerde staalconstructie zijn de kosten voor brandwerende voorzieningen relatief laag. De keuze voor deze oplossing heeft echter wel architectonische consequenties. Immers de staalconstructie zelf is niet zichtbaar, zodat de esthetische uitstraling ervan niet in het ontwerp kan worden ingezet. Een bouwkundig geïntegreerde staalconstructie kan een brandwerendheid van 120 minuten bereiken. In de vaklitteratuur is deze benadering uitvoerig beschreven.



6.14 Kokervormige en profielvolgende warmte-isolerende bekleding.

Warmte-isolerend bekleden. De opwarming van een staalconstructie kan sterk worden vertraagd door een isolerende bekleding. Deze bekleding kan worden aangebracht als een koker om het profiel heen (plaatmateriaal) of met een systeem dat het profiel volgt (spuitmateriaal) **(afb. 6.14)**.
Voor de oplossing met een isolerende bekleding is geen overleg met de constructeur noodzakelijk. De dikte van de bekleding kan met informatie van de leverancier worden bepaald. Dit leidt meestal niet tot de meest economische oplossing. Voor grote projecten is het inschakelen van een constructeur daarom wel zinvol. Met de informatie van de constructeur (met name de berekende kritieke staaltemperatuur) kunnen de productleveranciers de meest economische dikte van het materiaal opgeven. Wanneer informatie over de kritieke staaltemperatuur al in het bestek wordt opgenomen kan de uitvoerende partij de meest geschikte oplossing kiezen.
Met een warmte-isolerende bekleding kan een brandwerendheid van 120 minuten worden behaald. Informatie over deze



6.15 Brandwerende coating.

oplossing is in ruimte mate beschikbaar. Specifieke ervaring is niet vereist. Leveranciers van brandwerende materialen staan in de *Gids Staalbouw*[2].

Aanbrengen van een brandwerende coating. In feite is bij brandwerende coating ook sprake van een profielvolgende bekleding, maar dan aangebracht in de vorm van een speciale verf **(afb. 6.15)**. Deze verf schuimt op bij brand en zorgt zo voor een warmte-isolerende bekleding die de opwarming van de staalconstructie vertraagt. De brandwerendheid hangt sterk af van de toegepaste staalprofielen en van de laagdikte van de coating. Het is in elk geval aan te bevelen te kiezen voor profielen met relatief dikke flensen óf voor buizen met relatief dikke wanden.
Voor een brandwerendheid van 60 minuten volstaat bij compacte profielen een laagdikte van ongeveer 1 mm. Om een brandwerendheid van 90 minuten te bereiken is een aanzienlijk dikkere laag nodig. Wanneer de laag zo dun mogelijk moet zijn, is overleg met de constructeur raadzaam.
De kwaliteit van brandwerende coatings is de afgelopen jaren sterk verbeterd, zowel op technisch functioneel gebied als voor wat betreft het uiterlijk. De huid van een moderne brandwerende coating heeft niet meer het 'uiterlijk van een sinaasappel', zoals dat in het verleden wel het geval was. Tegenwoordig wordt de coating zowel fabrieksmatig als ‘in het werk’ goed en strak aangebracht. De grote gemeenten accepteren de toepassing van brandwerend coating, mits deze is aangebracht volgens de kwaliteitsrichtlijn van Bouwen met Staal[3]. De leveranciers hebben inmiddels op deze ontwikkeling geanticipeerd. Leveranciers van brandwerende materialen staan in de *Gids Staalbouw*[2].
Het is mogelijk een brandwerende coating af te werken met een verflaag (toplaag) in de gewenste kleur. In sommige gevallen – zoals buitentoepassingen en in vochtige ruimten – is een dergelijke toplaag op een brandwerende coating zelfs nodig.

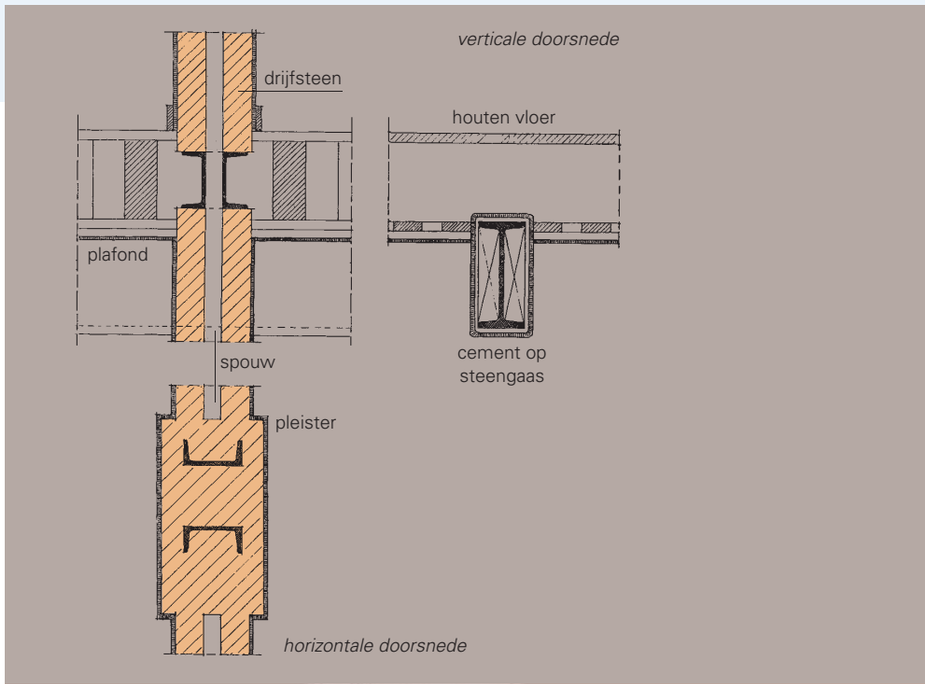
6.4 PROJECTEN EN GEKOZEN OPLOSSINGEN

In principe zijn alle hiervoor beschreven oplossingen mogelijk voor gebouwen met een staalskelet in de functiecategorieën die in het Bouwbesluit zijn omschreven. Om praktische redenen worden hier uitsluitend oplossingen beschreven die in Nederland per gebouwfunctie in de praktijk zijn toegepast. De projectvoorbeelden geven een overzicht van de ervaring die in ons land op dit gebied aanwezig is.

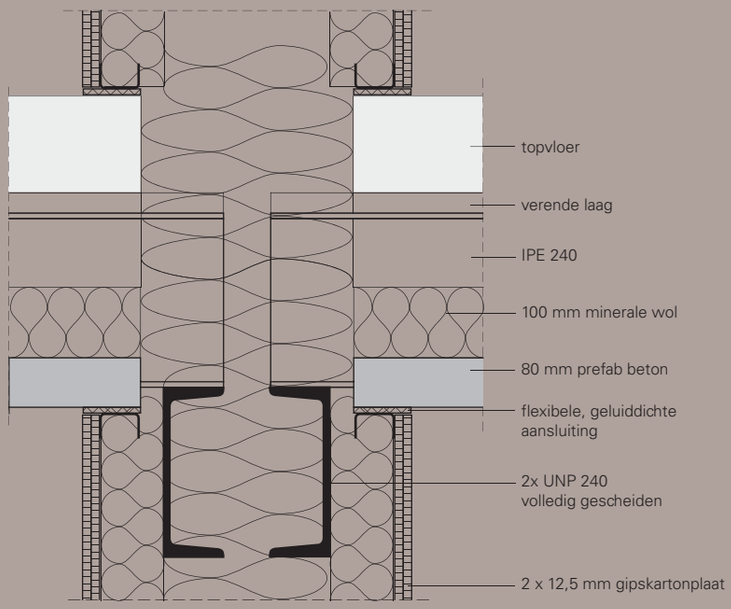
6.4.1 Woongebouwen

Bij de woongebouwen die vóór 1940 zijn gebouwd is de brandwerendheid voornamelijk met bouwkundige integratie opgelost. Het staal in deze gebouwen is daarom niet zichtbaar. Kolommen zijn in de gevel opgenomen of ommetseld met drijfsteen (een soort gasbeton). De stalen vloerliggers zijn tegen brand beschermd door plafonds op steengaas.

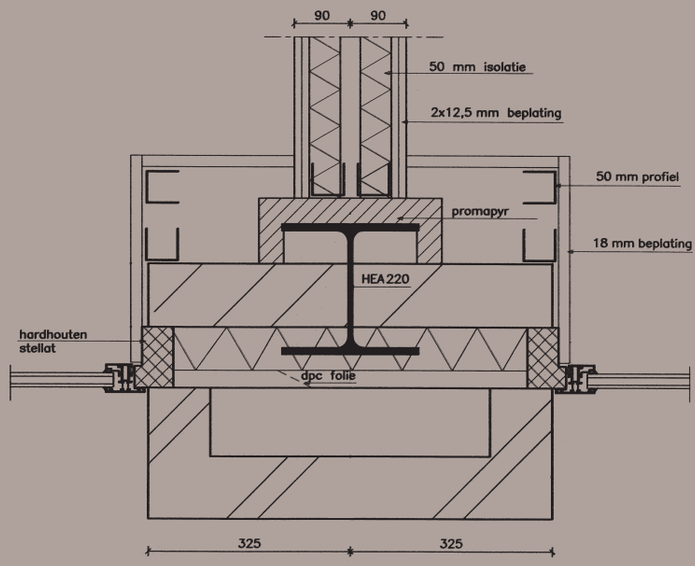
Bergpolderflat, Rotterdam. De Bergpolderflat (architect Van Tijen) uit 1933 is één van de eerste woongebouwen in Nederland met een staalskelet **(afb. 6.16)**. De vloeren zijn hier nog van hout. Deze flat is in 1991 geheel gerenoveerd. De inpandige kolommen, de gevelkolommen en de stabiliteitsverbanden zijn opgenomen in de afbouwconstructie, dus volgens het principe van bouwkundige integratie. De stalen vloerliggers zijn tegen brand beschermd door plafonds op steengaas. Bij een grootschalige renovatie in 1991 is het oorspronkelijk gekozen brandveiligheidsconcept gehandhaafd.



6.16 Bergpolderflat (voor renovatie), Rotterdam (1933).



6.17 Woongebouw La Fenêtre, Den Haag (oplevering medio 2005).



6.18 Hotel Krasnapolsky, Amsterdam (1995).

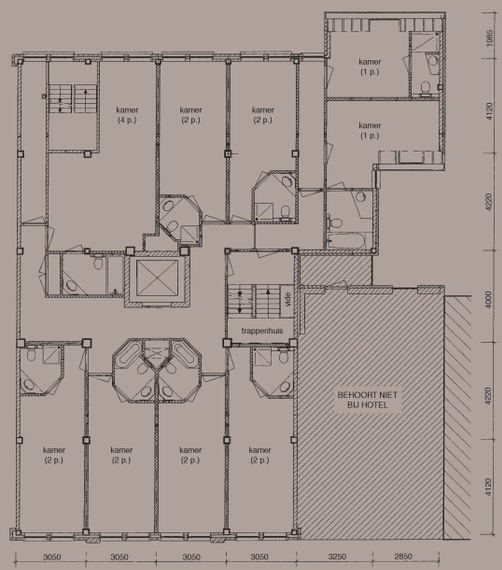
Woongebouw La Fenêtre, Den Haag. La Fenêtre is een 70 m hoog woongebouw aan de Grotiusplaats in Den Haag, waarvan de bouw begin 2004 is gestart **(afb. 6.17)**. Op 19 m hoge stalen kolommen verrijst een hoogbouw van zeventien verdiepingen voor honderdvijftien luxe koopappartementen. Door het casco van La Fenêtre op hoge poten te zetten krijgen fiets- en voetpaden ónder het gebouw de vrije doorgang. De hoofddraagconstructie bestaat uit stalen portalen met Infra+-vloeren. De brandwerendheid van de staalconstructie is verkregen door bouwkundige integratie: de portalen zijn opgenomen in de woningscheidende tussenwanden van een stijl- en regelwerk met gipskartonplaten en isolatie. De Infra+-vloer zelf heeft een voldoende brandwerendheid van 120 minuten, doordat de stalen vloerliggers gedeeltelijk zijn ingestort in de betonnen vloerplaat. De kolommen onder het gebouw staan in de buitenlucht en zijn daardoor uitgevoerd met een brandwerendheid van 30 minuten.

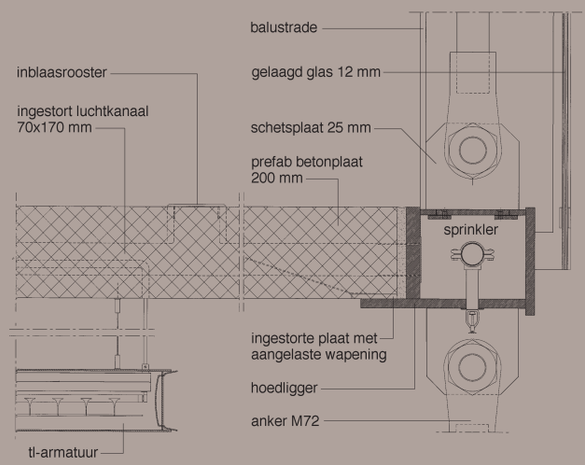
6.4.2 Logiesgebouwen

In de jaren negentig van de vorige eeuw zijn er in Amsterdam twee hotels gebouwd met een staalskelet. In beide gevallen is de staalconstructie niet zichtbaar aanwezig.

Hotel Krasnapolsky, Amsterdam. De Royal Wing is een uitbreiding uit 1995 van het hotelcomplex Krasnapolsky[4] en telt zeven bouwlagen **(afb. 6.18)**. Op basis van het toen geldende Bouwbesluit is een brandwerendheid geëist van 120 minuten. Voor de constructie is een staalskelet met massieve prefab betonvloeren toegepast. Stalen verbanden zorgen voor de stabiliteit. Omdat de staalconstructie bij dit project geen esthetische rol speelt, ligt de keuze voor een bouwkundige integratie voor de hand. De kolommen, vloerliggers en verbanden zijn opgenomen in de afbouwconstructie. De kosten voor het verhogen van de brandwerendheid bedroegen rond de vijf euro per vierkante meter bruto-vloeroppervlak.

Albus Grand Hotel, Amsterdam. De bovenste verdieping van het voormalige hotel De Compagnie[5], gebouwd in 1999, ligt hoger dan 13 m boven het aansluitende maaiveld **(afb. 6.19)**. Op basis van het Bouwbesluit gold een brandwerendheidseis van 120 min. De binnenspouwbladen in het hotel zijn houtskeletbouwelementen. De relatief hoge vuurbelasting van deze elementen verhindert de toepassing van een reductie van 30 minuten. De vereiste brandwerendheid is geheel met bouwkundige maatregelen bereikt. De constructie bestaat uit een staalskelet met geïntegreerde liggers en kanaalplaten. Dankzij de binnenspouwbladen in houtskeletbouw was het mogelijk de gevelkolommen grotendeels op te nemen in de gevel. De delen van de stalen kolommen die aan de binnenzijde uitsteken zijn met vezelversterkte gipskartonplaten afgewerkt. Hier-





6.19 Albus Grand Hotel, Amsterdam (1999).

6.20 Inholland Hogeschool, Rotterdam (2000).

mee is de verlangde brandwerendheid bereikt. De brandwerendheid van de geïntegreerde liggers is verhoogd door op de onderflens eenzelfde beplating van gipskarton aan te brengen. Deze beplating is strak afgewerkt. De bruto-verdiepinghoogte bleef hiermee beperkt tot zo'n 2,7 m. De netto-verdiepinghoogte bedraagt 2,47 m (**zie ook blz. 182-187**).

De stalen kolommen (vierkante buizen) zijn uitgevoerd als staalbeton kolommen. Het kenmerk van deze oplossing is dat de afmetingen minimaal zijn en toch voldoen aan de vereiste brandwerendheid. Om esthetische redenen zijn de kolommen ook afgewerkt met gipskartonplaat. De stalen verbanden zijn opgenomen in de scheidingswanden. Deze wanden hebben een beplating van vezelversterkte gipskarton, waardoor een brandwerendheid van 120 minuten ontstaat.

Dankzij de integratie van grote delen van de staalconstructie in de bouwkundige afwerking bleven de kosten om de staalconstructie brandwerend te maken beperkt tot ongeveer vijf euro per vierkante meter bruto-vloeroppervlak.

6.4.3 Onderwijsgebouwen

Twee voorbeelden van onderwijsgebouwen met een stalen draagconstructie zijn te vinden in Rotterdam. Vanwege de verschillende uitgangspunten geven deze gebouwen inzicht in de mogelijkheden om een staalconstructie te laten voldoen aan alle brandveiligheidseisen.

Inholland Hogeschool. Architect en opdrachtgever wilden een open schoolgebouw van negen bouwlagen[6] zonder hinderlijke compartimenteringswanden **(afb. 6.20)**. Deze eis was voor wat betreft de brandveiligheid uitsluitend haalbaar door het toepassen van een sprinklerinstallatie (**zie ook blz. 194-199**).

De keuze voor een staalskelet met geïntegreerde liggers en kanaalplaten was al bij de eerste ontwerpschetsen gemaakt. Wanden en schachten van beton verzorgen de stabiliteit. Vanwege de gewenste transparantie is in het gebouw ook een stalen stabiliteitsverband toegepast.

Het toenmalige Bouwbesluit eiste voor een dergelijk gebouw een brandwerendheid van 120 minuten. (Volgens het Bouwbesluit 2003 bedraagt deze eis nu 90 minuten.) Door de geringe permanente vuurbelasting – er zijn geen brandbare bouwmaterialen toegepast – was er een reductie van 30 minuten mogelijk. Door de aanwezigheid van de sprinklerinstallatie was een verdere reductie mogelijk van 60 minuten. Zo is de brandwerendheidseis teruggebracht naar 30 minuten.

Aan deze eis van 30 minuten is voldaan door de kokervormige kolommen te vullen met beton zonder wapening. De geïntegreerde stalen vloerliggers hebben zelf al een brandwerendheid van minimaal 30 minuten. De extra kosten die bij deze oplossing zijn besteed aan de brandwerendheid van de staalconstructie zijn te verwaarlozen.

6.21 Hogeschool voor Muziek en Dans, Rotterdam (2000).

Hogeschool voor Muziek en Dans. De Hogeschool voor Muziek en Dans[7], opgeleverd in 2000, biedt onderdak aan drie verschillende schoolorganisaties **(afb. 6.21)**. Het ontwerp gaf geen aanleiding voor het toepassen van een sprinklerinstallatie. Bij de afbouw is gebruik gemaakt van brandbare materialen, zoals hout. De vuurbelasting die hierdoor ontstaat maakte een reductie van de brandwerendheidseisen onmogelijk. Voor alle onderdelen van de hoofddraagconstructie gold daarom een eis van 120 minuten. Voor de draagconstructie is gekozen voor een staalskelet, de stabiliteit is verzorgd door kernen en wanden van beton. Aan de zijkant van het gebouw is een stalen verband toegepast dat buiten het gebouw staat. De staalprofielen zijn bekleed met steenwol en afgewerkt met een dunne stalen omkasting (**zie ook blz. 188-193**).
De verlangde brandwerendheid is bereikt door delen van de constructie uit te voeren als staal-beton constructie en andere delen te bekleden met steenwol en/of met gipskartonplaat.
De vrijstaande kolommen op de begane grond, aan de voorzijde, zijn staal-beton kolommen. Dankzij een slim ontwerp konden deze kolommen zeer slank blijven. De kolommen hebben een lengte van 12 m met een breedte van slechts 300 mm. Ook hier zijn staalprofielen bekleed met steenwol en afgewerkt met een stalen omkasting.

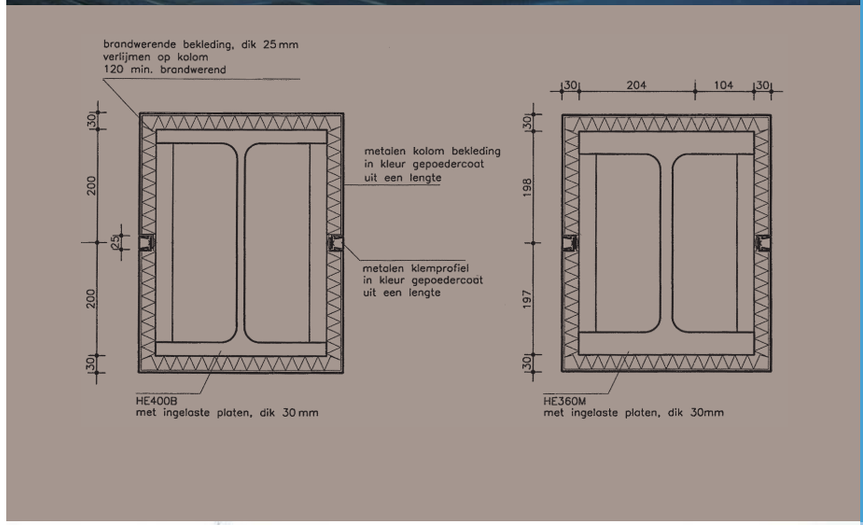
6.4.4 Gebouwen voor de gezondheidszorg

In de periode vóór 1970 werd de draagconstructie van ziekenhuizen regelmatig in staal uitgevoerd. Voor zover bekend gebeurde dat voor het laatst in 1968 bij het ziekenhuis in Gouda. Hierbij was de verlangde brandwerendheid 120 minuten. De kolommen zijn ommetseld met porisosteen. De in het werk gestorte betonnen vloeren rusten op stalen liggers. De liggers zijn kokervormig omkleed met ‘stuc op steengaas’. Onder de vloer is een plafond van stucwerk op steengaas aangebracht.

Zorgcentrum Op 't Hoogveld, Boxmeer-St Anthonis. In St. Anthonis bij Boxmeer staat het eerste Nederlandse verzorgingshuis met een staalskelet **(afb. 6.22)**. Het is een uitbreiding met tweeënzeventig plaatsen van zorgcomplex Op 't Hoogveld. De constructie bestaat uit geïntegreerde liggers met kanaalplaten. Op 't Hoogveld biedt onderdak aan senioren (alleenstaanden en echtparen), verzorgden en verpleegden. De zorgwoningen zijn op relatief eenvoudige wijze te veranderen in verpleegunits. In de toekomst kan het verzorgingshuis geleidelijk worden omgevormd tot appartementencomplex met drie- en vier-kamerwoningen.
De kolommen zijn buizen, gevuld met gewapend beton. Het was de bedoeling de onderflenzen van de geïntegreerde liggers van een brandwerende coating te voorzien. Echter tijdens de uitvoering bleek dat de onderflenzen niet waren gestraald, waardoor het aanbrengen van deze coating niet praktisch uitvoerbaar was. De onderflenzen van de liggers zijn daarom omtimmerd met een brandwerende beplating.

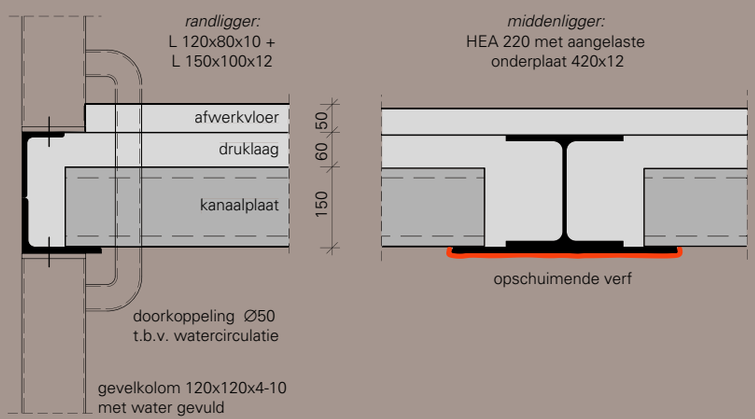
6.4.5 Kantoorgebouwen

Bij gebouwen met een kantoorfunctie zijn vrijwel alle oplossingen uit paragraaf 6.3 inmiddels in de praktijk toegepast. Er



6.22 Zorgcentrum Op ‘t Hoogveld, Boxmeer-St. Anthonis (2002).

6.23. Hoofdkantoor Unidek, Gemert (1995).



6.24 Bruggebouw Oost, Den Haag (2000).

zijn ook gebouwen waarbij een combinatie van oplossingen is toegepast.

Hoofdkantoor Unidek, Gemert. Unidek, een fabrikant van onder meer gevel- en dakpanelen, wenste een representatief kantoorgebouw met 7250 m^2 bruto-vloeroppervlak **(afb. 6.23).** Een groot deel van de constructie van dit nieuwe kantoor[8] uit 1995 heeft een staalskelet met geïntegreerde liggers met kanaalplaten en kokervormige kolommen. Vanwege de geringe permanente vuurbelasting werd een brandwerendheid verlangd van 90 minuten. Deze brandwerendheid is bereikt door de vloerliggers aan de onderzijde te voorzien van een brandwerende coating, de middenkolommen te vullen met gewapend beton en de gevelkolommen te vullen met water. Het kenmerk van de watergevulde gevelkolommen is dat ze bijzonder slank zijn. Ze konden daardoor visueel worden opgenomen in de gevel.
Het Unidek-kantoor is één van de eerste gebouwen in Nederland waar watergevulde kolommen zijn toegepast. Er is gekozen voor een systeem met watercirculatie op basis van natuurlijke stroming. Bij brand warmt het water in de kolommen op, waardoor dit water naar boven stroomt en wordt vervangen door 'koud' water uit een watertank op het dak. Dit koude water zorgt er voor dat de staalconstructie voldoende koel blijft. Een tweede gebouw in Nederland waar een watergevulde staalconstructie is toegepast is een brandweerkazerne in Breda[9].

Bruggebouw West en Oost, Den Haag. De beide bruggebouwen West[10] (1998) en Oost (2000) overspannen de Utrechtse Baan **(afb. 6.24)**. Deze weg valt onder de verantwoordelijkheid van de gemeente Den Haag. Daarom gelden slechts de gemeentelijke eisen en hoeven de gebouwen niet te voldoen aan de eisen voor de Wet Beheer Rijkswegen.
De hoofddraagconstructie moest nog voldoen aan de brandwerendheidseis van 120 minuten, omdat de bovenste verdiepingvloer hoger ligt dan 13 m boven het aansluitende maaiveld. (Volgens het Bouwbesluit 2003 bedraagt deze eis nu 90 minuten.) De vakwerken die de gebouwen dragen zijn onbeschermd en zijn 120 minuten brandwerend. Deze constructie bevindt zich namelijk buiten het gebouw én op enige afstand van de gevel, waardoor het staal bij brand aanzienlijk minder wordt verhit. De temperatuurverhoging in het staal blijft zo beperkt, waardoor het draagvermogen van de constructie veel minder snel afneemt dan wat doorgaans volgt uit een berekening volgens de standaardbrand. Met een computermodel is in dit project een volledige ontwikkelde brand in een representatief brandcompartiment nagebootst en het ‘natuurlijke’ verloop van de brand en de opwarming van het staal berekend[11]. Na 120 minuten bedroeg de staaltemperatuur maximaal 320 ˚C; ver onder de kritieke temperatuur van 550 ˚C. Hierdoor konden de vakwerkliggers én de massieve stalen kolommen in de kernen onbekleed blijven. Ook de verticale vakwerken buiten de kernen konden onbekleed blijven, onder meer doordat bij brand met een geringe windbelasting mag worden gerekend.

6.25 Zuidgebouw over de A10, Amsterdam (2004).

Bruggebouwen Bos en Lommer, Amsterdam. Over de westelijke randweg rond Amsterdam, over de A10, staan twee bruggebouwen naast een bestaand viaduct **(afb. 6.25)**. Het Noordgebouw[12] is in 2003 opgeleverd, het Zuidgebouw een jaar later. De A10 is een rijksweg. Dat betekende, in tegenstelling tot de bruggebouwen in Den Haag, dat er twee vergunningprocedures moesten worden doorlopen: de gewone bouwaanvraag én een WBR-vergunning (WBR= Wet Beheer Rijkswegen). Doordat het gebouw ook moest voldoen aan de eisen uit de WBR is er bij de uitwerking van de bruggebouwen niet alleen rekening gehouden met brand in het gebouw zelf, maar ook met een brand buiten het gebouw op de snelweg. Het uitgangspunt was dat deze twee brandbelastingen niet tegelijkertijd optreden.

Het toenmalige Bouwbesluit stelde als standaardeis voor gebouwen van deze hoogte een brandwerendheid van 120 minuten. (Volgens het Bouwbesluit 2003 bedraagt deze eis nu 90 minuten.) Vanwege de geringe permanente vuurbelasting is deze eis verlaagd naar 90 minuten. (Volgens het Bouwbesluit 2003 kan deze eis nu worden verlaagd naar 60 minuten.) Hieraan is voldaan met een brandwerende coating.

Een autobrand van buitenaf veroorzaakt volgens de inzichten van Rijkswaterstaat een kortere, maar wel veel heviger brand (met hogere temperaturen) dan de standaardbrand. Als bescherming tegen zo'n zogeheten koolwaterstofbrand (bijvoorbeeld door een brandende tankauto) is er zowel onder het bestaande viaduct als onder de kantoorgebouwen een betonnen plaat aangebracht. (Een alternatief in de vorm van een stalen plaat was ook mogelijk geweest.)

6.4.6 Industriegebouwen

In het kader van dit boek worden in deze categorie uitsluitend enkele bedrijfsverzamelgebouwen gepresenteerd.

Spaanse Kubus, Rotterdam. De Spaanse Kubus in Rotterdam is een gebouw van acht bouwlagen met een plattegrond van 80x78 m en een bruto-verdiepinghoogte van 3,6 m **(afb. 6.26)**. De draagconstructie is een staalskelet. Op uitdrukkelijk verzoek van de verzekeraar is bij het ontwerp van dit gebouw uitgegaan van de toepassing van sprinklers. Daarnaast staan op elke verdieping op enkele strategische plaatsen brandblusapparaten en zijn er voldoende brandkranen aangebracht. Aan de draagconstructie zijn daarom geen nadere eisen gesteld met betrekking tot de constructieve brandveiligheid.

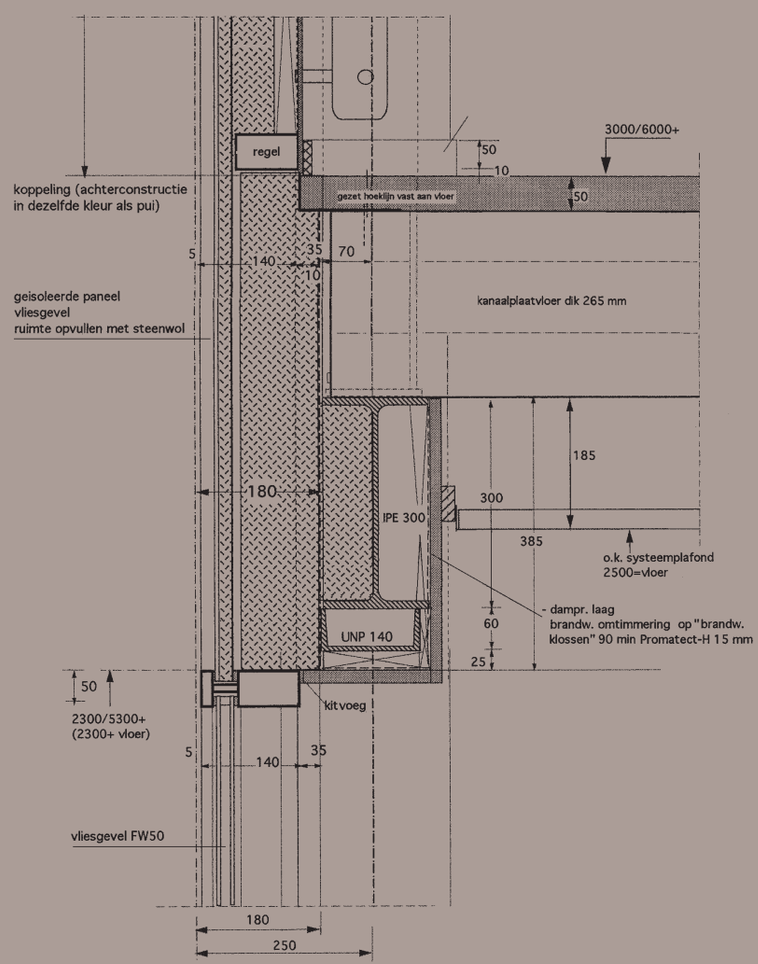
Reeuwijkse Poort, Reeuwijk. De Reeuwijkse Poort[13] is een bedrijfsverzamelgebouw van drie bouwlagen **(afb. 6.27)**. De draagconstructie bestaat uit een staalskelet met kanaalplaten. De vereiste constructieve brandveiligheid is 90 minuten. Aan deze eis is voldaan door de HE-kolommen en de IPE-liggers te omtimmeren met een plaatmateriaal. De onderflenzen van de geïntegreerde liggers kregen een bekleding van 12,5 mm brandwerend plaatmateriaal.

Literatuur

1. J.H. van der Veek, *Brandveiligheid: ontwerpen en toetsen*, uitgave SBR, Rotterdam 2003. Deze set bevat de volgende delen: A (Brandveiligheid en gebouwontwerp), B (Ontwerprichtlijnen woningen en woongebouwen), C (Ontwerprichtlijnen utiliteitsbouw) en D (Bouwdeel- en materiaalgedrag).
2. C.H. van Eldik (samenst.), *Gids Staalbouw 2003-2004*, Rotterdam 2003. De tweede, vernieuwde editie van deze gids verschijnt medio 2005.
3. A.F. Hamerlinck, *Applicatie brandwerende coating. Kwaliteitsrichtlijn*, uitgave Bouwen met Staal, Rotterdam 2003. Deze publicatie is gratis te downloaden via www.bouwenmetstaal.nl.

6.26 **Bedrijfsverzamelgebouw Spaanse Kubus, Rotterdam (1969).**

4. A. Bronsvoort, 'Prijs en prestatie leiden bij uitbreiding tot keuze voor staalconstructie', *Bouwen met Staal 122* (1995), p. 35-40. Artikel over de uitbreiding van hotel Krasnapolsky in Amsterdam.
5. K. Peterse, 'Compact staalskelet in een traditionele jas', *Bouwen met Staal 150* (1999), p. 40-45. Artikel over voormalig hotel De Compagnie in Amsterdam.
6. M. Lammers, W. Spangenberg en W.J. Houweling, 'Leren en werken in stoer havengebouw', *Bouwen met Staal 154* (2000), p. 14-20. Artikel over de InHolland Hogeschool in Rotterdam.
7. M. de Boer en G.L.H.M. Henkens, 'Virtuoze constructie in staal, beton en staal-beton', *Bouwen met Staal 158* (2001), p. 18-25. Artikel over de Hogeschool voor Muziek en Dans in Rotterdam.
8. J.H. van der Zanden en T.P. van der Zanden, 'Dubbele gangen en watergevulde buiskolommen maken nieuwbouw bijzonder', *Bouwen met Staal 123* (1995), p. 40-46. Artikel over het hoofdkantoor Unidek in Gemert.
9. J.A. Ketel en H.A. van Vliet, 'Waterkoeling maakt kantoorgebouw brandveilig', *Bouwen met Staal 148* (1999), p. 30-35. Artikel over de brandweerkazerne in Breda.
10. E. Hoekstra en R. Torsing, 'Ongelijkvloerse kruising', *Bouwen met Staal 140* (1998), p. 28-35. Artikel over bruggebouw West in Den Haag.
11. F.P.H. Jakobs, 'Nauwkeurige berekening maakt bekleding overbodig', *Bouwen met Staal 149* (1999), p. 52-56. Artikel over de brandveiligheid van de uitwendige staalconstructie van bruggebouw West in Den Haag.
12. K. Peterse, 'Brug = gebouw = verbinding', *Bouwen met Staal 172* (2003), p. 36-41. Artikel over de bruggebouwen Bos en Lommer in Amsterdam.
13. P. Jansen en L. de Vries, 'Slanke constructie biedt optimale flexibiliteit', *Bouwen met Staal 153* (2000), p. 14-19. Artikel over bedrijfsverzamelgebouw Reeuwijkse Poort in Reeuwijk.



6.27 **Bedrijfsverzamelgebouw Reeuwijkse Poort, Reeuwijk (2000): geïntegreerde randligger met een isolerende bekleding.**

7 CONSERVEREN

Eén van de natuurlijke eigenschappen van onbehandeld constructiestaal is dat het corrodeert onder invloed van vocht. Soms worden de roodbruine roestkleur en het ruwe oppervlak esthetisch gewaardeerd en bewust gebruikt in het ontwerp. Maar vaak is roestvorming ongewenst en wordt het staal geconserveerd.

Dit hoofdstuk geeft aan onder welke omstandigheden corrosie optreedt en welke maatregelen hiertegen kunnen worden genomen. Een overzicht van verfsoorten en hun eigenschappen geeft inzicht in de geschiktheid voor de gewenste toepassing. Thermisch verzinken als conserveringsmethode wordt daarna kort toegelicht.

Zonder vocht corrodeert een staalconstructie niet. Het klimaat waarin de constructie staat bepaalt of het nodig is het staal te beschermen tegen vocht. Om de klimatologische omstandigheden te kunnen aangeven, omschrijft zowel NEN-EN-ISO 12944-2[1] als NPR 7452[3] zes zogeheten corrosiebelastingscategorieën. Deze categorieën worden hier aangeduid als klimaatklasse **(tabel 7.1)**. Ze worden ook wel aangeduid als belastingklasse.
In (verdieping)gebouwen is het conserveren van de constructie meestal niet nodig, omdat de constructie niet in de buitenlucht staat. Hoofdstuk 4 (Detailleren) gaat nader in op de relatie tussen de detaillering van een staalconstructie en de klimaatklasse waaraan de constructie is blootgesteld.
Tijdens ruwbouw staat een staalconstructie vaak tijdelijk in de buitenlucht. Wanneer een niet-geconserveerde staalconstructie regelmatig in de regen staat, dan ontstaat roest. Voor de constructieve eigenschappen van de staalconstructie is dat geen bezwaar. Aflopende roestwater kan echter ongewenste sporen achterlaten op delen van de (afbouw)constructie die in het zicht blijven. Om dat te voorkomen worden bijvoorbeeld uitsluitend de constructiedelen in de gevelzone geconserveerd met een primer. De (niet-geconserveerde) vloerliggers worden door de vloer afgeschermd en blijven dus droog.
Voor staalconstructies in gebouwen is klimaatklasse C1 of C2 van toepassing. De paragraaf over verf en verfsystemen gaat van deze situatie uit.

Staal kan worden geconserveerd door het aanbrengen van:
- een metallische deklaag, meestal in de vorm van zink;
- een verfsysteem (of coating);
- een combinatie van beide (duplex-systeem).

Zink wordt vooral toegepast bij constructies die worden blootgesteld aan agressieve klimatologische omstandigheden, vergelijkbaar met klimaatklasse C3 of agressiever. Een staalconstructie in een verdiepinggebouw wordt vanwege de gewenste levensduur daarom zelden of nooit verzinkt, maar uitsluitend geschilderd. Er kunnen echter wel esthetische eisen zijn om de staalconstructie of delen daarvan te verzinken.

7.1 Indeling van (corrosie)klimaatklassen en voorbeelden van typische milieus (NEN-EN-ISO 12944-2[1]). De vermelde corrosiesnelheid is een indicatie, afhankelijk van het milieu en van een binnen- of buitentoepassing.

klimaat-klasse	agressiviteit	corrosie-snelheid (mm/jaar)	omstandigheden binnen	omstandigheden buiten
C1	zeer laag	0,005-0,03	verwarmde gebouwen met schone atmosfeer: kantoren, winkels, scholen, hotels	_
C2	laag	0,03-0,08	onverwarmde gebouwen waar condensatie kan optreden: fabriekshallen, sporthallen werkplaatsen, kelders,	atmosfeer met een laag vervuilingsniveau; meestal landelijke omgeving
C3	matig	0,08-0,12	productiehallen met een hoge luchtvochtigheid en enige luchtvervuiling: voedsel- en zuivelverwerkende fabrieken, wasserijen, brouwerijen	stedelijke en industriële omgeving met matige vervuiling door zwaveldioxide; kustgebieden met een laag zoutgehalte in de lucht
C4	hoog	0,12-0,15	chemische fabrieken, zwembaden	industriële omgeving en kustgebieden met een matig zoutgehalte in de lucht
C5-M (maritiem/zee)	zeer hoog	0,12-0,15	gebouwen met een bijna permanente condensatie en hoge vervuiling	kustgebieden en gebieden buitengaats met een hoog zoutgehalte in de lucht
C5-I (industrie	zeer hoog	0,15-0,20	gebouwen met een bijna permanente condensatie en hoge vervuiling	industriële omgeving met een hoge luchtvochtigheid en een agressieve atmosfeer

7.1 VERF EN VERFSYSTEMEN

Er zijn verschillende internationale normen over het conserveren van staalconstructies. De belangrijkste is NEN-EN-ISO 12944[1,2]. Deze norm bestaat uit acht delen en behandelt onder meer de volgende onderwerpen:

- klimaatklassen;
- ontwerpaspecten;
- voorbehandeling van het oppervlak;
- testmethoden;
- uitvoering en toezicht van de werkzaamheden;
- omschrijving van uit te voeren werkzaamheden (besteksteksten).

Als aanvulling op de informatie uit de NEN-EN-ISO-norm beschrijft deze paragraaf wat verf is, welke verfsoorten voor staal verkrijgbaar zijn en op welke manier verf moet worden aangebracht. Als laatste wordt antwoord gegeven op de vraag 'Wanneer moet een staalconstructie worden geverfd?'

7.1.1 Wat is verf

Verf is een vloeibaar, pasteus of poedervormig product dat in dunne lagen op een voorwerp wordt aangebracht. Na droging ontstaat een vaste laag. In het algemeen is verf samengesteld uit vijf componenten:

- pigmenten;
- vulstoffen;
- bindmiddelen;
- hulpstoffen;
- oplos- en verdunningsmiddelen.

De eigenschappen van een verfsysteem worden bepaald door de keuze van de componenten en hun onderlinge verhouding, ofwel de 'verfformule'.

Pigmenten Pigmenten zijn poedervormige stoffen die zorgen voor de gewenste kleur **(afb. 7.2)** en het dekkend vermogen. Ook de duurzaamheid van de verf komt voor een belangrijk deel voor rekening van de pigmenten, omdat ze de schadelijke korte ultraviolette (uv) straling (lichtgolven) omzetten in de minder schadelijke lange uv-straling. Korte uv-straling breekt het bindmiddel in de verffilm af: de chemische verbindingen in het bindmiddel worden dan verbroken, waardoor het bovenste laagje poreus wordt. Uiteindelijk kan het bindmiddel geen vulstoffen en pigmenten meer vasthouden; de verf gaat dan verweren.
De chemische structuur van pigmenten wordt ingedeeld in anorganische en organische pigmenten. Anorganische pigmenten worden gewonnen uit metaalhoudende basisgrondstoffen. De anorganische pigmenten hebben een betere dekking dan organische pigmenten.

Vulstoffen Door meer of minder vulstoffen toe te voegen, krijgt de verf bepaalde eigenschappen of kwaliteiten, zoals: watervastheid, een grotere laagdikte of een betere vulling. De verflaag krijgt meer 'body', waardoor bijvoorbeeld de dekkracht of de weerstand tegen mechanische belasting verbetert. Zo bestaat er een type verf met kwarts als vulmiddel en een laagdikte van enkele millimeters. Hierdoor ontstaat een uitzonderlijk hoge slag- en stootvastheid.

Bindmiddelen Bindmiddelen zijn harsachtige substanties. Omdat het bindmiddel in hoge mate de eigenschappen van een verfproduct en de kwaliteiten van de verflaag bepaalt, worden veel verven aangeduid met de naam van het toegepaste bindmiddel: alkydverf, epoxyverf, polyurethaanverf en acrylaatverf. Deze niet-vluchtige (niet-verdampende) bestanddelen zorgen er voor (samen met de poedervormige pigmenten en de vulstoffen) dat er een laag wordt gevormd die bovendien goed hecht aan de ondergrond.
De glans van een verflaag is afkomstig van het bindmiddel, maar wordt ook door de hoeveelheid pigmenten en vulstoffen bepaald. Bindmiddel en pigment moeten daarom in de juiste hoeveelheden worden gemengd en verdeeld (gedispergeerd). Het bindmiddel geeft de verflaag de gewenste hardheid en maakt deze bestand tegen weersinvloeden, schoonmaakmiddelen en eventueel chemicaliën. Tenslotte geeft het bindmiddel de verflaag een zekere elasticiteit, zodat deze vervormingen van de ondergrond kan opnemen.
Aantasting van de verflaag door weersinvloeden heeft vooral betrekking op de bindmiddelen. De uv-stralen in het zonlicht breken de bindmiddelen af, met als gevolg 'afpoederen' of 'verkrijten' van de verflaag. De pigmenten komen dan aan het oppervlak te liggen, waardoor meer lichtverstrooiing ontstaat en de verffilm een matter uiterlijk krijgt.
Het type bindmiddel bepaalt de manier waarop de verf droogt. Zo zijn drie groepen te onderscheiden: fysisch, semi-fysisch en chemisch drogende verven.

- Bij *fysisch drogende verven*, zoals polyvinylharsverven, komt de droging tot stand door verdamping van het oplosmiddel. Een eenmaal gedroogde laag kan gemakkelijk weer worden opgelost met het eigen oplosmiddel.
- *Semi-fysische droging* is kenmerkend voor watergedragen acrylaatdispersieverven. Bij dispersies zijn de bindmiddeldeeltjes fijn verdeeld in water. Na het aanbrengen van de verflaag verdampt dit water, waardoor de dispersiebolletjes tegen elkaar komen te liggen en samenklonteren. De zo gevormde laag is niet meer in water oplosbaar.
- Bij *chemische droging* vindt een chemische reactie plaats. Er treedt polymerisatie op: korte moleculen worden macromoleculen. Dat kan op verschillende manieren, bijvoorbeeld met zuurstof uit de lucht (alkydharsverven), door verwarming (moffellakken), met een verharder (tweecomponentenproducten) of door straling (industrielakken). Afhankelijk van het type lak kan dat uv-straling of infrarood-straling zijn.

Hulpstoffen Hulpstoffen worden in geringe hoeveelheden toegevoegd om de verf bepaalde eigenschappen te geven of eigenschappen te verbeteren. Zo bevorderen zogeheten siccatieven de droging, verbeteren vloeimiddelen het vloeigedrag, en maken weekmakers de verflaag meer elastisch.

7.2 Pigmenten zorgen voor de gewenste kleur en het dekkend vermogen. Ze leveren ook een belangrijke bijdrage aan de duurzaamheid van de verf.

Oplos- en verdunningsmiddelen Oplos- en verdunningsmiddelen zijn 'transportmiddelen', die worden toegevoegd om de verf verwerkbaar te maken. Ze hebben echter geen effect op de eigenschappen van de uiteindelijke verflaag. Na het aanbrengen verdampen deze stoffen in de lucht.
Om tegemoet te komen aan de steeds strengere milieudoelstelling van de Nederlandse overheid worden verfformules en applicatiemethoden voortdurend aangepast. Om de emissie van organische oplosmiddelen te verminderen, heeft de verfindustrie watergedragen verven, high-solid en solvent-free verfsystemen ontwikkeld. Ook andere schadelijke stoffen voor mens en milieu (zoals lood- en chroomverbindingen, asbest en koolteer) komen in de moderne verfformules niet meer voor.
De levensduur van verf is belangrijk voor het milieu. Immers des te langer verf meegaat, des te minder is ervan nodig. De afgelopen jaren is in dit opzicht een enorme vooruitgang geboekt. De nieuwe verven hebben een hogere resistentie tegen vocht en uv-straling en zijn beter bestand tegen thermische, mechanische, chemische en biologische invloeden.

7.1.2 Verfsoorten

Voor de bescherming van (constructie)staal kan een keuze worden gemaakt uit diverse verfsoorten. Meestal spreekt men van een 'verfsysteem': een combinatie van op elkaar afgestemde verflagen. Globaal zijn de volgende typen te onderscheiden:

- alkydharsverven;
- tweecomponentenverven;
- polyurethaanlakken;
- watergedragen verven;
- poedercoatings.

Alkydharsverven Alkydharsverven bevatten een bindmiddel dat bestaat uit een kunsthars en olie. Dit bindmiddel wordt toegepast in veel grondverven, zijdeglansverven en in hoogglansverven. Alkydharsverven zijn geschikt voor een normaal, niet door industriële activiteiten verontreinigd milieu.
De traditionele alkydharsverven bevatten gemiddeld 50% vaste stof (bestaande uit pigment, vulmiddel en bindmiddel) en dus 50% organisch oplosmiddel. Minder milieubelastend zijn de high-solid alkydharsverven, die zo'n 80% vaste stof bevatten en dus evenredig minder oplosmiddel. De eigenschappen van deze high-solids komen grotendeels overeen met die van de traditionele alkydharsverven, maar kunnen in grotere laagdikten worden aangebracht.

Tweecomponentenverven Bij tweecomponentenverven (of epoxyverven) wordt het bindmiddel gevormd door een chemische reactie tussen twee componenten. Bij epoxyverven zijn dat epoxyharsen en verharders. Ook dit type verven wordt tegenwoordig minder milieubelastend geproduceerd. Bij high-solid systemen is dat bereikt met een hoger percentage vaste stof en dus minder oplosmiddel. Deze verven bieden een goede bescherming tegen agressieve chemicaliën in de atmosfeer.

Helemaal oplosmiddelvrij zijn de solvent-free epoxyverven; deze bestaan dus volledig uit vaste stof. Deze verven drogen door een chemische reactie. Dit type verf is zeer sterk, duurzaam en bij uitstek geschikt voor toepassingen in zware omstandigheden.
Sommige epoxyverven bieden ook onder water een optimale bescherming voor stalen constructies.

Polyurethaanlakken Evenals epoxy-verven onderscheiden polyurethaanlakken zich door zeer goede mechanische eigenschappen, zoals hardheid, krasvastheid en slijtvastheid. Polyurethaanlakken zijn echter minder goed bestand tegen chemicaliën. Vanwege de slechte bestandheid van epoxyverven tegen uv-straling – met als gevolg het 'verkrijten' van de verflaag – wordt meestal voor een verfsysteem gekozen waarin epoxyverf als ondergrond dient met een polyurethaanlak als afwerklaag. Polyurethaanlakken zijn kleur- en glansvast.

Watergedragen verven De afgelopen jaren hebben watergedragen verven een snelle ontwikkeling doorgemaakt vanwege de aanzienlijk lagere emissie van vluchtige organische stoffen. Het bindmiddel bestaat uit een acrylaatdispersie: een verdeling van polymeerbolletjes in een medium dat overwegend bestaat uit water (dus niet in water opgelost). Daardoor is water als verfverdunner en transportmiddel te gebruiken. De snelle droging van acrylaatdispersieverven maakt het mogelijk op één dag meerdere lagen aan te brengen. De blijvende elasticiteit van acrylaten zorgt bovendien voor een grote duurzaamheid in de buitenlucht en daarmee voor een lange levensduur.
Voor de bescherming van staal zijn er specifieke watergedragen acrylaatverven ontwikkeld. Het toepassingsgebied is hetzelfde als voor alkydharsverven: een normaal, niet-chemisch verontreinigd milieu. Waterverdunbare bindmiddelen op basis van alkydhars, epoxy en polyurethaan zijn eveneens mogelijk, maar bevinden zich nog grotendeels in de ontwikkelingsfase.

Poedercoatings Poedercoatings bevatten geen oplosmiddel en worden vooral gebruikt voor industriële toepassing op metalen voorwerpen. Maar ook stalen constructiedelen kunnen goed worden gepoedercoated[4]. Poedercoatings hebben een hoge weerstand tegen corrosie, een goede stoot-, slag- en slijtvastheid en een goede bestandheid tegen atmosferische en chemische invloeden. Het poeder wordt via elektrostatisch spuiten op het stalen werkstuk aangebracht **(afb. 7.3)** en vervolgens verhit in een oven, waardoor een vaste, hechte laag ontstaat.

7.3. Bij poedercoaten wordt het poeder via elektrostatisch spuiten op het stalen werkstuk aangebracht en vervolgens verhit in een oven zo ontstaat een vaste, hechte laag.

7.1.3 Ondergrond

De beschermende functie van verf berust op het feit dat het de stalen ondergrond afsluit voor de invloed van stoffen die het corrosieproces bevorderen zoals water, zuurstof en chemicaliën. De ene verfsoort is daar beter toe in staat dan de andere. Zo sluit een epoxyverf over het algemeen beter af dan een alkydharsverf. De porositeit van een verfsysteem hangt echter niet uitsluitend af van de soort verf, maar vooral ook van de laagdikte en van het aantal aangebrachte lagen. Hoe groter het aantal verflagen, des te dichter de verffilm en hoe groter de laagdikte van de verffilm, des te beter de afsluiting. Omdat een totale afsluiting meestal niet mogelijk is, wordt in de eerste laag van een verfsysteem vaak een actieve corrosiewering als zekerheid ingebouwd. Een roestwerend pigment kan in zo'n geval het ontstaan van roest, ondanks de aanwezigheid van zuurstof en vocht, remmen of zelfs verhinderen. Zinkrijke primers werken als kathodische bescherming: de zinkdeeltjes offeren zich op ten gunste van het onderliggende staal. Het grote voordeel van zink is dat het staal bij kleine beschadigingen in het verfsysteem toch beschermd blijft tegen roestvorming.
Tegenwoordig wordt de basis van een verfsysteem – de roestwering en de vullende laag of 'build coat' – al in de werkplaats aangebracht. Het meest kritische deel van het verfsysteem kan dan onder optimale omstandigheden worden aangebracht. Zelfs is het mogelijk om het verfsysteem in zijn geheel in de werkplaats aan te brengen, maar beschadigingen die de verflaag oploopt tijdens transport en montage moeten dan op de bouwplaats worden bijgewerkt. Omdat zichtbare reparaties meestal esthetisch niet acceptabel zijn, wordt de eindlaag meestal toch nog op de bouwplaats aangebracht.
De volgende aspecten worden hier kort besproken:

- voorbehandeling;
- staalklasse;
- reinheid en ruwheid;
- stralen.

Voorbehandeling De kwaliteit van een verfsysteem bepaalt maar voor een deel de uiteindelijke kwaliteit van de conservering. Verf is een halffabrikaat; ook de voorbehandeling, de applicatie-omstandigheden en de gekozen applicatietechniek beïnvloeden de conserveringskwaliteit.
Wanneer een verfsysteem na aanbrengen niet voldoet is dat meestal toe te schrijven aan een onjuiste of onoordeelkundig

uitgevoerde voorbehandeling van het staaloppervlak. Resten vuil, stof, olie, vet, ondeugdelijke verflagen, roest en de walshuid hebben namelijk een negatief effect op het gedrag van het verfsysteem. Voor een optimale hechting van de verf moet de ondergrond altijd een zekere reinheid en ruwheid hebben.
Welke voorbehandeling in een specifiek geval nodig is, hangt onder meer af van de omstandigheden waaraan het verfsysteem wordt blootgesteld (in een droge of in een natte omgeving), de omvang van het werk, de milieu-eisen, de bereikbaarheid, de kosten van het toe te passen verfsysteem én van de eisen die het gekozen systeem stelt aan de reinheid en de ruwheid.

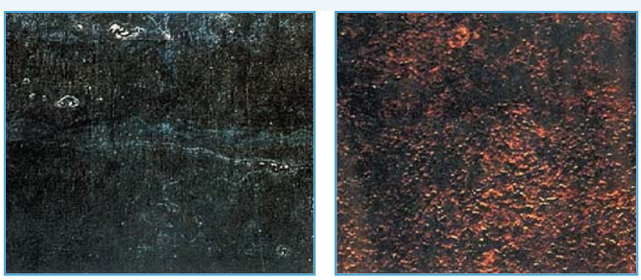
Staalklasse Nieuw constructiestaal, dat rechtstreeks uit de walserij komt, heeft altijd een walshuid. Wanneer staal met een walshuid buiten óf in een vochtige omgeving wordt opgeslagen vormt zich al snel roest vanuit krimpscheuren in de walshuid. In de eerste fase van dit aanroesten verschijnt op het nog 'blauwe' staal een netwerk van bruine roestplekken. Bij een langdurig corrosieproces wordt tenslotte het onderliggende staal kratervormig aangetast en laat de walshuid los. Resten van de walshuid op een staaloppervlak werken corrosiebevorderend. De walshuid en eventuele roest moet daarom grondig worden verwijderd, voordat het staal wordt geconserveerd.
NEN-EN-ISO 8501-1[5] onderscheidt vier verschillende roestgradaties (staalklassen):
• klasse A: staal uitsluitend bedekt met walshuid;
• klasse B: staal waarop walshuid en roest naast elkaar voorkomen;
• klasse C: staal waarvan de walshuid volledig in roest is omgezet maar dat nog niet putvormig is aangetast;
• klasse D: staal waarvan de walshuid door roesten heeft losgelaten en dat putvormig is aangetast.

Kwalitatief zijn de staalklassen A en B gelijkwaardig (even goed). Klasse C is kwalitatief wat minder, omdat de roest de gelegenheid heeft gehad om verontreinigingen uit de atmosfeer op te nemen. Klasse D heeft niet meer de kwaliteit van nieuw constructiestaal en kan beter als gebruikt staal worden beschouwd. Bij nieuwe constructies wordt aanbevolen staal klasse A of B voor te schrijven **(afb. 7.4)**.

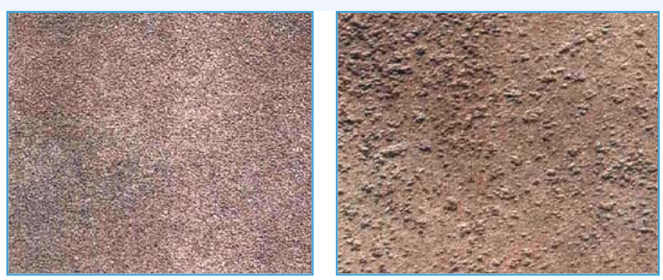
Reinheid en ruwheid De reinheid en ruwheid van een oppervlak zijn meetbare grootheden.

NEN-EN-ISO 8501-1[5] onderscheidt verschillende reinheidsgraden, die zowel de reinigingsmethode als de mate van reinheid aangeven. De reinigingsmethode wordt met twee letters aangeduid:
St met de hand of machinaal reinigen (handontroesten);
Sa reinigen door middel van stralen;
Fl vlamreinigen;
Be beitsen.

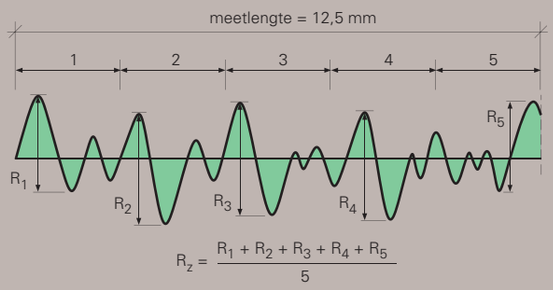
De mate van reinheid wordt aangegeven met een cijfer variërend tussen 1 (laagste) en 3 (hoogste kwaliteit). Het vaststellen van de reinheidsgraad vindt plaats aan de hand van foto's en de bijbehorende tekst in NEN-EN-ISO 8501-1[5]. Voor nieuwe constructies wordt vrijwel altijd reinheidsgraad Sa 2,5 voorgeschreven: "Het staal zeer grondig reinigen door stralen. Het oppervlak dient vrij te zijn van zichtbare olie, vet en vuil, alsmede van walshuid, roest, verflagen en vreemde materialen. Eventueel nog aanwezige sporen van verontreinigingen mogen slechts als lichte verkleuringen in de vorm van vlekken of strepen zichtbaar zijn."
In uitzonderlijke situaties wanneer er na de montage niet meer mag worden gestraald, bijvoorbeeld bij het reinigen van montagelassen, kan worden volstaan met kwaliteit St 2: "Het zorgvuldig verwijderen van loszittende walshuid, roest en vreemde bestanddelen met behulp van staalborstels, schuren, enz. Het oppervlak moet dan een zwakke metaalglans vertonen." **Afbeelding 7.5** toont de kwaliteit B Sa 2,5 (staalklasse B gestraald tot reinheidsgraad Sa 2,5) en de kwaliteit D Sa 2,5 (staalklasse D gestraald tot reinheidsgraad Sa 2,5).
De ruwheid wordt meestal uitgedrukt in de waarden R_a en R_z. De R_z-waarde geeft een indruk van de gemiddelde grootte van de ruwheid **(afb. 7.6)**. De R_a-waarde geeft aanvullende informatie over de vorm van de ruwheid. Deze waarde ligt doorgaans tussen $R_a = 5$ en $R_a = 20$ (in µm; waarbij 1 µm = 10^{-6} m). Het straalwerk is goed uitgevoerd indien $R_z = 4\text{-}5\ R_a$.
De ruwheid wordt tegenwoordig elektronisch gemeten via een diamantnaaldje dat het oppervlak aftast.
Wanneer een oppervlak moet worden geverfd mag de ruwheid van het oppervlak niet te groot zijn. Niet alleen neemt het verfverbruik toe omdat alle dalen moeten worden gevuld, belangrijker is nog dat de pieken niet boven de verflaag mogen uitsteken, omdat daardoor het zogeheten 'pin-point rusting' ontstaat. Om deze reden geldt in het algemeen dat de R_z-waarde nooit hoger mag zijn dan eenderde van de totale laagdikte van het verfsysteem.



7.4 Staalklasse A (links) en staalklasse B (rechts).



7.5 Reinheidsgraad B Sa 2,5 (links) en D Sa 2,5 (rechts).



7.6 Om de ruwheidswaarde R_z te bepalen wordt een stukje van 12,5 mm van het oppervlak bekeken. Dat wordt verdeeld in vijf gelijke stukken. Van elk stukje wordt de afstand tussen de hoogste piek en het diepste dal gemeten. De waarde van R_z is het gemiddelde van deze vijf afstanden. Om de R_a-waarde te bepalen worden alle gearceerde oppervlakken bij elkaar geteld en gedeeld door de meetlengte van 12,5 mm.

7.7 Het (ver)kwasten van verf is een eenvoudige en effectieve wijze om verf aan te brengen.

Stralen De meest gebruikte en vaak ook meest effectieve voorbehandelingsmethode is stralen. Het oppervlak krijgt daardoor een voldoende ruwheid, afhankelijk van de aard van het gebruikte straalmiddel. Hierbij spelen de hardheid en de korrelgrootte een rol, maar ook de hoek waaronder het straalmiddel het oppervlak treft.
Persluchtstralen is de meest bekende straaltechniek, maar hierbij wordt relatief veel afval geproduceerd in de vorm van roest, verfresten en straalmiddel. Het afval bestaat grotendeels uit straalmiddel. Daarom zijn andere straaltechnieken ontwikkeld, die een effectiever gebruik maken van het straalmiddel en tevens de hoeveelheid straalstof beperken, zoals vacuümstralen en CO_2-stralen. Ook is het mogelijk met water onder hoge druk (80-250·10^6 Pa = 800-2500 bar) te stralen en daarbij slechts weinig straalmiddel te gebruiken.

7.1.4 Applicatiemethoden

Even belangrijk voor de uiteindelijke kwaliteit van de conservering is het aanbrengen van verf en de omstandigheden waaronder dat gebeurt. Die omstandigheden worden op hun beurt bepaald door de bereikbaarheid van het te behandelen object en de omgevingscondities. Wordt er bijvoorbeeld geconserveerd onder slechte weersomstandigheden – zoals regen, mist of vorst – dan bestaat het risico van vochtinsluiting of het niet voldoende uitharden van de verffilm.
Bij het aanbrengen van verf is een onderscheid te maken tussen industriële en handmatige applicatie. In de industrie wordt gewerkt onder geconditioneerde omstandigheden, terwijl de schilder meestal op locatie werkt. Aanbevolen wordt om zoveel mogelijk werkzaamheden in de werkplaats uit te voeren, waar de omgevingstemperatuur en de relatieve luchtvochtigheid goed beheersbaar zijn en waar optimaal rekening is te houden met milieu-eisen en arbeidsomstandigheden.

De applicatiemethoden voor staalconstructies zijn te onderscheiden in:
- kwasten en rollen;
- spuiten.

Kwasten en rollen Het (ver)kwasten of verstrijken van verf is een eenvoudige en effectieve wijze om verf aan te brengen. Vooral bij het verwerken van primers (grondlaag) is het grote voordeel dat een goede 'benatting' van het oppervlak wordt verkregen. Dat betekent dat de haren van de kwast de verf goed in de dalen van het ruwheidsprofiel drukken. Soms is schilderen zelfs de enige mogelijkheid, bijvoorbeeld bij onderhoud. Met een kwast zijn praktisch alle plaatsen goed bereikbaar **(afb. 7.7)**, met name bij profielen en uitsparingen.
Kwasten is vrijwel overal uit te voeren en heeft een hoog rendement van ongeveer 95% (dus weinig verfverlies). Een nadeel is de arbeidsintensiviteit.
Met een verfroller kan aanzienlijk sneller worden gewerkt. Een verfroller leent zich met name voor grote, vlakke oppervlakken die niet de gladheid van spuitwerk vereisen.

Spuiten Met de verfspuit kan op voorwerpen van de meest uiteenlopende vorm en grootte een verflaag worden aangebracht **(afb. 7.8)**. De vernevelde verfdeeltjes treffen het oppervlak en vloeien daar samen tot één gladde, gesloten film. Het spuiten levert een gladder en egaler oppervlak op dan met kwasten of rollen mogelijk is. De bereikbare laagdikte is relatief hoog (afhankelijk van de verfsoort). Nadelen zijn er ook: spuiten is niet eenvoudig uit te voeren, de viscositeit (vloeibaarheid) van de verf moet vrij laag zijn en het spuitverlies kan, afhankelijk van de vorm van het object, hoog zijn.
Bij het spuiten van verf zijn drie basistechnieken te onderscheiden:

7.8 Het spuiten van een staalconstructie gebeurd doorgaans in de fabriek.

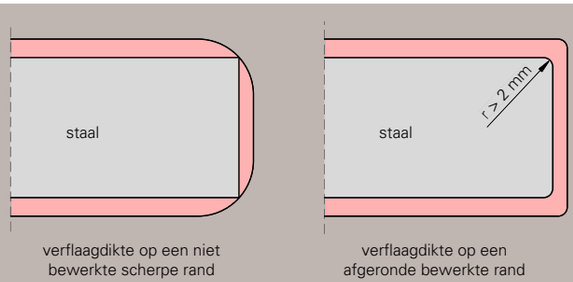
7.9 Het staalskelet van de Breitner-toren in Amsterdam heeft een blauwe verflaag.

- pneumatisch spuiten (luchtspuiten);
- (hot) airless spuiten;
- airmix spuiten.

Voor al deze technieken geldt dat er spuitverlies optreedt. Dit wordt veroorzaakt door spuiten naast het object (overspray), maar ook wordt een deel van de verf teruggekaatst, vooral bij hoeken. Afhankelijk van de spuitmethode en de vorm van het object varieert het spuitverlies tussen 10% en 80%.
Het rendement van de verf is bij spuiten dus aanmerkelijk lager dan bij kwasten of rollen. Een ander nadeel van het spuiten is de lage viscositeit van de verf bij het aanbrengen. Door extra verdunningsmiddel aan de verf toe te voegen wordt de viscositeit verlaagd. Afhankelijk van de spuitmethode en het type verf varieert de extra toegevoegde verdunning van 20% tot 100%. Dit extra oplosmiddel betekent wel een extra belasting voor het milieu.

