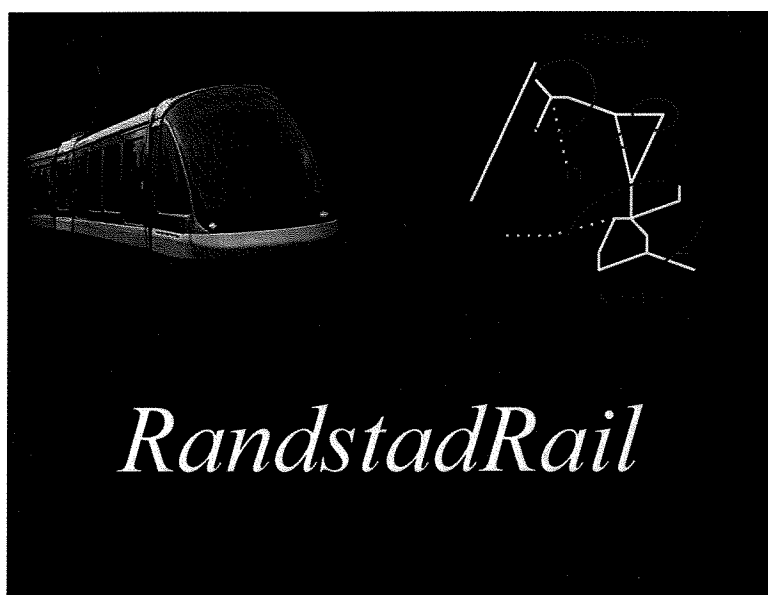


De Spoorsingelvariant

*Een ontwerp van de tunnelverbinding tussen de metro en de RandstadRail
in het centrum van Rotterdam*



Eindrapport



**Ballast Nedam
Engineering**

TU Delft
Technische Universiteit Delft

De Spoorsingelvariant

*Een ontwerp van de tunnelverbinding tussen de metro en de RandstadRail
in het centrum van Rotterdam*

Door:

H.A. Kruizenga

student TU-Delft faculteit Civiele Techniek

Begeleiders:

Prof.drs.ir. J.K. Vrijling

TU-Delft faculteit Civiele techniek

Prof.ir. A.F. van Tol

TU-Delft faculteit Civiele techniek

Ir. K.J. Bakker

TU-Delft faculteit Civiele techniek

Ir. C.Q. Klap

Ballast Nedam Engineering



**Ballast Nedam
Engineering**


TU Delft
Technische Universiteit Delft

Voorwoord

Dit rapport is het resultaat van mijn studie naar de tunnelverbinding tussen de metro en de RandstadRail in Rotterdam centrum volgens de Spoorsingelvariant. Ballast Nedam Engineering heeft mij de mogelijkheid geboden om bij hun onderzoek te doen naar de RandstadRail.

Ballast Nedam interesseert zich voor de RandstadRail en maakt momenteel deel uit van een consortium dat nadenkt over het ontwerp, de bouw en de exploitatie van de RandstadRail. Aangezien de overheid een publiek-private samenwerking voor ogen staat, is er veel ruimte voor het indienen van suggesties over het functioneren van de RandstadRail. Zodoende is studie naar nog onopgeloste problemen welkom in deze fase van de ontwikkeling van de RandstadRail.

Deze studie is tevens de afstudeerscriptie voor mijn studie Civiele Techniek. Ik studeer af aan de Technische Universiteit Delft bij de sectie waterbouwkunde van de faculteit Civiele Techniek. Het mag enigszins bevreemding wekken dat een waterbouwkundig student zich bezig gaat houden met de infrastructuur van een stad. Dit is toch iets minder vreemd als men zich indenkt dat het afstuderen zich voornamelijk concentreert in de tunneltechniek. De tunneltechniek is eigenlijk een vakgroep overlappend onderdeel van de civiele techniek. De vakgroepen mechanica & constructies, geotechniek, ondergronds bouwen en waterbouwkunde hebben elk relaties met de tunneltechniek.

Dit onderwerp deed dan ook beroep op kennis uit meerdere vakgebieden. Dit heb ik als een uitdaging gezien. Deze studie bood enerzijds de mogelijkheid om opgedane kennis toe te passen en anderzijds de mogelijkheid om veel nieuwe kennis op te doen.

Tenslotte nog een woord van dank. Mijn dank gaat in de eerste plaats uit naar de leden van mijn afstudeercommissie. Minstens evenveel dank ben ik verschuldigd aan mijn collega's van Ballast Nedam Engineering. Zij waren altijd bereid om mij informatie en advies te geven als mij de kennis ontbrak.

Erik Kruizenga
Amstelveen, 28 oktober 1999



Inhoudsopgave

1. Inleiding	10
DEEL A: METRO EN RANDSTADRAIL IN ROTTERDAM	
2. RandstadRail	11
2.1 Inleiding	11
2.2 Tracé-varianten	11
2.3 Varianten functionele koppeling	11
2.4 Varianten fysieke koppeling	12
2.5 Huidige stand van zaken	12
2.6 Literatuur	13
3. Metrobouw in Rotterdam	14
3.1 Inleiding	14
3.2 De Noord-Zuidlijn	14
3.3 Uitbreiding metronet	15
3.4 Conclusies	16
3.5 Literatuur	17
DEEL B: FUNCTIONEEL ONTWERP	
4. Functionele analyse	18
4.1 Inleiding	18
4.2 Functie analyse	18
4.3 Literatuur	20
5. Programma van Eisen	21
5.1 Inleiding	21
5.2 Functionele eisen	21
5.2.1 Capaciteit	21
5.2.2 Aantal sporen	21
5.2.3 Materieel	21
5.2.4 Snelheden	21
5.2.5 Horizontale boogstralen	22
5.2.6 Verticale boogstralen	22
5.2.7 Diepteligging	22
5.2.8 Helling	22
5.2.9 Station	23
5.2.10 Profiel van vrije ruimte	24
5.3 Constructieve eisen	26
5.3.1 Verticale belastingen	26
5.3.2 Horizontale belastingen	26
5.3.3 Dilatatievoegen	27
5.4 Milieu eisen	28
5.4.1 Geluidshinder	28
5.5 Veiligheidseisen	28
5.6 Duurzaamheidseisen	28
6. Overige randvoorwaarden	29
6.1 Inleiding	29
6.2 Omgevingsaspecten	29
6.2.1 Bebouwing rond de aansluiting	29
6.2.2 Overige bebouwing rond de Spoorsingel	30
6.2.3 Metrotunnel	31
6.2.4 Kabels- en leidingen	31
6.2.5 Bodemopbouw	32



6.2.6 Grondwater	32
6.2.7 Bestemmingsplannen	33
6.3 Uitvoeringsaspecten	33
6.3.1 Exploitatie metro	33
6.3.2 Bemalingen	33
 DEEL C: RUIMTELIJK ONTWERP	
7. Factoren die het ruimtelijk ontwerp beïnvloeden	34
7.1 Inleiding	34
7.2 Uitvoeringsmethoden	34
7.2.1 Inleiding	34
7.2.2 Ondergrondse uitvoeringsmethoden;	34
7.2.3 Bovengrondse uitvoeringsmethoden;	35
7.2.4 Conclusie	35
7.3 Stations	36
7.4 Kosten	36
7.5 Ontwerpnormen	37
7.6 Literatuur	37
8. Horizontaal alignement	38
8.1 Inleiding	38
8.2 Randvoorwaarden	38
8.3 Variant 1	39
8.3.1 Beschrijving variant 1	39
8.3.2 Inpassing variant 1	39
8.4 Variant 2	41
8.4.1 Beschrijving variant 2	41
8.4.2 Inpassing variant 2	41
8.5 Conclusie	43
8.6 Literatuur	44
9. Verticaal alignement	45
9.1 Inleiding	45
9.2 Randvoorwaarden	45
9.3 Verticaal alignement variant 1	45
9.4 Verticaal alignement variant 2	46
9.5 Conclusie	46
9.6 Literatuur	46
 DEEL D: CONSTRUCTIEF ONTWERP	
10. Geometrie aansluiting	47
10.1 Inleiding	47
10.2 Beschrijving van de figuren	47
10.3 Enkele bijzonderheden bij de uitvoering van de bestaande tunnel	55
10.4 Enkele bijzonderheden van het Weenahuis	56
11. Voorbeeld van een aansluiting	57
11.1 Inleiding	57
11.2 Aansluiting van de Oost-Westlijn met de Noord-Zuidlijn	57
11.3 Conclusies	58
11.4 Literatuur	59
12. Constructie van een werkruimte	60
12.1 Inleiding	60
12.2 Afmetingen bouwkuip	60
12.2.1 Algemeen	60
12.2.2 Bouwkuip naast het Weenahuis	60
12.2.3 Bouwkuip gedeeltelijk onder het Weenahuis	61

12.2.4 Conclusie	62
12.3 Optimalisatie van de afmetingen van de bouwkuip	63
12.4 Horizontale begrenzing bouwkuip	64
12.4.1 Opbarsten van de bodem	64
12.4.2 Gebruik van de eerste waterafsluitende laag in combinatie met spanningsbemaling	64
12.4.3 Het aanbrengen van een kunstmatig waterafsluitende laag	65
12.4.4 Gebruik van de tweede waterafsluitende laag	65
12.4.5 Aanbrengen van onderwaterbeton	66
12.4.6 Conclusie	66
12.5 Verticale afsluiting bouwkuip	66
12.5.1 Algemeen	66
12.5.2 Waterkerende wand	67
12.5.3 Water- en grondkerende wand	67
12.5.4 Grondkerende wand	67
12.5.5 Aansluiting damwand met tunnel	69
13. Ontwerp bemaling	70
13.1 Inleiding	70
13.2 Formule voor de bemaling van onvolkomen spanningswater	70
13.3 Ontwerp van de spanningsbemaling	71
13.4 Invloed op de omgeving	72
13.5 Ontwerp van de retourbemaling	75
13.6 Conclusie	77
13.7 Literatuur	77
14. Constructie tunnel	78
14.1 Inleiding	78
14.2 Aandachtspunten bij het ontwerp van de aansluiting	78
14.3 De constructie onderverdeeld in gebieden	79
14.4 Belastingen op de tunnel in de oude situatie	80
14.4.1 Inleiding	80
14.4.2 Buiging	80
14.4.3 Afschuiving	82
14.4.4 Scheurvorming	83
14.4.5 Controle berekening	83
14.4.6 Belastingen	83
14.4.7 Belastingsfactoren	84
14.4.8 Modelvorming	85
14.4.9 Uitvoer	86
14.5 Constructie van de tunnel in gebied 1	90
14.5.1 Functionele doorsnede	90
14.5.2 Belastingen	90
14.5.3 Ontwerp	94
14.5.4 Uiteindelijk constructie	96
14.6 Constructie van de tunnel in gebied 5	97
14.6.1 Functionele doorsnede	97
14.6.2 Belastingen	97
14.6.3 Ontwerp	101
14.6.4 Uiteindelijke constructie	106
14.7 Constructie van de tunnel in gebied 2, 3 en 4	108
14.7.1 Functionele doorsnede	108
14.7.2 Belastingen	108
14.7.3 Ontwerp	111
14.7.4 Uiteindelijke constructie	114
14.8 Samenhang van de constructie	114

