

ir. K.J. Haarhuis

Kars Haarhuis is Structural Engineer bij ABT in Velp.



Schijfwerking uit glas

Het entreegebouw van de Apple Store in New York is een van de grootste gebouwen met een volledig glazen hoofddraagconstructie, ook voor de stabiliteit. Schijfwerking uit glas komt in Nederland slechts voor op geringe schaal. Bekend voorbeeld van enige omvang is het tijdelijk Glazen Paviljoen, een combinatie van (weinig) staal en glas, dat in het Arnhemse Park Sonsbeek ruimte bood aan een beeldtentoonstelling maar in 1986 werd afgebroken. Nu is een volgende stap gezet, door een volwaardige staalconstructie te voorzien van stabiliteit uit glasplaten. In mei is het Paviljoen De Boerderij opgeleverd, eveneens in het monumentale stadspark.

Paviljoen De Boerderij is een serre-achtige uitbreiding van en naast het monumentale pand van de gelijknamige brasserie. Het ontwerp refereert aan de traditionele open wagenschuur waar het tegenaan is gebouwd. De nieuwe serre heeft een stalen hoofddraagconstructie, zinken dakbedekking, veel glas en geen windverbanden. In het ontwerpproces, een hechte samenwerking tussen architect, constructeur en glasleverancier, is al vroeg besloten om gebruik te maken van de schijfwerking uit het glas om de portalen in langs- en dwarsrichting te steunen.

Positie glas-staal

Het glas zou in eerste instantie vlak tegen de kolommen worden bevestigd, zo werd aangenomen (afb. 4).

De architect wil echter vrijstaande kolommen. De oplossing is gevonden door in de voeg tussen de ruiten gebruik te maken van stalen strippen ($d = 8 \text{ mm}$), die aan een doorgaande strip en regel (kokers $100 \times 60 \times 5$) worden gelast (afb. 1). Met deze strippen worden de krachten vanuit het glas overgedragen op het staal. Aan weerszijden van de strip spreidt een dun, stijf rubber de belastingen. De strippen kragen $\pm 100 \text{ mm}$ uit over de ruithoeken. Op de gebouwhoeken is de strip onzichtbaar verwerkt (afb. 5). Omdat de portalen zonder glas instabiel zijn bij een scharnierende oplegging, zijn de kolommen licht ingeklemd bij de voet. Zo kan het staal in de uiterste grenstoestand belastingen afdragen, ook al zijn de vervormingen dan ruim drie keer groter. De inklemming wordt verzorgd door voetplaten van 220×220



Apple Store New York

De bijna 10 m hoge glazen kubus bij de General Motors Plaza aan Fifth Avenue in New York heeft een geheel zelfdragende constructie van kolommen en liggers. Zonder enige wezenlijke (staal)constructies wordt ook de stabiliteit verzorgd door de glaspanelen in de wanden. Het door Bohlin Cywinski Jackson ontworpen entreegebouw (2006) geeft toegang tot de ondergrondse Apple Store via een eveneens glazen wenteltrap. Het ingenieursbureau Eckersley O'Callahan uit Londen ontwierp 18 glasplaten die met enkele staalverbindingen zijn gekoppeld. In 2011 werd het entreegebouw herbouwd onder de naam Apple Store Mark 2, maar dan met slechts drie glaspanelen. Eckersley O'Callahan berekent inmiddels vrijwel alle glazen constructies van Apple Stores 'around the globe'. Zo ook de glazen trap van de Amsterdamse vestiging aan het Leidseplein, samen met Van Rossum uit Amsterdam.



mm^2 ($t = 15 \text{ mm}$). Op verzoek van de architect is gezocht naar mogelijkheden om de voetplaat aan het oog te onttrekken (afb. 2 en 7). Uiteindelijk is gekozen voor een voetplaat onder een afwerkvloer op drukvaste isolatie.

