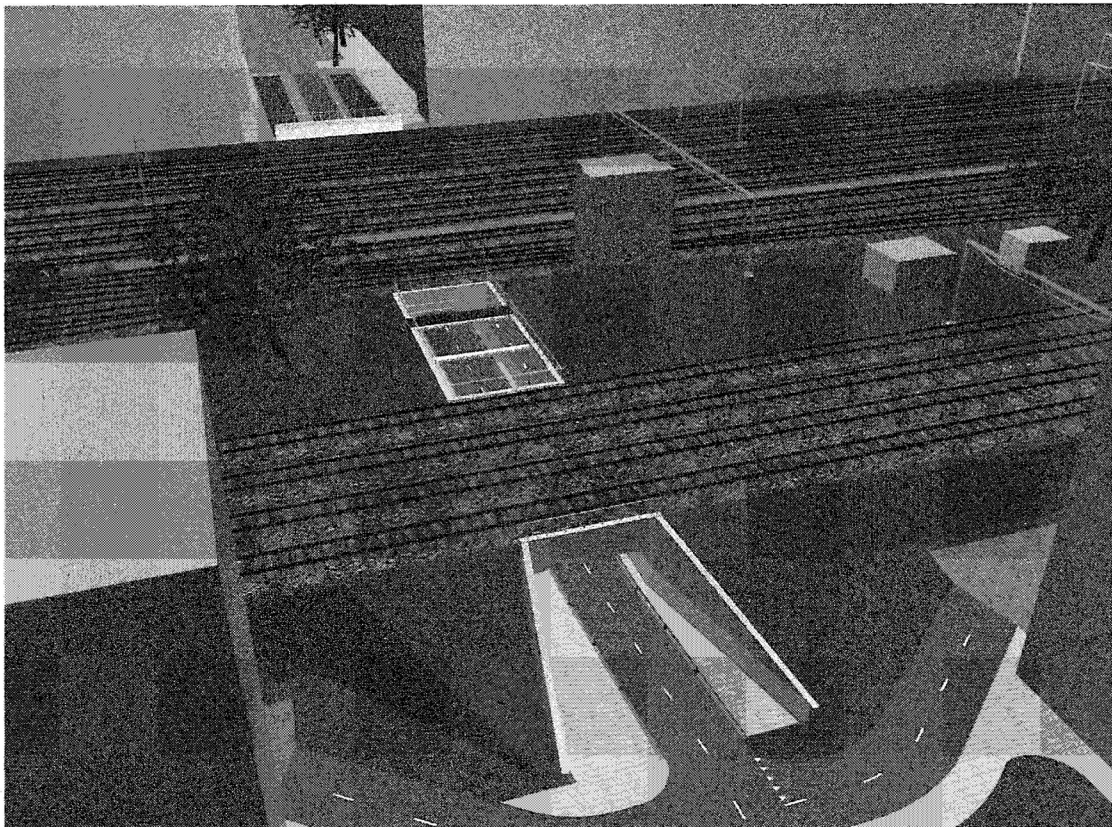


Fietserstunnel centrum Utrecht

Bicycle tunnel center Utrecht

Afstudeeropdracht
Eindverslag



J. Westhof
Mei 2005

Mentor: U. Valkenier
Vakdocent: P. van Valen
Vakdocent: T. Rinkema

Inclusief CD-ROM
Animatie van de tunnel

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
1. Inleiding	3
1.1 Situatiebeschrijving	4
1.2 Eigendomssituatie	6
2. Brug of tunnel	8
2.1 Brug	9
2.3 Beargumentering keuze	9
3. Programma van eisen	10
3.1 Inleiding	10
3.2 Gemeente Utrecht	10
3.3 Inspraak buurtbewoners	12
3.4 NS Vastgoed bv	13
3.5 Prorail	14
3.6 Fietnota Gemeente Utrecht 1992 en 2002	14
3.7 Verkeersmodel Gemeente Utrecht	14
3.8 RONA en het CROW	14
4. Ontwerp	15
4.1 Ophaalbrug over de Kruisvaart	15
4.2 Inpassing “knip”	15
4.3 Toeritten	16
4.4 Verticaal alignement	16
4.5 Vormgeving en aankleding tunnel	17
4.6 Dwarsprofiel	17
4.7 Verharding	18
4.8 Markering	18
4.9 Sparing in het tunneldak	18
4.10 Treinverkeer	18
4.11 Pompputten	19
4.12 Sociale veiligheid	19
4.13 Ventilatie	19
5. Keuze van de uitvoeringsmethode	20
6. Buizendakmethode	21
6.1 Inleiding	21
6.2 Buizendak	21
6.3 Tunnelementen	23
6.4 Afwerking	26
7. Toepassing van de buizendakmethode in Utrecht	27
7.1 Inleiding	27
7.4 Aanpassing van het buizendak	28
7.5 Folieconstructie	29
7.6 Persen van de buizen	32
7.7 Aanbrengen van de tunnelsegmenten	32
7.8 Dilatatievoeg	32
7.9 Fundering	34
7.10 Controle opdrijven	35
7.11 Aansluiting grondkeringen en prefab elementen	35
7.12 Hulpbrug	35
8. Rest van de tunnelconstructie	36
9. Evaluatie uitgangspunten	37
Literatuurlijst	38
Overzicht van behaalde cijfers per deelopdracht	39
Bijlage	

Samenvatting

Ten zuiden van het Centraal Station Utrecht kan **het** spoor over een afstand **van** 1,8 kilometer **niet gekruist** worden. Voor fietsers en ander langzaam verkeer is dit een missing link in het fietspadennet. Realisatie van een verbinding zou dan ook voor veel mensen een uitkomst zijn.

Verschillende organisaties en particulieren hebben een belang bij de **realisatie** van deze verbinding. Dit komt doordat het tracé van de verbinding verschillende eigendomsgronden **kruist** en het project in het centrum van een grote stad plaats vindt. De eisen en wensen van de verschillende organisaties en **particulieren zijn** belicht en opgenomen of verworpen in het ontwerp van de verbinding.

Na de voor- en nadelen tegen elkaar te hebben afgewogen is **uiteindelijk** gekozen om de verbinding in de vorm van een tunnel tot stand te laten komen. Voor het ontwerp van de tunnel is niet alleen gekeken **naar de** richtlijnen, maar ook naar de technische inpassing **en** sociale veiligheid.

De **tunnel** bestaat **uit twee** delen, één deel kruist één van de **drukst** bereden sporen van Nederland waar **het onmogelijk** is om **het** treinverkeer stil te leggen. **Het** andere deel **dat** de **tunnel kruist mag** worden **opengebroken** en afgegraven. **Hier** zal de tunnel bestaan uit prefab **elementen**. De nadruk ligt daarom ook bij de **uitvoering van** het eerst genoemde tunneldeel.

Er worden al enige tijd technieken toegepast om onder het spoor door **te** bouwen zonder het treinverkeer te hinderen, zoals de **vriesmethode** en de **boormethode**. Het nadeel van de beide methodes is de hoge prijs; **daarnaast** heeft de boormethode een relatief grote gronddekking **nodig**. De **boormethode heeft** tevens als nadeel dat het **tunnelprofiel** gebonden is aan de ronde doorsnede.

Een nieuw ontwikkelde methode om een **fietsertunnel** aan te leggen onder **een** spoorbaan is de **buizendakmethode**. De methode is als eerste uitgevoerd bij een pilot-project in Deventer. Bij deze methode worden er stalen buizen onder de spoorbaan door geperst die met elkaar verbonden zijn met **grondkerend** sloten. De buizen vormen een omgekeerde U, die door de **boogvorm** meer kracht kan opnemen. De buizen worden aan de ontgravingszijde tijdelijk ondersteund **waarna** de grond onder het **buizendak** kan worden ontgraven. Er wordt steeds een **grondmoot** van 1,5 meter ontgraven, waarna er een **tunnelsegment** in de vrij gekomen ruimte wordt geplaatst.

Het **tunnelsegment** bestaat uit een bodem en een **plafondstuk** die ieder apart de **tunnel** worden ingebracht. Als de bouw van de **tunnel** vordert **zullen** ze door de al geplaatste **tunnelsegmenten**, op een speciaal aangelegd spoor, **op** een treinstel door de tunnel vervoerd worden. Hiervoor worden ze eerst 90 graden gedraaid **waarna** ze met **behulp van** speciale voorzieningen **op hun** plaats worden gemaneuvreerd. Zo wordt er steeds een nieuw segment geplaatst en een nieuwe moot afgegraven tot dat de andere kant van de spoorbaan is bereikt.

Deze methode zal ook worden toegepast bij de **uitvoering** van de **fietsertunnel** in **Utrecht**. Het grote verschil is echter dat de grondwaterstand **hier** hoger staat in **vergelijking** met de **locatie** van het pilot-project in Deventer. Om dit probleem op te lossen is het buizendak niet **gevormd** als een omgekeerde U, maar is ook de onderkant afgesloten door middel van buizen. Om ervoor te zorgen dat er geen grondwater binnen kan komen zijn de grondkerende sloten opgevuld met klei. In combinatie **met** een **folieconstructie** dat **aan** de bodem van het buizendak is bevestigd kan zowel **binnen** het **buizendak** als binnen de toeritten een **kustmatige** polder worden gecreëerd. Met behulp van drains en twee pompputten wordt het inkomende regenwater weggepompt.

De bouw van tunnel verloopt verder in grote lijnen op dezelfde manier als in het pilot-project. De rest **van** de tunnel waaronder het deel met de **sparing** in het plafond zal ook op de **folieconstructie** gebouwd worden. Het folie loopt aan deze **kant** van de **buizendaktunnel namelijk** door zodat de rest **van** de tunnel **in** de kunstmatige polder kan worden gebouwd.

1. Inleiding

Autoverkeer maakt het leven in een stad **minder** aantrekkelijk. Het zorgt voor geluidshinder, **luchtvervuiling** en ruimtegebrek. Ook door **verkeersoverlast** en verkeersongevallen neemt de leefbaarheid in de stad af. De economische schade door de slechte bereikbaarheid van stedelijke gebieden **neemt** toe. Zeker in een stad als Utrecht waar **een** autoluw **beleid** wordt gevoerd in de oude binnenstad. Het autoverkeer zal in de **toekomst alleen** maar toenemen en dat **terwijl** de historische **binnenstad** die nog in veel grote steden aanwezig is qua ruimte en omvang daas niet in mee kan groeien. Met de fiets **daarin** tegen is het centrum gemakkelijk te bereiken.

In de vierde nota ruimtelijke ordening is **ook** aandacht besteed aan de **bereikbaarheid** van de verschillende **bestemmingen met** de fiets. Zo moet de verstedelijking geconcentreerd worden zodat **alles** binnen fietsbereik **blijft** waardoor het fietsen aantrekkelijk is.

Om de groei van de mobiliteit bij te houden **en** het milieu minder te belasten is er een grote rol weggelegd voor de **fiets**. Het autoverkeer is voor een deel verantwoordelijk voor de verzuring van het milieu, het broeikaseffect, de **smogvorming**, de geluidsoverlast **en** de **verkeersonveiligheid**. Het fietsverkeer kent deze nadelen niet en is bovendien ook beter voor de gezondheid.

Om het fietsen te bevorderen is een compleet **fietspadennet** nodig. Uit onderzoek is gebleken dat door de aanleg van een compleet **fietspadennet** mensen meer, **vaker** en ook verder zijn gaan fietsen. In Nederland ligt al een groot **fietsennet** maar door het completer maken van dit net ontstaan voor **fietsers** de volgende voordelen:

- Meer keuzemogelijkheden voor **veiligere** fietsroutes. Op deze manier kunnen (**sociaal**) onveilige punten worden vermeden.
- Er hoeft minder om gereden te **worden** door **een** kortere verbinding.
- Het verkort de reistijd.

In de stad Utrecht loopt dwars door het **centrum** het drukst bereden spoor van Nederland dat over een lengte van 1,8 **kilometer** niet **gekruist** kan worden. Als langzaam verkeer waar ook fietsers onder vallen, het spoor zouden kunnen kruisen zou dit **een** nuttige bijdrage leveren aan het fietspadennet in Utrecht.

Dit afstudeerproject gaat in op het ontwerp van de verbinding waarbij verschillende alternatieven tegen elkaar afgewogen worden. **Wet** ontwerp is tot stand gekomen door het opstellen van een programma van eisen waarbij de **wensen** en **eisen** van verschillende belanghebbende organisaties is meegenomen.

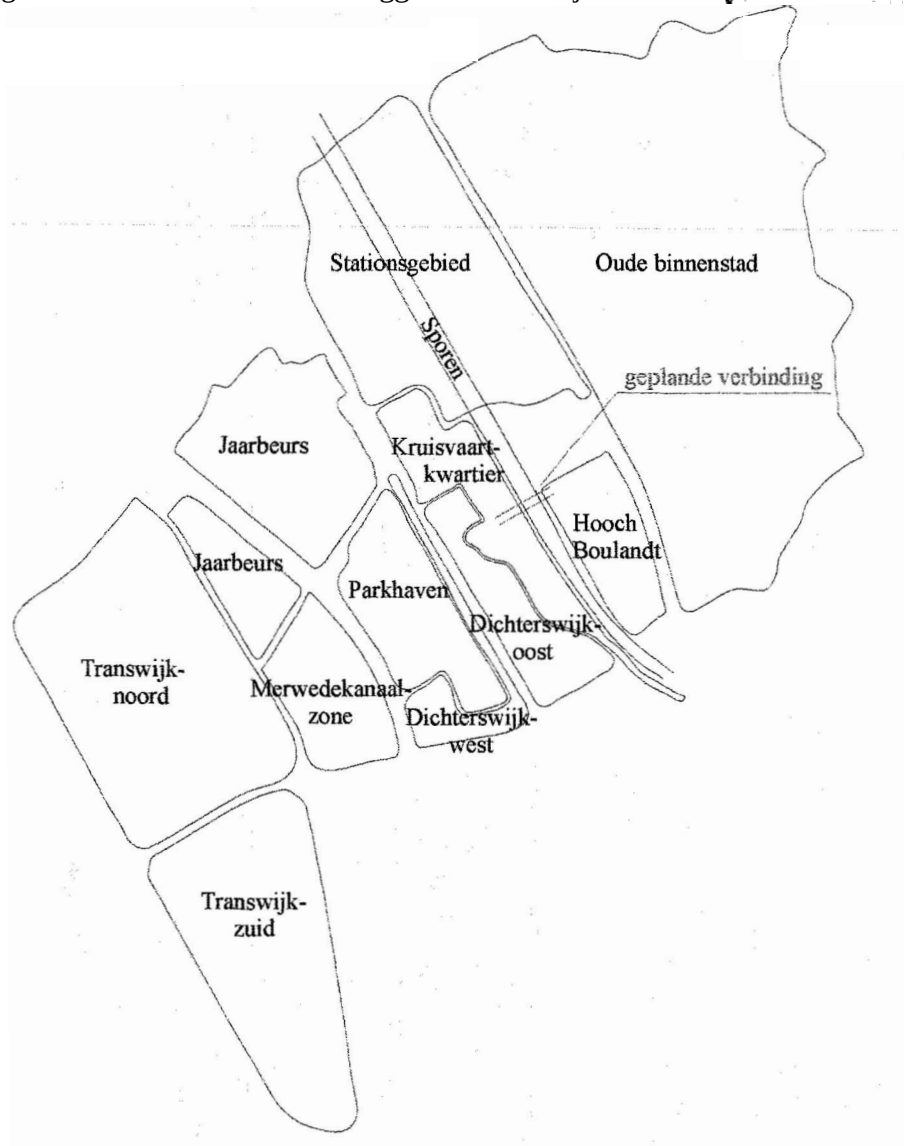
Daarna is onderzocht welke **uitvoeringsmethode** het beste geschikt is om de verbinding te **realiseren**. Hierbij is rekening gehouden met het programma van eisen en andere **locale** omstandigheden. De gekozen **uitvoeringsmethode** is vervolgens verder uitgewerkt.

Tijdens dit afstudeerproject zijn niet worden in gegaan op de **constructieve** aspecten van de geprojecteerde verbinding. Voor de **bepaling** van bijvoorbeeld de **betondikte** van de **tunnelelementen** zijn aannames gedaan. Verder staat de te ontwerpen **verbinding centraal** waarbij de inrichting daaromheen wel wordt aangestipt en besproken, maar niet verder wordt uitgewerkt.

Met het resultaat van dit afstudeerproject zou de weg vrij gemaakt kunnen worden voor verantwoordelijke instanties om de **voordelen** van een **verbinding** in te zien waardoor de ontworpen verbinding ook daadwerkelijk gebouwd kan gaan worden.

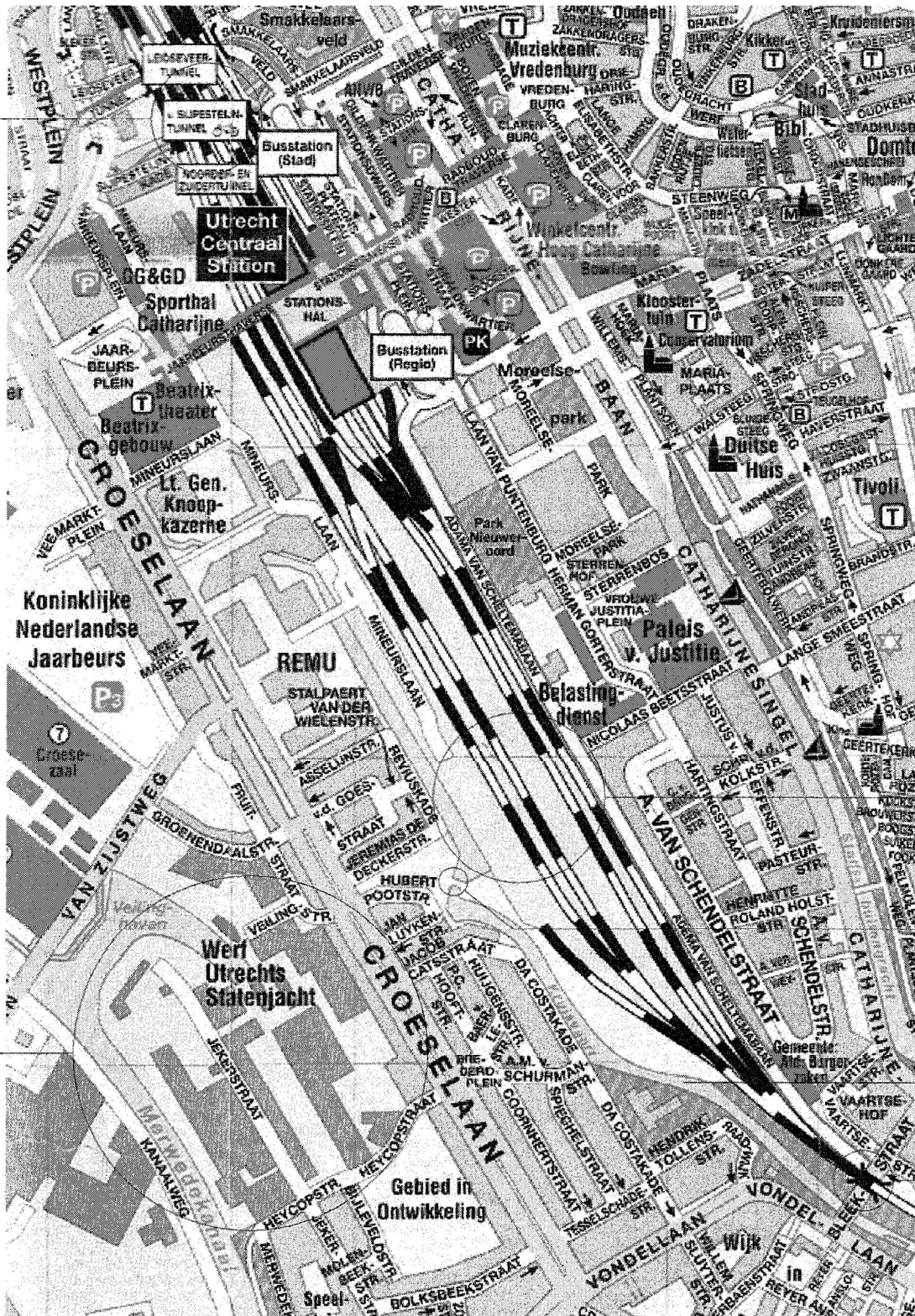
1.1 Situatiebeschrijving

De geplande verbinding bevindt zich in het centrum van Utrecht ten zuidoosten van het station Utrecht Centraal. In figuur 1.1 is een kaart weergegeven van de ligging ten opzichte van de verschillende wijken in Utrecht. De kaart is beperkt gehouden tot wijken die **direct** baat zouden hebben bij de realisatie van de verbinding. De verbinding zelf ligt in het **Kruisvaartkwartier**. Ten oosten van de verbinding ligt de woonwijk **Hooch Boulandt**. Verder naar het noordoosten ligt de oude binnenstad van Utrecht. Ten noordwesten ligt het **stationsgebied** en ten westen het **Jaarbeurscomplex**. Ten zuidwesten ligt de woonwijk Dichterswijk, ten zuidwesten daarvan ligt de toekomstige woonwijk Parkhaven, dat een deel zal worden van Dichterswijk west. **Ten** zuidwesten daarvan aan de andere kant van het **Merwedekanaal** ligt een industriegebied evenwijdig aan dat kanaal dat de **Merwedekanaalzone** wordt genoemd. Ten westen daarvan liggen de woonwijken **Transwijk noord** en **Transwijk zuid**.