7.1.5 Wel of niet verven?

Bij het ontwerp van een staalconstructie moet allereerst worden vastgesteld in welke klimaatklasse de constructie moet functioneren **(zie afb. 7.1)**. Wanneer dat een binnenklimaat is, hoeft er bij het ontwerp vrijwel geen rekening te worden gehouden met conservering (en onderhoud). Het is dan alleen van belang om er voor te zorgen dat de staalconstructrie tijdens de bouw niet meer corrodeert dan wenselijk is, bijvoorbeeld vanwege schade door afstromend roestwater.
In Nederland vinden opdrachtgevers een zichtbaar (licht)-roestende staalconstructie tijdens de bouw niet acceptabel. De staalconstructie wordt daarom bijna altijd 'in kleur' aangeleverd. Een voorbeeld is de Breitner-toren in Amsterdam, waar de constructie 'in blauw' (en grijs) is aangevoerd **(afb. 7.9)**. In Engeland en in Amerika bijvoorbeeld is enige roestvorming tijdens de bouw een geaccepteerd verschijnsel **(zie ook afb. 4.7)**. In die landen is het zelfs gebruikelijk dat de walshuid nog op het staal zit.
Staalconstructies in klimaatklasse C2 en agressiever moeten altijd worden geverfd en onderhouden. De verf moet overal met een gelijke laagdikte kunnen worden aangebracht. Vooral bij bewerkte (lees: scherpe) randen is dat niet vanzelfsprekend. Verf heeft namelijk de neiging van scherpe randen 'weg te trekken', waardoor er op de randen minder verf aanwezig is **(afb. 7.10)**. Op scherpe kanten – bijvoorbeeld bij bouten, moeren, gaten en hoeken – is bij een oplosmiddelhoudende verf de zogeheten kantendekking slechts 30% vergeleken met de laagdikte op een vlakke ondergrond.
Scherpe overgangen en scherpe randen moeten daarom zoveel mogelijk worden vermeden, bijvoorbeeld door de randen af te ronden.
Voor constructies in klimaatklasse C2 waarbij op termijn roestende randen niet acceptabel zijn, is het aan te bevelen de bewerkte kanten 'voor te strijken'. Voorstrijken houdt in dat de



7.10 Verflaagdikte op een niet-afgeronde en een afgeronde rand (niet op schaal getekend).

randen met de kwast handmatig een extra verflaag krijgen. Bij een constructie die tijdens de gehele levensduur moet functioneren in klimaatklasse C3 en waarbij roestende randen ongewenst zijn, is het raadzaam de bewerkte randen af te ronden. Voor niet-bewerkte randen, bijvoorbeeld bij de flenzen van walsprofielen, is vanaf klimaatklasse C3 voorstrijken verstandig.

Constructiedetails hebben een grote invloed op de duurzaamheid van een verfsysteem en daarmee op de onderhoudskosten. Corrosiegevoelige details zijn bijvoorbeeld onderbroken lassen en koud tegen elkaar geplaatste platen en profielen. Afdichten met kit en/of met isolatieringen is dan noodzakelijk. Uiteraard heeft een 'constructieve' dichting met een ononderbroken las de voorkeur.

Het is noodzakelijk dat een staalconstructie goed toegankelijk is voor onderhoud, dat wil zeggen dat de ruimte tussen de constructiedelen voldoende groot is voor het uitvoeren van toekomstig onderhoud. Meer informatie is te vinden NPR 7452[3]. Informatie over beschikbare kleuren van verfsoorten is verkrijgbaar bij de verfleveranciers; zie ook de *Gids Staalbouw*.

7.1.6 Keuze van het verfsysteem

De conservering van een staaloppervlak door een verfsysteem heeft als voornaamste functie:

• het verbeteren van de duurzaamheid van het constructiemateriaal door het corrosieproces te onderdrukken of te vertragen, bijvoorbeeld door de werking van actief roestwerende pigmenten in de verf (actieve corrosiewering);

• het van de omgeving isoleren van het staaloppervlak, zodat dit niet in aanraking komt met stoffen die de corrosie initiëren of versnellen, zoals vocht, zuurstof en chloriden (passieve corrosiewering).

Tabel 7.11 geeft een overzicht van verfsystemen die in de Nederlandse praktijk vaak voor het beschermen van een staalconstructie worden toegepast. Dit overzicht dekt de 'normale' atmosfeer in de klimaatklasse C1 t/m C3.

De genoemde beschermingssystemen kunnen niet zonder meer worden toegepast in situaties waar het constructiemateriaal niet meer kan worden geïnspecteerd of gerepareerd en waarvoor een duurzaamheid van minimaal vijftig jaar geldt. In dergelijke gevallen is het nodig advies in te winnen bij een conserveringsdeskundige.

Het overzicht in **tabel 7.11** is niet volledig, omdat het aantal combinaties van producten en verfdikten en de opbouw van de verflagen zeer groot is. Voor een uitgebreid overzicht van gangbare systemen wordt verwezen naar NEN-EN-ISO 12944[1,2]. In de praktijk komt het regelmatig voor dat het bestek een bepaald verfsysteem voorschrijft, maar dat de aannemer een gelijkwaardig systeem voorstelt. NPR 7452[3], waarin NEN-EN-ISO 12944 is opgenomen, biedt dan uitkomst om te beoordelen of beide systemen gelijkwaardig zijn.

In **tabel 7.11** is wel rekening gehouden met de nieuwe milieuwetgeving. Daarom worden er bij voorkeur verfproducten genoemd die watergedragen zijn (zoals acrylaten) óf die zo min mogelijk organische oplosmiddelen bevatten, zoals de high-build verven (HB, bevatten zo'n 40% oplosmiddel) of high-solid verven (HS, bevatten 15-20% oplosmiddel). De vermelde systeemcode wordt in **tabel 7.12** gebruikt bij de keuze van het toe te passen verfsysteem.

Een aandachtspunt bij nieuwe staalconstructies zijn de beschadigingen van het verfsysteem die tijdens de transport- en montagewerkzaamheden kunnen ontstaan. Deze beschadigingen zijn het grootst bij de mechanisch zwakke 'ééncomponent' verfsoorten, zoals alkydverf. Daarom wordt geadviseerd om voor nieuwbouwprojecten bij voorkeur mechanisch sterkere tweecomponentent-verven en polyurethaanlakken te kiezen. De 'ééncomponent' verfsoorten wel zijn zeer goed geschikt voor onderhoudswerk en binnenwerk.

De keuzeschema's van NEN-EN-ISO 12944-5[2] (en van NPR 7452[3]) stellen de keuze van de verfsystemen afhankelijk van het klimaat en van de gewenste duurzaamheid. Hierbij is duurzaamheid gekoppeld aan een percentage van het oppervlak dat is gecorrodeerd. Voor constructies waarbij esthetische eisen een rol spelen is dit 1% (in de literatuur wordt dat aangeven met R1 = 3).

De duurzaamheid van een verfsysteem wordt daarbij in drie klassen uitgedrukt, namelijk: 'laag' (2 tot 5 jaar), 'middel' (5 tot 15 jaar) en 'hoog' (meer dan 15 jaar). Dit is de tijd die verstrijkt voordat 15% van het staaloppervlak is gecorrodeerd. Deze drie klassen worden ook gebruikt in het keuzeschema van **tabel 7.12**. **Tabel 7.12** geldt echter niet voor delen van het staalskelet in een droge en goed geventileerde ruimte (geen gevaar voor condensvorming) en die aan het oog worden onttrokken door bijvoorbeeld een brandwerende bekleding, omkastingen of kanaalplaten. Onder deze condities bevinden deze constructiedelen zich namelijk in klimaatklasse C1, zodat conservering van het staal technisch gezien geheel overbodig is.

Bijzondere aandacht verdienen stalen constructiedelen die tijdens de gehele referentieperiode (meestal vijftig jaar) niet mogen falen én die zich bevinden in klimaatklasse C2 of agressiever. Denk daarbij aan constructiedelen in natte ruimten en constructies die zich in een spouw bevinden. Voor deze constructiedelen is het te overwegen een corrosietoeslag toe te passen als garantie om de vereiste levensduur van de constructie te halen. Op de lange termijn gezien is dat wellicht een aantrekkelijk alternatief. Een corrosietoeslag is een soort vorm van overdimensioneren. Daarbij worden de profielafmetingen of de plaatdikten die uit een sterkteberekeningen volgen verhoogd met de afname door corrosie tijdens de levensduur. Voor het berekenen van de corrosietoeslag kan NEN-ISO 9224[7] worden gehanteerd. Het onbehandelde staal mag dan corroderen zonder dat de sterkte van de constructie in gevaar komt.

Een speciale categorie zijn constructiedelen die in contact staan met vochtig metselwerk, zoals lateien. Voor deze delen is het verstandig te kiezen voor overdimensioneren in combinatie met thermisch verzinken en een coating van een zeer goede kwaliteit **(zie paragraaf 7.2)**.

7.11 Overzicht van veelgebruikte verfsystemen voor de staalconservering (HB = high-build; HS = high-solid).

systeem-code	opbouw en samenstelling verfsysteem	totale dikte (µm)	toepassingsgebied	kwaliteit
S1	zinkfosfaat epoxyprimer HB (90 µm)	90	corrosiewering (binnenwerk)	laag
S2	acrylaatprimer (60 µm) acrylaattopcoating (60 µm)	120	esthetica (binnenwerk)	laag
S3	zinkfosfaat epoxyprimer HB (90 µm) epoxytopcoating HB (120 µm)	200	corrosiewering en esthetica (binnenwerk)	middel
S4	zinkfosfaat epoxyprimer HB (80 µm) epoxycoating HB (80 µm) polyurethaan finish (40 µm)	200	corrosiewering en esthetica (binnen- en buitenwerk)	middel
S5	zinkfosfaat epoxyprimer HB (80 µm) epoxycoating HB (80 µm) epoxytopcoating HB (80 µm)	240	corrosiewering en esthetica (binnen- en buitenwerk)	hoog
S6	zinkfosfaat epoxyprimer HB (90 µm) epoxycoating HB (100 µm) polyurethaan finish HB (60 µm)	250	corrosiewering en esthetica (buitenwerk)	zeer hoog
S7	epoxyprimer HS (150 µm) epoxycoating HS (150 µm)	300	corrosiewering (binnen- en buitenwerk) en esthetica (alleen binnenwerk)	hoog

7.12 Keuzeschema van verfsystemen voor de staalconservering van verdiepinggebouwen in klimaatklasse C1 t/m C3 (zie **tabel 7.11** voor de S-codes van de verfsystemen).

omstandigheid	functie: sterkte aspect: corrosie			functie: representativiteit aspect: esthetica, kleurbehoud		
	verwachte levensduur verfsysteem					
	< 5 jaar	< 15 jaar	≥ 15 jaar	< 5 jaar	< 15 jaar	≥ 15 jaar
C1 en C2: binnen zeer weinig agressief	S1	S3	S5	S2	S3	S6
C2 en C3: binnen weinig tot matig agressief	S1	S3	S5	S2	S4	S6
C2 en C3: buiten weinig tot matig agressief	S1	S5	S7	S2	S4	S6
C3 en C4: binnen matig agressief tot agressief	S1	S5	S7	S2	S5	S6
C3 en C4:buiten matig agressief tot agressief	S3	S7	S7	S4	S6	S6

7.13 Een stalen werkstuk wordt door onderdompelen verzinkt.

Bij de keuze voor een verfsysteem spelen ook de volgende overwegingen een rol:

• Het schilderen van een constructie met een levensduur korter dan vijf jaar in een weinig tot matig agressieve omgeving is niet zinvol. Zeker niet wanneer de esthetica geen rol van betekenis speelt.

• In luchtdicht afgesloten buisprofielen en in holle constructiedelen die volledig zijn afgesloten kan geen corrosie optreden.

• Verfsystemen die in de ontwerpfase met veel zorg zijn gekozen, komen in de praktijk niet altijd tot hun recht. Dat is onder meer het geval bij goed geconserveerde delen die achteraf worden gewijzigd wanneer andere disciplines moeten lassen of boren om hun onderdelen te kunnen bevestigen óf wanneer tijdens transport veel beschadigingen aan de verflaag ontstaan. Voorzichtigheid en een goede controle van de kwaliteit tijdens de bouw zijn daarom erg belangrijk.

7.2 THERMISCH VERZINKEN

Bij het thermisch verzinken worden de constructiedelen in een bak met vloeibaar zink gedompeld **(afb. 7.13)**. Dit is een robuuste methode van conserveren.

De uiteindelijke laagdikte van het zink op het staal hangt af van de dompeltijd en van het siliciumgehalte van het staal. Als het oppervlak aan esthetische eisen moet voldoen is het gewenst het constructiedeel te vervaardigen uit delen met een gelijk siliciumgehalte en de dompeltijd nauwkeurig daarop af te stemmen. Om vanuit esthetisch standpunt ongewenste aangroei van de zinklaag te voorkomen moet het siliciumgehalte van het te verzinken staal binnen een bepaald percentage liggen. In voorkomende gevallen wordt aanbevolen contact op te nemen met de Stichting Doelmatig Verzinken (www.sdvonline.nl). Deze stichting geeft ook informatie over bijvoorbeeld het gewenste siliciumgehalte indien er esthetische eisen aan het te verzinken staal worden gesteld.

Het constructiedeel wordt door het vloeibare zink opgewarmd. Wanneer hierbij de temperatuur in het te verzinken constructiedeel hoger wordt dan 200 ºC wordt de vloeigrens verlaagd. Dat is van belang, omdat in een deel van een staalconstructie inwendige spanningen aanwezig kunnen zijn, bijvoorbeeld door lasbewerkingen. Bij thermisch verzinken kunnen deze spanningen dan tot vervormingen leiden. De ontwerper moet hier extra op letten bij materiaal dat dunner is dan 6 mm.

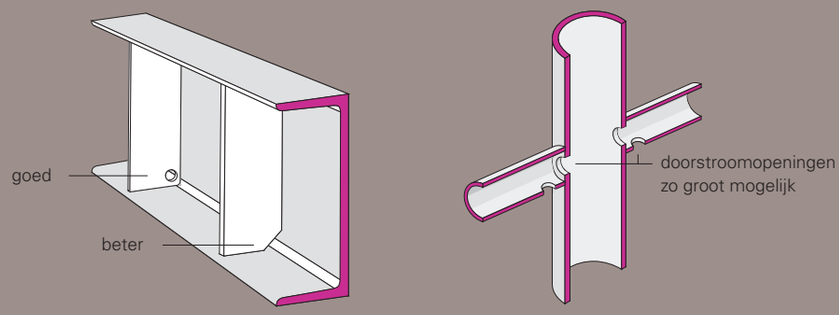
Aangezien het staal moet worden ondergedompeld, moeten er bij constructies met holle ruimten (bijvoorbeeld bij buizen) voorzieningen worden getroffen. Door ontluchtingsgaatjes aan te brengen wordt voorkomen dat de constructie blijft drijven in het zinkbad of dat er inwendig drukopbouw plaats vindt door verwarmde lucht **(afb. 7.14)**. Doorstroomopeningen verhinderen dat er in schotjes in de constructie overmatig zink achterblijft.

Thermisch verzinken van constructies is vooral geschikt voor constructiedelen met beperkte afmetingen zonder grote, holle ruimten. Grote constructies passen immers niet in het zinkbad. In Nederland is het bad met de grootste uitwendige lengte 15,6x1,8x3,0 m (lxbxh). Het bad met de grootste uitwendige breedte is 8,0x2,5x3,0 m. Het diepste zinkbad is 8,3x1,5x3,3 m. Overigens komen deze drie grootste afmetingen niet bij één verzinkerij voor! De (buiten)afmetingen van de zinkbaden van Nederlandse verzinkerijen staan vermeld in de *Gids Staalbouw*[6].

Een verzinkte staalconstructie blootgesteld aan klimaatklasse C3 is vele jaren onderhoudsvrij. Een staalconstructie die moet worden verzinkt, wordt niet gestraald maar chemisch ontroest via onderdompeling in een beitsbad. Voor het omschrijven – bijvoorbeeld in een bestek – van een thermisch verzinkte staalconstructie kan gebruik worden gemaakt van NEN-EN-ISO 1461[8].

Een voordeel van het verzinken van constructies, ten opzichte van verven, is dat de dekking op randen goed is. Er moet alleen op worden gelet dat regenwater goed kan afstromen. Ook moeten voor de verbindingen thermisch verzinkte bouten worden gebruikt; 'gewone' bouten gaan anders na enkele jaren al corroderen.

Bij de keuze voor verzinken moet rekening worden gehouden met kleurverschillen tussen verzinkte delen met een verschillend materiaal. Deze kleurverschillen ontstaan vooral wanneer er in de constructie zowel ‘dikke’ delen (vanaf 20 mm) als ‘dunne’ delen (tot zo'n 8 mm) voorkomen. Een kleurverschil in de zinklaag kan ook optreden wanneer de chemische samen-



7.14 **Ontluchtingsgaatjes en doorstroomopeningen.**

stelling van de te verzinken stalen constructiedelen niet hetzelfde is. Neem in voorkomende gevallen voor advies contact op met de Stichting Doelmatig Verzinken.
Volgens NEN-EN-ISO 1461[8] en NEN-EN 13858[9] is met name de zinklaagdikte op een constructiedeel van groot belang voor de duurzaamheid. De eisen aan gladheid, kleur en gelijkmatigheid zijn minder duidelijk geformuleerd. Hierover moeten met de verzinkerij eenduidige afspraken worden gemaakt. De betrokken hoofdaannemer moet deze eisen opleggen aan de verzinkerij die het werk uitvoert. Het is raadzaam het verzinkte staal tijdig bij de verzinkerij te inspecteren. Bij inspectie op het werk is het meestal al te laat!

7.3 CONSERVERINGSBESTEK

Voor het maken van een conserveringsbestek is ruime informatie te vinden in NEN-EN-ISO 12944[1,2], NPR 7452[3] en in NEN-EN-ISO 1461[8].

Ook bij het conserveren geldt: wat niet in het bestek staat, gebeurt ook niet. Wanneer bijvoorbeeld voorstrijken is gewenst, moet dit ook in het bestek worden opgenomen. Dit geldt ook voor het afronden van bewerkte randen en het stralen van lassen vóórdat het verfsysteem wordt aangebracht.

7.4 GARANTIES

Om meer zekerheid over het functioneren van een conservering te krijgen, kan een garantie worden gevraagd. Omschrijf daarbij duidelijk waarop de garantie betrekking heeft. Zo moet bijvoorbeeld de termijn worden vastgelegd waarvoor de garantie geldt. Ook moet een onderscheid worden gemaakt over de acceptatie van corrosie op randen en vlakken. De eerder genoemde normen bieden enige houvast.
Informatie over het beoordelen van afgegeven garanties in de bouw is te vinden in de SBR-publicaties *Vijf criteria voor garanties*[10] en *Aansprakelijkheid voor gebreken aan bouwwerken*[11].

Literatuur

1. *NEN-EN-ISO 12944-2* (Verven en vernissen. Bescherming van staalconstructies tegen corrosie door middel van verfsystemen. Deel 2. Indeling van belastingsklassen), 1998.
2. *NEN-EN-ISO 12944-5* (Verven en vernissen. Bescherming van staalconstructies tegen corrosie door middel van verfsystemen. Deel 5. Beschermende verfsystemen), 1998
3. *NPR 7452* (Toelichting op EN-ISO 12944 'Verven en vernissen. Bescherming van staalconstructies tegen corrosie door middel van verfsystemen. Deel 1 tot en met deel 8'), 1999.
4. K. Peterse, 'Poedercoaten concurrerend door terugverdieneffect', *Bouwen met Staal 167* (2002), p. 36-39.
5. *NEN-EN-ISO 8501-1* (Voorbehandeling van staal voor het aanbrengen van verven en aanverwante producten. Visuele beoordeling van oppervlaktereinheid. Deel 1. Voorbehandeling voor roest van niet-bekleed staal en van staal na verwijdering van voorgaande deklagen), 2001 + aanvullingsblad A1, 2001.
6. C.H. van Eldik (samenst.), *Gids Staalbouw 2003-2004*, uitgave Bouwen met Staal, Rotterdam 2003. De tweede editie verschijnt medio 2005.
7. *NEN-ISO 9224* (Corrosie van metalen en legeringen. Corrosiviteit van de atmosfeer. Richtwaarden voor de corrosiviteitscategorieën), 1997.
8. *NEN-EN-ISO 1461* (Door thermisch verzinken aangebrachte deklagen op ijzeren en stalen voorwerpen. Specificaties en beproevingen), 1999.
9. *NEN-EN 13858* (Corrosiebescherming van metalen. Niet-elektrolytisch aangebrachte zinkbevattende organische deklagen op onderdelen van ijzer en staal), 2003.
10. A. de Groot, *Vijf criteria voor garanties* (SBR-publicatie 327), uitgave SBR, Rotterdam 1995.
11. T. Smits, Aansprakelijkheid voor gebreken aan bouwwerken, (SBR-publicatie 179), uitgave SBR, Rotterdam 2002.

8 DUURZAAM BOUWEN

In november 2002 publiceerde de Bond van Nederlandse Architecten (BNA) een manifest over duurzaam bouwen[1]. In dit manifest pleit de BNA voor een nieuw elan voor duurzaam bouwen onder de titel 'Vitale architectuur'. Duurzaam bouwen wordt hierin niet gezien als toegevoegde waarde, maar als integraal onderdeel van de architectonische kwaliteit. Architectuur is in deze context niet alleen ecologisch verantwoord, maar straalt kracht uit. Duurzame architectuur is veerkrachtig, dynamisch en flexibel in de relatie tussen vorm, functie en constructie op alle schaalniveaus; óók in de toekomst. Hoe staalskeletbouw deze opvattingen ondersteunt wordt in dit hoofdstuk nader uitgewerkt en aan de hand van praktijkvoorbeelden toegelicht. De tekst die is ontleend aan het BNA-manifest is met een blauwe streep in de kantlijn aangegeven.

De architectuur van deze verdiepinggebouwen wordt gedragen door de constructieve mogelijkheden van staal.

A) Rijksverzekeringsbank, Amsterdam (1939, Roosenburg).

B) Voormalig hoofdkantoor Hoogovens, Velsen-Noord (1950, Dudok).

C) Voormalig hoofdkantoor Estel, Nijmegen (1976, Bodon).

D) World Trade Center, Rotterdam (1987, Groosman Partners).

E) ING-House, Amsterdam (2002, Meyer en Van Schooten).

Any material, whether natural or artificial, has its special properties which one must know before one can work with it. New materials and new methods of construction are not necessarily superior. What matters is the way they are handled. The value of a material depends on what we make of it. Citaat van Mies van de Rohe[2].

Duurzaam bouwen heeft een verkeerd imago. Opdrachtgevers en bouwondernemers menen dat het duur is. Architecten menen dat het de creatieve vrijheid beperkt. En gebruikers menen dat het niet werkt.
Duurzaam bouwen is inderdaad duur wanneer het niet vanaf de voorbereiding in het ontwerp- en bouwproces is meegenomen. Duurzaam bouwen beperkt ook de creatieve vrijheid wanneer het wordt gereduceerd tot het afvinken van een pakket duurzame maatregelen. Ten slotte werkt duurzaam bouwen ook niet wanneer de gebruikers van een gebouw geen gebruiksaanwijzing krijgen en zelf moeten 'aanmodderen'.
Deze patstelling is alleen te doorbreken met een nieuwe strategie voor duurzaam bouwen. Duurzaam bouwen wordt hierin niet gezien als toegevoegde waarde, maar juist als een architectonische kwaliteit. Architectuur is, in deze context, niet alleen ecologisch verantwoord, maar veerkrachtig, dynamisch en flexibel in de relatie tussen vorm, functie en constructie op alle schaalniveaus en in de tijd.
Er is een nieuwe kijk op duurzaam bouwen nodig; een strategie die de essentie in het denken over duurzaam bouwen een nieuw elan moet geven. Kortom: vitale architectuur.

8.1 RUIMTE IN DE TIJD

De essentie van duurzaam bouwen is vooruit denken, immers de gehele levensloop bepaalt de werkelijke duurzaamheid. Gebouwen moeten zo worden ontworpen dat ze ook na hun huidige functie het milieu zo min mogelijk schaden. Voordat het ontwerpproces begint moeten opdrachtgever en architect niet alleen een duidelijk beeld hebben wat voor functie het gebouw nú moet krijgen. Ze moeten óók een visie ontwikkelen wat er met het gebouw over vijftien of twintig jaar moet gebeuren. Dit impliceert een bredere invulling van de rol van de architect: hij treedt steeds meer op als huisvestingsadviseur en komt samen met organisatie- en procesanalisten tot een optimaal huisvestingsadvies.
In adviezen en ontwerpen van de architect worden de behoeften van nu én die van de iets verdere toekomst verwerkt. Die adviezen vinden hun neerslag in één van onderstaande vier strategieën. De laatste strategie is ook goed met de andere drie te combineren.

- **Gebruik het huidige gebouw en kies niet voor nieuwbouw.**
- **Gebruik een gebouw tijdelijk.**
- **Gebruik een tijdelijk gebouw.**
- **Geef de gebruiker een handleiding.**

8.1.1 Gebruik het huidige gebouw en kies niet voor nieuwbouw

Soms is nieuwbouw, ondanks de wens van de opdrachtgever, niet echt noodzakelijk. Het huidige gebouw voldoet nog altijd, alleen het moet anders worden ingericht en gebruikt. De architect kan de potenties van het huidige pand doorgronden, vervolgens de opdrachtgever ervan overtuigen dat nieuwbouw niet nodig is en ten slotte het bestaande pand zo inrichten dat de organisatie er weer perfect in past.
Pleiten voor niet-bouwen lijkt misschien een tegennatuurlijke strategie voor architecten, maar zowel voor het bedrijf – vanuit het economisch oogpunt van de opdrachtgever – als voor het milieu is het zeer gunstig om géén nieuwbouw te plegen.
Neem uitsluitend het initiatief tot nieuwbouw wanneer het huidige gebouw echt niet meer voldoet en er ook geen ander geschikt gebouw in de omgeving voor handen is.

Staalskeletbouw is bij uitstek geschikt voor het uitbreiden van bestaande verdiepinggebouwen. Voorbeelden hiervan zijn ‘optop’-projecten in Den Bosch **(afb. 8.1)** en in Scheveningen **(afb. 8.2)**.

8.1 Drielaags kantoorgebouw uit 1988 in Den Bosch, uitgebreid met een extra verdieping in 1996.

8.2 Een bestaand pakhuis in Scheveningen is in 1997 een uitgebreid met een penthouse.

8.1.2 Gebruik een gebouw tijdelijk

De technische levensduur van een gebouw is vaak veel langer dan de huidige gebruiksperiode. Daarom is het noodzakelijk om bij het ontwerp te anticiperen op het gebruik na vijftien of zelfs na twintig jaar. Flexibiliteit en differentiatie zijn twee middelen om gebouwen geschikt te maken en te houden voor deze gebruiksstrategie.

• *Flexibiliteit* maakt een gebouw, na het huidige gebruik, geschikt voor een ander gebruik. Er vindt dan geen kapitaalvernietiging plaats en de investeringen leveren een hoger rendement op. Essentieel is dat veranderingen mogelijk zijn zonder ingrijpende verbouwingen.

• *Differentiatie* is complementair aan flexibiliteit. Wanneer de flexibiliteit van een gebouw onvoldoende is om aan nieuwe wensen te voldoen, moeten er mogelijkheden bestaan om binnen een wijk of buurt een ander gebouw te vinden dat wél voldoet. Differentiatie in gebouwen komt onder meer tot uitdrukking in slim ontworpen woningplattegronden, waarbij gemakkelijk kan worden doorgestroomd van bijvoorbeeld de ene woning naar de andere. Voor kantoorgebouwen kunnen eveneens dergelijke doorgroei- of krimpscenario's worden bedacht. Het juiste aanbod op het juiste moment, daar gaat het om.

Verdiepinggebouwen met een staalskelet zijn flexibel en laten zich gemakkelijk aanpassen aan nieuwe functies. Ook oudere gebouwen uit de periode vóór de Tweede Wereldoorlog kunnen relatief eenvoudig worden aangepast aan moderne eisen. Voorbeelden zijn de herbestemming van het 25kV-schakelstation in Rotterdam **(afb. 8.3)** en de transformatie van het voormalige kantoorgebouw Transistorium in Den Haag tot het Castalia **(afb. 8.4)**.

8.1.3 Gebruik een tijdelijk gebouw

De tegenhangers van tijdonafhankelijke gebouwen zijn gebouwen die bewust een tijdelijk karakter hebben. Materialisatie en detaillering zijn zo gekozen dat het gebouw gemakkelijk kan worden gedemonteerd zodra het overbodig is. De verschillende onderdelen van een dergelijk gebouw moeten herbruikbaar, recycleerbaar of composteerbaar zijn.

Staalskeletbouw leent zich uitstekend voor toepassing in tijdelijke gebouwen. Bekende voorbeelden zijn het huidige Ecodrome in Zwolle **(afb. 8.5)** en het Nederlandse paviljoen op de wereldtentoonstelling in Sevilla. Het Ecodrome is in 1992 gebouwd als tentoonstellingspaviljoen op de Floriade in Zoetermeer. Het gebouw is in 1993 gedemonteerd en opgeslagen en daarna in 1997 als museum weer opgebouwd in Zwolle. Het Nederlands paviljoen stond op de wereldtentoonstelling in Sevilla in 1992. Dit gebouw is na de tentoonstelling gedemonteerd en in 1994 opgebouwd en aangepast tot entree- en expositiegebouw van het archeologisch themapark Archeon in Alphen aan den Rijn. Daarna is het gebouw weer gedemonteerd en ligt nu opgeslagen om een derde leven te beginnen.Minder bekende, meer recente voorbeelden van tijdelijke stalen gebouwen zijn een supermarkt op de vinexlocatie Ypenburg bij Den Haag, een uitbreiding van het

8.3 Het voormalige 25kV-schakelstation in Rotterdam kreeg in 2000 een nieuwe voorgevel én een nieuwe bestemming als bedrijfsverzamelgebouw voor audio-visuele bedrijven.

8.4 Het kantoorgebouw Transistorium uit 1967 in Den Haag is compleet gestript en in 1999 getransformeerd tot het Castalia, inclusief twee nieuwe puntdaken.

8.5 Het Ecodrome – in 1992 nog een opvallende blikvanger op de Floriade in Zoetermeer – staat vanaf 1997 als museum in Zwolle.

8.6 Het kantoorgebouw voor ABN·AMRO in Amsterdam-Zuidoost is gebouwd met prefab units in staal die gemakkelijk gedemonteerd en verplaatst kunnen worden.

8.7 De A-markt in Amsterdam is een tijdelijke uitbreiding voor vijf jaar van een buurtsuper.

milieu relevante product informatie MRPI

BEDRIJFSINFORMATIE

bouwen met staal

Bouwen met Staal
Postbus 29075
3001 GB Rotterdam
tel. 010-411 50 70
fax 010-412 12 21

VOOR
Constructiestaal

MRPI-code
9.1/00010/001

DATUM VAN AFGIFTE
14 juli 2003

De gegevens op dit MRPI®-blad zijn opgesteld conform de MRPI®-Handleiding versie 1.2 en het MRPI®-toetsingsprotocol versie 1.2

ANALYSE EENHEDEN
1 ton constructiestaal voor:
• zware toepassingen (balken, kolommen, platen)
• middelzware toepassingen (lateien, damwanden, geleiderails)
• lichte toepassingen (kozijnen, profielen)
• binnenwanden
• dak- en gevelbekleding

ONDERDELEN UIT DE ANALYSE EENHEDEN

Dak- en gevelbekleding
Middelzware toepassingen
Zware toepassingen
Lichte toepassingen
Binnenwanden

PRODUCTOMSCHRIJVING

ANALYSE EENHEID	HALFFABRIKAAT (ROUTE)	REEDS VOORZIEN VAN: BANDSTAAL COATING	SENDZIMIR ZINKLAAG
Zware toepassingen (balken, kolommen, platen)	900 kg balkstaal (101BF en 901EAF), 100 kg plaatstaal (BF)	Nee	Nee
Middelzware toepassingen (lateien, damwanden, geleiderails)	1000 kg warmgewalst bandstaal (BF)	Nee	Nee
Lichte toepassingen (kozijnen, profielen)	1000 kg sendzimir verzinkt bandstaal (BF)	Nee	Ja
Binnenwanden	1000 kg koudgewalst bandstaal (BF)	Nee	Nee
Dak- en gevelbekleding	1000 kg organisch gecoat bandstaal (BF)	Ja	Ja

Dit MRPI® blad voldoet aan de voorwaarden vastgesteld door NVTB en het Ministerie van VROM

8.8 MRPI-blad voor constructiestaal.

kantoor van ABN·AMRO in Amsterdam **(afb. 8.6)** en de A-Markt in Amsterdam **(afb. 8.7)**. De bouwvergunning voor de winkel A-markt bijvoorbeeld was maar vijf jaar geldig. De welstand ging niet akkoord met het plaatsen van standaardunits. Daarom is besloten een speciaal ontwerp voor te maken op basis van wand- en vloerelementen in staalframebouw. Alle elementen kunnen worden gedemonteerd en worden door de leveranciers teruggenomen. Deze werkwijze beperkt het bouw- en sloopafval tot een minimum.

In de praktijk zijn de componenten van een staalskelet ook geschikt voor hergebruik. Op basis van onderzoek is bij het opstellen van milieurelevante productinformatie **(MRPI-blad, afb. 8.9)** voor constructiestaal[3] uitgegaan van een percentage hergebruik van walsprofielen van 49%. Veel 'tweedehands' stalen componenten (met name liggers en kolommen) worden dus weer gebruikt bij kleine verbouwingen in de private sector.

8.1.4 Geef de gebruiker goede documentatie

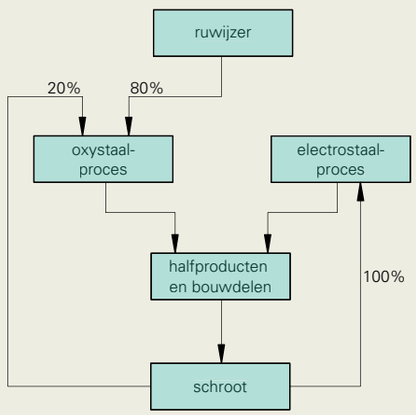
Bij zelfs de meest eenvoudige (en goedkope) apparaten krijgt de koper tegenwoordig al een uitgebreide documentatie. Hoewel de werking van gebouwen – en zeker van duurzame gebouwen –gecompliceerd kan zijn en ook de prijs van vastgoed zeker niet goedkoop is, krijgen gebruikers en beheerders van gebouwen doorgaans geen enkele documentatie of handleiding. Duurzame aspecten zoals natuurlijke ventilatie, een slim ontworpen energiehuishouding, een bijzonder gebruik van daglicht en toekomstige mogelijkheden voor demontage maken een dergelijk document onontbeerlijk. Maar ook bij renovatie en onderhoud is het uitermate nuttig te weten uit welke materialen en producten een gebouw bestaat.

In de toekomst moeten gebouwen daarom worden opgeleverd met een goede documentatie. Ook dat is vooruit denken: tijdig informatie geven over de mogelijkheden van gebruik, beheer, veranderen en uiteindelijk het slopen of demonteren van gebouwen. De documentatie bevat een uitleg over het gebruik, alle bouwtekeningen, constructietekeningen en installatietekeningen, materiaallijsten en noodzakelijke inspecties. Initiële bouwfouten en aanpassingen staan eveneens vermeld. Verder worden in het dossier meetresultaten en/of het verbruik van onder meer water, elektriciteit en gas regelmatig genoteerd. Er ontstaat zo een compleet beeld van het gebouw en zijn prestaties waarvan iedereen kan leren. Het gebouwdossier eindigt met een beschrijving van hoe het gebouw (of delen ervan) het beste is te demonteren.

RECYLING

Stalen bouwdelen die niet kunnen worden hergebruikt worden verschrot en vormen zo de grondstof voor de productie van nieuwe stalen halffabrikaten, zoals walsprofielen en dunne staalplaat. Dit schroot komt via twee routes weer in de staalkringloop terug, namelijk (zie afbeelding Processchema):

- via het hoogovenproces;
- via het elektro-ovenproces.



Processchema van de fabricage van staal.

Hoogovenproces Het Hoogovenproces wordt onder meer bij Corus in IJmuiden (het voormalige Hoogovens) toegepast. Bij dit proces wordt uit ijzererts eerst ruwijzer geproduceerd. Daarna wordt uit dit ruwijzer het staal bereid in de oxystaalfabriek. Bij deze laatste stap komt zoveel warmte vrij dat er een koelmiddel aan het nog vloeibare staal in wording wordt toegevoegd om de temperatuur te beheersen. Als koelmiddel wordt schroot gebruikt.
Corus IJmuiden maakt uitsluitend dunne staalplaat voor de automobiel- en verpakkingsindustrie en voor de bouw (onder meer dak- en gevelbeplating).

Elektro-ovenproces Het elektro-ovenproces is ontwikkeld om staal te maken geheel op basis van schroot. Bij dit proces wordt het schroot met elektrische energie zodanig verhit dat het smelt. In Nederland wordt dit proces toegepast bij Nedstaal in Alblasserdam. Nedstaal produceert voornamelijk draad. Het elektro-ovenproces wordt ook toegepast bij staalbedrijven die stalen balken produceren voor de West-Europese markt, met name Arcelor in Luxemburg en Peiner Träger in Duitsland. Vrijwel alle walsprofielen (onder meer H- en I-profielen) die in Nederland worden verwerkt, zijn volledig geproduceerd op basis van schroot.

Door het hergebruik van schroot ontstaat er een kringloop van staal (zie afbeelding Kringloop van staal). Om deze kringloop in stand te houden is energie nodig en bij de productie komt ook CO_2 vrij. Dankzij innovaties bij de staalproducenten is het energieverbruik de laatste tien jaar meer dan gehalveerd en de CO_2-productie met tachtig procent afgenomen.
Bijna al het staal dat in de Nederlandse bouw bij sloop of demontage vrijkomt, wordt ingezameld en gereed gemaakt om als grondstof voor nieuw staal te dienen. De aanwezigheid van zink- of verfresten is geen bezwaar. Deze stoffen verdampen tijdens het smelten van staal en worden afgezogen en daarna in reinigingsinstallaties weer teruggewonnen om in andere productieketens weer te worden gebruikt.
Alle stoffen die tijdens de staalfabricage niet verbranden drijven tijdens het smeltproces in de vorm van slak op het vloeibare staal. Deze slak wordt van het vloeibare staal gescheiden en gebruikt voor onder meer funderingen in de wegenbouw.
Staal is een bouwmateriaal dat volledig uit gerecycled staal is te vervaardigen. Omdat de totale schrootproductie in de wereld ongeveer de helft dekt van de vraag naar staal, is er de komende decennia nog behoefte aan primaire grondstoffen.

Vrijwel alle H- en I-profielen die in Nederland worden verwerkt, zijn volledig geproduceerd op basis van schroot.

De kringloop van staal.

8.9 Een bestaande staalconstructie is relatief eenvoudig aan te passen aan een andere gebruiksfunctie.

8.2 TIJD IN DE RUIMTE

Een duurzaam gebouwde omgeving heeft het vermogen om de maatschappelijke dynamiek op te vangen. Wijken en gebouwen moeten daarom een groter vermogen krijgen om te veranderen. Het mag niet zo zijn dat de functie van een bepaald gebied tot in de eeuwigheid vast ligt, terwijl de behoeften die tot de initiële ontwikkeling hebben geleid allang zijn verdwenen of veranderd. Op alle schaalniveaus moet bij het ontwerpen van de leefomgeving rekening worden gehouden met toekomstige functies. Sleutelbegrippen hierbij zijn:

- **flexibiliteit;**
- **overmaat;**
- **demontage;**
- **prefabricage.**

8.2.1 Waarborg flexibiliteit

De mate van flexibiliteit in de stedenbouw bijvoorbeeld hangt af van de aanpasbaarheid van de infrastructuur. De huidige infrastructuur (lees constructies) is echter te star om eenvoudige aanpassingen van een functie door te voeren. Een 'lichtgewicht' infrastructuur is daarom een interessante optie bij stedenbouw, omdat daardoor de grond vrijwel onaangetast blijft. Dankzij een dergelijke infrastructuur wordt het veel goedkoper om een wijk of een gebied een andere functie te geven of zelfs terug te geven aan de natuur.

8.2.2 Geef gebouwen overmaat

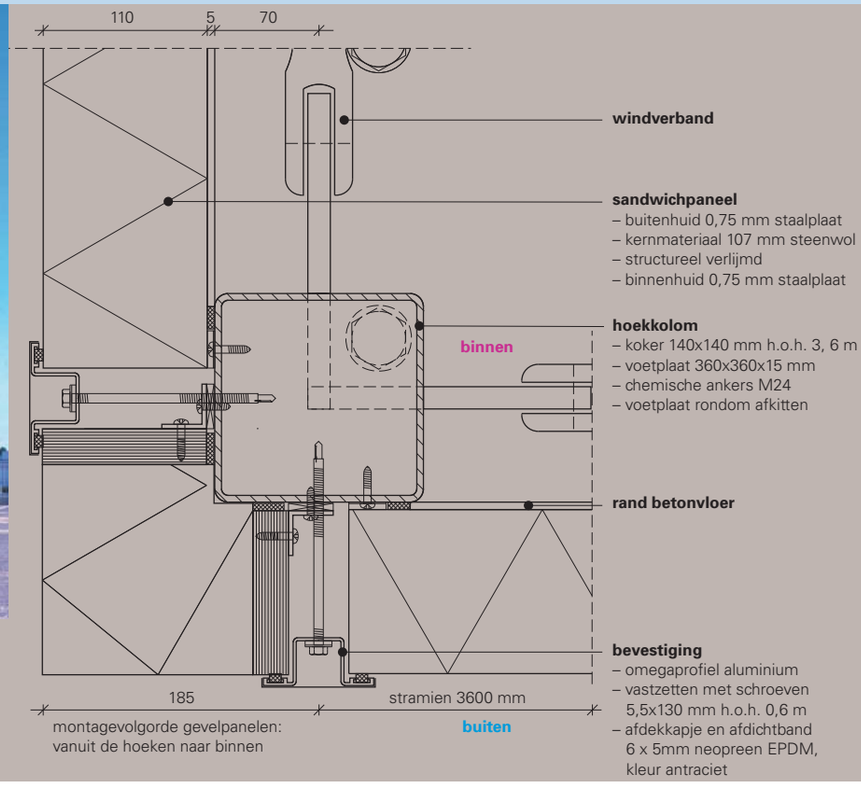
In gebouwen blijkt overmaat het toverwoord: grotere afmetingen en een overgedimensioneerde draagconstructie. Het extra materiaal dat hiervoor nodig is, wordt terugverdiend door de langere gebruiksduur van deze ontwerpen. Een dergelijk casco staat immers verscheidene functies toe: niet alleen woningen, maar ook kantoren kunnen zich dankzij een overmaat aan ruimte en draagvermogen in hetzelfde gebouw vestigen. Opdeling in kleinere woon- en/of kantooreenheden is mogelijk. Het verleden leert dat dit soort gebouwen door deze kwaliteit lang mee kunnen gaan.

Verdiepingbouw in staalskeletbouw is gebaseerd op het principe van functiesplitsing. De stalen drager kan vrijwel zonder extra materiaalverbruik zo worden ontworpen dat de draagconstructie ook in staat is functies te dragen met een hogere belasting. Een staalconstructie kan ook naderhand relatief eenvoudig worden aangepast aan een andere gebruiksfunctie door profielen (plaatselijk) te verzwaren of toe te voegen **(afb. 8.9)**.

8.2.3 Maak demontage op systeem- en component niveau mogelijk

Demonteerbaarheid bepaalt, naast flexibiliteit en overmaat, de aanpasbaarheid van een leefomgeving. Hiermee wordt in de conventionele bouw nog veel te weinig rekening gehouden. Montagetechnieken zijn in de loop van de tijd aanzienlijk verbeterd, demontagetechnieken echter niet of nauwelijks. Omdat het moeilijk en vaak zelfs onmogelijk is om componenten te demonteren of te vervangen, wordt energie verspild en onnodig afval geproduceerd. Alleen door een nieuwe ontwerpbenadering kunnen componenten zodanig in een gebouw worden geïntegreerd dat verandering of vervanging mogelijk wordt. Daarom moet de architect zijn ontwerp niet benaderen als een statisch geheel, maar als een samenspel van uitwisselbare componenten die een verschillende functionele en technische levensduur hebben.

De overheid stimuleert de demonteerbaarheid van gebouwen met het subsidieprogramma IFD (Industrieel, Flexibel en Demontabel) dat in 1999 is gestart en eindigde in 2004. Veel gebouwen met een IFD-status hebben een draagconstructie van staal. Bij de nieuwe generatie distributiegebouwen van PTT/-TPG–Post zijn de mogelijkheden van staal met betrekking tot montage en demontage volledig benut **(afb. 8.10)**. Architectenbureau Cepezed ontwierp daarom een serie van honderdtwintig nieuwe distributiegebouwen waarbij in de vloer geen installaties zijn opgenomen. De gebouwen zijn volledig demontabel.



8.10 Bij de nieuwe distributiecentra voor PTT Post zijn de mogelijkheden van staal voor montage en demontage optimaal benut (zie geveldetail).

8.2.4 Bevorder prefabricage

Nederland produceert jaarlijks zo'n 19 miljoen ton bouwafval. Om deze enorme stroom bouwafval te verminderen, moet er meer met geprefabriceerde, demontabele elementen worden gebouwd. Niet alleen verhoogt deze methode de kwaliteit van het bouwwerk, het vermindert bovendien de hoeveelheid afval op de productie- en bouwplaats aanzienlijk.
Om geprefabriceerde elementen gemakkelijk te kunnen hergebruiken moeten deze zijn samengesteld uit kleine onderdelen. Met andere woorden: kies in plaats van grote, massieve elementen voor kleine en complexe componenten.

De hoeveelheid bouw- en sloopafval is bij industrieel vervaardigde staalconstructies beperkt. Bouwen met staal betekent materiaalarm bouwen en een beperking van het gebruik van primaire grondstoffen.

8.3 TIJD EN RUIMTE

Echte duurzaamheid vraagt om een geïntegreerd ontwerpproces. Daarin worden tijd, ruimte én de menselijke component in onderlinge afhankelijkheid op elkaar afgestemd. Alle invalshoeken van duurzaam bouwen komen integraal aan de orde en worden in hun onderlinge samenhang bekeken. Duurzaamheid wordt niet meer beperkt tot een incident. Drie zaken spelen zijn daarbij van belang:

- **ontwerp geïntegreerd;**
- **stimuleer innovatie;**
- **leer systematisch.**

8.3.1 Ontwerp geïntegreerd

Duurzaam Bouwen begint bij de ruimtelijke ordening. Alleen met een duidelijke visie op suburbanisatie, mobiliteit en functiedifferentiatie in relatie tot de factor tijd kan de milieubelasting door de gebouwde omgeving worden aangepakt. Het is zaak de doelstellingen duidelijk over te dragen aan de verschillende ontwerpende partijen en de opdrachtgevers, maar zeker ook naar de uiteindelijke gebruikers.
Bij het ontwerpen van duurzame gebouwen is een integrale aanpak een vereiste: alleen dan kan het gebouw een minder milieubelastend artefact worden. Het ontwerpen van een duurzame gebouwde omgeving is complexer dan het ontwerpen van 'gewone' gebouwen en wijken, omdat alle facetten van het gebouw veel meer in elkaar grijpen. Zo is de klimatisering van het gebouw een wezenlijk onderdeel van de architectuur en helpen vorm, ruimtes en materialisatie weer bij het beheersen van het binnenklimaat. Dit vraagt overigens niet alleen van de architect de bereidwilligheid met de verschillende adviseurs gezamenlijk het volledige ontwerpproces te doorlopen; de verschillende adviseurs moeten in staat zijn daadwerkelijk na te denken over het totale concept, het ontwerp en de architectuur.
Een andere manier om de ontwerpende disciplines te honoreren is hierbij noodzakelijk: niet de totale investeringssom, maar de werkelijke waarde van het advies zou de basis voor de honorering kunnen zijn.

Een recent voorbeeld van het geïntegreerd ontwerpen is het nieuwe kantoor en bedrijfsgebouw van Kropman Installatietechniek in Utrecht **(afb. 8.11)**. Dit IFD-demonstratieproject met een staalskelet is een hoogwaardig kantoorgebouw in Leidsche Rijn dat zich moeiteloos kan aanpassen aan de wisselende eisen van eenzelfde of een nieuwe gebruiker. Kenmerken zijn: een vrije indeelbaarheid, maximale verdiepinghoogte, een heldere leidingsystematiek met lokale modulaire secundaire installaties en warmte/koude-opslag in de bodem. Het bouwkundige ontwerp en het installatietechni-

8.11 **Het gebouw voor Kropman Installatietechniek in Utrecht is een IFD-demonstratieproject. Het bouwkundig en het installatie-technisch ontwerp zijn hier in een vroeg stadium geïntegreerd. Dat resulteerde onder meer in minimale bouwkosten en een korte bouwtijd.**

sche ontwerp zijn hier in een vroeg stadium geïntegreerd, wat resulteerde in minimale bouwkosten en bouwtijd én maximale mogelijkheden tot prefabriceren. Hoofdstuk 2 (Draagconstructie) en hoofdstuk 5 (Bouwfysica) gaat nader in op de concepten die in dit project zijn toegepast.

8.3.2 Stimuleer innovatie

Om tot een meer duurzame gebouwde omgeving te komen, zijn innovaties op het gebied van energiezuinige klimaatbeheersing, milieuvriendelijke materialen, flexibiliteit en demontabelheid absoluut noodzakelijk. Het aantal vernieuwingen in de bouw blijft namelijk achter bij die in andere technische sectoren. Om gebouwen technisch slimmer, en zo ook duurzamer te laten functioneren, moeten er meer mogelijkheden komen om innovaties te stimuleren en die zo goedkoper in bouwwerken toegepast te krijgen.

8.3.3 Leer systematisch

De bouw kent geen systematisch leermechanisme. In elke industrie vindt voortdurende terugkoppeling plaats. Zowel van de successen, maar vooral van de fouten wordt geleerd. Een volgende generatie producten is daarom over het algemeen beter dan de vorige. Voortdurende evaluatie leidt tot evolutie.
De bouw werkt zo niet. Fouten in materialisatie, detaillering en in de organisatie van de gebouwen worden steeds opnieuw gemaakt. De bouw, als collectieve activiteit, is dus 'een beetje dom'. Er gaat veel tijd, energie en materiaal zitten in het herstellen van deze fouten.
De architect moet intensiever bij het gebruik en het beheer van zijn gebouwen worden en blijven betrokken. De bouwtechnische en/of organisatorische fouten kunnen zo beter in lijn met de ontwerpuitgangspunten worden gecorrigeerd. De architect leert van deze fouten en kan ze in zijn volgende ontwerpen voorkomen.

De ontwikkelingen over de toepassing van staal in de gebouwde omgeving worden door Bouwen met Staal via het vaktijdschrift *Bouwen met Staal*, studieboeken, brochures, projectbezoeken en via cursussen naar de bouwpraktijk overgedragen. Op deze wijze werken de Nederlandse staalbranche en de staalindustrie samen aan de kennisontwikkeling over staalskeletbouw en de verspreiding ervan.

Literatuur

1. Het manifest *Vitale architectuur* is integraal te vinden op www.bna.nl onder Nieuws/Dossiers/Standpunten.
2. Citaat ontleend aan de inaugurale rede van ir. A.J. van Neste bij de aanvaarding van het ambt van gewoon hoogleraar in de staalbouw, 23 februari 1979.
3. *MRPI-blad 9.1/00010/001 voor constructiestaal,* uitgave Bouwen met Staal, datum afgifte 14 juli 2003.

A STAALSOORTEN

Tijdens de staalbereiding – in een hoogoven of in een elektro-oven, zie de kadertekst op blz. 106 – wordt het koolstofgehalte van het vloeibare ruwijzer verlaagd en worden ongewenste verontreinigingen verwijderd. Daarnaast worden kleine hoeveelheden andere elementen toegevoegd; zogeheten legeringselementen. Legeren biedt de mogelijkheid het staal de gewenste eigenschappen te geven. Sterkte, taaiheid, bewerkbaarheid en corrosiebestendigheid kunnen zo worden verbeterd. Daardoor bestaan er vele honderden verschillende soorten staal, gietstaal en gietijzer met elk hun specifieke eigenschappen.

Deze bijlage beschrijft in het kort de benaming of aanduiding én belangrijkste eigenschappen van constructiestaal, gietstaal, roestvast staal, weervast staal en van gietijzer.

A.1 NAAMGEVING

Op Europees niveau bestaan er afspraken over de naamgeving van de verschillende soorten staal[1]. Om de communicatie over de vele staalsoorten mogelijk te maken bestaan er twee methoden voor de benaming van staal:

- numeriek (met uitsluitend cijfers);
- alfanumeriek (met letters en cijfers).

De afspraken voor deze benamingen liggen vast in twee Europese normen: NEN-EN 10027-1[2] en NEN-EN 10027-2[3]. Het **numerieke systeem** wordt voornamelijk in de staalproducerende industrie gebruikt. Deze zogeheten materiaal- of werkstofnummers (bijvoorbeeld 1.4307) worden in de bouw nauwelijks gebruikt.

Volgens het **alfanumerieke systeem** worden de verschillende staalsoorten aangeduid door een beginletter of hoofdsymbool **(tabel A.1)**. Constructiestaal bijvoorbeeld wordt dus aangeduid met de S van 'structural', en roestvast staal met de letter X. Na het hoofdsymbool volgen de voor die toepassing van belang zijnde kenmerken, die verderop kort worden toegelicht.

A.2 STAALSOORTEN

Om in de ontwerpfase te kunnen beoordelen welke staalsoort het beste geschikt is, moet behalve de sterkte en de stijfheid van het materiaal ook worden gelet op onder meer de bewerkbaarheid en de corrosiebestendigheid. In de volgende paragrafen zijn deze kenmerken kort samengevat voor de volgende staalsoorten:

- **constructiestaal;**
- **gietstaal;**
- **roestvast staal;**
- **weervast staal;**
- **gietijzer.**

A.2.1 Constructiestaal

In de bouw worden in hoofdzaak twee typen constructiestaal toegepast, namelijk:

- standaard constructiestaal;
- fijnkorrelig constructiestaal.

Fijnkorrelig constructiestaal is taaier dan standaard constructiestaal, waardoor het beter geschikt is voor constructiedelen die zeer zwaar belast worden, zoals kraanbanen. Het is ook beter lasbaar; dit is vooral van belang bij bruggen en andere constructies met veel laswerk.

Van beide typen constructiestaal bestaan meerdere soorten en kwaliteiten. Soorten worden onderscheiden op grond van sterkte (in N/mm^2). Van elke soort is er een aantal kwaliteiten leverbaar, afhankelijk van de toepassing. De kwaliteit komt onder meer tot uitdrukking in het opneembaar arbeidsvermogen (eenheid joule) van een proefstaafje bij een bepaalde temperatuur. Een codering in letters en/of cijfers geeft de kwaliteit aan.

Het onderscheid in kwaliteiten wordt gemaakt om overspecificatie te voorkomen en is met name van belang voor bijzondere toepassingen, zoals bruggen. De belangrijkste parameters voor de verlangde kwaliteit van constructiestaal zijn de omgevingstemperatuur waarin het wordt toegepast, de bestandheid tegen stootbelastingen en het ontstaan van kerven in het materiaal tijdens de bewerkingen die het moet ondergaan. Staal dat bijvoorbeeld wordt toegepast in een koelcel bij een temperatuur van –40 ˚C en tevens bestand moet zijn tegen een aanrijding door een heftruck, moet deze belasting wel kunnen weerstaan. Een extra hoge staalkwaliteit (bijvoorbeeld M) is dan nodig. Voor een stalen kolom in een kantoorgebouw bijvoorbeeld volstaat doorgaans een standaardkwaliteit JR of J0 **(tabel A.2)**.

Voor bijvoorbeeld standaard constructiestaal S355J0 be-

A.1 Voorbeelden van hoofdsymbolen in de alfanumerieke aanduiding van staalsoorten. Deze symbolen zijn zoveel mogelijk afgeleid van de toepassing.

hoofdsymbool	staalsoort	bouwkundige toepassing
B	betonstaal	betonwapening
GJ	gietijzer	divers
GS	gietstaal	divers
L	staal	transportleidingen
P	staal	drukvaten
S	constructiestaal	afbouw en constructies
S of W	weervast staal	afbouw en constructies
X	roestvast staal	afbouw en constructie
Y	voorspanstaal	constructie

A.2 Overzicht van de belangrijkste soorten en kwaliteiten van constructiestaal.

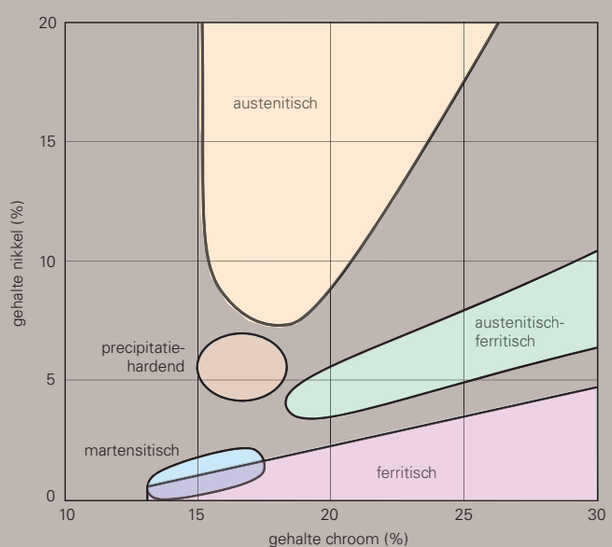
	standaard constructiestaal	fijnkorrelig constructiestaal
soorten	S185, S235, S275 en S355	S275, S355, S420, S460
kwaliteiten	JR, J0, J2, K2	N, NL, M, ML
aanduiding	bijv. staal EN 10025 - S235J0	bijv. staal EN 10113 - S420M
verkrijgbaarheid	gangbare gewalste producten	gangbare gewalste producten
normen	NEN-EN 10025[4]	NEN-EN 10113-1[5]

	GS200, GS240
verkrijgbaarheid	geschikt voor gietwerk met geringe afmetingen
normen	NEN-EN 10293[7]

A.4 Overzicht van de belangrijkste soorten gietstaal.

A.3 Constructiestaal: (detail) bruggebouw West over de Utrechtsebaan, Den Haag.

A.5 Gietstaal: sport- en recreatiecomplex De Houtzagerij, Den Haag. De oplegging van de stalen spanten op de betonnen kolommen (rechts) is een gietstuk.



A.6 Classificatie van soorten roestvast staal op basis van hun gehalte aan chroom en nikkel.

draagt de minimaal geëiste vloeigrens 355 N/mm^2 (van belang voor de sterkte) en is de kerfslagwaarde minimaal 27 J (aangeduid met de letter J) bij een beproevingstemperatuur 0 °C (aangeduid met het cijfer 0).
Standaard constructiestaal wordt in de verdiepingbouw veel toegepast voor draagconstructies van bijvoorbeeld kantoren **(afb. A.3)** en bedrijfsgebouwen. Fijnkorrelig constructiestaal is onder meer gebruikt voor de pyloon van de Erasmusbrug in Rotterdam en voor de waterkerende deur van de stormvloedkering (Maeslantkering) in de Nieuwe Waterweg.

A.2.2 Gietstaal

Gietstaal wordt verkregen door staal (meestal in de vorm van schroot) te smelten[6]. In tegenstelling tot constructiestaal heeft een constructiedeel van gietstaal, nadat het gegoten is, gelijk zijn definitieve vorm. Het gietstuk hoeft alleen nog te worden afgewerkt. De mechanische eigenschappen en bewerkingsmogelijkheden van gietstaal zijn vergelijkbaar met die van constructiestaal. Bij gietstaal bestaat geen nadere onderverdeling in kwaliteiten **(tabel A.4)**.
Van gietstaal worden vaak ‘ingewikkelde’ constructiedelen gemaakt, zoals knopen in een vakwerk[8] of bijzondere opleggingen **(afb. A.5)**. Gieten van dergelijke onderdelen is vaak voordeliger dan lassen vanwege de hoge laskosten. Bovendien biedt gieten de ontwerper de mogelijkheid de vormgeving te optimaliseren.

A.2.3 Roestvast staal

IJzerlegeringen met een laag koolstofgehalte (minder dan 1,2%) die bovendien voor meer dan 10,5% uit chroom bestaan, worden roestvast staal genoemd[9-12]. Door het toevoegen van chroom ontstaat er op het staaloppervlak een zeer dunne laag corrosieproducten die het onderliggende materiaal afschermt van de omgeving, waardoor het corrosieproces stopt. Net als bij koper en aluminium wordt er een zogeheten passiverende laag of patina gevormd.
Door het toevoegen van chroom aan het vloeibare staal ver-

	alfanumeriek	werkstofnummer	AISI
aanduiding	X5CrNi18-10	1.4301	304
	X2CrNi19-11	1.4306	304L
	X6CrNiTi18–10	1.4541	321
	X5CrNiMo17-12-2	1.4401	316
	X2CrNiMo17-12-2	1.4404	316L
	X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	316Ti
aanduiding volgens	NEN-EN 10027-1[2]	NEN-EN 10027-2[3]	AISI
verkrijgbaarheid	in de vorm van profielen, plaat, strip en kleine buizen		
normen	NEN-EN 10088-1[13]		

A.7 Overzicht van enkele soorten austenitisch roestvast staal.

A.8 Roestvast staal: gevel van Fashion Garden: één van de gebouwen van het World Fashion Centre, Amsterdam.

andert ook de kristalstructuur. De eigenschappen van roestvast staal hangen af van het percentage chroom en andere legeringselementen. Er bestaan daarom talloze soorten roestvast staal. Deze soorten zijn te verdelen in vijf hoofdgroepen, afhankelijk van het percentage chroom en nikkel **(afb. A.6)**:

- ferritisch;
- martensitisch;
- austenitisch;
- duplex (gemengd austenitisch/ferritisch);
- precipitatiehardend (na warmtebehandeling).

In de bouw wordt voornamelijk austenitisch roestvast staal toegepast, omdat de corrosiebestendigheid hiervan beter is dan die van ferritisch en martensitisch roestvast staal.
De verwerkbaarheid van austenitisch roestvast staal is vergelijkbaar met dat van constructiestaal: het is redelijk goed lasbaar en ook bij lage temperaturen taai. Let er wel op dat bij koudvervormen de roestbestendigheid sterk afneemt. Austenitisch roestvast staal is gemakkelijk van constructiestaal te onderscheiden, omdat het niet magnetisch is.
In Nederland worden voor roestvast staal drie aanduidingen gebruikt: naast het alfanumerieke en het numerieke systeem bestaat er ook het systeem volgens het American Iron and Steel Institute (AISI) **(tabel A.7)**.
Het alfanumerieke systeem begint met de letter X, gevolgd door een getal dat overeenkomt met honderd maal het gemiddelde koolstofgehalte. Daarna volgen de chemische symbolen van de legeringselementen (in afnemende volgorde) en tenslotte het gemiddelde gehalte (in volumeprocenten) van deze legeringselementen, elk gescheiden door een koppelstreepje.
Chroomnikkelstaal, zoals AISI 304, wordt in de bouw gebruikt voor onder meer kozijnen, trapleuningen, luifels en als gevelbekleding in een gematigd klimaat. Enkele procenten molybdeen (Mo) maken austenitisch roestvast staal bestand tegen agressieve omgevingen zoals zeewater. Chroomnikkelmolybdeenstaal, zoals AISI 316, wordt daarom steeds meer toegepast. De toevoeging L in de AISI-aanduiding betekent dat er minder dan 0,03% koolstof in het materiaal zit. Dit komt de lasbaarheid ten goede.
De toepassing van roestvast staal voor constructieve toepassingen in Nederland is (nog) beperkt. Het materiaal wordt wel veel gebruikt voor afbouwdoeleinden **(afb. A.8)**.

A.2.4 Weervast staal

Weervast staal heeft een iets hoger percentage koper (0,2 tot 0,5% Cu) dan constructiestaal. Hierdoor vormt zich een dichte, roodbruine roestlaag die de corrosie aanzienlijk (of soms helemaal) vertraagt. Weervast staal corrodeert dus wel, maar de voortgang is zo gering dat het aanbrengen van een conservering vaak overbodig is. Weervast staal **(tabel A.9)** wordt ook wel aangeduid als weerbestendig staal óf met de merknaam Cor-Ten staal[14-15]. De verwerkbaarheid van weervast staal is gelijk aan die van constructiestaal.
Weervast staal is door de beperkte vraag tot nog toe uitsluitend in de vorm van plaat leverbaar. In Nederland is weervast staal in de jaren zeventig van de vorige eeuw regelmatig toegepast voor gevelbekledingen en voor de constructie van gebouwen en bruggen. De laatste jaren wordt het weer meer gebruikt in gevels en voor kleine constructies vanwege de fraaie bruine kleur én omdat het onderhoudsvrij is **(afb. A.10)**.
De ontwerper moet er rekening mee houden dat er de eerste jaren bij regen roestdeeltjes van het materiaal kunnen afspoelen. Het aanbrengen van een grindstrook op de begane grond onder een gevelbeplating van weervast staal is bijvoorbeeld een veel toegepaste maatregel.

soorten	S235, S355
kwaliteiten	J0, J2, K2
aanduiding	bijv. staal EN 10155-S235J2W
verkrijgbaarheid	in de vorm van plaat
normen	NEN-EN 10155[16]

A.9 Overzicht van de belangrijkste soorten weervast staal.

A.10 Weervast staal: gevel van het RVU-gebouw, Hilversum.

	smeedbaar gietijzer	nodulair gietijzer
soorten	GJMW 350-4, 400-5,	GJS 400-18, 500-7, 450-7, 550-4 600-3, 700-2
verkrijgbaarheid normen	gegoten vormgeving NEN-EN 1562[18]	gegoten vormgeving NEN-EN 1563[19]

A.11 Overzicht van de belangrijkste soorten gietijzer.

A.2.5 Gietijzer

Gietijzer is voor gegoten vormgeving zeer geschikt, omdat het materiaal nauwelijks krimpt en de giettemperatuur relatief laag is. In de bouw wordt voornamelijk smeedbaar en nodulair gietijzer toegepast: deze soorten kunnen namelijk aanzienlijke trekspanningen opnemen. Smeedbaar gietijzer heeft een laag koolstofgehalte.

Om de eigenschappen van gietijzer te verbeteren kunnen ook legeringselementen worden toegevoegd. Hierdoor bestaat er voor bijna elke constructieve opgave wel een geschikte soort gietijzer. De aanduiding van gietijzer is genormeerd in NEN-EN 1560[17] **(tabel A.11)**.

De verwerkbaarheid hangt af van de toegepaste soort en van het gehalte aan legeringselementen.

Er bestaan in Nederland een groot aantal ijzergieterijen (ook voor roestvast staal!). Een overzicht staat in de *Gids Staalbouw*[20]. Voor het maken van grote gietstukken moet meestal worden uitgeweken naar andere landen binnen Europa.

Gietijzer wordt in Nederland voornamelijk toegepast voor knooppunten in verbindingen. Door zijn hardheid en vormgevingsvrijheid wordt het soms ook toegepast als gevelbekleding **(afb. A.12)**.

A.3 EIGENSCHAPPEN

Afhankelijk van de toepassing zijn één of meer materiaaleigenschappen van belang **(tabel A.13)**. Per eigenschap wordt kort besproken op welke wijze de materiaaleigenschappen worden bepaald en hoe de verschillende soorten staal, gietstaal en gietijzer presteren. Het boek *Materiaalkunde voor technici*[21] gaat dieper in op dit onderwerp.

A.3.1 Mechanische eigenschappen

Om de *sterkte* en de *stijfheid* (vervorming) van constructies en constructiedelen te kunnen voorspellen, is kennis van de mechanische eigenschappen van materialen van wezenlijk belang. Dit is nodig, omdat gebruikers verwachten dat een constructie gedurende een zeer lange tijd betrouwbaar kan worden gebruikt. De *taaiheid* zegt iets over de veiligheid: een constructie mag namelijk bij een calamiteit niet direct bezwijken, zodat de gebruikers altijd de gelegenheid hebben tot ontvluchten. De *vermoeiingssterkte* geeft informatie over het gedrag onder zeer wisselende belastingen die bijvoorbeeld optreden bij bruggen of in windgevoelige bouwwerken (torens en masten).

Voor wat betreft de sterkte wordt een onderscheid gemaakt tussen de druksterkte en de treksterkte. Weliswaar reageert staal, en in mindere mate gietijzer, bij een belasting op druk vergelijkbaar aan een belasting op trek, maar bij andere materialen is dit niet het geval. Aangezien staal vanaf de vroegste toepassing vooral werd gebruikt vanwege zijn treksterkte, wordt de sterkte van staal nog altijd hieraan gerelateerd.

De sterkte van een staalsoort wordt bepaald door kleine proefstaven te belasten in een trekproef. Het resultaat is het zogeheten σ/ε- of spanning/rek-diagram. Dit diagram heet ook wel de trekkromme en is geschematiseerd in **afbeelding A.14.**

Tot nu toe zijn de eigenschappen van (giet)staal en gietijzer besproken zoals die gelden bij normale omgevingstemperaturen **(tabel A.15)**. Maar bouwmaterialen kunnen ook aan extreme temperaturen worden blootgesteld, zoals bij brand. Daarbij moet rekening worden gehouden dat een aantal eigenschappen van staal negatief worden beïnvloed door hoge temperaturen, zie hiervoor hoofdstuk 6 (Brandveiligheid).