Principe 'glazen' schijfwerking

Glas als schijf gebruiken in een staalconstructie, is een gevoelige maar interessante combinatie van constructieve benodigdheden en technische uitvoerbaarheid. De oplossing ligt bij het paviljoen in reguliere stelblokken voor glas, maar dan van een materiaal met de juiste sterkte en hardheid. De blokken worden op de hoeken van de ruiten geplaatst. De ruit wordt als het ware opgesloten in de staalconstructie (afb. 4). Uitsluitend het binnenblad van het isolatieglas wordt gefixeerd met blokken. De temperatuurswisselingen in het binnenblad zijn immers relatief klein, waardoor thermische spanningen beperkt blijven. Bij horizontale belasting op het gebouw worden de krachten via de staalconstructie

gelijkmatig ingeleid in de glasrand. oor de ruit niet te verlijmen met de vulblokken worden uitsluitend drukdiagonalen in het glas geïntroduceerd. Voor glas is dit de meest gunstige situatie aangezien (in de praktijk) de druksterkte voor glas hoger ligt dan de treksterkte. De schijfwerkingscapaciteit van het glas wordt dus optimaal aangewend. De half-geharde ruiten zijn gelaagd uitgevoerd om de constructieve veiligheid te waarborgen. Mocht één laag glas breken, dan blijft altijd een tweede laag intact.

Rekenmodellen

Het constructieprincipe vraagt om een rekenmodel dat is afgestemd op het gedrag van het glas, staal en de stelblokken. Met niet-lineaire modellen kan het systeem realistisch worden benaderd. Het model is zo opgezet dat de vulblokken uitsluitend drukkrachten overdragen op het glas. (afb. 4) De drukdiagonalen in het glas kunnen oplopen tot $\pm 25 \text{ kN}$. Daardoor bestaat de kans dat de ruit wil knikken, of beter: plooiën. Om dit effect te