Figuur 1.1 Wijken ten opzichte van de geplande verbinding

Sijpesteijn-tunnel



Geplande verbinding

Historische spoorbrug

Kruisvaart

Auto-en fietsers-viaduct

oekomstige woonwijk
arkhaven

Figuur 1.2 Overzichtskartje van deel van het centrum van Utrecht

bron: Citoplan bv

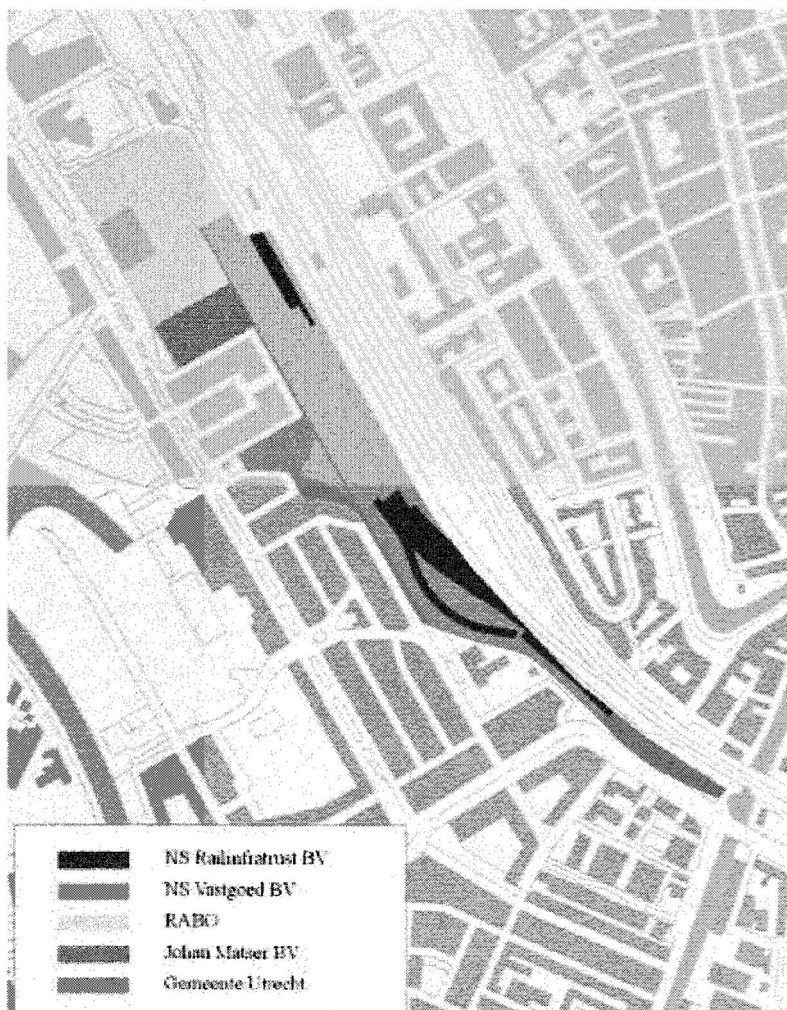
In figuur 1.2 is een gedetailleerde kaart weergegeven. Er zullen veel verwijzingen zijn naar plaatsen op deze kaart, om die reden is er een uitneembaar exemplaar opgenomen in bijlage 1. De plaats waar de verbinding zal komen is op de kaart aangegeven. Na realisatie is het mogelijk om van de Jeremias de Deckerstraat het spoor te kruisen naar de Nicolaas Beetsstraat. Dit spoor belet fietsers en voetgangers op het moment om over een afstand van 1,8 kilometer het spoor te kruisen. In figuur 1.2 is te zien dat het spoor ten noordwesten van het Centraal Station gekruist kan worden door middel van een fietserstunnel. Deze tunnel is het verlengde van de Sijpesteijnkade aan de ene kant van het spoor en

het **Smakkelaarsveld** aan de andere kant en is in figuur 1.2 aangegeven als **v. Sijpesteijntunnel**. Ten **zuidoosten** van het centraal station **kan** het spoor gekruist worden door het viaduct waar de **Bleekstraat** het spoor kruist. Dit is in figuur 1.2 aangegeven als het auto- en **fietstersviaduct**. Tussen deze twee **kruising** is er geen mogelijkheid om het spoor te **kruisen**.

Ten oosten van de Croeselaan wordt op dit moment de **aanleg** gerealiseerd van de woonwijk **Parkhaven**. De nieuwe bewoners **van** deze wijk **zullen** om bepaalde bestemmingen in het **centrum** van Utrecht te bereiken om moeten fietsen. Ook omwonende van de Croeselaan en fietsers die **vanuit** **Kanaleneiland** komen, moeten om fietsen. Door een verbinding te creëren, wordt het spoor een minder grote **barrière**. Het eindresultaat zal **zijn** dat de **gebruikers** van de verbinding de omweg bespaart **blijft** en zich dus **sneller** kunnen verplaatsen **dan** voorheen.

12 Eigendomssituatie

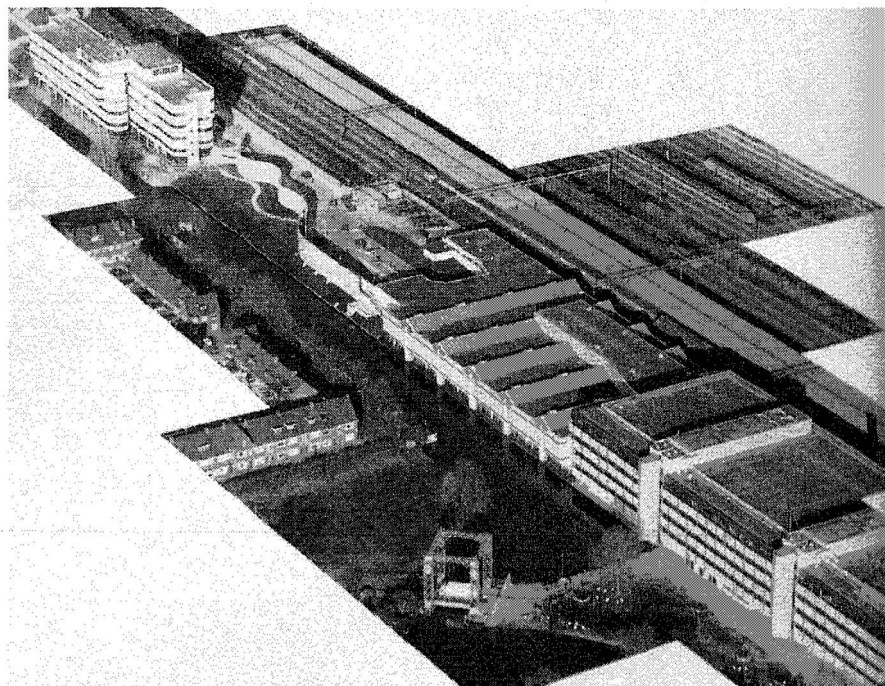
Het projectgebied is niet **alleen** eigendom van de gemeente Utrecht. In figuur 1.3 is de **eigendomsituatie van** een deel van het **projectgebied** weergegeven. De sporen ten oosten van het **eigendomsgebied** van NS Vastgoed BV zijn eigendom van **Prorail**, het gebied daar weer ten oosten **van** is eigendom van de gemeente Utrecht.



Figuur 1.3 Eigendomssituatie Kruisvaartkwartier bron: Gemeente Utrecht

Zoals in de **eigendomssituatie** op **figuur 1.3** te zien is, is ongeveer de **helft van** de grond waarop de geplande verbinding gebouwd **zal** worden eigendom van NS Vastgoed bv. Vroeger was het grootste **deel** eigendom van TPG Post, toen nog PTT Post, zij hebben met het opheffen van de

expeditieknooppunten in Nederland de betreffende grond verkocht. De luchtfoto die is opgenomen in **figuur 1.4** geeft een goed beeld van de oude situatie. De gebouwen zijn voor een deel al gesloopt.



Figuur 1.4 Oude expeditieknooppunt van TPG Post te Utrecht met op de voorgrond de historische spoorbrug
bron: 30 jaar kunst opdrachten voor 12 expeditieknooppunten van PTT Post

2. Brug of tunnel

De geplande verbinding kan uitgevoerd worden door middel een brug of een tunnel. Verschillende belanghebbende vinden een verbinding gewenst, niet één spreekt zich uit over de keuze tussen een brug of een tunnel. Zowel in het geval van een tunnel als een brug kan overwogen worden om in plaats van een talud toe te passen, een trap aan te leggen met voor de fietsers een stalen of betonnen rail waarin gebruikers hun fiets omhoog en naar beneden kunnen leiden. Dit is om de volgende redenen echter niet gewenst:

- Voor oudere mensen is het geen doen om hun fiets geleid door een rail de steile helling van een trap op te duwen en er af te laten rijden. Zij zouden hierdoor geen gebruik kunnen maken van de tunnel.
- Er wordt verwacht dat er veel gebruik gemaakt zal worden van de tunnel. Een trap kan zeker in het spitsuur de doorstroming in de tunnel of brug aanzienlijk aantasten. Het nut van de verbinding komt hiermee in gevaar, want de reistijd wordt langer.
- De verbinding kan niet gebruikt worden door hulpdiensten die er met een voertuig gebruik van willen maken.
- De verbinding is niet rolstoelvriendelijk.

Voor de afweging tussen een brug of een tunnel zal daarom worden uitgegaan dat deze met een talud zal worden bereikt. Aan de oplossing en de vorm van een brug of een tunnel zitten voor- en nadelen.

2.1 Brug

Voordelen:

- Een brug is makkelijker te realiseren dan een tunnel en zal daardoor goedkoper zijn.
- Een brug zal minder risico's tijdens de bouw met zich meebrengen.
- Een brug zal een minder aantrekkelijke schuil- en verblijfplaats zijn voor zwervers of junks waardoor de sociale veiligheid minder achteruit dreigt te gaan.
- Een brug geeft meer het gevoel van ruimte in plaats van een gesloten tunnel.

Nadelen:

- Een brug zal op een hoogte van ongeveer 6 meter vanaf bovenkant spoor de sporen kruisen waardoor er zeer lange toeritten nodig zijn. Hiervoor is vooral aan de oostkant bezwaar, omdat het talud van de toerit door een woonstraat heen zal gaan. Een langer talud zorgt voor een grotere verstoring van de huidige situatie. Daar komt bij dat een stijgend talud ook het zicht op straat en van af de eerste twee verdiepingen van de aangrenzende woningen aantast.
- Een brug zal over de bovenleidingen van de sporen aangelegd worden. Vanaf het maaiveld gezien moet er voor een brug een groter hoogteverschil worden overbrugd om de brug te bereiken dan om de tunnel te bereiken.
- In beide gevallen is er een talud nodig, maar omdat die van de brug veel langer zal worden zal de toerit aan de kant van de Nicolaas Beetsstraat onnodig lang worden. Het talud zal door de woonstraat heen worden gelegd.
- In het geval van een brug zal er een risico ontstaan dat de treinen van boven door vandalen worden bekogeld met voorwerpen. Iets wat vooral voor het autoverkeer de laatste tijd steeds meer een trend wordt.

22 Tunnel

Voordelen:

- Minder lange taluds van de toeritten naar de tunnel. Treinen hebben een hogere **doorrijhoogte** nodig dan **fietzers**.
- Een tunnel heeft een minder ingrijpende invloed op het beeld van de omgeving. De tunnel bevindt zich immers onder de **grond**.
- De snelheid die wordt opgebouwd tijdens het inrijden van de tunnel kan gebruikt worden om het talud op te komen om de tunnel weer uit te rijden.
- In een tunnel hebben fietsers minder last van tegenwind. In geval van slecht weer kan er ook geschild worden in de **tunnel**.

Nadelen:

- Verhoogd risico voor **sociale onveiligheid**. Een **tunnel** biedt **bescherming** tegen **weersinvloeden** aan zwervers **en** junks. De tunnel is **niet** van alle kanten zichtbaar waardoor de sociale controle **over** het **traject** wegvalt.
- Een **tunnel** kan voor **sommige** gebruikers als claustrofobisch worden ervaren. Dit wordt met name **veroorzaakt** door **lange**, **smalle** en donkere tunnels.
- **Een tunnel** zal qua ontwerp **en** bouw moeilijker zijn dan **een** tunnel en zal dus hogere kosten met zich **mee** brengen.

23 Beargumentering keuze

Er wordt gekozen voor een tunnel.

De belangrijkste redenen **hiervoor** is:

- Een verbinding in de vorm van een brug zal te hoge en dus te lange **taluds** vereisen. De hoge taluds **zullen** het woongenot in de **Nicolaas** Beetsstraat sterk aantasten.

Om de **sociale** veiligheid van de **tunnel** te garanderen **zullen** een aantal maatregelen genomen moeten worden.

3. Programma van eisen

3.1 Inleiding

Verschillende instanties, bedrijven en particulieren hebben ideeën en belangen bij de aanleg van een **verbinding** en de **ontwikkelingen daaromheen**. Bepaalde voorstellen zullen meegenomen in het definitief **ontwerp** andere zullen verworpen worden. De voorstellen zullen besproken worden **en** daarbij **zal** **vermeld** worden hoe dit al of niet **zal** worden toegepast op de te ontwerpen **tunnel**.

3.2 Gemeente Utrecht

Voor het gebied waar de **fietzersverbinding** is gepland heeft de gemeente Utrecht een visie opgesteld. Het gaat om het gebied dat zich aan de oostkant van de geplande verbinding bevindt, het **Kruisvaartkwartier**. In deze visie worden onder andere drie **langzaam** verkeer verbindingen besproken waaronder de **verbinding** ter hoogte van de **Nicolaas Beetsstraat** die als zeer gewenst wordt beschreven **en die een** zeer grote kwaliteitsimpuls **kan** geven aan de nu nog afgelegen zone langs de kruisvaart.

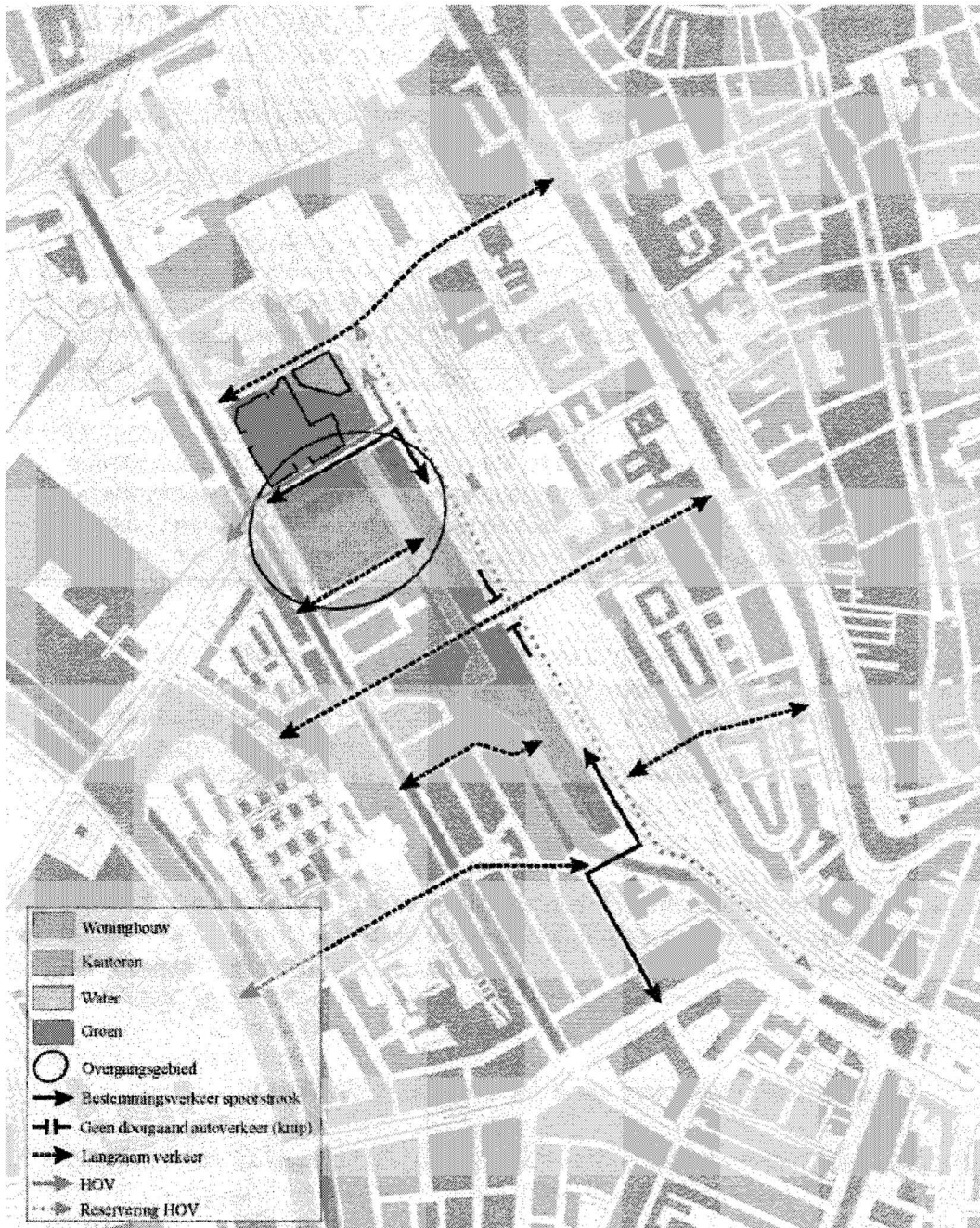
In de visie wordt ook uitgebreid **ingegaan** op de toekomstige ruimtelijke indeling van het **kruisvaartkwartier**. In figuur 3.2 is een voorstelling weergegeven van de toekomstige situatie van het gebied.



Figuur 3.1 Historische **spoorbrug** bron: Gemeente Utrecht

Evenwijdig **aan** de **Kruisvaart** is woningbouw gepland op de plaats van het oude expeditie knooppunt (EKP) van nu TGP post. Ter plaatse **van** de oost-west verbinding richting de Nicolaas Beetsstraat is **het** woningblok plaatselijk onderbroken. Naast de woningen komt een **woonstraat** die om sluipverkeer tegen te gaan voorzien is van een “**knip**”. Deze **knip** in de weg heeft als doel dat autoverkeer niet verder kan rijden. Dit kan worden gerealiseerd door middel **van** paaltjes in combinatie met een subtiele versmalling van de verharding. Evenwijdig **hieraan** zal een strook worden vrij gehouden voor de reservering van **een** toekomstige HOV verbinding. Deze HOV verbinding zal een spoor verbinding worden en onderdeel zijn van project Vleugel, hierover in hoofdstuk 3.1.3. meer. Aan de andere **kant** van de woningen is de watergang de Kruisvaart gelegen met een **klein** parkje ter hoogte van de **Hubert Pootstraat**. Dit parkje bevat tevens een historische **spoorbrug** wat een gemeentelijk monument **betreft**, zie **figuur 3.1**.

Omdat **de** **knip**, de HOV verbinding en de Kruisvaart het tracé van de oost-west verbinding **kruist** zal hier een passende oplossing ontworpen moeten worden.



Figuur 3.2 Toekomstige ruimtelijke visie kruisvaartkwartier

bron: Gemeente Utrecht

De gemeente Utrecht heeft bepaalde gewenste kenmerken **geformuleerd** voor de fietstunnel. Bepaalde voorstellen zullen meegenomen in het **definitief** ontwerp andere zullen verworpen worden. De **voorstellen** zullen besproken worden en daarbij zal vermeld worden hoe dit al of niet zal worden toegepast op de te ontwerpen verbinding.

- De verbinding moet aansluiting vinden op de huidige infrastructuur.
De route naar de **tunnel** toe en van de tunnel af zijn verbonden met het fietspadennet, in hoofdstuk 6 zal hier verder op in worden gegaan. Aan de oostkant kan via de **Nicolaas Beetsstraat** en de **Lange Smeestraat** het **centrum** en achterliggend gebied **bereikt** worden. Aan de westkant **kan** via de **J. de Deckerstraat**, **Parkhaven**, de **Van Zijstweg**, de **DR. M.A. Tellegenlaan**, **Kanaaleiland** **en** achterliggend gebied bereikt worden.