14.9 Conclusies	115
14.10 Literatuur	116
15. Uitvoering	117
15.1 Inleiding	117
15.2 Plaatsen van de waterkerende en water- en grondkerende schermen van de buitenste bouwkuip.....	118
15.3 Spannings-, retour en open bemaling aanbrengen om en in de bouwkuip..	119
15.4 Het ontgraven van de bouwkuip	120
15.4.1 Verlagen van de waterstand tot 7 m -NAP.....	120
15.4.2 Ontgraven van de bouwkuip tot 6,4 m - NAP.....	121
15.4.3 Het maken van de grondkering onder de kelder	124
15.4.4 Het aanbrengen van de stempels.....	125
15.4.5 Verlagen van de waterstand tot 11,5 m - NAP	126
15.4.6 Ontgraven van de bouwkuip tot 11,0 m - NAP	127
15.5 Bouwen van de aansluiting	129
15.5.1 Aanbrengen van de nieuwe fundering en slopen middenfundering.....	129
15.5.2 Maken van de nieuwe vloer	130
15.5.3 Het maken van de nieuwe wanden.....	131
15.5.4 Maken van het nieuwe dak.....	133
15.5.5 Slopen van de resterende middenkolommen en zijwand.....	135
15.5.6 Aanbrengen van GEWI-ankers in de tunnel.....	136
15.6 Afwerking van de tunnel en de bouwkuip.....	137
15.6.1 Verhogen van de grondwaterstand en het aanvullen van de grond.....	137
15.6.2 Verwijderen van de stempels.....	139
15.6.3 Aanvullen van de grond en het verhogen van de grondwaterstand.....	140
15.6.4 Slopen van de zijwand onder de parkeergarage.....	141
15.6.5 Terugwinnen van de wanden van de bouwkuip.....	142
15.6.6 Afwerking en continuering.....	143
15.7 Conclusies	143
 DEEL E: CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	
16. Conclusies.....	145
17. Aanbevelingen	149

Bijlagen

Bijlage I	RandstadRail
Bijlage II	Varianten RandstadRail
Bijlage III	Metro belastingen
Bijlage IV	Plattegronden Rotterdam
Bijlage V	Gegevens bebouwing
Bijlage VI	Gegevens metrotunnel
Bijlage VII	Kabels en leidingen
Bijlage VIII	Sondering Weena
Bijlage IX	Gegevens grondwater
Bijlage X	Theorie over het ontwerp van spoorwegen
Bijlage XI	Overzicht uitvoeringsmethoden bouwkuip
Bijlage XII	Berekeningen van de bemaling
Bijlage XIII	Berekeningen van het uiteindelijke ontwerp

Lijst van figuren

- Figuur 1 Noord-Zuidlijn
- Figuur 2 Schalentunnel
- Figuur 3 Uitbreidingen metronet
- Figuur 4 Profiel van vrije ruimte
- Figuur 5 Overzicht van de bebouwing rond de aansluiting
- Figuur 6 Boormethode
- Figuur 7 Bouwmethode vanaf het maaiveld
- Figuur 8 Overgangsboog variant 1
- Figuur 9 Variant 1
- Figuur 10 Variant 2
- Figuur 11 Plattegrond van het Weenahuis
- Figuur 12 Weenahuis & overzicht doorsneden
- Figuur 13 3D aanzicht van de aansluiting
- Figuur 14 Afmetingen van de aansluiting
- Figuur 15 3D aanzicht van de aangesloten tunnel
- Figuur 16 3D aanzicht van de losgekoppelde tunnel
- Figuur 17 Doorsnede A-A
- Figuur 18 Doorsnede B-B
- Figuur 19 Doorsnede C-C
- Figuur 20 doorsnede A-A met bodemprofiel
- Figuur 21 Bouwdok van de metrotunnel, anno 1964
- Figuur 22 Aansluitconstructie tussen O-W-lijn en N-Z-lijn
- Figuur 23 Verbindingsboog
- Figuur 24 Bouwkuip om het Weenahuis
- Figuur 25 Bouwkuip onder het Weenahuis
- Figuur 26 Nieuwe verticale begrenzing van de bouwkuip
- Figuur 27 Spanningsbemaling
- Figuur 28 Positie van de bronnen van de spanningsbemaling
- Figuur 29 3D-aanzicht van de invloed van de spanningsbemaling
- Figuur 30 Isohypsens t.g.v. de spanningsbemaling
- Figuur 31 Isohypsens t.g.v. spanningsbemaling i.c.m. retourbemaling
- Figuur 32 De constructie van de aansluiting
- Figuur 33 5 gedeelten
- Figuur 34 Invoer STAAD oorspronkelijke belastingssituatie
- Figuur 35 Momentenlijn eind gebied 1, uiterste grens toestand, oorspronkelijke situatie, belastingsgeval 1
- Figuur 36 Dwarskrachtenlijn eind gebied 1, uiterste grens toestand, oorspronkelijke situatie, belastingsgeval 1
- Figuur 37 Momentenlijn eind gebied 1, uiterste grens toestand, oorspronkelijke situatie, belastingsgeval 2
- Figuur 38 Dwarskrachtenlijn eind gebied 1, uiterste grens toestand, oorspronkelijke situatie, belastingsgeval 2
- Figuur 39 Momentenlijn eind gebied 1, bruikbaarheid grens toestand, oorspronkelijke belastingssituatie, belastingsgeval 3
- Figuur 40 Functionele tunneldoorsnede in gebied 1
- Figuur 41 Invoer STAAD nieuwe tunnel, gebied 1
- Figuur 42 Momentenlijn eind gebied 1, uiterste grenstoestand, belastingsgeval 1
- Figuur 43 Dwarskrachtenlijn eind gebied 1, uiterste grens toestand, belastingsgeval 1
- Figuur 44 Momentenlijn eind gebied 1, uiterste grens toestand, belastingsgeval 2
- Figuur 45 Dwarskrachtenlijn eind gebied 1, uiterste grens toestand, belastingsgeval 2

Figuur 46 Momentenlijn eind gebied 1, bruikbaarheid grens toestand, belastingsgeval 3

Figuur 47 Doorsnede van de tunnel in gebied 1

Figuur 48 Functionele tunneldoorsnede in gebied 2 - 5

Figuur 49 Invoer STAAD nieuwe tunnel, gebied 5

Figuur 50 Momentenlijn eind gebied 5, uiterste grens toestand, belastingsgeval 1

Figuur 51 Dwarskrachtenlijn eind gebied 5, uiterste grens toestand, belastingsgeval 1

Figuur 52 Momentenlijn eind gebied 5, uiterste grens toestand, belastingsgeval 2

Figuur 53 Dwarskrachtenlijn eind gebied 5, uiterste grens toestand, belastingsgeval 2

Figuur 54 Momentenlijn eind gebied 5, bruikbaarheid grens toestand, belastingsgeval 3

Figuur 55 Doorsnede van de tunnel in gebied 5 met een nieuwe zijwand naast de bestaande wand.

Figuur 56 Invoer STAAD nieuwe tunnel, gebied 3

Figuur 57 Momentenlijn gebied 3, uiterste grenstoestand, belastingsgeval 1

Figuur 58 Dwarskrachtenlijn gebied 3, uiterste grens toestand, belastingsgeval 1

Figuur 59 Momentenlijn gebied 3, uiterste grenstoestand, belastingsgeval 2

Figuur 60 Dwarskrachtenlijn eind gebied 3, uiterste grens toestand, belastingsgeval 2

Figuur 61 Momentenlijn gebied 3, bruikbaarheid grens toestand, belastingsgeval 3

Figuur 62 Doorsnede van de tunnel in gebied 2, 3 en 4 met een nieuwe zijwand naast de bestaande wand.

Figuur 63 3D aanzicht tunnelconstructie variant 1

Figuur 64 Overzicht van de doorsnede tekeningen

Figuur 65 Bouwkuip voor het Weenahuis, de grond- en waterkerende wanden zijn aangebracht.

Figuur 66 Bouwkuip onder de parkeergarage, de grondkerende en waterkerende wanden zijn aangebracht.

Figuur 67 Bouwkuip voor het Weenahuis, de waterstand wordt verlaagd tot -7 m NAP.

Figuur 68 Bouwkuip onder de parkeergarage, de waterstand wordt verlaagd tot 7,0 m - NAP.

Figuur 69 Bouwkuip voor het Weenahuis, de grond wordt afgegraven tot -6,4 m - NAP.

Figuur 70 Bouwkuip onder de parkeergarage, de grond wordt afgegraven tot 6,4 m - NAP.

Figuur 71 Bouwkuip onder de kelder, de waterstand is verlaagd tot 7,0 m - NAP en de grond is afgegraven tot 6,4 m - NAP.

Figuur 72 Het maken van een tubexpaal

Figuur 73 Bouwkuip onder de kelder, de grondkerende wand is aangebracht

Figuur 74 Bouwkuip onder de kelder, de stempels worden aangebracht ter plaatse van het dak van de tunnel.

Figuur 75 Bouwkuip onder de parkeergarage, de stempels worden aangebracht ter plaatse van het dak van de tunnel.

Figuur 76 Bouwkuip voor het Weenahuis, de stempels worden aangebracht ter plaatse van het dak van de tunnel.

Figuur 77 Bouwkuip voor het Weenahuis, de waterstand wordt verlaagd tot 11,5 m - NAP.

Figuur 78 Bouwkuip onder de parkeergarage, de waterstand wordt verlaagd tot 11,5 m - NAP.

Figuur 79 Bouwkuip onder de kelder, de waterstand wordt verlaagd 11,5 m - NAP.

Figuur 80 Bouwkuip voor het Weenahuis, de grond wordt afgegraven tot 11,0 m - NAP.

Figuur 81 Bouwkuip onder de parkeergarage, de grond wordt afgegraven tot 11,0 m - NAP.