A.3.2 Productietechnische eigenschappen

Om van de halfproducten – zoals profielen, staven en platen – constructiedelen te maken, moeten deze producten worden bewerkt. Het is daarbij van belang te weten welke bewerkingen op de verschillende soorten (giet)staal en gietijzer zijn uit te voeren. Productietechnische of technologische eigenschappen staan (deels) beschreven in NEN-EN 10025[4], de bewerkingen komen beknopt aan de orde in bijlage B (Fabricage). Het gaat hierbij om de volgende eigenschappen:

- lasbaarheid;
- verspaanbaarheid;
- gietbaarheid;
- omvormbaarheid.
- lasbaarheid.

• **Lassen** is het onder hoge temperatuur of druk verbinden van materiaal. Hierbij is niet alleen de keuze van het lasproces

A.12 Gietijzer: gevels van kantoorgebouw Lovink, Terborg.

mechanisch	productietechnisch	fysisch	chemisch
sterkte	lasbaarheid	thermisch gedrag	corrosievastheid
stijfheid	verspaanbaarheid	soortelijke massa	duurzaamheid
taaiheid	gietbaarheid	(milieu) geluid	
vermoeiingssterkte	omvormbaarheid	hygrisch gedrag	

A.13 Overzicht van de eigenschappen van staal, gietstaal en gietijzer die relevant zijn voor de bouw.

van belang, maar ook die van het basismateriaal. Alle soorten staal en gietstaal zijn lasbaar, gietijzer in het algemeen niet.

• **Verspaanbaarheid** Verspanen is het 'wegsnijden' van materiaal, bijvoorbeeld door boren, schaven, slijpen, zagen of door kotteren. Staal is goed te verspanen; er zijn zelfs soorten waarvan de chemische samenstelling hierop is afgestemd. Nodulair gietijzer is even goed verspaanbaar als staal; smeedbaar gietijzer is alleen in de 'zachtere' uitvoeringen te verspanen.

• **Gietbaarheid** Gieten is het smelten, in een mal gieten en vervolgens laten stollen van materiaal. 'Vloeibare vormgeving' is mogelijk met gietijzer, met gietstaal en met sommige soorten roestvast staal. Gietijzer heeft een lagere smelttemperatuur dan gietstaal en is daardoor gemakkelijker te gieten.

• **Omvormbaarheid** Omvormen is het 'kneden' van het materiaal, bijvoorbeeld door smeden, buigwalsen, rolvormen en zetten. In het algemeen is de omvormbaarheid van staal beter dan van gietijzer.

A.3.3 Fysische eigenschappen

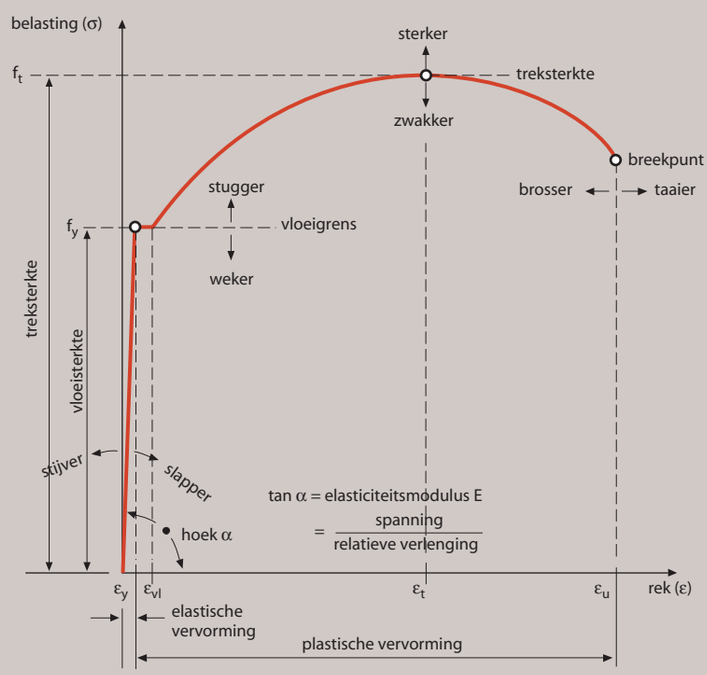
• De *warmtegeleidingscoëfficiënt* van (giet)staal en van gietijzer is hoog. Daarom worden beide metalen nooit toegepast voor warmte-isolatie. Roestvast staal heeft een beduidend lagere warmtegeleidingscoëfficiënt dan constructiestaal: voor austenitisch roestvast staal bijvoorbeeld is de waarde nog maar een kwart van die van constructiestaal. De lineaire uitzettingscoëfficiënt van staal en gietijzer bedraagt ongeveer $12 \cdot 10^{-6}\ K^{-1}$.

• De *soortelijke massa* van staal is ongeveer 7850 kg/m^3. Gietijzer is lichter: ongeveer 7200 kg/m^3. De soortelijke massa van roestvast staal varieert van 7600 tot 8200 kg/m^3.

• De *akoestische eigenschappen* van (giet)staal en gietijzer zijn voor bouwkundige toepassingen weinig relevant. Staal wordt in combinatie met andere materialen wel toegepast in geluidisolerende constructies. Staalplaat wordt ook gebruikt voor paneelresonatoren om een bijdrage te leveren aan de geluidsabsorptie in het laagfrequente gebied (125 Hz).

• *Hygrisch gedrag.* Voor bouwkundige toepassingen kan staalplaat als ondoordringbaar voor waterdamp worden beschouwd.

f_y = vloeigrens
f_t = treksterkte
ε_y = vloeirek
ε_t = rek behorende bij de treksterkte f_t
ε_{vl} = rek aan het einde van het vloeitraject
ε_u = rek na breuk



A.14 Geschematiseerde trekkromme van staal.

	soort	elasticiteits-modulus (N/mm^2)	vloeigrens of 0,2%-rekgrens (N/mm^2)
standaard constructiestaal	S235 S275 S355	$2{,}1 \cdot 10^5$	235 275 355
fijnkorrelig constructiestaal	S275M S355M S420M S460M	$2{,}1 \cdot 10^5$	275 355 420 460
roestvast staal	304 304 L 316 316 L 329 (duplex staal)	$\sim 2{,}0 \cdot 10^5$	195 180 205 190 490
gietstaal	GS200 GS240	$\sim 2{,}0 \cdot 10^5$	200 240
nodulair gietijzer	GJS 400-18 GJS 500-7 GJS 600-3 GJS 700-2	$1{,}65 \cdot 10^5$	250 320 370 420
smeedbaar gietijzer	GJMW 400-5 GJMW 450-7 GJMW 550-4	–	220 260 340

A.15 Mechanische eigenschappen van een aantal soorten staal, gietstaal

A.3.4 Chemische eigenschappen

Van de chemische eigenschappen komt hier alleen de corrosievastheid aan de orde. Staal corrodeert; ijzeratomen binden zich aan water en zuurstof uit de lucht. Er vormt zich ijzeroxide: een poreus, roestbruin materiaal. In feite keren staal en gietijzer daarmee terug tot de vorm waarin ze in de natuur worden aangetroffen (ertsen). Alle metalen corroderen, maar edele metalen (zoals goud) doen dat minder snel dan onedele (zoals ijzer).

Bij constructiestaal sluit de oxidelaag het onderliggende materiaal niet van de omgeving af. Daardoor blijft constructiestaal onder ongunstige omstandigheden corroderen. Gietijzer corrodeert minder snel dan staal vanwege het hogere koolstofgehalte.

Er zijn ook metalen – zoals aluminium, chroom, roestvast staal en in principe ook weervast staal – waarvan het oxide hard en ondoordringbaar is. Een dun laagje corrosieproducten schermt het eronder gelegen materiaal af van de omgeving, waardoor de corrosie stopt.

A.4 KIEZEN

Wanneer in het ontwerpproces het materiaal voor de draagconstructie moet worden bepaald, is de keuze meestal: staal, gewapend beton, hout of metselwerk, of een combinatie hiervan.

Meer in het algemeen – maar zeker voor specifieke constructiedelen en voor afbouwmaterialen – moet de ontwerper altijd bepalen welk staal hij kiest. Of een bouwdeel gemaakt moet worden van constructiestaal, roestvast, weervast staal, gietstaal of gietijzer moet in principe zo laat mogelijk in het voorbereidingsproces worden genomen. Naarmate er meer informatie beschikbaar is kan er immers op basis van betere uitgangpunten en informatie worden gekozen.

Gezien de belangrijke verschillen met betrekking tot het uiterlijk is dit aspect veelal bij de keuze doorslaggevend. De keuze ligt in handen van de opdrachtgever, architect en constructeur, vaak bijgestaan door een kostendeskundige.

Wanneer er met betrekking tot het uiterlijk geen wensen zijn, dan kan de materiaalkeuze worden overgelaten aan de constructeur. Deze kan op basis van benodigde sterkte, lasbaarheid en kosten tot een keuze komen. Indien dit niet leidt tot een significante voorkeur, dan kan de materiaalkeuze worden overgelaten aan het staalconstructiebedrijf dat het werk uitvoert. De constructeur dient dan in het bestek wel een prestatiespecificatie op te nemen op basis waarvan het staalconstructiebedrijf tot een keuze kan komen.

Welke specifieke soort of kwaliteit wordt gekozen, hangt van vele factoren af. Daarbij spelen – naast de eerder genoemde zaken als sterkte, lasbaarheid en kosten – onder meer de volgende vragen een rol:

- Wat is de gewenste levensduur van de constructie?
- Hoe corrosief is de omgeving waarin de constructie staat of waarin het afbouwmateriaal wordt toegepast?
- Is de constructie of het bouwdeel gemakkelijk te onderhouden en welk budget is er beschikbaar voor onderhoud?
- Welke esthetische eisen worden aan het materiaal of bouwdeel gesteld?
- Hoe groot is het constructiedeel gelet op de mogelijkheden om het te kunnen conserveren (bijvoorbeeld de maximale afmetingen van een zinkbad).
- Wat is de seriegrootte van het constructiedeel in verband met de keuze voor lassen of het toepassen van gietstaal of gietijzer.

Architect, constructeur en bouwkostendeskundige bepalen vaak de keuze van het materiaal. Meestal heeft ‘gewoon’ constructiestaal de voorkeur vanwege de prijs. Vervolgens wordt gekeken of hiermee aan alle eisen wordt voldaan óf dat er naar alternatieven moet worden gezocht. Onbeschermd constructiestaal voldoet bijvoorbeeld niet in een matig agressief buitenklimaat bij een gewenste levensduur van vijfenzeventig jaar **(zie ook afb. 7.1)**.

Wanneer er geen hoge esthetische eis gelden, kan worden gekozen voor weervast staal óf om het constructiestaal te

conserveren. Wanneer er wél esthetische eisen gelden, kan roestvast staal uitkomst bieden, zeker ook wanneer het onderhoud lastig is. En in het geval een bepaald identiek (complex) constructiedeel (bijvoorbeeld een knooppunt) meerdere keren voorkomt, kan de keuze vallen op gietijzer of gietstaal om op laskosten te besparen.

Zodra het materiaal bekend is, komt de keuze van de soort aan de orde, afhankelijk van de mechanische, productietechnische, fysische en chemische materiaaleigenschappen. De keuze van de staalsoort is de verantwoordelijkheid van de constructeur; de keuze van de staalkwaliteit behoort doorgaans tot de verantwoordelijkheid van het staalconstructiebedrijf.

A.5 BESTEKSOMSCHRIJVING

Wanneer uiteindelijk het staal is gekozen, wordt de soort en de kwaliteit via het bestek aan de leverancier kenbaar gemaakt. Hierbij volstaat het niet om te vermelden dat een bepaald constructiedeel van bijvoorbeeld roestvast staal moet worden gemaakt. Een dergelijke beschrijving is vaak de bron van veel ellende. Van elk constructiedeel moet éénduidig worden aangegeven van welke staalsoort en kwaliteit het moet worden geproduceerd.

Bij constructiedelen die 'in het zicht' blijft verdient het aanbeveling om de eisen aan de oppervlaktegesteldheid van het staal expliciet in het bestek te vermelden.

NEN-EN 10163[22] geeft eisen waaraan een oppervlak van onbehandeld, warmgewalst constructiestaal minimaal moet voldoen. In deze norm is vastgelegd welke onregelmatigheden van het oppervlak met het blote oog zijn toegestaan. Daarbij moet worden gedacht aan overwalsingen, walsindrukkingen, krassen, groeven en schubben. Tevens is vastgelegd hoe diep deze onregelmatigheden mogen zijn en in welk aantal ze mogen voorkomen. Ook regelt de norm hoeveel en tot welke diepte de niet-toegestane onregelmatigheden moeten worden uitgeslepen en/of ingelast.

NEN-EN 10163 stelt echter geen esthetische eisen aan het staaloppervlak. Putjes en oneffenheden die in het oppervlak aanwezig zijn kunnen dus op basis van deze norm zijn toegestaan. Wanneer er ná het conserveren een volkomen glad oppervlak is vereist, is een aparte tussenbehandeling nodig, bijvoorbeeld plamuren. Deze tussenbehandeling moet dan wel binnen het project worden begroot en in het bestek worden vermeld.

Het bestek moet ook vermelden welke keuringsdocumenten – in de staalhandel aangeduid met 'certificaat' – door de leveranciers moeten worden overlegd. Een certificaat wordt door de verkoper afgegeven in opdracht van de koper en beschrijft de staalsoort en de staalkwaliteit van het materiaal. Certificaten zijn echter uitsluitend nodig wanneer er een andere dan de minimaal leverbare kwaliteit wordt gevraagd. NEN-EN 10021[23] en NEN-EN 10204[24] geven aan welke documenten en specificaties bij de levering van met name staal kunnen worden gevraagd.

Literatuur

1. J. de Boer, 'Benaming constructiestaal', *Bouwen met Staal* 125 (1995), p. 7-9.
2. *NEN-EN 10027-1* (Systemen voor het aanduiden van staalsoorten. Deel 1. Aanduiden met symbolen), 2001 (ontw.).
3. *NEN-EN 10027-2* (Systemen voor het aanduiden van staalsoorten. Deel 2. Numeriek systeem), 1993.
4. *NEN-EN 10025-1* (Warmgewalste producten van ongelegeerd constructiestaal. Deel 1. Technische leveringsvoorwaarden), 2000 (2e ontw.).
5. *NEN-EN 10113-1* (Warmgewalste produkten van lasbaar fijnkorrelig constructiestaal. Deel 1. Algemene leveringsvoorwaarden), 1993.
6. M.C.M. van Maarschalkerwaart, 'Gieten goed alternatief', *Bouwen met Staal* 129 (1996), p. 30-34. Artikel over gietijzer en gietstaal.
7. *NEN-EN 10293* (Gietstaal voor algemeen technisch gebruik), 2002 (2e ontw.).
8. J.C. Horsting en C. Schreuders, 'Grote repetitie maakt gietstalen knopen goedkoop', *Bouwen met Staal* 153 (2000), p. 36-40.
9. M.G. Krüse en R. Abspoel, 'Roestvast staal in kaart gebracht', *Bouwen met Staal* 150 (1999), p. 50-55.
10. *Ontwerpen in roestvast staal*, uitgave Bouwen met Staal, Rotterdam 2001. Algemene brochure over roestvast staal en zijn toepassingen.
11. *Onderhoud van roestvast staal*, uitgave NCC, Den Bosch 2001. Brochure over het onderhoud van roestvast staal.
12. *Bouwen met roestvast staal*, uitgave SBR, Rotterdam 2001. Brochure over detailleren, montage en onderhoud van roestvast staal.
13. *NEN-EN 10088-1* (Corrosievaste staalsoorten. Deel 1. Lijst van corrosievaste staalsoorten), 2001 (ontw.).
14. W.H. Verburg, 'Verroest mooi', *Bouwen met Staal* 166 (2002), p. 40-46. Artikel over weervast staal.
15. *Cor-ten façades*, uitgave Rautaruukki, Helsinki 2001. Te bestellen bij Bouwen met Staal.
16. *NEN-EN 10155* (Weervast constructiestaal. Technische leveringsvoorwaarden), 1993.
17. *NEN-EN 1560* (Gieterijtechniek. Aanduidingssysteem voor gietijzer. Materiaalsymbolen en -nummers), 1997.
18. *NEN-EN 1562* (Gieterijtechniek. Smeedbaar gietijzer), 1997.
19. *NEN-EN 1563* (Gieterijtechniek. Nodulair gietijzer), 1997 + A1, 2002.
20. C.H. van Eldik (samenst.), *Gids Staalbouw 2003-2004*, uitgave Bouwen met Staal, Rotterdam 2003. De tweede editie verschijnt medio 2005.
21. K.G. Budinski en M.R. Budinsky (bewerkt door M. Kooijman en M. Pallada), *Materiaalkunde voor technici*, Schoonhoven 1999.
22. *NEN-EN 10163* (Leveringsvoorwaarden voor de oppervlaktegesteldheid van warmgewalste platen, plaatstroken en profielen van staal) (3 delen), 2002 (ontw.).
23. *NEN-EN 10021* (Algemene technische leveringsvoorwaarden voor staal en staalproducten), 2002 (ontw.).
24. *NEN-EN 10204* (Metalen. Soorten keuringsdocumenten), 2000 (ontw.).

BFABRICAGE

Met de halffabrikaten die uit walserij komen – met name platen en profielen – kan niet direct een staalconstructie voor een verdiepinggebouw worden gemaakt. De platen en profielen moeten namelijk eerst worden bewerkt, bijvoorbeeld door snijden, boren en lassen. In de staalbouw heet het uitvoeren van deze bewerkingen fabriceren. De fabricage wordt uitgevoerd door staalconstructiebedrijven. Deze bedrijven werken aan de hand van de informatie die de opdrachtgever ter beschikking stelt via bestek en tekeningen.

In deze bijlage wordt kort ingegaan op de wijze waarop het ontwerp van een staalconstructie tot stand komt. Centraal staan de mogelijkheden om halffabrikaten vorm te geven. De meest toegepaste bewerkingen komen ter sprake aan de hand van enkele productieroutes.

B.1 VAN CONSTRUCTIEF ONTWERP NAAR WERKTEKENING

Een ontwerp voor een verdiepinggebouw ontstaat veelal op basis van een schets van de architect **(afb. B.1)**. Deze schets maakt duidelijk op welke wijze de wens van de opdrachtgever vorm krijgt. Wanneer het concept de opdrachtgever bevalt, dan wordt het ontwerp uitgewerkt tot een voorlopig ontwerp. Voorwaarden zijn dat het schetsontwerp ook constructief uitvoerbaar is en dat het gebouw binnen het budget van de opdrachtgever past. Het voorlopig ontwerp wordt weer aan de uitgangspunten getoetst en zonodig bijgesteld. Vervolgens kunnen de bestektekeningen worden gemaakt en het bestek geschreven.

Wanneer er bij het ontwerp van de hoofddraagconstructie voor een staalconstructie is gekozen **(afb. B.2)**, vraagt meestal de aannemer aan staalconstructiebedrijven een offerte op basis van het bestek en tekeningen voor het leveren en monteren van de staalconstructie. Voor de levering en montage van metalen gevels en daken worden meestal andere, gespecialiseerde bedrijven gevraagd.

Van de draagconstructie zijn in deze fase van het bouwproces uitsluitend de hoofdzaken bekend:

- welke staalprofielen worden toegepast;
- welk type verbindingen moeten worden gemaakt;
- welke conservering is gewenst.

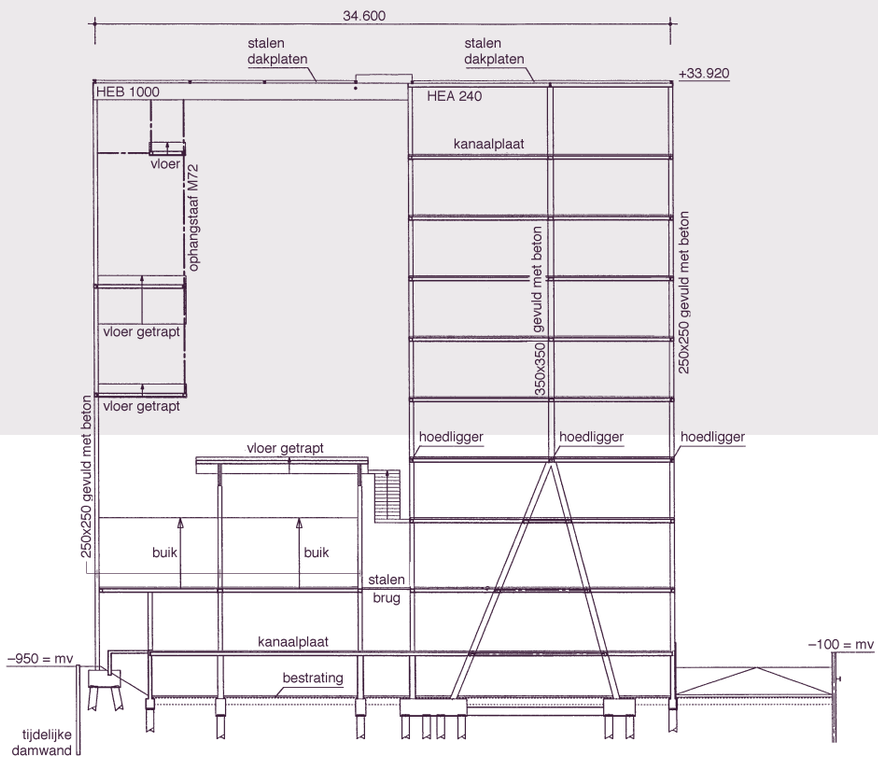
Op basis van deze gegevens maakt het staalconstructiebedrijf de offerte. Hoewel de hoofdzaken van de te bouwen staalconstructie nu bekend zijn, moet het staalconstructiebedrijf nog het nodige weten en uitzoeken om na gunning de staalconstructie te kunnen leveren. Daarvoor moet precies bekend zijn:

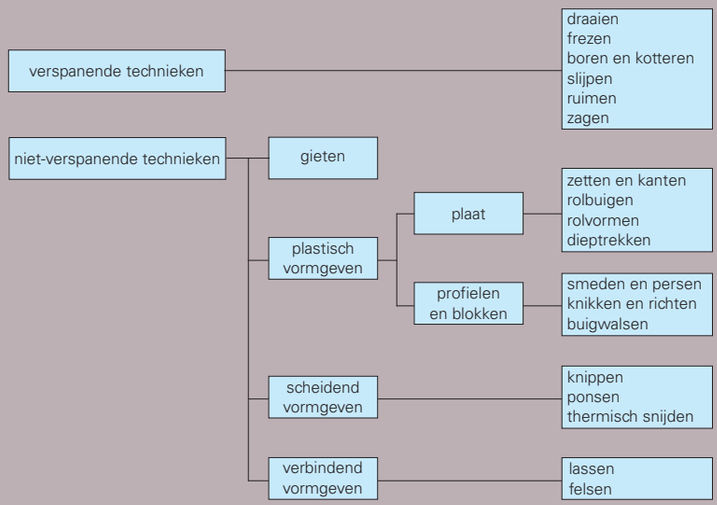
- welke halffabrikaten worden er toegepast en wat zijn de afmetingen hiervan;
- hoe zijn de verbindingen gedetailleerd en welke verbindingsmiddelen zijn er nodig;
- op welke wijze worden de afzonderlijke delen van de staalconstructie geconserveerd en samengesteld;
- op welke wijze worden de delen naar de bouwplaats getransporteerd en gemonteerd.

Om de fabricage op een overzichtelijke manier uit te kunnen voeren, wordt er van elk uniek onderdeel een afzonderlijke tekening gemaakt. Deze onderdelen worden aangeduid met een zogeheten posnummer (positienummer). Andere tekeningen geven aan hoe deze onderdelen zijn samen te stellen tot constructiedelen. Tenslotte zijn er nog tekeningen waarop staat aangegeven hoe de staalconstructie moet worden gemonteerd.

B.1 Schetsontwerp en eindresultaat van de Inholland Hogeschool, Rotterdam.

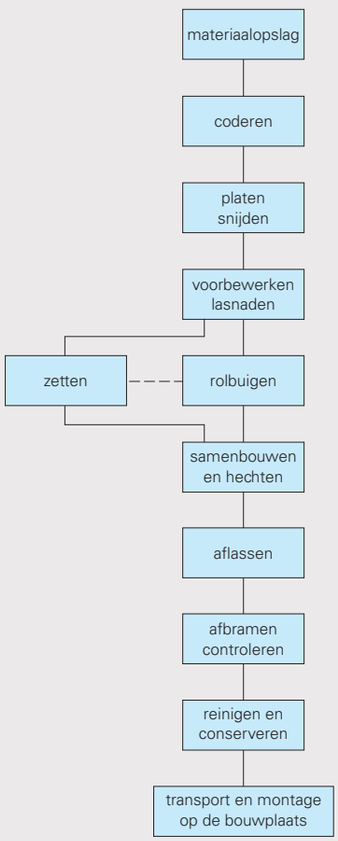
B.2 Constructief ontwerp van de draagconstructie van de Inholland Hogeschool, Rotterdam.



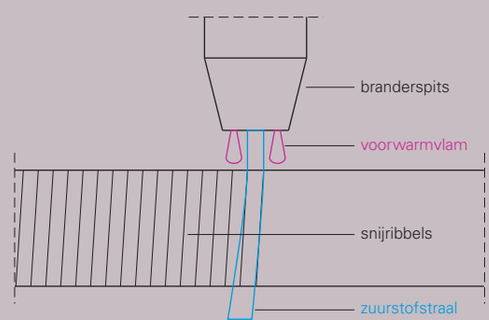


B.3 Technieken voor vervormen en bewerken.

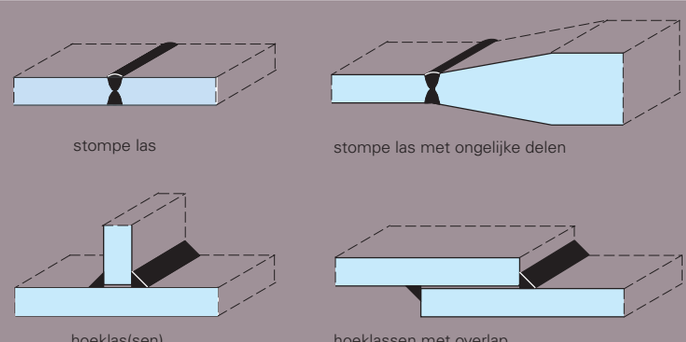
B.4 De 'tafelconstructie' van het nieuwe ING-hoofdkantoor in Amsterdam bestaat voor een groot gedeelte uit gelaste profielen.



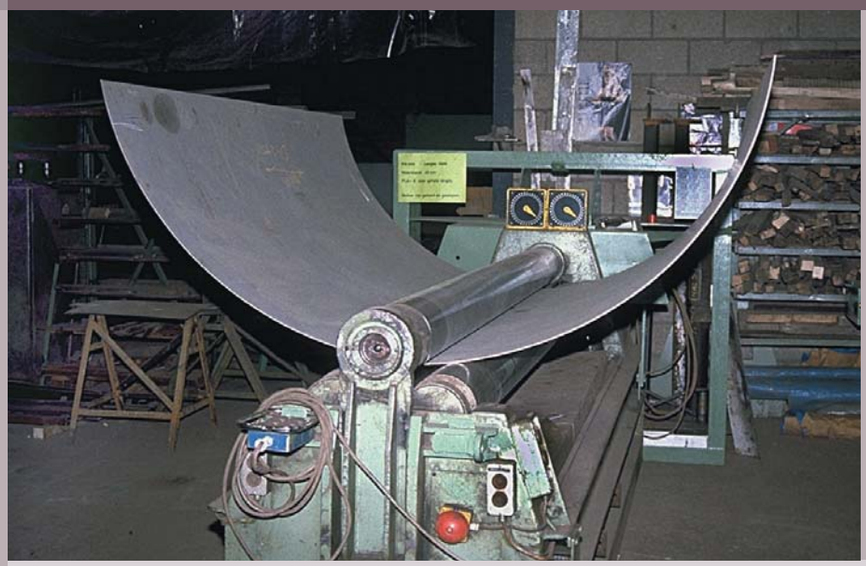
B.5 Productiegang van een constructie uit plaatmateriaal.



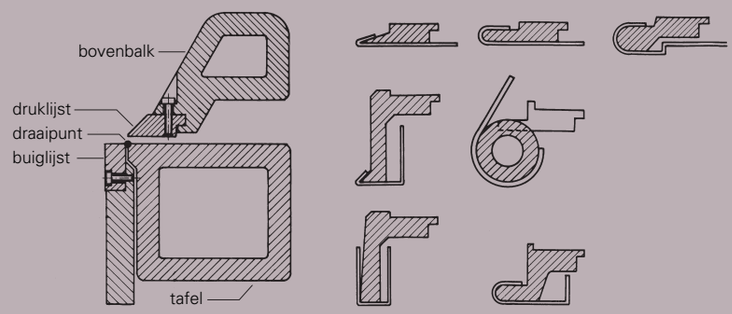
B.6. Proces van autogeen snijden.



B.7 Lasverbindingen.



B.8 Rolbuigen van een plaat.



B.9 Met verschillende vormen van de druklijst zijn verschillende zetpatronen te maken.

B.2 TECHNIEKEN VOOR BEWERKEN EN VERVORMEN

Er zijn tientallen technieken beschikbaar om onderdelen voor een staalconstructie vorm te geven **(afb. B.3)**. Verspanende technieken bijvoorbeeld zijn bewerkingen waarbij het product vorm krijgt door het verwijderen van kleine deeltjes materiaal. Bij de niet-verspanende technieken wordt er geen materiaal weggenomen, maar verandert de vorm van het materiaal.
Bij de bespreking van de technieken voor vervormen en bewerken wordt er geen onderscheid gemaakt naar de verschillende staalsoorten.

B.3 VAN PLAAT TOT LIGGER OF KOLOM

In constructies voor verdiepinggebouwen worden platen voornamelijk gebruikt voor het maken van gelaste liggers (geïntegreerde liggers en plaatliggers) en gelaste kolommen **(afb. B.4)**. De fabricage van uit platen samengestelde constructies begint met het maken van de werktekeningen. Hierop staat aangegeven welke halffabrikaten zijn toegepast (zoals materiaaldikte en staalsoort) en welke vorm deze hebben. Zodra deze informatie bekend is, kan de fabricage starten **(afb. B.5)**.

B.3.1 Coderen

De eerste bewerking die de aangevoerde plaat ondergaat is het coderen. Op de werktekeningen geven de posnummers de verschillende onderdelen aan. De nummers moeten op de te fabriceren onderdelen worden overgebracht. Vaak maakt men gebruikt van stickers met een streepjescode.

B.3.2 Platen snijden

Platen worden meestal met een thermisch snijproces vormgegeven. Hierbij komt de snede tot stand via warmte. De plaat wordt eerst lokaal verhit totdat het roodgloeiend is. Dit gebeurt met de voorwarmvlam **(afb. B.6)**. Hierna komt het materiaal in contact met een straal zuurstof die het staal doet smelten en verbranden. De warmte die hierbij vrijkomt verwarmt het materiaal vóór de snede. Wanneer het snijden op gang is, wordt de voorwarmvlam uitgeschakeld.
De snijtechnieken verschillen op grond van productiesnelheid, maatnauwkeurigheid en de kwaliteit van de snede. De beschikbare apparatuur is dan ook divers en varieert van een eenvoudige handsnijbrander tot geavanceerde computergestuurde machines. In de praktijk wordt het proces van autogeen snijden het meeste toegepast. Andere snijprocessen zijn beschreven in de literatuur. Autogeen snijden is uitsluitend geschikt voor ongelegeerd of laaggelegeerd staal. De snijvoeg die hierbij ontstaat is niet glad, maar bestaat uit snijribbels.

B.3.3 Voorbewerken lasnaad

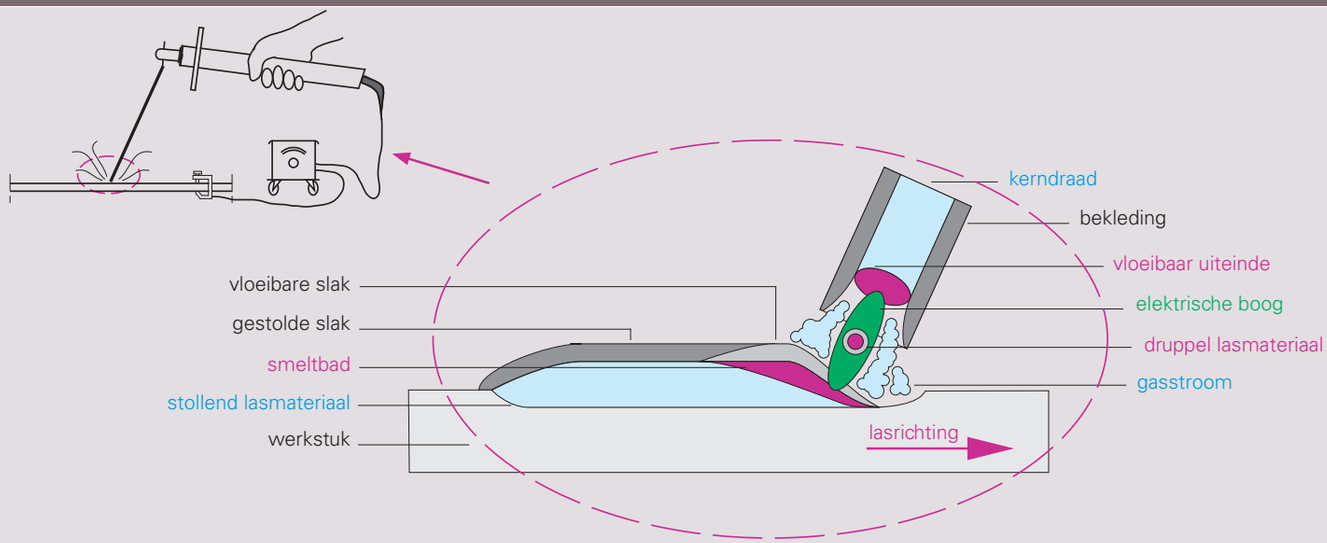
De afzonderlijke platen worden met lassen aan elkaar verbonden. Een las waarbij de platen over de gehele dikte zijn samengesmolten heet een stompe las. Om twee plaatdelen die in hetzelfde vlak liggen volledig samen te smelten, moeten de zijkanten van de platen worden afgeschuind (voorbewerkt). Bij hoeklassen of lassen met overlap is voorbewerking van de lasnaad niet nodig **(afb. B.7)**.

B.3.4 Rolbuigen

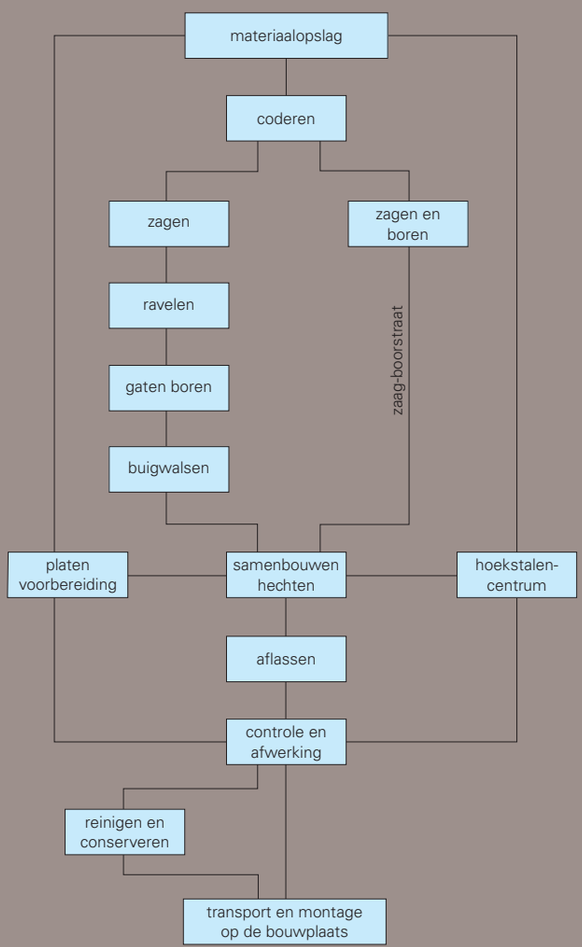
Met rolbuigen kunnen uit platen bijvoorbeeld cirkelsegmenten of segmenten voor kegelvormige kolommen worden gewalst **(afb. B.8)**.

B.3.5 Zetten

Zetten is de machinale uitvoering van het handmatig buigen van een plaat in een bankschroef. Een zetbank bestaat uit een tafel waar de plaat op ligt, een drukbalk die de plaat vasthoudt en een buigbalk die de plaat vervormt. De drukbalk heeft verwisselbare delen. Met deze zogeheten druklijsten zijn veel zetvormen mogelijk **(afb. B.9)**. De zettechniek is geschikt voor plaat tot een dikte van ongeveer 10 mm. De beperkingen hangen af van de staalsoort (vloeigrens) en van de capaciteit van de zetbank.



B.10 Lassen met beklede elektrode.



B.11 Voorbeeld van een productielijn van een staalconstructiebedrijf.

B.3.6 Samenbouwen en aflassen

Nadat de plaatdelen zijn gevormd, kan de constructie worden samengesteld. Pas dan wordt duidelijk of de plaatdelen de juiste vorm hebben en of de delen precies passen.

Lassen is een verbindingstechniek waarbij een continue metallische overgang wordt verkregen tussen twee te verbinden delen. Er bestaan verschillende lastechnieken zoals lassen met beklede elektrode, MIG/MAG-lassen en onder poederdek lassen. Lassen met beklede elektrode wordt in de staalconstructiebranche het meeste toegepast.

Bij elektrodelassen wordt tussen de elektrode en het werkstuk een elektrische boog in stand gehouden die de materialen tot smelten brengt **(afb. B.10)**. Het materiaal van de gesmolten elektrode vermengt zich daarbij gedeeltelijk met het materiaal van het werkstuk. Het smeltbad wordt beschermd doordat een gedeelte van de bekleding van de elektrode overgaat in gas en een ander deel in slak. De slak omhult het vloeibare metaal en heeft een zuiverend effect op het smeltbad. Na stolling is de verbinding tot stand gebracht.

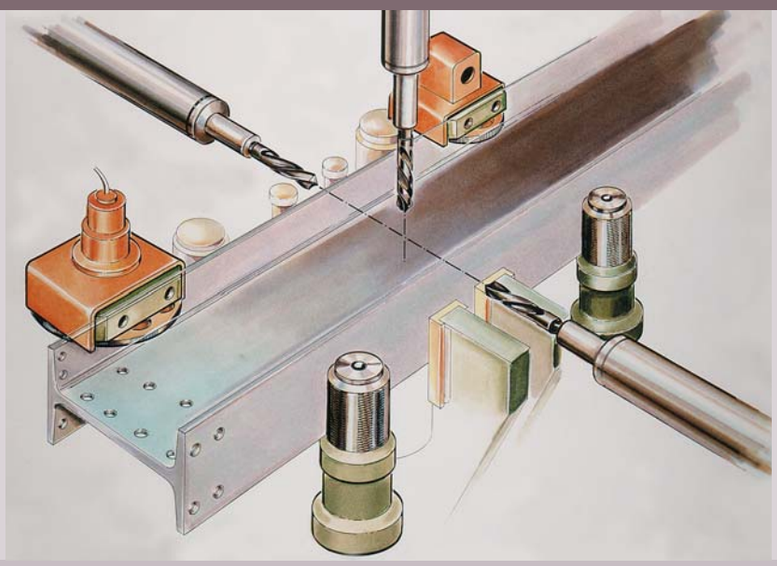
Lassen met beklede elektrode kan worden toegepast bij de meeste staalsoorten indien de materiaaldikte groter is dan 3 mm. Er bestaan ook lasprocessen voor dunner en voor heel dik materiaal.

B.3.7 Afwerken en conserveren

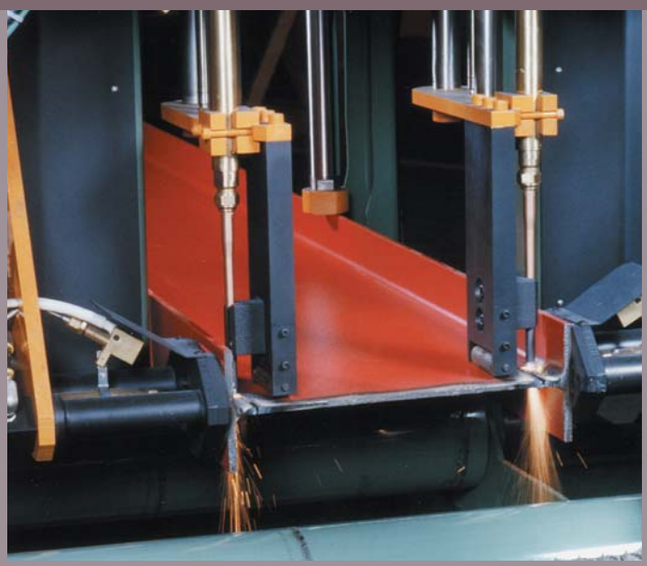
Nadat de constructie is gelast kunnen de maten worden gecontroleerd. Wanneer de constructie voldoet aan de toleranties, wordt het onderdeel afgewerkt. Hierbij worden lasspetters, bramen en (indien in het bestek omschreven) scherpe hoeken met een slijptol verwijderd. Dit is nodig om staalconstructies in een corrosieve omgeving goed te conserveren; zie hiervoor hoofdstuk 7 (Conserveren).

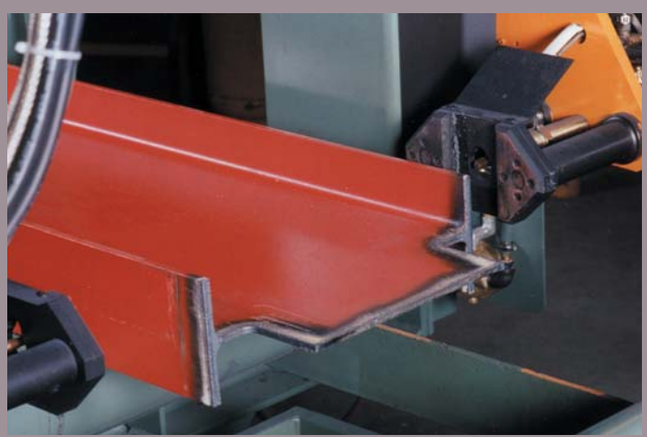
B.4 VAN WALSPROFIEL TOT LIGGER OF KOLOM

Het samenstellen van een staalconstructie voor een verdiepinggebouw met gewalste I-vormige profielen is te vergelijken met het werken met Meccano. Het belangrijkste verschil is dat bij Meccano de constructiedelen pasklaar worden aangele-



B.12 Boorspindels van een zaagboorstraat.





B.13 Machinaal ravelen van een profiel.

verd. Maar om een echte staalconstructie te bouwen moeten de constructiedelen, zoals liggers en kolommen, eerst nog worden gefabriceerd.

De fabricage van een walsprofiel tot constructiedeel gebeurt in een productielijn. Elke productielijn bij een staalconstructiebedrijf is zo ontworpen dat de capaciteit van de machines optimaal wordt benut. Aangezien de verschillende deelbewerkingen niet alle even lang duren is de productielijn vaak gesplitst. Een productiefaciliteit bestaat daarom meestal uit een lijn voor 'rechttoe rechtaan' constructiedelen en een lijn voor gecompliceerde constructiedelen **(afb. B.11)**.

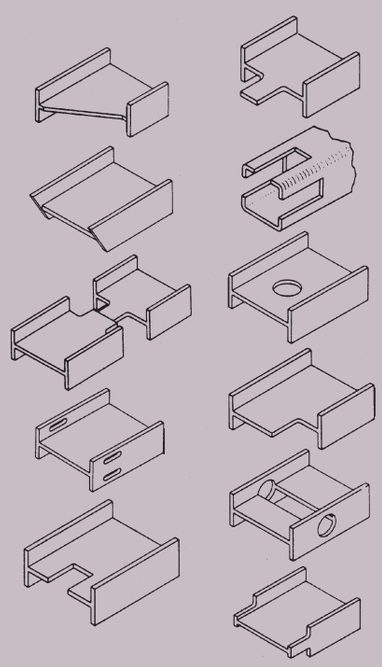
Een ligger of kolom bestaat vaak niet alleen uit I-vormige walsprofielen, maar ook uit platen en bijvoorbeeld hoekprofielen. Daarom kan een staalconstructiebedrijf ook platen en hoekprofielen bewerken. Maar deze bewerking blijft meestal beperkt tot het op maat maken en het boren of ponsen van gaten.

De belangrijkste machine in de productielijn voor 'eenvoudige' constructiedelen is de zogeheten zaagboorstraat. In deze installatie worden de profielen op de juiste lengte gezaagd (dit heet afkorten) en worden de gaten geboord. Zaagboorstraten zijn soms uitgerust met meerdere boorspindels voor een nog kortere doorlooptijd **(afb. B.12)**.

Alle zaagboorstraten zijn computergestuurd. Dankzij de codering op de profielen 'weet' de machine hoe lang het profiel moet zijn en waar de gaten moeten komen. De kosten van constructiedelen die op deze manier worden gefabriceerd zijn dan ook laag. De architect en de constructeur bepalen of een constructie volledig kan worden opgebouwd met profielen die alleen door een zaag-boorstraat hoeven te gaan.

B.4.1 Ravelen

Om staalprofielen met elkaar te kunnen verbinden is het vaak nodig om de profieleinden in een bepaalde vorm af te werken. Deze bewerking heet ravelen en is volledig te automatiseren. Om ravelingen te kunnen maken is een raveelmachine uitgerust met een aantal snijbranders **(afb. B.13)**. Met raveelmachines zijn veel bewerkingen uit te voeren **(afb. B.14)**.



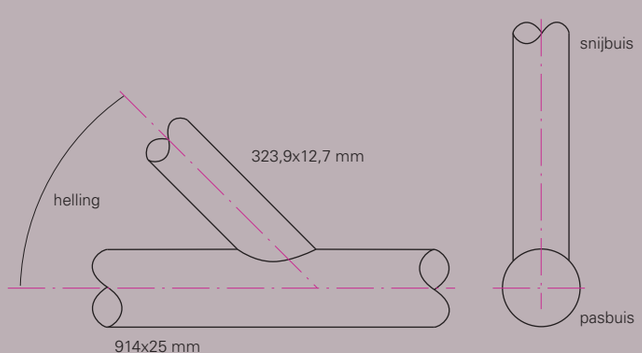
B.14 Voorbeelden van bewerkingen van profielen met snijbranders.

B.15 Buigwalsen van een profiel.

B.16 Minimale buigstralen van platen en profielen om de zwakke as. Voor buigwalsen en de sterke as gelden grotere minimale buigstralen

profieldoorsnede	zwakke as (y-as) profielafmeting	minimum buigradius
	UNP 400	600 mm
	UNP 400	600 mm
	INP 550	600 mm
	HEA 400 HEB 360 HEM 280	1500 mm
	plat 800x120	600 mm
	vierkant 250	1000 mm
	koker 300x300x20	3000 mm
	koker 400x200x15	2000 mm
	buis ∅ 273 ∅ 324 ∅ 406 ∅ 508	2500 mm

B.17 Montage van de staalconstructie van de parkeergarage Tivoli, Tilburg.



B.18 (Excentrische aansluiting) van twee buizen.

B.4.2 Buigwalsen

Door buigwalsen krijgt een walsprofiel een bepaalde (twee- of zelfs driedimensionale) kromming. Het principe is gelijk aan het rolbuigen van plaat (**afb. B.15**). Omdat het staal bij buigwalsen sterk moet vervormen zijn voor de diverse halffabrikaten minimale buigstralen van toepassing (**afb. B.16**). Het walsen van profielen met een hoogte van 400 mm en meer over hun sterke as kan in Nederland door enkele bedrijven worden uitgevoerd. Zie ook de *Gids Staalbouw*.

B.4.3 Montage

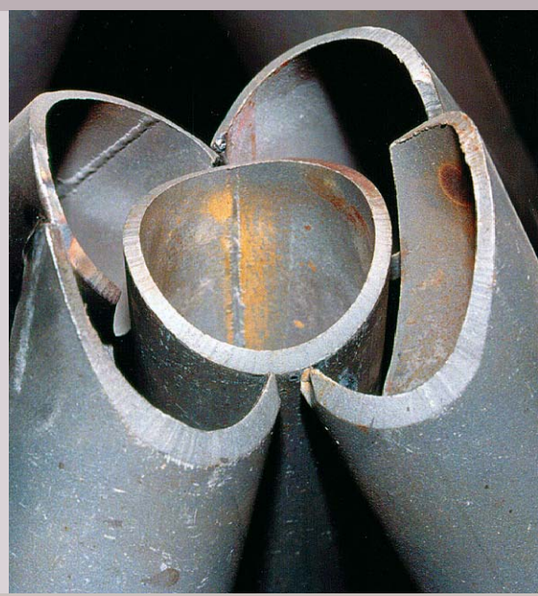
De montage van een staalconstructie lijkt enigszins op het monteren van een boekenrek. Wanneer de legplanken op hun plek zitten en het stabiliteitskruis is vastgeschroefd, dan is het geheel stabiel. Maar zolang de planken of het kruis nog ontbreken, dan moet het rek tijdelijk worden geschoord. Hetzelfde is het geval met een staalconstructie: pas zodra alle elementen zijn gemonteerd én bevestigd is de constructie plaats- en vormvast. Zolang dit niet het geval is, moet het staalskelet met hulpconstructies (schoren en verbanden) overeind worden gehouden **(afb. B.17)**.

B.5 VAN BUIS TOT KOLOM OF VAKWERK

Door de ontwikkeling van de computergestuurde buizensnijmachines worden er steeds vaker buizen toegepast bij staalconstructies. De verbindingen tussen buizen onderling komen meestal tot stand door de buizen in de fabriek aan elkaar te lassen (**afb. B.18**). Op grond van de positie en de afmetingen van de buizen, berekent het computerprogramma de gewenste geometrie van de afzonderlijke buizen. De computergegevens worden doorgegeven aan de buizensnijmachine, die vervolgens met een snijbrander de buizen de juiste vorm geeft (**afb. B.19**). Bij de vormgeving van de uiteinden wordt ook rekening gehouden met het aanbrengen van de lasnaadvoorbewerkingen. Nadat de buizen op maat zijn gesneden, wordt de constructie samengebouwd en gehecht. Hierna volgt het aflassen, reinigen, conserveren en het transport.

Buizen worden in verdiepinggebouwen het meest gebruikt

B.19 Met speciale buizensnijmachines zijn complexe aansluitingen van buisprofielen nauwkeurig te fabriceren.

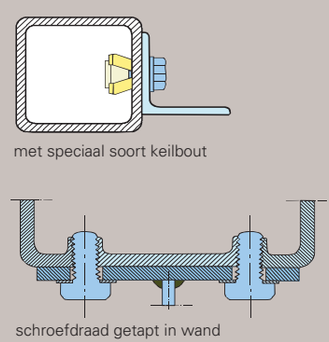


voor kolommen. Daarnaast komen ze in gebouwen soms plaatselijk voor in vakwerk- en boogconstructies. Omdat buizen meestal duurder zijn dan I-vormige profielen, worden ze bijna altijd in het zicht toegepast.

B.5.1 Verbindingen aan buizen

Meestal moet aan een buis worden gelast om een verbinding tot stand te brengen. Een recente ontwikkeling is het gebruik van bouten bij buisverbindingen zonder dat de buis aan de binnenzijde toegankelijk is. Er wordt een schroefdraad aangebracht (getapt) in de wand van de buis óf er worden een speciaal soort keilbouten gebruikt **(afb. B.20)**.

Pennen worden toegepast bij grote diameters (bijvoorbeeld rond 60 mm of meer). Met een enkele penverbinding kunnen trek- of drukstaven centrisch worden aangesloten **(afb. B.21)**.



B.20 Bevestiging met bouten aan een buiswand.

Literatuur

- G.E. van Beek, *Fabricage en montage van staalconstructies*, Rotterdam 1997.
- F. de Groot, 'Complexe knopen steeds efficiënter te maken', *Bouwen met Staal* 165 (2002), p. 38-40.
- M.C.M. van Maarschalkerwaart, 'Gieten goed alternatief', *Bouwen met Staal* 129 (1996), p. 30-3B.
- J.N. Muiser, A.G.P. Steggink en W.P. van Winsum, *Productietechnieken voor de werktuigbouw, Deel 1A: Verspanende technieken*, Culemborg 1991.
- J.N. Muiser, A.G.P. Steggink en W.P. van Winsum, *Productietechnieken voor de werktuigbouw. Deel 1B: Niet-verspanende technieken,* Culemborg 1991.
- C. Nederveen en P.H. van Lent (red.), *Lassen, lijmen en plaatbewerken*, Hilversum 1994.
- Th.L.M. Puyn, 'Buigwalsen van profielen', *Bouwen met Staal* 105 (1992), p. 25-27.
- H. de Vries en H.J.M. Bodt, *Overzicht van de meest voorkomende lasprocessen*, Voorschoten.
- J. van der Woord, 'Gietmetaal en architectuur', *Bouwen met Staal* 110 (1993), p. 25-29.

B.21 Verbinding tussen buizen met pennen.

C VOORBEELDPROJECTEN

Deze bijlage bevat een beschrijving van dertien recente Nederlandse verdiepingbouwen in staal. De gekozen projecten laten de mogelijkheden zien van een staalconstructie in combinatie met verschillende vloersystemen (zie hoofdstuk 2) en gevelafwerkingen (zie hoofdstuk 3). Bij elk project staat een interview met de projectarchitect over zijn afwegingen om voor staal te kiezen en over specifieke zaken die bij het ontwerp en de uitvoering van het project speelden.

De (detail)tekeningen zijn zoveel mogelijk opgenomen in de vorm zoals ze zijn aangeleverd door het architecten- of het ingenieursbureau.

De volgende voorbeeldprojecten worden behandeld:

Kantoorgebouw Hobone, Veenendaal	128
Kantoorgebouw Columbus, Amsterdam	134
Kantoorgebouw Da Vinci, Zwolle	140
Kantoorgebouw Total Support, Eindhoven	146
Kantoorgebouw ING, Amsterdam	152
Kantoorgebouw Kennedy-toren, Eindhoven	158
Bestuursgebouw De Lens, Nieuwegein	164
Stadhuis, Alphen aan den Rijn	170
Woning Herengracht, Amsterdam	176
Albus Grand Hotel, Amsterdam	182
Hogeschool voor Muziek en Dans, Rotterdam	188
InHolland Hogeschool, Rotterdam	194
Bedrijfsgebouw Silverforum, Eindhoven	200

Kantoorgebouw Hobone, Veenendaal (1998)

Kantoorgebouw Columbus, Amsterdam (2000)

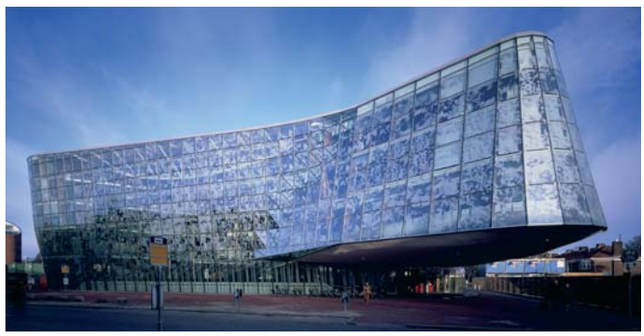
Kantoorgebouw Da Vinci, Zwolle (2000)

Kantoorgebouw Total Support, Eindhoven (2002)

Kantoorgebouw ING, Amsterdam (2002)

Kantoorgebouw Kennedy-toren, Eindhoven (2004)

Bestuursgebouw De Lens, Nieuwegein (2000)



Stadhuis, Alphen aan den Rijn (2003)

Woning Herengracht, Amsterdam (1998)

Albus Grand Hotel, Amsterdam (1999)

Hogeschool voor Muziek en Dans, Rotterdam (2000)

InHolland Hogeschool, Rotterdam (2000)

Bedrijfsgebouw Silverforum, Eindhoven (2002)

Anton Bronsvoort

“Om het risico op kostenoverschrijding te beperken, wil ik de gebouw-componenten kunnen definiëren. Dat lukt mij het beste in staal.”

PROJECTGEGEVENS

Locatie Newtonstraat 35, Veenendaal • **Opdracht** Exto Onroerend Goed, Veenendaal • **Architectuur** Architektenburo Bronsvoort, Amerongen • **Constructief ontwerp** IBT Ingenieursburo voor Bouwtechniek, Veenendaal • **Uitvoering** BCE Bouw, Ede • **Staalconstructie** Dick Cluistra Constructie Werken, Barneveld • Zie ook: K. Peterse, ‘Voor een maakbaar kantoor is materialenkennis nodig’, *Bouwen met Staal* 149 (1999), p. 14-21.

Kantoorgebouw Hobone, Veenendaal

Materialenkennis belangrijk voor een uitvoerbaar ontwerp

Het strak gesneden kantoorgebouw van Hobone (het vroegere Hoesch) is op bedrijventerrein De Compagnie in Veenendaal een opvallende verschijning. Desondanks onderscheidt het gebouw zich vooral door de manier waarop het is ontstaan. Architect Bronsvoort wil volledig grip hebben op het eindresultaat. Daarom stelde hij aan het ontwerpproces de eis dat elk resultaat functioneel, maakbaar én betaalbaar moest zijn. Vorm en materiaal waren daarbij gelijke partners. Bronsvoort gebruikte de sandwichpanelen die de opdrachtgever zelf produceert als beeldbepalend element zonder dat het kantoorgebouw de rol van showroom overneemt.

Als producent van stalen sandwichpanelen wilde Hobone dat in het nieuwe kantoorgebouw het eigen product werd toegepast. Toch was het niet de bedoeling dat het kantoor zelf fungeert als een reusachtige showroom. Het ging er de opdrachtgever vooral om te laten zien dat de panelen veel ruimer kunnen worden gebruikt dan alleen voor het bekleden van bedrijfshallen. Tegelijkertijd moest het Nederlandse hoofdkantoor zich duidelijk manifesteren. Daarom kreeg het kantoorpand een gebruiksoppervlak van drie keer de eigen behoefte. Een groot deel van het gebouw wordt dan ook verhuurd. Het kantoor van Hobone ligt op de begane grond. En juist dit deel van het gebouw is niet met staalplaat bekleed.

GRIP OP ONTWERPPROCES

Wellicht het eerste dat opvalt aan het gebouw is de opbouw in drie volumes. Het noordelijke volume is lang, smal en glad afgewerkt. Het bereikt een hoogte van 16 m: dat is twee keer de hoogte die op het gemiddelde bedrijventerrein gebruikelijk is. Aan de zuidkant toont het gebouw op de begane grond een gebogen segment met een glazen vliesgevel. Hierboven bevindt zich het derde volume, dat meer dan 12 m uitkraagt. Onder dit overstek ligt de hoofdentree.

Voor architect Anton Bronsvoort van Architektenburo Bronsvoort stond van meet af aan vast dat het kantoor in een staalconstructie moest worden uitgewerkt. Dat had niet alleen te maken met het uitkragende bouwvolume. Vanuit de filosofie van zijn bureau heeft Bronsvoort namelijk een duidelijke voorkeur voor een stalen draagconstructie. Hij wil als regisseur altijd een stevige grip houden op het gehele proces van idee tot uitvoering en tot in het kleinste detail weten waar hij mee bezig is. De kennis die daarvoor nodig is, is voor hem bij een constructie in staal beter toegankelijk dan bij een constructie in bijvoorbeeld beton: **“Wanneer ik in staal ontwerp dan kan ik zelf vrijwel alle consequenties beoordelen op uitvoerbaarheid, maatvastheid en flexibiliteit. Bij een betonconstructie ben ik vaak te veel afhankelijk van de expertise van de aannemer: waar kan ik gaten boren, waar kunnen ankers worden ingestort, wat ik nog wijzigen?”**

De wandopbouw van het hoogste deel bestaat uit een binnenblad van metal-stud dat is afgewerkt met een dubbele gipskartonplaat. In de 200 mm brede spouw zit de staalconstructie ‘verborgen’. Het buitenblad bestaat uit stalen sandwichpanelen met 80 mm pur-isolatie. Bronsvoort koos voor sandwichpanelen omdat het gebouw zo snel bescherming tegen weersinvloeden kreeg. De sandwichpanelen zijn toegepast in een ongelede lengte van 16 m: **“Zo ondersteun je de strakheid van de vorm.”**

Het staalskelet van het uitkragende deel bestaat uit HEA-profielen op een stramien van 5,4 m. De kolommen staan hier eveneens in de 200 mm brede spouw en het binnenblad bestaat ook uit metal-stud met een dubbele gipskartonplaat. Over de plaatsing van de kolommen zegt Bronsvoort: **“Vanuit het oogpunt van een heldere opbouw was het mooi geweest wanneer ik de kolommen had laten zien. Ik vond het echter belangrijker de huurders optimale vrijheid te geven bij het inrichten van hun kantoor. Met de gladde wanden die ze nu hebben, kunnen ze alle kanten uit. Eerlijkheid moet niet ten koste van alles gaan.”** Ook het buitenblad bestaat hier uit sandwichpanelen. Anders dan bij het hoogste volume bracht Bronsvoort hierop om decoratieve reden een extra huid van golfplaten aan. Die platen zijn zo

Wat opvalt aan het gebouw is de opbouw in drie volumes. Het noordelijke volume is hoog, smal en glad afgewerkt. Aan de zuidkant ligt op de begane grond een gebogen volume met een glazen vliesgevel. Hierboven kraagt het derde volume meer dan 12 m uit boven de entree.

aangebracht dat met de golvende structuur sterke horizontale lijnen ontstaan die het effect van een liggende doos ondersteunen.

Van de staalconstructie werd een constructieve brandwerendheid verlangd van 60 minuten. Daartoe zijn de inpandige buiskolommen met beton gevuld. De geïntegreerde vloerliggers, die zijn gekozen om de constructiehoogte te beperken en waarop een kanaalplaatvloer ligt, zijn aan de onderzijde 60 minuten brandwerend bekleed. Ook de HE-kolommen in de spouw zijn op deze manier beschermd.

ZICHTBARE NADEN

De naden tussen de diverse platen in de gevel zijn duidelijk zichtbaar. Bronsvoort heeft **“de stalen bekleding in mootjes gehakt, omdat het bij de overlap toch altijd fout gaat.”** De ongeveer 10 mm brede naden zijn tot een architectonisch thema verheven, dat de ontmoeting van de panelen benadrukt en dat in de gevel het stramien van de staalconstructie reflecteert.

Ook in de gevelopeningen is het stramien van de draagconstructie herkenbaar. De ramen bestaan telkens uit twee delen, die van elkaar worden gescheiden door een blind paneel. Hierachter staat in de spouwruimte de staalconstructie. De lengte van de ramen varieert. De diagonalen in de staalconstructie bepaalden de speelruimte: de ramen zijn zodanig gepositioneerd dat de diagonalen ononderbroken kunnen doorlopen.

Bronsvoort noemt de vorm van het kantoorgebouw een spel van drie volumes. Het was voor hem een uitdaging om de eenduidigheid van deze vormen door te zetten in de diverse ontmoetingen, waarvan het merendeel zich bevindt op een hoogte van 3 tot 4 m boven het maaiveld. Zo moesten de verschillende bouwknopen niet alleen voldoen aan bouwtechnische en bouwfysische eisen, ze moesten de strakheid van het ontwerp voortzetten en ze mochten niet gaan ‘klonteren’, aldus de ontwerper, die daaraan toevoegt dat **“het concept moet staan als een huis, maar daarvoor heb ik geen gelikt design nodig.”**

RISICO’S BEPERKEN

Architect Bronsvoort wil volledig grip hebben op de uitkomst van het ontwerpproces dat begint met zijn eerste schets. Aan dat proces stelt hij de eis dat elke stap **“functioneel, maakbaar en betaalbaar moet zijn.”** Voor hem is een ontwerp geen plaatje waar je later materialen bij zoekt. **“De stalen bouwdelen zijn voor mij een integraal onderdeel van het ontwerp, dat al bij de eerste schetsen een rol speelt. Ik denk dan: hoe kan ik het maken, wat is er te koop en wat gebeurt er met de kwaliteit van het materiaal in de tijd?”**

Hij vervolgt: **“Bovendien moeten gebouw en materiaal andere trends kunnen volgen. Die kunnen betrekking hebben op de beeldvorming, maar ook op bijvoorbeeld de energiehuishouding. Dat vraagt om flexibiliteit en een assemblage die omkeerbaar is, opdat het gebouw na verloop van tijd op onderdelen een cosmetische of technische ingreep kan ondergaan. Verder moet het detail goed uitvoerbaar en betaalbaar zijn. Ik wil materialen in al die kwaliteiten onderzoeken en benutten. Ik zoek die uitdaging.”**

Doordat Bronsvoort zozeer vanuit kennis ontwerpt, komt hij in het verdere verloop van het proces zelden voor voldongen feiten te staan, die zijn mogelijkheid beperken om in vrijheid keuzes te kunnen maken. Maar er is nog een ander voordeel. Bronsvoort benadrukt dat een ontwerp dat door de aannemer en andere betrokkenen als moeilijk wordt beschouwd, veelal automatisch ook extra duur is in de uitvoering. Dat kun je ondervangen door de aannemer op basis van je eigen kennis uit te leggen dat het ontwerp, ondanks de ogenschijnlijke complexiteit, uitgekiend en voor de bouwer zonder verrassingen in elkaar zit. **“Ik wil natuurlijk ook het risico op uitvoeringsfouten en kostenoverschrijding beperken. Dan moet je de componenten als elementen van een ‘bouwdoos van meccano’ kunnen definiëren en dat lukt mij het beste in staal.”**

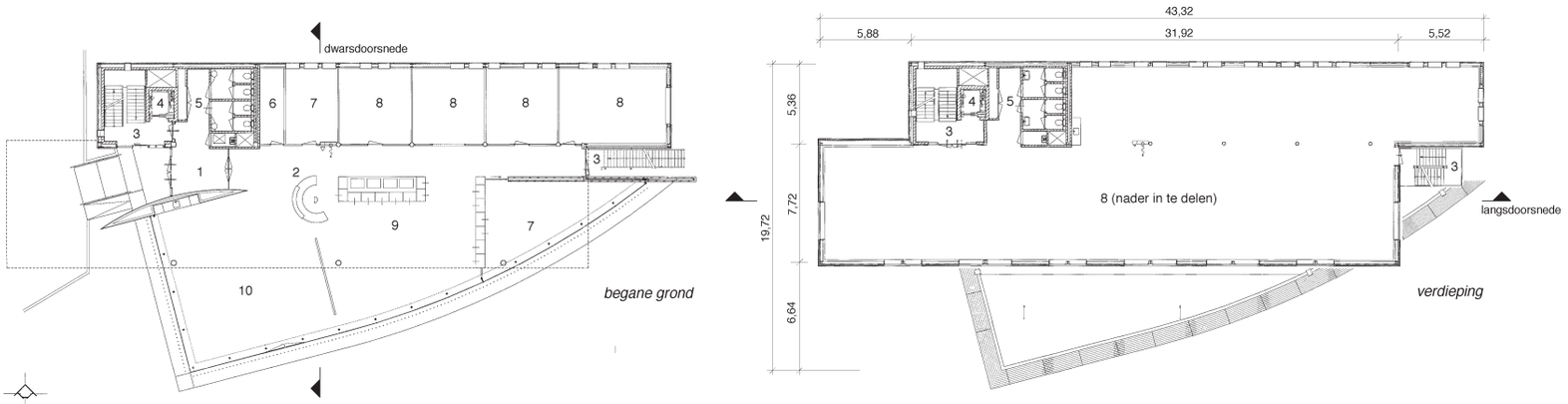
De directe betrokkenheid bij de uitvoering maakt van Bronsvoort’s architectenbureau een plek waar materialen op hun eigenschappen en geschiktheid worden onderzocht en waar details met grote zorg worden uitgekiend. Een deel van de kennis is in huis, het andere deel wordt verkregen door overleg met specialisten. Voor Bronsvoort is het dan ook ondenkbaar dat een ingehuurde bestekschrijver de concrete uitwerking van een project voor zijn rekening neemt: **“Dan gaat het fout. Niet alleen op esthetisch niveau. Wat ik met materialen en producten wil, kan ik alleen bereiken wanneer ik de eigenschappen en (on)mogelijkheden werkelijk ken. Ik zoek die kennis over het product, niet bij de leverancier, maar vooral bij de producent of, liever nog, bij de bedenker. Wanneer ik dit deel van het werk uit handen geef, dan is er in mijn ogen onvoldoende terugkoppeling vanuit de uitvoering naar het idee. En juist door die terugkoppeling kan het idee vaak beter en scherper worden gedefinieerd.”**

DUURZAAM

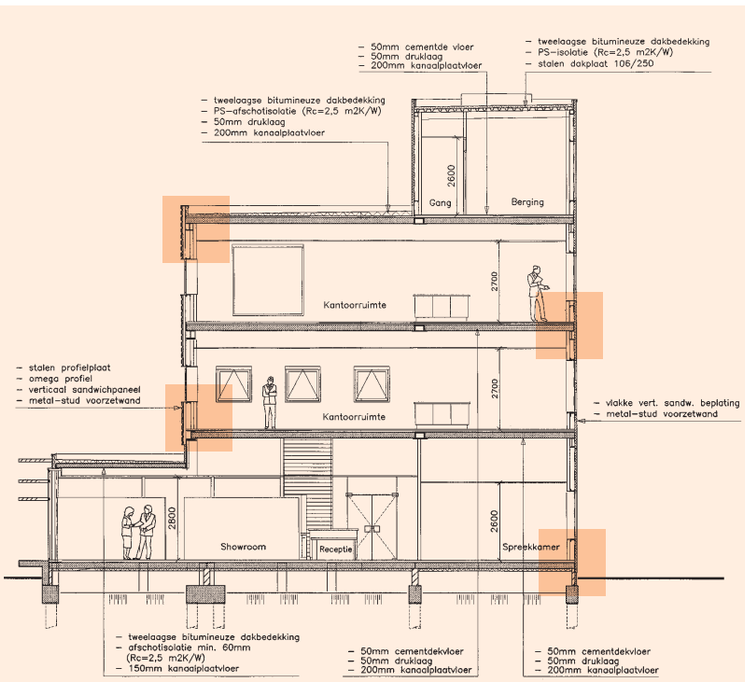
Het kantoorgebouw kan vrij gemakkelijk worden aangepast aan veranderende wensen, wat het gebouw de kwaliteit van duurzaamheid geeft. Zo kan elk van de volumes een nieuwe huid krijgen. In geval van de blauwe doos kan dit zelfs gebeuren zonder dat de wind- en waterdichtheid tijdelijk teniet worden gedaan. Ook het ritme en de plaats van de ramen kan daarbij worden gewijzigd. Deze kwaliteit wordt steeds vaker nagestreefd als wapen in de strijd om het voortdurende onderscheid.