- Wat gaat er gebeuren met de woonboten die nu in de Kruisvaart liggen?
De woonboten aan de Kruisvaart moeten vervangen of verplaatst kunnen worden. Het **fietspad** dat naar de tunnel loopt vanaf de J. de Deckerstraat **zal** de Kruisvaart overgaan door middel van een **brug**. Er **zal** een houten ophaalbrug worden aangelegd, op deze manier kan de **brug** geopend worden als dat nodig is om een woonboot door de Kruisvaart te kunnen laten varen. In hoofdstuk 6.1 zal verder op de **brug** worden ingegaan.
- Kan er niet alvast één van de verbindingen in plaats van drie gerealiseerd worden? Omdat de verbinding onder het spoor ter hoogte van de Nicolaas Beetsstraat in het midden ligt van de huidige onderdoorgangen ligt het voor de hand om hier **een** verbinding te maken. Meerdere verbindingen zouden misschien wel gewenst zijn, maar **daar** zijn waarschijnlijk geen **financiële middelen** voor.
- Waar komt de verbinding exact te liggen?
De precieze ligging van de **tunnel** is te zien op de tekeningen in bijlage 2 en 3.
- De verbinding via de J. Deckerstraat en de N. Beetsstraat is ongeschikt als doorgaande verbinding vanwege de te verwachte negatieve spillover vanuit de binnenstad.
De wijk Hooch Boulandt aan de kant **van** de **binnenstad** van de tunnel heeft op dit moment **al** weinig last van overlast. Toch bestaat de kans dat de tunnel een slecht imago **krijgt** door **overlast** of **een** lage sociale veiligheid. In hoofdstuk 6.12 zal worden ingegaan op de maatregelen die genomen worden om de tunnel aantrekkelijk te houden.
- Vanwege de te verwachte verkeersdrukke langs de speeltuin aan de J. de Deckerstraat is de verbinding daar ongeschikt.
De toename aan drukte in de J. de Deckerstraat is onvermijdelijk. De speeltuin **zal** duidelijk moeten worden gescheiden van de woonstraat. Door deze afscheiding te **realiseren** met elementen en Meuren die ook in de **tunnel** terug komen wordt de route een eenheid met een eigen identiteit.
- De monumentale spoorbrug zou gebruikt kunnen worden als onderdeel van de verbinding in plaats van een nieuwe brug.
Het gebruik van de oude spoorbrug is **niet mogelijk**. Eén van de uitgangspunten is dat de tunnel een kortere route moet gaan vormen voor een groot aantal fietsers. Aangezien de **tunnel** in de Nicolaas Beetsstraat uit moet komen **en** het een vereiste is dat de tunnel haaks op het spoor wordt gebouwd **zullen** de **gebruikers om** moeten **fietsen**. De spoorbrug kan bijvoorbeeld gebruikt worden als onderdeel van een voetpad naar de geplande bebouwing langs het spoor.

3.4 NS Vastgoed bv

NS Vastgoed bv is van plan om op het gebied wat hun eigendom is woningen te bouwen. Dit staat is ook opgenomen in de ruimtelijke visie van de gemeente Utrecht. **Het** verschil is echter dat NS Vastgoed bv op de beschikbare ruimte **zoveel** mogelijk woningen **wil** bouwen, een sparing in het woonblok ten behoeve van een langzaam verbinding naar de binnenstad past niet in hun standpunt. Uit overleg en **onderhandelingen** tussen NS Vastgoed bv en de Gemeente Utrecht zal volgen of er **ruimte** zal zijn voor **deze** verbinding of niet. Vanwege de **ontwikkelingen** in de verschillende gebieden ten westen **zal** de gemeente hoog inzetten om de verbinding of de mogelijkheid voor een verbinding in de toekomst open te houden door een **sparing** in de bebouwing op te laten nemen.

NS Vastgoed bv wil dus zoveel mogelijk woningen bouwen op het terrein dat hun eigendom is. In hun visie is er geen ruimte voor een verbinding die **het** spoor kruist. Gezien de technische mogelijkheden, de maatschappelijke **belangen** en de **enorme** voordelen van de **verbinding** lijkt het **standpunt van** NS Vastgoed bv onrealistisch. De Gemeente Utrecht zal in de onderhandelingen met NS Vastgoed bv te kort schieten als ze NS Vastgoed bv **hm** zin geeft.

4. Ontwerp

4.1 Ophaalbrug over de Kruisvaart

De route naar de tunnel vanaf het westen zal het water de **Kruisvaart** moeten passeren. Omdat de tunnel **een** heel eind van de **Kruisvaart** zijn ingang heeft en gezien de hoogteligging van het maaiveld ter plaatste ten opzichte **van** de tunnel loont het niet om de tunnel door te trekken zodat ook het water **ondertunneld** wordt. Bovendien zal er dan een toerit in de wat **smallere** J. de Deckerstraat moeten komen. Dit zal weer tot gevolg hebben dat de J. de Deckerstraat en de Reviuskade voor **autoverkeer** van elkaar gescheiden zouden worden. Een goedkopere **en** meer voor de hand liggende oplossing is een brug over de Kruisvaart waarna de route een lichte S-bocht maakt **richting** de ingang van de tunnel. In bijlage 2 en 3 zijn tekeningen van de situatie opgenomen.

De brug moet toegankelijk zijn voor **hulpdiensten** die **gebruik** willen maken van de verderop liggende tunnel. Vooral qua belasting zal de brug hierop gedimensioneerd moeten worden. Om ervoor te zorgen dat sluipverkeer geen **gebruik** gaat maken van de **tunnel** worden voor de **brug** maar ook bij andere toegangswegen tot de tunnel **paaltjes** geplaatst die handmatig verwijderd kunnen worden of die automatische **omhoog** en naar beneden kunnen gaan.

Om ervoor te zorgen dat woonboten, wanneer dat nodig is, over de Kruisvaart kunnen varen zal de brug als ophaalbrug worden uitgevoerd. Een impressie van de **brug** is weergegeven in figuur 4.1. Voor de **afmetingen** van de ophaalbrug zijn aannames gedaan, verdere **uitwerking** van de brug en het fietspad tot aan de toeritten van de tunnel vallen buiten dit verslag.



Figuur 4.1 Impressie van de toekomstige fietsbrug over de Kruisvaart.

bron: Yellow bike

4.2 Inpassing "knip"

De **erftoegangsweg naar** de geplande **woonbouw** evenwijdig **aan** het spoor wordt onderbroken met een "knip" **waardoor** sluipverkeer er hier niet door **kan**. In bijlage 2 is de toekomstige **situatie** getekend. De beide **erftoegangswegen** stoppen **waarna** een fietspad aan de zijkant van de straat **verbinding maakt** met het fietspad dat van de **ingang van de tunnel** naar de ophaalbrug loopt. Het **kruispunt** is voorzien van haaiantanden aan de kanten van de **erftoegangswegen**, de grootste drukte wordt **verwacht** vanaf de **ophaalbrug** naar de tunnel vandaar dat die **voorrang** zal hebben. Ook hier worden de fietspaden voorzien van **verwijderbare** paaltjes zodat hulpdiensten ook via deze kant de tunnel of het gebied kunnen bereiken.

4.3 Toeritten

De toerit aan de **kant** van de Nicolaas Beetsstraat zal na het ondergronds kruisen van de busbaan beginnen. Hij zal **vervolgens** worden aangelegd in de **erftoegangsweg**, hierdoor zal een deel van de weg **niet** meer bereikbaar zijn voor autoverkeer. De toerit zou kunnen worden aangelegd tegen één van de gevels aan, de **verwachting** is dat geen van de omwonende dit idee steunt. Daarom wordt de toerit in het midden **van** de straat aangelegd. De **ruimte tussen** het trottoir en de straat wordt op dit moment **gebruikt** als parkeerplaats. In de nieuwe situatie **zal** deze ruimte worden opgevuld met een groenstrook met **een aflopend** talud.

Het **aflopende talud** heeft **als** voordeel **dat** er geen hoge en dure **grondkering aanlegt** hoeft te worden en dat door het geringe hoogteverschil er geen hekken geplaatst hoeven te worden op de **grondkering**. **Op** het talud zal laag struikgewas worden aangelegd waardoor het onaantrekkelijk wordt het talud te betreden. De bomen die nu **tussen** de parkeervakken door zijn aangelegd **kunnen** op dezelfde plaats, maar dan in het **talud** worden **herplant**. Voor het verplaatsen van bomen met kluit zijn speciale machines ontwikkeld.

In **totaal zullen er** 33 parkeervakken **moeten** wijken, **niet** alleen op de plaats van de toerit maar ook tot zo'n 10 meter **voor** het begin van de toerit zullen parkeervakken verdwijnen. Dit is nodig omdat parkerende auto's genoeg zicht moeten hebben op **gebruikers** van de tunnel en omgekeerd. **Het** verdwijnen van de 33 parkeerplaatsen **zou** kunnen worden opgevangen door nieuwe parkeerplaatsen te **creëren** aan de **Hartingstraat**. Hier zijn de parkeervakken evenwijdig met de straat aangelegd, terwijl op veel plekken **ruimte** is om haaks op de weg te parkeren. Hiervoor zal ter plaatsen wel een smalle groenstrook moeten verdwijnen.

4.4 Verticaal alignement

De aanbevolen **hellingpercentages** voor de **toeritten** naar de tunnel zijn aangegeven in de RONA en opgenomen in tabel 6.1.

Tabel 4.1 Aanbevolen **hellingspercentages** bij verschillende hoogteverschillen.

bron: RONA

Hoogteverschil in meters	Aanbevolen hellings- percentage	Maximale hellings- percentage
0,50	7,5 %	8 %
1,00	7,5 %	8 %
1,50	7,0 %	8 %
2,00	4,7 %	8 %
2,50	4,0 %	7,5 %
3,00	3,2 %	6,5 %
3,50	2,5 %	5,3 %
4,00	1,8 %	4,2 %
4,50	1,2 %	3,2 %
5,00	1,2 %	2,0 %

Voor de toerit van de J. de **Deckerstraat** wordt een hoogteverschil overbrugd van 1,09 meter. Bij dit hoogteverschil hoort een helling van 7,5 %. Aan deze kant van de tunnel is genoeg ruimte dus kan deze **helling** zonder **problemen** worden gerealiseerd

Aan de andere kant van de **tunnel** waar de toerit uitloopt in de Nicolaas Beetsstraat is er een hoogteverschil van 2,64 **meter**. Uit de tabel volgt een aanbevolen **hellingspercentage** van 4,0 %. Met dit **hellingspercentage** zou de **toerit** hier ongeveer 61 meter lang worden. De maximaal toelaatbare **helling** is 7,5 %. Omdat hier de ruimte schaars is, wordt **er** een **steilere** helling aangehouden dan de aanbevolen helling. Om het comfort van de **gebruikers** toch tegemoet te komen wordt **er** een helling van 6 % toegepast. De **toerit** heeft dan een lengte van 43 meter, op deze manier wordt een deel van de **erftoegangsweg** en de parkeervakken gespaard.

4.5 Vormgeving en aankleding tunnel

In bijlage 3 is de ontworpen **tunnel** weergegeven. Voor de dikte van de **tunnelementen** wordt aangenomen **dat** deze **0,40** meter **dik** zullen zijn. Verder is er uitgegaan van een breed **profiel** met **aan weerszijde kenmerkende** schuin aflopende wand- en grondkerende betonnen elementen. Deze **elementen** geven niet alleen de tunnel een aantrekkelijker uiterlijk, maar zorgen **er** ook voor **dat** het hangen tegen de wand van de tunnel onaantrekkelijk wordt.

De elementen lopen buiten de tunnel door en doen daar aan de kant van de **Nicolaas Beetsstraat** dienst als **grondkering** waardoor een duidelijke scheiding ontstaat tussen de toeritten en de omgeving. Aan de kant van de J. de Deckerstraat dwingt het talud vanaf de sporen tot de **aanleg** van een **grondkering** rond de toerit van de tunnel. Deze zal wijs zijn en met een hoek van **10** graden ten opzichte van het fietspad gerealiseerd **worden**.

Aan het einde van de toerit **aan** de **Nicolaas Beetsstraat** zal een **betonnen** wand de grond en het gewicht van het treinverkeer moeten keren. Op deze wand is een stalen hek geplaatst om ongelukken te voorkomen. Dit is **ook** het **geval** aan de westkant van de tunnel.

Het beton van de tunnel **zal** worden geverfd met twee kleuren. Hierbij is het de bedoeling om de verschillende aanzichten van de vlakken **waaruit** de tunnel bestaat te accentueren.

4.6 Dwarsprofiel

Aan de hand van de **spitsuurintensiteit** kan worden berekend wat de breedte van het fietspad minimaal moet zijn. Uit het **verkeersmodel** van de Gemeente Utrecht en het Bestuur **Regio** Utrecht is een schatting gemaakt van de te verwachte **etmaalintensiteit** van het fietsverkeer door de tunnel rond het **jaar 2010**. De geschatte **etmaalintensiteit** zal **13200** fietsers per **etmaal** zijn. Hiermee kan de vereist **verhardingsbreedte** worden bepaald. Deze berekening is opgenomen in bijlage 5, **hieruit** volgt een breedte van 4 meter.

Naast het fietspad komt ook **een** voetpad deze wordt 1,9 meter breed. Hier kunnen voetgangers en rolstoelberijders **elkaar** gemakkelijk passeren.

In bijlage 6 in figuur 1 is het profiel van vrije **ruimte** weergegeven van voetgangers, **rolstoelberijders**, fietsers en **bromfietsers**.

De minimale hoogte van een fietser **en** een voetganger is 2,50 meter. Dit is **dan** ook de hoogte die wordt **aangehouden** voor de hoogte van het **tunneldak** ten opzichte van de **verharding**.

De **aanbevolen afstand** van de fietsers tot aan gesloten wanden en gevels is 0,75 meter. Dit is aan de **kant** van het fietspad waar **het** trottoir zich niet bevindt zo ontworpen. Aan de andere **kant** waar het trottoir aanwezig is, **bevindt** zich eerst een **regenwatergoot** op die op dezelfde hoogte als de **fietspadverharding** wordt aangelegd. Op deze manier **kunnen** fietsers ook **niet** in de goot **komen** met hun wiel. Na de goot komt een trottoirband van 5 centimeter hoog, deze **heeft** ten opzichte van de fietser een **aanbevolen afstand** van 25 centimeter. De goot is 3 centimeter smaller, **maar** door het ruime **fietspad** moet dit **geen problemen** opleveren.

In bijlage 3 **zijn** verschillende dwarsdoorsneden weergegeven van de tunnel.

De tunnel moet **toegankelijk** zijn voor hulpdiensten en **sneeuwruimers**. Dit houdt in dat een **ambulance** of een politieauto van de tunnel gebruik moet kunnen maken. De tunnel **hoeft** in **dit** kader niet gedimensioneerd te worden op vrachtwagens, maar alleen op personenauto's. Deze hebben in de hoogte al een kleiner profiel van vrije ruimte dan fietsers (zie **bijlage 6** figuur 2) dus de tunnel hoeft hier niet **apart** voor worden **aangepast**. Om te voorkomen dat hulpdiensten **net** bijvoorbeeld busjes in de tunnel vast **komen** te **zitten**, moet de **maximale doorrijhoogte** bij de verschillende hulpdiensten bekend zijn. Voor de duidelijkheid kan worden overwogen om borden te plaatsen die de **maximale doorrijhoogte** aangeven.

4.7 Verharding

Normaal gesproken is er een **funderingslaag** nodig voordat de verharding wordt aangebracht. Omdat in de **tunnel** het fietspad op de bodem van de tunnel **rust** is er daar geen **funderingslaag** nodig. Nadat er een **kleeflaag** is aangebracht wordt er een laag van 7 **centimeter** STAB aangebracht. Hierna wordt er weer een **kleeflaag** aangebracht met daarop de deklaag van 2 centimeter dik. De deklaag van het fietspad zal zowel in de toeritten als in de tunnel bestaan **uit** het typisch **oranje/rood** gekleurde **asfaltbeton**. Hierdoor wordt de tunnel herkenbaar voor **gebruikers**. Het voetpad **en** de **vrije** strook aan de andere **kant** van het fietspad zijn betegeld met trottoirtegels waardoor **er** een duidelijke scheiding **ontstaat tussen** fiets- en voetpad. De tegels zijn ingesloten tussen een trottoirband **zodat** de tegels na een tijdje niet uit elkaar drijven.

4.8 Markering

Het fietspad zal vier meter breed worden waardoor vier fietsers **gemakkelijk** naast elkaar **kunnen** rijden. Volgens de richtlijnen van het handboek “**wegontwerp**” wordt het fietspad voorzien van **thermoplastisch markeringsmateriaal**. In het midden van het **fietspad** wordt een onderbroken streep aangebracht van 100 bij 10 centimeter. Met een **hart** op hart afstand van 4,50 meter. Aan de weerszijde van het fietspad zal een ononderbroken streep de zijkanten van het fietspad aangeven. Ook deze streep zal 10 centimeter breed worden. Aan het eind van de tunnel aan de kant van de J. de Deckerstraat zal met de **kruising** met de fietspaden naar de **erftoegangsweg** van de geplande bebouwing haaiantanden worden aangebracht.

4.9 Sparing in het tunneldak

In het tracé van de tunnel is een **deel** waar geen **sporen** overheen gaan. Hier staan gebouwen om het treinverkeer te regelen, waaronder Post T en een **wisselcomplex** dat rond de tunnel een vernauwing **heeft**. Dit biedt de **mogelijkheid** om een sparing in het **tunneldak naar** het maaiveld te creëren waardoor er daglicht de tunnel **in** komt. Dit heeft verschillende voordelen. De **tunnel** doet **minder** claustrofobisch aan, **er** is meer licht in de tunnel en de **tunnel** lijkt korter.

Post T **en** een aantal andere gebouwen **van** Prorail zijn nu toegankelijk met de auto. Dit zal in de toekomst niet **meer** het geval zijn. **Over** de **sparing** hem zal een voetgangersbrug worden gebouwd, waardoor de **mensen** die daar werkzaam zijn hun auto ten noorden van de **sparing** moeten parkeren en **maximaal** 100 meter moeten lopen. De sparing zal **met** een stalen hekwerk worden afgesloten die doorloopt over de voetgangersbrug.

Om ervoor te zorgen dat de betonnen wanden de grond en het gewicht **van** de treinen **kunnen** keren **zullen er** twee stalen stempels worden aangebracht. De stempels zullen aantrekkelijk worden afgewerkt, om deze manier worden de **stempels** ook **beschermd** tegen weersinvloeden **van** buitenaf. In bijlage 3 is de **sparing** in het **tunneldak en** de voetgangersbrug weergegeven. Voor de afmetingen en plaatsing van de stempels zijn aannames **gedaan**, de **constructieve berekening** hiervan **valt buiten** dit verslag.

4.10 Treinverkeer

De tunnel kruist een aantal sporen ten **zuiden** van Centraal Station Utrecht. De **grondkeringen** die bij het begin van de **toeritten** en rond het gat in het dak van de tunnel noodzakelijk zijn, moeten op gepaste afstand van het voorbij razende **treinverkeer** worden gebouwd. Het profiel van vrije ruimte voor treinen is weergegeven in bijlage 6 **figuur 3**. Om ervoor te zorgen dat ook bredere goederentreinen het spoor kunnen gebruiken is uitgegaan van het bredere profiel, **aangegeven** met het rode meetgebied.

4.11 Pompputten

Bij hevige neerslag zal voorkomen **moeten** worden dat toestromend regenwater de tunnel onder water zet. Het fietspad loopt vanaf het midden naar beide kanten met een **helling** van 2 % af. Het regenwater **loopt** dan in de regenwatergoten die gedeeltelijk in het **tunnelement** zijn opgenomen. Ook **het** trottoir en de **ruimte** aan de **andere** kant **van** het fietspad wateren af op de goten. De positie van de putten is gekozen bij de ingangen **van** de tunnel, het nut **hiervan** zal later blijken. De pompputten is **toegankelijk** via twee putten in de asfaltverharding van het fietspad.

Het regenwater wordt door de pompen door een buis gepompt die **aansluiting** vindt op het rioleringsstelsel. De benodigde capaciteit **van** de pompen is berekend. De berekening is weergegeven in bijlage 7, hieruit volgt dat er **per** pomp een capaciteit van 0,75 m³/uur vereist is. Dit **kan** gemakkelijk door **twee** kleine pompen **verpompt** worden.