- Figuur 82 Bouwkuip onder de kelder, de grond wordt afgegraven tot 11,0 m - NAP.
- Figuur 83 Aanbrengen van de nieuwe fundering
- Figuur 84 Opperspaal
- Figuur 85 Bouwkuip voor het Weenahuis, nadat de bestaande middenfundering is gesloopt en de nieuwe fundering is aangebracht wordt de nieuwe vloer gemaakt.
- Figuur 86 Bouwkuip onder de kelder, nadat de bestaande middenfundering is gesloopt en de nieuwe fundering is aangebracht wordt de nieuwe vloer gemaakt.
- Figuur 87 Bouwkuip onder de parkeergarage, nadat de bestaande middenfundering is gesloopt en de nieuwe fundering is aangebracht wordt de nieuwe vloer gemaakt.
- Figuur 88 Bouwkuip onder de kelder, de wanden worden gemaakt
- Figuur 89 Bouwkuip voor het Weenahuis, de wanden worden gemaakt
- Figuur 90 Bouwkuip onder de parkeergarage, de wanden worden gemaakt
- Figuur 91 Bouwkuip onder de kelder, het dak, de middenkolom en de zijwand wordt gesloopt. De stempels zijn verplaatst.
- Figuur 92 Bouwkuip onder de kelder, het dak wordt ingeschoven
- Figuur 93 Bouwkuip voor het Weenahuis, het dak wordt gemaakt
- Figuur 94 Bouwkuip onder de parkeergarage, het dak wordt gemaakt
- Figuur 95 Bouwkuip voor het Weenahuis, slopen van de overbodige delen van de bestaande constructie
- Figuur 96 Bouwkuip onder de parkeergarage, verplaatsen van de fundering van de parkeergarage
- Figuur 97 Bouwkuip voor het Weenahuis, het aanbrengen van GEWI-ankers
- Figuur 98 Bouwkuip onder de kelder, het aanbrengen van GEWI-ankers
- Figuur 99 Bouwkuip voor het Weenahuis, verhogen van de grondwaterstand en aanvullen van de grond
- Figuur 100 Bouwkuip onder de kelder, verhogen van de grondwaterstand en aanvullen van de grond
- Figuur 101 Bouwkuip onder de parkeergarage, verhogen van de grondwaterstand en aanvullen van de grond
- Figuur 102 Bouwkuip voor het Weenahuis, verwijderen van de stempels
- Figuur 103 Bouwkuip onder de kelder, verwijderen van de stempels
- Figuur 104 Bouwkuip onder de parkeergarage, verwijderen van de stempels
- Figuur 105 Bouwkuip onder de kelder, aanvullen van de grond en verhogen van de grondwaterstand
- Figuur 106 Bouwkuip voor het Weenahuis, aanvullen van de grond en verhogen van de grondwaterstand
- Figuur 107 Bouwkuip onder de parkeergarage, aanvullen van de grond en verhogen van de grondwaterstand
- Figuur 108 Bouwkuip onder de parkeergarage, verwijderen van zijwand
- Figuur 109 Bouwkuip voor het Weenahuis, verwijderen van de grond- en waterkerende wanden
- Figuur 110 Bouwkuip onder de kelder, verwijderen van de waterkerende wanden
- Figuur 111 Bouwkuip onder de parkeergarage, verwijderen van de grond- en waterkerende wanden
- Figuur 112 Doorsnede onder de parkeergarage
- Figuur 113 Doorsnede onder de kelder
- Figuur 114 Doorsnede voor het Weenahuis

1. Inleiding

Uit het 'Tweede Structuurschema Verkeer en Vervoer' blijkt de aanleg van een hoogwaardig vervoerssysteem voor de middellange afstanden in de Zuidvleugel van de randstad noodzakelijk. De oplossing wordt gezocht in het invoeren van een light-railsysteem, genaamd de RandstadRail, op het traject tussen Den Haag en Rotterdam. De ontwikkeling van de RandstadRail gebeurt in overleg met verschillende marktpartijen. Ballast Nedam Engineering interesseert zich voor de aanleg van de RandstadRail en neemt deel in dit overleg. Hierdoor is ruimte voor studie naar de mogelijkheden en onmogelijkheden van de RandstadRail. Een punt van onderzoek is de aanlanding van de RandstadRail in Rotterdam. Een mogelijke variant gaat via de Spoorsingel. Eén van de nog onbeantwoorde vragen is hoe de Spoorsingelvariant technisch te realiseren is en of een fysieke koppeling met de bestaande metrolijn haalbaar is. Vertaald naar een probleemstelling:

Is fysieke koppeling van de RandstadRail en het Rotterdams metronet via de Spoorsingelvariant haalbaar en hoe is dit vorm te geven?

Het doel van dit rapport is dan ook het presenteren van een ontwerp van de aansluiting van de RandstadRail op de metrolijn in Rotterdam. De vraag naar de haalbaarheid en de vormgeving van de aansluiting is op te lossen in een drietal ontwerpstappen:

- Het functioneel ontwerp; waarin ingegaan wordt op de vraag welke eisen aan het ontwerp van de RandstadRail worden gesteld en aan welke randvoorwaarden het ontwerp moet voldoen.
- Het ruimtelijk ontwerp; waarin ingegaan wordt op de vraag waar de exacte plaats van de aansluiting is.
- Het constructief ontwerp; waarin ingegaan wordt op de vraag hoe de aansluiting constructief te realiseren is.

De opbouw van het rapport is als volgt. Het hoofdrapport is ingedeeld in een vijftal delen:

Deel A: *De metro en RandstadRail in Rotterdam* gaat in op de ontwikkeling van de RandstadRail en de bouw van de metro in Rotterdam vanaf de jaren zestig. In dit deel wordt de voorkennis gepresenteerd die belangrijk is voor de vervolgstudie.

Deel B: *Functioneel Ontwerp* gaat in op het functioneel ontwerp. Als eerste wordt een functionele analyse gemaakt. Hierna volgt de samenstelling van het programma van eisen en de randvoorwaarden. In dit deel wordt gedefinieerd wat er moet komen en binnen welke grenzen dat gerealiseerd moet worden.

Deel C: *Ruimtelijk Ontwerp* gaat eerst in op welke factoren van belang zijn voor het bepalen van het tracé. Vervolgens wordt het horizontaal en verticaal ontwerp vastgesteld. In dit deel wordt gekeken waar de aansluiting moet komen.

Deel D: *Constructief Ontwerp* gaat eerst in op de geometrie van de aansluiting waarbij ook enkele bijzonderheden van de situatie genoemd worden. Vervolgens wordt gekeken naar de bouw van een aansluiting zoals die in het verleden gemaakt is in Rotterdam. Hierna wordt een ontwerp van de bouwkuip en een ontwerp van de aansluiting gemaakt. Na het ontwerp van de bouwkuip wordt nog aandacht besteedt aan het ontwerp van de bemaling. Als laatste wordt de uitvoering besproken. In dit deel wordt dus gekeken hoe de aansluiting gemaakt worden.

Deel E: *Conclusies en Aanbevelingen* vormt het afsluitend deel waarin de conclusies getrokken worden uit de studie en aanbevelingen gedaan worden voor vervolgstudies.

DEEL A: METRO & RANDSTADRAIL IN ROTTERDAM

2. RandstadRail

2.1 Inleiding

Het huidige nationale verkeers- en vervoersbeleid om de mobiliteit te sturen is vastgelegd in het 'Tweede Structuurschema Verkeer en Vervoer' (1990). Twee belangrijke samenhangende onderdelen zijn het afremmen van de groei van het autoverkeer en het verbeteren van het openbaar vervoer. Het verbeteren van het openbaar vervoer is voor de Randstad vertaald in twee belangrijke doelen: de ontsluiting van de nieuwe VINEX-locaties en de opwaardering van het bestaande stedelijke railvervoer en het regionale treinvervoer. Om aan deze doelen te kunnen voldoen blijkt een hoogwaardig vervoerssysteem voor de middellange afstanden in de Zuidvleugel van de randstad noodzakelijk. De oplossing wordt gezocht in het invoeren van een light-railsysteem, genaamd de RandstadRail, op het traject tussen Den Haag en Rotterdam zoals is weergegeven in bijlage I. In beide steden dienen zich grote ruimtelijke investeringsprojecten aan. Voor Rotterdam is dat het zogenaamde sleutelproject Rotterdam Centraal Station. Dit project beoogt een comfortabele en compacte integratie van diverse vervoerssoorten in het CS-gebied. Het is dan ook gewenst de plannen voor de RandstadRail te laten sporen met dit sleutelproject.

2.2 Tracé-varianten

Bij het ontwikkelen van tracé-varianten voor de inpassing in Rotterdam zijn twee alternatieven voor ogen gehouden: een functionele koppeling of een fysieke koppeling met het metronet. Met een functionele koppeling wordt bedoeld dat de metro en de RandstadRail gekoppeld zijn door middel van een overstapgelegenheid. Een fysieke koppeling houdt in dat men met hetzelfde vervoerssysteem kan rijden over beide netten zonder over te stappen. Voor de functionele koppeling zijn een drietal varianten bekeken: de nulvariant, de Blijdorpboog en de Heer Bokelwegboog. Voor de fysieke koppeling komen eveneens een drietal tracés in aanmerking: het Statenwegtracé, de Blijdorpboog en het Spoorsingeltracé.

De huidige bestuurlijke stellingname is dat de RandstadRail per 2003 kan worden ingevoerd op de Hofpleinlijn. Een vervoerstudie wijst uit dat met een fysieke koppeling een substantiële groei van het aantal gebruikers te verwachten is. Daarom gaat de voorkeur uit om in de fase na 2003 te streven naar een fysieke koppeling. Dit biedt ruimte om de varianten voor de fysieke koppeling verder te ontwikkelen en te toetsen. Volgens de ambtelijke notitie 'De Bogen Gewogen' van de gemeente Rotterdam blijkt de Spoorsingelvariant zeer goed te scoren in investering, vervoerswaarde en integratie in CS en wordt dus kansrijk geacht.

2.3 Varianten functionele koppeling

Voor de functionele koppeling zijn een aantal alternatieven te weten:

- Blijdorpboog

Bij deze variant wordt de Hofpleinlijn vanaf station Wilgenplas afgebogen naar de spoorlijn Gouda-Rotterdam. Deze boog kruist met een 2,6 km lang viaduct de bestaande sporen van de lijn Schiedam-Rotterdam, de (goederen)sporen en de

nieuwe HSL-verbinding en arriveert weer op het maaiveld ter hoogte van de Essenburgsingel langs de lijn Schiedam-Rotterdam CS. Langs laatst genoemde lijn worden twee aparte sporen aangelegd aan de buitenkant van de Blijdorpboog. Tussen de Statentunnel en het Stationsplein komen twee extra sporen zuidelijk van het NS-emplacement (zie bijlage II).

- Heer Bokelwegboog

De huidige Hofpleinlijn wordt bij deze variant ter hoogte van het station Hofplein verlengd en scherp afgebogen in westelijke richting tot aan C.S. Het hooggelegen spoor ligt op een viaduct waarbij nog juist het schoolgebouw naast het station Hofplein aan de Heer Bokelweg kan blijven staan. Door de krappe boogstraal zullen railvoertuigen met een lage snelheid van deze boog gebruik moeten maken (zie bijlage II).