Het kantoorgebouw van Hobone mag dan een potentiële flexibiliteit bezitten, alle onderdelen zijn voortgekomen uit een integraal proces en zijn daarin met elkaar verbonden. Mocht een opdrachtgever daar uiteindelijk toch anders over denken, dan kan de oude huid volledig worden gerecycled.

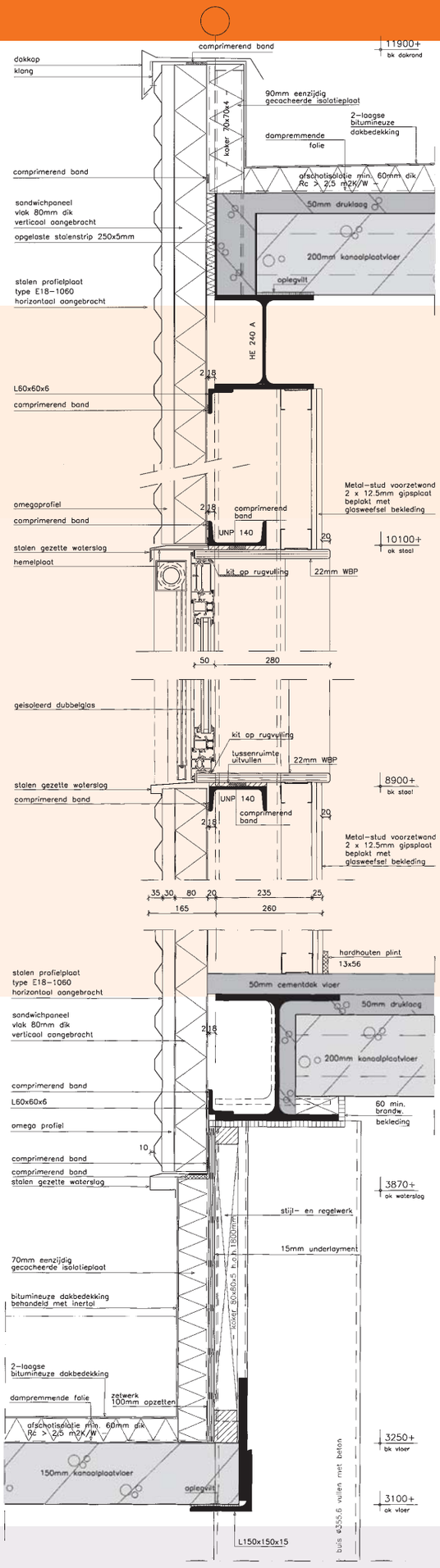
1 entree
2 receptie
3 trappenhuis
4 lift
5 toiletten
6 berging
7 vergaderruimte
8 kantoorruimte
9 verkoop
10 kantine/showroom



Plattegrond van de begane grond en een verdieping.

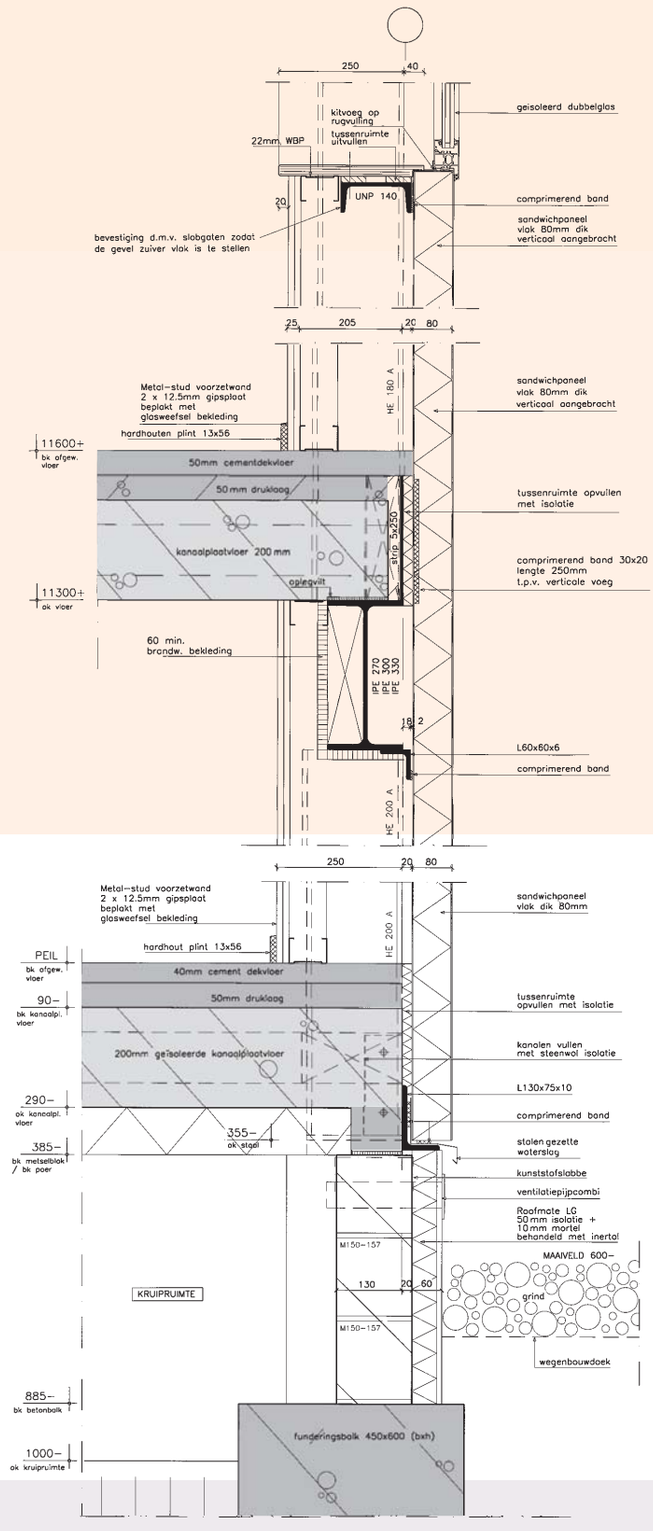


Dwarsdoorsnede (met de plaats van de details) en langsdoorsnede.

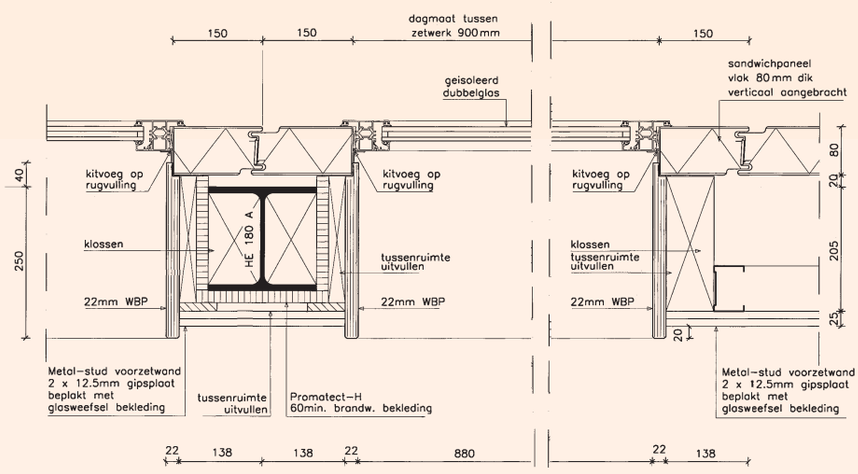


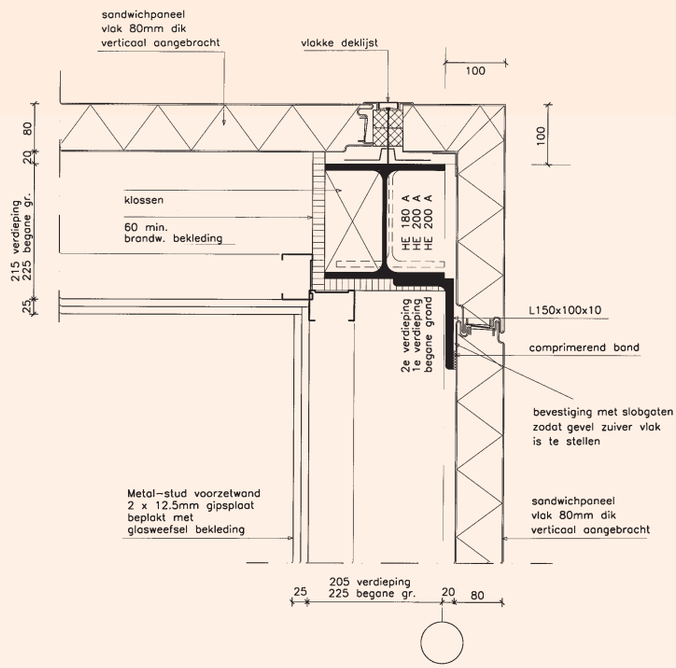
Verticale doorsnede over de zuidgevel met geprofileerde staalplaat.

Verticale doorsnede over de noordgevel met sandwichpanelen.

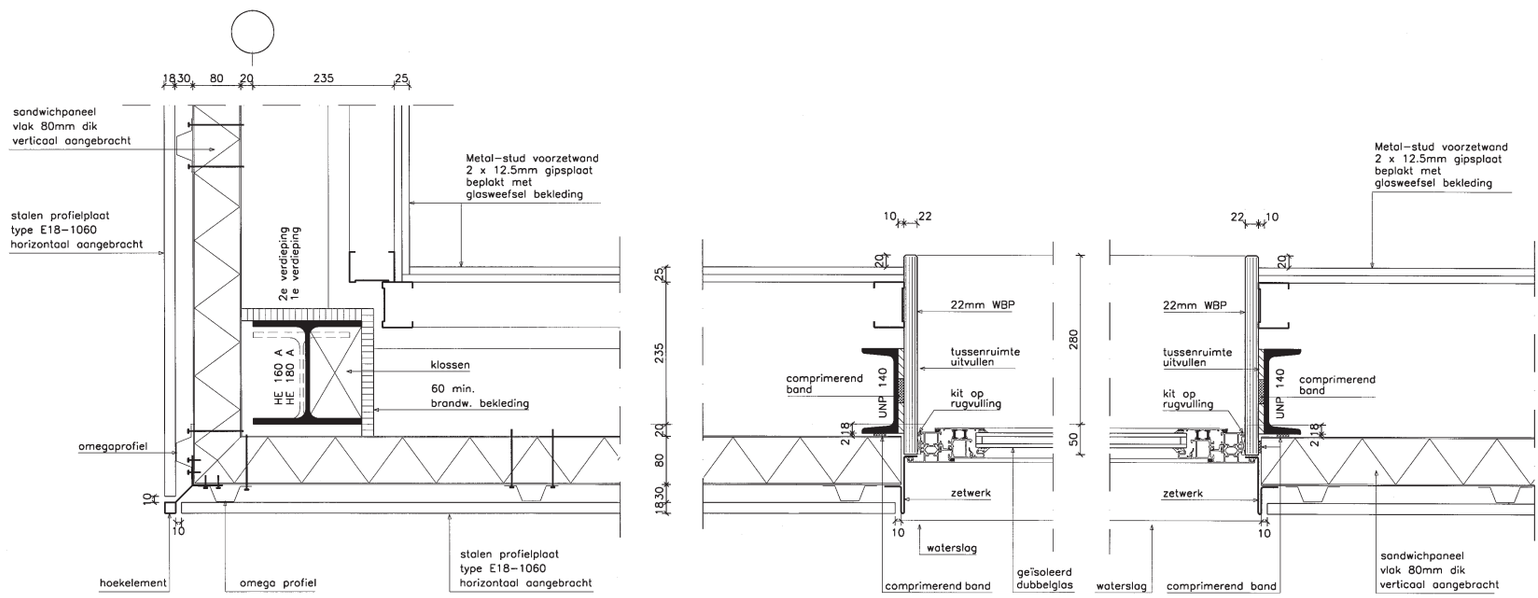


Het staalskelet bestaat uit HE-profielen op een stramien van 5,4 m. De kolommen staan in de 200 mm brede spouw.





Horizontale doorsnede over de noordgevel met hoekdetail.



Horizontale doorsnede over de zuidgevel met hoekdetail.

Evert Kolpa

“Het gebouw is de drager van de ruimtelijke beleving. We proberen consequent alle elementen zo minimaal mogelijk te laten zijn”

PROJECTGEGEVENS

Locatie Folkstoneweg, Schiphol • **Opdracht** Schiphol Real Estate, Schiphol • **Architectuur** Neutelings Riedijk Architecten, Rotterdam • **Constructief ontwerp** CAE Nederland, Capelle aan den IJssel • **Uitvoering** IBC Bouwgroep, Amsterdam • **Staalconstructie** Dijkstaal, ’s-Gravezande • Zie ook: H.A. van Vliet, ‘Glazen stolp houdt vliegtuiglawaai buiten’, *Bouwen met Staal* 162 (2001), p. 26-31.

Kantoorgebouw Columbus, Schiphol

Glazen stolp houdt vliegtuiglawaai buiten

Het Columbus-gebouw is no-nonsense opgezet als goedkope kantoorruimte voor de verhuursector. Het bijzondere is de relatie tussen het gebouw en de locatie vlak naast de Kaagbaan, waar continu grote vliegtuigen landen en opstijgen. Deze opmerkelijke ligging verhief Neutelings Riedijk Architecten tot een motief, dat functioneel en architectonisch is uitgewerkt. Met een staalskelet bleek het mogelijk om met weinig massa de kantoorruimten vrij-indeelbaar te maken. Een dubbele huid, als een glazen stolp, weert het vliegtuiglawaai. De keuze voor staal hield ook verband met het streven naar een ornamentloze architectuur, waarbij de ruimtelijke beleving centraal staat.

De ligging van kantoorgebouw Columbus op hemelsbreed tweehonderd meter afstand van de Kaagbaan drukte een stempel op zowel het gebruik als de technische uitvoering van het gebouw. Projectleider Evert Kolpa, destijds werkzaam bij Neutelings Riedijk Architecten, zegt dat hij de locatie mensonvriendelijk vond. De onmiddellijke nabijheid van de startbaan betekende uiteraard veel geluidoverlast en ook de luchtkwaliteit was niet optimaal. Verder was het in zijn ogen ook een beetje een vreemde plek. De gebruiker staat er oog in oog met geparkeerde jumbojets als waren het auto's, terwijl de overige bebouwing vooral bestaat uit reusachtige vrachtloodsen die, evenals kantoorgebouw Columbus, de cargosector van de nationale luchthaven bedienen.

SERRES EN BINNENTUINEN

De bijzondere ligging met een zeer hoge geluidbelasting vroeg om een andere invulling van de relatie tussen binnen en buiten dan bij een normaal kantoorgebouw. De directe omgeving van Columbus zou immers nooit de plek worden waar je tijdens de pauze op een bankje rustig je boterham opeet. Neutelings Riedijk Architecten én opdrachtgever Schiphol Real Estate kozen nadrukkelijk niet voor een oplossing met kleine raamopeningen en driedubbel glas, omdat zij die benadering niet aantrekkelijk vonden. In plaats daarvan gingen ze uit van een dubbele gebouwhuid, waarbij de buitenste huid als een glazen stolp over de kantoren én de atria staat. Er zijn vier atria die in de plattegrond 'verspringen'. Ze zijn als steenachtige binnentuinen uitgewerkt, omdat ze geen noemenswaardige bijdrage aan de vuurbelasting mochten leveren.

Tussen het kantoorgebouw en de buitenste glazen huid, een soort regenjas, zit een ongecompartimenteerde ruimte, als een serre, met een breedte van 1,8 m. Er heerst een klimaat 'waarvan de scherpe kantjes zijn afgehaald', maar waaruit de werking van de seizoenen niet geheel is uitgebannen. De serreruimte dient als geluidbuffer en heeft tegelijkertijd een gunstig effect op de energiehuishouding. In de winter zorgt deze ruimte ervoor dat het warmteverlies door transmissie vanuit de kantoren beperkt blijft. In het voor- en naseizoen kunnen gebruikers dankzij het milde klimaat in de serre de ramen van hun kamer al bij de eerste zonnestralen openen. Maar ook tijdens de zomermaanden is de serreruimte aantrekkelijk. Door het drukverschil tussen serre en het kantoorgebouw namelijk wordt er in de kantoren verse lucht gebracht, terwijl verbruikte lucht via de serre wordt afgevoerd. Dat is een energiezuinige manier van ventileren.

Bijzonder aan het gebouw is dat de atria met tuinen in het volume zijn uitgespaard en eveneens door de glazen stolp worden afgedekt. Hierdoor werd het mogelijk de tuinen en de kantoren heel open met elkaar te verbinden. Zo zijn de kantoren behalve vanuit één van de centrale trappenhuizen ook rechtstreeks toegankelijk vanuit één van de vier binnentuinen. Ook het interne transport, de gang van de ene naar de andere verdieping, kan via de atria verlopen. Het onderste atrium ligt op het niveau van de eerste verdieping. De begane grond is daardoor geheel gereserveerd voor semi-publieke en commerciële functies, waaronder een bank en een lunchroom, die, hoe kan het ook anders, met vliegtuigstoelen is ingericht.

Kantoorgebouw Columbus ligt op Schiphol-Oost vlakbij de Kaagbaan, waar continu grote vliegtuigen landen en opstijgen. Om binnenin een goed werk- en leefklimaat te krijgen, staat het gebouw onder een glazen 'stolp'.

GEEN OBSTAKELS

Over de keuze voor een staalconstructie is Kolpa heel stellig: **“Dat was evident. Met staal konden we minimaal dimensioneren, maar bovenal gaf het ons de mogelijkheid om de vier atria kolomvrij te houden. Dat wilden we, omdat de kolommen daar niet nodig zijn en als onpraktische obstakels het efficiënt indelen van de ruimte frustreren.”**

Door de verspringende vorm van de atria hebben alle verdiepingen een andere plattegrond. Samen met constructeur CAE is een staalconstructie ontworpen met kokerkolommen van 140x140 mm in de gevels op een stramien van 1,8 m, dat over alle bouwlagen is voortgezet. In de verdere uitwerking is vanwege de bouwsnelheid gekozen voor doorgaande gevelkolommen. Deze opzet correspondeert met de indeling van de atria, waarvoor is uitgegaan van units van 14,4x14,4 m. De kleinst verhuurbare eenheid omvat twee van zulke units, dus zo’n 400 m^2.

De kantoorruimten die niet door een atrium zijn onderbroken kregen een rij inpandige kolommen met een HEM-vloerligger, waarbij de kanaalplaten op de onderflens van de ligger rusten. De vloer overspant hier 7,2 m. In alle andere (kantoor)ruimten overspant de kanaalplaatvloer 14,4 m.

De stabiliteit wordt ontleend aan vier betonnen kernen, waarin de voorzieningen voor het verticale transport zijn ondergebracht. Als alternatief gaf de constructeur nog een variant met stalen stabiliteitsverbanden. Dat hiervoor uiteindelijk niet is gekozen, had niets te maken met de kosten, maar met de wens van Neutelings Riedijk Architecten om de kernen in beton uit te voeren.

SPINNENWEB

De tweede (glazen) huid – die strikt genomen geen tweedehuid façade is – heeft stalen geveldragers, waaraan aluminium beglazingsprofielen zijn gemonteerd. De geveldragers zijn bevestigd aan de gevelkolommen van de staalconstructie van het kantoorgedeelte, dat zich 1,8 m achter de tweede huid bevindt. Ter plekke van de binnentuinen zette Kolpa het stramien van de gevelkolommen niet door om te voorkomen dat het vrije zicht op de vliegtuigen wordt belemmerd. De stalen geveldragers zijn hier gemonteerd aan een ruimtelijk vakwerk van ronde buizen dat zich als een spinnenweb uitstrekt van de ene kantoormassa naar de andere. De vakwerkbuizen ontmoeten elkaar in driedimensionale knopen. Zo’n knooppunt is samengesteld uit een cluster van eveneens buisprofielen met aan de binnenzijde een schroefdraad. Kolpa koos voor een dergelijke knoop met een ‘onzichtbare’ verbinding, omdat **“je niet de knoop, maar de vliegtuigen moet zien.”** De buizen en de knooppunten zijn daarom ook grijs geschilderd.

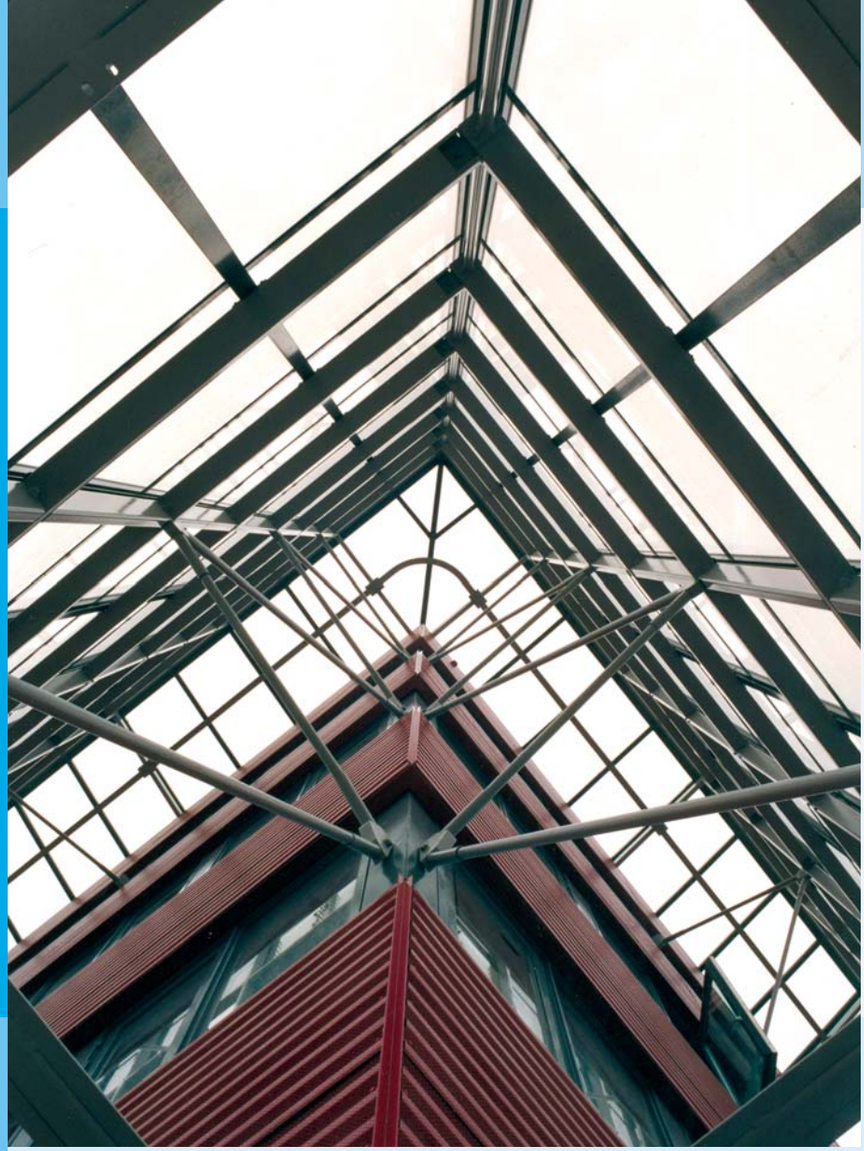
Het dak van het Columbus-gebouw is gemaakt met een standaard bouwsysteem uit de kassenbouw: een ruimtelijk vakwerk draagt constructieve stalen goten, die op hun beurt de aluminium roeden van het beglazingssysteem opvangen. Deze opzet sluit zowel constructief als ruimtelijk aan bij de spinnenweb-constructie in de gevels. Bovendien wordt zo bereikt dat er in het dak nagenoeg geen constructiemassa zit. Daardoor kan het als transparante stolp bedoelde dak ook als zodanig fungeren. Vanwege de brandveiligheid zitten er in de dakconstructie rookluiken die bij brand automatisch openen.

MINIMALE DETAILS

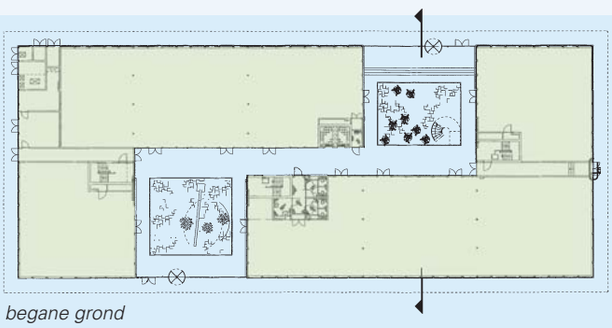
De manier waarop de knooppunten van de ruimtelijke vakwerken in de gevel zijn uitgewerkt, onthult veel over de uitgangspunten van Neutelings Riedijk Architecten: **“We formuleren de belevingskwaliteiten die we de mensen willen aanbieden. Het gebouw is voor ons de drager van die ruimtelijke beleving. Een consequentie van deze opvatting is dat het detail niet moet opvallen. Vandaar dat we proberen om alle elementen zo minimaal mogelijk te laten zijn,”** aldus Kolpa. Een opvallend detail zou immers de aandacht trekken en daarmee het beleven, dat gedachteloos is, verstoren. Vanuit deze invalshoek hecht Kolpa niet zo zeer aan het esthetische. Het is voor hem in elk geval geen zelfstandig doel. Door het ontbreken van ‘als detail bedoelde’ details is het gebouw heel ‘droog’ geworden. Daardoor ligt het accent nadrukkelijk op het ‘zijn in de tuinen’.

Een ander voorbeeld van Kolpa’s benadering is de terughoudende maar tegelijkertijd zorgvuldige detaillering van de borstweringen in de gevels van de atria. Die zijn uitgevoerd in steenrood gemoffelde stalen golfplaten, die zonder merkbaar detail aansluiten op de onder- en bovenliggende glasstrook en die ook onderling zonder nadruk op elkaar aansluiten. De golfplaten werken daardoor als sterke horizontale lijnen en dat was precies de bedoeling. Ook de glasstroken moesten als horizontale vlakken spreken. Vandaar dat Kolpa de kolommen, of eigenlijk de brandwerende bekleding daarvan, donker heeft laten schilderen. Daarmee vormen ze een eenheid met de ruiten, die zich naar de tuinen toe als donkere vlakken aftekenen. De stalen golfplaten zijn vanwege de akoestiek geperforeerd en bevestigd op een frame in houtskeletbouw.

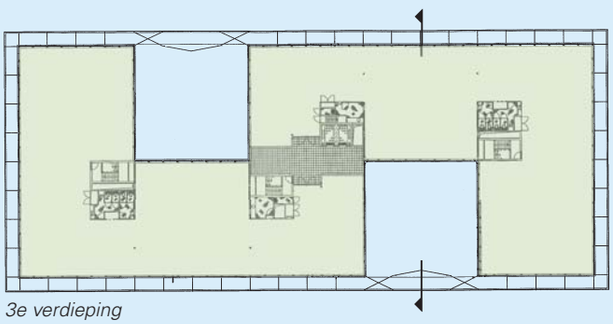
Het Columbus-gebouw heeft in zijn eenvoud een bepaalde vanzelfsprekendheid. Kolpa benadrukt echter dat die kwaliteit niet zonder slag of stoot is bereikt. Dat had meer om het lijf dan het ‘simpel’ weglaten van de kolommen in de atriumzones uit het eerste ontwerp van de constructeur: **“Het succes ligt besloten in het jezelf gunnen om vanuit kwaliteit te denken in plaats vanuit standaardoplossingen. Zo wilden we ons niet neerleggen bij de ogenschijnlijke vanzelfsprekendheid dat je op een zo extreem geluidbelaste locatie kiest voor kleine ramen.”** Daarmee zou het potentieel van de locatie – het werken en verblijven in een ietwat vervreemdende omgeving midden tussen reusachtige vliegtuigen – goeddeels onbenut zijn gebleven en zou de verbinding tussen het gebouw en de plek niet tot stand zijn gebracht.



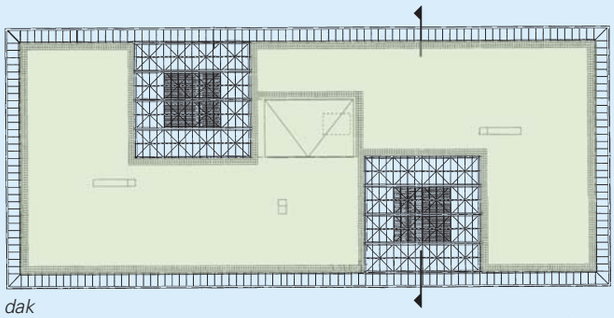
Tussen het kantoorgebouw en de buitenste glazen huid, een soort regenjas, zit een ongecompartimenteerde ruimte, als een serre, met een breedte van 1,8 m. Deze serreruimte dient als geluidbuffer en heeft tegelijkertijd een gunstig effect op de energiehuishouding.



begane grond



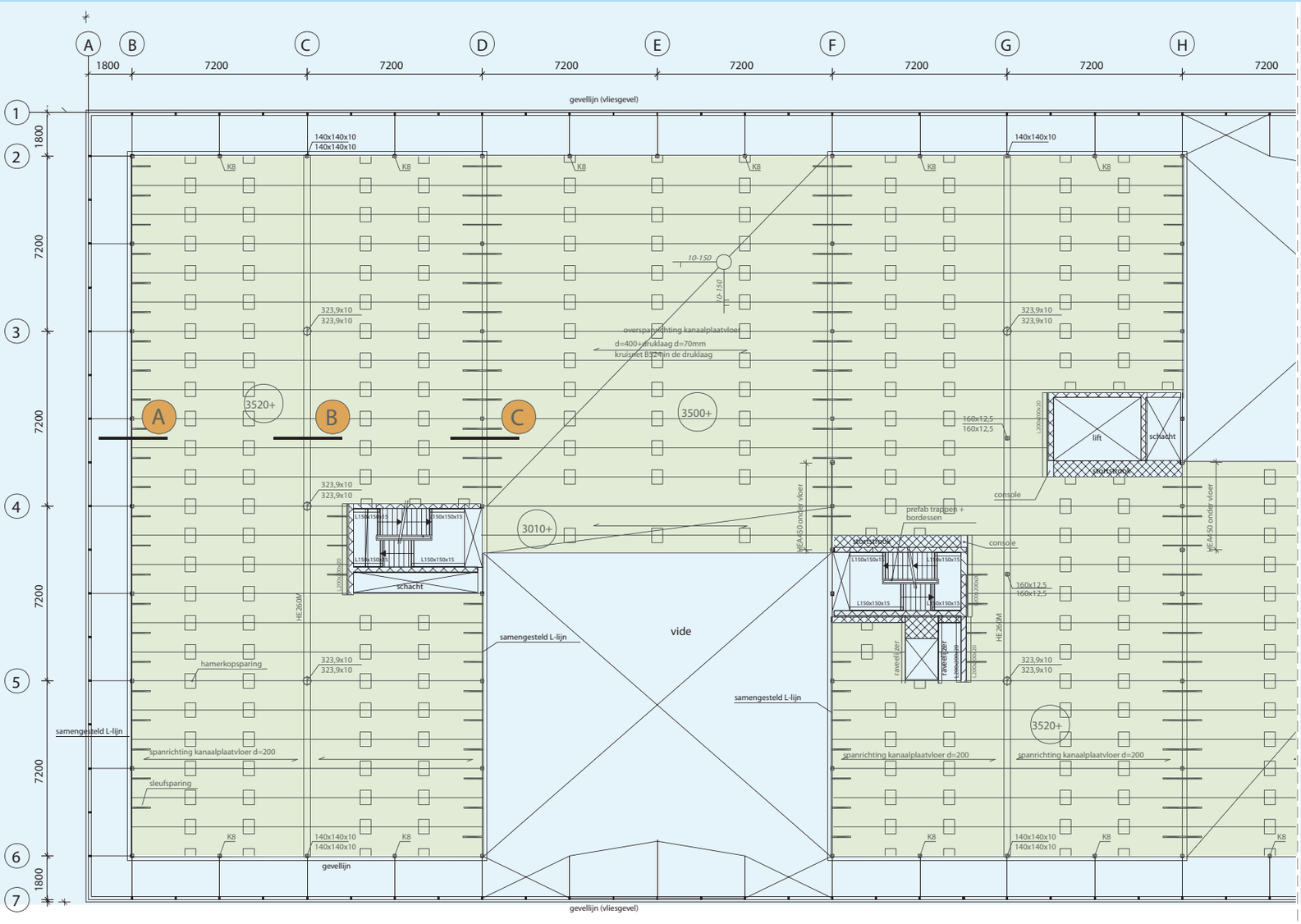
3e verdieping

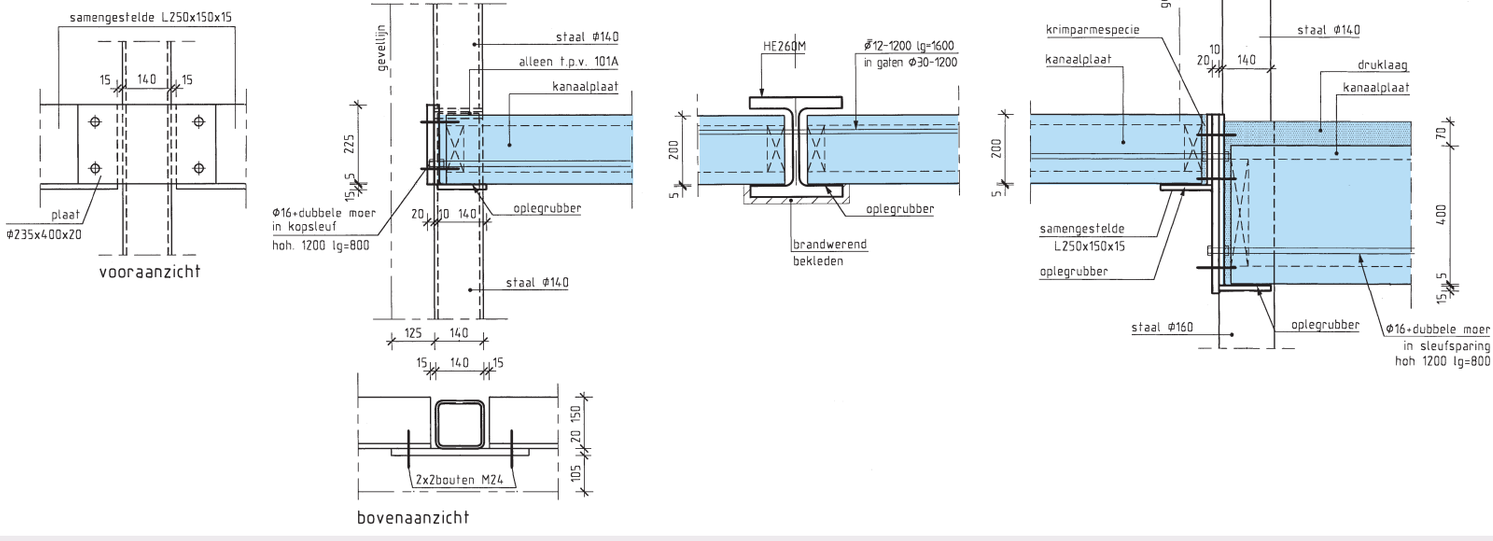


dak

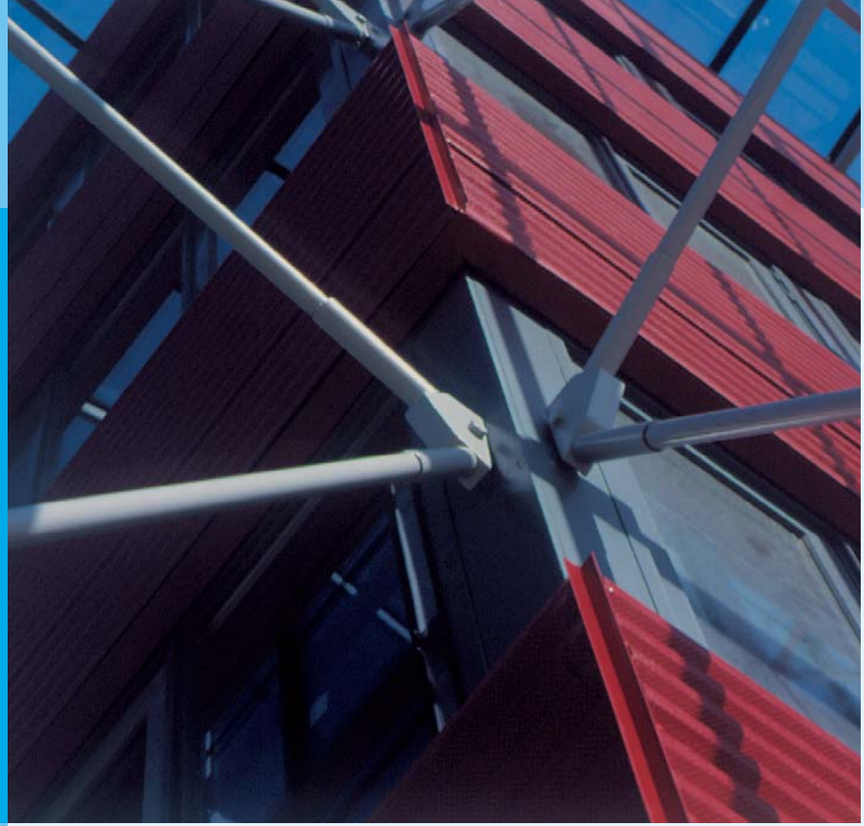
Dwarsdoorsnede over een atrium. Door de verspringende vorm van de atria hebben niet alle verdiepingen dezelfde plattegrond.

Er zijn vier atria die in de plattegrond ‘verspringen’. Ze zijn als steenachtige binnentuinen uitgewerkt, omdat ze geen noemenswaardige bijdrage aan de vuurbelasting mochten leveren.

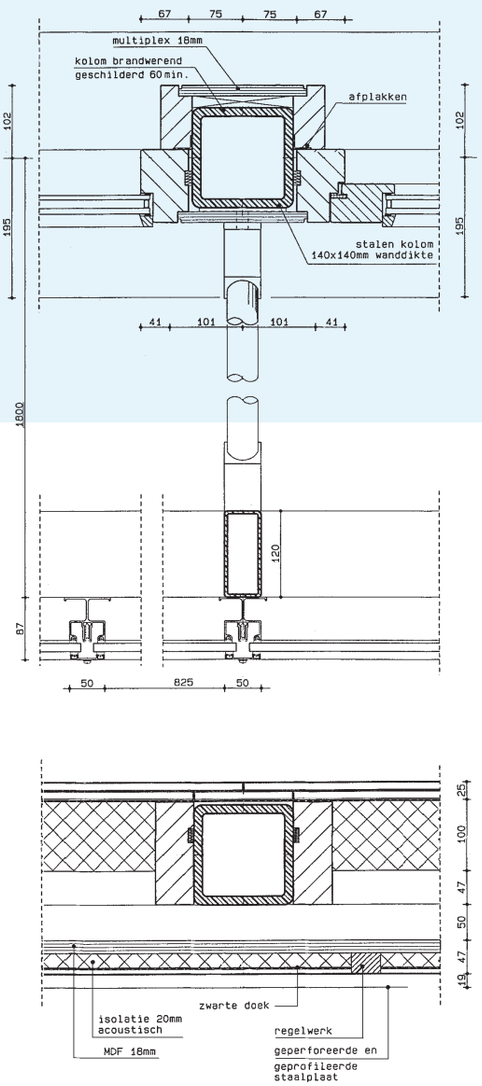




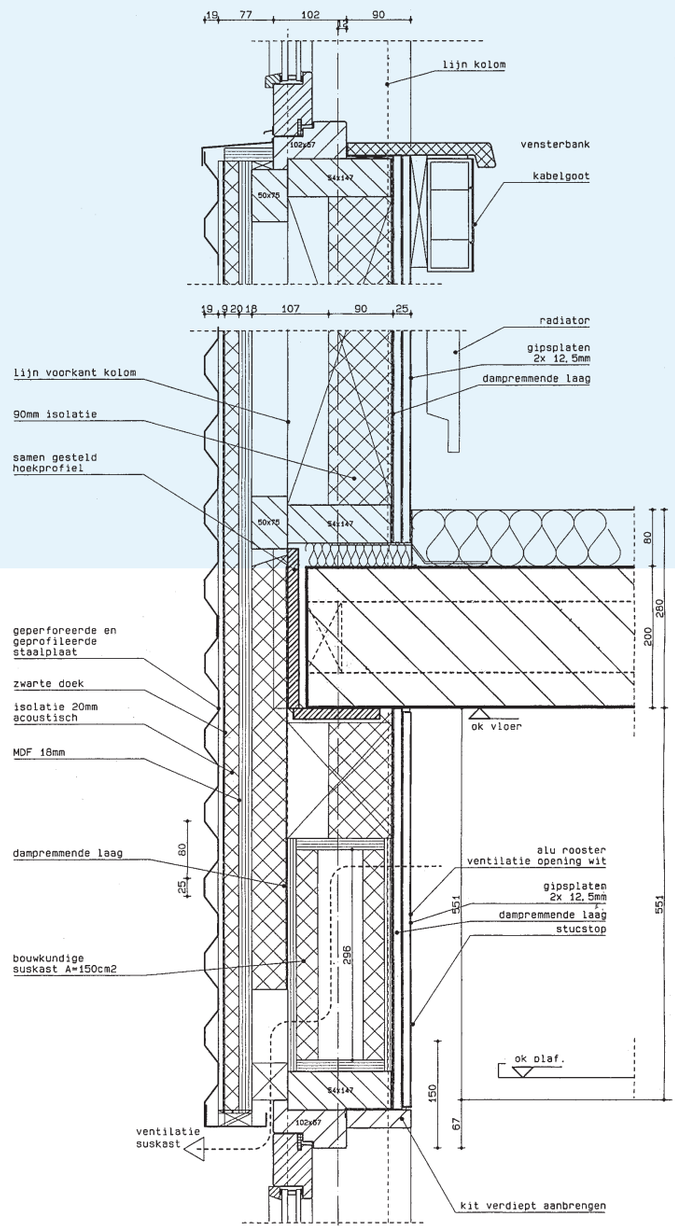
Constructieve plattegrond van de eerste en tweede verdieping met enkele constructiedetails (K8 = koker 140x140x6,3).



De borstweringen in de gevels van de atria zijn uitgevoerd in steenrood gemoffelde stalen golfplaten, die zonder merkbaar detail aansluiten op de onder- en bovenliggende glasstrook en die ook onderling zonder nadruk op elkaar aansluiten. De golfplaten werken daardoor als sterke horizontale lijnen.



Horizontale doorsnede van de gevel over de raamstrook (boven) en over de borstwering (onder).



Verticale doorsnede over de kopgevel en ter plaatste van de atria (binnengevel). Een binnenspouwblad in houtskeletbouw met een stalen gevelbeplating vormt een zeer economische oplossing.

Wim Maas

“Het is lastig wanneer het ontwerp van een gebouw wordt losgekoppeld van de vraag hoe je het in elkaar zet.”

PROJECTGEGEVENS

Locatie Hanzeland, Zwolle • **Opdracht** BFB, Zwolle • **Architectuur** Maas Architecten, Lochem • **Constructief ontwerp** Ingenieursburo Bartels, Lochem • **Uitvoering** Veluwse Bouwonderneming VBO, Apeldoorn • **Staalconstructie** Oostingh Staalbouw, Katwijk aan Zee • Zie ook: F. de Groot, ‘Bouwteam kiest voor snelheid van staal’, *Bouwen met Staal* 161 (2001), p. 38-42.

Kantoorgebouw Da Vinci, Zwolle

Betonontwerp vindingrijk vertaald in staal

Het was aanvankelijk niet de bedoeling dat kantoorgebouw Da Vinci een staalconstructie zou krijgen. Het gebouw was namelijk bouwkundig ontworpen voor een uitvoering in beton. Maar om de bouwtijd tot acht maanden te beperken koos de opdrachtgever, die tevens de ontwikkelaar was, uiteindelijk toch voor staal. Architect Wim Maas moest daarna flink improviseren om het 'betonnen' ontwerp te vertalen in een 'stalen' ontwerp. Dat deze ingrijpende operatie is geslaagd, zegt veel over de expertise van de ontwerper, maar onderstreept tegelijkertijd de flexibiliteit van het bouwen in staal.

Toen Bouwkundig Facilitair Bureau (BFB) tot de conclusie kwam dat er in Zwolle voor hen geen geschikte kantooraccommodatie voorhanden was, besloot het bedrijf het initiatief in eigen hand te nemen. In de wijk Hanzeland, achter het station en dicht bij het centrum, was een kavel beschikbaar en al snel was het idee geboren om zelf een kantoorgebouw te ontwikkelen. Da Vinci was een feit. Behalve door BFB zelf was het gebouw ook voor andere gebruikers bestemd. Het ontwerp werd toevertrouwd aan Maas Architecten uit Lochem met als opdracht een gebouw te maken met een eigen identiteit en waarin interactie tussen de verschillende gebruikers mogelijk is. Zo vond opdrachtgever BFB dat de hal van het nieuwe kantoor een ruimere functie moest krijgen dan alleen die van een verzamelpunt voor het verticale transport per lift of trap, namelijk een plaats waar mensen elkaar kunnen ontmoeten. Geïnspireerd door deze randvoorwaarden maakte architect Wim Maas een eerste schetsontwerp.

WATER WORDT HAL

Het eerste ontwerp voor Da Vinci maakte op een vrije manier gebruik van de mogelijkheden van de stedenbouwkundige situatie. Samen met twee andere kantoorgebouwen stond het complex als een 'vooruitgeschoven post' met de voeten in het water. Het was de bedoeling van Maas dat het water ook tot in het hart van het oorvormige gebouw zou doordringen, waardoor je vanuit de ene kant van het kantoor over het water zicht had op de andere kant.

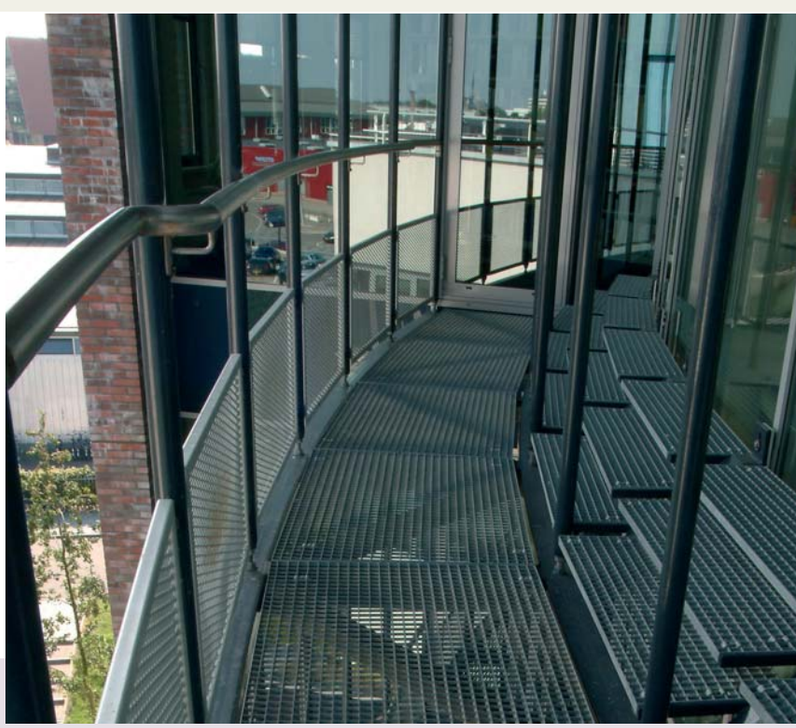
Hoe boeiend dit concept ook was, het is niet uitgevoerd. De angst bestond namelijk dat het water verontreinigd zou raken met zwerfvuil en bovendien was men sowieso beducht voor (stank)overlast door stilstaand water. Maar vooral moesten de vierkante meters efficiënter worden benut. Het water in het hart van het gebouw verdween en maakte plaats voor een ruim bemeten centrale hal met daarin een ruimtelijke trap. De hal kreeg een gebouwhoge glazen gevel, die duidelijk contrasteerde met de als massa uitgewerkte buitenwanden.

Ook deze herziene opzet koppelde de architect direct aan een uitvoering in beton. De stabiliteit werd daarbij ontleend aan twee massieve trappenhuizen, één aan elke kant van het centrale gebied.

VAN BETON NAAR STAAL

Op het moment dat de architect dacht zijn ontwerp rond te hebben, werd hij verrast met een aanvullende eis: het gebouw moest om financiële reden binnen een jaar klaar zijn. De opdrachtgever gaf toen aan een voorkeur te hebben om de gehele draagconstructie in staal uit te voeren. Maas' eerste reactie was: **"Dat meen je niet, dat lijkt me niet de meest logische keuze"**. Hij doelde daarmee op de vorm van het gebouw en de manier waarop de stabiliteit was geregeld. Maar ook het gevelbeeld zou onherroepelijk moeten worden gewijzigd, terwijl welstand het plan al had goedgekeurd.

Het traject dat daarna volgde vergde van de architect een grote vindingrijkheid. **"Het is lastig wanneer het ontwerp van een gebouw wordt losgekoppeld van de vraag hoe je**



Bakstenen en pleisterwerk verbergen een volledig stalen draagconstructie. De stalen loopbruggen boven de entree dienen als tweede vluchtroute bij brand én als horizontale steun voor de glazen gevel.

Betonnen kernen ontbreken. Stalen verbanden verzorgen de stabiliteit van de staalconstructie.

het in elkaar zet." Met de bedoeling om zo dicht mogelijk bij het originele (en goedgekeurde) idee te blijven, is in het ontwerp als het ware een staalconstructie ingepast.

Een eerste opgave die zich daarbij aandiende was dat van de stabiliteit. De betonnen kernen zijn vervangen door een aantal stalen stabiliteitsverbanden, die zijn uitgevoerd als verticale vakwerken. Drie ervan zijn onzichtbaar opgenomen in de wanden van het veiligheidstrappenhuis en van de facilitaire unit in het centrum van het gebouw. En in de vide van de grote hal staat een stabiliteitsverband dat als een ornament is uitgewerkt en zichtbaar bleef.

Een andere opgave betrof het stramien van de staalconstructie. Gelet op het onregelmatige verloop van de ovale vorm is het voor kantoren geëigende gebouwstramien van 1,8 m niet rigide toegepast. Dat had volgens Maas ook weinig zin, omdat er vanwege de gekromde gevel geen sprake was van uniformiteit in de aansluiting met de gebouwhuid. Bovendien kon met een vrijer constructiestramien ook beter rekening worden gehouden met de al ingedeelde binnenruimte. Voor de kolommen is daarom een combinatie gekozen: buizen voor alle inpandige kolommen en voor de gevelkolommen die in het zicht bleven en HEA-profielen voor alle niet-zichtbare gevelkolommen. **"Dat er met verschillende kolomprofielen is gewerkt, hangt in de eerste plaats samen met de belasting. De inpandige kolommen worden beduidend zwaarder belast dan de kolommen die in de gevel staan. Ook hebben we zo weinig mogelijk constructie-elementen in de ruimte geplaatst vanwege de vrije indeelbaarheid."** Maar ook speelde de brandwerendheid een rol. Alle buiskolommen zijn gevuld met gewapend beton om de geëiste brandwerendheid van 90 minuten te behalen. Maas wilde namelijk niet dat de zichtbare kolommen werden omkleed met een brandwerend materiaal. De HEA kolommen in de gevel zijn beschermd met een dubbele gipsvezelbeplating. Alleen het zichtbare stabiliteitsverband in de vide bij de entree is met brandwerende verf behandeld. Inpakken was hier zowel om esthetische als uitvoeringstechnische reden geen optie.

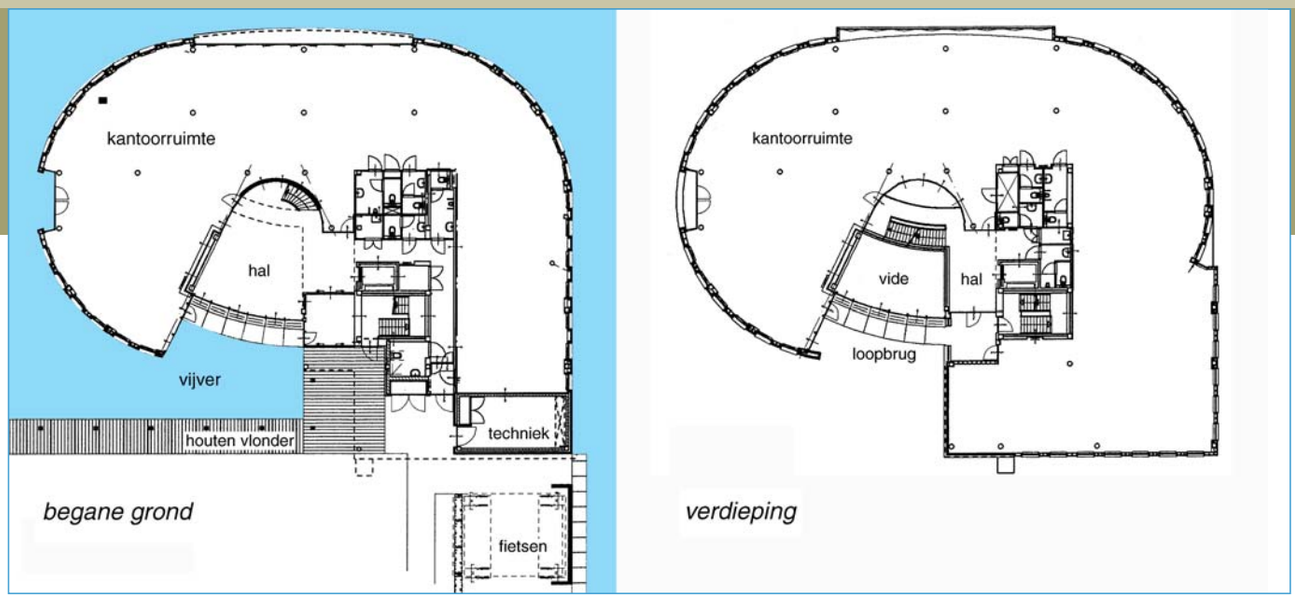
TWEEDE VLUCHTROUTE

De verandering van beton naar staal had met name in de rechthoekige vleugel rechts naast de hoofdingang consequenties voor de gevelindeling. Maas had hier een patroon van alternerend doorlopende glasstroken en gesloten borstweringen ontworpen. Tot op zekere hoogte lukte dat ook met staal. Alleen ter plekke van het overkragende gebouwdeel is van het oorspronkelijke ontwerp afgeweken, omdat er in het binnenblad diagonale trekstangen moesten worden opgenomen om de overstekende vloer op te vangen.

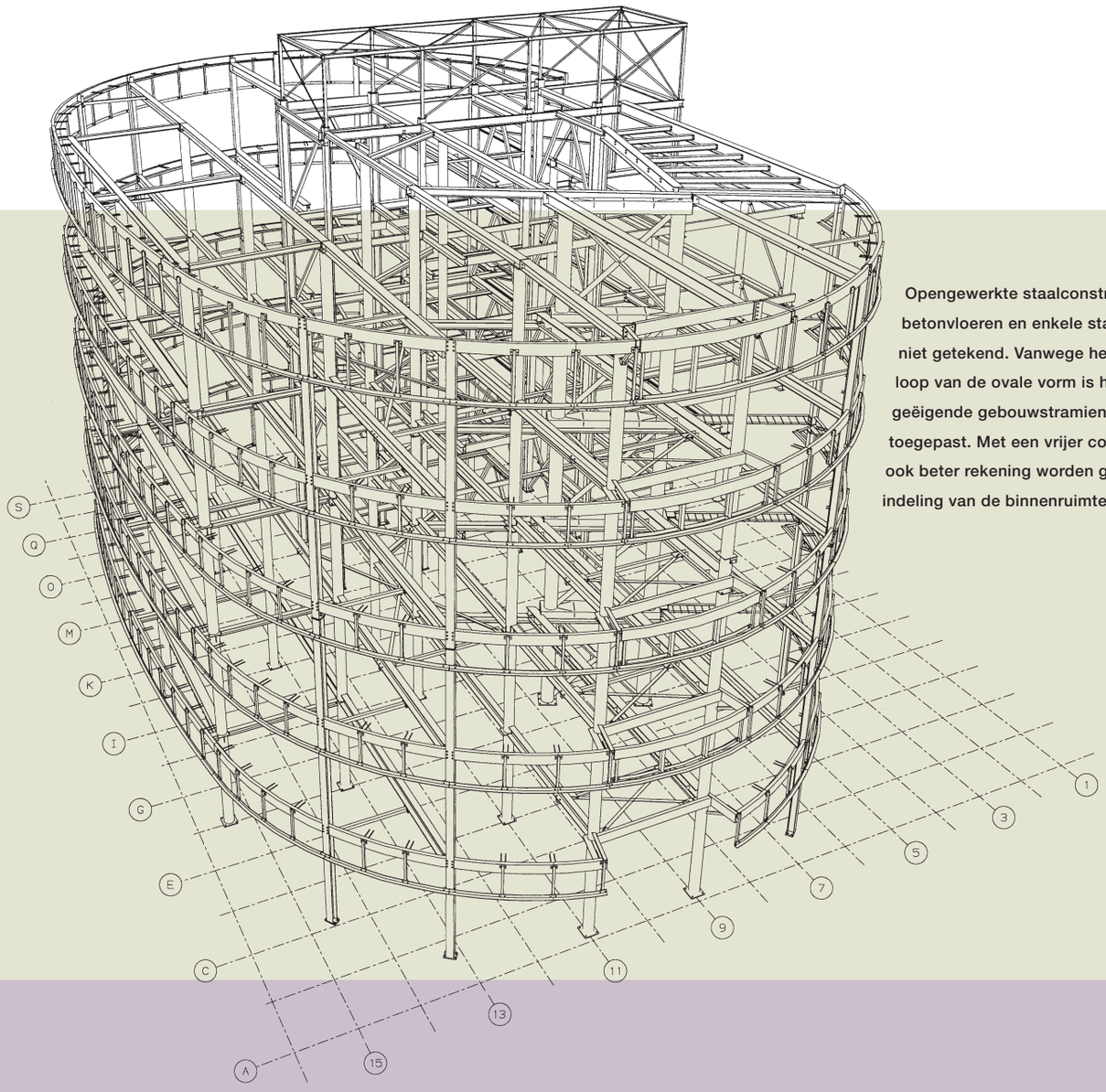
Op een andere plek voegde de transformatie naar staal juist weer iets toe aan het ontwerp. De gebouwhoge glazen entreepui moest sowieso een constructie krijgen om de windbelasting te kunnen opnemen. Tegelijkertijd kampte Maas met het probleem dat met de tweede betonnen kern ook de tweede vluchtroute was verdwenen. Deze twee opgaven bedacht hij een gecombineerde oplossing in de vorm van stalen loopbruggen, die zich aan de buitenkant vóór de glaspui bevinden. De vloer van de loopbruggen is uitgevoerd als (horizontaal) vakwerk dat de windbelasting opneemt. De loopbruggen dienen tevens als tweede vluchtroute, waarmee gebruikers vanuit de linkergebouwhelft via de buitenruimte het veiligheidstrappenhuis kunnen bereiken. Om het opwaaien van de loopbruggen te voorkomen, verankerde Maas ze met strekstangen aan de fundering. De vakwerken fungeren tevens als geïntegreerde zonwering en maken bovendien een glazenwasvoorziening overbodig. **"Je kunt een probleem oplossen door er een andere functie aan te koppelen," typeert Maas de eigen aanpak.**

NASTELBARE METSELWERKONDERSTEUNING

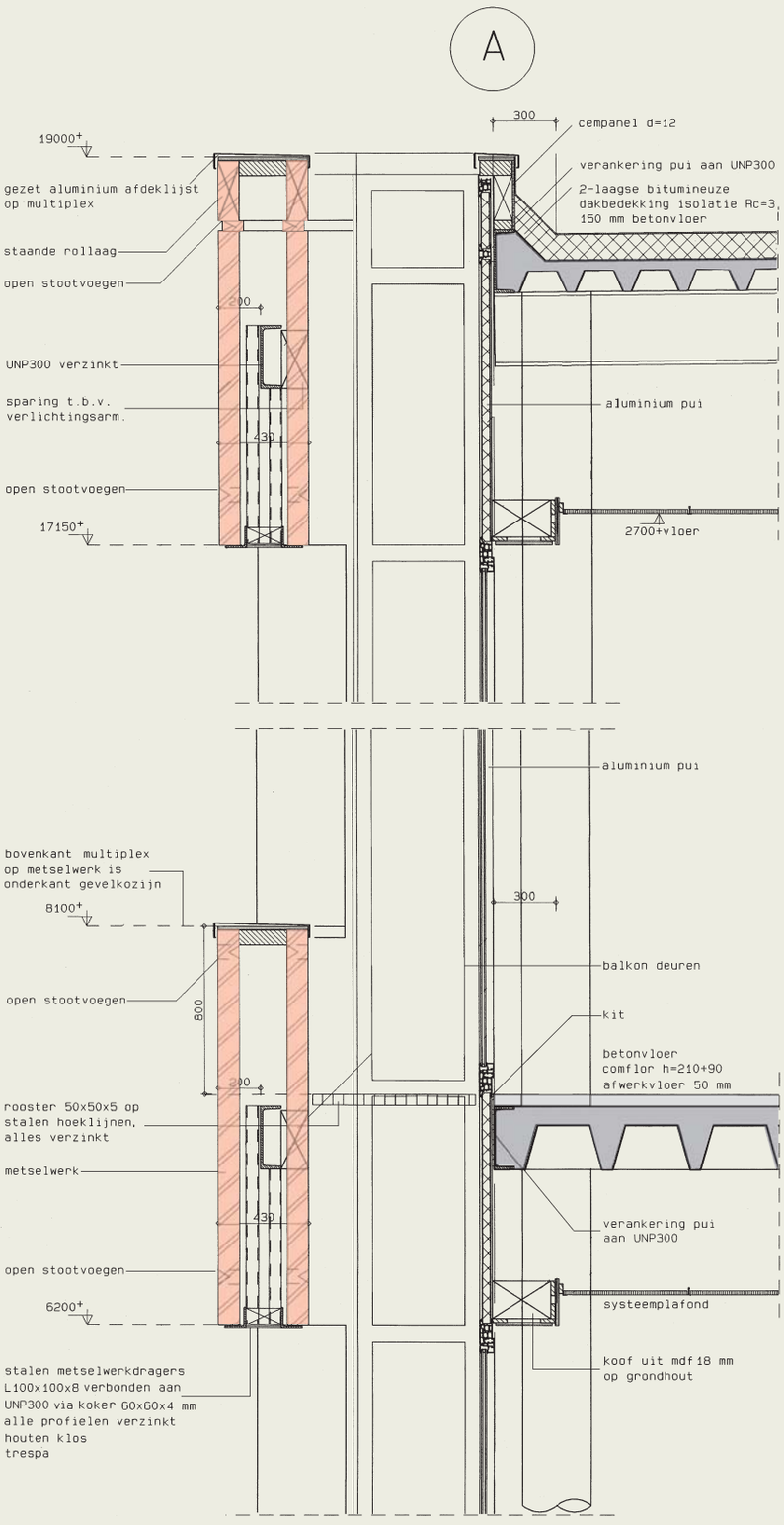
Wellicht het meest slimme detail, dat tevens de oplossingsgerichte benadering van Maas kenmerkt, is de aansluiting van de verdiepingvloeren met de gebouwhuid. De architect legt uit dat er ter plekke van de ontmoeting van de vloerconstructie met de gekromde gevel veel zogeheten restvlakken zijn én dat de kromming van de gebouwhuid telkens anders is. Bovendien staat de ene kolom dichter bij de gevel dan de andere en dat betekent weer dat de ene vloerligger in de richting van de gevel verder uitkraagt dan de andere. Het gevolg daarvan is dat de uiteinden van de uitkragende vloerliggers ter plekke van de gevellijn niet allemaal evenveel doorbuigen. Maar het metselwerk van het buitenblad moet uiteraard op een gelijke hoogte aanvangen. Dit probleem loste Maas op met een nastelbaar aansluitdetail. Aan de rand van de vloer (een staalplaat-betonvloer) is een UNP 300 gemonteerd, waaraan een verzinkte koker is gebout. Aan de voet van de koker is een eveneens verzinkt hoekprofiel met verticale slobgaten los-vast gemonteerd. Dit hoekprofiel draagt het metselwerk van het buitenblad. Nadat de staalplaten voor de vloer zijn gelegd en het beton is gestort, worden de hoekprofielen na een week nagesteld tot ze alle in hetzelfde horizontale vlak liggen. Pas dan worden ze geborgd via lassen, die met zinkverf worden bijgewerkt om corrosie te voorkomen. Het metselwerk kan nu strak worden opgetrokken. Om een goede kromming van het buitenblad te waarborgen is daarbij een op maat gekromde aluminium rei gebruikt.



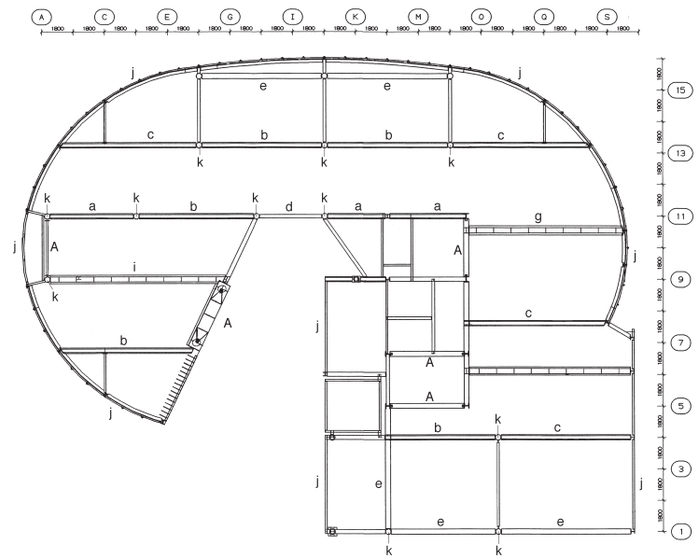
Plattegrond van de begane grond en van een standaardverdieping.