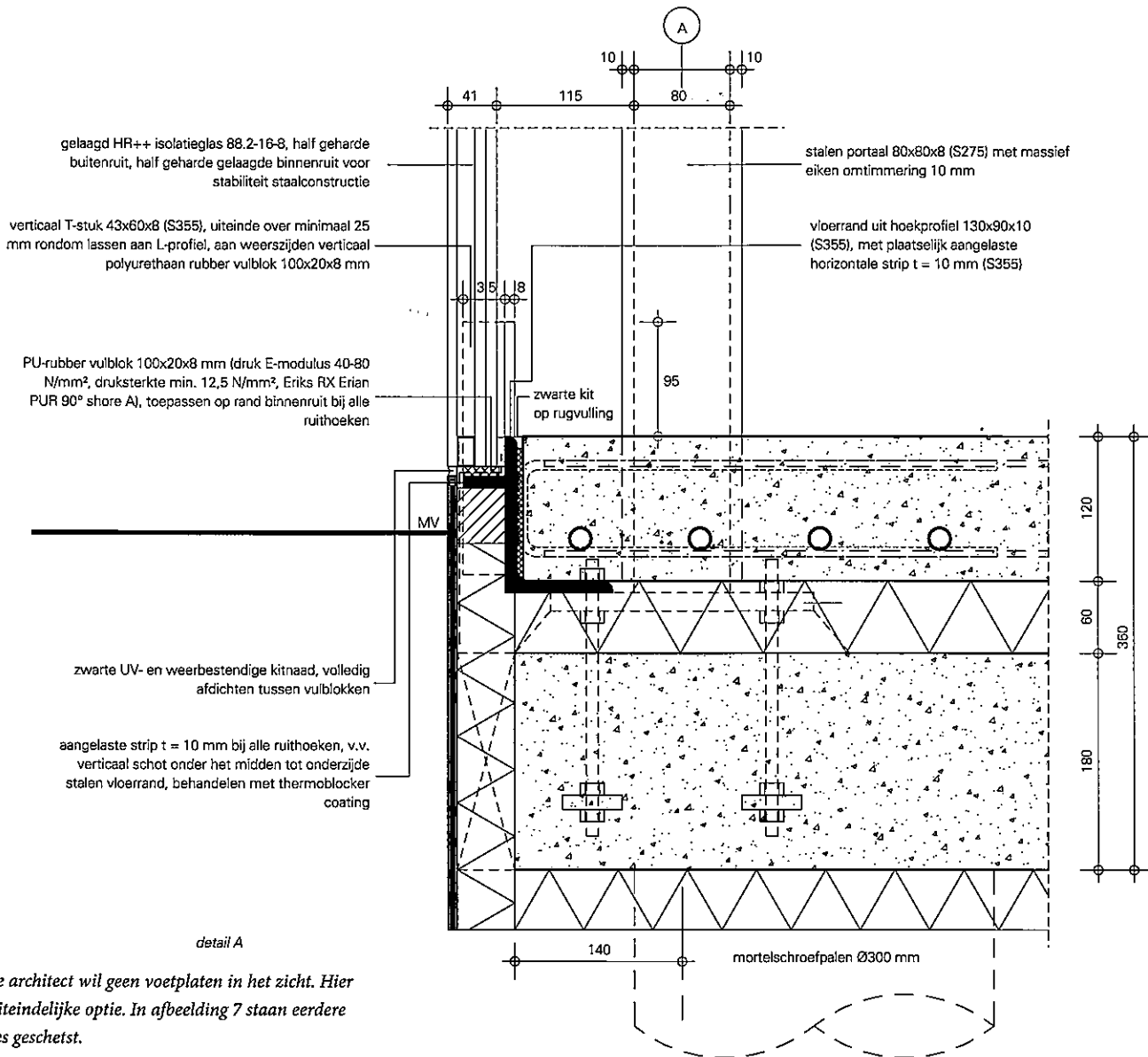
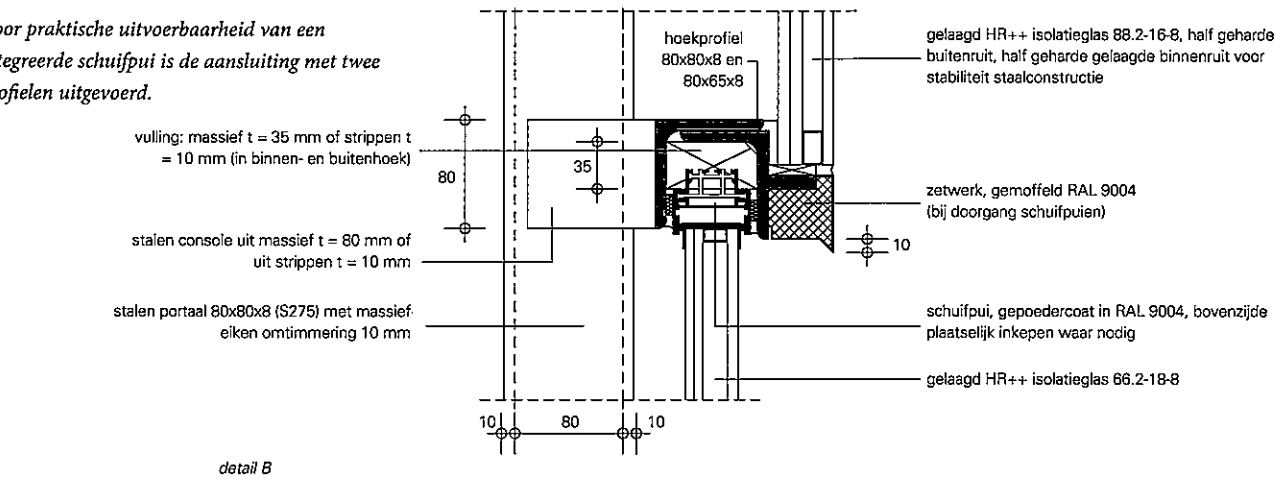
analyseren zijn afzonderlijke rekenmodellen opgezet.

Met eveneens een niet-lineaire berekening zijn imperfecties en knieeffecten meegenomen. Gebleken is dat de opbouw van drukdiagonalen in slechts enkele ruiten al voldoende is voor de stabiliteit en stijfheid van het totale gebouw.