- Verbetering looproute

Station Hofplein wordt door middel van een nieuwe looproute rechtstreeks met C.S. verbonden. De looproute kruist de Schiekade ongelijkvloers en volgt direct de NS-sporen. Deze variant laat de meeste ruimte over voor een fysieke koppeling na 2003 via de Spoorsingelvariant.

2.4 Varianten fysieke koppeling

Voor de fysieke koppeling zijn een aantal alternatieven te weten:

- Spoorsingelvariant

Van de bestaande metrolijn op de Coolsingel wordt ter hoogte van het Weenahuis in noordelijke richting afgebogen naar het NS-emplacement. Onder de huidige sporen wordt een metrostation aangelegd. Daarna loopt het tracé door de Spoorsingel. Vervolgens vervolgt het tracé met een tunnel onder de Walenburgsingel tot het (nieuwe) metrostation Schiekade. De tunnel loopt door onder de bebouwing van de Heulstraat en de

Vlaggemanstraat. Hierna sluit het tracé bij de Insulindestraat aan op de Hofpleinlijn. De Bergselaan wordt nog ondergronds gekruist. Voor de Gordelweg is de lijn op het niveau van de bestaande Hofpleinlijn. De totale lengte van het tracé is ruim één kilometer lang (zie bijlage II).

- Statenwegtracé

Hier zijn twee varianten mogelijk, namelijk een ondergrondse en een bovengrondse kruising van de infrastructuurbundel. Bij de ondergrondse kruising loopt het tracé vanaf het metrostation C.S. ondergronds naar het noorden en komt voorbij de infrastructuurbundel weer bovengronds. Bij de andere variant komt het tracé na het station Statenweg bovengronds (zie bijlage II).

- Blijdorpboog

De Blijdorpboog maakt ook een fysieke koppeling mogelijk. Hier zijn ook diverse varianten mogelijk door de plaats waar het ondergrondse gedeelte begint te variëren.

2.5 Huidige stand van zaken

De overheid wil de RandstadRail door middel van een publiek-private samenwerking vormgeven. De Stuurgroep RandstadRail kiest voor deze aanpak om een creatievere, innovatievere, effectievere en efficiëntere oplossing voor de RandstadRail te krijgen. Diverse marktpartijen zijn uitgenodigd om vrijblijvend hun gedachten over de RandstadRail in te dienen. Doel hiervan is de markt af te tasten naar de slimste manier om het project aan te besteden. Het is de bedoeling van de publiek-private samenwerking dat het bouwen, het beheer en de exploitatie in één

pakket op de markt komt. Momenteel is nog allerm minst bekend wat de juiste vorm voor een publiek-private samenwerking is. Volgend jaar wordt het project aanbesteedt en wordt vergeven aan het consortium dat tegen de laagste kosten het beste rendement oplevert. Momenteel heeft zich al één consortium gevormd die zich gaat inschrijven op de RandstadRail. Dit consortium bestaat uit ADT-ranz, Ballast Nedam, NS, RET en HTM.

De gemeente Rotterdam geeft de voorkeur aan een fysieke koppeling van de RandstadRail. Er is echter nog veel studie nodig om tot een besluitvorming te komen over het juiste tracé en in later stadium voor de bouw van de kunstwerken die horen bij de RandstadRail. Deze studie naar de fysieke koppeling via de Spoorsingelvariant is een onderdeel daarvan.

2.6 Literatuur

- [1] *Planstudie RandstadRail*, Stuurgroep RandstadRail, Den Haag, 1996
- [2] *De Bogen Gewogen*, Stuurgroep CS, Rotterdam, 1998
- [3] *Rotterdam Centraal: integraal knooppunt*, RET, NS, ZWN, 1998
- [4] *Conslutatedocument RandstadRail*, Stuurgroep RandstadRail, 1999

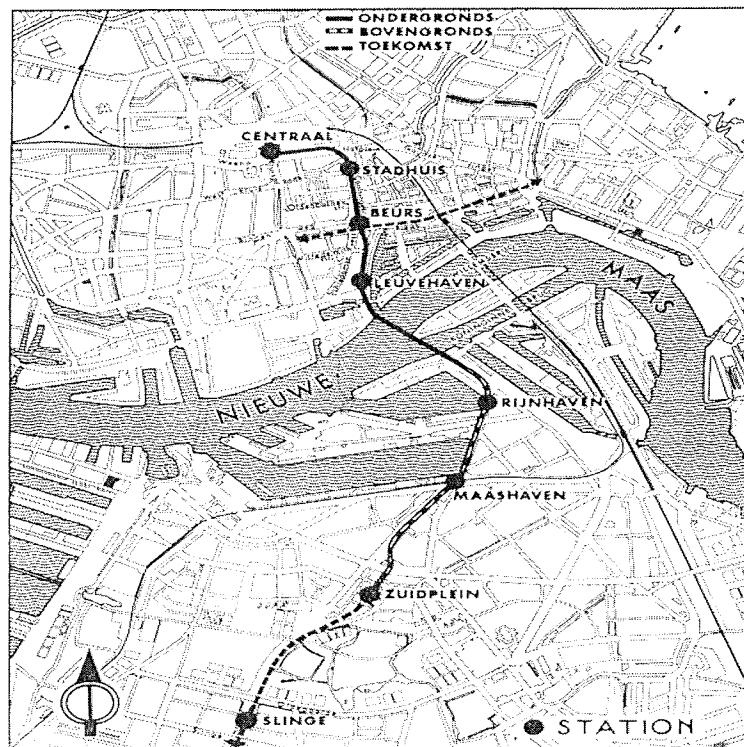
3. Metrobouw in Rotterdam

3.1 Inleiding

Bij de fysieke koppeling wordt een verbinding gemaakt met het huidige metronet. Om een beeld te krijgen van de metrobouw in Rotterdam wordt in dit hoofdstuk de bouw van de metro nader belicht.

3.2 De Noord-Zuidlijn

In 1959 besloot de gemeente van Rotterdam de kwaliteit van het openbaar vervoer te verhogen door een metrolijn te aan te leggen. In 1968 werd het eerste gedeelte van de lijn, die zich in de loop der jaren verder zou uitbreiden, in gebruik genomen. Deze zogenaamde Noord-Zuidlijn begint voor het Centraal Station en eindigt bij Zuidplein. De lijn volgt ten noorden van de Nieuwe Maas een ondergronds traject en ten zuiden een bovengronds traject. Onder de Nieuwe Maas werd een afgezonken tunnel gebouwd.



Figuur 1 Noord-Zuidlijn

Een viaduct en een bovengrondse ligging van het station op de Coolingsingel werd onaanvaardbaar geacht. Deze randvoorwaarde impliceerde een ondergrondse aanleg in het centrum. De stationshallen in dit gedeelte liggen tussen de tunnel en het straatniveau, waardoor de tunnel relatief diep kwam te liggen.

Als uitvoeringsmethode werd de kanaalmethode gekozen. Hierbij wordt een elders gemaakt tunnelelement in een onder water staande bouwkuip ingevaren en afgezonken. Als voordelen van deze methode, ten opzichte van een uitvoering 'in den droge' waar bij het tunnelelement op de definitieve plaats in een droge bouwkuip wordt gemaakt, worden genoemd:

- Een kostbare dam als afsluiting van de rivier is overbodig;
- Geen toepassing van bronbemaling zodat zettingschade ten gevolge van bemalen wordt voorkomen;
- Minder staal verbruik door lichtere uitvoering van de damwanden en stempels;
- Continuering van het produktieschema van de afgezonken tunnel onder de Nieuwe Maas.

Voor het zuidelijk gedeelte werd voor een viaduct gekozen. Als voordelen van deze methode, ten opzichte van een tunnel, worden genoemd:

- Deze oplossing is f 30 miljoen lager begroot dan een tunneloplossing;
- De bouwtijd van een viaduct korter is;
- Een opvallend argument is die van het uitzicht van de passagiers.

Om het viaduct niet als een storend element in de stad te laten functioneren werden grote kolomafstanden en sierbetonplaten toegepast.

De bouw van dit traject heeft in totaal ongeveer f 190 miljoen gekost.

3.3 Uitbreiding metronet

De eerste uitbreiding was een verlenging naar Slinge. Hierna volgden grotere uitbreidingen. In 1974 werd de doortrekking van de Noord-Zuidlijn via Rhoon en Poortugaal naar Hoogvliet gerealiseerd.

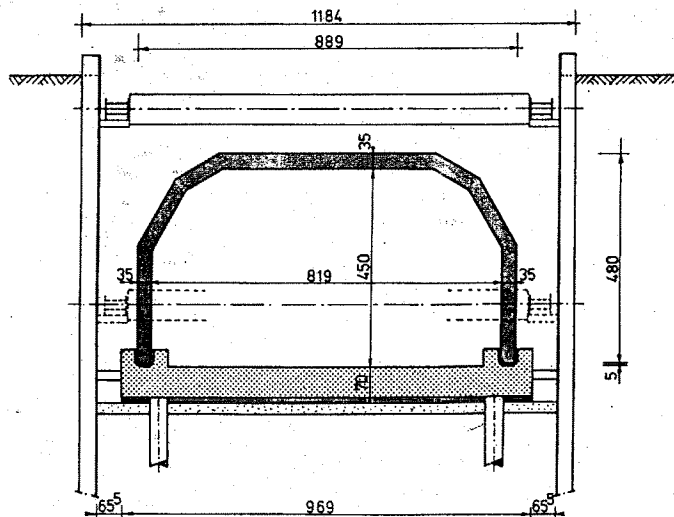
Omstreeks 1982 werd de Oost-Westlijn in exploitatie genomen. Hiermee werd een verbinding tussen Coolhaven en Ommoord-West gerealiseerd. Station Beurs van de Noord-Zuidlijn werd direkt als overstap station gebouwd voor de toekomstige relatie met een deze nieuwe lijn. Het ruim 14 kilometer lange traject kan opgesplitst worden in een ondergronds en een bovengronds gelegen gedeelte. Van Coolhaven tot Kralingse Zoom is de metro ondergronds uitgevoerd. De tunnel in de Oost-Westlijn ligt voor het grootste gedeelte ondiep, aangezien de stationshallen, op een enkele uitzondering na, op straatniveau liggen. Hierdoor kwam het bouwen volgens de kanaalmethode niet in aanmerking. Bij de bouw van het ondergrondse gedeelte is gekozen voor de schalenmethode, een methode waarbij korte prefab tunnelementen in een droge bouwput worden geassembleerd. De keuze voor deze methode werd gedaan op de onderstaande argumenten:

- Beperkte mate van overlast voor de bebouwde omgeving door prefabricage;
- Korte tijd van overlast door een hoge bouwsnelheid en een korte 'bouwtrein';
- Uitvoering met minimaal bouwterrein door middel van een traverse, zodat het bouwmaterieel niet naast maar boven de bouwkuip kan staan.