Opengewerkte staalconstructie. De staalplaat-betonvloeren en enkele stabiliteitsverbanden zijn niet getekend. Vanwege het onregelmatige verloop van de ovale vorm is het voor kantoren geëigende gebouwstramien van 1,8 m niet rigide toegepast. Met een vrijer constructiestramien kon ook beter rekening worden gehouden met de indeling van de binnenruimte.



Verticale doorsnede over de voorgevel op as A, met detail van de dakrand.

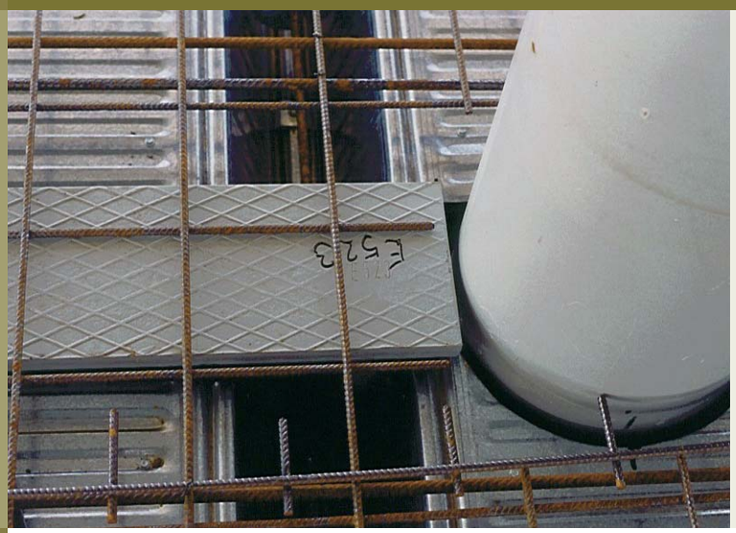


Constructieve plattegrond van een standaardverdieping.

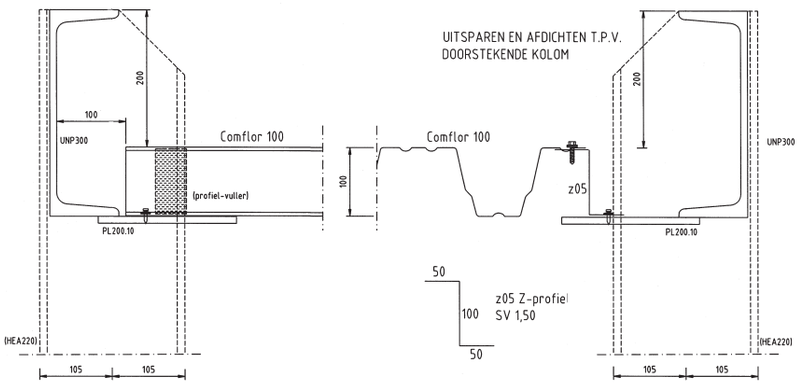
f

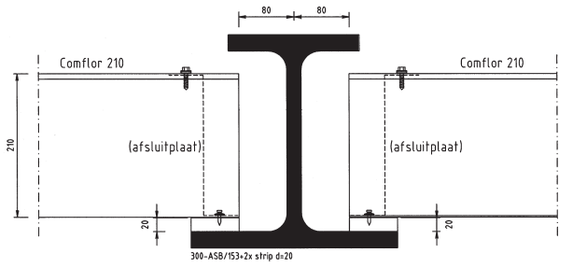
a geïntegreerde ligger 280-ASB/100
b geïntegreerde ligger 280-ASB/136
c geïntegreerde ligger 280-ASB/153
d vloerligger HEA 200
e vloerligger HEA 320
vloerligger HEA 300
g vloerligger HEB 360
h vloerligger HEB 400
i vloerligger HEB 450
j randligger UNP 300

De betonnen kernen zijn vervangen door een aantal stalen stabiliteitsverbanden. In de vide van de grote hal is het verticale vakwerk als een ornament uitgewerkt. Dankzij een brandwerende coating kon het staal hier in het zicht blijven.

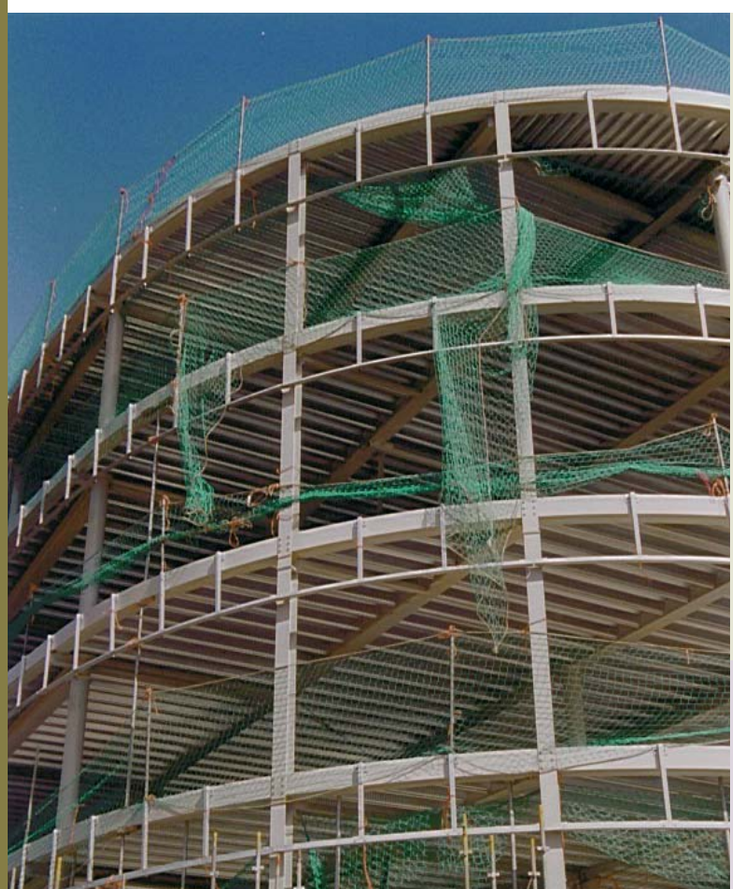


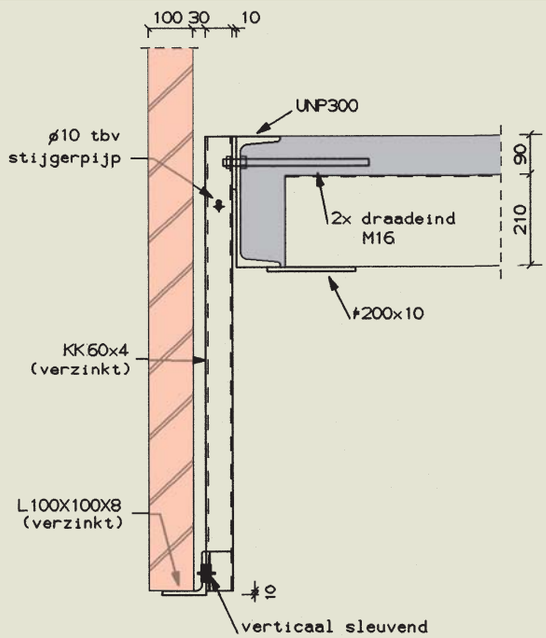
Een kenmerk van een staalplaat-betonvloer is de flexibiliteit in de uitvoering. Sparingen worden in het werk geknipt door met een stift de sparing uittekenen en vervolgens het gat maken. Nadat de randbekisting is gesteld kan de vloer worden afgestort.





Aansluitdetails van de staalplaat-betonvloer met (links) een randligger in het dak en (rechts) een geïntegreerde vloerligger.





Opvangconstructie van het gevelmetselwerk per bouwlaag. De werkwijze is als volgt: (a) hoekprofiel L100x100x8 los/vast monteren; (b) vloerplaten leggen en beton storten; (c) na één week hoekprofiel zuiver horizontaal stellen en borgen via lassen; (d) las bijwerken met zinkverf. Op elke bouwlaag is dus een dilatatie in de liggende voeg van het metselwerk opgenomen.

Joost Buijs

“Ontwerpen met een Infra+-vloer vereist een fundamenteel andere aanpak dan met een kanaalplaatvloer of een breedplaatvloer.”

PROJECTGEGEVENS

Locatie Furkapas 8, Eindhoven • **Opdracht** Total Support, Eindhoven • **Architectuur** Van der Linden & Partners Buro voor Architectuur en Stedebouw, Eindhoven • **Constructief ontwerp** Krekon Konstruktie-Adviesburo, Heeze • **Uitvoering** Aannemingsbedrijf H. Huijbregts, Eindhoven • **Staalconstructie** Van Gerwen Metaalbouw, Uden.

Kantoorgebouw Total Support, Eindhoven

Flexibel gebruik vraagt om holtevloer

Op het eerste gezicht ziet het bedrijfspand van Total Support er traditioneel uit. Maar achter de 'gewone jas' schuilt een staalconstructie met een innovatieve vloer. Een korte bouwtijd en flexibiliteit in het gebruik waren de belangrijkste redenen om voor een holte- of leidingvloer te kiezen. Architect Joost Buijs en opdrachtgever Rob van Hoek verhalen over een als leerzaam ervaren ontwikkelingstraject.

Total Support was aanvankelijk gevestigd in Veldhoven, totdat het bedrijf werd uitgekocht door hightech concern ASML dat het terrein nodig had voor de bouw van een omvangrijk fabriekscomplex. Vanaf dat moment had Total Support haast en architect Joost Buijs van Van der Linden & Partners moest de nieuwe accommodatie dan ook zo ontwerpen dat zo snel mogelijk een nieuw pand kon worden betrokken. Bovendien moest Buijs ervoor zorgen dat de nieuwbouw flexibel is in gebruik. In de activiteiten van Total Support staat namelijk geavanceerd dataverkeer centraal en de opdrachtgever was zich er als geen ander van bewust hoe snel en ingrijpend binnen deze branche de behoefte aan specifieke faciliteiten verandert. De bouwkundige constructie moest daarop zijn voorbereid.

WERKEN AAN FLEXIBILITEIT

In het programma van eisen stond dat de nieuwbouw een kantoorgedeelte omvatte én een min of meer standaard bedrijfshal voor de bouw van machines en prototypes. Het complex moest bovendien in twaalf maanden worden gebouwd. Vanuit deze eisen koos Buijs direct voor een constructie in staal. Dat was volgens hem de beste oplossing voor dit project. Daar kwam bij dat de architect in de uitstraling aansluiting zocht met de aard van de onderneming: **"Het gaat om een technisch bedrijf dat innovatieve producten ontwikkelt."** Buijs spreekt van 'denken in machines' en hij vindt dat je dat ook aan het gebouw moet kunnen aflezen. Het ontwerpen in staal ziet hij daarbij als een eerste en belangrijke stap in de goede richting.

De hoofdopzet van de draagconstructie gaat uit van een voor dit type bouwwerk gebruikelijke stramienmaat van 4,8 m, maar zowel de constructie als de gevel is zodanig ontworpen dat de gebruiker op elke 1,2 m een wand kan plaatsen. Verwijzend aan het vloersysteem dat in dit project is toegepast, zegt Buijs over de modulaire gevelindeling: **"We hebben gekozen voor een flexibel systeem, dan moet je geen gevel introduceren die de flexibiliteit teniet doet."**

WELKE VLOER?

Het staalskelet bestaat uit buiskolommen en HE- en IPE-vloerliggers. Meestal wordt een dergelijk skelet ingevuld met kanaalplaatvloeren en wordt de stabiliteit ontleend aan bijvoorbeeld stalen stabiliteitsverbanden in combinatie met schijfwerking van de vloer. Ook voor dit gebouw werd in eerste instantie aan kanaalplaten gedacht, maar Buijs en opdrachtgever Rob van Hoek van Total Support kozen uiteindelijk voor een alternatief waarmee Buijs in een eerder project al goede ervaringen had opgedaan: de Infra+-vloer.

Deze vloer is opgebouwd uit geprefabriceerde vloerelementen met een standaardbreedte van 2,4 m. De vloerelementen bestaan uit stalen I-vormige liggers hart-op-hart 0,6 m of 1,2 m, waarvan de onderflenzen zijn ingestort in een betonnen plaat van 70 mm dikte. De betonnen plaat vormt als een breedplaatvloer de onderkant van de vloer. In het lijf van de liggers zitten sparingen, waardoor in de holle ruimte van de vloer in twee richtingen leidingen kunnen lopen. Aan de bovenzijde wordt de vloer meestal afgewerkt met demontabele cementgebonden vezelplaten. De holle ruimte van de vloer blijft zo bereikbaar voor aanpassingen van de leidingen.

KEUZE VOOR HOLTEVLOER

De architect had al vanaf het begin een voorkeur voor de bijzondere vloer vanwege de relatie tussen het innovatieve karakter van de Infra+-vloer en de signatuur van Total Support. Toch is deze optie kritisch afgewogen tegen andere alternatieven, zoals de kanaalplaatvloer.

Met een Infra+-vloer is er geen verlaagd plafond nodig. Dat beperkt de verdiepinghoogte en reduceert de gebouwhoogte

De belangrijkste kenmerken van de holtevloer waren de optimale flexibiliteit en een belangrijke reductie van de bouwtijd: **“Op een bouwtijd van ongeveer één jaar scheelde het zo’n drie maanden,”** benadrukt Buijs. Dat komt voor een deel omdat de installateur direct na het leggen van de vloerelementen met zijn werk kan beginnen én omdat hij daarbij onafhankelijk is van andere montagewerkzaamheden en van de afbouw. Als een ander doorslaggevend voordeel noemt de architect het feit dat het totale vloerpakket van een Infra+-vloer minder dik is. Bij het kantoorgebouw voor Total Support bedraagt de totale vloerdikte 360 mm. **“Met deze vloer hoeft er geen verlaagd plafond te worden gemaakt. Dat scheelt wel 0,3 tot 0,4 m per bouwlaag,”** weet de ontwerper. **“Zonder dat er iets verandert aan de netto-verdiepinghoogte kan de gebouwhoogte aanmerkelijk worden teruggebracht. Het gebouw wordt daardoor lichter en dat werkt weer door in de fundering, die we minder zwaar konden uitvoeren.”**

Een punt van aandacht was het feit dat de constructeur aangaf dat de vloer te weinig schijfwerking leverde om de volledige stabiliteit van het gebouw te kunnen waarborgen. Buijs legt uit dat daarom extra stabiliteitsverbanden zijn geplaatst en dat tevens de losse vloerelementen met een soort doken aan elkaar zijn gekoppeld om de schijfwerking van de vloer te vergroten. Deze doken zijn koppelingen die speciaal voor dit werk zijn ontwikkeld. In de betonnen plaat van elk vloerelement worden aan de bovenzijde kleine uitsparingen gemaakt. In twee, tegenover elkaar liggende uitsparingen wordt vervolgens een wapening gelegd, waarna de dook door het afstorten met beton wordt gevuld.

Een ander punt van aandacht was het vinden van een oplossing voor wat een ‘ingebakken tegenstrijdigheid’ kan worden genoemd. Enerzijds is de vloer vanwege de vereiste flexibiliteit vanaf de bovenzijde toegankelijk door het gebruik van demontabele vloerplaten. Maar anderzijds moet het loopvlak van de vloer strak zijn met naadloze aansluitingen. Buijs’ oplossing bestond uit het permanent dichtmaken van de vloer op plaatsen waar dat vanuit de flexibiliteit geen bezwaar was. Op andere plaatsen koos de architect voor een systeem van alternerend open en permanent gesloten banen. Dat verhoogde de stijfheid en strakheid van de vloer, zonder afbreuk te doen aan de essentie van het systeem. Ook paste hij extra zware cementgebonden vloerplaten toe van 28 mm dikte.

ZO LAAT MOGELIJK BOUWEN

De keuze voor een nieuw vloersysteem was voor de betrokkenen een nuttige leerschool. Opdrachtgever Van Hoek komt tot de slotsom dat het nodig is om zoveel mogelijk zaken van te voren door te spreken om een optimaal resultaat te behalen. Zo had hij meer willen weten over de integratie van de datastructuur en van het aircosysteem. Ook constateert hij dat het beter was geweest om de IPE-vloerliggers van de Infra+-vloer wat hoger te maken. Hierdoor zouden in het lijf meer en grotere sparingen kunnen worden aangebracht. Voor het vloerconcept was dat geen bezwaar geweest, maar niemand heeft er aan gedacht. Volgens Van Hoek is het daarom van belang zo laat mogelijk te gaan bouwen én om daarna tijdens de bouw niets meer te veranderen. Buijs is het daarmee eens: **“Vanwege het experimentele karakter was het verstandiger geweest om in het voorbereidingstraject niet alleen met de constructeur, maar ook met andere adviseurs, zoals de installateur, te praten. Dan kun je voorkomen dat mensen op het laatste moment nog dingen moeten inbrengen.”**

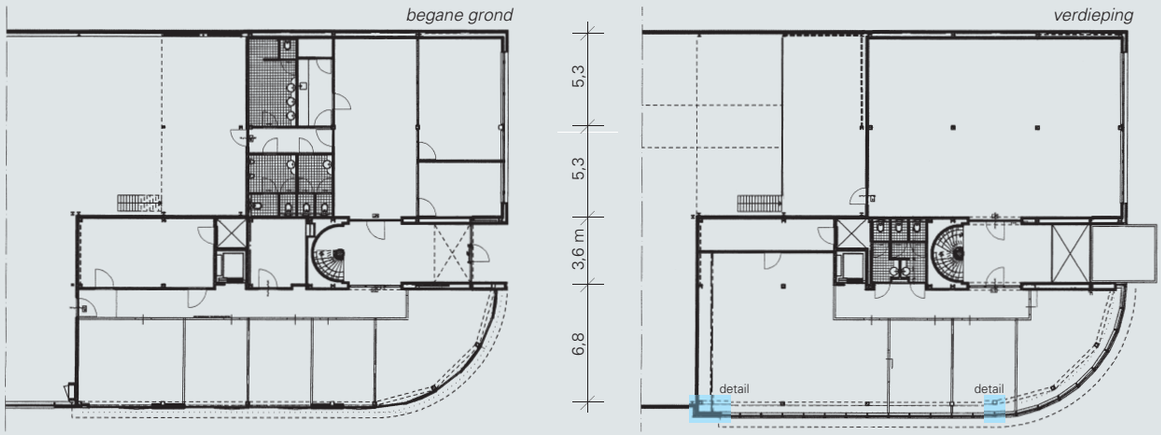
Buijs, maar ook Van Hoek, benadrukt dat sommige complicaties niets te maken hebben met het vloersysteem. **“Ontwerpen met een Infra+-vloer vereist een fundamenteel andere aanpak dan met een kanaalplaatvloer of een breedplaatvloer. Met de ervaring die we nu hebben, kunnen we bij een volgend project de mogelijkheden van de nieuwe vloer nog beter benutten”**, zegt Buijs.

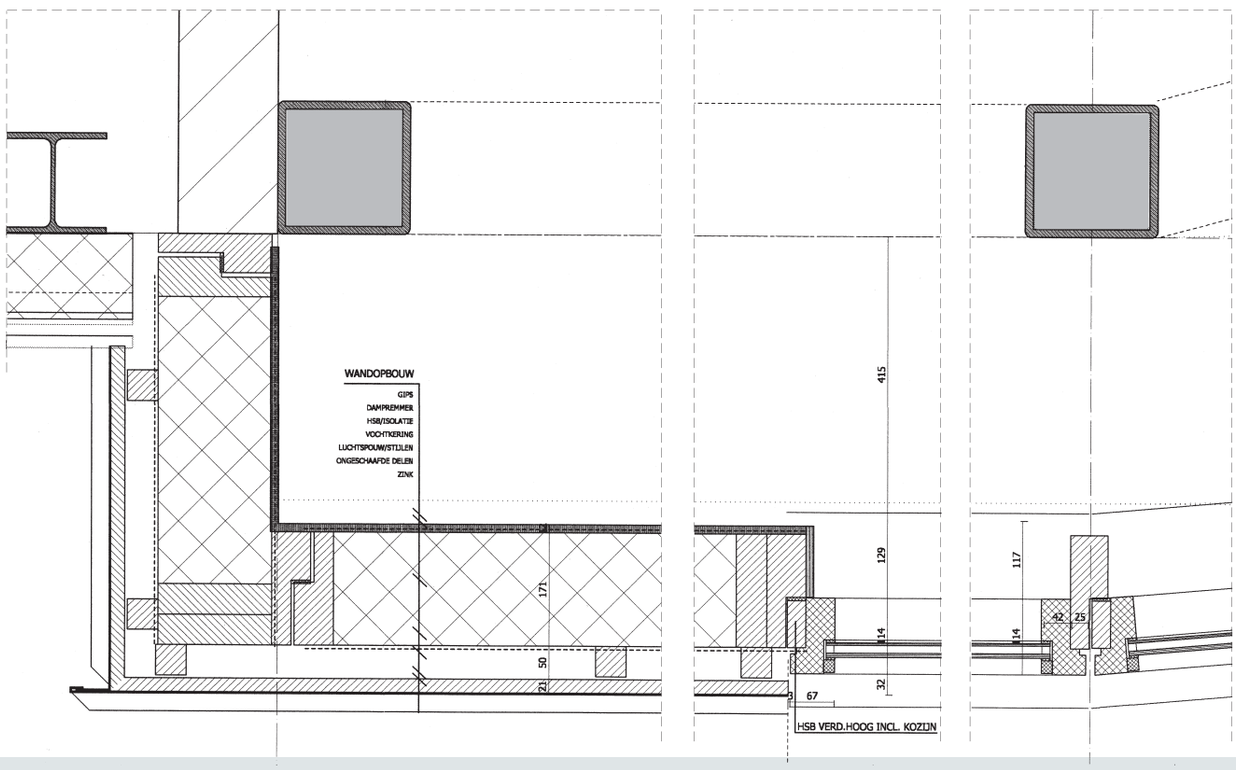
HANG NAAR NOSTALGIE

Aan de toepassing van het flexibele vloersysteem ontleende Total Support de status van demonstratieproject IFD-bouwen (Industrieel Flexibel Demontabel). Hiermee contrasteert de uitwerking van de gevel, die vooral appelleert aan de traditie. Buijs vertelt dat de opdrachtgever een voorkeur had voor art-deco architectuur. Zelf hecht hij vooral betekenis aan het gebruik van zo natuurlijk mogelijke materialen, die wortelen in een traditie. **“De beeldtaal is beïnvloed door een hang naar nostalgie. Ik heb inspiratie ontleend aan de historische architectuur van de Belgische badplaatsen, maar ook aan die van Miami Beach. Dat leidde tot een architectuur met een combinatie van horizontalen en verticalen,”** legt Buijs uit, die hieraan toevoegt dat er geen directe relatie bestaat tussen de inspiratiebron en het materiaalgebruik voor Total Support. Daarvoor koos Buijs handvorm bakstenen, zink en gegolfde staalplaat.

Het metselwerk vormt letterlijk en figuurlijk de basis van het kantoorgedeelte. Ook de entreehal en de kleine, voorafgaande vide zijn in baksteen uitgevoerd, waarmee Buijs de sfeer van buiten naar binnen heeft willen halen. Hij heeft dat gedaan op een plek die hij als het overgangsgebied tussen binnen en buiten heeft bedoeld. De lange zijde van het kantoordeel en de gebogen hoek daarvan – goed zichtbaar vanaf de hoofdverbindingswegen ter plekke – zijn verbijzonderd met een zinken bekleding. Daarmee zijn horizontale banen gevormd; een effect dat wordt versterkt door de ambachtelijke felsnaden die de overgang van de ene naar de andere baan plastisch accentueren. De hal kreeg een bekleding met gegolfde staalplaat. In alle gevallen bestaat het binnenblad uit houtskeletbouw. Buijs vond het belangrijk om met de kwaliteit van de gevelmaterialen ook de betaalbaarheid daarvan in de gaten te houden: **“Je moet niet vastlopen in je eigen dromen en daar je opdrachtgever mee opzadelen.”**

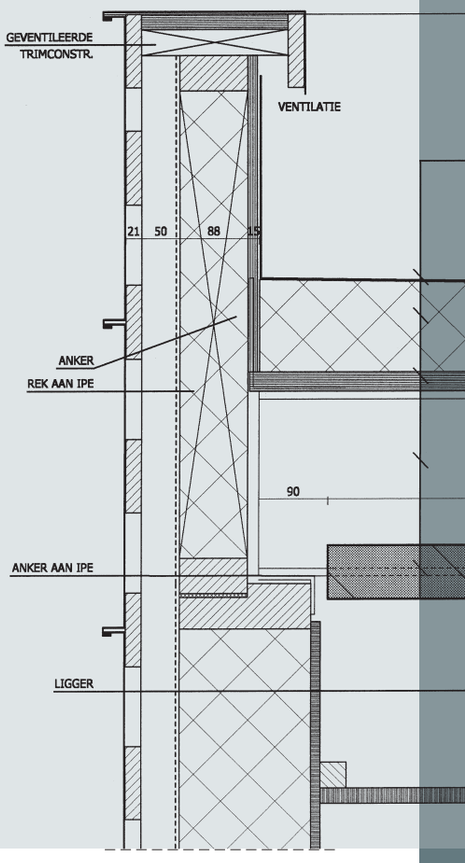
Plattegrond van de begane grond en een verdieping. Aan het kantoorgedeelte grenst nog een bedrijfshal die deel uitmaakt van het gebouw.

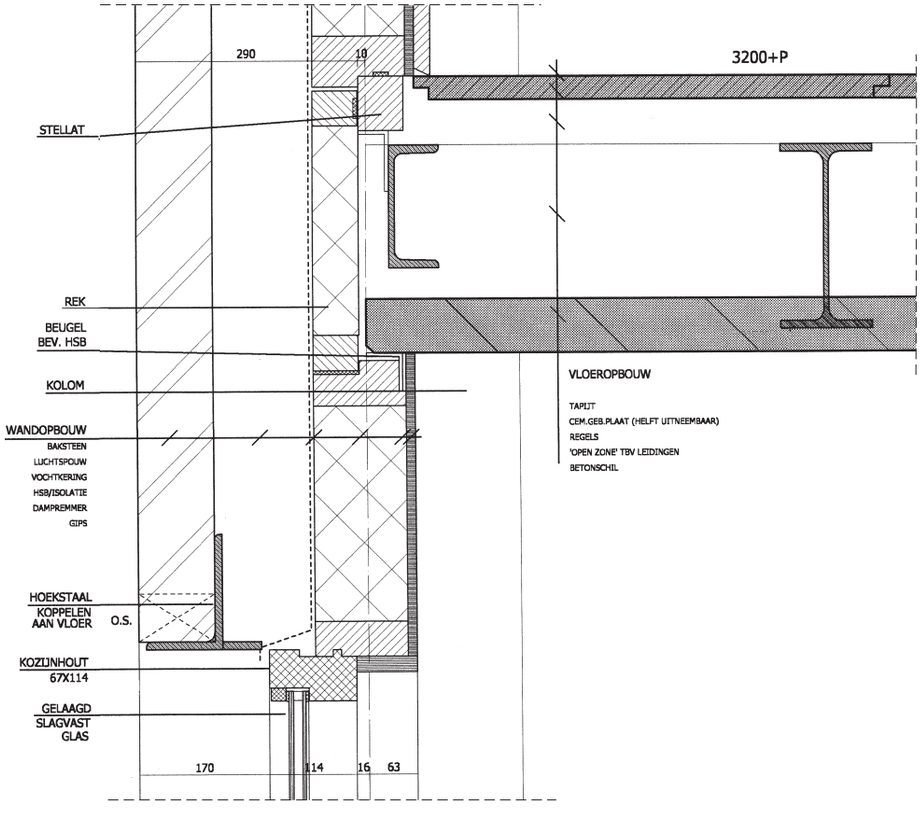




Horizontale doorsnede over de gevel van de verdiepingen. Ter plaatse van het ronde gedeelte is de gevel bekleed met zink, aangebracht op een binnenspouwblad in houtskeletbouw.

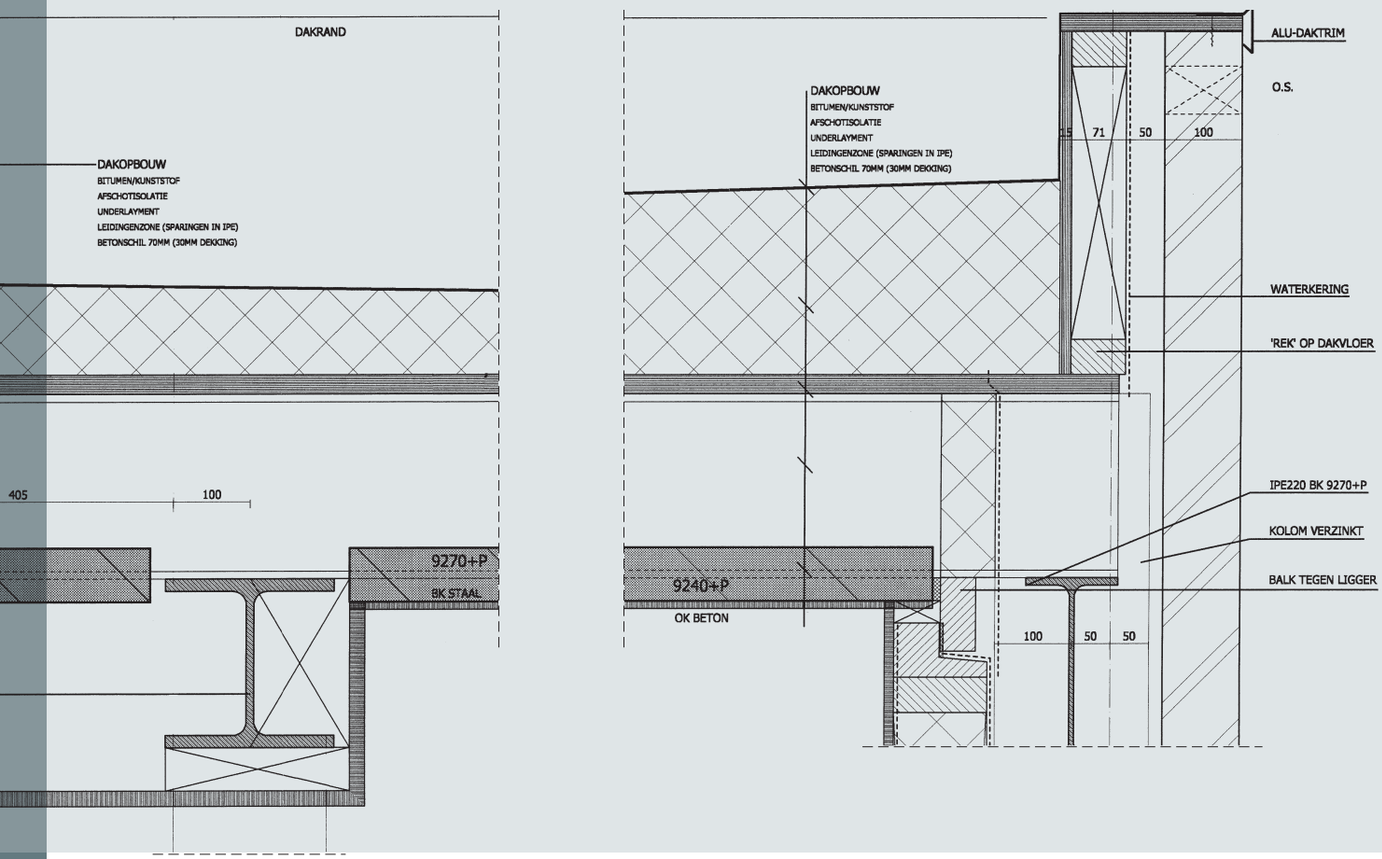
Bij een leiding- of holte vloer kan de installateur direct na het leggen van de vloerelementen beginnen met zijn werk. Hij is daarbij niet afhankelijk van andere montagewerkzaamheden en van de afbouw.

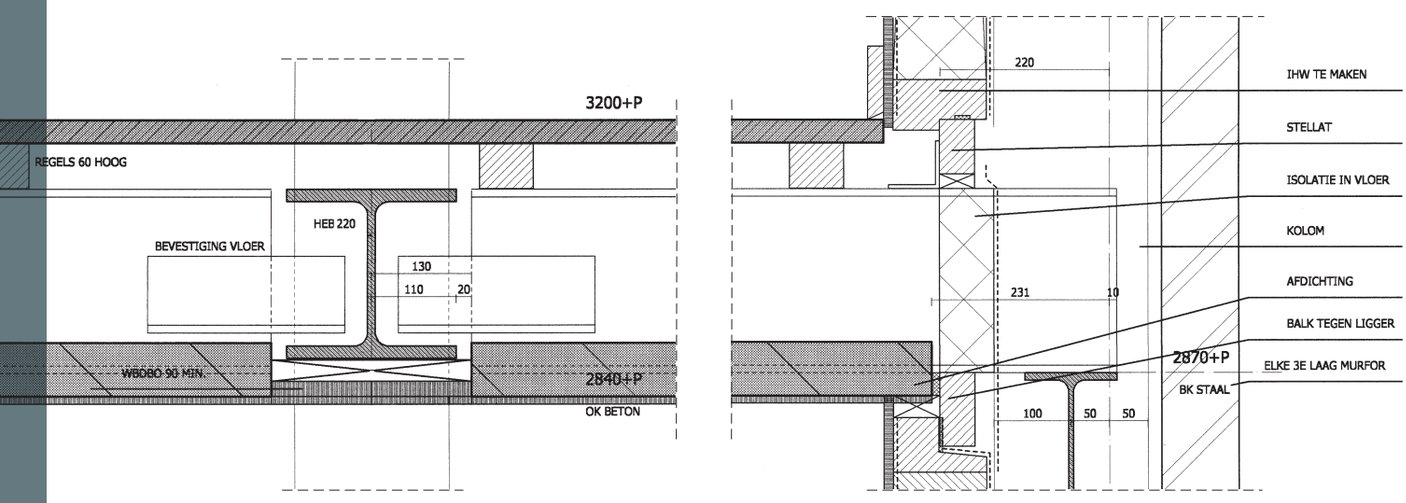




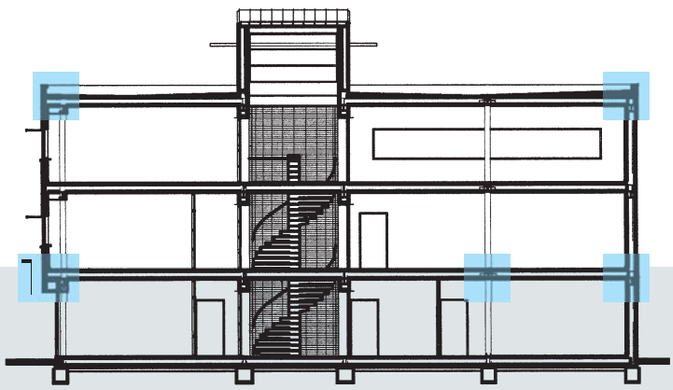
Verticale doorsnede over de kopgevel met aansluiting van vloer en gevel. Een UNP-profiel is hier als randligger gebruikt. Het gemetselde buitenblad wordt opgevangen door een apart hoekprofiel.

Uitkragende vloerrand, zie ook het detail hierboven.





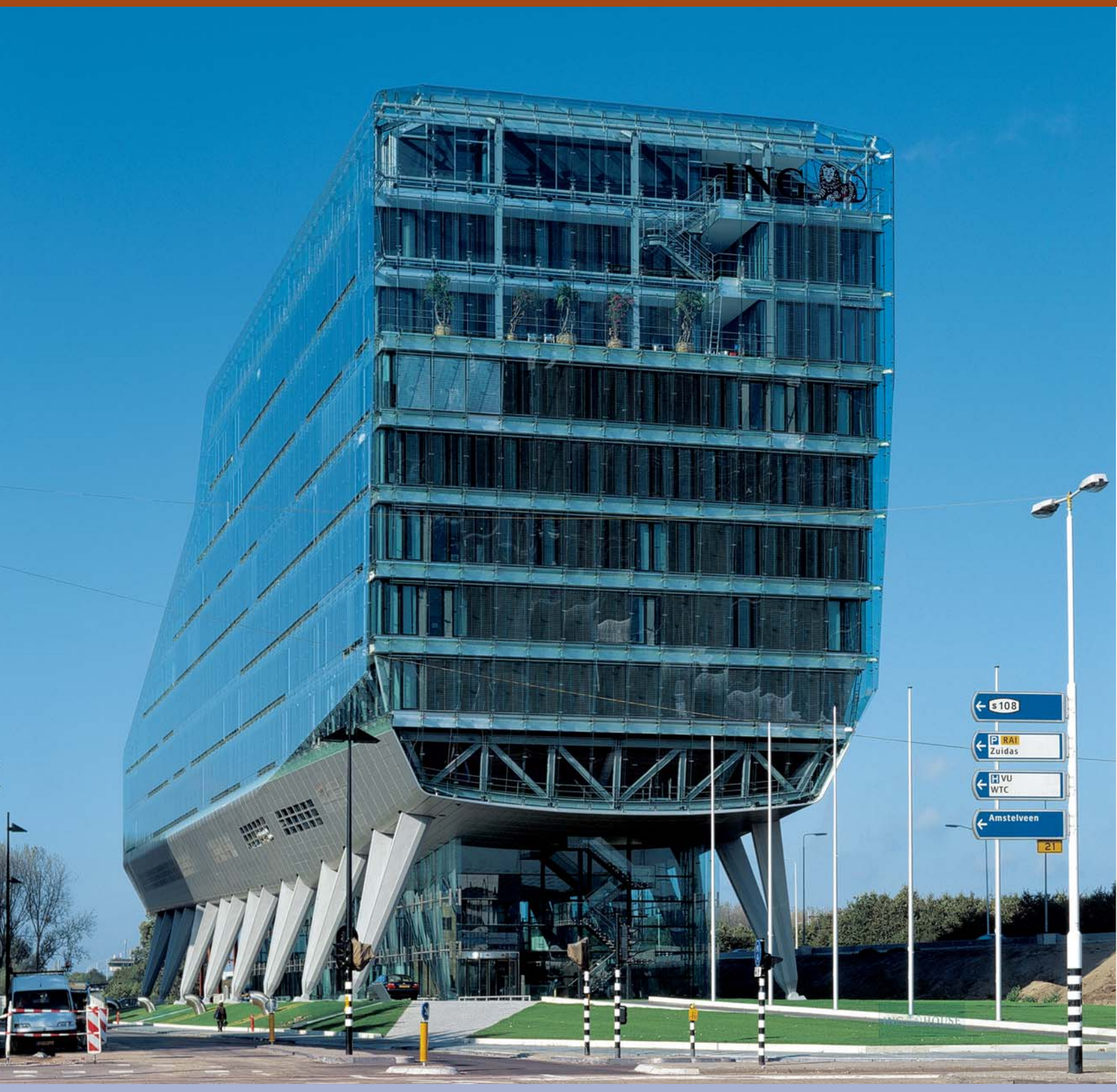
Verticale doorsnede over de langsgevel met aansluiting van het dak en een verdiepingvloer. Links kraagt het ingestorte IPE-profiel van de Infra+-vloer uit over de vloerligger (HEB 220) en creëert zo een overstek. Inpandig is de vloerligger opgenomen in het vloerpakket.



Dwarsdoorsnede met plaats van de verticale doorsneden.

Roberto Meyer

“Een constructiedetail moet logisch zijn. Ik heb een hekel aan pure vormwil.”



PROJECTGEGEVENS

Locatie Kantorenpark De Zuiderhof, Amsterdam • **Opdracht** Ontwikkelingscombinatie ING Vastgoed, Den Haag en Blauwhoed Vastgoed, Rotterdam • **Architectuur** Meyer en Van Schooten Architecten, Amsterdam • **Constructief ontwerp** Aronsohn raadgevende ingenieurs, Rotterdam en Amsterdam • **Uitvoering** Combinatie SamenwerkING • **Staalconstructie** Staalbouwcombinatie HGO • Zie ook: J.M.G. Hendriks en M. de Boer, ‘Spraakmakende vorm vertaald in staal’, *Bouwen met Staal* 172 (2003), p. 12-29.

Kantoorgebouw ING, Amsterdam

Spraakmakende vorm vertaald in staal

Wie bij het zien van het ING House denkt dat de keuze voor staal primair vanuit de architectuur is ingegeven, vergist zich. Architecten Roberto Meyer en Jeroen van Schooten tonen zich in dit opzicht pragmatici. Ze gaan uit van het beeld en van het effect, en beide behelzen altijd meer dan een materiaalesthetiek. Samen leidde dat tot een hybride constructie. In de uitwerking van de details distantiëren de ontwerpers zich van een l'art-pour-l'art benadering. Het constructieve detail wordt door hen weliswaar geësthetiseerd, maar het primaat berust altijd bij de intrinsieke logica van het detail.

Het staat buiten kijf dat het ING House in Amsterdam behoort tot de meest opmerkelijke gebouwen van de afgelopen tien jaar. Daarmee slaagde de opdrachtgever er voor de tweede keer in een krachtig architectonisch statement neer te zetten. De ING Groep laat met het nieuwe hoofdkantoor bovendien opnieuw zien gevoel te hebben voor de tijdgeest. Dat leidde tot een oplossing die op een fundamenteel andere leest is geschoeid dan het tot reflectie uitnodigende NMB-hoofdkantoor (inmiddels behorend tot de ING) in Amsterdam-Zuidoost.
Het ING House trekt onmiskenbaar de aandacht. Dat komt vooral doordat de architecten Roberto Meyer en Jeroen van Schooten het nieuwe hoofdkantoor hebben opgevat als een object. Meyer: **"Het gebouw moest niet alleen een icoon zijn voor de gebruiker, maar het moest ook een poortgebouw zijn op de plek waar je vanuit de richting Schiphol de stad binnenkomt."**

OPTILLEN

Het ING House staat pal naast de A10, de zuidelijke ringweg rond Amsterdam. De kracht van de autonome vorm is aanmerkelijk vergroot door het gebouw op poten te zetten en door het toepassen van een glazen gebouwhuid, hoezeer dat laatste ook een paradox mag lijken. Overdag zie je het glas namelijk niet in doorzicht, maar in reflectie. Dat komt omdat je onder een hoek naar de hooggelegen kantoorverdiepingen kijkt. Alleen 's avonds kun je echt naar binnen kijken. De glazen huid, een tweede-huidfaçade, geeft dan ook eigenlijk alleen maar een suggestie van transparantie.
Het optillen van het gebouw kende behalve een stedenbouwkundig ook een praktisch motief: de kantoren aan de noordzijde kregen zo uitzicht boven het niveau van de A10. Alleen in het gebied tussen de poten maakt de vorm contact met het verhoogde maaiveld via een nagenoeg volledig transparante glazen doos. Hier betreedt de bezoeker het hoofdkantoor via de buik van het bouwwerk.
De binnenwereld van het ING House contrasteert op een verrassende manier met de abstracte hoofdvorm. Meyer spreekt van een object met daarin een amorf gebouw. Atria, formele en informele routes, al dan niet overdekte binnentuinen en een verscheidenheid aan kantoor- en vergaderruimten maken dat je het gebouw op verschillende manieren kunt beleven en dragen als collectief belangrijk bij aan een aangenaam werkklimaat. De telkens andere aaneenschakeling van verschillende typen van ruimten zorgt ervoor dat de doorsnede voortdurend verandert. Meyer bracht deze eigenschap bewust in, omdat dat in zijn ogen een positieve uitwerking heeft op de interne communicatie. De verbindende elementen in de uitwerking van het interieur zijn de consequente materialisatie in staal en glas én de hoofdrol die aan het lichteffect is toebedeeld.

STAAL GEEN MUST

Hoewel de draagconstructie zowel buiten als binnen prominent aanwezig is, hebben Meyer en Van Schooten het ING House niet als een meccanobouwsel ontworpen. Voor hen waren zowel de constructie als het constructiemateriaal dienstbaar aan het ontwerp. Staal en beton waren daarbij in beginsel uitwisselbaar; de keuze voor één van beide baseerden ze per situatie op specifieke materiaaleigen prestaties. Toch, of eigenlijk daardoor, stond van meet af aan vast dat de hoofddraagconstructie van de bovenbouw als een staalskelet zou worden uitgevoerd. Dat had onder meer te maken met het streven naar een zo licht mogelijke constructie, het montagegemak en de montagesnelheid én met de nadrukkelijke wens van de ontwerpers om een open opzet met zo slank mogelijke kolommen te bereiken.
Ook over de keuze van beton als constructiemateriaal voor het ondergrondse gedeelte van het gebouw – een half onder het maaiveld verzonken bak, die als parkeergarage wordt gebruikt – is niet gediscussieerd. Deze bak draagt niet alleen het gewicht van het gebouw, geconcentreerd via de zestien poten, maar biedt ook weerstand aan de opwaartse druk van het grondwater. Het dak van de garage, tevens het dek waarop het gebouw zich verheft, is een 600 mm dikke betonplaat die tevens de spatkrachten uit de schuin geplaatste poten opneemt.

GEEN PLOMPE POTEN

Minder evident was de materiaalkeuze voor de V-vormige poten – die in de woorden van Meyer als botten uit het gebouw steken – en voor de vakwerken van de tafelconstructie waarop de tien kantoorverdiepingen staan. Opdrachtgever

ING vroeg zelfs expliciet om een gemotiveerde afweging tussen staal en beton. De constructeur, Aronsohn Raadgevende Ingenieurs, dacht voor de poten in eerste instantie aan beton vanwege de achthoekige doorsnede en het feit dat ze taps toelopen. De poten zouden dan een stalen voet krijgen. De aansluiting van de betonnen poten met de vakwerkspanten van de tafelconstructie leverde echter problemen op, omdat in deze knoop in alle richtingen grote krachten moeten worden overgedragen. In theorie kon dat met wapening worden opgelost, maar de constructeur had een hard hoofd in de uitvoerbaarheid van die oplossing. Bovendien bleek de uitvoering in beton duurder dan de variant in staal en zorgde ook voor een langere bouwtijd.

Als alternatief voor in het werk gestort beton is nog onderzocht of de poten niet beter in prefab beton konden worden uitgevoerd. Het in het werk brengen van de prefab elementen en het vervaardigen van de noodzakelijkerwijs in het werk te storten knopen, vergde echter te veel kraanuren en de constructie zou bovendien lange tijd moeten worden ondersteund. Het doorslaggevende bezwaar voor de betonnen variant, zowel geprefabriceerd als in het werk gestort, was evenwel dat de knopen en staven in de ogen van Meyer en Van Schooten veel te zwaar zouden worden: **“Het werd plomp”**, preciseert Meyer.

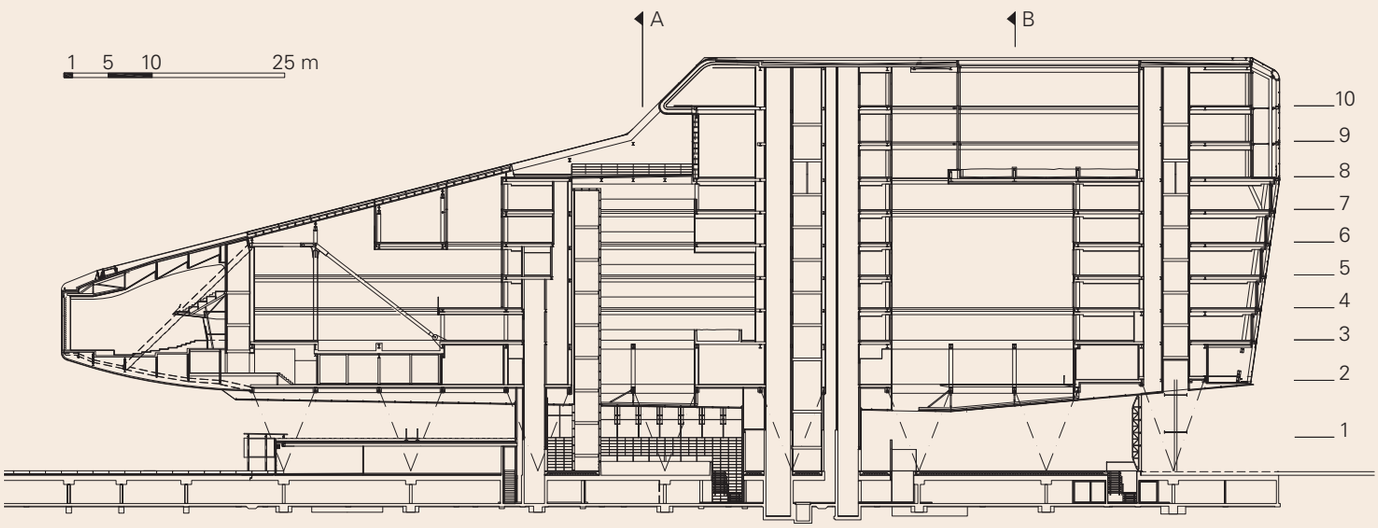
LOGICA VÓÓR ESTHETICA

Na de abstracte hoofdvorm en de amorfe binnenwereld onderscheiden Meyer en Van Schooten het detail als het derde schaalniveau. Op de vraag waaraan voor hem een knoop of verbindingsdetail moet voldoen, antwoordt Meyer: **“Constructief moet het logisch zijn. Ik heb een hekel aan pure vormwil. Als het in zichzelf een logisch detail is dan kun je het mooi uitwerken en kun je er lagen aan toevoegen, zoals emotie, de beleving. De balans maakt het interessant.”** Meyer, die zijn opleiding aan de HTS is begonnen, vervolgt: **“Door onze ervaring zijn wij nu in staat om veel vrijer te werk te gaan; we weten dat we het voor elkaar krijgen. Ervaring moet niet negatief gaan werken; het is niet goed wanneer je telkens weer denkt dat je ‘beren op je weg ziet’. Nee, je moet zorgen dat je steeds weer een stuk verder komt.”** Het in de knoop zichtbaar maken van het krachtenverloop moet wat Meyer betreft overigens geen dogma zijn. Hijzelf kiest hier alleen voor wanneer **“het laten zien ook iets oplevert.”**

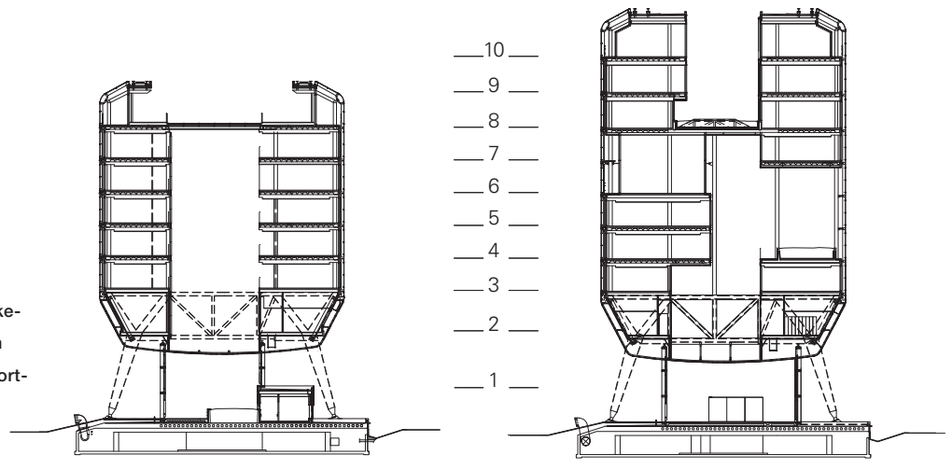
Op eenzelfde manier benaderen Meyer en Van Schooten de intelligentie van hun bouwwerken. Innovatie is voor hen weliswaar een speerpunt, maar niet als zelfstandig doel. Er moet een aanleiding zijn, zoals de noodzaak om een oplossing te vinden voor een complexe klimaathuishouding. Zo moest bij de zuid- en oostgevel worden voorkomen dat er in de spouwruimte tussen de tweede-huidfaçade en de eerste, traditionele huid een broeikaseffect zou ontstaan. Dat vereiste voorzieningen voor ventilatie en zonwering. De ventilatie is geregeld met glazen kleppen ter hoogte van de verdiepingvloeren. De kleppen scharnieren zó dat lucht uit het ene compartiment kan wegstromen, terwijl buitenlucht voor het andere compartiment wordt aangezogen.

Meyer merkt op dat bij de kleppen, maar ook in veel andere situaties, het klimatologische detail (de goed geregelde ventilatie) tevens een architectonisch detail is geworden. Die kwaliteit vinden Meyer en Van Schooten belangrijk en wordt bij de engineering van dergelijke details ook van meet af aan nagestreefd. **“De innovatie start overigens altijd vanuit een vraag die wij onszelf stellen,”** benadrukt Meyer, die zich bij het vinden van een antwoord graag laat inspireren door de integratie van vorm en techniek in de scheepsbouw en vliegtuigbouw.

De kracht van de autonome vorm is aanmerkelijk vergroot door het gebouw op poten te zetten en door het toepassen van een glazen gebouwhuid.

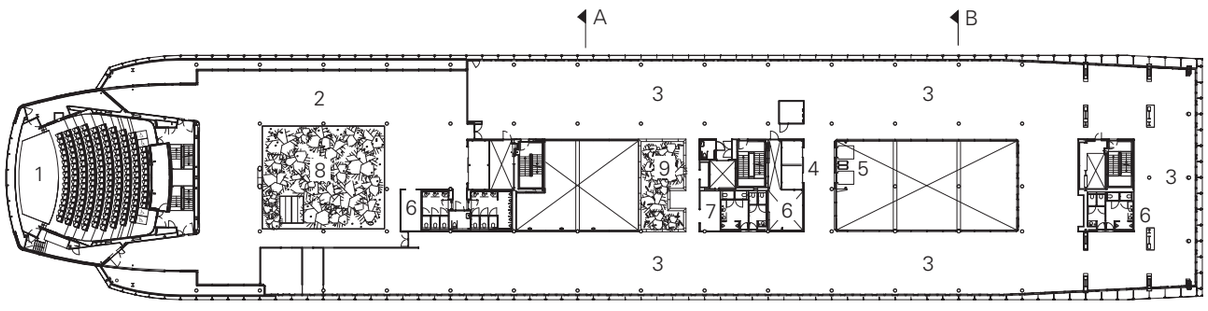


Langsdoorsnede en twee dwarsdoorsneden. De telkens andere aaneenschakeling van verschillende typen van ruimten zorgt ervoor dat de dwarsdoorsnede voortdurend verandert.



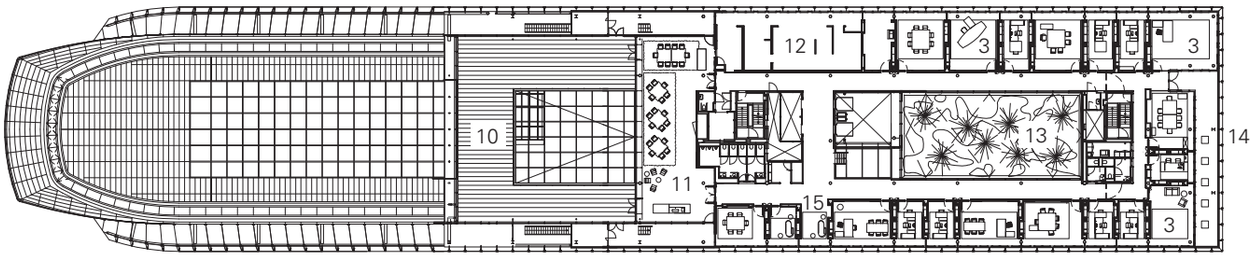
doorsnede A

doorsnede B



3e verdieping

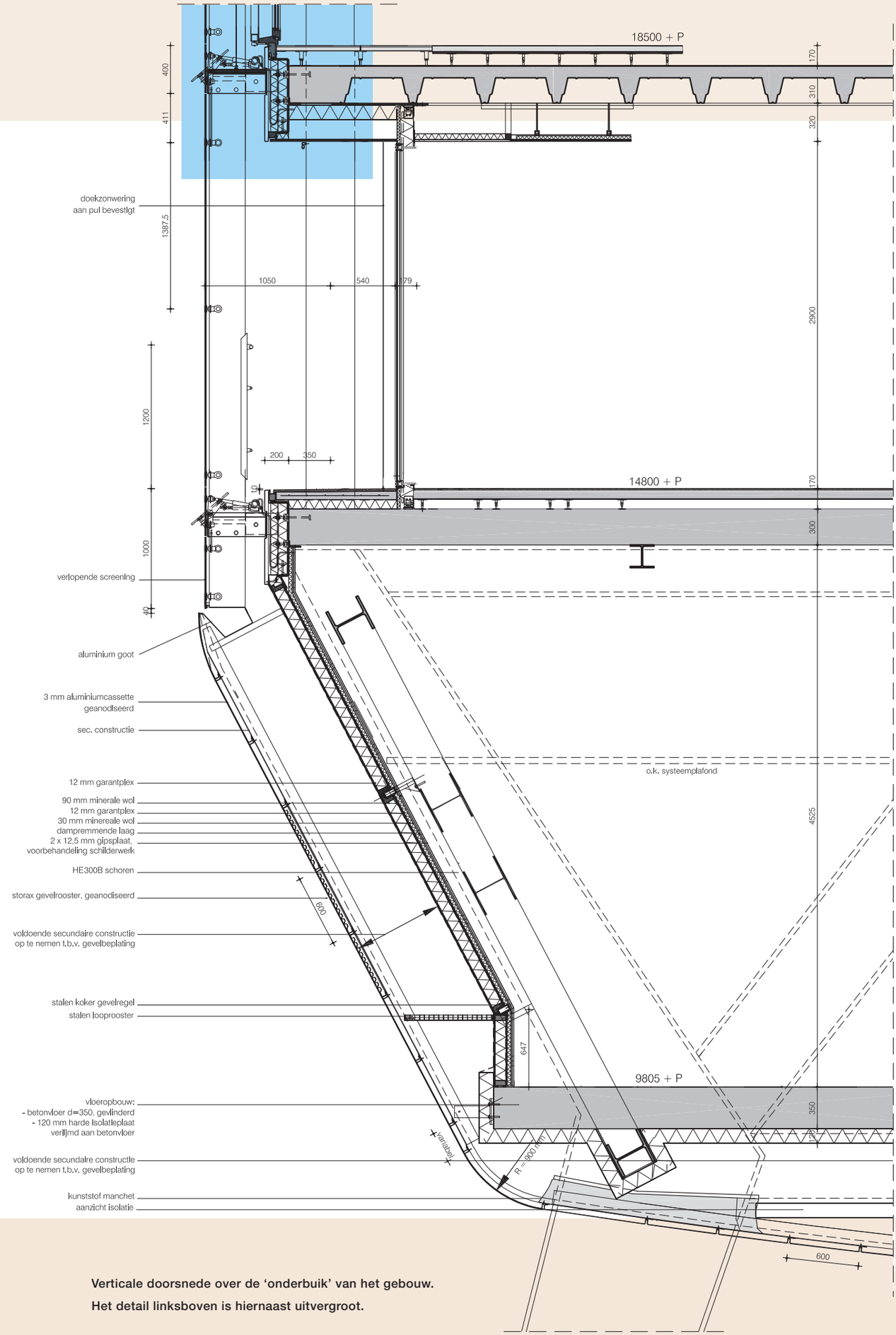
1 5 10 25 m



8e verdieping

Plattegrond van de derde en achtste verdieping.

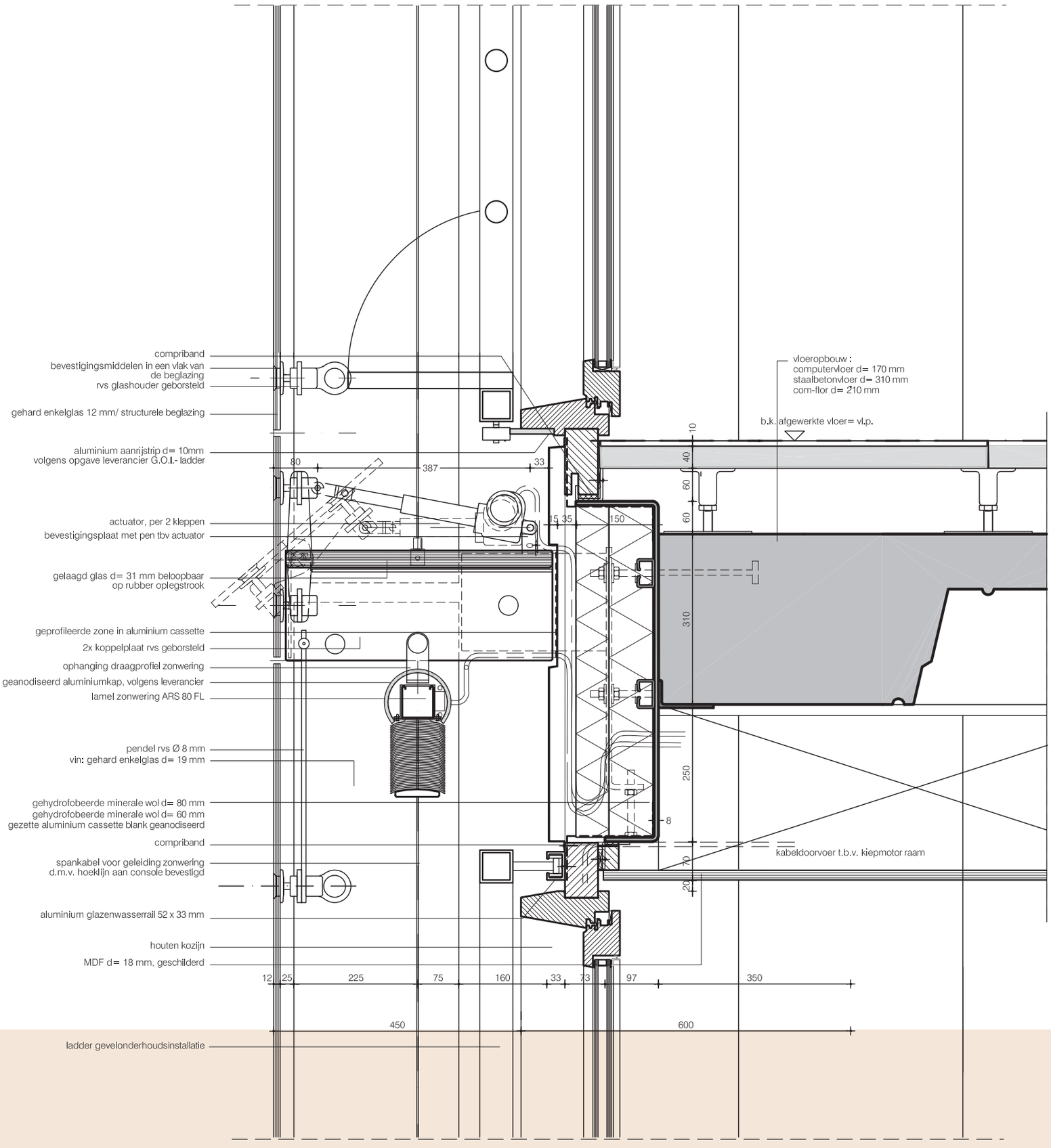
1 auditorium
2 foyer
3 kantoor
4 liften
5 panaromische liften
6 toiletgroep
7 receptie
8 tuin met vijgenbomen
9 bamboetuin
10 terras
11 eetzaal
12 keuken
13 binnenplaats met Schotse dennen
14 loggia
15 ontvangstruimte



Verticale doorsnede over de ‘onderbuik’ van het gebouw.

Het detail linksboven is hiernaast uitvergroot.

Verticale doorsnede over de zuidgevel met aansluiting op de vloerrand. De ventilatie is geregeld met glazen kleppen ter hoogte van de vloeren. Deze kleppen scharnieren zó dat lucht uit het ene compartiment kan wegstromen, terwijl buitenlucht voor het andere compartiment wordt aangezogen.



Margriet Eugelink

“We wilden dat de gebruiker per etage de vrijheid heeft de ruimte in te richten als een flexkantoor, een tuinkantoor of een cellenkantoor.”

PROJECTGEGEVENS

Opdracht Kennedy Business Center CV (Hurks/Heijmans/IBC) • **Architectuur** Van Aken Architektuur & Stedebouw, Eindhoven • **Constructief ontwerp** Tielemans Adviseur Bouwconstructies, Eindhoven • **Uitvoering** Bouwcombinatie Kennedy Toren (Hurks/Heijmans/IBC) • **Staalconstructie** Lubbers’ Constructiewerkplaats en Machinefabriek ‘Hollandia’, Hank.

Kantoorgebouw Kennedy-toren, Eindhoven

Stalen stabiliteitskern garandeert flexibel gebruik

Tussen het station en de kop van de Kennedylaan ligt het nieuwe business district van Eindhoven, met als letterlijk hoogtepunt de bijna 83 m hoge Kennedy-toren. De stedenbouwkundige verkaveling voorzag in stroken met een breedte van niet meer dan 7,2 m. Daardoor is de traditionele opzet met een betonnen kern verlaten en is gekozen voor een bijzondere (stabiliteits)constructie in staal. Hiermee kon architect Margriet Eugelink een blikvanger maken met nagenoeg volledig transparante gevels en vrij-indeelbare kantoorverdiepingen.

Jarenlang lag in Eindhoven een potentiële AA-locatie braak. Het gaat om het terrein pal achter het NS-station dat bovendien aan de kop ligt van de hoofdinvalsweg: de Kennedylaan. Het probleem was dat er lange tijd onvoldoende huurders waren voor de maar liefst vijftig tot zestig duizend vierkante meter kantoorruimte. Niettemin nam de gemeente Eindhoven de ontwikkeling van het voormalige parkeerterrein ter hand. Een bestaand plan van Teun Koolhaas van TKA in Almere werd toen verder ontwikkeld tot wat zou gaan heten het Kennedy Businessdistrict. Nadat voldoende marktpartijen in beeld waren om het project financieel rond te krijgen, maakte Kees Christiaanse van KCAP het stedenbouwkundig plan. Dit plan telt vijf evenwijdige stroken met een kantoorbebouwing, die haaks op het spoor staan. Een diagonaal, die het complex van de Technische Universiteit in één rechte lijn verbindt met het station, doorsnijdt deze stroken. De twee stroken die precies op de kop van de Kennedylaan liggen, moesten vanuit de visie van Koolhaas als één hoogbouwvolume worden uitgewerkt, zij het met in achtneming van de strokenstructuur. Ontwikkelaar OCE (Ontwikkelings Combinatie Eindhoven) vertrouwde het ontwerp van de toren toe aan plaatsgenoot Van Aken Architektuur & Stedebouw.

GROOT OVERSTEK

Vanuit de spelregels van Christiaanse zette Margriet Eugelink, architect en directeur van Van Aken Architektuur & Stedebouw, een plan op dat beide stroken op de kop van de Kennedylaan omvat. De entree van de Kennedy-toren ligt in het gebied tussen beide stroken in en is uitgevoerd als een atrium: groot, hoog en transparant. Om er voor te zorgen dat het atrium ook echt het kloppend hart van het complex zou worden, zijn de liften bewust niet doorgetrokken tot in de parkeergarage. Hierdoor werd het atrium voor alle gebruikers een onvermijdelijke ontmoetingsplaats. Rekening houdend met de voorgeschreven hoogte van 22 m volgt het plan tot en met de vijfde bouwlaag nauwgezet de strokenstructuur. Maar dan gebeurt er in de oostelijke van de twee stroken iets bijzonders. Vanaf de zesde bouwlaag kraagt de toren 7,2 m uit ten opzichte van de onderbouw, die ‘slechts’ 14,4 m breed is. Het verhoudingsgewijs grote overstek (de helft van de breedte van de onderbouw) roept zowel in architectonische als in constructieve zin de nodige spanning op. Het eerste maakt van de Kennedy-toren de beoogde blikvanger, het tweede vormde een uitdaging, waarop een inventieve staalconstructie het antwoord is.