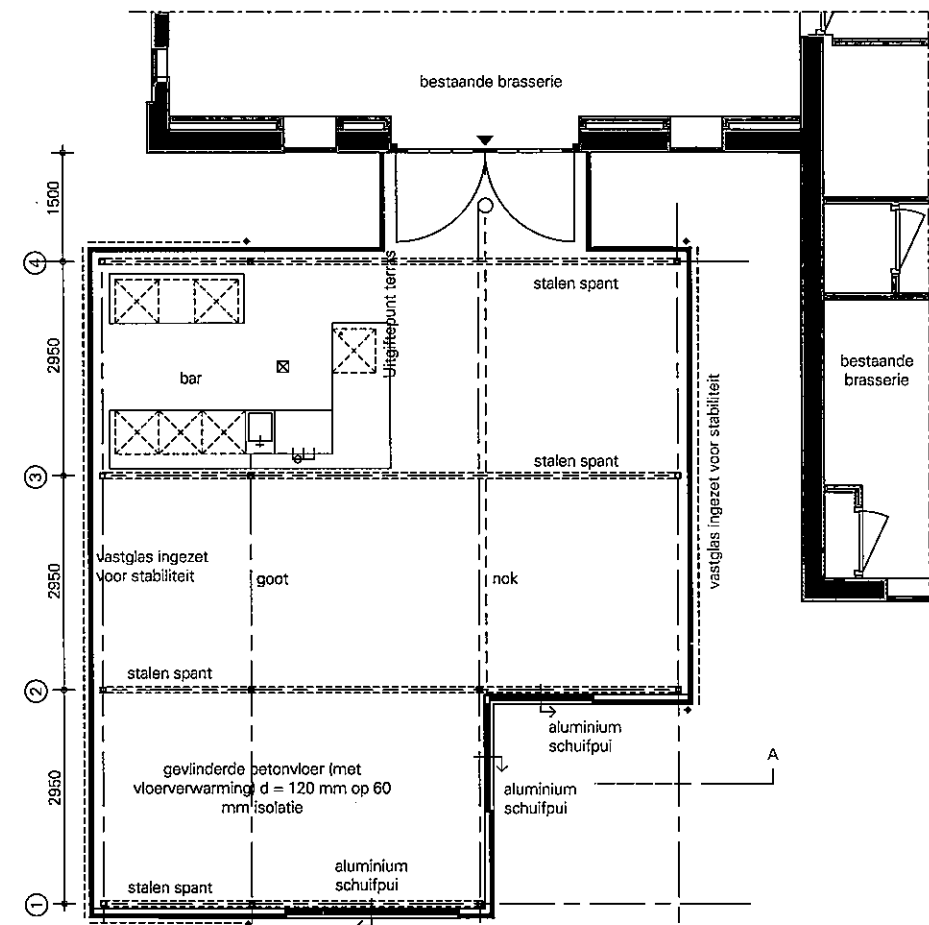
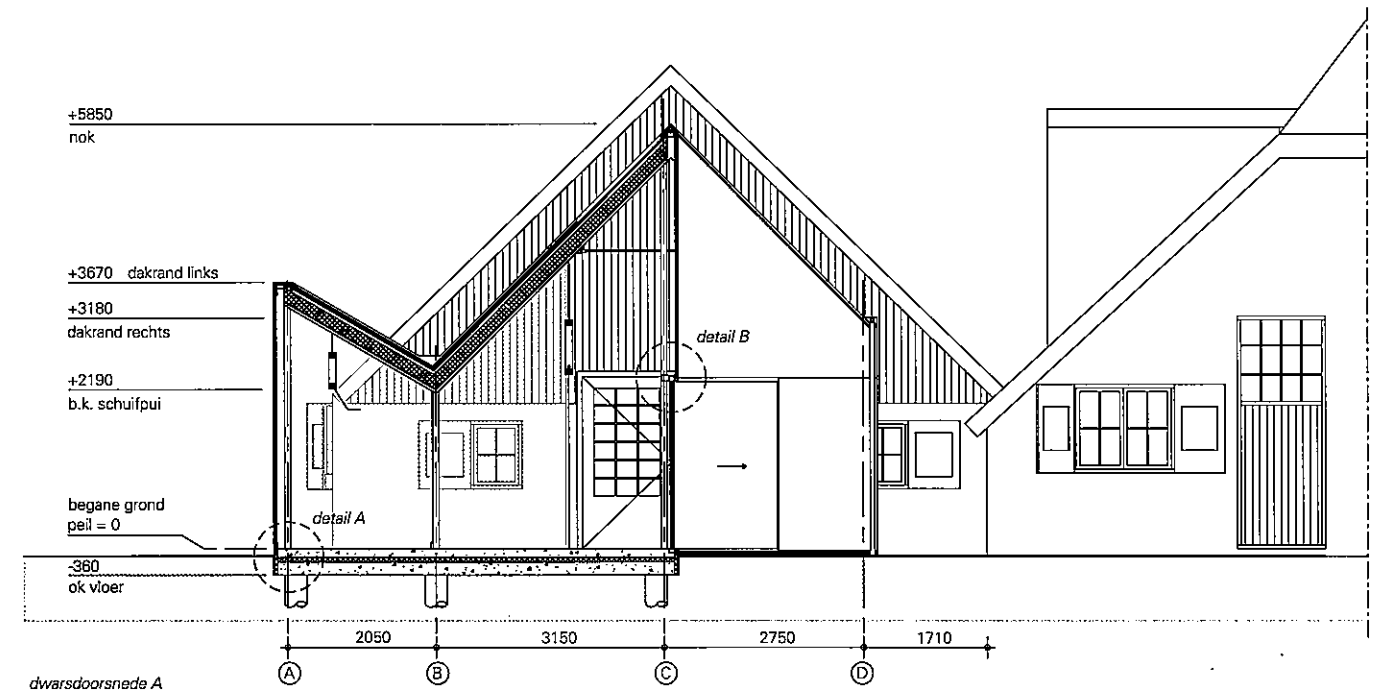
Materiaal vulblokken