De uitvoering van dit gedeelte werd 'in den droge' uitgevoerd. Hierbij golden de onderstaande eisen bij het verlagen van de grondwaterstand:

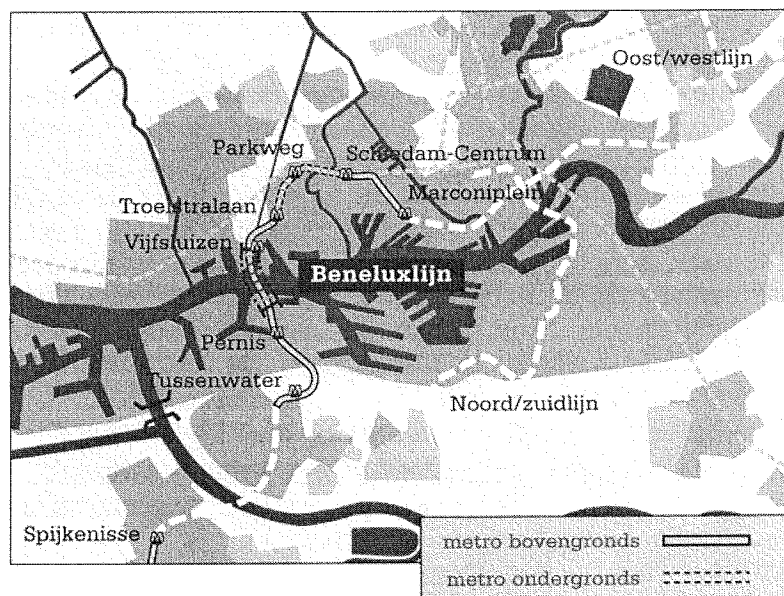
- De freatische lijn mag in geen geval verlaagd worden;
- De stijghoogte van het grondwater in het zand mag in gebieden met oude bebouwing niet verder worden verlaagd dan het diepste afmalingsniveau in het verleden;
- In gebieden met goede bebouwing zijn er geen beperkingen met betrekking tot het verlagen van de stijghoogte van het grondwater in het diepe zand.

Bij een verlaging van de grondwaterstand lager dan de toelaatbare waterstand werd een injectielaag in het zand aangebracht of, wanneer dit niet mogelijk was, diepte-infiltratie.



Figuur 2 Schalentunnel

Latere uitbreidingen zijn de doortrekking van de Noord-Zuidlijn naar Spijkenisse en Marconiplein en de uitbreiding van de Oost-Westlijn naar Capelle a/d IJssel en Zevenkamp. Momenteel wordt gewerkt aan de zogenaamde Beneluxlijn, die loopt van Marconiplein tot aan Hoogvliet, via Schiedam en Pernis.



Figuur 3 Uitbreidingen metronet

3.4 Conclusies

De conclusies die uit deze studie getrokken kunnen worden zijn de volgende:

- De RandstadRail sluit aan op de Noord-Zuidlijn. De Noord-Zuidlijn is het eerste traject van het Rotterdamse metronet. Deze lijn is in de jaren zestig gebouwd.
- De metrotunnel is nabij het Centraal Station gebouwd volgens de kanaalmethode.

- De tunnel nabij het Centraal Station ligt op een zodanige diepte dat de hal van het station ondergronds boven de tunnel kon worden gebouwd.
- Het metronet waar de RandstadRail op aansluit is een wijd vertakt net die Rotterdam en omstreken ontsluit. Dit metronet wordt nog steeds uitgebreid.

Gedetailleerde gegevens worden verstrekt in het programma van eisen in deel B van deze studie.

3.5 Literatuur

- [1] *Metro Rotterdam*, Ir. J. van Herk e.a., Cement 1963 nr.7
- [2] *Metroviaduct Rotterdam-Zuid*, Ir. A.J.Chr. Dekker, Cement 1966 nr.4
- [3] *De metro/sneltram Coolhaven-Ommoord-West*, Ir. Th.J.F. Smeele, Cement 1977 nr. 10
- [4] *Het architectonische ontwerp (metro Rotterdam)*, Ir. C. Veerling, Cement 1977 nr. 10
- [5] *Geotechnische aspecten bij de aanleg van de metro*, Ir. E. Horvat Cement 1977 nr. 10
- [6] *Constructieve aspecten van enkele bijzondere kunstwerken (metro Rotterdam)*, Ir. S.B. de Vries, Cement 1977 nr. 10
- [7] *De schalentunnel , een nieuwe bouwmethode bij de Rotterdamse metrobouw*, Ir. Th.J.F. Smeele, Cement 1978 nr. 7
- [8] *25 jaar metrobouw in Rotterdam*, P.L. Spits, Cement 1986 nr. 4
- [9] *Metrobouw in Rotterdam*, Ir. G. Plantema, Ingenieur 1968 nr. 6

DEEL B: FUNCTIONEEL ONTWERP

4. Functionele analyse

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de vraag welke functies de RandstadRail moet vervullen. Hieruit vloeien eisen voort die in het volgende hoofdstuk beschreven worden.

4.2 Functie analyse

De functie van de RandstadRail is *het bieden van hoogwaardig vervoer op de middellange afstand tussen de plaatsen Den Haag, Pijnacker, Zoetermeer en Rotterdam.*

Aan de RandstadRail worden de volgende kenmerken toegedacht:

- hoge verplaatsingssnelheid;
- hoge frequentie van het vervoermiddel;
- grote betrouwbaarheid in vertrek- en aankomsttijden van het vervoermiddel;
- comfortabel;
- optimale toegankelijkheid van de stations en het voertuig;
- passend imago;
- winstgevend;
- inpasbaar in omgeving;
- zoveel mogelijk benutten van de bestaande infrastructuur;

De RandstadRail gaat over een railsysteem. Een railsysteem is onder te verdelen in:

- Baan
- Station

De functie van de baan kan als volgt omschreven worden: *het zo veilig en comfortabel mogelijk vervoeren van reizigers met zo min mogelijk overlast voor de omgeving.*

De functie van het station kan als volgt omschreven worden: *het creëren van een veilige en comfortabele overstapmogelijkheid voor reizigers tussen de lightrail of metro en een ander vervoersmiddel wat ondergebracht is in of nabij het station.*

Veiligheid stelt eisen aan:

- toegankelijkheid;
- vluchtroutes;
- profiel van vrije ruimte;
- duurzaamheid;
- veiligheidsapparatuur;
- belastingen;
- capaciteit.

Comfort stelt eisen aan:

- boogstralen;
- hellingen;
- verkantingen;
- beschutting;
- profiel van vrije ruimte
- overstaprelaties
- omvang looppaden;
- inrichting;
- faciliteiten;
- ruimten t.b.v. personeel en dienstverlening;
- materieel;
- capaciteit.

De omgeving stelt eisen aan:

- geluid;
- milieu;
- trillingen;
- esthetica;
- duurzaamheid;
- veiligheid.

Daarnaast stelt de omgeving randvoorwaarden:

- infrastructuur;
- bestaande bebouwing;
- bodemopbouw;
- grondwaterstand;
- acceptatie van bouwoverlast;
- beschikbare budget.

Uit de omschrijving van de functie blijkt dat er raakvlakken zijn tussen de deelfuncties. Zo hebben bijvoorbeeld reizigers, maar ook de omwonenden behoefte aan veiligheid.

Het programma van eisen wordt onderverdeeld in eisen, waaraan het kunstwerk moet voldoen, en randvoorwaarden, die volgen uit de bestaande situatie. De diverse eisen worden onderverdeeld in de onderstaande typen eisen¹:

- functionele eisen;
- constructieve eisen;
- milieu eisen;
- veiligheidseisen;
- duurzaamheidseisen;

De randvoorwaarden, aspecten genoemd, worden onderverdeeld in:

- omgevingsaspecten;
- economische aspecten;
- uitvoeringsaspecten.

De eisen worden gesteld door een groot aantal partijen. Niet iedere partij heeft een even grote invloed op het ontwerpproces.

De onderstaande actoren, in volgorde van belangrijkheid, beïnvloeden het ontwerpproces:

- financiële instituten, die de financiering verzorgen;
- investeerders;
- overheid;
- verzekeraars;
- bouwers, voor ontwerp en bouw;
- exploitanten;
- gebruikers;
- omwonenden.

4.3 Literatuur

- [1] *Handboek methodisch ontwerpen*, Prof. dr. ir. H.A.J. de Ridder e.a., TU-Delft, Delft, 1995
- [2] *Gegevens metrobouw*, Rotterdam Elektrische Tram, Rotterdam, 1994

5. Programma van Eisen

5.1 Inleiding

Dit hoofdstuk is een antwoord op de vraag welke eisen aan het ontwerp van de RandstadRail gesteld kunnen worden.

Er bestaat nog geen volledig programma van eisen voor de RandstadRail, zodat dit document een integratie is van eisen die door de RET aan de metrobouw gesteld worden, van eisen die volgen uit de systeemdefinitie van de RandstadRail en van eisen die volgen uit diverse nederlandse normen die betrekking hebben op de bouw van de aansluiting.

5.2 Functionele eisen

5.2.1 Capaciteit

Bij een fysieke koppeling van de RandstadRail via de Spoorsingel wordt in 2007 48.000 reizigers per dag verwacht op de Hofpleinlijn.²

De capaciteit van een metro of lightrail is maximaal 500 reizigers voor de maximale combinatie van rijtuigen.³

5.2.2 Aantal sporen

Het tracé bestaat zowel in het baan- als in het stationsgedeelte uit twee sporen.

Een driesporig tracé is alleen nodig wanneer het lightrail voertuig niet door kan rijden bij het metrostation C.S. en gekeerd moet kunnen worden. Als het lightrail voertuig wel door kan rijden op het metronet is een driesporig tracé overbodig aangezien zowel de metrolijn als de Hofpleinlijn tweesporig is. Een driesporig tracé kan functioneel zijn voor het uitlopen van treinen. Dit is echter in het ondergrondse gedeelte een dure investering, die elders goedkoper kan worden gerealiseerd.

Het blijkt haalbaar te zijn dat éénzelfde voertuig kan rijden op de Hofpleinlijn en de metrolijn. Daarnaast voldoet een fysieke koppeling van zowel lightrail als tunnel het beste aan de vervoersbehoefte. Ook zijn de investeringen in een tweesporige tunnel een stuk goedkoper dan een driesporige tunnel (Volgens het document De Bogen Gewogen ongeveer 57 miljoen). Deze argumenten onderbouwen het uitgangspunt van een tweesporig tracé.