OPEN STABILITEITSKERN

Het constructief ontwerp voor de toren ‘vertrok’ vanuit een betonnen ontwerp met een massieve kern van 7,2 m breedte. Die maat kwam voort uit het strokenstramien en was bindend. Maar al gauw werd duidelijk dat vanuit deze opzet de kern in de plattegrond te dominant werd. **“We ontdekten dat het zo niet kon. Vanwege de gelimiteerde breedte werd de kern veel te zwaar en bovendien werd de resterende nuttige ruimte in de kern helemaal in beslag genomen door liften en trappen”, vertelt Eugelink. “Dat wilden we niet. De kantoorruimte moest juist flexibel zijn in gebruik. Per etage moest de gebruiker de vrijheid hebben de ruimte in te richten als een flexkantoor, een tuinkantoor of een cellenkantoor.”**

Vanaf de zesde bouwlaag kraagt de ruim 83 m hoge toren 7,2 m uit. Het verhoudingsgewijs grote overstek – de helft van de breedte van de onderbouw – roept zowel in architectonische als in constructieve zin de nodige spanning op.

Eugelink stelde vervolgens voor een alternatieve constructie in staal te onderzoeken. Dat leidde tot een originele oplossing die uitgaat van een open, stalen stabiliteitsconstructie in het middengebied bestaande uit kolommen en diagonalen als schoren. Zowel de kolommen als de diagonalen zijn gemaakt uit ronde buisprofielen, alleen de diameter verschilt: 800 mm voor de kolommen en 600 mm voor de diagonalen. Buiten de open kern zijn de diagonalen als poten (of schuine kolommen) verlengd tot aan de buitengevel, waardoor er in dwarsdoorsnede een repeterende y-vormige staalconstructie ontstaat. De schuine poten bereiken de buitengevel op een niveau dat drie verdiepingen hoger ligt dan dat van het vertrekpunt in de kern. Zo ontstaan er in de toren in constructieve zin clusters van telkens drie bouwlagen, waarbij om de zes bouwlagen een als poot verlengde diagonaal de buitengevel bereikt. De gevelkolommen van de onderste drie van steeds zes bouwlagen rusten op de onderste diagonaal, terwijl de bovenste drie van steeds zes bouwlagen aan de bovenste diagonaal hangen. In beide gevallen wordt de belasting afgevoerd via de stabiliteitskern.

MAAKBARE OPLOSSINGEN ALS THEMA

Dat de kolommen en diagonalen uit buisprofielen zouden worden gemaakt, stond niet meteen vast. Eugelink legt uit dat ze aanvankelijk dacht aan HEB-profielen met de bedoeling om die met staalplaat te omkleden. De constructeur leek het toen beter om in plaats daarvan te kiezen voor een gezette koker uit dunne staalplaat, die zou worden volgestort met beton. Dat was gunstiger voor de brandveiligheid. Een alternatief was om de HEB-profielen met gipskartonplaat te omkleden, maar Eugelink **“wilde het staal kunnen voelen”**. Bovendien leidde deze oplossing met gipskartonplaten tot ingewikkelde details ter plaatse van de knopen, waar kolommen, diagonalen en vloerliggers in twee richtingen onder een schuine hoek samenkomen. Dat laatste komt, omdat het grondvlak van de toren een ruit is en de constructie in beide richtingen evenwijdig loopt aan de buitengevels. Uiteindelijk is gekozen voor wat Eugelink ‘de meest maakbare’ oplossing noemt: dikwandige ronde buisprofielen die met een brandwerende verf een brandwerendheid van 60 minuten kregen. **“Dat was voldoende, omdat de aanvankelijke eis van 120 minuten dankzij de sprinklerinstallatie tot 90 minuten kon worden teruggebracht. Vervolgens mocht daar nog eens 30 minuten op in mindering worden gebracht vanwege de aantoonbaar geringe vuurbelasting van de vloeren”**, aldus Eugelink, die daaraan toevoegt dat door de clustering van telkens drie bouwlagen slechts één op de drie verdiepingvloeren brandwerend hoefde te worden uitgevoerd.

De staalplaat-betonvloeren manifesteren zich in de buitengevels als een dunne lijn. De transparantie is ook doorgezet in de inrichting van de kantoorverdiepingen. Liften, trappen en sanitaire voorzieningen maken hier niet deel uit van een star en vastomlijnd blok, maar staan verspreid in de ruimte.

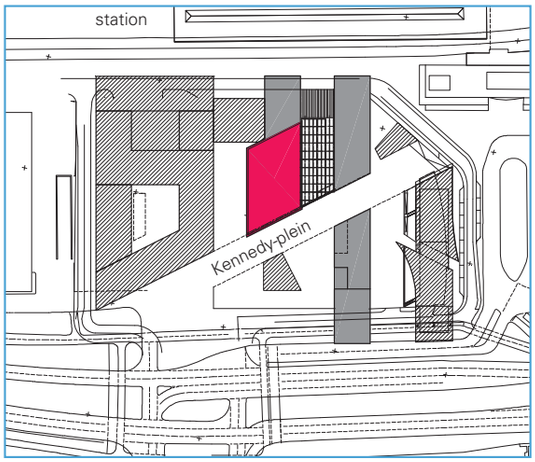
UITGEREKTE KNOPEN

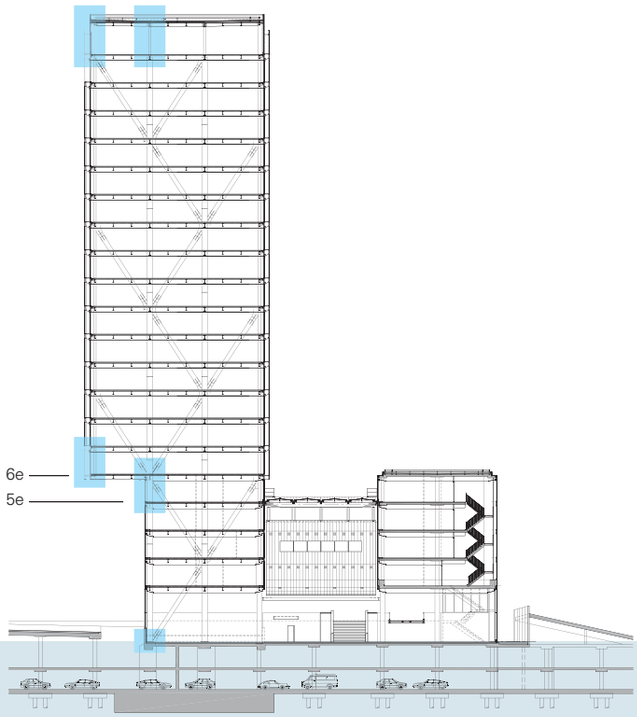
De knopen, waar de verschillende profielen elkaar ontmoeten, zijn samen met het staalconstructiebedrijf ontworpen. Voor alle partijen was duidelijk dat het ondoenlijk zou zijn om de buisprofielen in het werk aan elkaar te lassen. Vandaar dat voor een boutverbinding is gekozen. Eugelink onderkent dat het vanuit een esthetische benadering mogelijk was te streven naar knopen waarbij alle elementen in hetzelfde punt samenkomen. **“Maar dat was zeker niet de meest maakbare oplossing geweest”**. In plaats daarvan ontwierp ze enigszins uitgerekte knopen. De diagonalen ontmoeten de kolommen net onder het niveau waarop de vloerliggers (raatliggers) via een boutverbinding aan de kolommen zijn bevestigd. Juist ook vanwege de maakbaarheid is de ontmoeting van kolommen en diagonalen gedetailleerd met in een kruisvorm geplaatste schetsplaten. Dankzij dit detail was de feitelijke bevestiging met bouten een betrekkelijk eenvoudige klus. Vanwege de repeterende y-vormige staalconstructie komen de tamelijk zware knopen slechts om de drie bouwlagen voor.

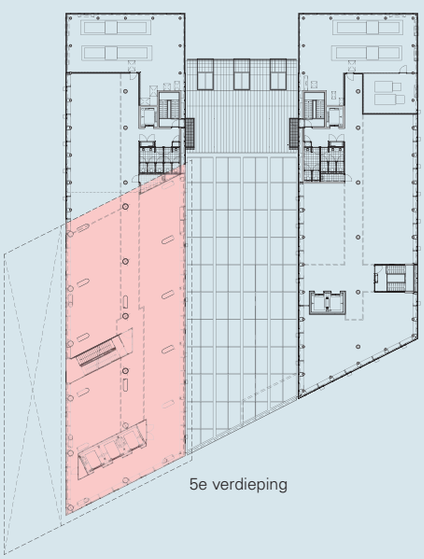
FLEXIBILITEIT DOOR OPENHEID

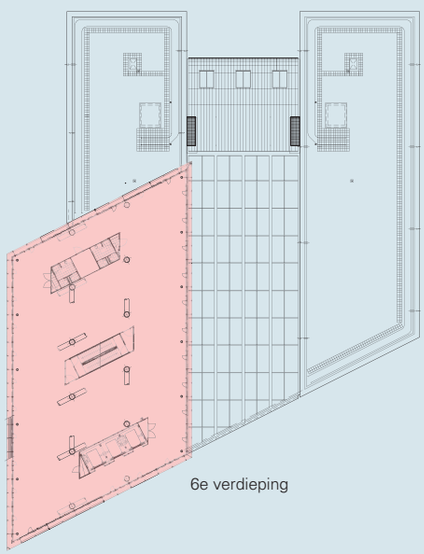
In de bouwkundige uitwerking van de toren streefde Eugelink naar een zo groot mogelijke transparantie en een zo groot mogelijke nuttige verdiepinghoogte, uitgaande van een brutoverdiepinghoogte van 3,68 m. Het bouwteam koos hier voor een combinatie van raatliggers en staalplaat-betonvloeren. De keuze voor raatliggers maakte het mogelijk om leidingen en installatievoorzieningen in het vlak van de vloer aan te brengen. Samen met de verhoudingsgewijs dunne staalplaat-betonvloer leverde dat een nuttige verdiepinghoogte op van 2,9 m. De staalplaat-betonvloeren manifesteren zich in de buitengevels als een dunne lijn. Dat is precies wat Eugelink wilde. Deze transparantie is ook doorgezet in de inrichting van de kantoorverdiepingen. Liften, trappen en sanitaire voorzieningen maken hier niet deel uit van een star en vastomlijnd blok, maar staan verspreid in de ruimte. De binnenruimte blijft hierdoor veel meer open, waarbij ook de kern van de toren als kantoorruimte kan worden benut.

De stedenbouwkundige verkaveling voorzag in stroken met een breedte van niet meer dan 7,2 m. Daardoor is de opzet met een betonnen kern verlaten en is gekozen voor een bijzondere (stabiliteits)constructie in staal.



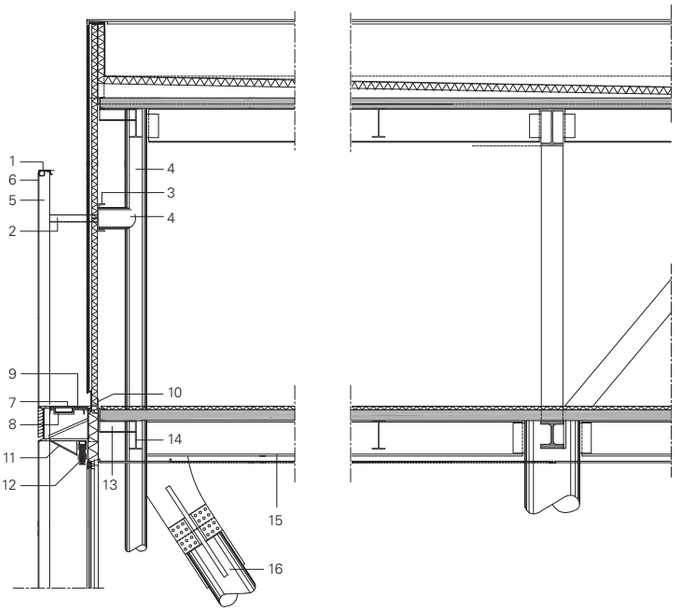


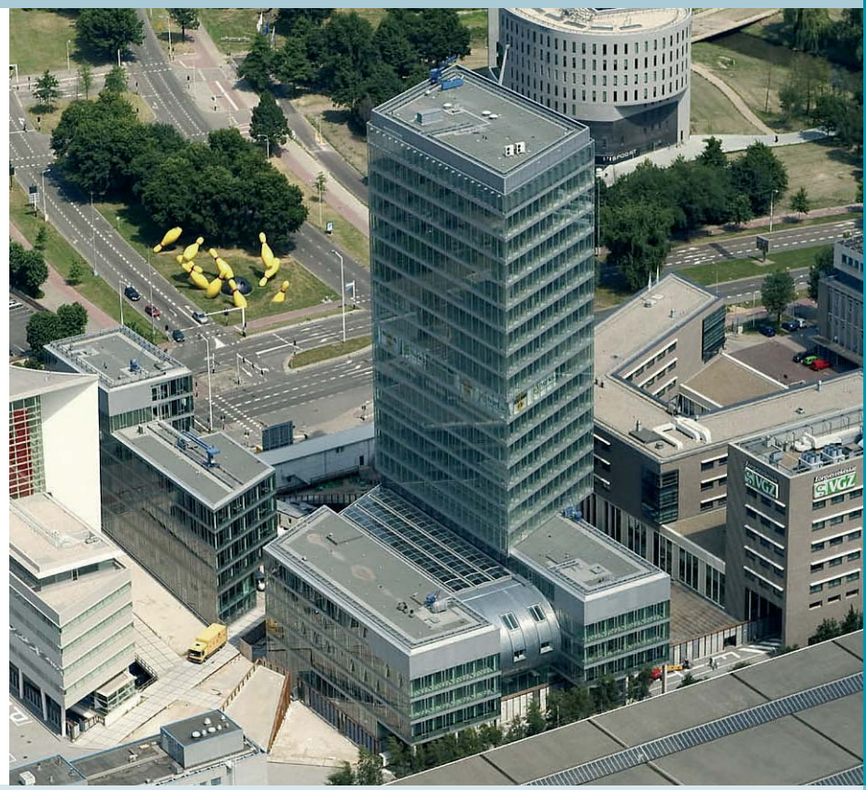


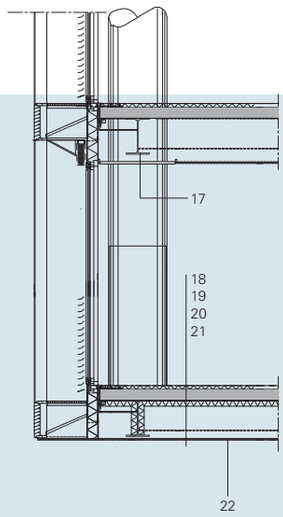


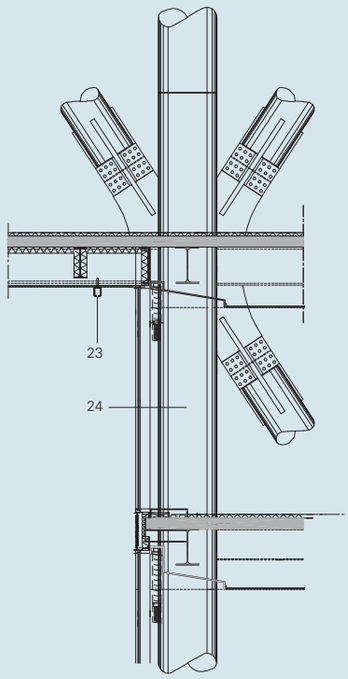
Verticale doorsnede en twee karakteristieke plattegronden. De diagonalen van de stabiliteitsconstructie zijn verlengd tot aan de buitengevel, waardoor er in dwarsdoorsnede een repeterende y-vormige staalconstructie ontstaat.

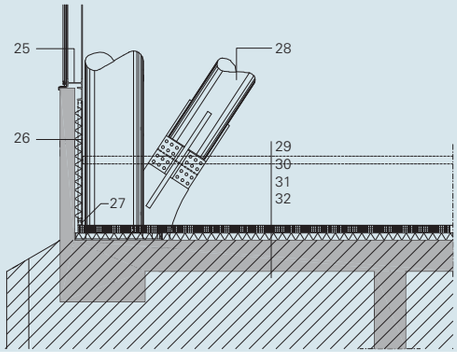
De entree van de toren ligt in het atrium tussen beide stroken. De achterzijde van dit atrium wordt afgesloten door een halfronde vorm met drie kantoorlagen.







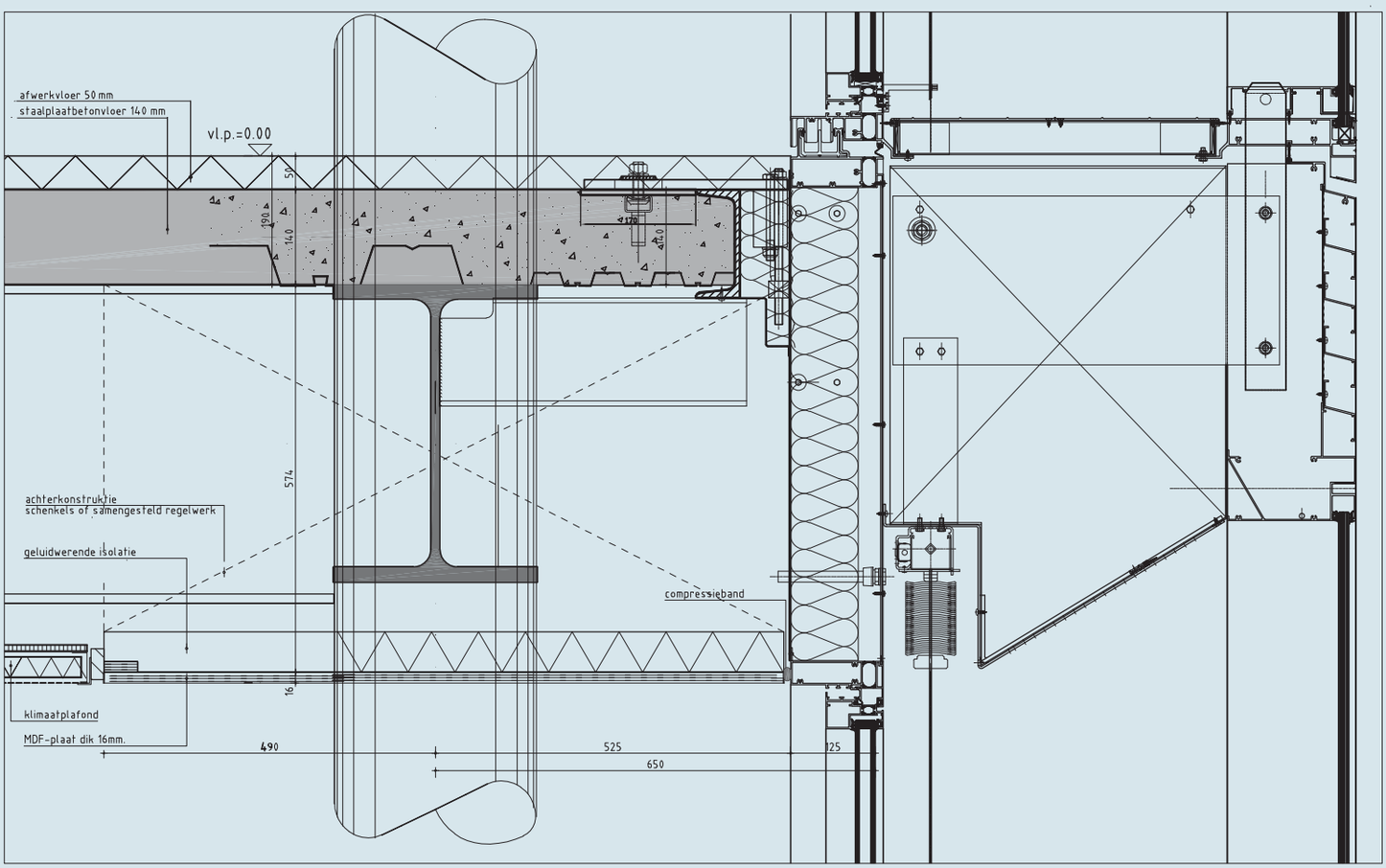




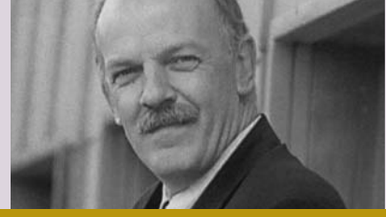
Verticale doorsnede over de gevel en de staalconstructie.

1 afdekkap aluminium
2 afstandhouder staal
3 randligger UNP 380
4 ronde buis 298,5x7,1 mm
5 elliptisch profiel aluminium, blank geanodiseerd
6 enkel gehard glas, structureel verlijmd
7 roostervloer
8 gootbekleding zink
9 gootbodem wpb multiplex 18 mm
10 hoekprofiel 130x65x8
11 plafondplaat gemoffeld aluminium 2 mm aan console
12 buitenzonwering lamellen
13 console UNP 160
14 secundaire vloerligger UB 406x178x54 mm
15 primaire vloerligger HEB 500
16 ronde buis 559x28 mm met brandwerende verf
17 secundaire vloerligger HEA 500
18 morteldekvloer 50 mm
19 staalplaat-betonvloer 140 mm
20 geprofileerde staalplaat
21 brandwerende bespuiting vloerliggers (om de drie bouwlagen)
22 plafondpanelen metaal 1800x600 mm met poedercoating
23 rails voor onderhoudsinstallatie
24 ronde buis 762x55 mm met brandwerende verf
25 plintprofiel UNP 160
26 afwerking borstwering gipskartonplaat 9,5 mm
27 plint hardhout 12x68 mm
28 ronde buis 559x28 mm met brandwerende verf
29 tegels natuursteen
30 cementdekvloer
31 isolatie eps
32 gewapend beton

Aansluitdetail van de stabiliteitsconstructie die inwendig in het zicht blijft.



Detail van de vloerrand.



Jaco de Visser

“Bouwen met staal werkt niet als je denkt: ‘zo, nu ga ik eens een experiment met staal aan’.”

PROJECTGEGEVENS

Locatie Martinbaan 2, Nieuwegein • **Opdracht** De Waal Beheer, Utrecht • **Architectuur** Architectenbureau Jaco D. de Visser, Utrecht • **Constructief ontwerp** ABT, Delft • **Uitvoering** Bouwbedrijf De Waal, Utrecht • **Staalconstructie** Nelissen van Gerwen Constructiebedrijf, Oss • Zie ook: M. Lachmann, ‘Maximale kwaliteit tegen minimale kosten’, Nieuwegein, in: *Bouwen met Staal* 159 (2001), pp. 12-17.

Bestuursgebouw De Lens, Nieuwegein

Maximale kwaliteit tegen minimale kosten

Het gemeentebestuur van Nieuwegein zetelt in een 'glazen huis' dat onder grote tijdsdruk is gebouwd binnen het al bijna voltooide bedrijfsverzamelgebouw Meander. De architect van beide bouwwerken, Jaco D. de Visser, benadrukt dat de beheersbaarheid en de professionaliteit die volgens hem eigen zijn aan het bouwen met staal, veel aan het welslagen van het project hebben bijgedragen. In de uitwerking van De Lens stond voor De Visser de doelmatigheid van de oplossingen hoog in het vaandel en die doelmatigheid lees je, wat hem betreft, ook aan het gebouw af.

De Lens biedt nu onderdak aan de gemeentelijke diensten van Nieuwegein. Maar dat is eigenlijk min of meer toeval. De gemeente had het oude onderkomen opgeofferd ten gunste van een reconstructie van het stedelijk centrum. Tijdens de zoektocht naar vervangende, tijdelijke accommodatie viel het oog van de bestuurders op het inmiddels goeddeels voltooide bedrijfsverzamelgebouw Meander. In dit complex, uitgevoerd in traditionele materialen, was echter niet meer voldoende ruimte beschikbaar en bovendien miste de gemeente in de Meander de uitstraling die men van een raadzaal en een trouwzaal verwacht. Voor architect Jaco D. de Visser van het gelijknamige architectenbureau was onmiddellijk duidelijk hoe dit probleem kon worden opgelost. Hij had de Meander opgezet met twee grote hoven, waarin zonder bezwaar een extra gebouw kon verrijzen. Tijdens de planvorming had hij zelf gedacht aan een paviljoen of een kantine voor één of meer van de huurders, maar dat kon ook het hoofdgebouw van het tijdelijke gemeentehuis zijn. Het bebouwen van één van de hoven leek zowel De Visser als de gemeente een meer aantrekkelijke optie dan het aanbouwen van een extra vleugel. In het laatste geval hadden de ceremoniële ruimten 'mee moeten lopen' in het normale gebouwstramien en hadden ze de gewenste allure moeten ontberen.

CONTRAST

De gemeente Nieuwegein had weinig tijd. Daarom moest De Lens niet alleen snel kunnen worden gebouwd, ook het besluitvormingsproces en het ontwerpproces moesten efficiënt worden ingericht. De Visser dacht mede daarom eigenlijk al meteen aan een oplossing in staal en glas. **"Wanneer we op dat moment waren uitgegaan van prefab beton, dan waren we toch weer maanden bezig geweest met steentjes metselen"**, aldus de ontwerper. Bovendien zit het ontwerpen in staal hem in het bloed: **"Bouwen met staal moet al langer in je leven. Het werkt niet als je denkt: 'zo, nu ga ik eens een experiment met staal aan'. Mijn gevoel voor dingen brengt me bij staal. Het is de dynamiek. Wat me bijzonder aanspreekt, is dat bij staal alle disciplines die je nodig hebt, van ontwerpen tot produceren, allemaal even professioneel zijn. Iedereen levert kennis aan en niemand gaat het vinden van goede oplossingen uit de weg. In de traditionele bouw zitten ze doorgaans niet te wachten op een experimentje."**

De ontwerper en de gemeente vonden elkaar in de overtuiging dat het wenselijk was om een duidelijk contrast te creëren tussen de Meander en De Lens. Dat elk van beide partijen daar hun eigen beweegredenen voor had, was geen bezwaar. De ontwerper zag De Lens als een verbijzondering die werd omringd door de Meander, een neutrale, massief uitgevoerde accommodatie voor in beginsel onbekende en bovendien wisselende huurders. Dat contrast werd bereikt door De Lens helder en transparant te maken. De gemeente zag in de transparantie juist een symbolische dimensie die past bij een modern bestuursorgaan. Maar niet in de laatste plaats kwam de keuze voor een staalconstructie voort uit het streven naar een optimale beheersbaarheid van het proces en naar de tijdwinst die daarvan het gevolg is: **"In een efficiënte samenwerking met ABT waren we in staat het ontwerpproces inclusief de uitvoeringsproblemen in drie maanden te doorlopen. Je hebt dan elk kopplaatje gehad"**, aldus de

"Als je een scharnier maakt, moet je ook laten zien dat het een scharnier is."

architect. De opdrachtgever was er niet onmiddellijk van overtuigd dat de transparante Lens ook kostentechnisch een aantrekkelijke optie was, **maar dit was volgens De Visser koudwatervrees. “Uiteraard, een spectaculaire raadzaal van staal en glas kost meer dan een standaard kantoorruimte, maar daar stonden allure en een kortere bouwtijd tegenover.”**

‘BEETJE HYBRIDE’

In de verdere uitwerking van de draagconstructie vertrok het ontwerpteam vanuit de overtuiging dat een massieve centrale kern niet wenselijk was: **“Je onttrekt dan veel te veel nuttige vierkante meters aan het bruto-vloeroppervlak”**, zegt De Visser. In plaats daarvan ontleent het slechts 16 m brede en 38 m lange lensvormige gebouw zijn stabiliteit aan één prefab betonnen schijf in dwarsrichting en twee stalen verbanden, opgebouwd uit buisprofielen, die in de lengterichting direct achter de gevel staan. De opzet van de draagconstructie typeert de ontwerper als ‘een beetje hybride’.

In de raadzaal en de trouwzaal wilde men zo weinig mogelijk constructie-elementen hebben. Vanaf de vierde bouwlaag (10,8 m + peil) staan er in de gevel slanke kolommen van kokerprofielen (140x140 mm) op afstanden van 1,2 m, terwijl in de lange middenas zes zwaardere buisprofielen staan (ø193 mm). Deze inpandige kolommen rusten op een inwendig vakwerkspant dat zelf weer op vier zware kolommen (ø355 mm) rust. Met dit vakwerkspant en geïntegreerde vloerliggers is een tafelconstructie gevormd, waaronder de trouw- en raadzaal hangt met een dubbele verdiepinghoogte.

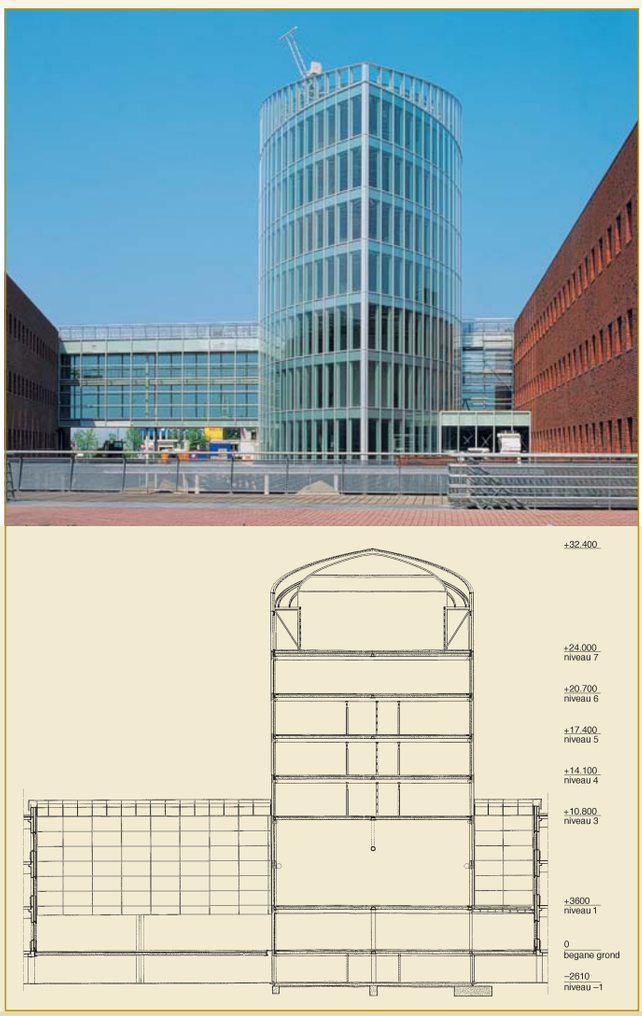
De vloeren zijn uitgevoerd in kanaalplaten, die zowel in de gevel als op de middenligger een steunpunt vinden. Als alternatief is gekeken naar een staalplaat-betonvloer, maar die bleek voor dit project minder aantrekkelijk te zijn: hij was duurder, de benodigde verhardingstijd drukte het bouwtempo en bovendien was de uitvoering hier te bewerkelijk.

Voor de brandwerendheid gold een eis van 120 minuten, waarvan er 30 minuten konden vervallen vanwege de aantoonbare geringe permanente vuurbelasting. De sprinklerinstallatie leverde een reductie op van 60 minuten, waardoor de hoofddraagconstructie zelf nog maar 30 minuten brandwerend moest zijn. De vloeren – geïntegreerde stalen liggers met kanaalplaten – voldoen hieraan zonder extra maatregelen. De inpandige kolommen zijn met beton gevuld en voor de gevelkolommen was het voldoende om ze om-en-om met beton te vullen. Ook de stalen stabiliteitsverbanden konden in principe onbekleed blijven.

ONTRAFELEN PROBLEMEN

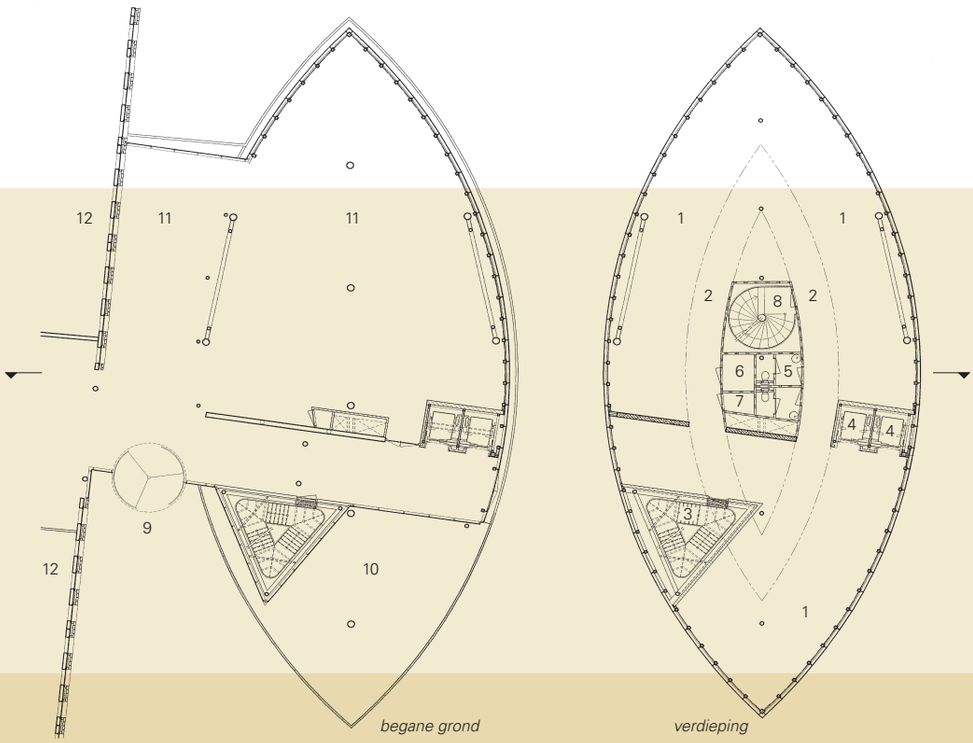
Niet alleen tijdens het vaststellen van de hoofdopzet van het gebouw, maar ook bij het detailleren stond De Visser het bereiken van doelmatige oplossingen voor ogen en die doelmatigheid moet je ook aan de oplossing kunnen aflezen, vindt hij. **“Als je een scharnier maakt, moet je ook laten zien dat het een scharnier is.”** Daarbij geldt voor hem als extra motivatie de kunst van het weglaten: **“Schoonheid zit hem in de pure effectiviteit van de onderdelen.”** Bij het detailleren van de gevelconstructie dreigden de verticale koppelingen van doorgaande gevelkolommen in één knoop samen te komen met de aansluiting tussen de gevelkolom en de diagonaal van het stalen stabiliteitsverband. Dat zou een lastig, want moeilijk uitvoerbaar detail zijn geworden. Daarom ontrafelde De Visser dit probleem letterlijk door de koppelingen tussen de gevelkolommen buiten de knoop te plaatsen.

In de detaillering van de gevel is optimaal rekening gehouden met de onderdelen waaruit de vliesgevel is samengesteld. Zo is de stramienmaat van 1,2 m van de kolommen in de gevel bepaald vanuit een standaard glasmaat. Hierdoor konden de kokervormige kolommen uiterst slank blijven. Voor de buitenhuid van het gebouw kon daarom worden volstaan met een standaard vliesgevel, terwijl binnen een eveneens standaard hardglazen paneel kon worden toegepast. Het gevolg van deze aanpak was dat er slechts een minimale hoeveelheid aluminium nodig was. Juist in deze kwaliteit, het gebruik van slechts heel weinig grondstof, schuilt volgens de architect de duurzaamheid van zijn ontwerp.



Vooraanzicht en dwarsdoorsnede, met links en rechts de brugconstructie die dwars door het gebouw loopt.

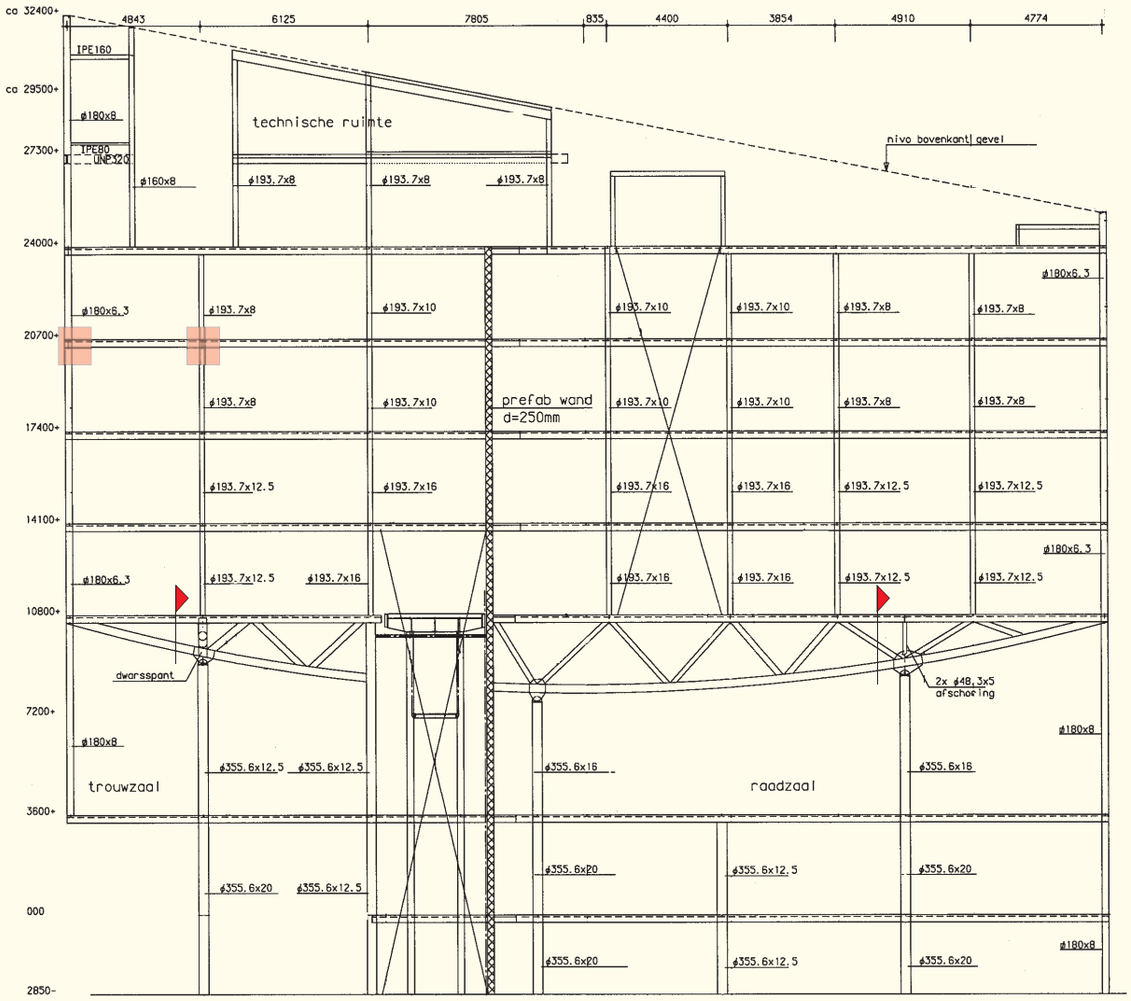
“Uiteraard, een spectaculaire raadzaal van staal en glas kost meer dan een standaard kantoorruimte, maar daar stonden allure en een kortere bouwtijd tegenover.”



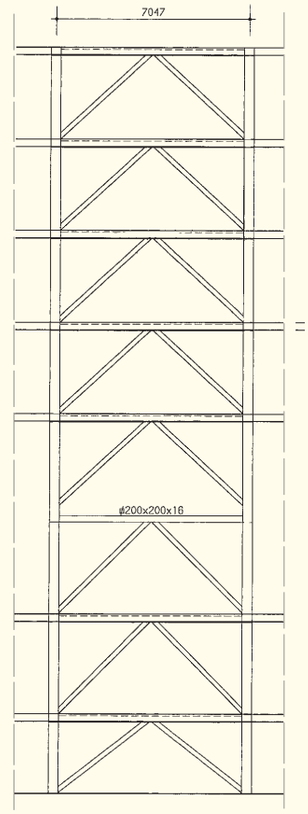
Plattegrond van de begane grond en een standaardverdieping.

1 vrij indeelbare kantoorzone
2 verkeerszone
3 hoofdtrap
4 lift
5 toiletten
6 pantry
7 installatiekast
8 secundaire trap
9 entre
10 vide naar kelder
11 stadswinkel (publieke ruimte)
12 kantoorgebouw De Meander

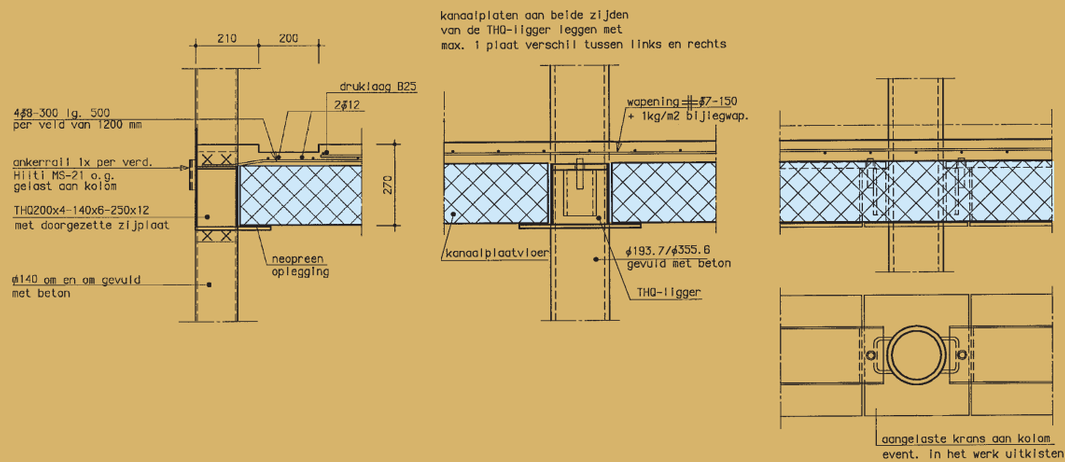
Langsdoorsnede met rechts één van de stalen stabiliteitsverbanden.



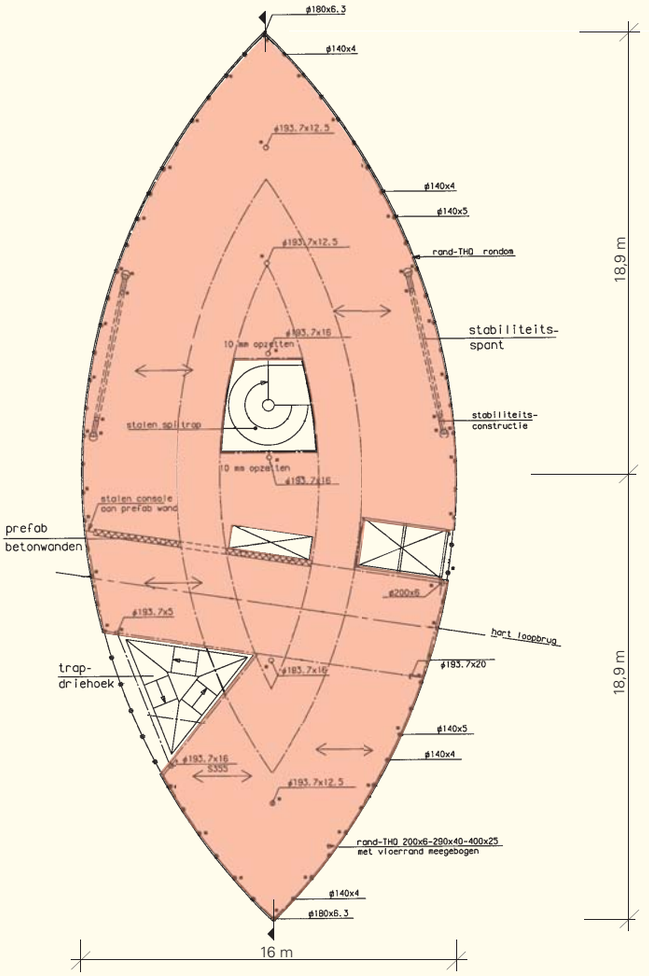
langsdoorsnede



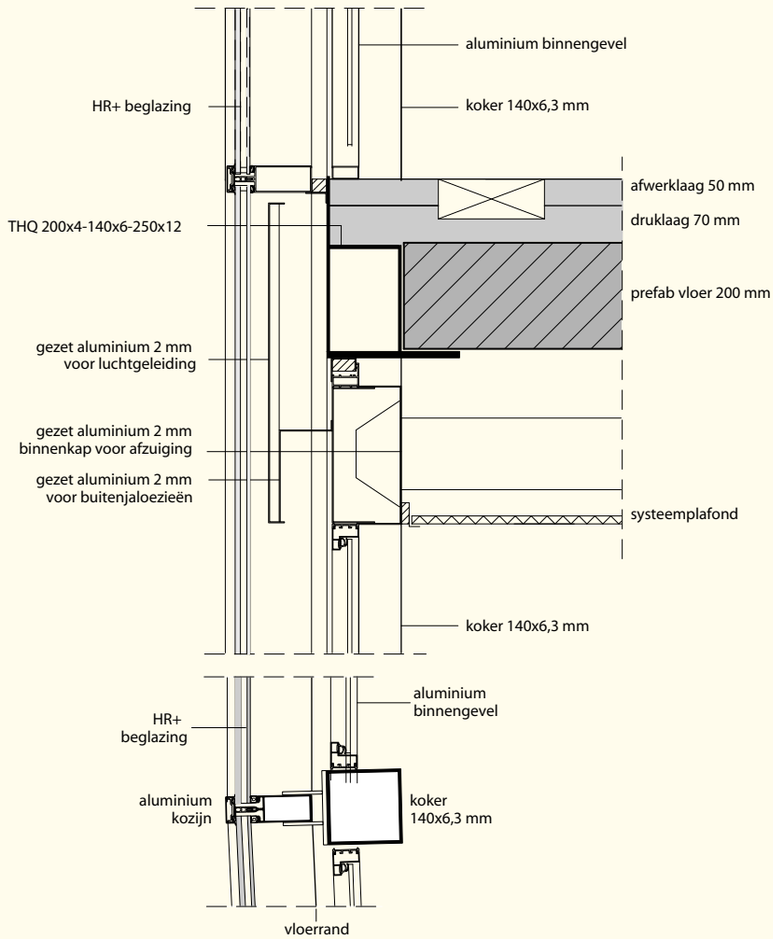
stabiliteitsspant



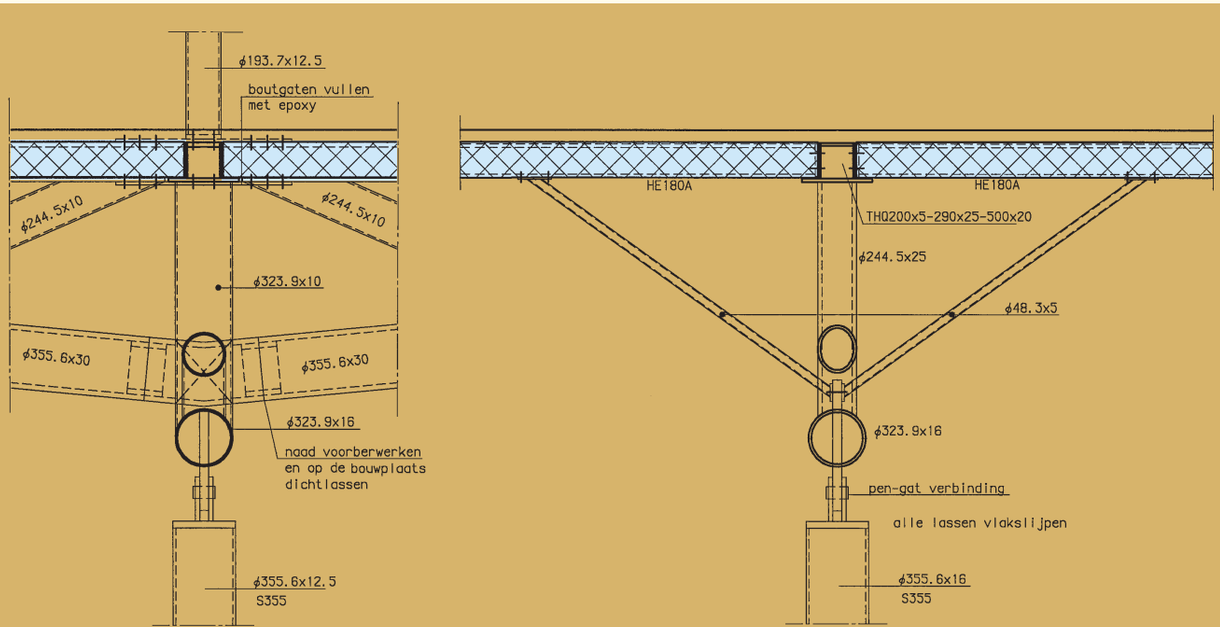
Verticale doorsnede over de vloer met de oplegging van de kanaalplaten in de gevel (links) en ter plaatse van de middenkolom (zie langsdoorsnede).



Constructieve plattegrond van een standaardverdieping.



Bouwkundige aansluiting van de gevel aan de vloerrand.



Dwarsdoorsnede over de vakwerkligger (onder niveau 3) waaronder de trouw- en raadszaal hangt. Links het aanzicht op het dwarsspant en rechts het aanzicht op de afschoring van de onderrand van de vakwerkligger (zie langsdoorsnede).

Erick van Egeraat

“Mensen zijn zo gewend om de meest praktische oplossing te kiezen. Ze nemen het je bijna kwalijk wanneer je niet rechtlijnig bent.”

PROJECTGEGEVENS

Locatie Castellumstraat 1, Alphen aan den Rijn • **Opdracht** Gemeente Alphen aan den Rijn • **Architectuur** (EEA) Erick van Egeraat associated architects, Rotterdam • **Constructief ontwerp** ABT, Delft • **Uitvoering** HBG Utiliteitsbouw Regio West, Capelle aan den IJssel • **Staalconstructie** Moeskops Constructiebedrijf, Bergeijk.

Stadhuis, Alphen aan den Rijn

Complex, maar niet gecompliceerd

Het stadhuis van Alphen aan den Rijn is Nederlands bekendste ‘blob’. De maker ervan, architect Erick van Egeraat, vertelt over de opvattingen van waaruit het bouwwerk is ontstaan. Noch de vorm, noch de constructie is wat hem betreft autonoom. Beide stuurt hij aan vanuit het nagestreefde resultaat en dat verschilt per situatie. Dat maakt dat alle oplossingen net even anders zijn dan wat je vanuit de Nederlandse ‘rechtlijnige’ bouwpraktijk zou verwachten.

Het stadhuis is het eerste project dat gestalte geeft aan het nieuwe Alphen aan den Rijn. Het gebouw biedt uiteraard plaats aan alle gemeentelijke, bestuurlijke en dienstverlenende activiteiten. Maar behalve een adequate functionele opzet moest het als ‘huis van de stad’ de allure krijgen die past bij het nieuwe stadshart van deze snel groeiende gemeente. Bovendien wensten de bestuurders in het nieuwe gemeentehuis tot uitdrukking te brengen dat zij – naar de bevolking toe – in alle openheid willen functioneren.

BLOB

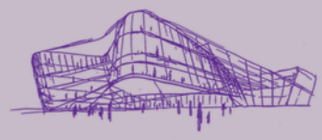
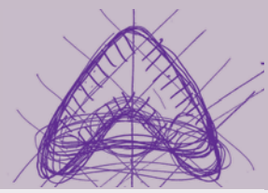
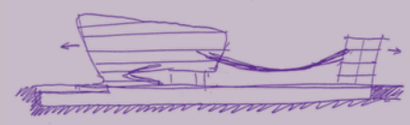
Het passende imago is gevonden in de combinatie van een vrije vorm (of blob) én een transparante gebouwhuid. Het resultaat plaatst Alphen aan den Rijn in één klap hoog op de lijst van Nederlandse architectuursteden. En de maker ervan, architect Erick van Egeraat van (EEA) Erick van Egeraat associated architects, werd bijna vanzelfsprekend vereenzelvigd met de snel aan populariteit winnende blobarchitectuur. Bij deze architectuur gaat het in de woorden van de ontwerper in essentie om het losweken van de hermetische verbinding tussen materialisering en vorm. **“Juist die verbinding was het ideaal van de twintigste eeuw. Dat was misschien wel praktisch, maar soms ook heel onaantrekkelijk.”** Bij een blob integreren draagstructuur en huid en om dat mogelijk te maken is een spectrum van mogelijkheden beschikbaar. Erick van Egeraat verwacht dat de complexe driedimensionale vorm in de nabije toekomst veel vaker zal verschijnen. Maar hij merkt daarbij op dat de stedelijke situatie daarvoor niet altijd een zinvolle plek is. **“Bij de Inholland (voorheen Ichthus) Hogeschool in Rotterdam; ook van EEA, red.) zou de blobvorm onzin zijn geweest.”**

Erick van Egeraat is dus geen goeroe van de blobarchitectuur. Veel meer dan één bepaalde vormbenadering staat voor hem het fysieke resultaat in al zijn facetten centraal, waarbij de nadruk vooral ligt op het karakter van het gebouw. Dat geldt in engere zin voor het specifieke gebruik, maar even belangrijk is de rol die het bouwwerk in zijn omgeving en naar het publiek toe moet vervullen. Vandaar dat de architect per project verschillende eisen stelt aan materiaal en constructie. Die zijn voor hem niet autonoom, maar dienen een meer omvattend doel.

VORM VRAAGT OM STAAL

Alleen al de vrije vorm en de open gevels vroegen om een lichte constructie. Toen om die redenen eenmaal voor staal was besloten, ontstonden ook mogelijkheden om andere facetten van het ontwerp sterker uit te werken. Zo kraagt de raadzaal op de eerste verdieping 18 m uit ten opzichte van de hoofdentree. Dat kon door de vloer van de raadzaal op te hangen aan een stalen vakwerk. Met name dit hoofdgebouw van het complex kenmerkt zich door een open structuur van in elkaar overvloeiende ruimten die soms alleen door kolommen worden afgebakend. Erick van Egeraat vergelijkt deze opzet met die van een kathedraal. Het staalskelet wordt ingevuld door kanaalplaatvloeren die in het middengebied op geïntegreerde liggers liggen en langs de randen op UNP-profielen. Het hoofdgebouw is door een tussengebied met een parabolisch stalen schaaldak gescheiden van de meer conventioneel uitgevoerde achterbouw van drie bouwlagen met kantoren.

Vanwege de vrije vorm en de open gevels is gekozen voor een staalconstructie. De raadzaal op de eerste verdieping kraagt 18 m uit boven de hoofdentree.

Dat de keuze voor staal nooit een punt van discussie is geweest, betekende voor Erick van Egeraat niet dat de constructie ook volgens de geijkte 'staalpaden' moest worden uitgewerkt en gedetailleerd. Hij verzet zich tegen wat hij de 'rechtlijnige dogmatiek van de Nederlandse bouwwereld' noemt. Die dogmatiek richt zich in zijn ogen veel te eenzijdig op de efficiëntie van het maken: **"Mensen zijn zo gewend om de meest praktische oplossing te kiezen. Ze nemen het je bijna kwalijk wanneer je niet rechtlijnig bent."** In het werken vanuit standaarddetails schuilt weliswaar een vorm van perfectie, maar die perfectie is autonoom en heeft dus niets meer met het bouwwerk in kwestie te maken. Erick van Egeraat vindt dat het detail, maar ook alle andere gebouwcomponenten, vanuit het beoogde resultaat moeten worden aangestuurd. In die zin is hij niet op zoek naar ultieme oplossingen en is het al helemaal niet zijn bedoeling om die vervolgens eindeloos te herhalen.

Ook wat de opzet van de constructie betreft, distantieert de architect zich van de opvatting dat je verkeerd bezig bent wanneer de ontwerper zich niet laat leiden door de intrinsieke logica van het construeren. Die logica geldt immers maar voor een heel beperkt deel van de opgave. Hij gelooft niet dat een constructie perse logisch moet zijn om een goed functionerend en interessant gebouw te krijgen. Zelf heeft hij nog nooit een bouwwerk vanuit een puur constructieve of bouwtechnische gedachte ontworpen. Dat zou iets van droogzwemmen hebben; de betekenis van de constructie ligt juist voor een deel besloten in het feit dat de constructie reageert op een vraag en die vraag wordt gesteld vanuit het beoogde resultaat. Dat resultaat daagt als het ware de constructie uit en geeft zo de constructie de kans om te excelleren: **"Een gebouw moet iets onredelijks willen doen om tot een interessante constructie te kunnen komen."**

COMPLEXITEIT ALS KWALITEIT

Erick van Egeraat genereert zijn oplossingen vanuit het beoogde resultaat. En omdat dat resultaat vele facetten kent – en bovendien per situatie verschillend is – kenmerken zijn gebouwen zich door complexiteit. Zijn ontwerpen zijn weliswaar complex, maar niet gecompliceerd. Dat geldt ook voor het stadhuis van Alphen aan den Rijn: **"De hoofdvorm is heel helder en het resultaat heel humaan. Het bouwwerk is voor mensen heel makkelijk om aan te nemen, maar dat betekent nog niet dat het ook makkelijk is om het te bouwen."**

De 'bedrieglijke' eenvoud van het complexe gebouw is er de oorzaak van dat maar weinigen zich echt bewust waren van hoe moeilijk het zou worden. Erick van Egeraat vertelt dat dat op twee momenten heel duidelijk werd. Het eerste moment lag tussen de keuze van de vorm en het daadwerkelijk monteren van de staalconstructie. Iedereen was enthousiast over de vorm, iedereen schrok van hoe moeilijk het was om die vorm te maken, maar vervolgens was iedereen weer enthousiast toen het staalskelet er stond. Dit proces herhaalde zich in het traject van ruwbouw naar afbouw. Ook de complexiteit daarvan werd onderschat. De oorzaak daarvan is dat alles net even anders bleek te zijn dan wat zich vanuit de op repetitie en rechtlijnigheid ingestelde bouwpraktijk als logisch aandiende.

RUIMTELIJKE PROCESBEHEERSING

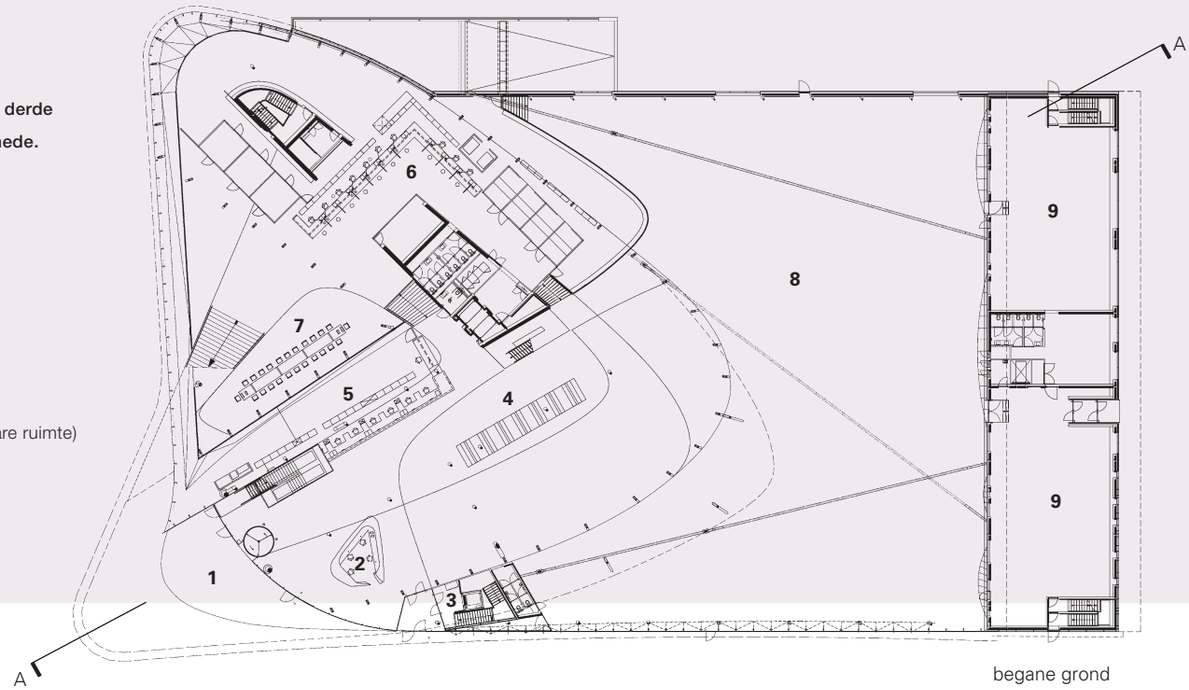
Om de ruimtelijke kwaliteiten van het ontwerp werkelijk te kunnen doorgronden, is het ontwerp gedetailleerd driedimensionaal (3D) vastgelegd. Dit 3D-ontwerp was in de uitvoering ook het belangrijkste instrument om de vorm in de hand te houden. Door schade en schande wijs geworden, hamert Erick van Egeraat erop dat met alle betrokkenen moet worden afgesproken wat de status van het 3D-model is en welke onderdelen van het bouwwerk daarvan afhankelijk zijn. EEA heeft hierin tot dusver heel nadrukkelijk het voortouw moeten nemen. In geval van het stadhuis van Alphen aan den Rijn werkte de constructeur ABT daarbij als ontwerpende partij mee. Omdat alle uitvoeringscoördinaten in het 3D-model besloten liggen, moesten werktekeningen van derden consequent aan het model worden getoetst.

Belangrijk is dat elk detail onderdeel is van de driedimensionale structuur. Er is nagenoeg geen scheiding tussen bewust vormgegeven hoofdcomponenten en elementen van beperkter belang die zonder verdere aandacht volgens de industriële standaard worden uitgevoerd. Deze aanpak blijkt in de praktijk te stuiten op wat Erick van Egeraat bestempelt als 'cultuurverschillen': **"De Nederlandse industrie vindt die aandacht onzin. Die is altijd gericht geweest op een productie volgens uitgekookte oplossingen. Onze bouwtechniek is heel erg geïndustrialiseerd. Zo van: we hebben breedplaatvloeren, dus passen we breedplaatvloeren toe."** Toch schuilt hierin ook iets positiefs: **"In het Nederlandse bouwen staat de kwaliteit altijd onder druk. Het belangrijkste en tevens ook enige voordeel daarvan is dat er hier voor een bepaalde prijs dingen kunnen die elders onmogelijk zijn."**

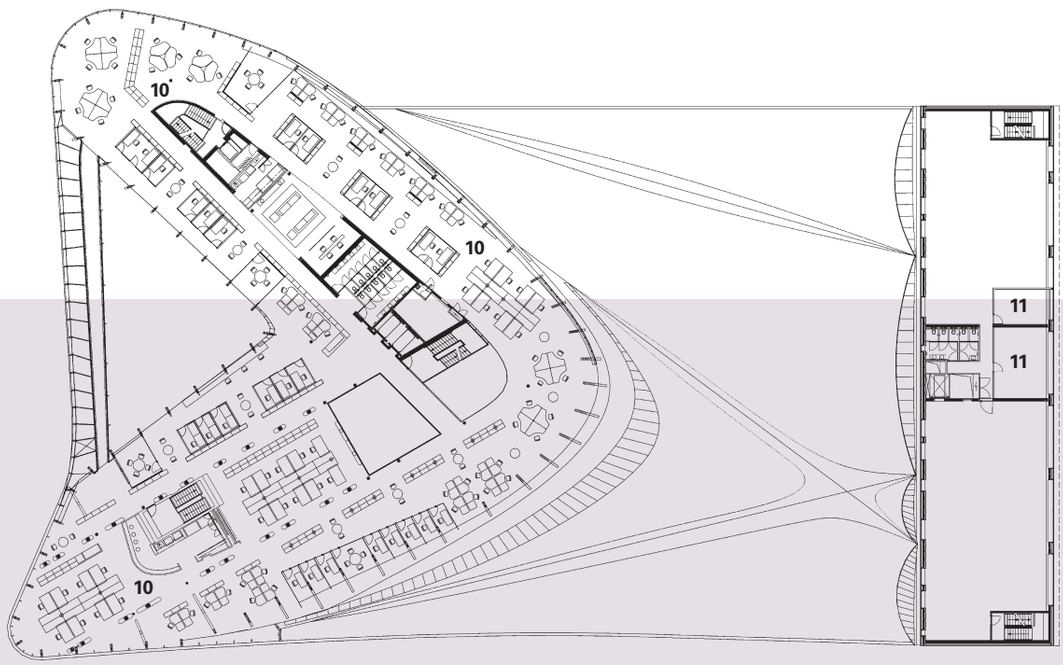
Erick van Egeraat's overtuiging dat het gaat om schoonheid die je beleeft in plaats van om de zuiverheid van het constructieve of bouwkundige detail, maakt dat elk detail afzonderlijk wordt ontworpen. Hij verwerpt het standaarddetail in veel gevallen als onaangepast. Toch is deze zienswijze nadrukkelijk geen vrijbrief voor een ongebreidelde wildgroei: **"In veel van onze gebouwen voelen mijn medewerkers zich uitgedaagd om tot nieuwe oplossingen te komen. Maar dan komt er een moment dat ik verkeerde overdaad afkap. Je kunt hierin te ver gaan. In het proces van het maken kunnen dingen soms te complex worden. Ik geef mijn mensen veel vrijheid, maar ik behoud me daarbij altijd het recht voor om uiteindelijk ja of nee te zeggen."**

Plattegrond van de begane grond en derde verdieping en diagonale langsdoorsnede.