4.12 Sociale veiligheid

Er zijn al een aantal maatregelen genoemd om de sociale veiligheid te garanderen. De schuin aflopende **wandelementen** moeten **hangen** in de **tunnel** tegengaan. De **sparing** in het dak van de tunnel moet meer natuurlijk licht toe laten treden waardoor de tunnel korter **lijkt** en **aantrekkelijker** wordt. Sociale controle op de **tunnel** is een belangrijk **om** ervoor te zorgen **dat** mensen het idee hebben dat ze nog gezien worden als er iets gebeurt. Er **kan** gedacht worden **om** een horeca gelegenheid op te **nemen** in de geplande bebouwing nabij de ingang van de **tunnel**. Dit moet dan **niet** een café zijn waar na sluitingstijd het feest in de **tunnel** doorgaat, maar een restaurant met terras vanwaar er zicht is de **tunnel** in.

Het is in ieder **geval** **niet** slim om een opvanghuis voor **drugverslaafden** naast de **fietstunnel** te openen zoals nu wel **het** geval is bij de v. Sijpesteijnsetunnel.

De tunnel zal **ook** schoon **gehouden** moeten worden. **Zwerfvuil** roept al snel een beeld op van onveiligheid. Ook **graffiti** wordt door veel mensen ervaren als onprettig. Het aanbrengen **van** graffiti **kan** worden tegengegaan door de **muren** te behandelen met een **antigraffiti** middel.

Er kan ook gedacht worden aan **verdergaande maatregelen**. Zoals **het** gebruik van blauwe lampen waardoor junks daar hun aderen niet kunnen vinden waardoor spuiten onmogelijk wordt. Maar ook de plaatsing van **camera's** kunnen de veiligheid vergroten, deze kunnen aan het plafond geplaatst worden zodat **vandalisme** minder kans krijgt. In de **tunnel** kunnen luidsprekers **geïnstalleerde** worden **waaruit** rustgevend muziek klinkt zoals in de **nieuwe fietserstunnel** in Apeldoorn.

Eén van de laatste middelen is om de **tunnel** 's **nachts** af te sluiten, dit is wel arbeidsintensiever en dus **duurder**.

4.13 Ventilatie

De voertuigen die uitlaatgassen produceren en **van** de **tunnel** **gebruik** zullen maken **zijn**, brom- en snorfietsen en een auto **van** **een** hulpdienst in geval van een **calamiteit**. De tunnel is onderbroken door een **sparing** in het dak, hierdoor hebben **uitlaatgassen** de mogelijkheid om de **tunnel** te verlaten. Toch blijven **er** twee dichte **tunneldelen** waarvan de **langste** zo'n 60 meter is. De **kans** dat er een file ontstaat is **ongebruikelijk** voor een **fietserstunnel**, er zal dus altijd doorstroming en **verplaatsing** van lucht **zijn** doos **voorbijrazende** (brom-)fietsers. Een ventilatie systeem is daardoor **niet** nodig.

5. Keuze van de uitvoeringsmethode

Het **programma** van eisen stelt beperkingen **aan** de **uitvoeringsmethode** die zal worden toegepast. De belangrijkste eis die duidelijk **betrekking** heeft op de **uitvoeringsmethode** is de volgende:

Prorail stelt als eis dat het spoorverkeer tijdens de aanleg van de tunnel gewoon door kan gaan en geen hinder **ondervindt**. De vier sporen ten westen van post T hoeven echter niet in stand te blijven tijdens de **aanleg**. Volgens **Prorail** kan het **weinig**e treinverkeer dat daar rijdt tijdelijk omgeleid worden net ten oosten van post T.

In het ontwerp is een sparing in het dak van de tunnel opgenomen. De tunnel bestaat dus eigenlijk uit twee **aparte** tunnels met **daar** tussen een U-vormige **bakprofiel**. Het **spoorlichaam** kan vanaf de kant van de J. de Deckerstraat worden afgegraven tot **aan** het begin van de oostelijke tunnel. Hierdoor kan vanaf deze **kant** de tunnel goed bereikt worden **en** is **er** veel **ruimte** beschikbaar. Aan de andere kant van de oostelijke tunnel is dit niet het geval. Hier komt de tunnel uit in een **erftoegangsweg**.

De manier van **aanleggen** van de rest van de tunnel ligt eigenlijk voor de hand. Het tracé kan worden afgegraven en de tunnel kan in prefab delen worden aangevoerd. De nadruk zal dan ook **duidelijk** liggen bij de **vraag** hoe de **oostelijke tunnel** uitgevoerd moet worden. Aspecten die daarbij spelen **zijn** de **locale omstandigheden** zoals de hoogte **van** de grondwaterstand en de grondslag. De te verwachte geluidsoverlast en de beschikbare ruimte kunnen allemaal reden geven om te kiezen voor een bepaalde **uitvoeringsmethode**.

Met een **multicriteria** analyse **kunnen** de besproken **uitvoeringsmethoden** tegen elkaar worden afgewogen. In tabel 5.1 is **deze** weergegeven. Hierin staan de **verschillende** nadelen opgesomd waarbij bij **ieder** **nadeel** is aangegeven hoe zwaar deze weegt.

Tabel 5.1 Multicriteria analyse

Criteria	Hulpbruggen met vijzels	Duw- en trekmethode	Bevriezing van de grond	Boormethode	Buizendakmethode
Diepte ten opzichte van spoor	-	-	---	---	-
Gebonden aan cirkelvormig tunnelprofiel	+	+	+	---	+
Geluidsoverlast	---	-	-	-	-
Kosten	-	---	---	---	---
Mate van buiten dienststelling	---	-	---	+	+
Lengte toeritten	-	-	-	---	-
Totaal	9	6	10	12	5

Een **plusje** betekent dat het nadeel niet voorkomt bij de betreffende uitvoeringsmethode en de **minnetjes** geven aan hoe groot het nadeel is. De **waardingen** worden bij elkaar opgeteld waardoor voor iedere **uitvoeringsmethode** een totaalscore ontstaat. De methode die de laagste **totaal** score heeft is **dan** de meest geschikte methode.

De **buizendakmethode** heeft het beste gescoord. Deze methode wordt echter op de voet gevolgd door de **duw- en trekmethode**. Het doorslaggevende argument om te kiezen voor de **buizendakmethode** is dat deze kan worden uitgevoerd zonder dat het treinverkeer daar last van heeft. De tunnel zal in Utrecht worden gebouwd onder één van de **drukst** bereden sporen van Nederland. Het is hier niet mogelijk het treinverkeer te onderbreken. Om deze reden is voor de toepassing van de **buizendakmethode** gekozen.

6. Buizendakmethode

6.1 Inleiding

De **buizendakmethode** is een nieuwe **uitvoeringmethode** om een onderdoorgang te realiseren onder een spoorbaan door, zonder hierbij het treinverkeer te hinderen. De opdrachtgever was **Prorail** waarna het project is uitgevoerd door de combinatie **Buizendak tunnel Snijpling vof**. De combinatie bestond uit:

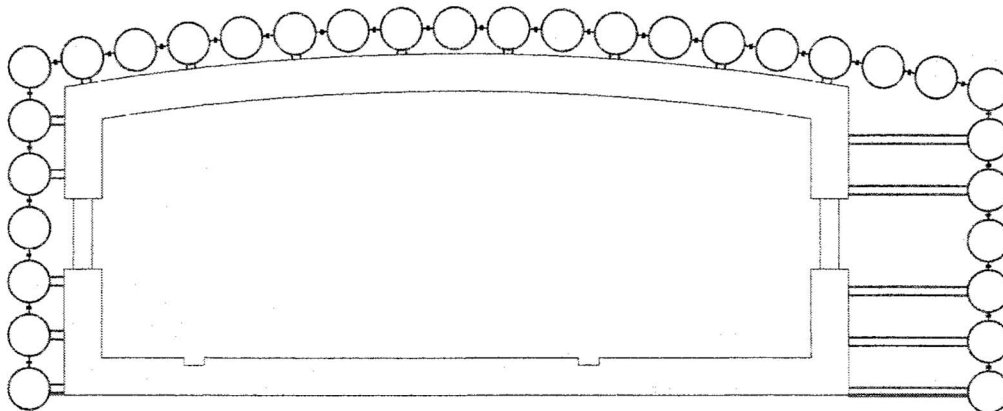
- Ingenieurs- en adviesbureau Holland Railconsult
- Strukton Infratechnieken
- Heijmans Beton- en Waterbouw
- Civiele technieken De Boer

Prorail bestede een uitgebreid **onderzoek** uit aan Holland Railconsult die op zijn beurt de bovengenoemde onderaannemers inschakelde. Het project zou eigenlijk openbaar aanbesteed moeten worden, maar omdat de betrokken partijen al zoveel **vooronderzoek** en specifieke kennis hadden ontwikkeld zou dit niet logisch zijn. Het project is daarom rechtstreeks gegund aan de betrokken **partijen** op basis van prijsopgave van het ontwerp en de bijbehorende risico's. **Opvallend** aan **het** contract **is** dat alle risico's gedragen worden door de **uitvoeringscombinatie**, ook risico's die normaal gesproken onder de verantwoordelijkheid van de opdrachtgever vallen zoals omgevingsrisico's.

M d de buizendakmethode is in Deventer een **fietserstunnel** gerealiseerd ter vervanging van een overweg. De **tunnel** heeft een **doorrijhoogte** van minimaal 2,50 meter **en** heeft een inwendige breedte van 4,50 meter. Het gesloten tunneldeel heeft een lengte van 13,50 meter. Het dak van de tunnel **heeft** in de **dwarsrichting** een gewelfd plafond. Deze boog heeft een gunstig effect op de betonconstructie, doordat een groter deel van de optredende belasting zijwaarts kan worden afgedragen **naar** de verticale wanden van de **tunnel**. Tijdens de uitvoering van de tunnel is gebruik gemaakt van lichte bemaling.

6.2 Buizendak

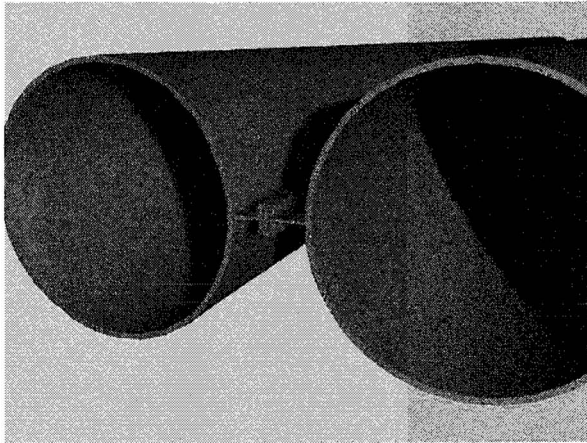
Om de fietserstunnel te kunnen bouwen is gebruik gemaakt van een buizendak. Er zijn eerst **stalen** buizen door het dijklichaam **van** de spoorbaan heen geperst. Deze stalen buizen vormden op een bepaalde afstand de omtrek van de te plaatsen tunnelelementen, zie **figuur 6.1**. De buizen die het dak vormden, zijn circa 1 meter onder bovenkant spoor aangebracht.



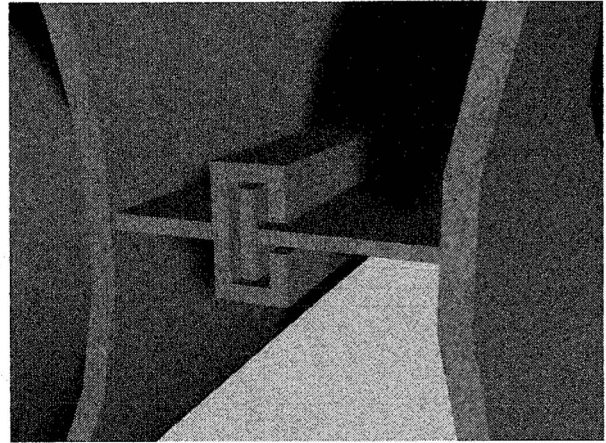
Figuur 6.1 buizendak rond een tunnelsegment

figuur: J. Westhof

De buizen **zijn** verbonden **aan** elkaar doormiddel van **grondkerende** sloten. Een detail **van** het bedoelde slot is opgenomen in figuur 6.2.

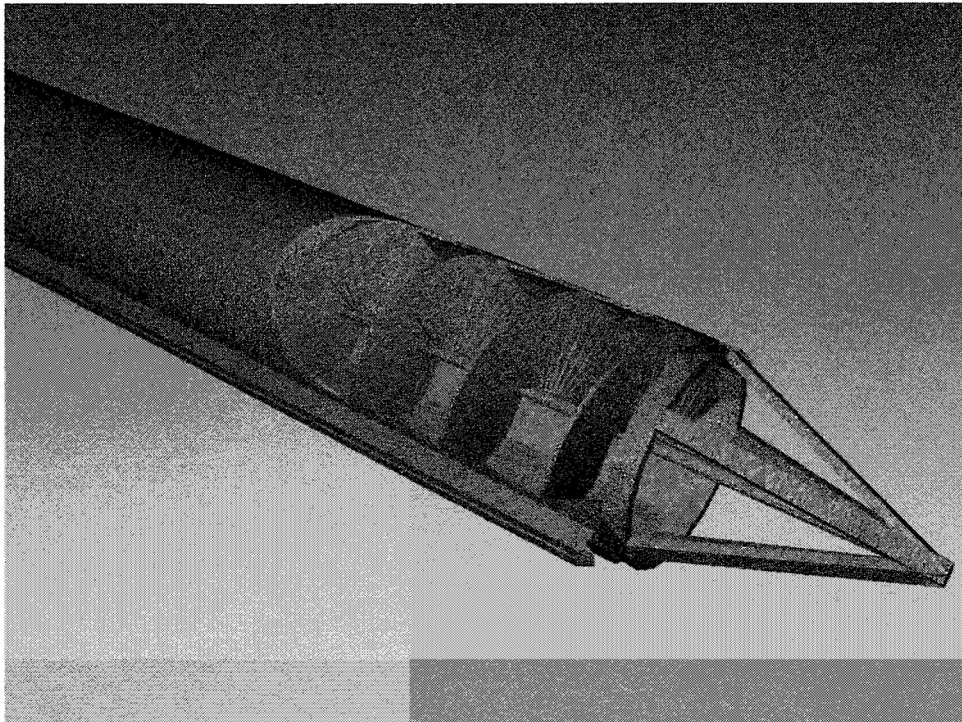


Figuur 6.2 Grondkerend slot van het buizendak
 Linker slot: 'vrouwelijke buis'
 Rechter slot: 'mannelijke buis'



figuur: J. Westhof

Om er voor te zorgen dat de buizen op de juist geplaatst geperst werden, zijn er eerst pilotbuizen vanaf de andere kant door het grondlichaam heen gedrukt. Deze buizen zijn hol en hebben een diameter van 60 mm met in de kop een reflector waarnaar men tijdens het persen met een total station kan kijken. Op deze manier kan gecontroleerd worden of de pilotbuis wel het gewenste traject volgt, in dit geval haaks op het dijklichaam. De kop van de pilotbuis is voorzien van een metalen plaat die kan worden bestuurd vanaf de persinstallatie. Door de metalen plaat te draaien kan de pilotbuis gestuurd worden. De stalen buizen waren aan de voorkant voorzien van een tijdelijke stalen piramidevormige kop met spaken, zie figuur 6.3.



Figuur 6.3 Opengewerkte stalen buis met avegaar en geleide kop

figuur: J. Westhof

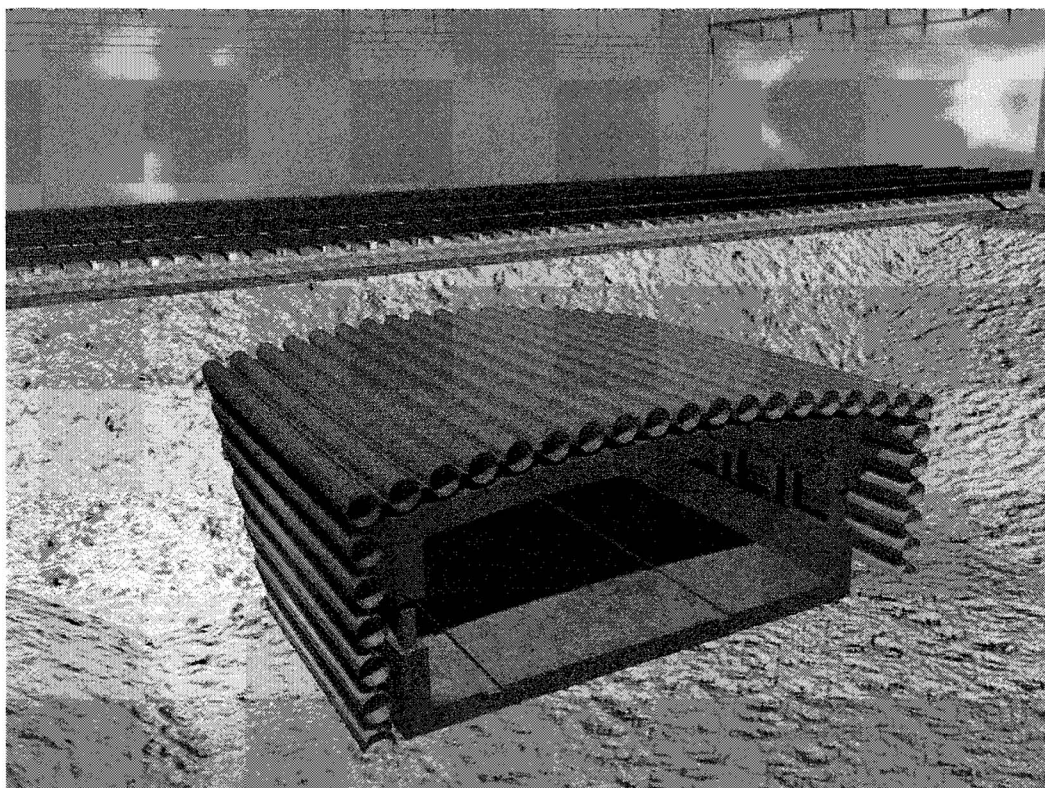
Als een pilotbuis de andere kant van de spoorbaan heeft bereikt, kan vanaf de andere kant, wat vanaf nu de ontgravingskant genoemd zal worden, een stalen buis geperst worden. Eerst zijn alle 'vrouwelijke' buizen geperst, waarbij vanuit het midden is begonnen om de kans op fouten te minimaliseren. Daarna zijn de 'mannelijke' buizen geperst, deze werden door de sloten van de vrouwelijke buizen heen geleid. Om die reden was er voor de 'mannelijke' buizen geen pilot boring meer nodig.

De kop van de stalen buis volgt tijdens het persen **het tracé** van de pilot buis, omdat **hij** de **weg** van de **minste weerstand kiest**. Hierbij **drukt hij** de pilot buis voor zich uit die er aan de andere **kant van** de spoorbaan **langzaam** weer uitkomt. De pilot buis is **aangebracht** door de grond te verdringen, dit is door de **geringe** diameter van de pilot buis mogelijk. De **stalen** buizen daarentegen **hebben een** uitwendige diameter van 457 mm. De buizen **zijn** te dik om de grond te verdringen, Daarom wordt de **grond** door de **spaken** van de kop heen gedrukt en door een roterende avegaar afgevoerd naar de **ontgravingszijde van de spoorbaan**. Door het toepassen **van deze** methode kunnen de stalen **buizen** zeer precies op hun **plaatst gedrukt worden**.

De 'vrouwelijke' sloten die op de buis **gelast** zijn, zijn aan de voorkant voorzien **van** tijdelijke stalen punten om ervoor te **zorgen dat er geen grond** in de sloten komt. Dit zou het persen van de stalen buis **anders** aanzienlijk zwaarder **maken** en **er zou grond** in het slot **komen**. Voor het persen van een gewone ronde buis door een damwand heen zijn speciale voorzieningen beschikbaar **waardoor dat** mogelijk is. Vanwege de **sloten aan weerszijde van** de buis **kan** dit niet, de buizen worden **daarom** door het natuurlijk talud **van de spoorbaan heen** geperst.