5.2.3 Materieel⁴

De maximale lengte van de lightrail is 125 meter en de breedte is 2,65 meter. De maximale lengte van de metro is 120 meter met een breedte van 2,68 meter.

5.2.4 Snelheden

De maximum snelheid bedraagt 100 km/h. Plaatselijk kan deze snelheid lager zijn door noodzakelijke toepassing van geringe boogstralen.

5.2.5 Horizontale boogstralen

De RET heeft bij voorkeur een horizontale boogstraal van minimaal 400 meter zodat een gemiddelde snelheid van 90 km/uur gehaald kan worden. Het uiterste minimum op beton is een straal van 123 meter waarin nog een maximale snelheid van 50 km/uur gehaald kan worden.⁵

Aan de lightrail die in de toekomst gaat rijden op het traject geldt bij voorkeur een minimum boogstraal van 150 meter en bij hoge uitzondering een straal van 50 meter⁶

5.2.6 Verticale boogstralen⁷

De RET stelt als minimum voor een voetboog een straal van 2000 meter. De gewenste straal is 3000 meter waarbij een gemiddelde snelheid van 90 km/u gehaald kan worden. Als minimum voor de topboog geldt een straal van 2500 meter. Gewenst is een straal van 3600 meter om een gemiddelde snelheid van 90 km/u te halen.

5.2.7 Diepteligging

De RET stelt eisen aan voldoende gronddekking boven een tunnel om de kabels en leidingen te kunnen plaatsen. Deze waarden van de diepteligging van de tunnel is niet berekend op het mechanisme opdrijven.

Minimale diepteligging tunnel ⁸	Minimale gronddekking	1,75 m
	Tunnel dakconstructie (globaal)	0,50 m
	vrije hoogte tot b.s.	4,00 m
	rail + railopstorting	0,35 m
	tunnelvloer (globaal)	<u>0,70 m</u>
	totale diepte	7,30 m
Minimale diepteligging tunnel onder hal	gronddekking op hal: weg	0,50 m
	zand	0,30 m
	dakconstructie hal	0,65 m
	hal: plafond	0,60 m
	vrije hoogte hal	2,70 m
	halvloer	0,45 m
	perronniveau vrije hoogte tot b.s.	4,00 m
	verkenning	0,50 m
	rail + railopstorting	0,35 m
	stationsvloer	<u>0,90 m</u>
	totale diepte	10,95 m

5.2.8 Helling

Tunnels dienen onder een minimale helling van 1:500 aangelegd te worden, waarbij op het diepste punt een afvoerput met adequate pompvoorziening aanwezig dient te zijn.

In stations mogen onder een helling van maximaal 1:400 aangelegd worden. De perrons dienen over de volle lengte in één recht vlak te worden aangelegd. Verticale bogen in het alignement mogen evenwel 15,00 meter voor beide perroneinden beginnen.

5.2.9 Station⁹

Perrons

De minimale perronbreedte voor zijperrons wordt door de RET gesteld op 3,50 meter, afhankelijk van de te verwachten belasting en gerekend van afvoergoot tot perronrand. De minimale breedte voor middenperrons is minimaal 3,00 meter aan de zijde van het hoofdspoor voor bij een centrale toegang, in andere gevallen minimaal 2,50 meter. Voor gebogen middenperrons bedraagt de minimale breedte aan de kop 3,75 meter. De minimale breedte voor middenperrons met koptoegang is 7,00 meter.

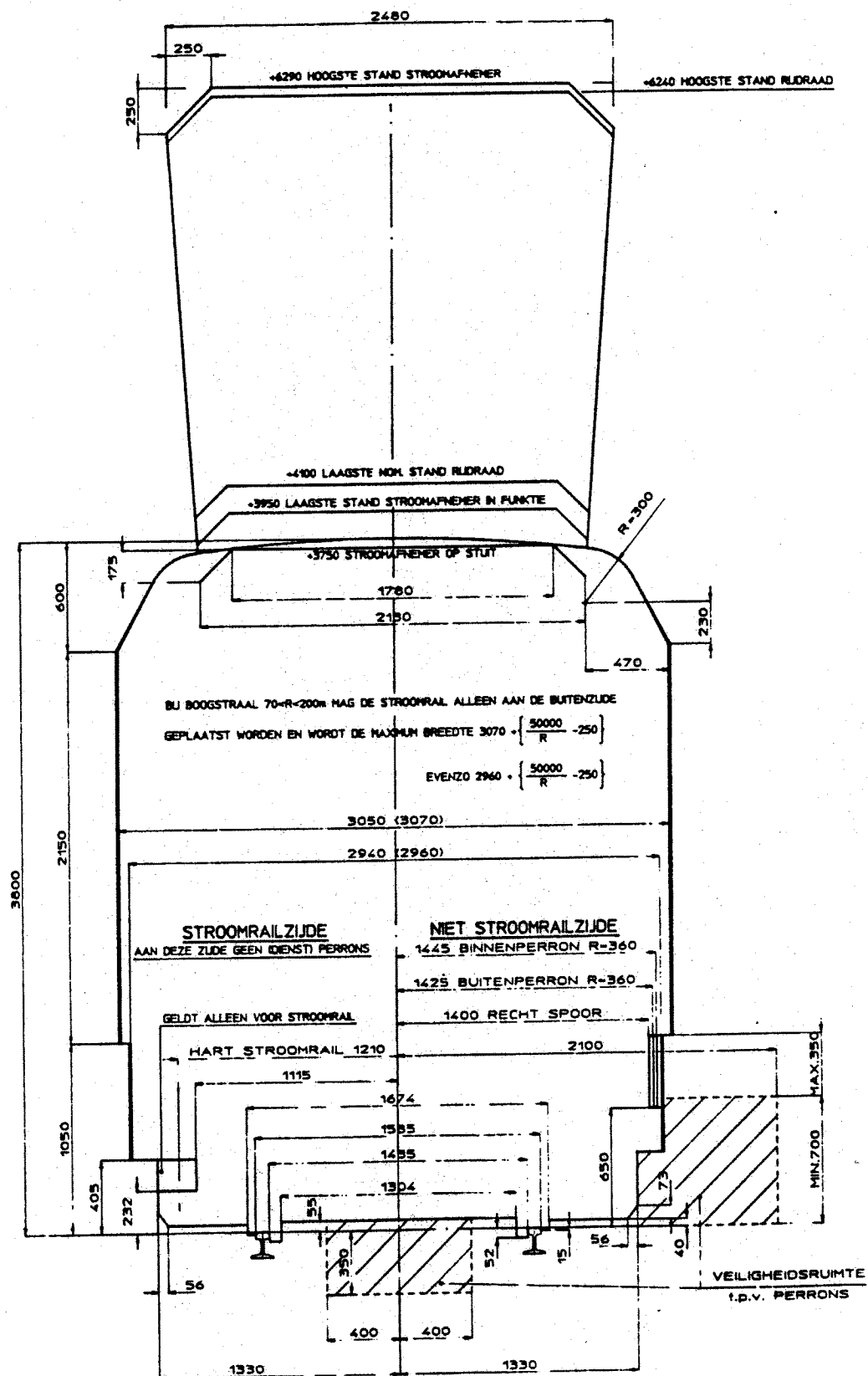
Bij voorkeur worden rechte perrons toegepast. Bij hoge uitzondering worden gebogen perrons toegepast met een straal van minimaal 800 meter.

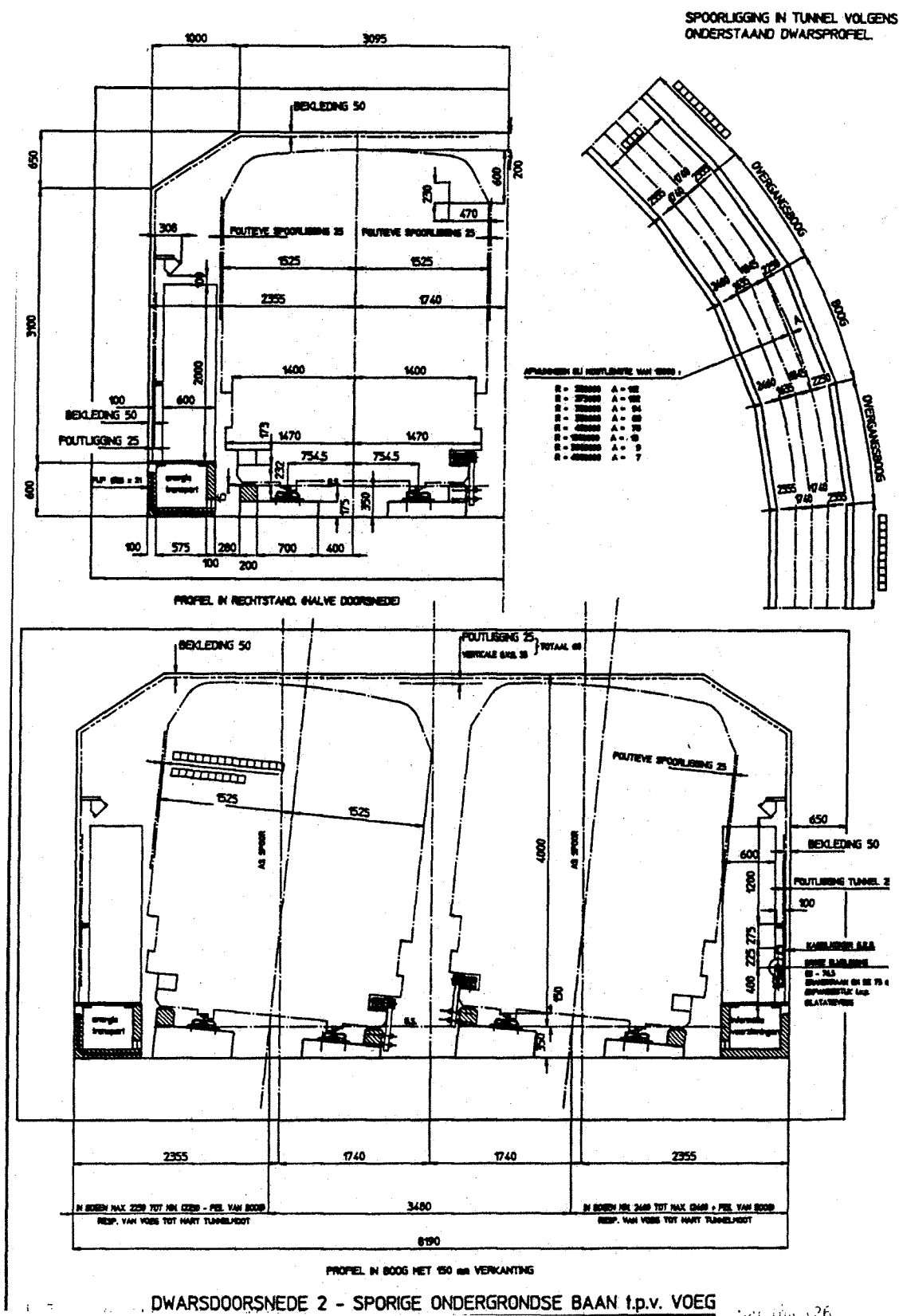
De lengte van het perron is afhankelijk van en minimaal gelijk aan de maximale lengte van het voertuig die gesteld is op 125 meter (zie materieel).