Voor de vulblokken zijn meerdere materiaaltests uitgevoerd. Het materiaal dient uitsluitend om druk over te dragen op het glas en de vulblokken moeten zacht genoeg zijn om belastingen te spreiden vanuit het staal over de glasrand. Zowel het staal als het glas zijn immers nooit perfect vlak. Kleine imperfecties kunnen onwenselijke piekspanningen veroorzaken en leiden tot glasbreuk. Het vulblokmateriaal moet relatief slap of 'zacht' zijn en evengoed drukvast. Gekozen is voor een polyester-polyurethaan. Tijdens montage zijn verschillende diktes aangeleverd om eventuele toleranties op te vangen.

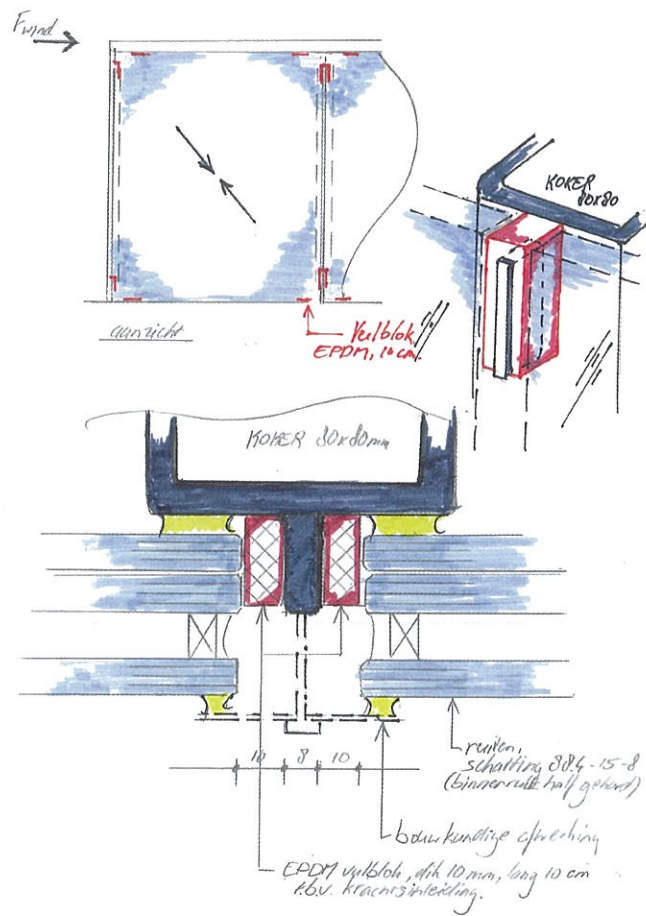
1. Voor praktische uitvoerbaarheid van een geïntegreerde schuifpui is de aansluiting met twee L-profielen uitgevoerd.