6.3 Tunnelementen

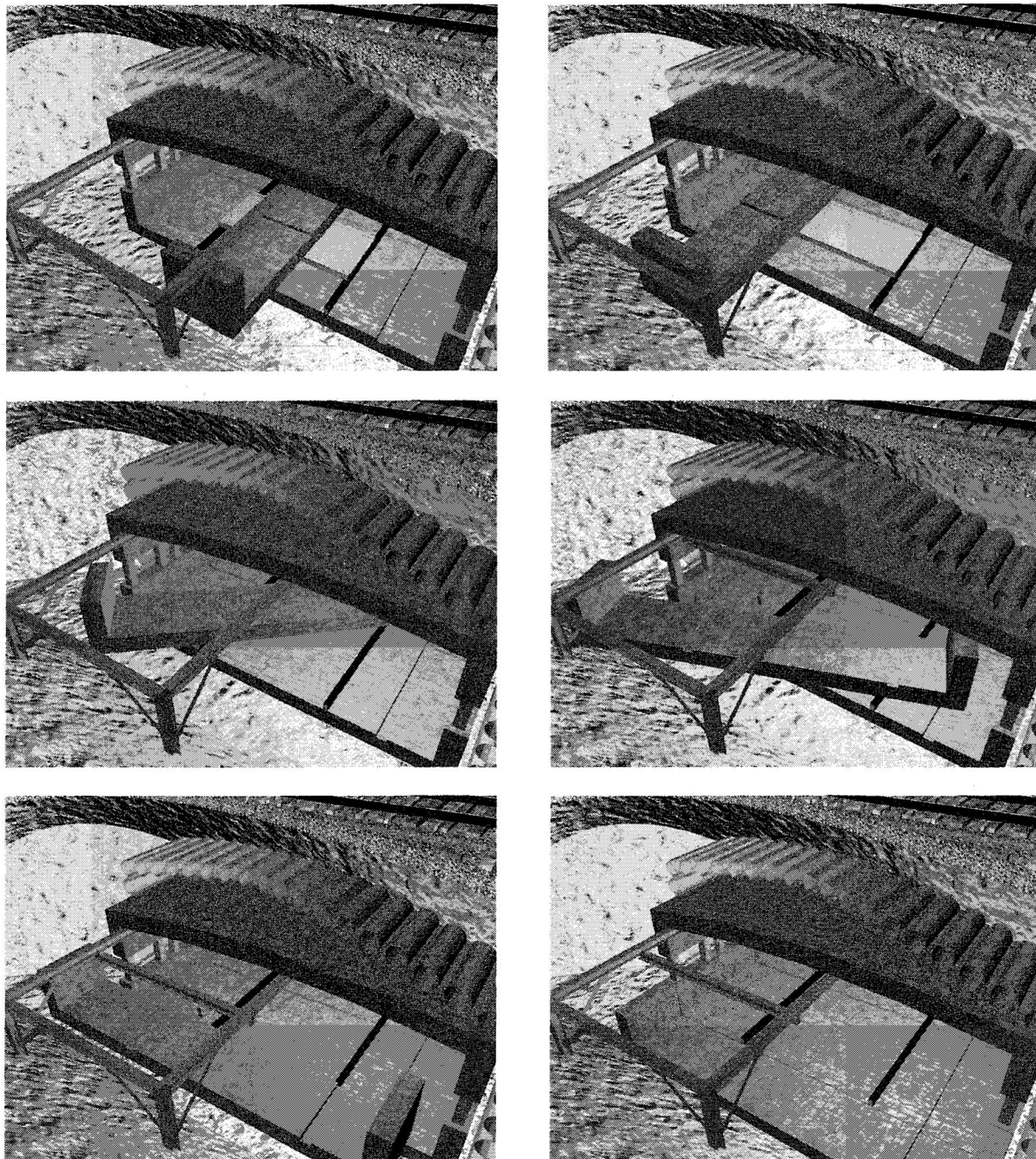
Na het aanbrengen **van de** buizen kan begonnen worden **met** het aanbrengen van de **tunnelementen**. Eerst worden de buizen aan de ontgravingszijde **ondersteund** door tijdelijke vijzels die onder **de buizen** worden geplaatst. **Aan** de andere **kant** wordt het **buizendak** gedragen door **het grondlichaam van de spoorbaan**. **Daarna** wordt aan de **ontgravingszijde als** tijdelijk ondersteuning een aantal **tunnelsegmenten** geplaatst om de ondersteuning van de vijzels over te nemen, zie figuur 6.4.



Figuur 6.4 Tijdelijke ondersteuning van het buizendak door tunnelsegmenten figuur: J. Westhof

Een tunnel **segment** is 1,5 meter lang en **bestaat** uit twee **d e l g** een **bodemstuk** en een **plafondstuk** met **daar** tussen stalen **kolommen**. Als de **tijdelijke segmenten** zijn geplaatst kan een moot van 1,5 meter **grond** onder **het buizendak** **ontgraven** worden door minigravers, daarbij **blijft** het **ontgravingsfront** zijn **natuurlijk talud** **steeds** **behouden**. Zo **ontstaat er** ruimte om het volgende **tunnelsegment** op zijn definitieve plaats te zetten. **Op de al** geplaatste **bodemstukken** wordt een rails bevestigd waarover het volgende **tunnelement** door de tunnel naar zijn plaats wordt **vervoerd**. **Hiervoor** moeten de

verschillende elementen 90 graden gedraaid op de rails worden gezet. Nadat steeds weer een stuk is ontgraven onder het buizendak kunnen een bodem- en een plafondstuk geplaatst worden. Het bodemstuk wordt van het treinstel opgetild door een hijsinstallatie die gedeeltelijk op het vorige bodemstuk rust en gedeeltelijk in het natuurlijk talud van het ontgravingsfront rust. In figuur 6.5 is de grond en de spoorbaan boven de tunnel verwijderd om zo te kunnen zien welke stappen nodig zijn om een bodemstuk op zijn plaats te krijgen.



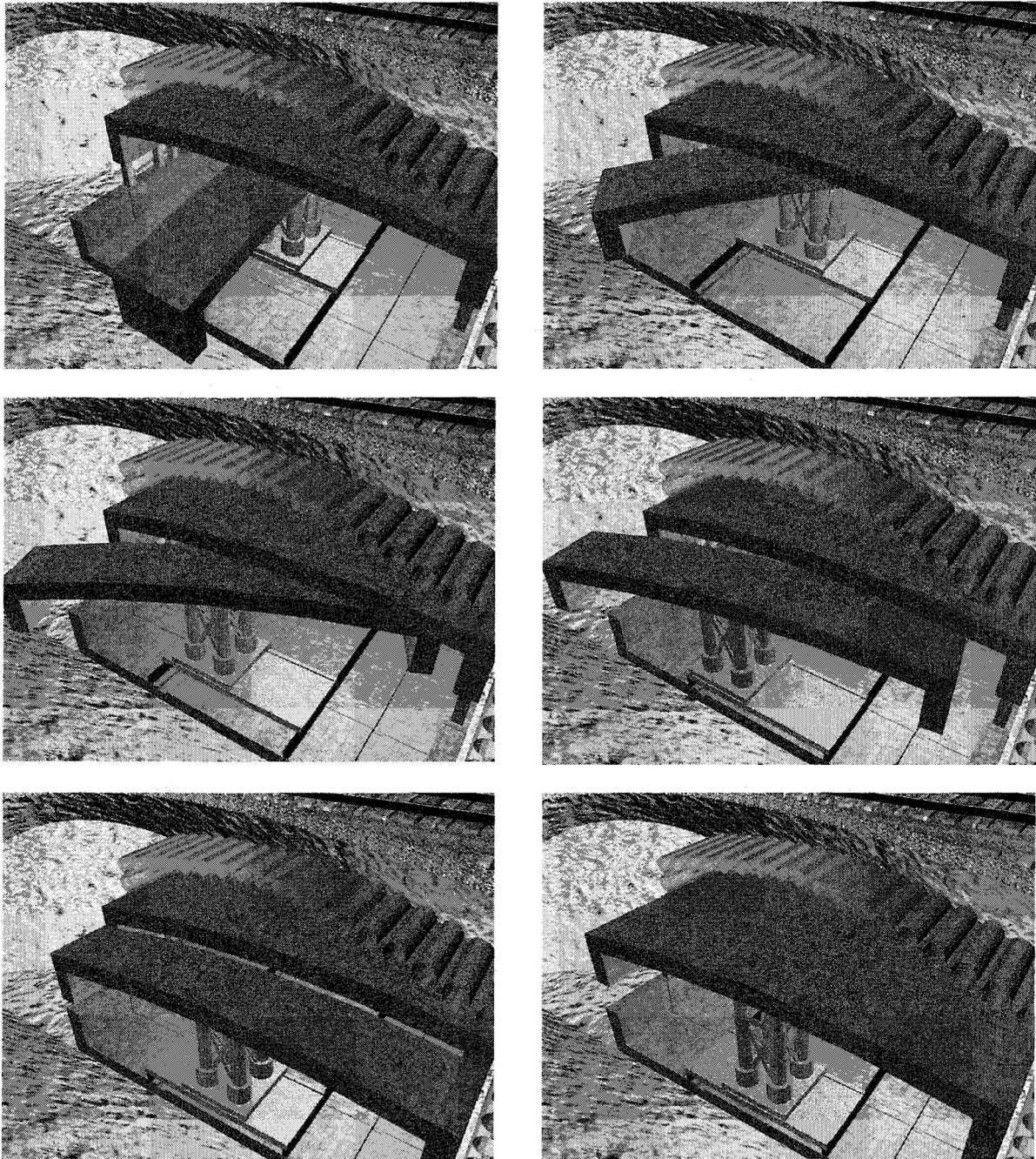
Figuur 6.5 Manoeuvreren van een bodemstuk aan het ontgravingsfront
Om het figuur overzichtelijk te houden zijn de voegprofielen weggelaten.

figuur: J. Westhof

In de dwarsrichting gezien is het buizendak aan één kant breder dan de omtrek van de tunnelementen, zie figuur S.I. Dit is gedaan zodat de tunnelementen de draai kunnen maken van 90 graden om op de juiste positie te kunnen in nemen.

Als de tijdelijke tunnelsegmenten aan het begin van de tunnel niet meer nodig zijn, omdat het buizendak op de later geplaatste segmenten rust, worden de te ver uitstekende buizen van het buizendak afgezaagd ter hoogte van het eerste definitieve tunnelsegment.

Nadat het bodemstuk is geplaatst wordt de hijsinstallatie die op wielen staat de tunnel uitgereden en kan het plafondstuk met het treinstel de tunnel ingereden worden. Op het treinstel is nu echter een draai- en vijzelinstallatie geplaatst, als het plafond de tunnel is ingereden wordt hij gedraaid en omhoog gevijzeld, zie figuur 6.6.



Figuur 6.6 Manoeuvreren van een plafondstuk aan het ontgravingsfront
Om het figuur overzichtelijk te houden zijn de voegprofielen weggelaten.

figuur: J. Westhof

Daarna worden er tussen het bodem- en plafondstuk vier stalen hulpkolommen geplaatst om het plafondstuk op zijn plaats te houden. De tunnelelementen dragen steeds het buizendak, daarom zullen ze horizontaal en verticaal gefixeerd moeten zitten aan het buizendak. Voordat een bodem- en een plafondstuk geplaatst worden, wordt er aan de kant waar de verticale buizen van het buizendak het

dichtst bij de **tunnelementen** komen, **hulpkolommen** aan de buizen gelast. Ook **het** plafond wordt voorzien van **hulpkolommen**, via deze kolommen wordt de kracht die op het **buizendak** staat overgebracht op de **tunnelsegmenten**. Als er **een** bodem- en een **plafondstuk** geplaatst zijn, kunnen de kolommen aan de andere zijkant van het **tunnelement** geplaatst worden. Omdat de **ruimte** tussen de buizen van het buizendak en de **tunnelementen** hier groter is vanwege de **ruimte** die de elementen nodig hebben om te kunnen draaien, kan dit deel gemakkelijk betreden worden om de hulpkolommen te plaatsen. **Het** plaatsen van een **tunnelsegment** wordt in één dag uitgevoerd.

Om de tunnel waterdicht te **maken** zijn de **tunnelsegmenten** voorzien van een ingestort voegprofiel. Dit voegprofiel wordt **samengedrukt** door het aan te sluiten **tunnelsegment daar** tegen aan te drukken. Deze methode is in de praktijk erg tegengevallen, het heeft de aannemers veel moeite gekost om de voegen goed waterdicht te **krijgen**. In de **sparing** tussen het **bodemstuk** en het **plafondstuk** worden de **voegprofielen** verbonden **aan** de **van** te voren ingestorte staalplaten in de bovenzijde van het **vloerelement** en de onderzijde van het **dakelement**. De **sparing** tussen de prefab elementen werd in **één** keer **gestort** om de **waterdichtheid** te vergroten en **zittingsverschillen** de **minimaliseren**. Als extra voorzorg werden in de **stortnaden** **injectieslangen** ingestort, **waardoor** **injectievloeistof** kan worden ingebracht **als** dat nodig mocht zijn.

Het **buizendak** draagt dus de **bovenbelasting** die steeds overgedragen wordt aan het laatst geplaatste **tunnelsegment** en het **dijklichaam waar** de buizen doorheen **zijn** geperst. De **tunnelementen** kunnen **niet** langer **zijn** dan 1,5 meter, omdat de buizen die op dat moment de **bovenbelasting** dragen een grotere overspanning **niet kunnen** dragen. Als **het buizendak** niet de **gunstige boogvorm** had gehad dan zouden de **tunnelsegmenten** nog minder breed zijn geweest.

De **tunnel** is gefundeerd op staal, voordat ieder **tunnelement** geplaatst wordt de grond verdicht met een **trilplaat**. Het komt mede door de lage **zittingsgevoeligheid** van de ondergrond dat dit mogelijk is. Daardoor **zijn** geen **zettingen** te verwachten veroorzaakt door de bovenbelasting. Bij de oplegging van het buizendak in het Lichaam **van** de spoorbaan is dit anders. Van te voren is met het programma **Plaxis** berekend dat de spoorbaan te veel zou zakken door de doorbuiging van de buizen zodat het treinverkeer **niet meer** zou **kunnen** passeren. De spoorbaan moest om een bepaalde hoeveelheid tijd onderstopt worden met extra ballast om de **zakking** op te heffen. Dit werd met de hand uitgevoerd omdat de speciale treinstellen die hiervoor ontwikkeld zijn het treinverkeer zouden hinderen.

Tegen de tijd dat de laatste **tunnelsegmenten** geplaatst moesten worden kon het **grondlichaam** van de spoorbaan de **bovenbelasting** en het eigengewicht van de buizen **niet meer** dragen. **Het** buizendak is daarom aan het eind ondersteund door **vijzels**.

Nadat alle **tunnelsegmenten** gereed waren gekomen, kon de **ruimte** tussen het plafond- en **bodemstuk** voorzien worden van **wapening** en bekisting waarna het gestort kon worden.

6.4 Afwerking

De ruimte tussen het buizendak **en** de **tunnelsegmenten en** de holle buizen van het **buizendak** werd opgevuld met dammer.

Dämmer is een **vulmiddel** op **cementbasis**, het is samengesteld uit CEM I of CEM II met **een** hoog gehalte aan kalk en mergel **dat** hydraulische eigenschappen **heeft**. Het is een **kant en** klaar product waar alleen nog water aan toegevoegd moet worden. De **samenstelling** is zodanig dat er geen ontmenging ontstaat ongeacht of het in **aanraking** komt met water. **Omdat het** aanmaakwater volledig wordt gebonden is het **materiaal krimparm**. Het biedt een goede bescherming tegen corrosie **en** is onverharde **en** verharde toestand **niet milieubelastend**.

De **bovenbelasting** wordt in de eindsituatie **niet** meer via de **hulpkolommen** overgebracht op de **tunnelsegmenten**, waardoor **een** beter spreiding van de belasting ontstaat.

Voor de bouw van de toeritten zijn **aan** de **tunnelsegmenten** **grondkeringen** gerealiseerd die langzaam minder hoog worden **naarmate** het verticaal alignment steeds verder **omhoog** komt. De wanden **zijn** afgewerkt met keramische tegels.

7. Toepassing van de buizendakmethode in Utrecht

7.1 Inleiding

Als de omstandigheden net zo zouden zijn als bij het pilot-project in Deventer dan zou er weinig aan de uitvoeringsmethode hoeven veranderen. Dit is niet het geval. De belangrijkste verschillen zijn:

- e De grondwaterstand staat in Utrecht een stuk hoger, zonder maatregelen zou de betonnen tunnel 20 centimeter onder water komen te staan.
- r Het gesloten deel van de geplande tunnel zal 58,50 meter lang worden in plaats van 3,50 meter.
- De grondgesteldheid is verschillend.

Deze verschillen zullen leiden tot aanpassingen aan de eerder beschreven buizendakmethode. Om een beter beeld te krijgen van de toe te passen mogelijkheden zal eerst de grondgesteldheid onderzocht worden.

7.2 Grondgesteldheid

In 2001 is door van Dijk Geo- en Milieutechniek b.v. een cilindrische elektrische continue sondering uitgevoerd op 300 meter afstand van de geprojecteerde tunnel. Aangenomen wordt dat de grondgesteldheid gelijk is op de beide locaties. De sondering is weergegeven in bijlage 8 en is gebruikt om de grondslag te bepalen,

De bodem bestaat uit 3,25 meter veen met daaronder een pakket van 3,50 meter gemiddeld zand. Deze sondering is niet op de projectlocatie uitgevoerd, maar in de directe nabijheid daarvan. Op de plaats waar de tunnel gepland is, zijn een grote hoeveelheid sporen aangelegd, die een draagkrachtige ondergrond vereisen. Het zou dan ook niet te verwachten dat de spoorbaan op de ruim drie meter dikke veen laag is gebouwd. In dit soort situaties zal er grondverbetering zijn toegepast. Zeker vanwege de aanwezigheid van het draagkrachtige onderliggende zandpakket. Er wordt daarom aangenomen dat de veenlaag is vervangen door gemiddeld zand.

7.3 Bouwkuipen

Aan beide kanten van de te bouwen tunnel zullen bouwkuipen gegraven worden. De tunnel zal vanaf de afgravingszijde worden gebouwd, hier zullen dan ook de meeste activiteiten plaats vinden. Deze locatie kan voor het bouwverkeer het beste bereikt worden via de Mineurslaan. Deze laan heeft een afslag vanaf de Croeselaan en loopt voor het grootste deel evenwijdig aan de sporen naar de bouwlocatie. De route loopt niet langs of door een woonwijk waardoor overlast beperkt blijft.

Als de uitvoeringsmethode zal worden toegepast zoals in Deventer dan zouden er vanwege de aanwezigheid van de hoge grondwaterstand problemen ontstaan. De precieze hoogte van de grondwaterstand ten opzichte van de tunnel is te zien in bijlage 3. Het eerste probleem ontstaat bij het persen van de buizen die onder de grondwaterstand moeten komen. De persinstallatie die de stalen buizen gaat persen, kan niet onderwater neergezet worden. Tevens kan vanwege de lengte van de tunnel niet één lange buis geperst worden. Om aan zo'n lengte te komen zal de buis verschillende keren verlengd worden door er een nieuw stuk aan te lassen. Om dit steeds te kunnen doen zal de grondwaterstand verlaagd moeten worden.

Om het persen mogelijk te maken, zal de perskuip worden bemaald. Aan de ontgravingszijde is erg veel ruimte en daar zal de perskuip worden gevormd door natuurlijk aflopende taluds. De grondwaterstand zal in de kuip 1,4 meter worden verlaagd. Bemaling is hier mogelijk waarbij een vergunning vereist is voor het onttrekken van grondwater voor de duur van ongeveer 4 weken. In deze vier weken moeten de buizen die onder de grondwaterspiegel moeten komen, worden

geperst en een folieconstructie worden aangebracht, de folieconstructie zal worden besproken in hoofdstuk 7.5. De grondwaterstand verlaging zou invloed kunnen uitoefenen op de omliggende bebouwing. Om te bepalen of deze invloed reikt tot aan de bebouwing zal deze worden berekend met de formule van Sichard. De uitkomst hiervan is dat er een invloedsstraal ontstaat van 42 meter. De berekening is opgenomen in bijlage 9.

Binnen deze straal rond de perskuip staan geen (oude) gebouwen die last zouden kunnen hebben van het dalen van de grondwaterspiegel. De spoorbaan zou door de bemaling wel kunnen zakken. De te verwachte zetting is berekend en weergegeven in bijlage 10. Uit de berekening volgt dat de zetting is $2,94 \cdot 10^{-4}$ meter is. Dit is verwaarloosbaar klein waardoor bemaling van de perskuip geen gevolgen heeft.