Ventilatie

Aan weerszijden van de baan aan beide einden van de perrons. Elke schacht wordt voorzien van een rooster van 9 m². De natuurlijke trek verschaft verder voldoende ventilatie voor hal en perrons.

5.2.10 Profiel van vrije ruimte





Figuur 4 Profielen van vrije ruimte

5.3 Constructieve eisen

5.3.1 Verticale belastingen¹⁰

Permanente belasting

Bij de bepaling van het eigengewicht geldt als volumieke massa van:

- voorgespannen en gewapend beton 2500 kg/m^3 ;
- staal 7850 kg/m^3 .

De rustende belasting in de tunnel is uit meerdere componenten opgebouwd:

- Het gewicht van de railopstortingen. Het gewicht van de railopstortingen is afhankelijk van de afmeting door verkanting en de verticale boogstraal. Er moet met minimaal 10 kN/m^1 per spoor gerekend worden
- Het gewicht van de rails. Het gewicht van de rails is ongeveer $1,0 \text{ kN/m}^1$ voor één spoor bij toepassing van het railprofiel S49.
- Het gewicht van de stroomkabels. Voor het gewicht van alle kabels moet met $1,2 \text{ kN/m}^1$ kabelgoot gerekend worden.

Voor de belasting van de grond wordt verwezen naar het overzicht van de bodemopbouw, zie paragraaf 6.2 'Omgevingsaspecten'.

Voor de belasting uit het grondwater wordt gerekend met een soortelijk gewicht van $10,0 \text{ kN/m}^3$.

Veranderlijke belasting

Bij de bepaling van de maximale belasting door metrotreinen moet worden uitgegaan van de belastingsschema's zoals aangegeven in bijlage III. Deze belastingen moeten worden vermenigvuldigd met een stootcoëfficiënt. De stootcoëfficiënt is nodig om de dynamische belasting als gevolg van:

- de afwijkingen van de wielen;
- de verticale afwijkingen van het spoor;
- de over het kunstwerken passerende aslasten.

De stootcoëfficiënt voor een tunnel die volledig gesteund wordt door grond is 1,0. Voor een tunnel ondersteund op palen wordt een stootcoëfficiënt van 1,1 aangehouden.

De aslast van de metro is: per as circa 110 kN , en van het werkmaterieel circa 135 kN per as. De aslast van de lightrail is per as circa 120 kN .

De belasting door personen op perrons en gedeelten van de hal van het station bedraagt $5,5 \text{ kN/m}^2$. De belasting van de voetpaden in de tunnel bedraagt $2,0 \text{ kN/m}^2$.

5.3.2 Horizontale belastingen

Voegloosspoorkrachten

Onder de voegloospoorkracht wordt verstaan de kracht die in een doorgelaste spoorstaaf ontstaat door de invloed van temperatuurwisselingen. Daar, waar bij trajectgedeelten het aantal spoorstaven wijzigt, moeten in de civiele constructie

voorzieningen worden opgenomen, om een druk-/trekkracht van 800 kN per spoorstaaf op te kunnen nemen. Ook bij een einde baan dient rekening te worden gehouden met de afbouw van voegloospoorkrachten.

Spatkrachten

In bogen moet rekening gehouden worden met een spatkracht ten gevolge van de voegloospoorkracht. Deze spatkracht wordt berekend met de formule:

$$K = \frac{S}{R}$$

waarin: K = spatkracht [kN/m¹]
S = voegloospoorkracht [kN]
R = horizontale boogstraal [m]

middelpuntvliedende kracht

In bogen moet een middelpuntvliedende kracht in rekening worden gebracht. De middelpuntvliedende kracht wordt berekend met de formule:

$$K = \frac{mv^2}{R}$$

waarin: K = middelpuntvliedende kracht [kN]
m = massa van de voertuigen [ton]
v = snelheid [m/s]
R = horizontale boogstraal [m]

De middelpuntvliedende kracht moet vermenigvuldigd worden met de stootcoëfficiënt. Deze kracht grijpt aan in het hart van het spoor op 1,50 meter boven de bovenkant van de spoorstaaf.

Zijdelingse stoot

Bij het ontwerp van een constructie voor de baan moet ook rekening gehouden worden met een zijdelingse stoot van 30 kN die op 1,50 meter boven de bovenkant van de spoorstaaf in het hart van het spoor aangrijpt.

Rem- en optrekkrachten

Voor de berekening van de maximale remvertraging en optrekversnelling moet respectievelijk 1,4 en 1,2 m/s² worden aangehouden.

5.3.3 Dilatatievoegen

Dilatatievoegen zijn t.p.v. wissels niet toegestaan, tenzij voor specifieke voegen dispensatie wordt verleend.

5.4 Milieu eisen

5.4.1 Geluidshinder¹¹

Indien de afstand tussen station of tunnel en bebouwing minder dan 8 à 10 meter bedraagt, dienen zodanige voorzieningen aan de baan te worden getroffen, dat geen geluid als gevolg van het metroverkeer op een voor de mens hinderlijke wijze kan worden waargenomen. De maatregelen tegen geluidshinder zullen kunnen bestaan uit:

- a. verzwaring van de betonnen stationsdoorsnede;
- b. afveren van de spoorbaan.

5.5 Veiligheidseisen

Veiligheidsklasse

Voor de toegepaste bouwmaterialen en de andere elementen in de tunnel geldt veiligheidsklasse 1.¹²

De hoofddraagconstructie dient, gemeten op het criterium van bezwijken, een brandwerendheid te bezitten van tenminste 90 minuten.

Explosieve stoffen

Er mogen van de RET geen explosieve stoffen worden opgeslagen of vervoerd.¹³

Nooduitgangen

De nooduitgangen in een tunnel moeten van de RET op een afstand van 300 meter uit elkaar liggen, de definitieve afstand is vast te stellen aan de hand van een risicoanalyse.¹⁴

Van belang is dat de nooduitgangen voldoende manoeuvreermogelijkheden bieden om met een brancard van en naar de tunnel te komen. De vluchtwegen mogen niet dienen als rookafvoerkanaal en dienen op straatniveau een veilige vormgeving te krijgen.

5.6 Duurzaamheidseisen

Onderhoud

De metrostations en overige objecten dienen onderhoudsvriendelijk te worden ontworpen en te worden gebouwd, waarbij de toepassing van onderhoudsvriendelijke materialen een voorwaarde is.

Bouwmaterialen moeten zijn:

- duurzaam;
- moeilijk te verontreinigen;
- moeilijk te beschadigen;
- gemakkelijk schoon te maken;
- onderhoudsarm.

Mogelijke verzamelplaatsen van vuil in de baan moeten zoveel mogelijk worden vermeden.

6. Overige randvoorwaarden

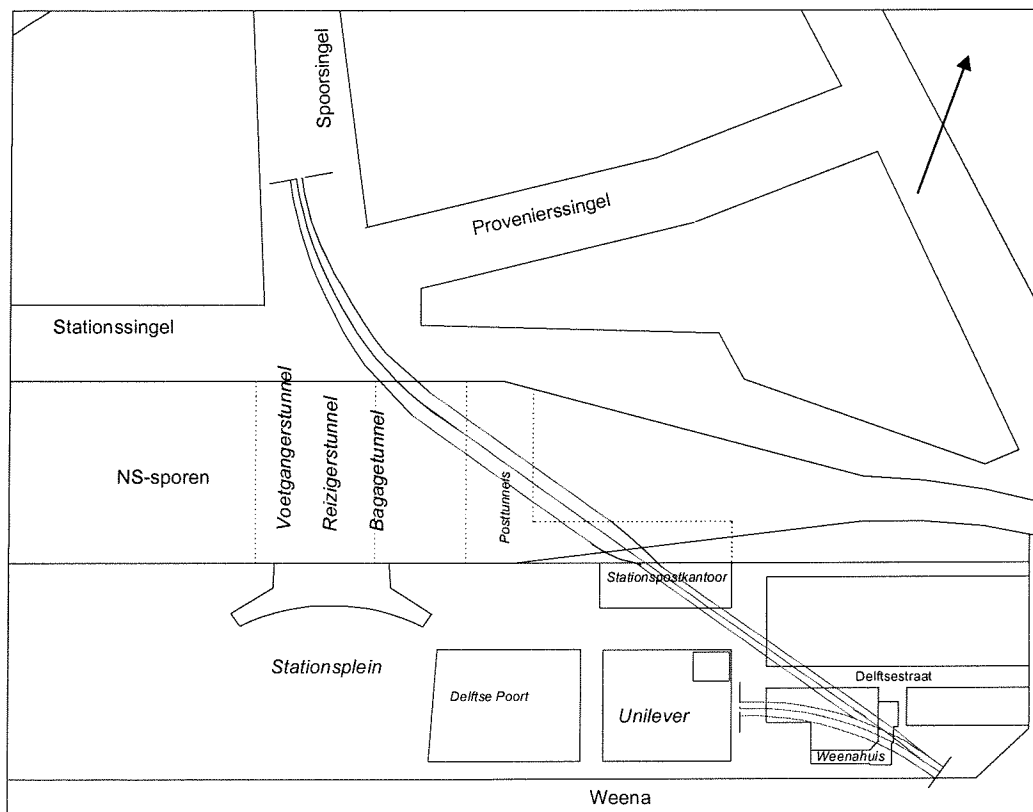
6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt weergegeven welke randvoorwaarden vanuit de omgeving aan het ontwerp opgelegd worden.

6.2 Omgevingsaspecten

6.2.1 Bebouwing rond de aansluiting

Plattegronden van Rotterdam worden weergegeven in bijlage IV. Een overzicht wordt gegeven in de onderstaande figuur.



Figuur 5 Overzicht van de bebouwing rond de aansluiting

De aansluiting vindt plaats ter hoogte van het Weenahuis. Het Weenahuis is een kantoorgebouw van elf verdiepingen met een parkeergarage. Het complex is over de metrotunnel gebouwd. De kelder van het kantoorgebouw bestaat uit een stijve kokerligger die een ondergrondse brugconstructie vormt over de metrotunnel. Het Weenahuis is rond 1983 gebouwd. De bodem van de parkeergarage bestaat uit bakstenen, die doorgaans boven de grondwaterstand liggen, zodat vermoedelijk geen polderprincipe is toegepast.