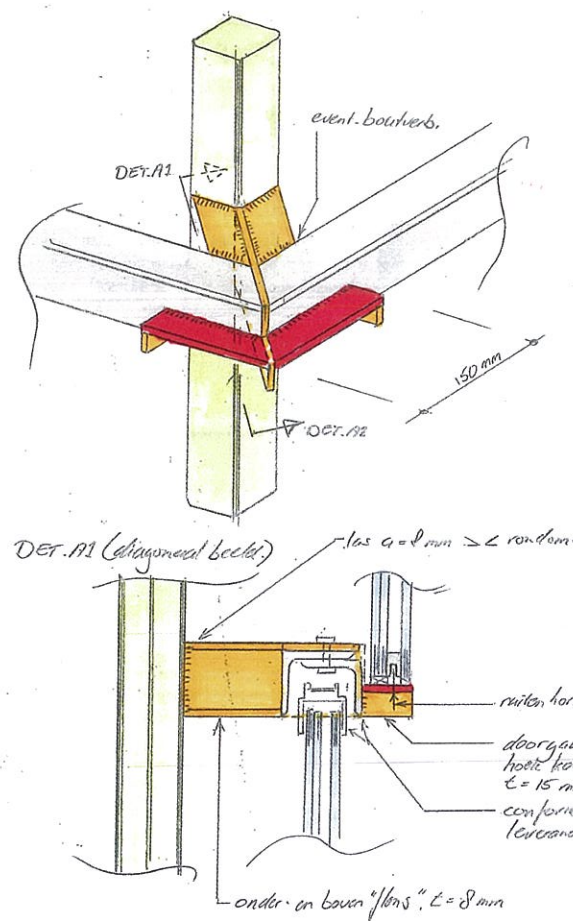
2. De architect wil geen voetplaten in het zicht. Hier de uiteindelijke optie. In afbeelding 7 staan eerdere opties geschetst.



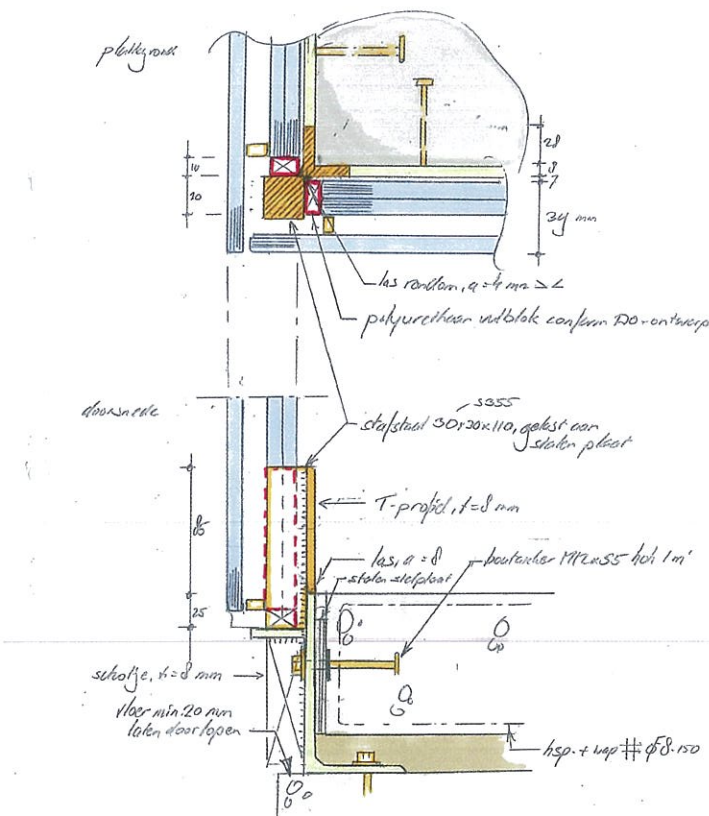
3. Plattegrond en doorsnede uitbreiding.



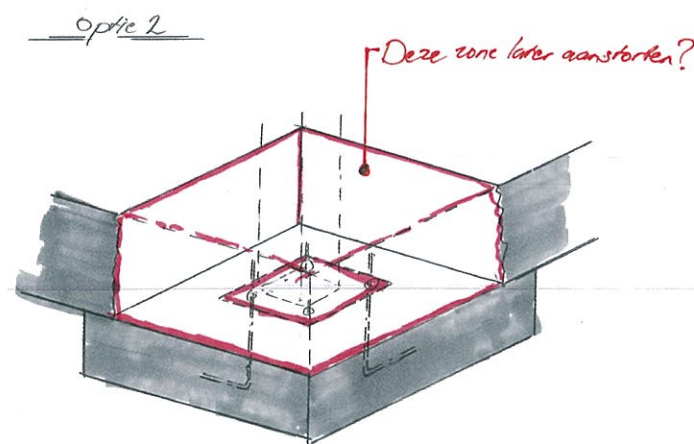
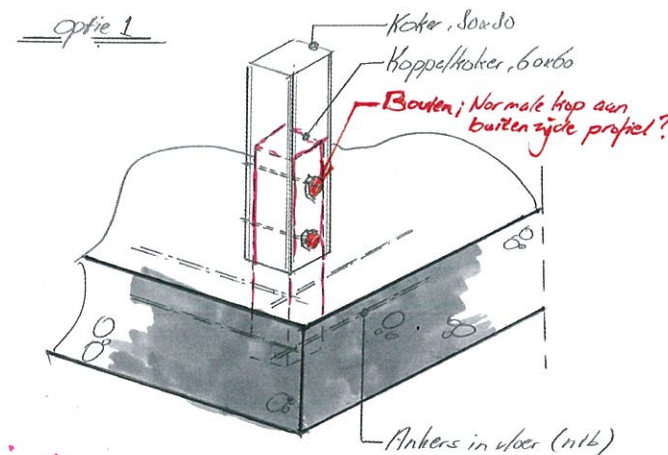
4. Eerste conceptschets met schijfwerking in glas met als uitgangspunt dat de ruit tegen de kokers aan zou worden bevestigd.