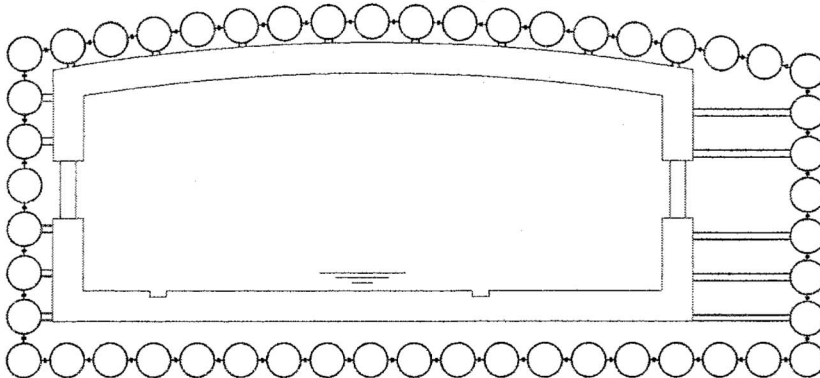
Bij de ontvangstuip is in de breedte echter minder ruimte ter beschikking. Daarom zal het doodlopende deel van de Nicolaas Beetsstraat tijdens de bouwwerkzaamheden niet toegankelijk zijn voor autoverkeer, op deze manier is er genoeg ruimte om het talud van de kuip op te laten lopen. Als het talud naar de gevels toe met een helling van 1 : 1 oploopt dan is er aan de kant van het belastingskantoor nog twee meter ruimte voor voetgangers. Deze helling wordt alleen gehandhaafd tijdens de uitvoering, in de definitieve situatie zal de helling 1 : 2 worden. Door het afsluiten van de Nicolaas Beetsstraat kan werkverkeer gemakkelijk de ontvangstuip bereiken en is er genoeg plaats voor het opslaan van materiaal en materieel. De andere twee begrenzings van de kuip zullen gevormd worden door een flauwer talud. Het aflopende talud naar de ontvangstuip maakt het gemakkelijk om voor materieel de kuip te bereiken. In bijlage 4 is een tekening opgenomen met daarop de exacte ligging van de verschillende bouwkuipen.

Net voordat de tunnel de ontvangstuip bereikt kruist hij de Adema Scheltamabaan. Dit is een busbaan evenwijdig aan het spoor. Voordat er begonnen wordt met het persen van de buizen zal er op een zondag een stalen prefab hulpbrug worden aangebracht. De bussen die wel op zondag rijden zullen die dag gebruik moeten maken van de Catharijnesingel. Voordat de busbaan vier jaar geleden gebouwd werd, reed al het busverkeer via de Catharijnesingel dus dit zal geen problemen opleveren. De hulpbrug is zo gevormd dat daaronder genoeg ruimte is om de tunnel te bouwen.

De bemaling van de ontvangstuip roept echter wel problemen op. Vooral de gebouwen aan de zuidzijde van de Nicolaas Beetsstraat hebben een verhoogd risico op schade als de grondwaterspiegel verlaagd zou worden. De gebouwen zijn al erg oud en maakte vroeger deel uit van het Academisch Ziekenhuis Utrecht. Het is daarom niet mogelijk om de ontvangstuip te bemalen. Voor dit probleem is een oplossing gevonden, dit zal in hoofdstuk 7.5 worden toegelicht.

7.4 Aanpassing van het buizendak

Het buizendak zoals dat bedacht is voor het pilot-project in Deventer is niet berekend op toestromend grondwater. Door de grondkerende sloten kan grondwater binnen treden, maar ook via de onderkant waar helemaal geen maatregelen zijn genomen. Voor de toepassing van de buizendakmethode in Utrecht is het originele concept aangepast.

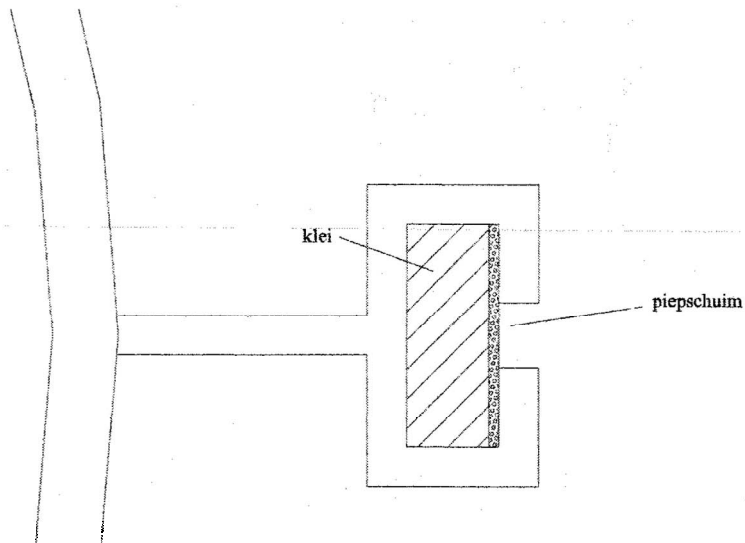


Figuur 7.1 Het aangepaste buizendak

figuur: J. Westhof

Er worden niet alleen buizen aangebracht **aan** weerszijden **en** boven de toekomstige tunnel, maar ook aan de onderkant, zie figuur 7.1. Omdat aan één kant van de tunnel **het buizendak** breder is en de buizen een gesloten omtrek moeten maken is het onvermijdelijk om bepaalde sloten iets langer te maken dan andere. Hierdoor liggen de buizen daar iets verder uit elkaar dan op andere **plaatsen**. Dit is lastig tijdens het lassen van de sloten op de buizen en de logistiek die voorafgaat aan de persing van de buizen.

De **grondkerende** sloten worden vervolgens voorzien van een **opvulling** van **klei** om ervoor te **zorgen** dat ze naast grondkerend ook waterkerend zijn. Om dit te realiseren worden de buizen **met** de 'vrouwelijke' sloten, die als eerste worden aangebracht, voorzien van een piepschuim (**polystyreen**) strip, zie figuur 7.2.



Figuur 7.2 Detail van de waterkerende voorziening

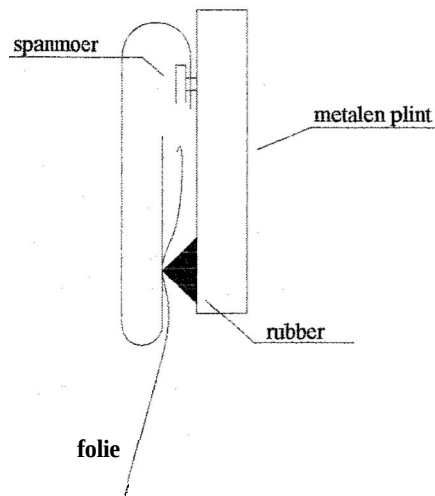
figuur: J. Westhof

Het **piepschuim** zorgt ervoor dat de van te voren aangebrachte klei tijdens het persen op **zijn** plaats blijft. Omdat de sloten zijn voorzien van messen **aan** de voorkant kan de klei er niet uitgedrukt worden. Als de buizen met de 'vrouwelijke' sloten geperst zijn, zullen de buizen met de '**mannelijke**' sloten geperst worden. Ook deze sloten **zullen** voorzien worden van een stalen messen om zo door de klei en het piepschuim heen te persen. Om te bepalen hoeveel water er toch nog door de sloten heen stroomt wordt er **gebruik** gemaakt van de formule van Darcy. In bijlage 11 is deze berekening weergegeven, waaruit **blijkt** dat het te verwachte debiet $5,76 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{dag}$ is. Er zal dus weinig grondwater door de sloten heen komen.

7.5 Folieconstructie

Het grondwater kan wel via de in- en uitgang van de tunnel binnenkomen. Aan de **ontgravingskant** in de **perskuip** wordt er **gebruik** gemaakt van **bemaling**, maar omdat de rest van de **tunnelconstructie** die daar nog achteraan gebouwd moet worden, ook droog gehouden moet worden, zal er hier **gebruik** worden gemaakt van een **folieconstructie**. De folie wordt nadat de buizen zijn aangebracht **aan** het **buizendak** bevestigd met een waterdichte afsluiting **en** wordt aangelegd tot **aan** waar de toerit de grondwaterspiegel doorkruist. Dit **heeft** als voordeel dat de dure **bemaling** **niet** langer nodig is, ook niet gedurende de aanleg van de rest van de tunnel.

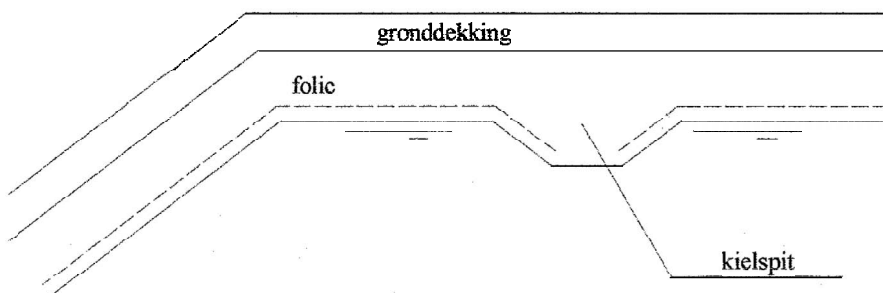
Aan het buizendak wordt een stalen plint aan de sloten gelast waarop een **klembalk** met **spanmoer** is bevestigd, zie figuur 7.3. Om ervoor te zorgen dat het water **niet** via de buizen binnen komt worden deze dichtgelast met ronde platen. Vanwege de **klemkracht** is de rand van de folie versterkt uitgevoerd door daar een met **kunststofweefsel** gewapend folie te **gebruiken**. Het folie wordt zo'n 15 centimeter de **klembalk** in geleid, mochten er **namelijk** zettingen ontstaan door het aanbrengen van de **gronddekking** voor de tunnel **dan** heeft het folie **speling** om iets uit de klembalk getrokken te worden.



Figuur 7.3 Klembalk met spanmoer

figuur: J. Westhof

Aan het einde van de buizen die de bodem van het **buizendak** vormen, maakt de plint een hoek van 90 **graden** langs de buizen en sloten tot boven de grondwaterstand. Vandaar **uit** sluit het aan op de zijkant van het **buizendak** totdat het talud **bereikt** is. Dit sluit weer **aan** op het folie dat **opgetrokken** is op het talud evenwijdig **met** de tunnel. Boven aan de taluds wordt de folie even weer onder de grondwaterstand gebracht om het zo op z'n plaats te **houden** met een zogenaamde **kielspit**, zie **figuur** 7.4. Om tijdens de bouw geen vertraging op te lopen zal het folie van tevoren op maat gemaakt met en worden.



Figuur 7.4 Bevestiging van een folieconstructie door een kielspit

figuur: J. Westhof

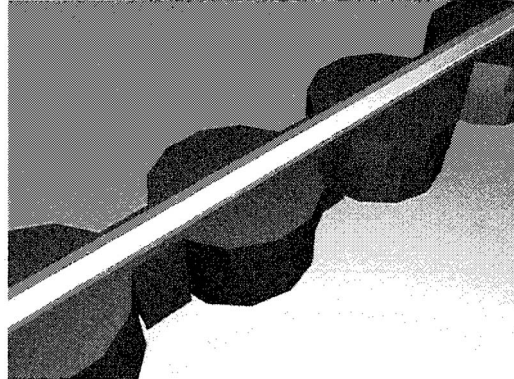
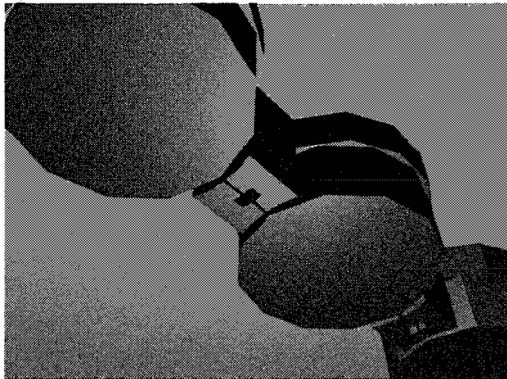
In de **ontvangstput** is **bemaling** echter niet **mogelijk**. **Het** persen van de pilot-boring is geen probleem omdat dit soort boringen ook met een boog aangelegd kunnen worden. De machine perst de pilot-buis onder een hoek de grond in waarna hij na het bereiken van de gewenste diepte horizontaal verder gestuurd wordt. Hierbij **kan** niet meer de eerder besproken techniek, waarbij er constant naar **een** reflector in de **pilotbuis** wordt gekeken, worden **toegepast**. Er zijn echter genoeg **andere** systemen die gebruik **maken** van sensoren **vlak achter** de boorkop. De gemeten **informatie bepaald** waar de boorkop zich bevindt **en** kan op deze manier worden gestuurd.

Nadat de **buizen** van het **buizendak** de **ontvangstput** hebben bereikt wordt de folieconstructie **aangelegd**. Het aanbrengen van **een folieconstructie** in een bouwkuip die onder water staat is **normaal** gesproken geen probleem. De folie moet echter **aan** de buizen van het buizendak vast gemaakt worden. Het aanbrengen van **een klemconstructie** zoals in de **perskuip** wordt hier beïnvloed door de **aanwezigheid** van het grondwater. Om de **klemconstructie** aan te brengen zijn twee oplossingen bedacht:

- De **klemconstructie** aanbrengen met **onderwaterlassen**
- Aanbrengen van de **klemconstructie** met behulp van rubber profielen

Onderwaterlassen is duur **en** vereist **speciaal** opgeleid **personeel**. Een voordeel is wel dat het daadwerkelijke **lassen** 1,5 meter onder de **waterspiegel** plaats **vindt**. Een nadeel is echter **dat** het zicht **onderwater minimaal** zal zijn.

Een andere oplossing is om de plint aan een **rubberprofiel** te monteren dat voor een waterdichte **afsluiting** zorgt met het **buizendak**. De rubber profielen zijn weergegeven in figuur 7.5.



Figuur 7.5 rubber profielen als overgang van buizendak naar folieconstructie

figuur: J. Westhof

De **profielen** worden van tevoren **gemaakt**, waardoor ze op de **bouw alleen** nog maar **aangebracht** hoeven te worden. Ze steken voor **tweederde in** het **buizendak en** omringen de grond-en waterkerende sloten **geheel**. De plint met **klembalk** en **spanmoer** is vervolgens bevestigd aan het **profiel**. Nadeel van **deze** oplossing is dat **het** erg kostbaar is de profielen te **maken** en een geschikt rubber te **ontwikkelen**. Als de **buizendakmethode** in deze variant echter veel vaker **toegepast** zou worden, **wou** het interessant **zijn** dit **verder** te ontwikkelen.

De **klembalk** met plint wordt bevestigd **door** middel van **onderwaterlassen**, hierbij is **er** de zekerheid dat het waterdicht wordt afgesloten en er is al veel **ervaring** opgedaan **met** deze **bevestigingsmethode**.

Om ervoor te zorgen dat het in het **afgegraven deel binnen** het **buizendak systeem** altijd **droog** zal zijn, zullen er **drainagebuizen** worden aangelegd op de "**buizendak-bodem**". Deze **zullen** hun opgevangen water lozen in twee pompputten die onder de grond bij de in **en** uitgangen van de tunnel zijn ingegraven. Op deze puiten komen ook de **afvoeren** van de **regenwatergoten** uit. **Het** regenwater dat in de **toeritten**, daar **waar** de **folieconstructie** zich **bevindt**, op de **verharding** komt zal via de goten de pompput bereiken. Het regenwater dat niet op de verharding valt zal worden afgevoerd door drains die op de bodem **van het** folie naar de **pompput** zijn aangelegd.

De folie vereist **een** bepaalde **gronddekking** om ervoor **te zorgen** dat de opwaartse kracht van het grondwater **het** niet laat opdrijven. Als de **tunnel eenmaal** in **gebruik** is dan **zal** er vanwege de asfaltverharding en de **trottoirtegels** **meer** gewicht op de **folieconstructie** staan. Dit is tijdens de **bouw** **echter** nog niet het **geval**, maar ook dan mag de **folieconstructie** niet opdrijven. Vandaar dat er in de volgende **berekening** alleen van **ophoogzand** wordt uitgegaan dat tot **aan** de bovenkant van de binnenkant **van de tunnelsegmenten** komt. Om **ruimte** te maken voor het **ophoogzand** kan de folk, als **dat** nodig is vanaf de **klembalk** de grond in gaan tot de vereiste diepte waarna **het** horizontaal **verder** loopt.

Het gewicht van het **ophoogzand** moet groter zijn dan de **opwaartse** kracht van het grondwater. Uit de **berekening** in bijlage 12 blijkt dat er een **gronddekking** van 0,4 meter vereist is. Het **aanlegniveau** is al groter dan de **gronddekking**, de folie kan dus **meteen al** iets omhoog komen tot de berekende **diepte en** zal met het verticale alignement bij de toerit **omhoog** gaan. Deze **berekeningen** geldt voor de **folieconstructies** van beide toeritten.

Omdat de pompputten wat lager liggen zal de folie ter plekke hiervoor iets dieper onder de grond komen. De folie waarop de **tunnelconstructie** **komt**, dat niet gebouwd wordt met de **buizendakmethode**, zal ook iets lager liggen dan nodig is. Dit is nodig **omdat** de drains die op de

bodem van het **buizendak** liggen horizontaal doorlopen **en** dat is op een lager niveau **dan** het vereiste niveau van de **folieconstructie**.

7.6 Persen van de buizen

Het persen van de buizen van het **buizendak** gebeurt, vanaf de bemaalde **perskuip** aan de **ontgravingszijde**. Als de buis **verder** de grond ingaat bereikt **hij** op een gegeven moment de grondwaterstand. Hierbij bestaat de **kans** dat het grondwater door de buis met **avegaar** heen komt. Hierbij is een beetje water niet erg, maar vanwege het goed waterdoorlatende zand zou de toestroom wel eens **aanzienlijk** kunnen **zijn**. Bij het bereiken van de **ontvangstput** is het niet zo dat de **buizen** die onder de grondwaterspiegel worden geperst in een natte bouwkuip terecht komen. Deze kuip zal dan nog niet tot onder de grondwaterspiegel ontgraven zijn.

Als tijdens het persen de toestroom van water te groot wordt kan de te persen buis onderdruk worden gezet. Een vergelijkbare methode wordt toegepast bij het bekende grondwaterdruckschild. Tussen de **persinstallatie** **en** de buis wordt een stalen **opvangruimte** geplaatst. Het gat waardoor de grond **de opvangruimte** binnen komt is kleiner waardoor de **kracht** van de pers overgedragen kan worden **naar** de stalen buis. In de **opvangruimte** **heerst** een druk die gelijk is aan de **waterdruk** die heerst aan de kop van de buis. In de **opvangruimte** wordt de grond **vermengd** met water **en** als mengsel onder druk weggezogen. Het weggezogen water wordt aangevuld door water onder druk toe te voegen.

Op het moment dat een buis geheel op zijn plaats is, moet voorkomen worden **dat** de buis water gaat onttrekken vanuit de **ontvangstput**. Net uiteinde van de buis in de **perskuip** zal meteen met een ronde stalen plaat dicht gelast moeten worden. **Wanneer** de **ontvangstput** gegraven wordt **zullen** de **buizen** leeggepompt worden om ingestroomd grondwater te **verwijderen**. Hierna **zullen** de holle buizen met dammer opgevuld worden

7.7 Aanbrengen van de tunnelsegmenten

Nadat alle buizen **zijn** geperst **en** de folie constructies **zijn** aangelegd kan er net als bij de traditionele methode **begonnen** worden met het uitgraven van de **grond** onder het buiendak. Binnen de **folieconstructie** wordt er licht bemaald totdat de **pompputten** aangelegd worden.

Tussen de bodem van het buiendak en de betonnen tunnelsegmenten wordt zand aangebracht dat bij het plaatsen van ieder **tunnelsegment** steeds goed wordt verdicht. Voor het aanbrengen van de **zandlaag** worden de drains weer een stuk verder uitgerold, deze komen in de zandlaag. De **drains** **zullen** in het begin nog uitwateren in de **bemaalde folieconstructie**, als de **pompputten** klaar zijn dan worden ze daarop **aan** gesloten.

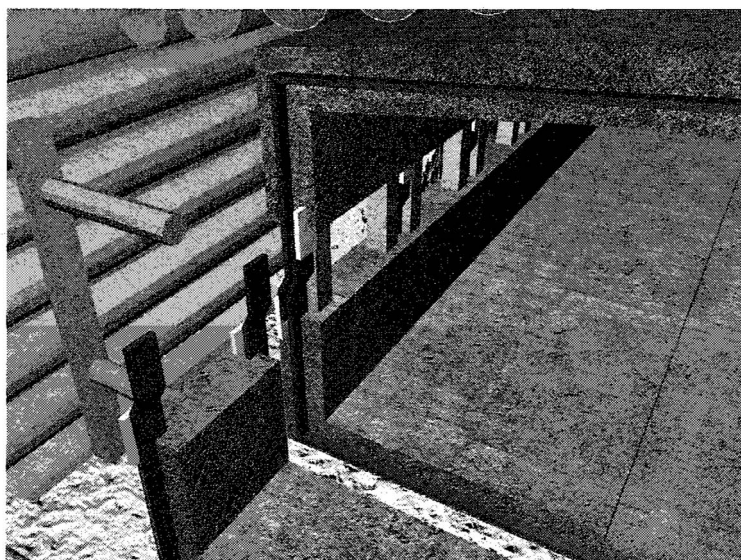
7.8 Dilatatievoeg

In het ontwerp van de **buizendakmethode** in Deventer is de **sparing** tussen de het **bodemstuk** **en** het **plafondstuk** in één keer gestort. Het gesloten deel van de tunnel is daar **f 3,50** meter lang, over die lengte is **een** dilatatievoeg niet noodzakelijk. De **tunnel** **die** in **Utrecht** gebouwd gaat worden, wordt echter **58,5** meter **lang**, hier **zijn** wel een **aantal** dilatatievoegen nodig. De voegen zoals ze **ontworpen** zijn in het pilot-project worden op dezelfde manier toegepast. Omdat er in Deventer **problemen** waren ontstaan om de voegen waterdicht te krijgen, worden de verschillende tunnelsegmenten tegen elkaar aangetrokken door middel van **naspanning**. Hierdoor wordt het **voegprofiel** dat voor een deel in **één** van de tunnelstukken is ingestort tegen de andere aangetrokken, hierdoor ontstaat een waterdichte afsluiting.