1 hoofdingang
2 infobalie
3 bronpunt
4 wachtruimte
5 balie Burgerzaken
6 overige balies
7 internet tafel
8 Service Centrum Alphen (verhuurbare ruimte)
9 achterbouw (verhuurbare ruimte)
10 kantoorruimte
11 installatieruimte

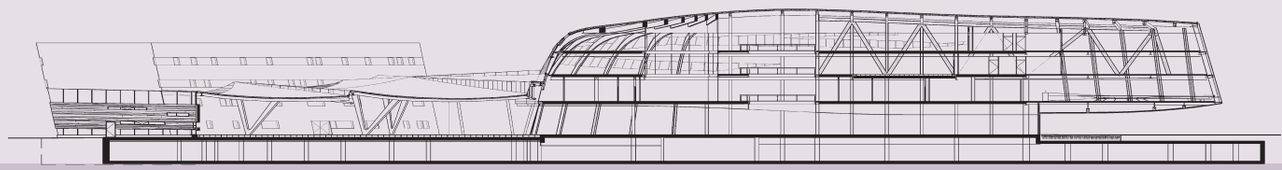


begane grond

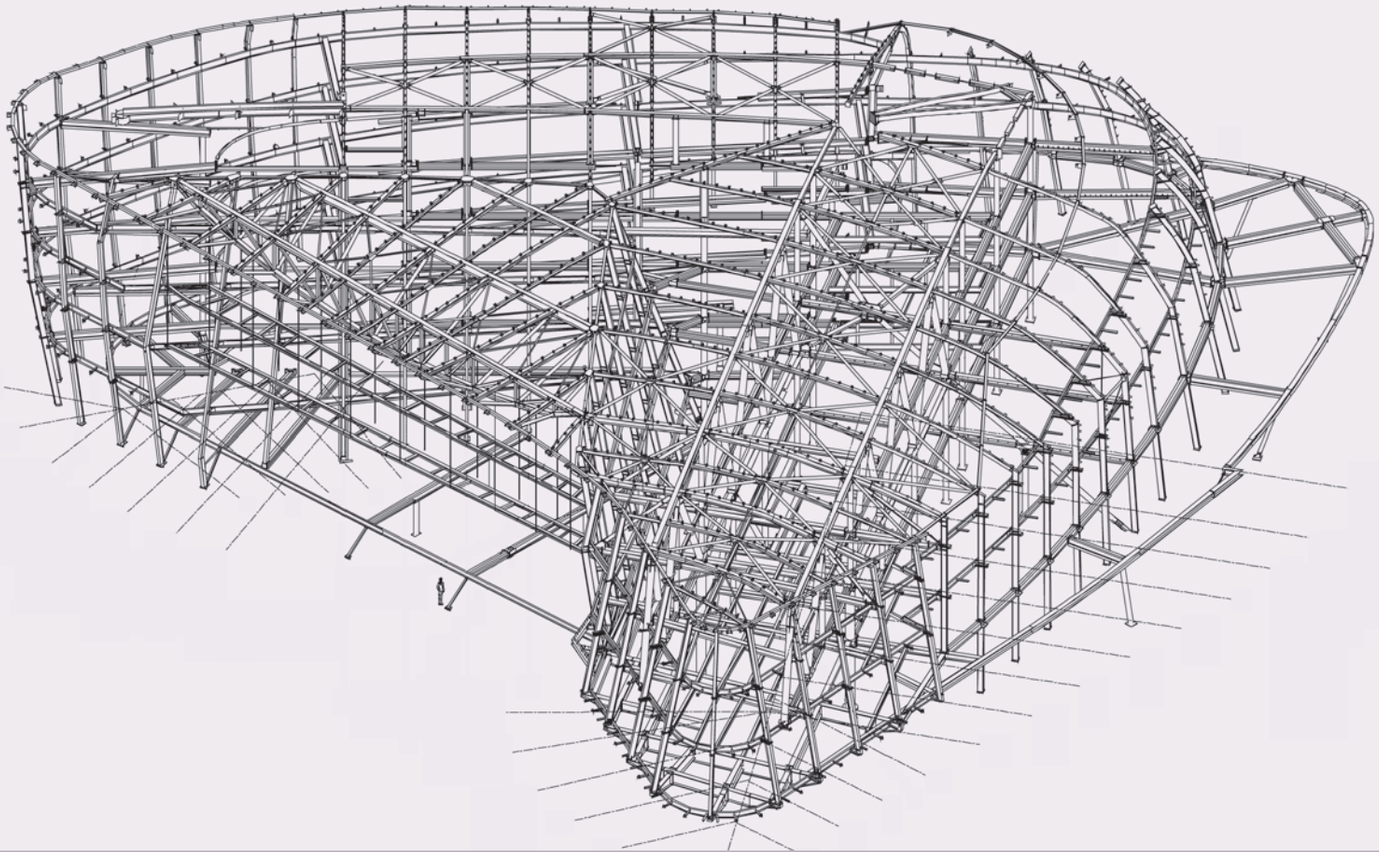


derde verdieping

12 5 20 50 m



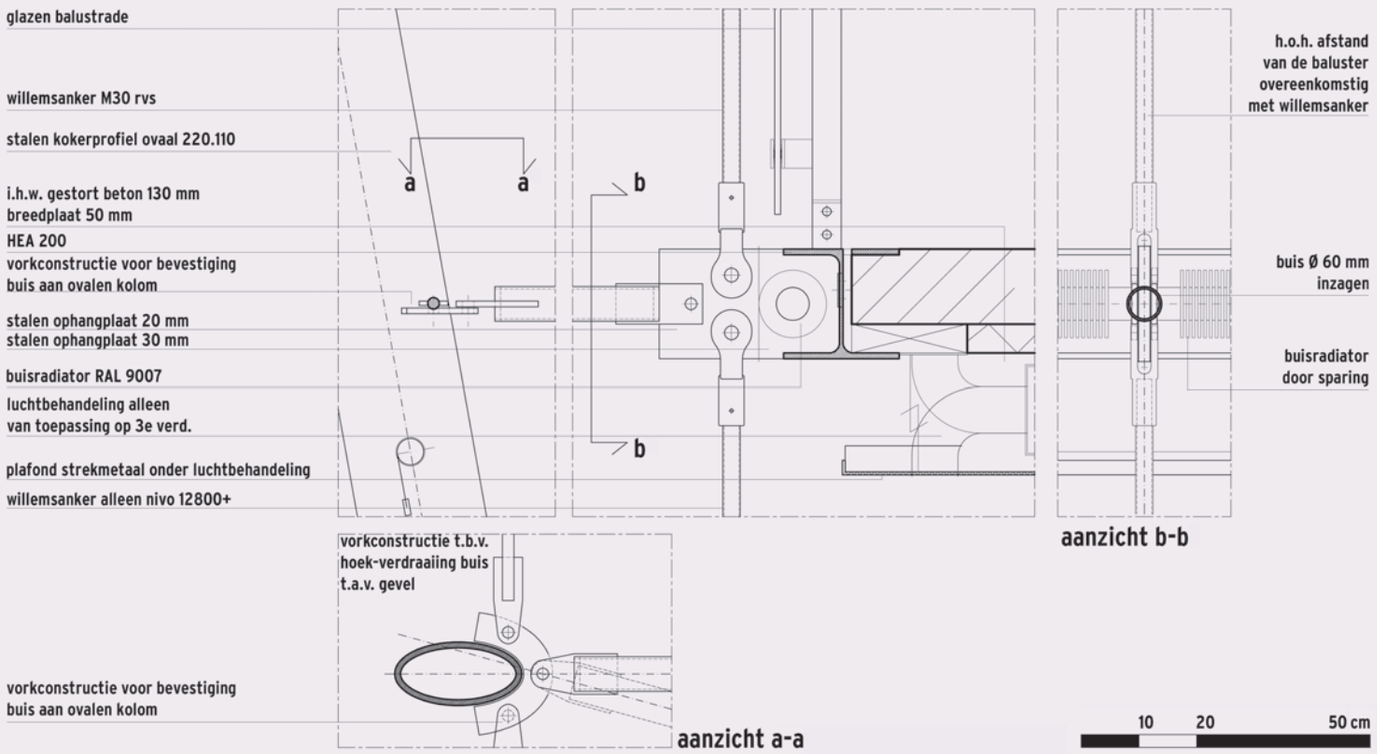
langsdoorsnede A-A



Isometrie van de staalconstructie van het hoofdgebouw. Om de vrije vorm komt een transparante, glazen gebouwhuid.

Eén van de twee uitkragende stalen vakwerkspanten. Het staalskelet is ingevuld met kanaalplaatvloeren die in het middengebied op geïntegreerde liggers liggen en langs de randen op UNP-profielen.

Dwarsdoorsnede over de gekromde dakhuid. De dichte gevel- en dakdelen zijn met zink bekleed. Het glas is met een zeefdruk wat minder transparant gemaakt.



Doorsnede over de loopbruggen in de centrale hal met de bevestiging van de glazen gevel.

Tjaarda Mees

“Staalplaat-betonvloeren als schoon werk vergt discipline in de uitvoering.”

PROJECTGEGEVENS

Locatie Nieuwe Herengracht 115, Amsterdam • **Opdracht** Martine Mees, Amsterdam • **Architectuur** Tjaarda Mees, Amsterdam • **Constructief ontwerp** M. Lachmann Bouwtechniek, Alphen aan den Rijn • **Uitvoering** Klee Aannemersbedrijf, Amersfoort • **Staalconstructie** De Loor, Amsterdam • Zie ook: M. Lachmann, ‘Eigentijds grachtenpand in staal’, in: *Bouwen met Staal* 143 (1998), p. 18-23.

Woning Nieuwe Herengracht, Amsterdam

Stalen grachtenpand doet 'gewoon' zijn werk

Aan de Nieuwe Herengracht in Amsterdam ontwierp architect Tjaarda Mees voor zichzelf en zijn zus een woning die extreem anders en tegelijkertijd onopvallend is. Het superslanke huis heeft een staalconstructie om de fundering zo min mogelijk te belasten, maar ook de logistiek vroeg om een niet-traditionele oplossing. Mees slaagde erin de constructie in het zicht te laten, waardoor precies is te zien hoe het huis in elkaar zit en wat er constructief gebeurt. De ontwerper, die zegt dat hij geen overdreven liefde voor het detail heeft, ontwierp de verbindingen in staal zonder enige opsmuk zoals die zich vanuit de constructie aandienden.

Het meest uitgesproken stalen woonhuis aan de Amsterdamse grachten is ontworpen door een architect voor wie het bouwen in staal gewoon één van de opties is. Niet de materiaalesthetiek, maar de vraag welke constructie het meest logisch beantwoordt aan de ontwerpopgave bracht Tjaarda Mees tot zijn keuze. Een staalconstructie bood het grote voordeel om dunne woningscheidende wanden te kunnen toepassen. Dat was belangrijk, omdat het perceel – een gat in de grachtenwand – slechts 4,1 m breed was. **"Wanneer de zijmuren uit kalkzandsteen waren opgetrokken"**, zo legt Mees uit, **"dan had de woningbreedte netto 0,4 m minder bedragen dan de 3,9 m die nu met een staalconstructie is bereikt."** Ook de noodzaak om in de Amsterdamse binnenstad het aantal kraanactiviteiten tot een minimum te beperken – én het volledig ontbreken van opslagcapaciteit anders dan op het bouwterrein zelf – beslechtten het pleit voor staal. Dat Mees niettemin toch kalkzandstenen zijmuren overwoog, had direct te maken met het oorspronkelijke idee om op het perceel niet één, maar twee gestapelde woningen te bouwen. De ontwerper licht toe dat in dat geval staal minder voor de hand had gelegen. Er was toen nog te weinig kennis om te kunnen voldoen aan de vigerende geluidseisen voor woningscheidende vloerconstructies.

ONOPVALLEND OPVALLEND

Hoewel het straatgezicht van Mees' grachtenpand uit staal, zink en glas bestaat, is de woning geen schreeuwende uitzondering in de historische straatwand. De ontwerper wilde de woning onderdeel laten zijn van het grote geheel en heeft het bouwvolume daaraan aangepast: **"Ik zie de grachtenwand als een aaneenschakeling van opvallende panden, die samen een eenheid vormen. Mijn huis moest daar gewoon een onderdeel van zijn."** Dat betekende nadrukkelijk niet dat het pand zelf onopvallend moest worden, in tegendeel, want dan zou het in de rij van opvallende panden juist de aandacht trekken. Het ging er juist om dat Nieuwe Herengracht 115 met zijn afwijkende materialen in voldoende mate aan de universele compositieregels van het Amsterdamse grachtenpand zou beantwoorden. Vandaar dat de woning van zes bouwlagen een laag souterrain (1,95 m) heeft met daarboven een bel-etage.

De kop van de woning kreeg, zoals bij Amsterdamse grachtenpanden gebruikelijk is, extra nadruk. Dat gebeurt niet via de traditionele kroonlijst, maar met Mees' eigentijdse alternatief: een dakterras met een opengewerkte roostervloer. Het dakterras kraagt uit ten opzichte van de terugliggende woonverdieping eronder, waardoor de met zink beklede borstwering los komt van de onderliggende gevel en als een plastische bekroning werkt. Voor het overige wordt de straatgevel vooral bepaald door een compositie van horizontale banden, die afwisselend bestaan uit een gevelbrede schuifpui en een met zink beklede of glazen borstwering. Anders dan je wellicht zou verwachten, is dit beeld niet van buiten opgelegd, maar juist een consequentie van wat Mees binnen heeft willen bereiken: **"Ik wilde voorkomen dat het pand binnen te smal overkomt. Vandaar dat ik optisch de volledige breedte heb benut."** Deze aanpak zegt veel over de opvattingen van de architect, die benadrukt dat hij van binnenuit ontwerpt, omdat dat de kant van de gebruiker is. De buitenkant is daarop een aanvulling. Mees voegt daaraan toe: **"Ik ben wars van camouflage, van het oproepen van een schijnwereld. Ik houd van architectuur die laat zien wat 'ie is."**

STABILITEIT SLIM OPGELOST

Voor wat betreft de sterkte van het staalskelet was het ontwerp van de constructie geen helse toer. In de zijgevels staan kolommen op een vanuit het gebruik van de woning gemotiveerd stramien van 2,7 m. Aan deze kolommen sluiten zowel in de breedterichting van het pand als in de lengterichting stalen liggers aan. De constructie staat op een fundering van met beton gevulde stalen buispalen die trillingsarm zijn geheid.

Duidelijk gecompliceerder was het vinden van een oplossing voor de stabiliteit. Mees vertelt dat de stabiliteit volledig aan het pand zelf moet worden ontleend. De tijd dat Amsterdamse grachtenpanden elkaar overeind mochten houden, is allang voorbij. Met een gemeenschappelijk draagvermogen, zoals bedoeld in NEN 6702, kon niet worden gerekend, omdat de stabiliserende werking van de bestaande buurpanden niet kon worden gekwantificeerd. Bovendien had het nieuwe pand een groter aan de wind blootgesteld oppervlak dan de belendingen. In de lengterichting meet de constructie 12 m. De stabili-

teit kon in deze richting worden ontleend aan windverbanden, die ter hoogte van het centrale trappenhuis met lift in de zijwanden werden aangebracht.

Veel lastiger was de situatie in de breedterichting. Volgens constructeur, Michel Lachmann, heeft Nieuwe Herengracht 115 een uitzonderlijk groot kantelmoment bij windbelasting door de combinatie van een geringe permanente belasting en een minimale breedte. Het antwoord van de constructeur bestond uit een 16 m hoog stabiliteitsframe met een systeemmaat van 1,5 m. Maar hoe veranker je zo'n frame nu wanneer ter plaatse van de belendingen geen trekpalen mogen worden toegepast en wanneer het alternatief – het inbrengen van massa door een enorme klont beton van zo'n 30 m^3 – op overwegend uitvoeringstechnische bezwaren stuit? Lachmann vond de oplossing in een suggestie van de onderaannemer voor de stalen buispalen: in het midden tussen de bouwmuren zijn twee trekankers aangebracht, die op hun beurt met grootankers zijn verankerd in de tweede zandlaag op zo'n 24 m onder het straatniveau.

CONSTRUCTIE IS ZICHTWERK

Gelet op de aard van de constructie lag het voor de hand om kanaalplaatvloeren toe te passen. Uiteindelijk is gekozen voor een staalplaat-betonvloer vanwege het ontbreken van opslagcapaciteit en de noodzaak om op deze locatie in de binnenstad het aantal kraandagen tot een minimum te beperken. Bij kanaalplaatvloeren moet namelijk het skelet in fases per verdieping worden opgebouwd om de vloerplaten per bouwlaag in het werk te kunnen hijsen.

Mees besloot de staalplaat-betonvloer als schoon werk uit te voeren. Dat betekende dat de afzonderlijke elementen goed moesten stroken. Maar dat viel tegen: **"De staalplaten bleken enigszins te 'slingeren'. We hebben ze in het werk moeten uitlijnen"**, vertelt de ontwerper, die de vloer per veld heeft gekeurd. **"Staalplaat-betonvloeren als schoonwerk, dat is een andere cultuur. Dit vloertype is oorspronkelijk niet ontworpen voor zichtwerk. Wanneer je dat toch wilt, dan vergt dat discipline in de uitvoering."**

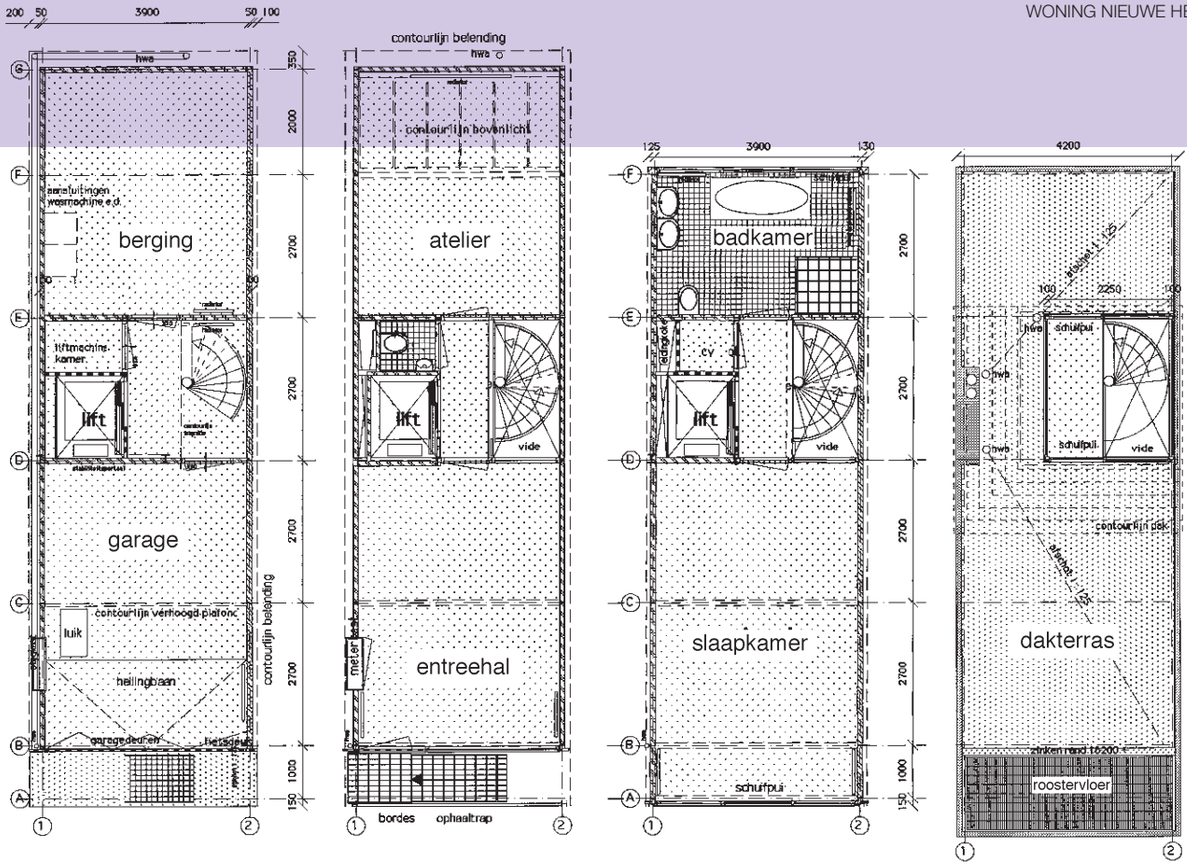
Niet alleen de vloeren – feitelijk dus de plafonds – zijn schoon uitgevoerd, ook de thermisch verzinkte draagconstructie bleef in het zicht. Mees kon de brandweer van Amsterdam ervan overtuigen dat op de aanvankelijke eis van 60 minuten weerstand tegen bezwijken (de normale eis voor woningen) een reductie van 30 minuten mocht worden toegepast vanwege de aantoonbaar geringe permanente vuurbelasting. Vervolgens is aangetoond dat aan de gereduceerde eis van 30 minuten kon worden voldaan zonder dat de staalconstructie hoefde te worden bekleed.

Dat Mees erop 'gebrand' was om de constructie in het zicht te houden, volgt direct uit zijn opvatting dat je in een bouwwerk moet laten zien wat er gebeurt: **"Ik vind het belangrijk dat volstrekt voelbaar en zichtbaar is hoe iets in elkaar zit en dat je dat ook kunt snappen."** Op de vraag aan welke eisen de detaillering moet voldoen, antwoordt Mees: **"De detaillering komt voort uit de constructie en dat laat ik gewoon zien. Ik ben niet zo'n detailfreak. Een detail moet onopvallend maar liefst wel zichtbaar zijn werk doen."**

De 'transparantie' van Mees' architectuur vereist **"dat je goed op kunt schieten met je constructeur. Alles wordt immers zichtbaar. Alle details zijn te voren doorgesproken."** Als voorbeeld van dat proces noemt Mees de aandacht die is besteed aan de voetplaten. In tegenstelling tot wat gebruikelijk is, mochten deze platen, op een enkele uitzondering na, niet of nauwelijks buiten de kolommen uitsteken. Mees benadrukt dat het bijzondere niet zozeer schuilt in het bedenken van een oplossing voor dergelijke details, maar in het signaleren van wat op het punt staat om te ontstaan. Dit betekent niet dat Mees een lans breekt voor het esthetiseren van constructiedetails, integendeel: **"Ik probeer niet om iets mooier of meer gekunsteld te maken dan wat voortkomt uit de situatie. Wél streef ik ernaar om een klontereffect te vermijden. Dat levert op dat dingen lichter en minder nadrukkelijk worden."**

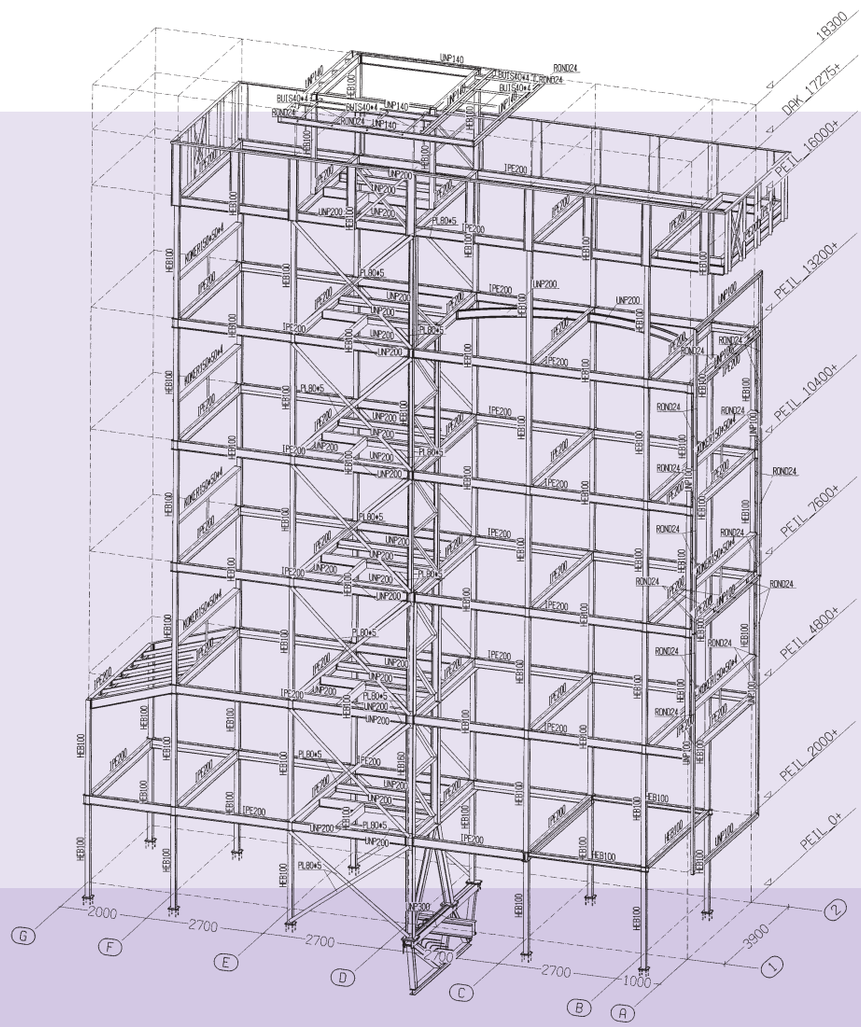
Het geheim van de kwaliteit van Nieuwe Herengracht 115 schuilt volgens Mees in een combinatie van hardnekkigheid en inventiviteit. **"Ik ben niet iemand die snel gelooft dat iets niet kan. Ik heb een duidelijk beeld van wat ik wil en daar houd ik aan vast. Overigens heeft dat voor mij alleen maar zin wanneer ik denk te weten dat wat ik wil ook klopt."**

Het straatgezicht van het grachtenpand bestaat uit staal, zink en glas waardoor de woning geen schreeuwende uitzondering in de historische straatwand is. Het slanke huis heeft een staalconstructie om de fundering zo min mogelijk te belasten.

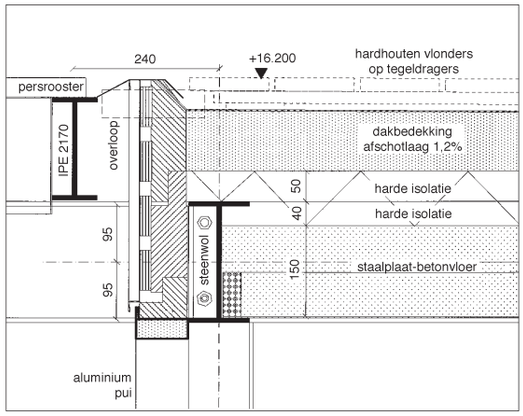


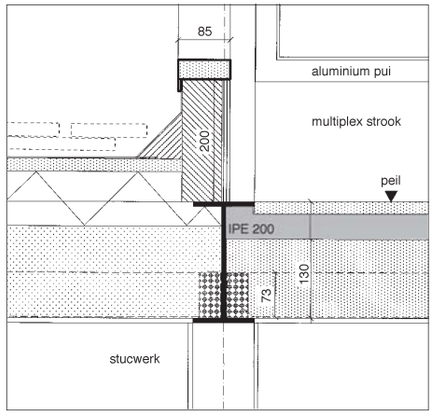
begane grond (+0) | bel-étage (+2,0 m) | 3e étage (+7,6 m) | 6e étage (+16,0 m)

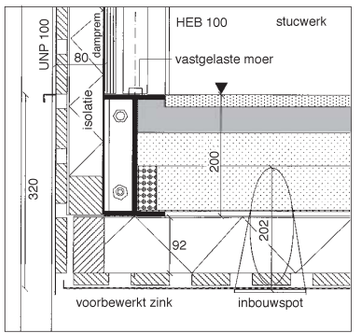
Plattegronden. De voordeur op de bel-étage is te bereiken via een ophaalbare trap. Daardoor blijft de garage op de begane grond bereikbaar.

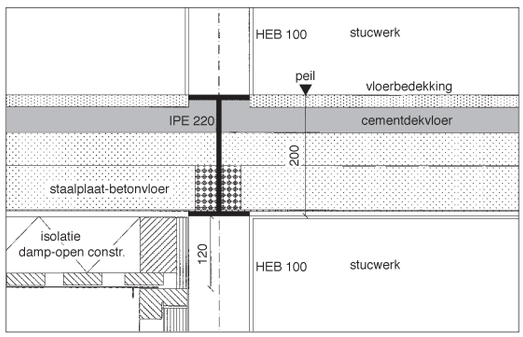


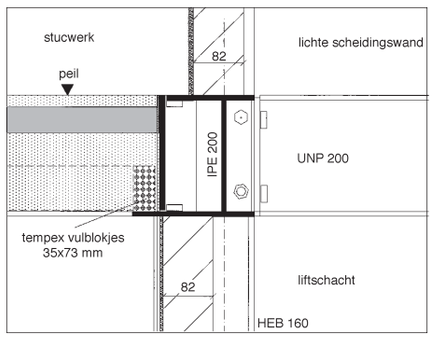
Isometrie van de staalconstructie zonder de vloeren.

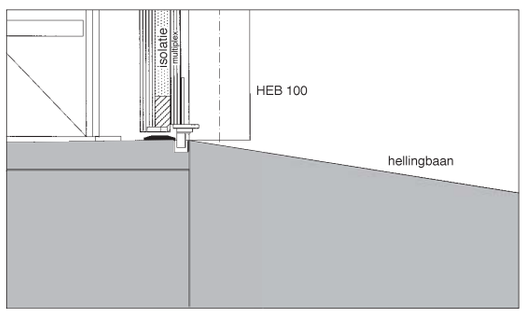


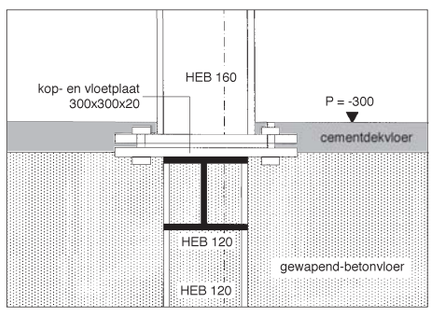




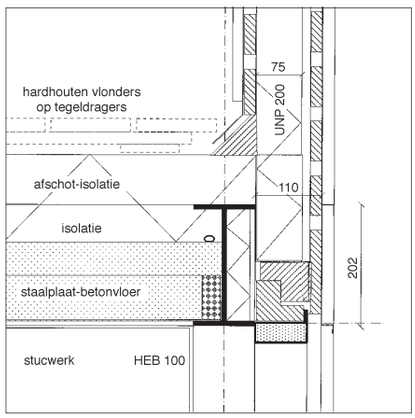


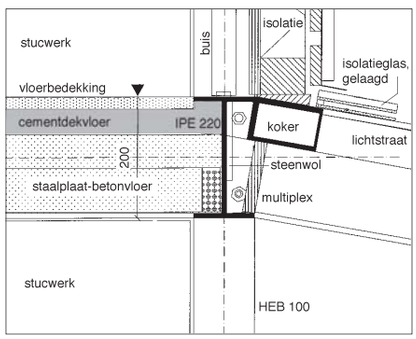


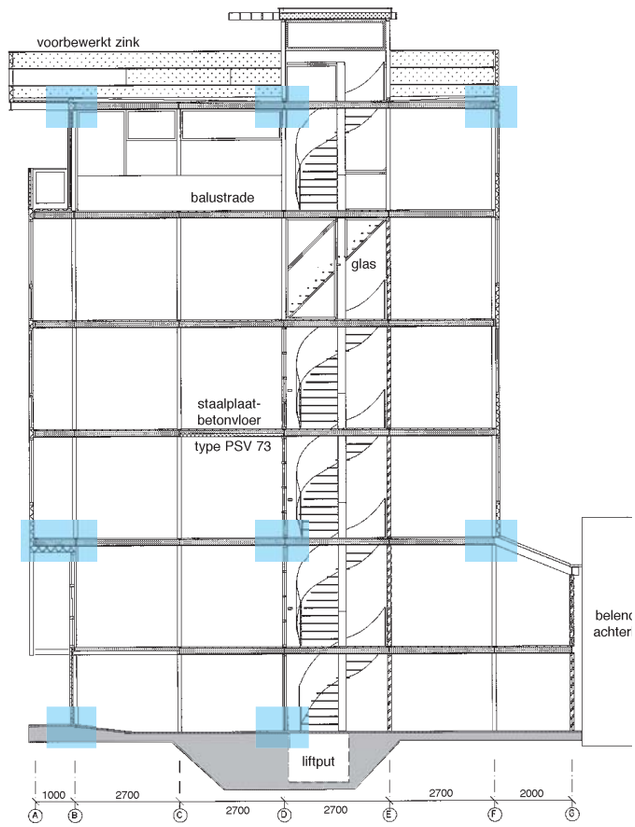




De staalconstructie blijft binnen in het zicht. Dat betekende wel dat de staalplaat-betonvloeren als schoonwerk moesten worden uitgevoerd.







Langsdoorsnede over de woning met de plaats van de details.

De kop van de woning kreeg extra nadruk door een uitkragend dakterras met een opengewerkte roostervloer. Hierdoor komt de met zink beklede borstwering los van de onderliggende gevel.

Dik Smeding

“Het stramien is afgestemd op de kamermaat; we hebben niet gekeken naar de maximale overspanningen.”

PROJECTGEGEVENS

Locatie Vijzelstraat 47-49 te Amsterdam • **Opdracht** G. Brals, Amsterdam • **Architectuur** Architectenburo Dik Smeding, Amsterdam • **Constructief ontwerp** J.H. Duyts adviesbureau voor Bouwconstructies, Amsterdam • **Uitvoering** Overhage, Hilversum • **Staalconstructie** Kampstaal, Emmeloord • Zie ook: K. Peterse, ‘Compact staalskelet in een traditionele jas’, *Bouwen met Staal* 150 (1999), p. 40-45.

Albus Grand Hotel, Amsterdam

Compact staalskelet in een traditionele jas

Albus Grand Hotel (het voormalige hotel De Compagnie) aan de Amsterdamse Vijzelstraat is een voorbeeld waarbij bouwsnelheid en compact bouwen uitstekend samengaan. Daarbij was het optimaal benutten van het maximaal toegestane gebouwhoogte van doorslaggevende betekenis. Bouwen in staal was de enige oplossing waarmee het grote probleem van bouwen aan een drukke verkeersader in de binnenstad het hoofd kon worden geboden. In zijn werkwijze toont architect Dik Smeding van het gelijknamige architectenbureau zich een pragmaticus voor wie het bouwen – en de daarbij gevolgde methode en technieken – dienstbaar is aan de functioneel-economische en

Het in 1999 opgeleverde driesterrenhotel dankt zijn bestaan voor een belangrijk deel aan de toen geldende Amsterdamse bouwverordening. Deze stond namelijk toe dat de gebouwhoogte vanuit de breedte van de straat werd berekend. Het hotel kon daardoor een hoogte van 25 m krijgen; twee bouwlagen meer dan het huidige bestemmingsplan toelaat. Die extra hoogte was essentieel voor een succesvolle exploitatie, waarvoor zo'n zeventig kamers nodig waren. Het uiteindelijke plan is dan ook duidelijk beïnvloed door het streven het toegestane bouwvolume optimaal te benutten met als resultaat acht bouwlagen van elk bruto 2,7 m (2,47 m netto). Alleen de begane grond kreeg extra hoogte: 3,4 m.

GECOMPLICEERDE LOCATIE

Het hotel staat op een kavel van ruim 12 m breed en is amper 23 m diep. In een later stadium bleek aan de (zij)achterkant nog een extra volume beschikbaar op een grondvlak van ongeveer 6x10 m. Binnen de toegestane hoogte zijn negen bouwlagen ontworpen, exclusief de kelderverdieping. Op de begane grond bevinden zich de lobby, de receptie en de centrale voorzieningen voor de verticale ontsluiting: de lift en het hoofdtrappenhuis. Bovendien vind je hier de kantoorruimten, het eindpunt van het noodtrappenhuis en de eerste vier hotelkamers. De overige bouwlagen zijn onderling verwant met telkens vier kamers aan de Vijzelstraat en vijf kamers die gericht zijn naar het binnenterrein. Vanaf de vijfde verdieping blijft het bouwvolume beperkt tot de kavelbreedte aan de straatzijde van 12 m en telt het hotel aan de achterzijde nog drie kamers per bouwlaag. In de sterk terugwijkende kap was het passen en meten, omdat het volume hier geleidelijk afneemt.

Dat het gelukt is om in het maximaal toegestane volume negen bouwlagen met in totaal zeventig kamers te passen, is vooral te danken aan de geslaagde beperking van de afmetingen van de draagconstructie en met name van de constructiehoogte van de verdiepingvloeren. Architect Dik Smeding legt uit dat in het begin nog een constructie van prefab beton is overwogen, maar dat de afmetingen van met name de betonnen kolommen, maar ook het stramien waarop deze moesten staan, overal 'botsten' met de indeling die vanuit de exploitatie gezien optimaal was. Dat betekende nog niet dat daarmee staal als enig alternatief overbleef.

Volgens Smeding zou een voor Nederlandse begrippen standaardbouwwijze van het casco met kalkzandsteen het goedkoopste zijn geweest, uitsluitend gelet op de directe bouwkosten. Maar hier moest een hotel in de Amsterdamse binnenstad verrijzen: **"We wisten al in een vroeg stadium dat er op deze plek gigantische problemen zouden komen. Je mocht er nog geen steen voor de deur opslaan",** verzucht Smeding. **"Het was een heel gecompliceerde locatie; we mochten maar een paar uur per nacht de straat halveren. Hoewel we alles hebben gedaan en hebben moeten doen om de verkeersoverlast tot een minimum te beperken, konden we niet voorkomen dat de bedrading van de tram vier tot vijf keer moest worden losgemaakt."** Maar dat was nog niet alles. Vooraf was al bekend dat het heiwerk niet van risico's was ontbloot, omdat de belendende panden er beroerd aan toe waren: **"Die panden hebben we geheel moeten stutten, omdat ze anders in de bouwput waren gegleden. Voor ons was het van het grootste belang om het heien te beperken, wat we vooral hebben gedaan door het gewicht van de constructie zo laag mogelijk te houden."**

Al deze klemmen en voetangels vonden een antwoord in de toepassing van een staalconstructie. **"Daarmee werd het gewicht tot een minimum beperkt en bleef de indelingsvrijheid optimaal, maar bovendien kon het gebouw zo twee maanden eerder worden opgeleverd dan bij een bouwwijze met kalkzandsteen",** weet Smeding. Daarnaast bood de combinatie van werken met geprefabriceerde constructie-elementen en een snelle montage op de bouwplaats een oplossing voor het opslagprobleem. Bovendien werd de complexiteit van handelingen die noodzakelijkerwijs in de nachtelijke uren moesten worden verricht, tot een minimum beperkt. Dat laatste heeft alles te maken met de maatnauwkeurigheid van het bouwen met staal. Smeding zegt daarover: **"De staalconstructie is bijna helemaal gebout. Alles paste tot op de millimeter. Er zou ook geen tijd zijn geweest om zaken te corrigeren, vandaar ook dat de aannemer de constructie-elementen van te voren al bij de staalbouwer**

controleerde. We konden het ons absoluut niet permitteren dat er iets niet paste wanneer we 's nachts aan het monteren waren."

FUNDERING ALS MAATWERK

De complexe situatie met in slechte staat verkerende buurpanden vroeg om een uitgekiende fundering. De oplossing is gevonden door aan de straatzijde schroefpalen te gebruiken en de rest van het pand op trillingarm ingeheide stalen buispalen te zetten.

Voordat het heiwerk kon worden uitgevoerd, moest eerst één van de buurpanden worden opgevangen. Dit is gebeurd met consolepalen die ook trillingarm zijn geheid. Het systeem bestaat uit stalen buispalen met opgelast profiel HEA 200. De palen zijn naast de belending geheid en het overkragende opgelaste profiel steekt in de bouwmuur van het belendende perceel. De zo verkregen ondersteuning is vervolgens met een vijzel op spanning gebracht. Vervolgens is met een gestempelde damwand als verloren bekisting een kuip gevormd waarin de keldervloer is gestort. Nadat de keldervloer was verhard, kon deze de functie van de stempels overnemen en kon met het storten van de begane-grondvloer worden begonnen. Vanaf dit niveau is verder gewerkt in staal en in de woorden van Smeding ging dat in een 'moordend tempo'. Tijdens de montage van de staalconstructie werden ook de kanaalplaten ingehesen. Zo bereikte men tijdens de ruwbouw een voortgang van één bouwlaag per week.

BRANDWERENDHEID BEPAALT KOLOMKEUZE

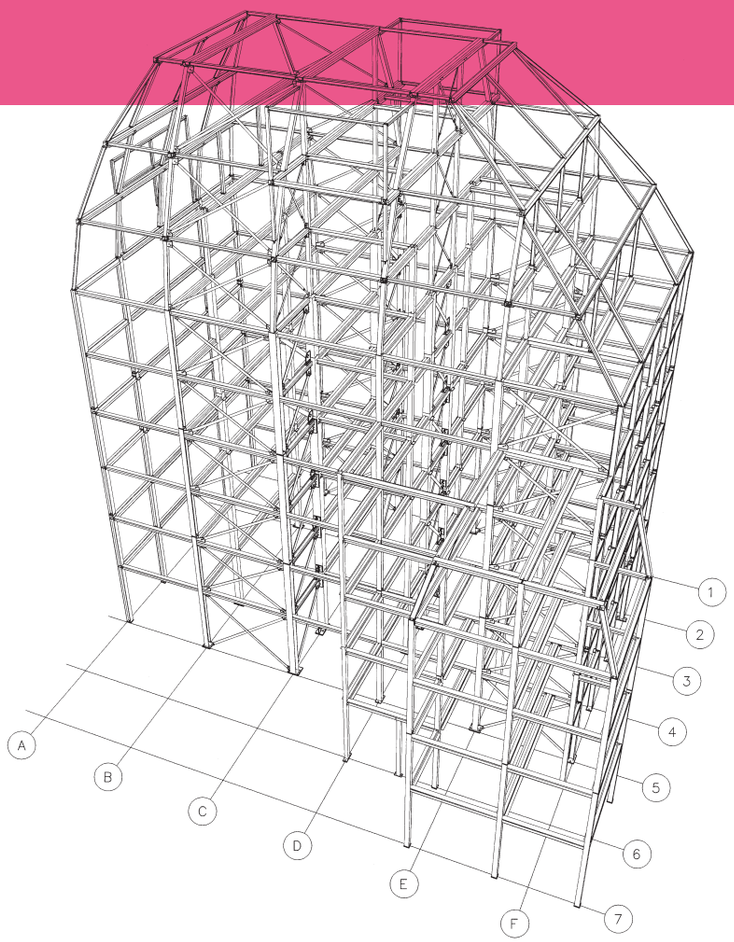
De staalconstructie is ontworpen op een stramien dat primair is ingegeven door de functie van het gebouw: **"Het stramien is afgestemd op de kamermaat; we hebben niet gekeken naar maximale overspanningen. Bedenk daarbij dat aan de afmetingen van kamers van een driesterrenhotel dwingende eisen worden gesteld en daarbij geldt geen marge."** Op het zo bepaalde stramien staan kokervormige kolommen. Deze keuze kwam voort uit de eis voor de brandwerendheid van 120 minuten. Doordat de kolommen zijn volgestort met beton kon aan de buitenzijde van de profielen worden volstaan met een lichte brandwerende bekleding. Een alternatief met HEA-profielen leidde in deze situatie tot omklede kolommen met een te grote dwarsdoorsnede. Smeding had overigens in plaats van met een brandwerende bekleding liever met brandwerende verf gewerkt, maar daar had de Amsterdamse brandweer toen geen vertrouwen in.

De vloer bestaat uit geïntegreerde liggers met kanaalplaten. De bovenzijde van de liggers is afgedekt met een geluidisolerend vloerpakket. De uitstekende onderflens van de liggers is vanwege de brandveiligheid bekleed. Deze bekleding is in het plafond zichtbaar gebleven en tekent zich af als verlaagde strook. Een aparte uitdaging vormde de geluidwering. Omdat in een hotel tussen de kamers en tussen de verdiepingen niet de kwaliteit van een woningscheidende constructie hoeft te worden bereikt, gold niet de eis van 0 dB. Het is tot op zekere hoogte aan de eigenaar van het hotel te bepalen welke 'geluidkwaliteit' hij zijn gasten biedt, als ware het een onderdeel van een servicepakket. Aan de Vijzelstraat is gekozen voor een oplossing met een laag isolatiemateriaal waarop een anhydriet dekvloer is aangebracht. Het resultaat blijkt alleszins bevredigend te zijn. Tevens kon zo de dikte van de verdiepingvloeren beperkt blijven tot 230 mm: 150 mm constructie en 80 mm afwerklaag.

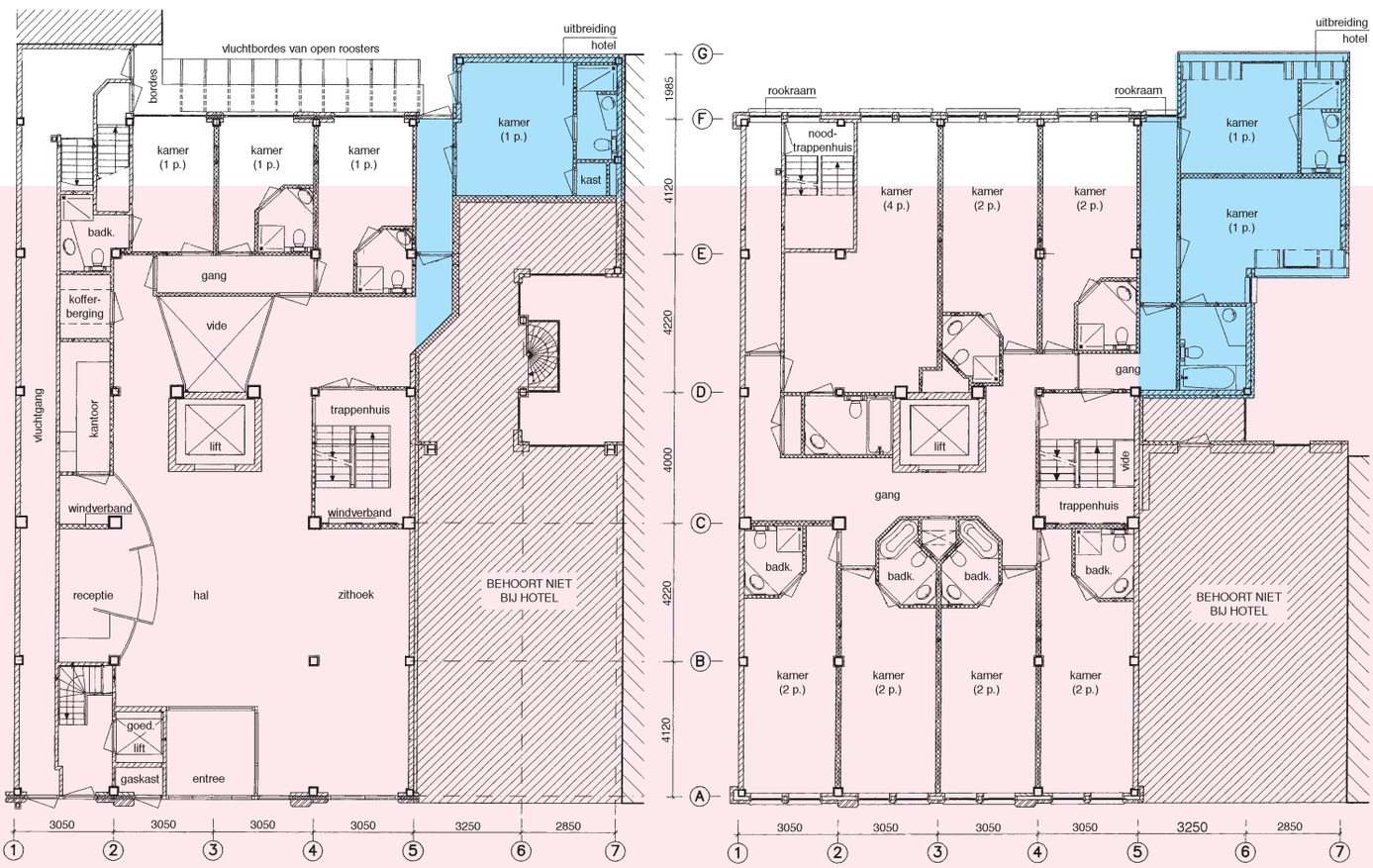
TRADITIONELE GEVEL

De efficiënte constructie blijft in het exterieur van het hotel geheel verborgen. De gasten en de voorbijgangers op straat zien een traditionele gevel die bewust is afgestemd op de als gangbaar geaccepteerde uitstraling van een hotel en die tevens rekening houdt met de rest van de straatwand. **"Ik heb in de ornamentiek van het gebouw verwezen naar de laatste honderd jaar van de Amsterdamse bouw-geschiedenis",** aldus Smeding. **"Voor mij was het belangrijk dat het hotel zich naadloos zou voegen in de straatwand. Het moest verder een behaaglijke uitstraling krijgen; je zou dat een duurzame beeldkwaliteit kunnen noemen. In dat beeld past geen harde vliesgevel of beton".** Dit alles leidde tot een volledig symmetrische gevel die in een combinatie van een grijze handvorm baksteen en gepolijste natuursteen is uitgevoerd. Het hotel wordt bekroond door een koperen felsdak.

Voor de geluidwering tussen de verdiepingen is gekozen voor een laag isolatiemateriaal op de kanaalplaten met daarop een anhydriet dekvloer. De dikte van de verdiepingvloeren bleef zo beperkt tot 230 mm: 150 mm constructie en 80 mm afwerklaag.



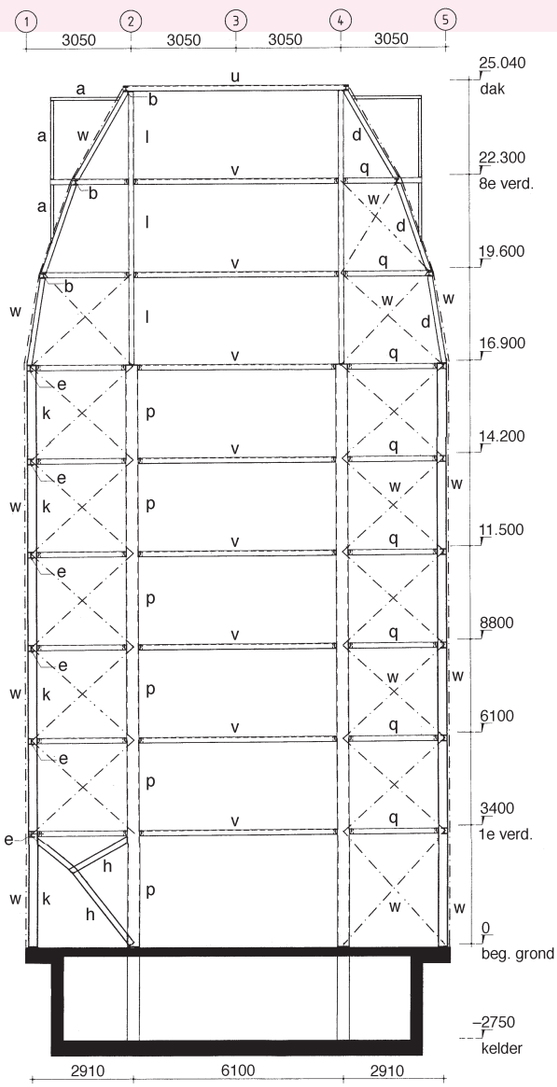
Isometrie van de staalconstructie gezien vanaf de achterzijde.

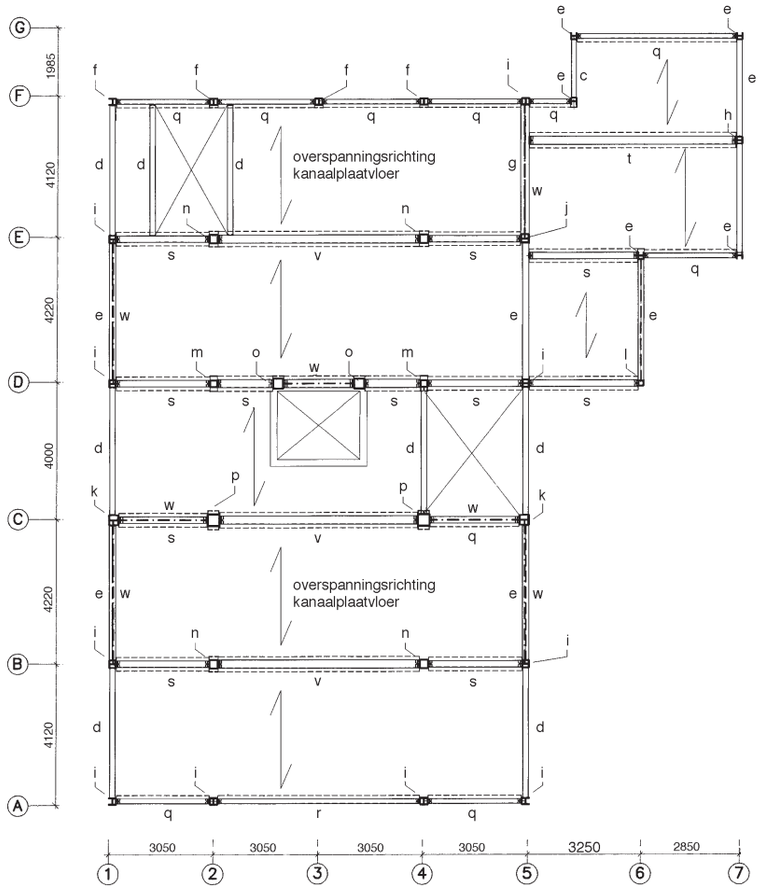


Bouwkundige plattegrond van de begane grond (links) en van een normale verdieping (rechts). Rechtsboven (gearceerd) het extra bouwvolume.

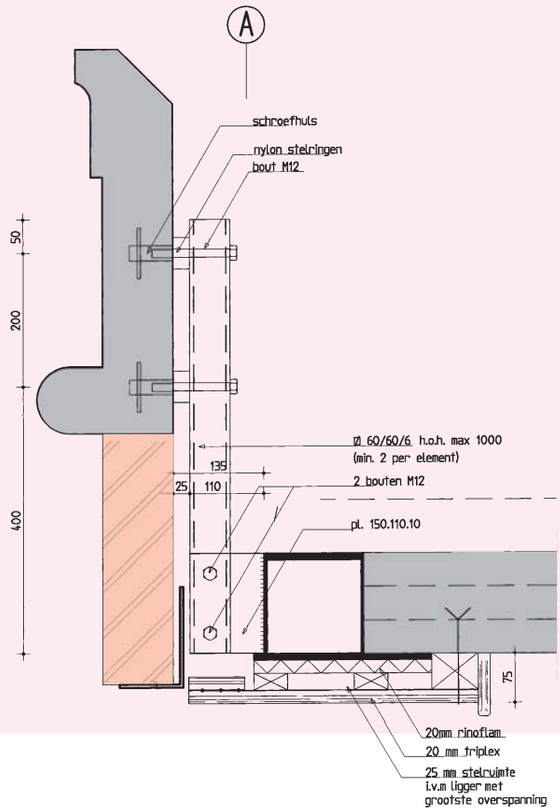
Constructieve plattegrond van een normale verdieping en dwarsdoorsnede op as C (GL = geïntegreerde ligger).

a ligger HEA 100
b ligger HEA 120
c ligger HEA 140
d ligger HEA 160
e kolom HEA 180
f kolom HEA 200
g kolom HEA 240
h kolom HEB 180
i kolom HEB 200
j kolom HEB 240
k kolom HEB 280
l kolom koker 150x6,3
m kolom koker 200x6,3
n kolom koker 250x8
o kolom koker 300x10
p kolom koker 350x12,5
q ligger GLR 150x5-140x10-265x10
r ligger GLR 150x5-140x35-265x25
s ligger GL 150x5-190x12-400x8
t ligger GL 150x5-190x25-400x12
u ligger GL 150x5-240x12-450x8
v ligger GL 150x5-240x20-450x12
w windverband uit stripstaal

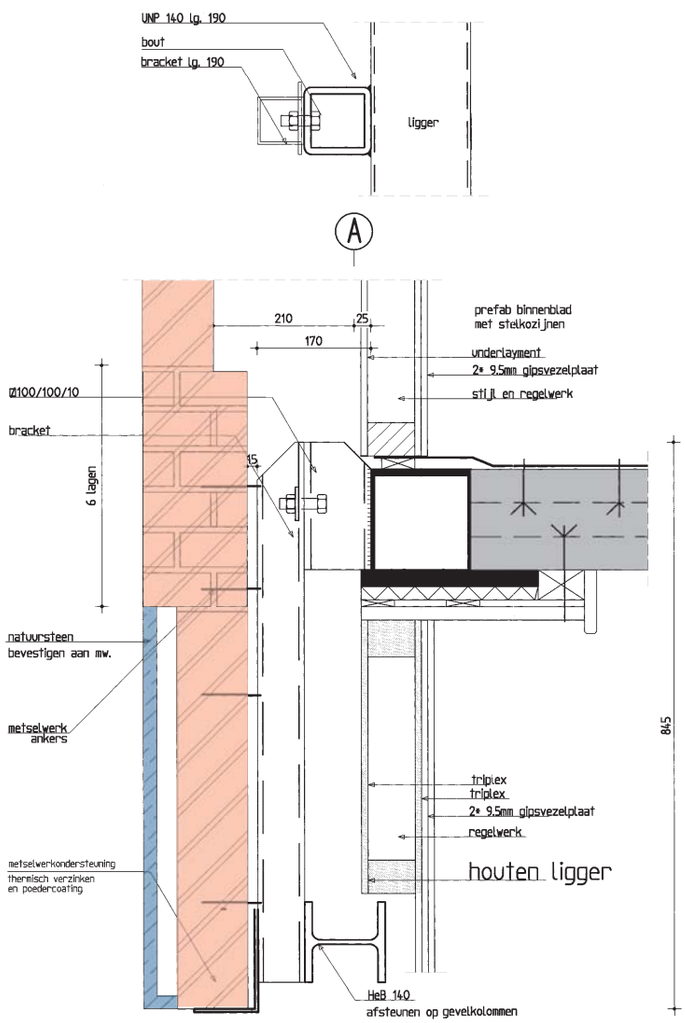


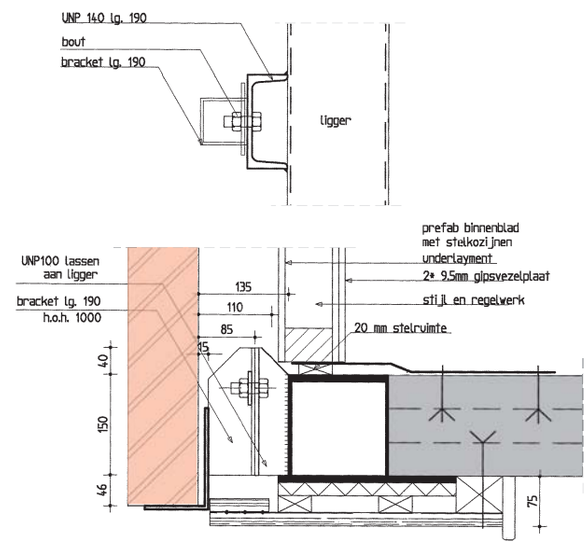


De staalconstructie is stabiel gemaakt met verbanden. Hier het verband op as D dat is opgenomen in de achterwand van de liftschacht.



Opvang van het metselwerk van de (iets uitspringende) voorgevel op de tweede verdieping tussen as 2 en as 4.





Opvang van de dakrand en van het metselwerk van de (iets terugliggende) voorgevel tussen as 1-2 en as 4-5.

Jan Hoogstad

“Construeren is niet alleen maar dragen en overspannen. De constructie geeft ook het ritme in de ruimte aan.”

PROJECTGEGEVENS

Locatie Kruisplein, Rotterdam • **Opdracht** Hogeschool voor Muziek en Dans, Rotterdam • **Architectuur** Jan Hoogstad Architecten, Rotterdam • **Constructief ontwerp** Aronsohn raadgevende ingenieurs, Rotterdam/Amsterdam • **Uitvoering** Geveke/CFE, Rotterdam • **Staalconstructie** Victor Buyck, Eeklo (B) • Zie ook: M. de Boer en G.L.H.M. Henkens, ‘Virtuoze constructie in staal, beton en staal-beton’, *Bouwen met Staal* 158 (2001), p. 18-25.

Hogeschool voor Muziek en Dans, Rotterdam

Materiaalkeuze vooral een kwestie van architectuur

De Hogeschool voor Muziek en Dans (HMD) in Rotterdam heeft een hybride draagconstructie. De kolommen en de vloerliggers zijn in staal uitgevoerd, terwijl voor de kernen en de vloeren beton is gekozen. De keuze voor staal berustte voor een deel op de 'geijkte' voordelen, zoals een korte bouwtijd en een gering eigen gewicht, maar architectonische overwegingen voerden toch de boventoon. Architect Jan Hoogstad wilde de HMD laten afsteken tegen het betonnen gebouw van de naastliggende Doelen. Bovendien zocht hij de verfijning van een ruimtelijk ritme dat werd bepaald door ranke kolommen.

De Hogeschool voor Muziek en Dans (HMD) is opgezet vanuit de ambitie om diverse muzische functies die voorheen over Rotterdam waren verspreid, op één plek samen te brengen. Die locatie werd de voormalige patio van het Doelencomplex en een strook aan het Kruisplein. De Rotterdamse bestuurders voorzagen een synergie tussen de nieuwe faciliteiten en de bestaande Doelen uit 1966 (ontworpen door de gebroeders Kraaijvanger, samen met Rein Fledderus). De bouw van de HMD moest tevens de culturele betekenis van de binnenstad versterken.

In 2000 is in één bouwstroom zowel het bestaande gebouw van De Doelen uitgebreid met een bovenliggend congrescentrum als de nieuwe HMD gebouwd. Alleen al de vorm van de hogeschool maakt duidelijk dat de in gele verblendsteen opgetrokken HMD letterlijk niet los kan worden gezien van De Doelen. De helft van het bouwvolume van de hogeschool grijpt namelijk over de nieuwe entree en het congrescentrum van De Doelen. De stalen kolommen van de HMD lopen hier door de uitbreiding van het congrescentrum heen.

De stap naar staal is door Jan Hoogstad – architect van zowel de HMD als de uitbreiding van De Doelen – gezet om een contrast te creëren: **"De Doelen is een zware betonconstructie. Ik wilde een verschil laten zien en koos daarom voor staal. Het verschil tussen De Doelen en de HMD had wat mij betreft nog wel wat groter mogen zijn."**

ROLTRAP

Voor het muzisch centrum was slechts een smalle kavel tussen de oorspronkelijke Doelen en het Kruisplein beschikbaar. Daarbij gold dat het congrescentrum van de Doelen letterlijk door de nieuwbouw heen vanaf het Kruisplein toegankelijk moest zijn. Tenslotte was voor de gebouwhoogte een limiet van 40 m bepaald.

De oplossing van Hoogstad toont een langgerekt, maar ondiep gebouw dat aan de achterzijde in architectonische zin is losgehouden van De Doelen. In de strook tussen beide complexen bevindt zich een lange, doorgaande roltrap waarmee de gebruikers en de bezoekers van het gebouw meteen terechtkomen op de vijfde verdieping. Deze vijfde verdieping is de eerste bouwlaag die over de entreepartij van het congrescentrum heen gaat en waar men dus kan beschikken over het maximale vloeroppervlak. De laag is ingericht als centrale verkeers- en ontmoetingsruimte en hier ligt ook de kantine. In de verdiepingen daarboven zijn de grote publieksruimten te vinden, terwijl de onderste vijf bouwlagen van de HMD zijn bestemd voor het conservatorium.

BETONDENKERS EN STAALMENSEN

Voor Hoogstad is de keuze van het constructiemateriaal méér dan een rekensom. Het feit dat hij voor staal koos om de HMD te laten contrasteren met De Doelen geeft dat ook aan. **"De keuze tussen beton en staal is een architectonische kwestie. Met beton maak je een stenen gebouw; een aardegebonden gebouw dat geborgenheid biedt. Staal is veel fragieler en is uitermate geschikt voor gebouwen met een natuurwetenschappelijke dimensie. Bij staal ervaar je nog het vuur waaruit het is gewalst,"** aldus Hoogstad.

In het verlengde van deze zienswijze is Hoogstad van mening dat in de gewenste uitstraling van een gebouw de keuze van het constructiemateriaal al min of meer besloten ligt: **"een gebouw dat beschutting moet uitstralen, maak je van beton, terwijl een bouwwerk dat een open sfeer moet ademen, het beste van staal kan worden gemaakt."**

Tenslotte wordt de keuze tussen beton of staal volgens Hoogstad ook bepaald door economische argumenten. Hij gelooft echter niet dat daarbij de prijs het doorslaggevende argument is. Bij veel projecten wordt de priemende vraag gesteld: kiezen we voor een uitvoering in staal of in beton. Dat deze vraag überhaupt aan de orde komt, duidt er volgens Hoogstad op dat de twee alternatieven in prijs nooit ver uit elkaar kunnen liggen. Volgens hem is het van doorslaggevende betekenis waar de expertise ligt van degene die het project moet uitvoeren. **"Is dat een betondenker dan wordt het in de praktijk veelal beton; zijn dat staalmensen dan komt er staal."**

HYBRIDE CONSTRUCTIE

Het bereiken van een contrast met De Doelen was voor Hoogstad een argument om voor staal te kiezen. Maar dat betekent niet dat praktische overwegingen geen rol hebben gespeeld.

Hoogstad legt bijvoorbeeld uit dat de constructiehoogte van de vloeren kon worden beperkt door de vloerliggers te splitsen in twee samengestelde delen die langs de kolommen lopen. Hierdoor was het mogelijk om binnen de maximaal toegestane hoogte van 40 m tien bouwlagen te maken. Ook de hoge bouwsnelheid en het beperken van eigen gewicht waren argumenten die pleitten voor staal.

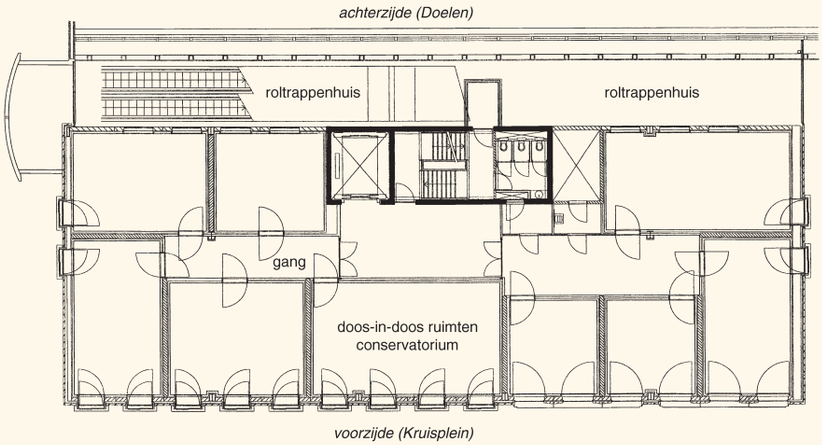
Een ander voorbeeld van de pragmatische aanpak is de oplossing voor de vloeren aan de achterzijde, waar de HMD vanaf de zesde verdieping 6,5 m uitkraagt boven De Doelen. Constructief is deze uitkraging per individuele bouwlaag opgelost met overstekende stalen liggers. De constructeur van Aronsohn gebruikte het overstek om het veldmoment in het overige deel van de ligger te beperken. Dat vanaf de zesde verdieping toch tamelijk zware liggers (IPE 500) nodig waren, was voor Hoogstad geen bezwaar. In het bovenste deel van het gebouw bevinden zich immers de publieksruimten, die sowieso een wat grotere hoogte hebben. In de onderste helft van het gebouw zijn de vloerliggers minder hoog, omdat daar geen overstek hoefde te worden gemaakt. Bovendien kon op deze verdiepingen – waar zich de kleinere ruimten van het conservatorium bevinden – zonder bezwaar een extra kolom als tussenondersteuning worden geplaatst.