6. De ruiten bovenin staan op consoles en worden geplaatst op de rood gemarkeerde strips. Een soortgelijk principe is toegepast in de binnenhoek van het gebouw.



5. Gekozen oplossing met ruit gemonteerd op afstand.



7. Verschillende schetsen voor de inklemming van de kolommen. De uiteindelijke oplossing staat in afbeelding 2.



8. De stalen kokers worden bekleed met hout voor een natuurlijke inpassing in de bosrijke omgeving.

Detailing glas

Om de ruiten stevig in positie te houden, ook bij windzuiging, zijn op diverse plekken stalen plaatjes gemonteerd. Deze stalen plaatjes zijn in een U-vormig uitsparing in de afstandhouder tussen de binnen- en buitenruit geplaatst. Bij de afbouw zijn de stalen plaatjes weggewerkt achter een bouwkundige afwerking. Ook de hoeken zijn minimalistisch gedetailleerd.

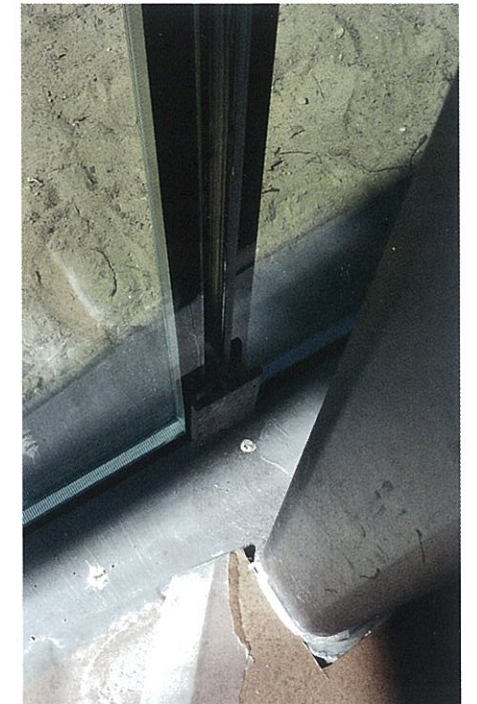
Spiegels

Het dakdetail is zo ontworpen dat het dak-

pakket, zinken buitenbekleding en aan de binnenzijde afgewerkt met staalplaten, koud eindigt tegen de glazen gevel. Op die plek bevindt zich een spiegellende rand langs het dak. Via de spiegels zijn de stalen strippen tussen het glas nog zichtbaar. De stalen strippen zijn op sommige punten nog zichtbaar aan de onderzijde in de voegen (afb. 9).

Toekomst staal-glas

Bij Paviljoen De Boerderij blijkt dat schijfwerking in een deel van de ruiten al voldoende is om de stabiliteit van de staalconstructie



9. De staalstrip waarmee de ruiten zijn bevestigd aan de betonvloer.



10. Nog niet afgewerkte hoekaansluiting.

te waarborgen. Staalconstructies met schijfwerking in glas biedt capaciteit en kansen. Momenteel wordt onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van schijfwerking in glas in hoogbouwconstructies. •

Projectgegevens

Opdracht Gemeente Arnhem • Architectuur NEXIT
Architecten, Arnhem • Constructief ontwerp ABT, Velp
• Uitvoering Bouwbedrijf Van Middendorp, Wekerom •
Staalconstructie Dikkenberg Las & Montage, Edeveen •
Glasleverancier Si-X, Benthuisen • Fotografie Thea van den Heuvel/DAPH, ABT (uitvoering) • Illustraties Kars Haarhuis