In de tunnelstukken **zijn** per bodem- en **plafondstuk** vier buizen ingestort ten behoeve van de kabels voor de **naspanning**. Er **liggen** steeds twee **buizen** vlak naast elkaar, één **buis** is voor het element **dat** op dat moment **het** **laatst** is geplaatst de andere is om de spanning over te nemen op het moment dat element daarvoor is geplaatst. De **naspanning** wordt **gerealiseerd** door middel van vijzels die achter het

eerst geplaatste **tunnelsegment steun** vinden. Er **zijn** dus steeds vier vijzels nodig. **Twee** om spanning te geven **terwijl het volgende** element naar **zijn** plaats wordt vervoert en **twee** om de **spanning daarna** over te **nemen**. Deze werkwijze **wordt voortgezet** totdat er een dilatatievoeg **moet komen**,

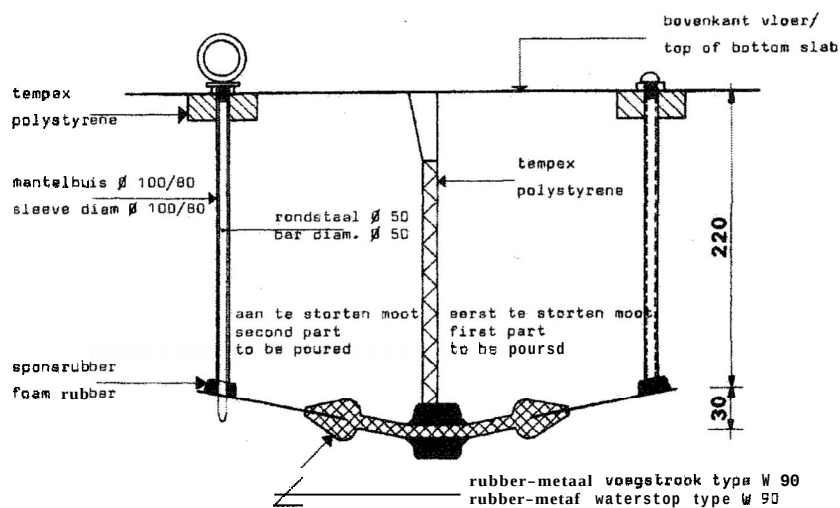
Om een dilatatievoeg te kunnen realiseren wordt er een halve meter tunnel in het werk **gestort**. Rond het laatst geplaatste **tunnelsegment** wordt **bekistingmateriaal** aangebracht **waarna** het volgende **tunnelsegment** een halve meter korter is dan de **rest** en een halve meter van het laatst geplaatst element neergezet, zie figuur 7.6. Deze “**dilatatiemoot**” wordt **echter** nog niet volgestort met beton, omdat er **ruimte vrij moet** blijven voor de vijzels om de volgende **tunnelsegmenten te** kunnen naspannen. De **sparing tussen het bodem- en plafondstuk** van het **eerste tunneldeel** kan wel al worden gestort, hierdoor ontstaat **een** stijf geheel **waardoor na uitharding de naspanning** kan worden verwijderd.



Figuur 7.6 dilatatievoeg

figuur: J. Westhof

De dilatatievoeg is **voor een deel** al ingestort in de **aangrenzende bodem- en plafondstukken** en **zal** net als bij de normale voegen **verbonden** worden door **de voeg te verbinden aan een van tevoren ingestorte** stalen plaat. **Omdat** er twee aangrenzende **tunnelsegmenten** zijn, die allebei **aan de dilatatiemoot** **gestort worden**, is er **sprake van** twee dilatatievoegen **naast** elkaar. De dilatatievoeg zal voorzien **worden van ingestorte stalen** buisjes waardoor de voeg kan worden **geïnjecteerd** met epoxyhars, dit blijkt zo'n goede afsluiting te zijn dat verdere buitendichting **onnodig** is. In **figuur 7.7** is de bedoelde voeg weergegeven, **deze** is als eerst toegepast bij de bouw van de **Hemspoortunnel**.



Figuur 7.7 geïnjecteerde dilatatievoeg

bron: **Immersed tunnels 1** Royal Institution of Engineers

De eerste **dilatatiemoot** kan pas gestort worden als de **naspanning van het** tweede **tunneldeel** niet meer nodig is. En dit kan pas als de sparing tussen het **bodem- en plafondstuk** van het tweede **tunneldeel** gestort is en de spanning van de **naspanning** kan worden overgenomen. Bij het **laatste** deel van de tunnel hoeft dit echter niet tot vertraging te leiden, de vijzels die het laatste **tunneldeel** onder spanning houden, kunnen nadat het laatste **tunnelsegment** is geplaatst worden overgenomen door vijzels aan het eind van de tunnel. Hierdoor kunnen de vijzels worden weggehaald uit de laatste dilatatiemoot en **kan** deze worden gestort.

7.9 Fundering

De fundering **van de tunnel** kan in dit geval maar op één **manier** gerealiseerd worden, namelijk door een **fundering op staal**. De buizen van het buizendak die de bodem **vormen**, beletten de mogelijkheid om **Tubex** galen toe te **passen** waardoor **er** geen fundering **op palen** gemaakt **kan** worden. Tijdens de analyse van de grondgesteldheid is al gebleken dat de grond uit draagkrachtig zand bestaat. De volgende berekening zal aantonen of het draagkrachtig genoeg is of niet.

In de ontwerptekening die is opgenomen in bijlage 3 **zijn** een aantal dwarsdoorsneden weergegeven. De doorsnede **van de tunnel** die op de tekening is aangegeven als doorsnede B-B wordt als maatgevend beschouwd, omdat het U-vormige **profiel** meer beton bevat dan een **tunnelsegment** in het gesloten deel van de tunnel. De berekening voor de **permanente** belasting per **meter** tunnel is weergegeven in bijlage 13. **Hieruit** volgt dat de totale permanente **belasting** 783,91 kN is.

Er zijn **een** aantal **veranderlijke** belastingen die op de tunnel **kunnen** gaan werken. Onder **normale omstandigheden** wordt de tunnel belast door fietsers en bromfietsers.

In geval van een **calamiteit** zal de **tunnel** ook gebruikt kunnen worden door auto's van hulpdiensten. De meest zware belasting die zou kunnen ontstaan is als er twee auto's naast elkaar in de **tunnel** geparkeerd worden. Als het maximale gewicht van een auto (3500 kg) wordt **aanhouden** dan zal deze belasting zonder twijfel de maatgevende belasting zijn. Door het hoogst mogelijke gewicht te nemen van een auto en **dat** de **kans** dat twee auto's naast elkaar zullen parkeren erg **klein** is, kan de belasting van de dan nog passerende fietsers en bromfietsers worden **verwaarloost**.

Een andere veranderlijke belasting is het water in de **pompput**. Als de pomp het zou begeven dan zal de **pompput** onder water lopen en een veranderlijke belasting veroorzaken. De inhoud van de **pompput** is $2,66 \text{ m}^3 * 1000 \text{ kg/m}^3 = 2660 \text{ kg} = 26,6 \text{ kN}$. De kans dat twee auto's van hulpdiensten op een **tunnelsegment** staan geparkeerd en dat de **pompput** **vol met water staat**, omdat de pomp defect is, is zeer klein. **Aangezien** de twee auto's een grotere belasting **veroorzaken** worden die **als maatgevend** beschouwd,

Het **treinverkeer** boven de tunnel veroorzaakt een belasting die door de tunnelconstructie naar de ondergrond wordt geleid. Het onderdeel van de **trein** dat het **zwaarst** is, is de locomotief. De 1600 is de meest sterke en snelste **locomotief** van de NS, hij weegt **84 ton** = 840 kN en heeft een lengte **van** 17,64 meter. Uitgegaan wordt van een belasting 420 kN loodrecht op het **tunnelsegment**. De totale veranderlijke belasting is $((3500 * 2)/100) + 420 = 490 \text{ kN}$

Om te berekenen of de **tunnel** op staal kan worden **gefundeerd** is de totale belasting op de ondergrond per meter tunnel nodig:

Permanent belasting	$783,91 * 1,2 = 940,69 \text{ kN}$
Veranderlijke belasting	$490 * 1,5 = 735 \text{ kN}$

Totaal	1675,69 kN
---------------	-------------------

De formule voor berekeningen voor de fundering op staal wordt normaal gesproken **gebruikt** voor de berekening van een **strokenfundering**. Om daar zo goed mogelijk mee overeen te komen wordt voor de lengte L_{ef} de breedte van de **tunnel** aangehouden en voor B_{ef} 1 meter. Boven het gesloten tunneldeel is een **gronddekking** aanwezig van 1,5 meter daarom wordt voor $d = 1,5$ meter aangehouden. De berekening is weergegeven in **bijlage 14**.

Hieruit volgt: de **maximaal** optredende belasting is 1675,69 kN, de ondergrond zou maximaal 4154,9 kN **kunnen** hebben dus **fundering op staal** is toegestaan, Tijdens de aanleg van de tunnel onder **het buizendak**, wordt er steeds een moot grond weg gegraven om **ruimte** te maken voor het volgende **tunnelsegment**. De buizen van het **buizendak** worden hierbij door de grond waar ze doorheen **geperst** worden gegraven. Als deze grond en de ondergrond niet draagkrachtig genoeg zou zijn, dan zou de **buizendakmethode niet** toegepast **kunnen** worden. Zoals uit bovenstaande **berekeningen** blijkt: is de grondslag hier echter zeer geschikt voor.

7.10 Controle opdrijven

De tunnel ligt voor een deel onder de grondwaterstand. Dat wil zeggen dat er het gevaar bestaat dat de tunnel door de opwaartse **kracht van** het grondwater **kan** opdrijven. Bij de toepassing van de **buizendakmethode** in de geplande tunnel, is **het buizendak** rondom aangebracht. Binnen de **buizenconstructie** staat het grondwater tot aan het niveau van de drains. De hoogte van het grondwater is van dit niveau tot **aan** de grondwaterstand buiten de tunnel. Deze afstand bedraagt 0,94 meter. Om te controleren of de **tunnel** opdrijft moet de opwaartse druk van het water kleiner zijn dan het permanente gewicht **van** de **tunnel**. Het permanente gewicht van de tunnel was in hoofdstuk al eerder uitgerekend: $783,91 \text{ kN} / 8,37 \text{ m} = 93,66 \text{ kN/m}^2$. De **permanente** belasting werkt echter gunstig dus geldt voor de **veiligheidsfactor** 0,9 in plaats van 1,2.

$$h * \gamma_w * 0,9 < \text{permanente belasting} * 1,2$$

$$0,94 * 10 * 0,9 < 93,66 * 1,2$$

$$8,46 \text{ kN/m}^2 < 112,39 \text{ kN/m}^2$$

De **permanente** belasting is groter, tunnel **zal** door de opwaartse kracht van het **water** niet opdrijven.

7.11 Aansluiting **grondkeringen** en **prefab elementen**

Aan de kant van de Nicolaas Beetsstraat komt er een **grondkering** die de grond van de spoorbaan moet scheiden van de **toerit nam** de tunnel. Het **laatst** geplaatste **tunnelsegment** wordt voorzien van **stekkenbakken** zodat er stekken van uit het **tunnelsegment** in de wapening van de **grondkering** gevlochten kunnen worden. De hulpbrug is dan nog steeds **aanwezig** waardoor er **ruimte** gemaakt **kan** worden om de **bekisting van** de **grondkering** op te **bouwen**. Als het beton van de grondkering **gestort** en uitgehard is, wordt de hulpbrug verwijderd **en kan** de busbaan over de tunnel opnieuw worden aangelegd.

Am de andere kant gaat de **buizendaktunnel** aansluiten op prefab geplaatste elementen. Dit eerste prefab element zorgt voor de **grondkering** zowel **haaks** op het spoor als evenwijdig met het spoor.

7.12 Hulpbrug

In eerste **instantie** loopt het **buizendak** onder de **hulpbrug** van de busbaan door. Dit heeft als voordeel dat de folie constructie, die aan de **bodem** het **buizendak** wordt bevestigd, pas na de **hulpbrug** bevestigd wordt. Na het voltooiën van de **tunnelsegmenten** worden onder de hulpbrug de **buizen** die het **dak vormen** van het **buizendak** afgeslepen. Zo ontstaat **er** **ruimte** om de **busbaan** op de oorspronkelijke hoogte weer door te laten lopen.

8. Rest van de tunnelconstructie

Op de plaats waar de tunnel verder wordt uitgebouwd aan de **buiزنداکتunnel** is een **folieconstructie** aangelegd. Hierdoor kunnen de prefab elementen die de rest **van de tunnelconstructie zullen vormen** zonder **bemaling** worden geplaatst. De elementen worden net als die onder het **buiزنداک** tegen elkaar aan getrokken **met behulp van naspanning**. Hier zullen de **spanningskabels** wel blijven zitten, omdat de spanning nergens anders door wordt vervangen. De prefab elementen **zijn** een stuk langer dan de elementen van de **buiزنداکتunnel**. Hierdoor zijn er **een** stuk minder elementen nodig en kan er sneller gebouwd worden.

Nadat alle elementen zijn geplaatst kan de spoorbaan weer worden aangelegd. Aan de kant van de **J. Deckerstraat** worden de **grondkeringen aangebracht en** in de **tunnel** kan begonnen worden met de **afwerking**:

- **Langs de** zijkanten en ook buiten wordt **een kim** aangebracht waarop driehoekig **wandelementen** worden geplaatst.
- Plaatsen van de **voetgangersbrug**.
- In de **sparing** in de bodem van de tunnel worden verdiepte goten aangebracht.
- De **asfaltverharding** en de **trottoirtegels** worden aangebracht.
- Aanbrengen van de **verlichting**.
- Plaatsen **hekwerk**.
- **Schilderwerk**.
- Afwerken **terrein**.

9. Evaluatie uitgangspunten

In **dit** project is gezocht naar een oplossing om het spoor ten **zuiden** van Utrecht Centraal te **kruisen** met een langzaam **verkeersverbinding**. Na onderzoek naar de mogelijkheden is besloten de verbinding tot stand te brengen in de **vorm** van een **tunnel**. Hierbij is rekening gehouden met de wensen, eisen en richtlijnen **van** belanghebbende partijen.

Tijdens het onderzoek **naar** de draagvlak om een verbinding aan te leggen onder het betreffende **spoor** ten **zuiden** van het Centraal Station Utrecht, bleken er verrassend veel voorstanders te **zijn**. De gemeente Utrecht had al een visie geschreven over het betreffende gebied waar de **verbinding** ook in voor komt.

Het ontwerp van de tunnel heeft tot een goed resultaat geleidt waarbij de toe te passen **uitvoeringsmethode** steeds een belangrijke rol heeft gespeeld. Het grootste probleem ontstond **toen** duidelijk werd dat **er** uitvoeringstechnische gezien alleen een verbinding tot stand kon komen als daarmee het treinverkeer niet gehinderd zou worden. Hiervoor bood de **nog** maar net ontwikkelde **buizendakmethode** uitkomst waarvan het pilot project in december met succes was voltooid.

De **buizendakmethode** blijkt een goede methode te zijn op een **ongelijkvloerse kruising** te realiseren. De methode zou in principe ook **gebruikt kunnen** worden voor de kruising van autowegen, of **dit** rendabel zal zijn zal **moeten blijken**. Wegverkeer kan namelijk gemakkelijker worden omgeleid dan **spoorwegverkeer**.

De toepassing van de **buizendakmethode** met de aanwezige grondwaterstand op de project **locatie** blijkt goed oplosbaar te zijn. In combinatie **met** de **toepassing** van de **folieconstructie** en de waterdicht **gemaakte sloten** ontstond een goede mogelijkheid **om** de **tunnelsegmenten** in den droge aan te leggen. De grondgesteldheid was echter zeer gunstig, er zijn veel plaatsen in Nederland waar de methode op deze manier niet toepasbaar is door een te **zwakke ondergrond**.

Literatuurlijst

Literatuur

De grote bosatlas
Stadsplattegrond Utrecht
Topografische kaart Utrecht
Fietsnota 1992
Fietsnota 2002
Visie Kruisvaartkwartier
Visie Merwede Kanaalzone
Tekenen voor de fiets
Richtlijnen voor het ontwerpen van niet-autosnelwegen
Handboek wegontwerp
30 jaar kunststopdrachten voor
12 expeditieknoppunten van PTT Post
Inleiding ondergronds bouwen
Tunnels in Nederland, een nieuwe generatie
Duikers en Sluizen
Land + water
Richtlijn Boortechnieken
NEN 3680
NEN 6744
Tabellen voor de bouw- en waterbouwkunde
Immersed tunnels 1
AutoCAD 2002 Grand Cru
3D Studio max 4 voor Windows

WN Atlas Productions
Citoplan bv
Topografische dienst Emmen
Gemeente Utrecht
Gemeente Utrecht
Gemeente Utrecht
Gemeente Utrecht
CROW
RONA
CROW
M. Thoomes

COB
Rijkswaterstaat
B. van Leusen
Reed Business Information
Dienst Weg- en Waterbouwkunde
NEN
NEN
K.J. Briedé, R. Blok
Royal Institution of Engineers
C. Degen
M. Matossian

Geraadpleegde personen en instanties

Structon Infratechnieken
De heer R. Klarenbeek
De heer H. Spoelstra

Prorail
De heer A. Bult
De heer R. Nawijn
De heer E. bomhof

Gemeente Utrecht
De heer A. Reikse
De heer B. Jansen
Mevrouw I. Koks

Bouwtoezicht Utrecht
De heer F. van Kuip

NS Vastgoed b.v.
Mevrouw M. Loon

TPG vast
De heer Van Dijk

Fietzersbond
Mevrouw A. van Loon

Hogeschool van Utrecht
Mevrouw U. Valkenier
De heer P. van Valen
De heer T. Rinkema

Holland railconsult
De heer T. Wildeboer

Heimans Beton- en Waterbouw
De heer F. Janssen

KNMI
Funda
Injection Nederland bv

Deelopdracht 1 weging: 40 %		
Programma van eisen en ontwerp		
Cijfer	Handtekening vakdocent	Naam vakdocent
8		P. W. VAN VALEN

[illegible]

Deelopdracht 3	weging: 5 %	
Animatie		
Cijfer	Handtekening vakdocent	Na m vakdocent
8,5		
	a	

Bijlage 1
Overzichtkaart van een deel van het centrum van Utrecht

Figure 1: Overview map of a part of the center of Utrecht

Bijlage 5

Bepaling **verhardingsbreedte** van het fietspad.

De geschatte **etmaalintensiteit** zal 13200 fietsers per **etmaal** zijn. Hiermee kan de **spitsuurintensiteit** berekend worden:

$$I_{\text{spits}} = F_{\text{spits}} * I_{\text{gem}}$$

I_{spits} = spitsuurintensiteit

F_{spits} = spitsuurfactor, dit is de intensiteit gedurende het **spitsuur**. Deze kan voor fietspaden normaal gesproken op 2,0 worden gesteld. In bijzondere gevallen is deze hoger, bijvoorbeeld in de nabijheid van scholen.

I_{gem} = gemiddelde **uurintensiteit** over de periode 07:00-19:00. (=dagintensiteit/12 uur = 0,9 * **etmaalintensiteit/12 uur**)

$$I_{\text{spits}} = 2,0 * 0,9 * (13200/12) = 1980$$

Met de **spitsuurintensiteit** kan uit tabel 1 de breedte van **het** fietspad bepaald worden.