Overigens is de draagconstructie niet uitsluitend van staal gemaakt: de kernen en de vloeren zijn van beton. Bij het plaatsen van de kernen lette Hoogstad erop dat de kolomstructuur van de HMD altijd zichtbaar bleef. Zijn motief daarvoor is van architectonische aard: **“Construeren is niet alleen maar dragen en overspannen. De constructie geeft ook het ritme in de ruimte aan. Wil je dat met veel nadruk doen dan gebruik je beton. Kies je voor fragiel, dan past daar staal bij.”** Hoogstad wijst erop dat hij niet de eerste is die kolommen vanwege hun muzische functie niet laat samenvallen met wanden en noemt als voorbeeld Le Corbusier. **“De kolom is een ruimtedeler en is niet voor niets zo belangrijk.”**

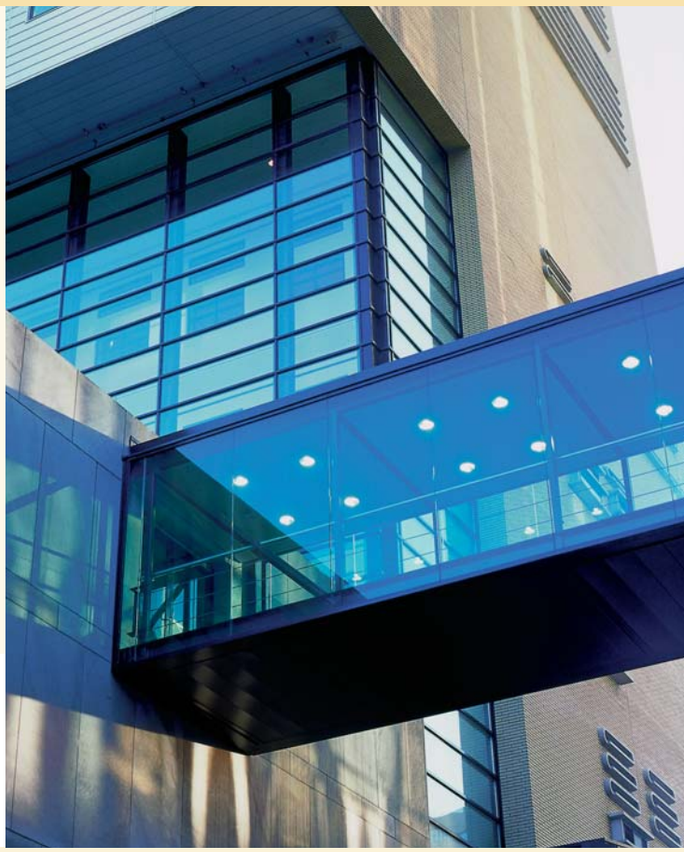
STAALKNOOP GEEN ORNAMENT

Hoogstad is er geen voorstander van om het constructieve detail door overdrijving tot ornament te maken, zoals een nadrukkelijk als scharnier vormgegeven scharnier. **“Ik denk dat het ornament een andere functie heeft. Het is de verfijning in de ontmoeting en het verpoost.”** Vanaf Adolf Loos (1870-1933) in de jaren twintig van de vorige eeuw was het ornament taboe. De leek had echter een grote behoefte aan ornamentiek, zo vertelt Hoogstad. Het ornament is de ‘small talk’ van de architectuur. Je praat erover, maar tegelijkertijd heeft het niets te betekenen. Het is een ‘one liner’, die als antwoord op het ‘horror vacui’ (afkeer van de leegte) van de leek voorziet in een behoefte. **“Ik denk niet dat we de staalknoop vanwege die behoefte tot ornament moeten verheffen.” vindt Hoogstad. “Ik heb de neiging om te minimaliseren. Dat geldt voor knopen, voor voetplaten, voor alle onderdelen. Ik wil er niets meer aan zien dan alleen een mooie kolom, wit of zwart, die op de goede plek staat. Ik zie zoveel extravagantie, zoveel zinloze uitspattingen, zich op de voorgrond dringende vormen als excuses voor onvermogen. Het gaat om de ruimtelijke werking, een subtiele emotie die al snel wordt overstemd door banaliteit. We kennen de dogma’s van het Modernisme, zoals bouwen aan een open samenleving, scheiding van functies (wonen, werken en recreëren) en het uitbannen van het ornament. (Hero’s als Le Corbusier en Gropius verkondigden dit overigens wel, maar brachten het zelf niet in praktijk.) Deze dogma’s zijn in hun tegendeel gekeerd: beslotenheid, geborgenheid en veiligheid zijn belangrijke thema’s, interactie en het mengen van functies ter verhoging van de levendigheid staan hoog op de architectuuragenda en het ornament heeft zich niet laten uitbannen en geniet een overvloedige opleving."**

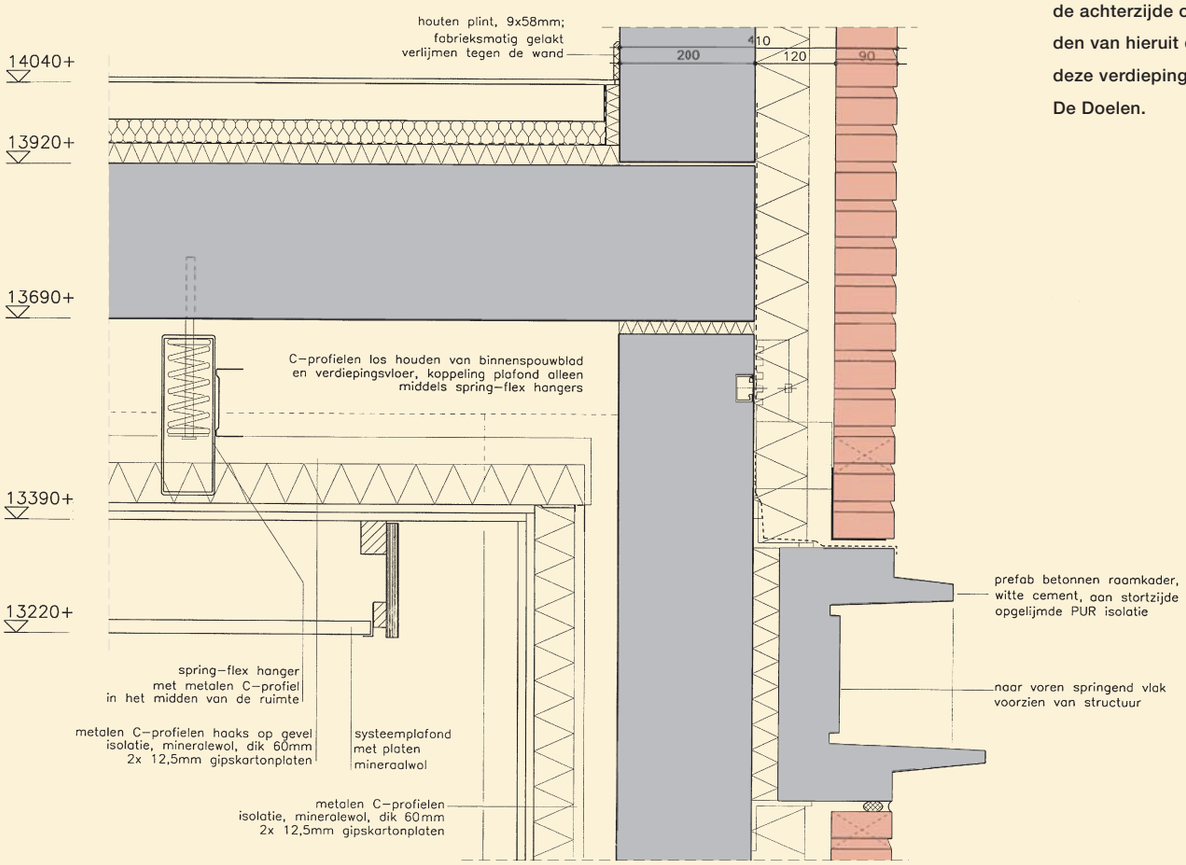
De gevel aan het Kruisplein heeft een gemetselde gevel van gele verblendsteen (Dudoksteen).



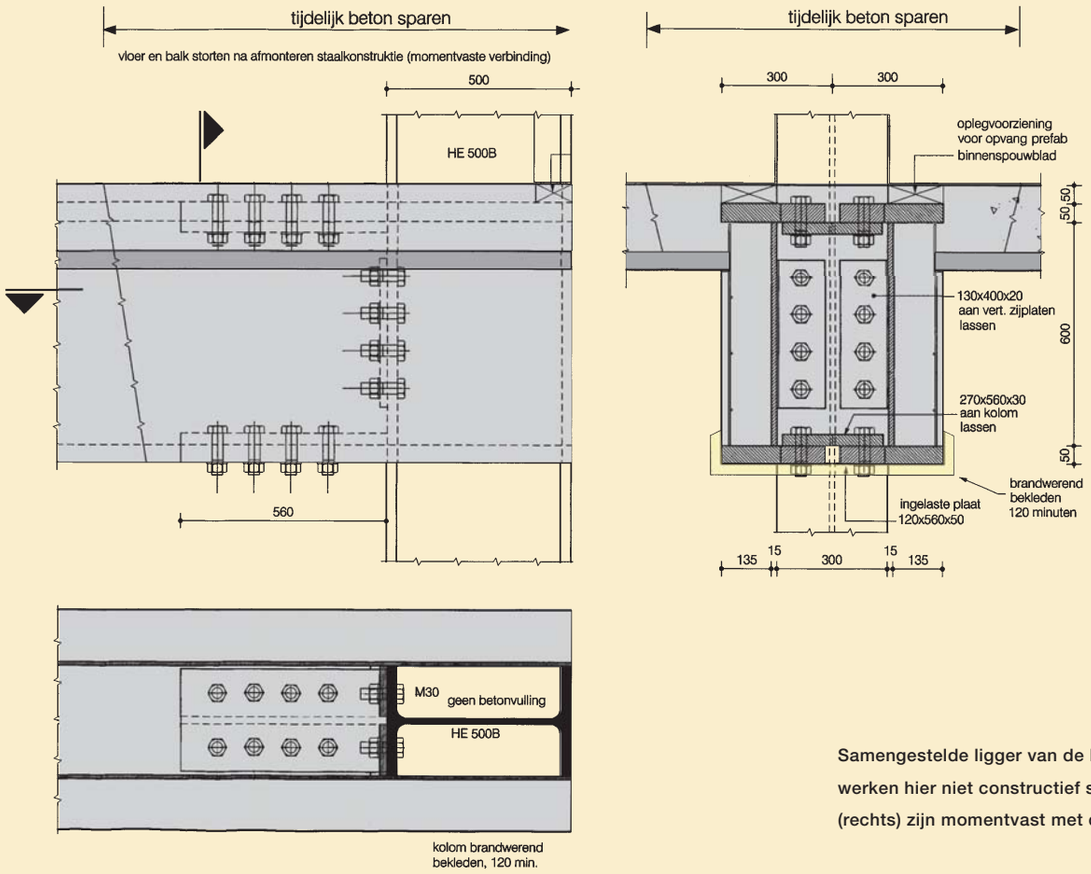
Plattegrond van de tweede verdieping.



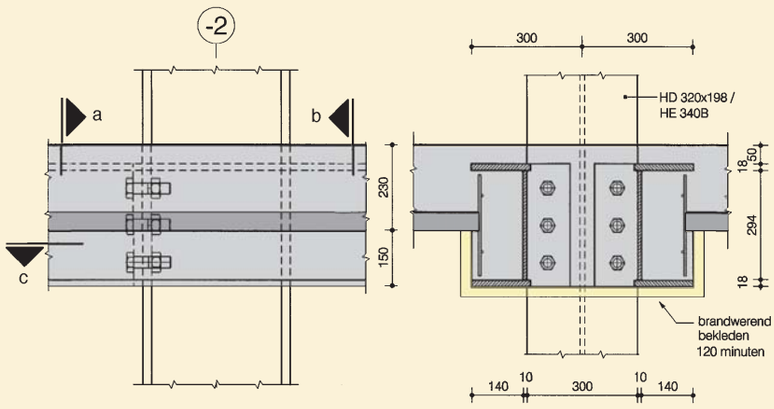
De ingang van het schoolgebouw ligt in een smalle strook tussen De Doelen onder de uitkraging aan de achterzijde op de begane grond. Roltrappen leiden van hieruit direct naar de 5e verdieping. Vanaf deze verdieping kraagt het nieuwe gebouw uit over De Doelen.



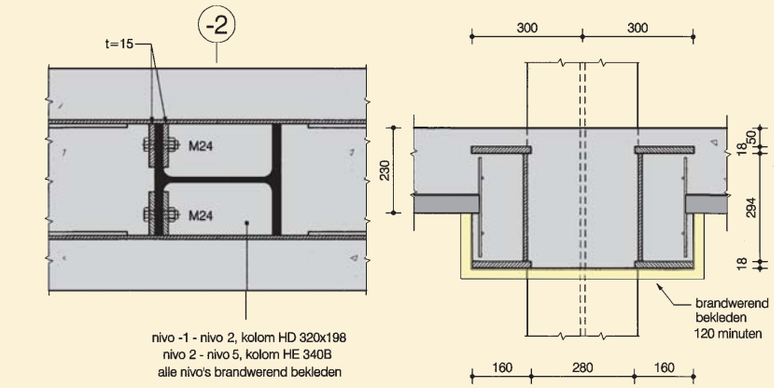
Het gemetselde buitenblad wordt opgevangen door metselwerkdragers die zijn bevestigd aan een binnenblad van beton.



Samengestelde ligger van de bovenbouw. Beton en staal werken hier niet constructief samen. De gevelstijlen (rechts) zijn momentvast met de liggers verbonden.

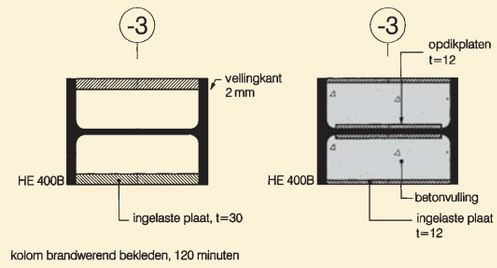


doorsnede a



doorsnede c

doorsnede b

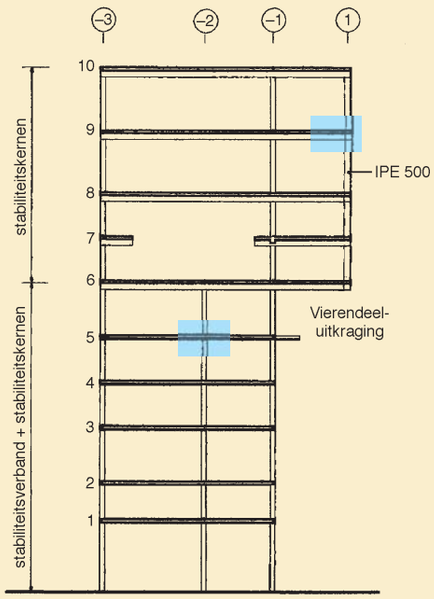


gevelkolom niveau 0-1

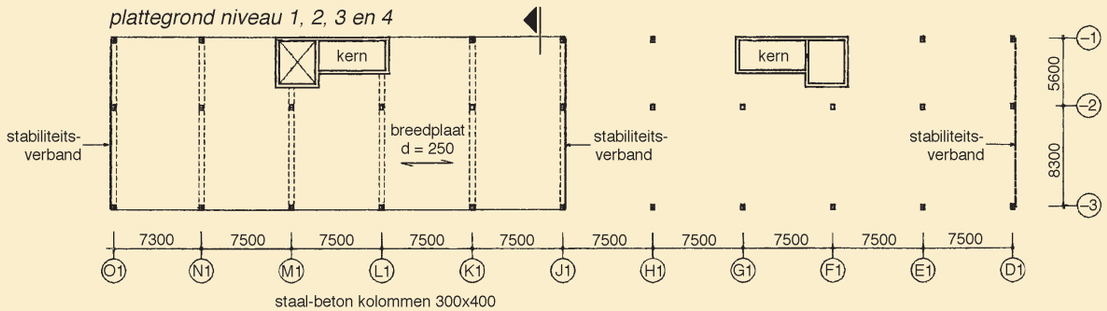
gevelkolom niveau 1-51

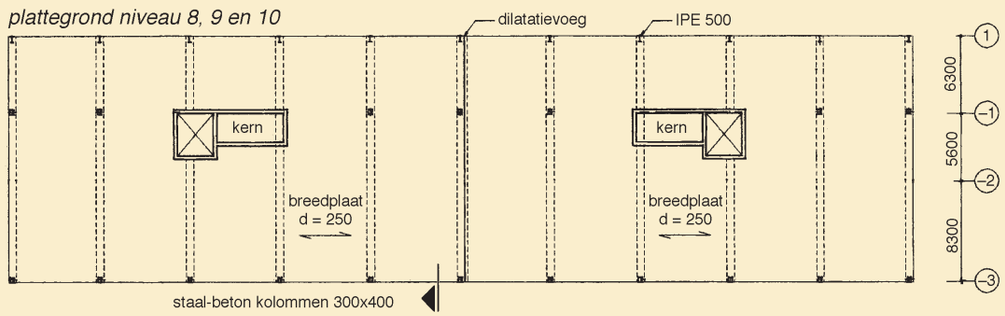
Horizontale principedoorsnede over de lange, vrijstaande gevelkolommen aan het Kruisplein.

Samengestelde liggers van de onderbouw. In deze doorgaande liggers werken staal en beton wel constructief samen als staal-beton ligger. Hierdoor blijft de constructiehoogte van de ligger beperkt.

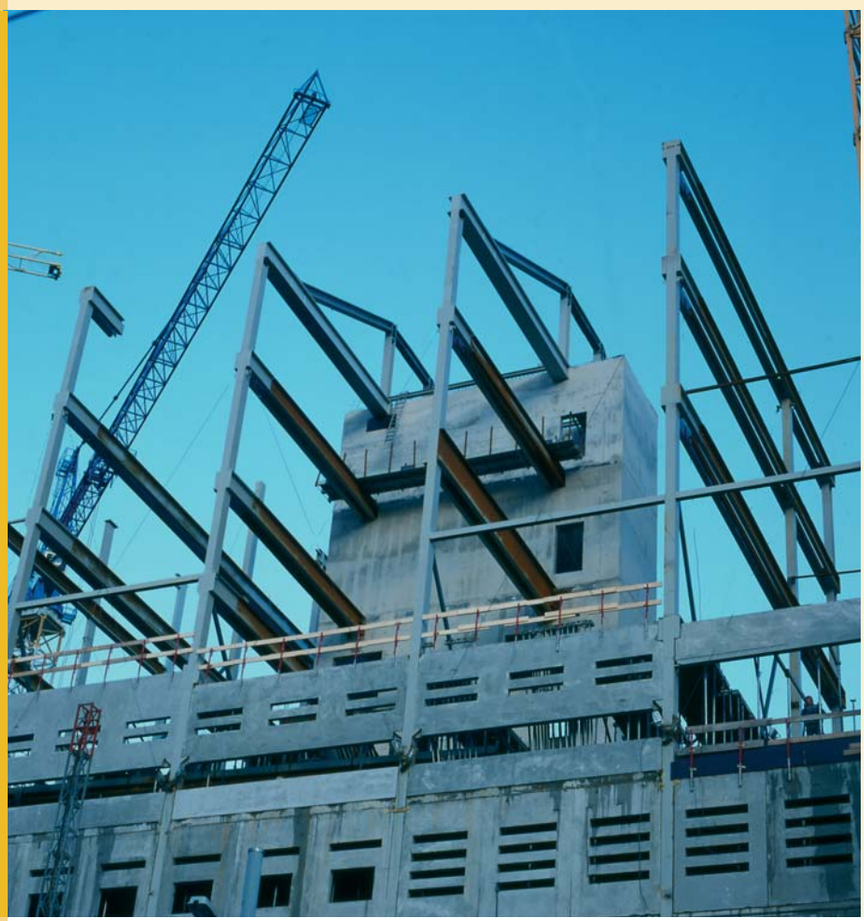


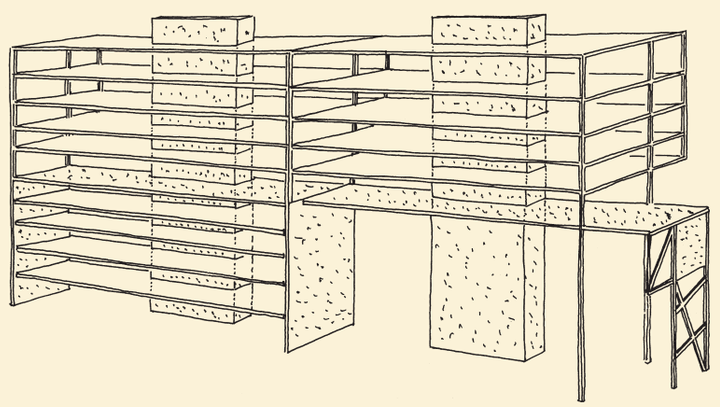
doorsnede





Plattegrond van de constructie in de onder- en de bovenbouw. Getekend zijn de vloeren zonder vides. In de dwarsdoorsnede is te zien dat de vloeren van de 6e verdieping tot en met het dak elk afzonderlijk uitkragen.





Twee betonnen kernen zorgen voor de stabiliteit. Een tafelconstructie steunt de twee kernen horizontaal. Deze tafelconstructie bestaat uit de vloer van de 5e verdieping, de twee kopgevels van de onderbouw en het vrijstaande, verticale vakwerk.

Monica Adams

“We gebruiken bewust de vrijheid die je met staal hebt om verschillen te maken in hoogte en overspanningsrichting.”

PROJECTGEGEVENS

Locatie Posthumalaan 90, Rotterdam (Kop van Zuid) • **Opdracht** InHolland Hogeschool, Rotterdam • **Architectuur** (EEA) Erick van Egeraat associated architects, Rotterdam • **Constructief ontwerp** ABT, Delft • **Uitvoering** Giesbers-Libo Bouw, Rotterdam • **Staalconstructie** Wijnker Van Lint Staalbouwers, Schagen • Zie ook: M. Lammers, W. Spangenberg en W.J. Houweling, ‘Leren en werken in stoer havengebouw’, Bouwen met Staal 154 (2000), p. 14-20.

InHolland Hogeschool, Rotterdam

Schoolvoorbeeld van snel en transparant bouwen

De InHolland Hogeschool op de Kop van Zuid in Rotterdam getuigt van een onconventionele benadering van de constructie. Waar anderen zich in het werken met staal laten verleiden tot het ontwerpen van een strak stramien, kiest (EEA) Erick van Egeraat associated architects juist voor de vrijheid die het materiaal biedt. Zo zijn de eigenschappen van staal dienstbaar gemaakt aan het nagestreefde doel, in plaats van dat ze onbedoeld en nodeloos als een keurslijf de mogelijkheden beperken.

Aan het begin van het ontwerptraject karakteriseerde de gemeente Rotterdam en de InHolland Hogeschool (voorheen Ichthus) de gewenste identiteit en uitstraling van de school verschillend. De gemeente hechtte er veel waarde aan dat de nieuwbouw zich zou voegen naar de signatuur van de negentiende-eeuwse havenarchitectuur: grote en massieve blokken in baksteen. Jos Elbers, directeur van de hogeschool, én het schoolbestuur hadden andere prioriteiten. Voor hen moest het schoolgebouw vooral openheid uitstralen en zo een reflectie zijn van hun transparante organisatie.

TRANSPARANT

Het lag enigszins voor de hand dat als winnaar van de prijsvraag het bureau werd aangewezen dat beide kwaliteiten in één plan verenigde. (EEA) Erick van Egeraat associated architects maakte een gebouw dat op een groter schaalniveau de haven als referentiekader heeft, terwijl het op een kleiner schaalniveau verankerd is in de directe omgeving. Het ontwerp bestaat uit twee langgerekte glazen volumes van negen bouwlagen bovengronds. Tussen deze hoofdvolumes bevindt zich een verbindend element dat in essentie uit loopbruggen bestaat. Zowel in het exterieur als in het interieur is kobaltblauw gezeefdrukt glas zo prominent aanwezig dat het de signatuur van het complex mede bepaalt.

Behalve transparant moest het schoolgebouw ook flexibel zijn. De opdrachtgever wilde op deze manier rekening houden met de snel veranderende onderwijsmethodieken, maar ook moest het mogelijk zijn een deel van het gebouw als afzonderlijke kantoorruimte te verhuren. Dat gold in het bijzonder voor de min of meer standaard leslokalen en de kamers in de verzelfstandigde administratiezone. De meeste van deze ruimten liggen op de bovenste zes bouwlagen, terwijl de ruimtelijk meer specifieke functies, zoals het auditorium en het restaurant, op de onderste drie bouwlagen een plek kregen.

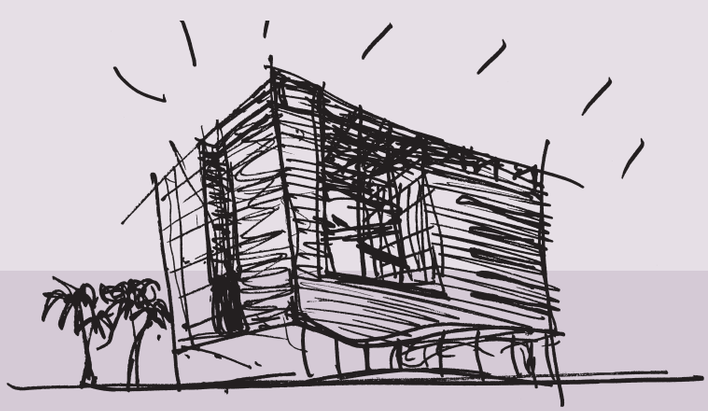
STAAL LOGISCHE KEUZE

Voor het constructieve ontwerp betekende de vereiste flexibiliteit dat naar grote vrije overspanningen moest worden gestreefd. Daarmee kwam een staalconstructie direct in beeld, zeker toen er ook nog hoge eisen werden gesteld aan de bouwsnelheid. Hoewel de geplande verhuisdatum net niet werd gehaald, is toch een indrukwekkende prestatie geleverd: het gebouw met een bruto-vloeroppervlak van 20.000 m^2 werd uiteindelijk in achtentwintig maanden opgetrokken. De keuze voor staal maakte het bovendien mogelijk om heel open te bouwen, waarmee recht is gedaan aan de gewenste transparantie.

De staalconstructie bestaat uit een combinatie van kolommen en geïntegreerde liggers met kanaalplaatvloeren. De stabiliteit wordt ontleend aan drie betonnen kernen, waarin de voorzieningen voor het verticale transport zijn ondergebracht. Een bijzondere positie heeft het reusachtige atrium dat grenst aan de zuidgevel en dat zich in de diepte uitstrekt tot even voorbij de middencorridor van het bijna 35 m diepe gebouw. Ter plekke van het atrium blijft de dakconstructie van geprofileerde staalplaten en zware dakliggers HEB 1000 in het zicht.

MAATWERK

Je zou verwachten dat een constructief ontwerp met deze ingrediënten leidt tot een strak kolomstramien. Architect Monica Adams van EEA legt uit dat het bureau hier nu juist niet voor heeft gekozen: **“We hebben in het ontwerp enerzijds de efficiency van een systeem willen brengen. Tegelijkertijd wilden we niet worden beperkt door de dwangmatigheid van zo’n systeem, aangezien we wisten dat er afwijkingen nodig zouden zijn, bijvoorbeeld in de parkeergarage. Daar konden we de kolomstructuur niet zomaar doorzetten.”** Hetzelfde gold voor enkele praktijklokalen in het noordelijke hoofdvolume en uiteraard voor het auditorium.



In de eerste ontwerpschets heeft het gebouw nog een open gat. Later is deze buitenruimte bij het gebouw getrokken en tot atrium gemaakt.

EEA vond voor dit probleem een pragmatische oplossing, die is ingegeven door het architectonisch stramien dat in de hoofdvorm van het gebouw ligt besloten. De kolommen konden namelijk probleemloos de contouren van de twee langgerekte hoofdvolumes volgen, omdat ze door geen van de individuele ruimten worden doorsneden.

In het binnengebied van de twee hoofdvolumes golden daarentegen de praktische beperkingen wel, wat betekenende dat het stramien van de gevelkolommen en de kolommen langs de middencorridor niet zonder meer ook in de binnengebieden kon worden voortgezet. Zo introduceerde EEA voor de lengterichting van het gebouw een strak stramien, terwijl in de diepterichting waar nodig en naar gelang de specifieke situatie een maatwerkoplossing is gecreëerd. Monica Adams zegt hierover: **“We gebruikten zo heel bewust de vrijheid die je met staal hebt, vrijheid om verschillen te maken in hoogte en overspanningsrichting.”**

Bijzonder is de zuidgevel, waarachter het gebouwhoge atrium schuil gaat. In de huid wilde EEA vanwege van de transparantie zo weinig mogelijk massa hebben. Niettemin moest de gevel bestand zijn tegen de hoge winddruk die op deze havenlocatie optreedt. De oplossing is gevonden in het pal achter de gevel aanbrengen van brugconstructies, waarvan het vloervlak als een schijf de horizontale belasting opvangt. De bruggen werden overigens ook puur vanwege het gebruik gewenst. Ze bevinden zich op respectievelijk de vierde, de zesde en de achtste verdieping en bestaan uit een stalen raamwerk opgebouwd uit twee geïntegreerde liggers. In de verschillende vakken van het raamwerk ligt telkens een kanaalplaatvloer, die overspant in de richting haaks op de gevel. Aan de zijde van de klimaatgevel is het raamwerk gekoppeld aan de gevelkolommen, terwijl het aan de andere zijde hangt aan de zware dakliggers die het atrium in de lengterichting overspannen. EEA koos voor deze oplossing, omdat die, veel meer dan een ondersteuningsconstructie met kolommen, beantwoordt aan het beeld van een brug. Bovendien betekende een oplossing met trekstangen dat er tussen de klimaatgevel en het atrium een maximale openheid kon blijven bestaan.

Overigens is, zonder dat je daar iets van ziet, in de brugconstructies tevens de klimaat- en sprinklerinstallatie verwerkt. Deze integratie van constructie en techniek is ook elders in het gebouw toegepast.

ONZICHTBAAR DIMENSIONEREN

Het construeren in staal was vanuit het programma een voor de hand liggende keuze en sloot bovendien aan bij het streven van EEA naar een slanke constructie, wat weer verband hield met de gewenste openheid. Ook de kolommen die op begane grond vrij in de gevellijn staan, moesten aan dit beeld beantwoorden. Het probleem was echter dat aan deze kolommen extra eisen werden gesteld vanwege de aanrijbe-veiliging. Ook moesten ze een voldoende brandwerendheid hebben. EEA koos, samen met meewerkend constructeur ABT, voor met beton gevulde dikwandige, rechthoeige buizen. Architect Paul Blonk van EEA legt uit dat deze benadering kenmerkend is voor het achitectenbureau. **“Het is een onzichtbare vorm van dimensioneren, waardoor veiligheidsissues kunnen worden opgelost, zonder dat je in beeldkwaliteit hoeft in te leveren.”**

De gehele staalconstructie moest een brandwerendheid tegen bezwijken hebben van 120 minuten. Op die eis mocht een reductie van 30 minuten worden toegepast vanwege de aantoonbaar geringe vuurbelasting. Omdat het gehele gebouw wordt gesprinklerd bleef er uiteindelijk een eis van 30 minuten over. Hieraan is voldaan door de kolommen met beton te vullen en de plafonds en de geïntegreerde liggers brandwerend te bekleden. Monica Adams zegt hierover: **“Op plaatsen waar de constructie niet in het zicht komt, kozen we voor bekleden, omdat die oplossing het minst onderhoudsgevoelig is.”**

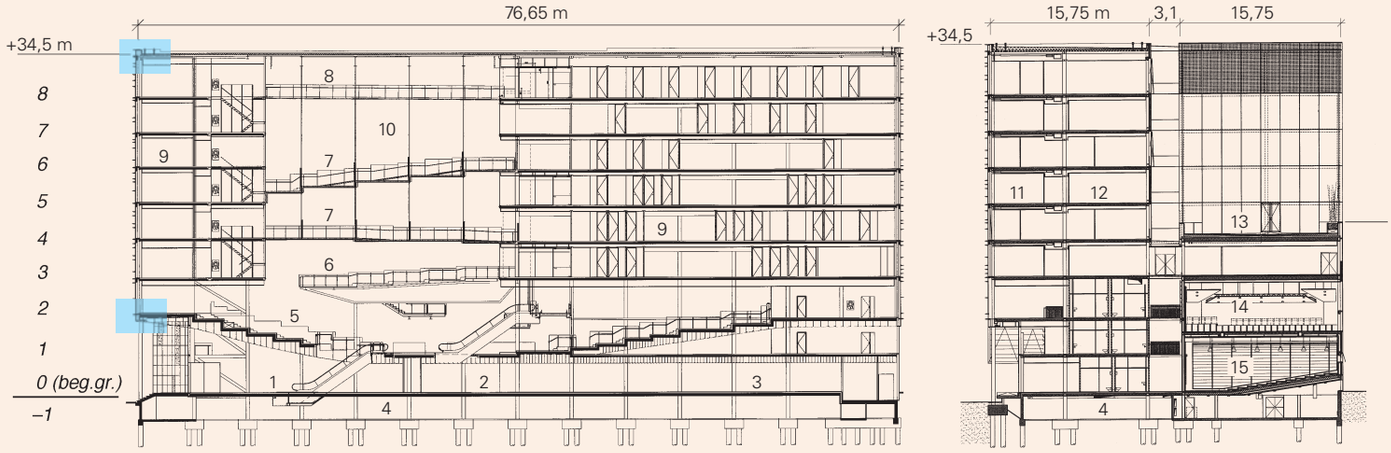
GEEN OPDRINGERIGE DETAILS

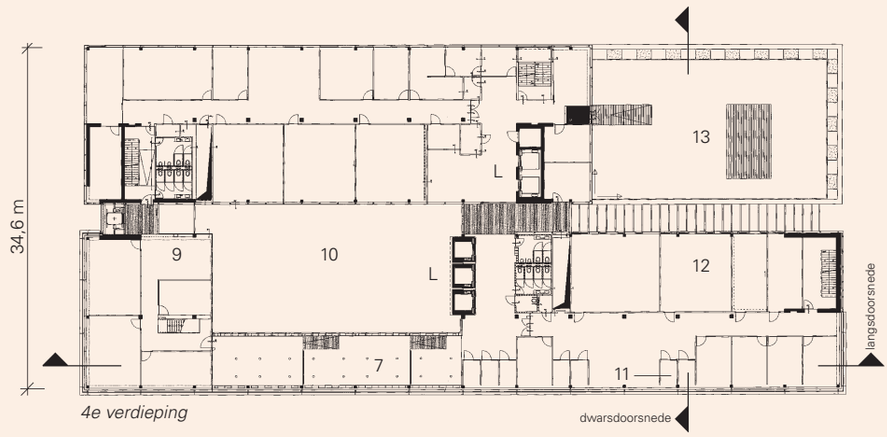
Op de vraag vanuit welke principes de staalconstructie is gedetailleerd, antwoordt Paul Blonk: **“Het gaat ons er niet zozeer om hoe je het maakt, maar hoe je het ervaart. Het principe is niet zo belangrijk zolang je maar bereikt wat je wilt bereiken. We hebben niet gedetailleerd vanuit de bedoeling te komen tot een dogmatische eenduidigheid, maar vanuit het streven om tot maatwerkoplossingen te komen die op een bescheiden manier onderdeel zijn van een complex groot geheel.”** Paul Blonk vervolgt: **“Geen van de details mocht opdringerig zijn, omdat je ze steeds als samenspel moet kunnen ervaren.”**

Voor EEA was een belangrijk doel het bereiken van een aangenaam en gelaagd beeld. Dit ervaart de bezoeker nadrukkelijk in de warme, omsluitende binnenwereld, zoals Monica Adams de rijkdom van het atriuminterieur typeert. Vanuit deze ruimte heb je zicht op de Rijnhaven, maar zie je door de glazen binnenwanden ook dat op allerlei niveaus mensen actief zijn als kleine onderdelen van een groot raderwerk. Het is een beeld dat associaties oproept met Charlie Chaplin’s filmklassieker *Modern Times* uit 1936.

De combinatie van transparantie en gelaagdheid domineert ook de indruk van buitenaf. Vooral wanneer de lichten binnen aan zijn, kijk je door de glazen gevel en ontwaar je een wonderlijke complexiteit, die is opgebouwd uit heel eenvoudige elementen. Je ervaart de grote dieptewerking van een perspectivische ruimte, waarin een roltrap ineens niet meer plomp en banaal is, maar als coulisse en onversierd ornament juist de totale indruk verrijkt.

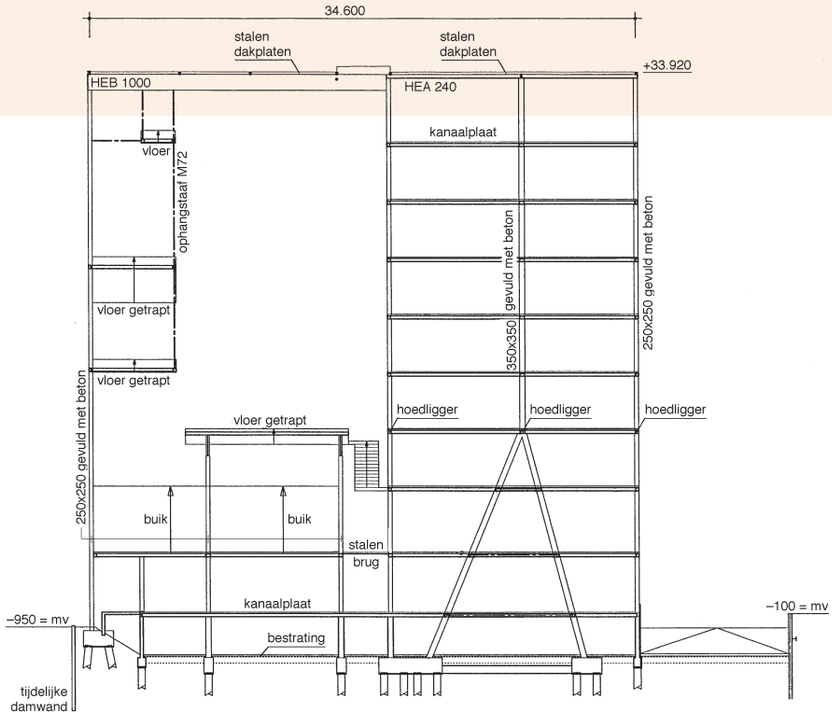
In het gebouwhoge atrium lopen voor de glazen zuidgevel drie loopbruggen. De bruggen vervullen niet alleen een constructieve functie (het opnemen van de windbelasting op de gevel), ze bieden ook plaats aan extra studieruimte.



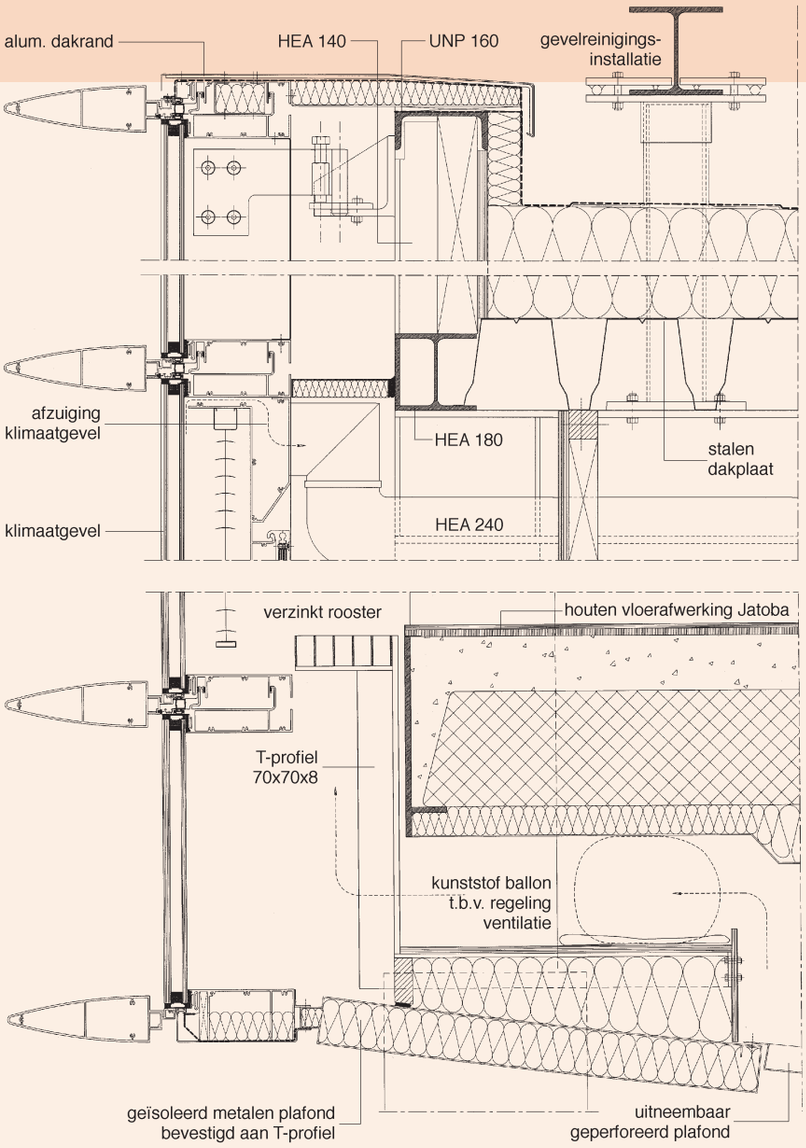


Langs- en dwarsdoorsnede en plattegrond van de vierde verdieping. In het atrium lopen drie bruggen die aan de dakconstructie hangen.

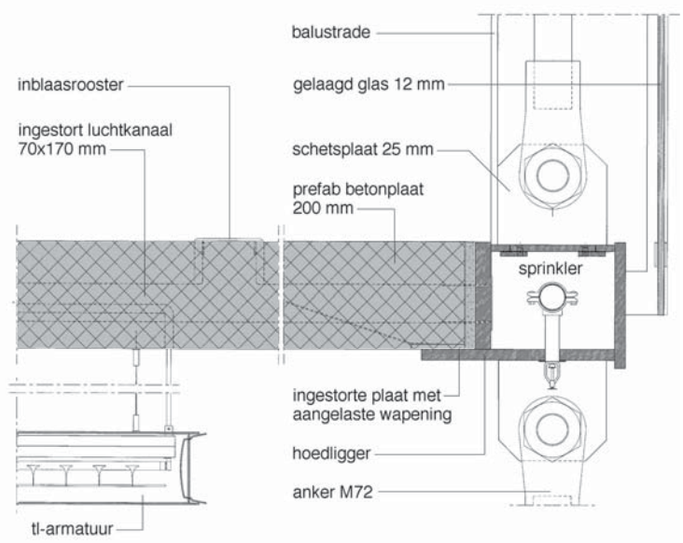
1 entreehal
2 boekwinkel
3 copyshop
4 parkeergarage
5 getrapte vloer restaurant
6 studielandschap
7 hangend studielandschap
8 loopbrug
9 kantoren
10 atrium
11 flexibele werkplek
12 klaslokaal
13 dakterras
14 auditorium
15 hoorcollegezaal
L lift



Constructieve dwarsdoorsnede. Eén rij kolommen van het kantoorgedeelte zou precies uitkomen in de rijbaan van de parkeergarage. Dit probleem is opgelost met een v-vormige constructie over vier bouwlagen.



Verticale doorsnede over de klimaatgevel van de westgevel.



Verticale doorsnede over de vloer van de loopbrug, met rechts de ophanging aan de dakconstructie. In de ruimte in de geïntegreerde ligger is de sprinklerleiding weggewerkt, die via een bovenluik bereikbaar blijft. De holle ruimte doet tevens dienst als luchtkanaal.

Branka Vuksanovic-Puric

“Voor de bouwtijd stond een periode van slechts zestien maanden. Bovendien kon ik met staal de flexibiliteit optimaal handhaven.”

PROJECTGEGEVENS

Locatie Flightforum (Cluster 3) 1000-1800, Eindhoven • **Opdracht** Bouwers Met Visie Projectontwikkeling (BMV), Veldhoven en ING Vastgoed • **Architectuur** Van Aken Architektuur & Stedebouw, Eindhoven • **Constructief ontwerp** Arcadis Bouw/Infra, Eindhoven • **Uitvoering** Bouwers met Visie Bouwbedrijf, Veldhoven • **Staalconstructie** Moeskops Constructiebedrijf, Bergeyk.

Bedrijfsgebouw Silverforum, Eindhoven

Flexibel bouwen voor onbekende gebruikers

Het is lastig een gebouw te ontwerpen wanneer de gebruiker nog niet bekend is. Vandaar dat Silverforum bovenal een groot volume moest worden, waarin nog van alles mogelijk was. Van Aken Architektuur heeft dit concept consequent uitgewerkt. Dat de draagconstructie van staal zou worden, was geen punt van discussie. De uitdaging lag er in om met staal een blijvend flexibel gebouw te creëren.

Onder de rook van Eindhoven Airport ligt het bedrijventerrein Flight Forum dat qua opzet afwijkt van het geëigende patroon. De bedrijven liggen niet verspreid over het gebied, maar zijn geclusterd in grote volumes. Dat had grote consequenties voor de landschappelijke omgeving, waarin de gebouwen als 'zwerfkeien' een plaats kregen. Om de volumes, aangeduid met clusters 1 tot en met 6, strekken zich grote aaneengesloten groengebieden uit. Ook voor het verkeer is een inventieve oplossing bedacht in de vorm van lussen met éénrichtingsverkeer. Hierdoor werden alle locaties zichtlocaties. Eén van de volumes, cluster 3, werd bestemd voor een combinatie van bedrijven en kantoren. Deze cluster zou in twee fasen worden gebouwd voor nog onbekende gebruikers.

SPRINKLER BENUTTEN

Voor projectarchitect Branka Vuksanovic-Duric van Van Aken Architektuur & Stedebouw stond het van meet af aan vast dat het programma moest worden vertaald in een algemene vorm die vrij kon worden ingedeeld. **"Ik heb gekozen voor een gebouw dat uit één volume bestaat, omdat we niet wisten wie de gebruiker zou zijn en waaraan die gebruiker behoefte zou hebben. We hebben alle opties open gehouden omdat er op dat moment nog helemaal niets viel in te delen"**, aldus Vuksanovic-Duric. Haar ontwerp gaat nadrukkelijk uit van de eindsituatie, ook al wordt de tweede fase pas later gebouwd. Daardoor staat er nu nog letterlijk een half bouwwerk.

Silverforum is opgezet als een ring die een middengebied omsluit. In de ring zitten alle functies die direct met de buitenwereld te maken hebben, zoals entrees, liften, loading docks, nutsvoorzieningen en natuurlijk de kantoren. Het middengebied daarentegen is bestemd voor industriële activiteiten en opslag. In deze opzet lag een eerste probleem besloten: hoe zorg je er voor dat bij brand ook de gebruikers in het middengebied veilig kunnen vluchten. Vuksanovic-Duric heeft een moment gedacht om in het middengebied trappenhuizen te bouwen zodat steeds binnen een afstand van 80 m het dak kon worden bereikt. Van daaraf liep de vluchtroute dan via vrijdragende vluchtpaden en veiligheidstrappenhuizen naar de ring van het gebouw. De Eindhovense brandweer stond echter sceptisch tegenover de 'bedrijfszekerheid' van deze oplossing en de opdrachtgever zag al die trappenhuizen in het vrij indeelbare middengebied niet echt zitten. Daarom is besloten om Silverforum te gaan sprinkleren. **"Dat was budgetneutraal, de beoogde flexibiliteit bleef gewaarborgd en de oplossing werd bovendien breed als courant geaccepteerd"**, licht de projectarchitect toe.

FLEXIBILITEIT DICTEERT CONSTRUCTIE

Met de keuze voor een sprinklerinstallatie werd het nog aantrekkelijker de constructie van zowel de ring als van het middengebied in staal uit te voeren, omdat deze nu niet brandwerend hoefde te worden bekleed. Maar Vuksanovic-Duric had al in een eerder stadium voor staal besloten: **"Ik dacht al meteen aan staal. Voor de bouwtijd stond een periode van slechts zestien maanden en bovendien kon ik met staal de flexibiliteit optimaal handhaven. Zo konden we in het middengebied werken met een vrije overspanning in twee richtingen van 16,0 m, terwijl de constructie verhoudingsgewijs licht bleef. Dat had weer een gunstig effect op de vrije hoogte, die nu 8,8 m bedraagt."** Behalve deze zakelijke argumenten is de keuze voor staal ook ingegeven vanuit de gewenste uitstraling van Silverforum, namelijk die van **"industriële bedrijvigheid, snelheid en van iets lichts, de associatie met een vliegtuigromp."**

In de constructieve uitwerking zijn de ring en het middengebied van elkaar losgekoppeld. Vuksanovic-Duric: **"Het middengebied en de ring zijn eigenlijk twee losse gebouwen met elk een verschillende constructie. Daarbij is de ring gefundeerd op palen, terwijl het middengebied op poeren rust. Mede om problemen door verschillen in zetting te voorkomen zijn beide gebouwdelen gedilateerd."**

De ring is ontworpen op een stramien van 5,4 m, omdat dat een praktische maat is bij de indeling van kantoren. Op dit stramien staan stalen kolommen waaraan IPE-liggers zijn gebout en daarop liggen kanaalplaatvloeren: een keuze die gemotiveerd wordt met de steekwoorden 'goed' en 'goedkoop'. De ringzone ontleent zijn stabiliteit aan prefab betonnen kernen met ruimte voor de trappenhuizen en de liften. De kernen staan op een onderlinge afstand van 32,4 m.

Ook in het middengebied staan stalen kolommen, maar dan op een raster van 16,0 m. Aan de kolommen zijn stalen (dak)liggers gemonteerd, die in twee richtingen en in hetzelfde vlak overspannen. De secundaire liggers zijn raatliggers, waardoor

de installatievoorzieningen en de sprinklerinstallatie in het vlak van de constructie konden worden aangebracht, zodat de vrije hoogte intact bleef. Vanwege het gewenste flexibele gebruik zitten er in het middengebied geen windverbanden. Hier wordt de stabiliteit ontleend aan portalen.

UITKRAGENDE GEVELS

Wellicht het meest opvallende aan Silverforum is de sculpturale gevel. Aan de opbouw van de huid is het stramien af te lezen van waaruit de ring is opgezet. De gekromde grondvorm met verschillende stralen is verdeeld in segmenten van 5,4 m. Deze vorm is zo uitgekiend dat er slechts zeven passtroken nodig waren, die overigens slechts enkele centimeters langer of korter zijn dan de standaard. Dat gebeurt op de plekken waar cirkelsegmenten met een verschillende straal elkaar ontmoeten.

Niet alleen in de plattegrond heeft de gevel een gecompliceerde vorm, ook in de doorsnede volgt Siverforum een eigenzinnige weg. Vanwege de sculpturale uitstraling is de gevel op vlucht gebouwd: hij helt 15° naar voren. Ter plekke van de 'dakrand' kromt de hellende gevel in een cirkelbaan terug tot horizontaal.

Doordat de gevel naar voren helt kraagt de kanaalplaatvloer maximaal 3,6 m uit ten opzichte van het staalskelet. Omdat de overkragende vloer in verticale richting 'beweegt', mocht er geen constructieve verbinding tussen de vloer en de stalen gevelconstructie worden gemaakt. **"Dat had onherroepelijk tot problemen geleid"**, aldus Vuksanovic-Duric. Vandaar dat de verticale geveldragers als pendelstaaf met koppelprofielen aan het staalskelet zijn gebout.

De dichte delen van de gevel bestaan aan de binnenzijde uit een binnendoos die ter plekke van de kantoren standaard met gipskartonplaten is afgewerkt. Op alle andere plaatsen is de binnendoos bewust niet afgewerkt. De gevel is geïsoleerd met minerale wol en is aan de buitenzijde afgewerkt met een aluminium gevelbeplating. Vuksanovic-Duric vertelt dat zij liever voor een aluminium sandwichpaneel met pur-vulling had gekozen, maar dat dit op bezwaren stuitte in verband met de brandwerendheid. Vanwege de kostbare inboedel van de grootste gebruiker (die toen inmiddels bekend was!) eiste diens verzekeraar (en dus niet de brandweer) voor de buitengevel een weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag (wbdbo) van vier uur. Die zware eis kon met een pur-vulling niet worden bereikt, waardoor het team op de oplossing met minerale wol was aangewezen.

GEVELBELIJNING ALS THEMA

Een belangrijk thema in de gevelarchitectuur is de strakke horizontale belijning, waarbij de hoogte van de gevelopeningen telkens precies gelijk is aan of een veelvoud bedraagt van de hoogte van de aluminium beplating. Wat niet te zien is, is dat deze beplating op zijn beurt weer is afgestemd op een gevelelement dat kant-en-klaar moest worden gekocht: de vouwbare aluminium overheaddeuren. Vuksanovic-Duric zocht een overheaddeur die paste bij haar ontwerp en die bovendien in de naar voren hellende gevel zou blijven functioneren. **"Dat is overigens ook getest"**, weet de projectarchitect. Deze deur is gesegmenteerd in lamellen van 610 mm hoog en op die maat is vervolgens de gehele gevelindeling in de hoogte gebaseerd. In de breedterichting zijn alle maten daarentegen afgestemd op het stramien van 5,4 m. De aluminium beplating overspant deze afstand in één keer, terwijl de kozijnelementen zijn afgesteund op horizontale stalen kokerprofielen die tussen de geveldragers lopen. De kozijnen rusten feitelijk op hoeklijnen, die vooraf aan de kokerprofielen zijn gelast.

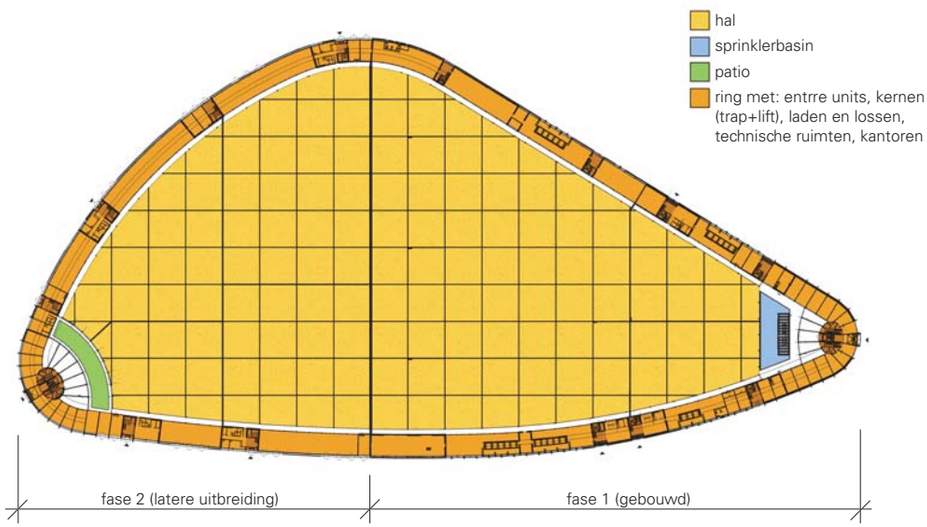
EENHEID IN DETAILLERING

In de detaillering van het bovenste, gekromde gevelvlak heeft Vuksanovic-Duric niet met verholen gootjes willen werken: **"Naar onze mening waren verholen gootjes niet nodig. Het geveldeel is gekromd en het leek onaannemelijk dat tijdens een flinke regenbui veel water tussen de naden van de aluminium beplating doordringt. Omdat de bekleding niet waterdicht is, stelden we voor om op de isolatie van minerale wol een waterdichte folie aan te brengen. Het water dat deze folie bereikt, wordt geleid naar een lekdorpel van aliminium. Deze bevindt zich pal boven de hoogst geplaatste kozijnen precies op de plek waar het in segmenten gebogen geveldeel overgaat in het rechte geveldeel. Ik vond deze inconsequentie minder erg dan de vervuiling met strepen die zeker zou gaan optreden."**

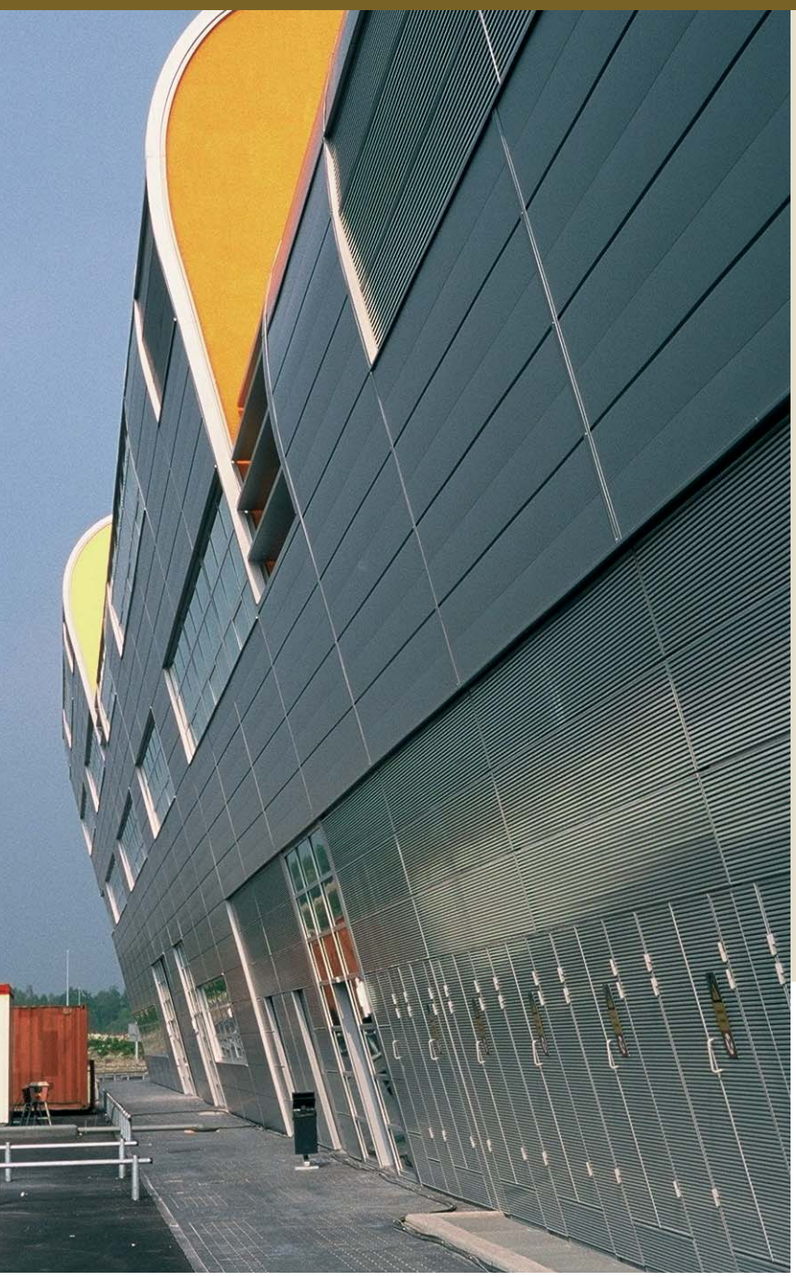
Dat het gebouw de eenheid uitstraalt die Vuksanovic-Duric van meet af aan voor ogen stond, is volgens haar te danken aan het feit dat zij zich **"tot het allerlaatste detail heeft gehouden aan zelf opgelegde spelregels."** Het gebouw moest een totaal zijn en het diende dus ook als zodanig te worden gedetailleerd.

Een belangrijk thema in de architectuur is de strakke belijning van de gevel, waarbij de hoogte van de gevelopeningen telkens precies gelijk is aan of een veelvoud bedraagt van de hoogte van de aluminium beplating.

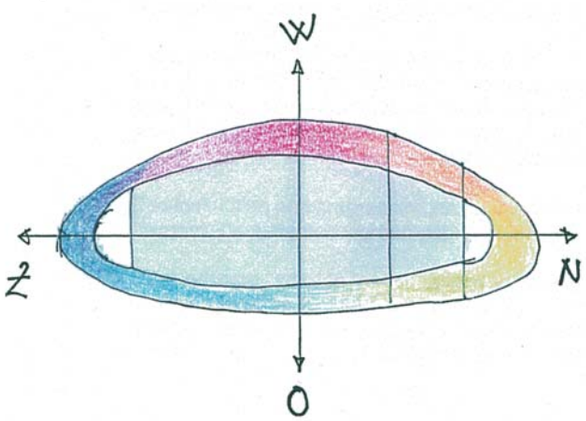
Silverforum is opgezet als een ring die een middengebied omsluit. Dit middengebied is bestemd voor industriële activiteiten en opslag. In de ring zitten onder meer de entrees, liften, loading docks, nutsvoorzieningen en de kantoren.

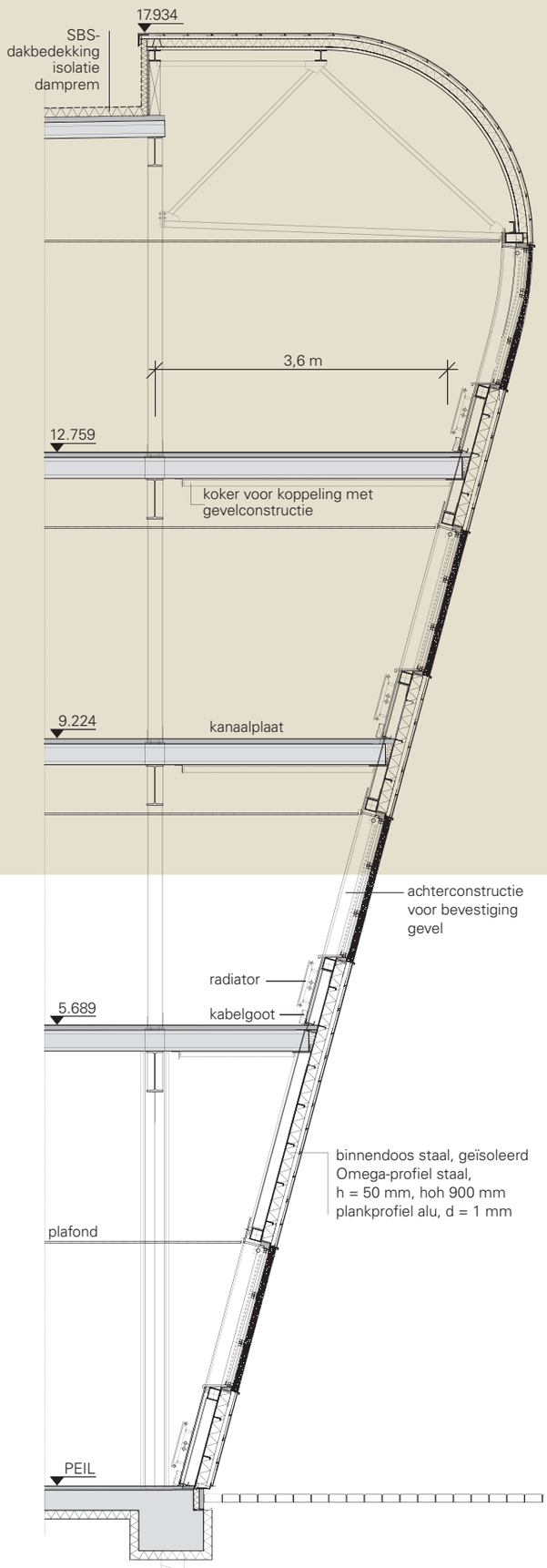


Het complex is bestemd voor een combinatie van bedrijven en kantoren en gebouwd in twee fasen voor nog onbekende gebruikers. Het ontwerp gaat nadrukkelijk uit van de eindsituatie. Daardoor staat er nu nog letterlijk een half bouwwerk.

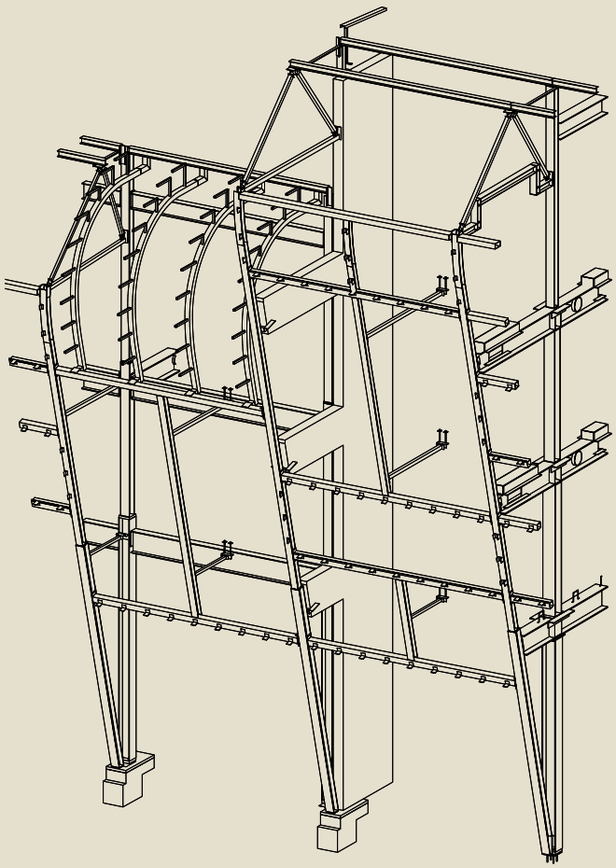


Opvallend aan Silverforum is de sculpturale gevel. De gekromde vorm is zo uitgekiend dat er slechts zeven passtroken nodig waren, die slechts enkele centimeters langer of korter zijn dan de standaard. Dat gebeurt op de plekken waar cirkelsegmenten met een verschillende straal elkaar ontmoeten. Het kleurgebruik is gekoppeld aan de oriëntatie van de ruimte in het gebouw.



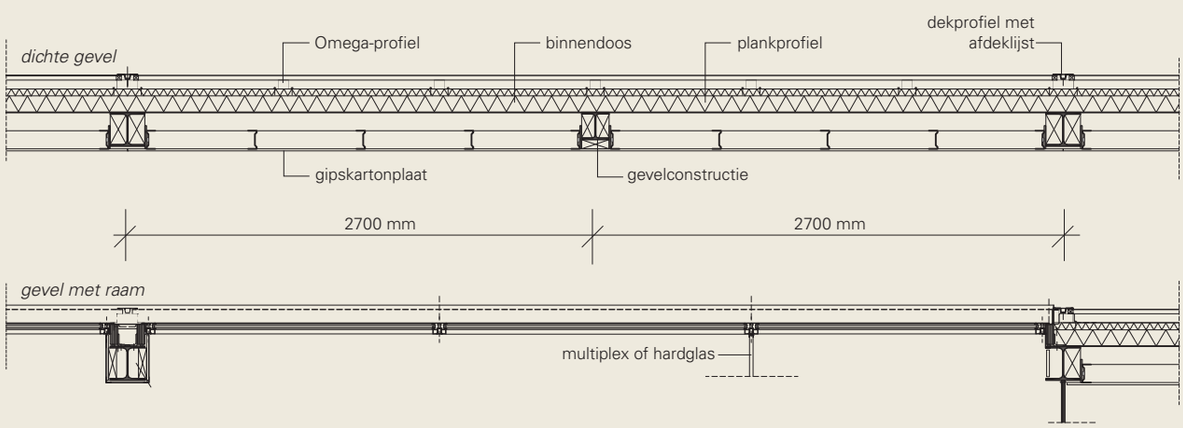


Verticale doorsnede over het kantoorgedeelte met vier bouwlagen. Vanwege de sculpturale uitstraling is de gevel op vlucht gebouwd: hij helt 15˚ naar voren. Ter plekke van de 'dakrand' kromt de hellende gevel in een cirkelbaan terug tot horizontaal.



De dichte delen van de gevel bestaan aan de binnenzijde uit een binnendoos die ter plekke van de kantoren standaard met gipskartonplaten is afgewerkt. De gevel is geïsoleerd met minerale wol en is aan de buitenzijde afgewerkt met een aluminium gevelbeplating.

Horizontale doorsnede over de gevel: (boven) dichte gevel en (onder) met raamstrook.



ILLUSTRATIEVERANTWOORDING

Alle niet-vermelde illustraties komen uit het archief van Bouwen met Staal of zijn geleverd door de betrokken partijen (meestal architectenbureau en/of ingenieursbureau).
Gebruikte afkortingen: B = boven; L = links; O = onder; R = rechts. Vermeldingen met een punt tussen de cijfers duiden op het nummer van de afbeelding; de andere vermeldingen duiden op het paginanummer.
Dit overzicht is met veel zorg samengesteld, waarbij zoveel mogelijk is getracht de namen van de rechthebbenden te achterhalen. Zij die menen rechten te doen kunnen gelden, worden vriendelijk verzocht contact op te nemen met de uitgever.

ABT 4.10; 174-L
Aeroview 3.14
Albus Grand Hotel p. 184
R. Aldershoff 1.10; 2.1-L; 3.3; 7.9
Arcelor/J. Défossez 6.9-L; 6.11; 6.12; 6.13; 6.14; 6.15
Archipelontwerpers 8.2
AVEQ 4.6; 6.10; 6.25; 8.4-R; p. 52
W. Beishuizen p. 176; 178; 180; 181
D. van Bergeijk 5.1
W. van Cappellen 2.5-L
M. Claus 1.9; p. 164
Corus IJmuiden p. 120b
Courtesy of the Trustees of the V&A 1.1
Creativ Collection 7.2; p. 110
J. Derwig p. 141; 144
H.H. van Doorn 3.10; B.21; p. 165; 166; 167
Dutch Engineering 2.1-R; 2.9; 2.13; 3.11; p. 18; 142; 145
C.H. van Eldik 6.26; p. 118; 175-R
G. Fessy cover; p. 152-O; 156; 157
Flying Colours B.4
Fotografische Dienst Bouwkunde, TU Delft 6.16
Gemeentearchief Amsterdam 1.2; p. 120a
Y. de Groot 1.11; 1.13; 4.1; p. 146; 149; 158; 160; 161; 162; 163-L; 200; 202; 203; 204; 205
T. van den Heuvel A.12
HGG Profiling B.19
Hobone 3.7; p. 129
L. Janus 8.6
M. van Kerckhoven 8.1
Kersten Wanssum B.8; B.15
F. Keuzenkamp 3.5; 3.6; 5.8; 5.10; 5.11; 5.12; 8.10; A.8; p. 120d; 188-B; 190
H. Kooijker A.5
L. Kramer 2.21-L; 5.18; p. 40; 120e; 152-B; 154-B
I. Lambot 4.7
V. van Leeuwen p. 159; 163-R
N. McGrath 1.3
Van Merkesteijn Staalcoating 7.3; p. 90
H. Moolenaar 1.5; 1.7; 1.8; 1.16; 2.30; 3.8; 3.15; 5.3; 5.15; 6.18; 6.23; 6.24; 6.27; 8.11; A.10; p. 4
H. Noback p. 154-O
Peddinghaus Nederland B.13
S. Peper p. 170-B
Philips p. 10
PPKS Architects/Ingenieursbureau Zonneveld 1.4
Prefab Limburg 2.17; p. 147; 150
E. Priester 3.17
J.L.M. Renckens 3.4
C. Richters 1.20; 3.2; 4.2; 5.21; 6.20; B.1; p. 62; 170-O; 171; 194; 197; 198; 199
R. van Rijthoven B.17
T. de Rooij 3.12; 3.13; 5.24; 6.19; 6.21; 8.3-R; p. 182; 186; 188-O; 191; 193
Scagliola/Brakkee 5.13; 5.14; p. 134; 135
N. Steenkamp 8.4-L
Sturm & Partners 3.16
G. Terberg p. 128; 131; 133
Valk Visuals 3.9
Verburg Hoogendijk Architecten 8.7
B. Vulkers Fotografie p. 140
J. Willebrand p. 76
H. Winter 1.6
Ingenieursbureau Zonneveld 1.17