Tabel 1 Gewenste verhardingsbreedte fietspad afhankelijk van de fietsintensiteit. bron: CROW

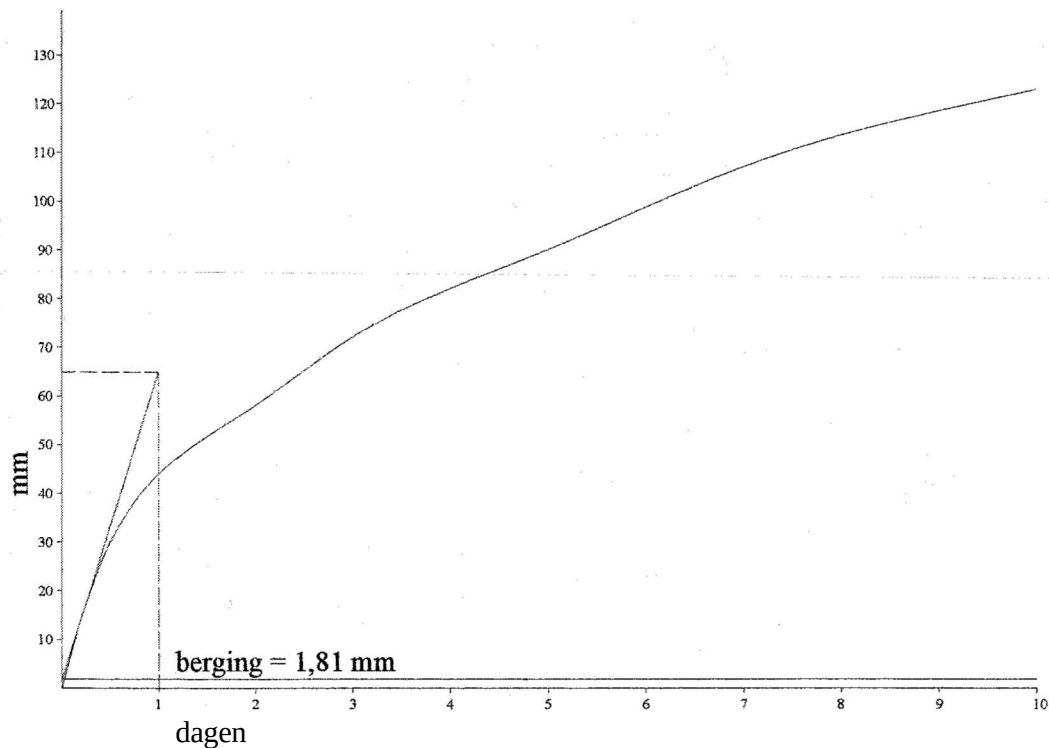
Tweerichtingsverkeer	
Maximaal 10 % bromfietsen	
Spitsuurintensiteit in twee richtingen	Breedte fietspad (m)
0 - 50	1,50
50 - 150	2,50
> 150	3,50
Minimaal 10 % bromfietsen	
0 - 50	2,00
50 - 100	3,00
> 100	4,00

Uitgegaan wordt van een **bromfietsersaandeel** van 10 %. **Uit** tabel 6.2 volgt **dan** een breedte van 4 meter voor het fietspad.

Bijlage 7

Berekening van de benodigde capaciteit van de pompen.

De hoeveelheid regenwater die de tunnel in stroomt is **afhankelijk** van de hoeveel verhard **oppervlak** waar regen op **kan vallen**. Totaal is dit verhard oppervlak 550 m^2 . De **afmetingen** van de **pompputten** zijn 2maal 1 bij 1 bij 0,5 meter, de inhoud **totale** van de putten is dan 1 m^3 . De berging in **millimeters** van de put wordt dan $(1 / 550) * 1000 = 1,81 \text{ mm}$. De berging wordt vervolgens in de **regenduurlijn** uitgezet, zie **figuur 1**. Voor deze bepaling is de **regenduurlijn** van het station Hoofddorp **gebruikt**. Deze zal weinig verschillen met de **regenduurlijn** van Utrecht en omgeving.

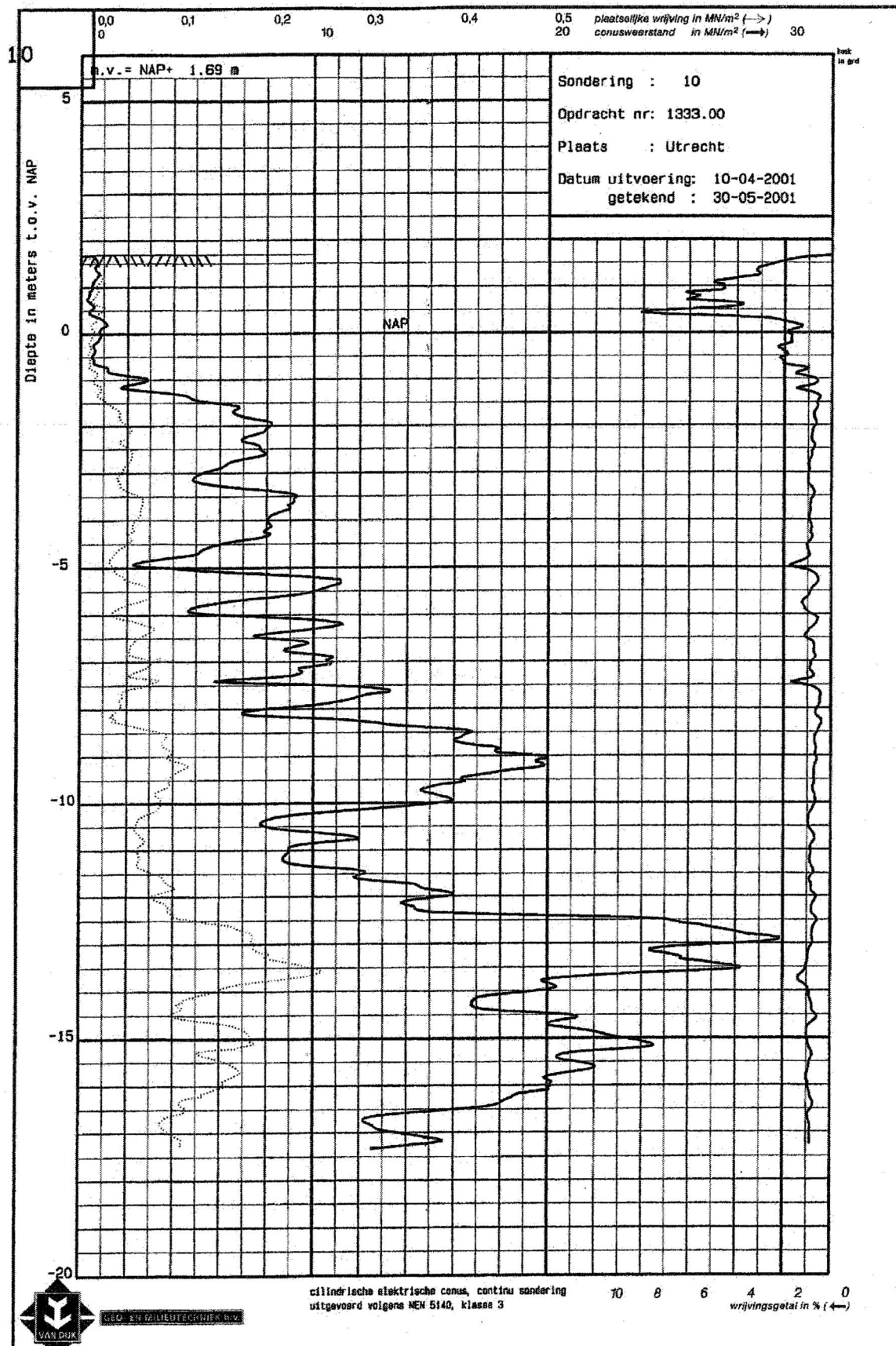


Figuur 1 Regenduurlijn T=10 jaar, station Hoofddorp

bron: KNMI

Op de plaats waar de berging is uitgezet begint de raaklijn waarvan de richtingscoëfficiënt de **pompcapaciteit** voorstelt. Uit de **grafiek** volgt dat de **pompcapaciteit** $64,9 \text{ mm/dag} = (64,9 / 1000) * 550 = 35,7 \text{ m}^3/\text{dag} = 1,49 \text{ m}^3/\text{uur}$. Dit betekent **dat** er **per pomp** een capaciteit van $0,75 \text{ m}^3/\text{uur}$ vereist is.

Bijlage 8 Sondering Utrecht



bron: van Dijk Geo-en Milieutechniek

Bijlage 9

Berekening van de invloed van grondwaterstandverlaging rond de perskuip.

De invloed die van de grondwaterstand verlaging ter plekke van de perskuip kan met de volgende formule worden bepaald:

$$R = 3000 * s * \sqrt{k}$$

Hierin is

R = straal van de invloedcirkel (m)

s = waterspiegelverlaging (m)

k = doorlatendheid van zand is 10^{-4} (m/s)

$$R = 3000 * 1,4 * \sqrt{10^{-4}} = 42 \text{ meter}$$

Bijlage 10

Berekening van de te verwachte zetting rond de perskuip.

$$w = H * ((C_v / (1 + e)) * \log \sigma_2' / \sigma_1' + C_\alpha * \log (t_\infty / t_1))$$

Hierin is

w = totale zetting

H = dikte van de beschouwde laag, dit is gelijk aan de waterspiegelverlaging

C_v = primaire samendrukkingsindex = 0,006

$$e = 26,5 - \gamma_{\text{sat,rep}} / \gamma_{\text{sat,rep}} - 10 = 0,65$$

σ_2' = oorspronkelijke korrelspanning, zie figuur 1

σ_1' = korrelspanning na waterspiegelverlaging, zie figuur 2

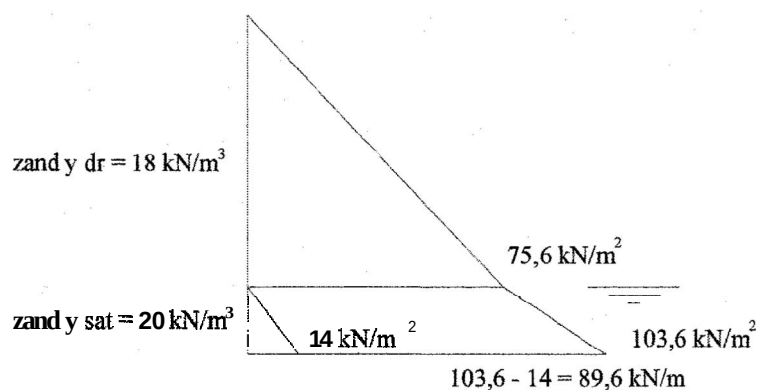
C_α = secundaire samendrukkingsindex = 0

t_∞ = eindtijd van belasten; persen van de buizen duurt ongeveer 30 dagen

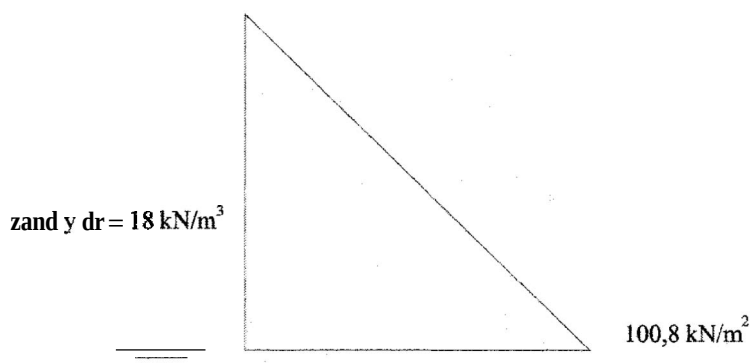
t₁ = begintijd van belasten; gesteld op 1 dag

$$w = 1,4 * ((0,006 / (1 + 0,65)) * \log 102,6 / 90,6 + 0 * \log (30 / 1)) = 2,94 \cdot 10^{-4} \text{ meter}$$

De zetting is verwaarloosbaar klein, bemaling van de perskuip is geen probleem.



Figuur 1 Oorspronkelijke korrelspanning



Figuur 2 Korrelspanning na waterspiegelverlaging

Bijlage 11

Berekening van de te verwachte debiet dat door de aangepaste sloten komt.

$$Q = A * k * i$$

Hierin is:

Q = debiet

A = oppervlak van de grond waar het water doorheen stroomt. De sloten hebben 1 centimeter speling maal de lengte van de tunnel, $58,5 * 0,01 = 0,585 \text{ m}^2$ maal het aantal buizen onder water $0,582 * 22 = 12,87 \text{ m}^2$.

k = doorlaatfactor of permeabiliteit, voor Wei is dat 10^{-10}

i = verhang, 1,14 nieter

$$Q = 0,585 * 10^{-10} * 1,14 = 6,67 * 10^{-11} \text{ m}^3/\text{s} = 5,76 * 10^{-6} \text{ m}^3/\text{dag}$$

Bijlage 12

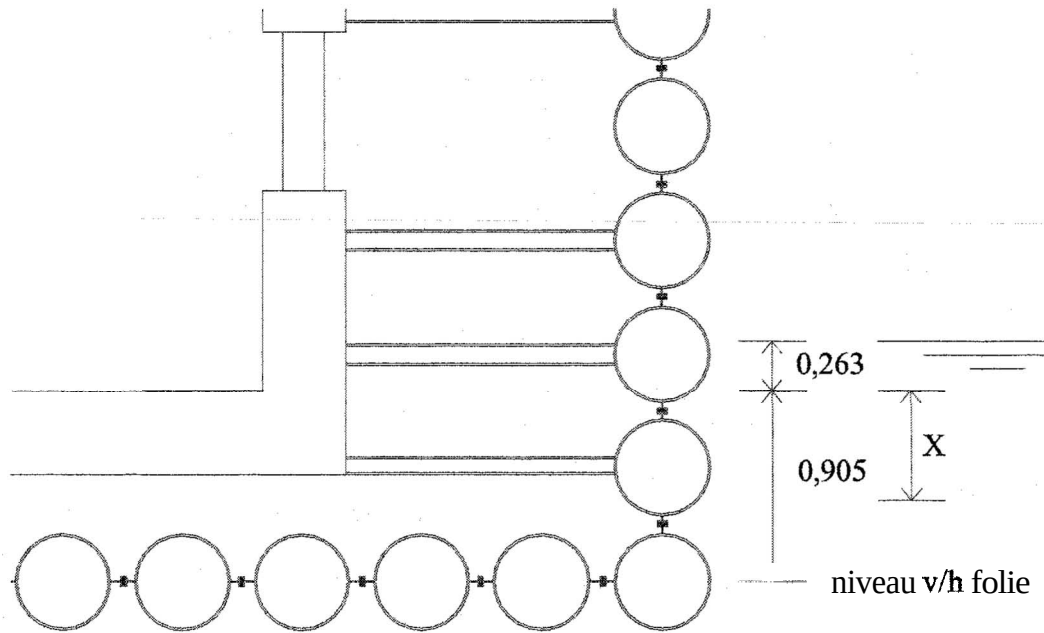
Berekening van de vereiste gronddekking op de folieconstructie.

Het gewicht van het ophoogzand moet groter zijn dan de opwaartse kracht van het grondwater. In figuur 1 is de bedoelde situatie weergegeven.

$$\gamma_{dr} * X = 1,1 * (\gamma_w * X + 0,263 * \gamma_w)$$

$$18 * X = 1,1 * (10 * X + 0,263 * 10)$$

$$X = 0,4 \text{ meter}$$



Figuur 1 situatie van de vereiste gronddekking

Figuur: J. Westhof

Bijlage 13

Berekening van de **permanente** belasting per meter tunnel.

Constructie beton

- Inhoud verwerkt beton in het **tunnelsegment**:

$$(4,973 * 0,4) * 2 * 1 = 3,98 \text{ m}^3$$

$$8,37 * 0,415 * 1 = 3,35 \text{ m}^3$$

$$\text{Totaal: } 3,98 + 3,35 = 7,33 \text{ m}^3$$

- Inhoud van de betonnen driehoekige wandelementen:

$$(0,6 * 0,7) + (0,5 * 1,9 * 0,7) = 1,09 * 2 = 2,17 \text{ m}^3$$

De **pompput** is 1,4 meter breed terwijl de tunnel per meter lengte wordt berekend. Voor het **gemak** is daarom het gewicht van de hele **pompput** in rekening gebracht.

$$1,4 * 0,7 * 0,2 * 2 = 0,39 \text{ m}^3$$

$$5,32 * 0,2 * 0,7 * 2 = 1,49 \text{ m}^3$$

$$0,39 * 0,2 * 0,5 * 2 = 0,08 \text{ m}^3$$

$$\text{Totaal: } 1,96 \text{ m}^3$$

Het gewapende beton weegt 2400 kg/m^3

$$(7,33 + 2,17 + 1,96) * 2400 = 27504 \text{ kg} = 275,04 \text{ kN}$$

Verharding

De tunnel is voorzien van een **asfaltverharding** en een bestrating.

- **Asfaltverharding:**

$$4,0 * 0,06 * 1 = 0,24 \text{ m}^3$$

Het asfalt weegt 2500 kg/m^3

$$0,24 * 2500 = 600 \text{ kg} = 6 \text{ kN}$$

- **Trottoirtegels**

$$0,53 * 0,04 * 1 = 0,0212 \text{ m}^3$$

$$1,9 * 0,04 * 1 = 0,076 \text{ m}^3$$

$$\text{totaal: } 0,097$$

De **trottoirtegels** wegen 2400 kg/m^3

$$0,097 * 2400 = 233 \text{ kg} = 2,33 \text{ kN}$$

Spoorbaan

Een gemiddelde spoorbaan weegt 37,75 kN per meter spoor, de **tunnel** is 8,37 meter breed:

$$37,75 * 8,37 = 315,97 \text{ kN}$$

- Grond **tussen** de spoorbaan en de tunnel

Een deel van **de grond** zal bij de aanleg van de tunnel **blijven** zitten, hierbij wordt als grondsoort uitgegaan van **gemiddeld** droog zand van 18 kN/m^3 . Een deel van het afgegraven stuk grond zal weer worden opgevuld met **dämmer**. **Dämmer heeft** vrijwel hetzelfde soortelijk gewicht als **het zand**, daarom wordt de **belasting** van beide grondsoorten tegelijk berekend:

$$0,86 * 8,37 * 1 = 7,19 \text{ m}^3$$

$$7,19 * 18 = 129,57 \text{ kN}$$

Buizendak

~~Het~~ gewicht van de stalen buizen is 110 kg/m er zijn 50 **buizen** in de grond geperst

$$110 * 50 = 5500 \text{ kg} = 55 \text{ kN}$$

Totale **permanente** belasting: $275,04 + 6 + 2,33 + 315,97 + 129,57 + 55 = 783,91 \text{ kN}$

Bijlage 14

Berekening van de tunnelfundering op staal.

$$\sigma_{\max} = c * N_c * s_c * i_c + \sigma'_{v,z,o,d} * N_q * s_q * i_q + 0,5 * \gamma * B * N_r * s_r * i_r$$

Hierin is:

i = hellingsfactoren, omdat de belasting verticaal op de constructie staat: i = 1

$$\gamma_{\text{sat}} = 20 \text{ kN/m}^3 / 1,1 = 18,18$$

$$c = 0 \text{ kPa}$$

N = draagkrachtfactor uit NEN 6744

$$\Phi = 35,5 \text{ graden (veiligheidsfactor } \gamma_{m;\Phi} = 1,15) \quad \Phi'_{e;d} = \text{invtan}((\tan 32,5)/1,15) = 28,9 \text{ graden.}$$

$$N_q = e^{\pi \tan \Phi'_{e;d}} (\tan(45 + 0,5 * \Phi'_{e;d}))^2 = e^{\pi \tan 28,9} (\tan(45 + 0,5 * 28,9))^2 = 16,26$$

$$N_r = (N_q - 1) \cot \Phi'_{e;d} = (16,26 - 1) \cot 28,9 = 27,64$$

$$N_\gamma = 2 * (N_q - 1) * \tan \Phi'_{e;d} = 2 * (16,26 - 1) * \tan 28,9 = 16,85$$

s = vormfactoren

$$s_q = 1 + (B_{ef}/L_{ef}) * \sin \Phi'_{e;d} = 1 + (1/8,37) * \sin 28,9 = 1,06$$

$$s_c = (s_q * (N_q - 1)) / (N_q - 1) = (1,06 * (16,26 - 1)) / (16,26 - 1) = 1,06$$

$$s_r = 1 - 0,3 * B_{ef}/L_{ef} = 1 - 0,3 * 1/8,37 = 0,96$$

$$\sigma'_{v,z,o,d} = \sigma_{gv} - \sigma_w = (18,18 * 1,5) - (0,7 * 10) = 20,27 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{\max} = 0 + 20,27 * 16,26 * 1,06 * 1 + 0,5 * 18,18 * 1 * 16,85 * 0,96 * 1 = 496,4 \text{ kN}$$

$$Fr = \sigma_{\max} * A_{ef} = 1615 * 1 * 8,37 = 4154,9 \text{ kN}$$