Het maaiveld ter plaatse van het Weenahuis ligt op 0,40 m - NAP. De hoogte van de onderkant van de parkeergarage van het Weenahuis ligt op 1,50 m - NAP en de hoogte van de onderkant van de kelder van het kantoorgebouw op 3,40 m - NAP. In bijlage V worden tekeningen gegeven van het Weenahuis. Een palenplan van de parkeergarage bleek niet meer te achterhalen.

In de Delftsestraat staan naoorlogse panden die zowel als bedrijfsruimte en als woning dienst doen. De panden die gekruist worden zijn rond 1955 gebouwd. De hoogte van de onderkant van de bebouwing Delftsestraat ligt op 2,30 m - NAP. Een palenplan van de bebouwing wordt weergegeven in bijlage V.

Het geplande tracé kruist het Stationspostkantoor. Het gebouw wordt gebruikt door PTT-post. Dit gebouw is door middel van een tunnel verbonden met de sporen. Het gebouw wordt echter niet meer als expeditieknooppunt gebruikt. De dienst Stedebouw en Volkshuisvesting van de Gemeente Rotterdam gaat er vooralsnog vanuit dat dit gebouw blijft staan. Naar een eventuele andere functie voor het gebouw wordt gezocht. Het gebouw is eveneens rond 1955 gebouwd. De hoogte van de onderkant funderingsplaat stationspostkantoor ligt op 7,00 m - NAP. Diverse tekeningen van het Stationspostkantoor worden eveneens weergegeven in bijlage V.

Vervolgend wordt het spoorcomplex van de NS gekruist. In de huidige situatie kent Rotterdam CS drie 'spoorsectoren':

- Hoekse Lijn-sector (spoor 3 en 4) waar de treinen van de Hoekse Lijn keren.
- Oude Lijn-sector (spoor 1 en 6 tot en met 11) waar de treinen van de Oude Lijn Den Haag-Delft-Dordrecht doorrijden.
- Goudse Lijn-sector (spoor 12 tot en met 16) waar treinen uit de richting Gouda keren.

De HSL wordt in beginsel ingepast over bestaand spoor. De komst van de HSL vormt echter evenals de RandstadRail een stimulans voor de gewenste renovatie van CS, zodat deze lijn ook voor veranderingen in de toekomstige situatie kan zorgen. De hoogte van het spoorniveau van het Centraal Station ligt op 3,30 m + NAP.

Onder de sporen liggen een aantal tunnels op maaiveldniveau. Ter hoogte van de stationshal ligt de reizigerstunnel naar de sporen. Aan beide zijden van deze tunnel ligt een tunnel, respectievelijk een bagagetunnel en een voetgangerstunnel. Ter hoogte van het stationspostkantoor ligt een tunnel die vroeger werd gebruikt voor het transporteren van post.

6.2.2 Overige bebouwing rond de Spoorsingel

De Spoorsingel is een 50 meter brede singel. Aan de singel staan kapitale panden die voornamelijk als woningen gebruikt worden. Veel bebouwing is voor 1940 gebouwd. De hoogte van het straatniveau van de Spoorsingel ligt een stuk lager dan aan de zuidzijde van de sporen, namelijk op 1,05 m - NAP.

Aan de Walenburgweg staan eveneens kapitale woningen, waarvan de meeste voor 1940 gebouwd werden. Achter deze straat staat op een binnenplein een oud schoolcomplex.

Aan de Schieweg staan naoorlogse appartementen met daaronder gelegen bedrijfsruimten.

In de Insulindestraat staat vooroorlogse bebouwing, die deels gesloopt gaat worden.

6.2.3 Metrotunnel

De metrotunnel bestaat ter plaatse van het Weenahuis uit een afgezonken gedeelte en een in een droog bouwdok geconstrueerd gedeelte. Het afgezonken gedeelte is los gefundeerd op zogenaamde opperspalen. Het in het bouwdok gemaakte gedeelte is gefundeerd op schoor geheide palen die in de vloer zijn opgenomen.

De afgezonken metrotunnel tussen het Weenahuis en de Coolsingel heeft een mootlengte van 60 meter. Deze moten bestaan uit vier gedeelten van 15 meter die constructief verbonden zijn.

De in het bouwdok gemaakte tunnel, het zogenaamde sluitstuk heeft een lengte van ongeveer 135 meter.

De onderkant van de tunnel ligt nabij het Weenahuis op ongeveer 10 m - NAP.

Gedetailleerde gegevens voor de vervolgstudie zijn opgenomen in bijlage VI.

De metrotunnel heeft ter plaatse van het Weenahuis een neerwaartse helling van 1:300 richting CS. In de boog tussen de Coolsingel en het Weena is een straal toegepast van 220 meter

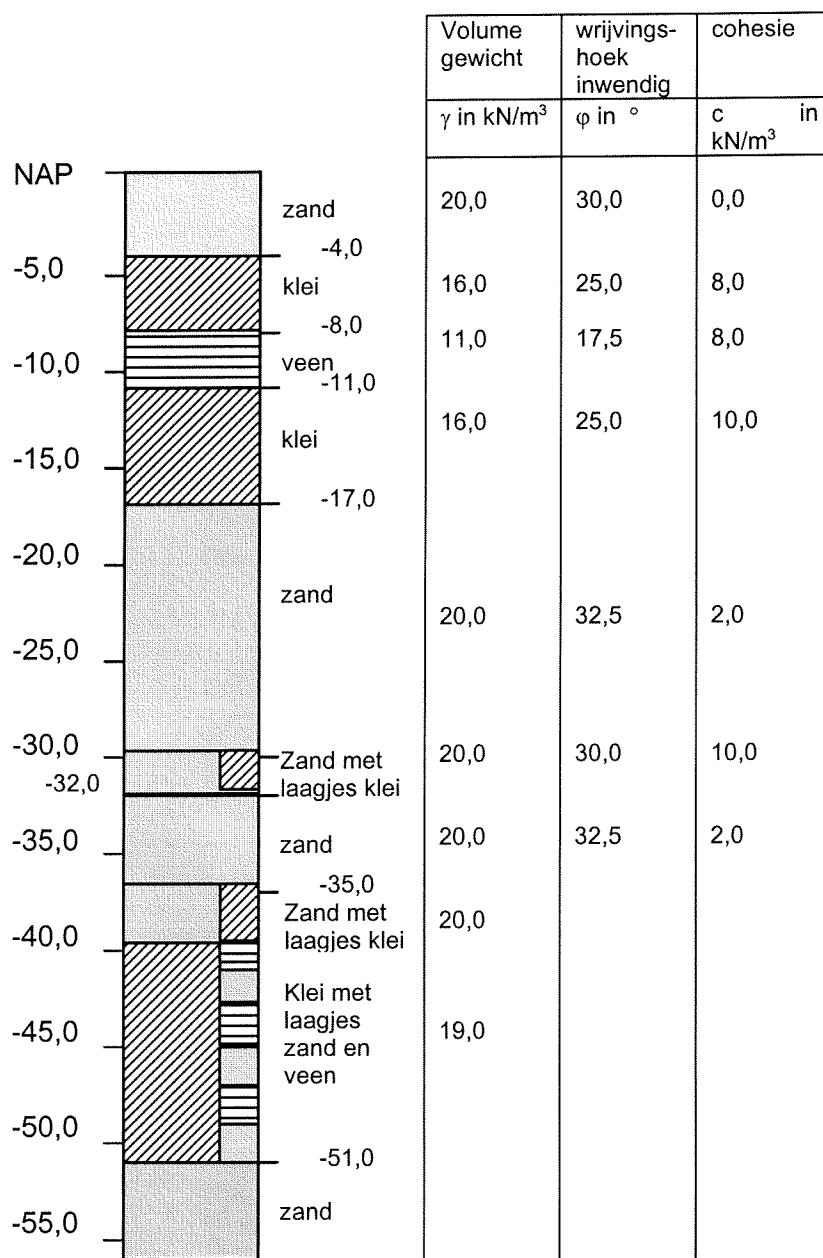
Bij de bouw van de metrotunnel zijn enkele hulpconstructies in de grond achter gebleven. Deze worden weergegeven in bijlage VI.

6.2.4 Kabels- en leidingen¹⁵

Een overzicht van de kabels, leidingen en exploitanten zijn te vinden in bijlage VII.

6.2.5 Bodemopbouw

De bodemopbouw volgt uit de gegevens van een sondering ter plaatse van het Weenahuis. Zie bijlage VIII. ¹⁶



6.2.6 Grondwater¹⁷

De stijghoogte van het grondwater nabij het Weena dat een vrije grondwaterspiegel heeft wordt weergegeven in bijlage IX.

De stijghoogte van het grondwater dat zich in het diepe zand onder de ondoorlatende klei- of veenlaag bevindt wordt eveneens weergegeven in bijlage IX.

6.2.7 Bestemmingsplannen

Op het gebied is van toepassing de Rotterdamse Bouw Verordening uit 1993. Het college van Burgemeester en wethouders van Rotterdam hebben op 15 april 1999 een besluit genomen tot het voorbereiden van een bestemmingsplan voor de gronden gelegen aan het Stationsplein en de Delftsestraat. Dit voorbereidingsbesluit is uiterlijk twee jaar van kracht.¹⁸

6.3 Uitvoeringsaspecten

6.3.1 Exploitatie metro

Bij voorgaande bouwwerken aan de metro in Rotterdam moest de exploitatie van de metro tijdens de bouwwerkzaamheden mogelijk zijn, zodat het redelijk is dit ook nu als uitgangspunt te nemen.

6.3.2 Bemalingen

Bij bemalingen van voorgaande bouwwerken werd door de Gemeentewerken Rotterdam de volgende eisen aangehouden:

- De verlaging van het freatisch vlak is niet toegestaan.
- Verlaging van de stijghoogte van het semi-spanningswater in de eerste zandlaag is toegestaan, als de verlaging ter plaatse van kwetsbare bebouwing niet dieper reikt dan het laagste niveau in een overeenkomende periode in het verleden.

DEEL C: RUIMTELIJK ONTWERP

7. Factoren die het ruimtelijk ontwerp beïnvloeden

7.1 Inleiding

Er zijn een aantal factoren die van invloed zijn op het horizontaal en verticaal alignement van de Spoorsingelvariant. Een volledig ruimtelijk ontwerp van de Spoorsingelvariant zou buiten de gestelde grenzen van deze studie gaan. Daarom wordt het ruimtelijk ontwerp toegespitst op de aansluiting. In dit hoofdstuk wordt dan ook enkel op de vraag ingegaan welke factoren van invloed zijn voor de plaatsbepaling van de aansluiting.

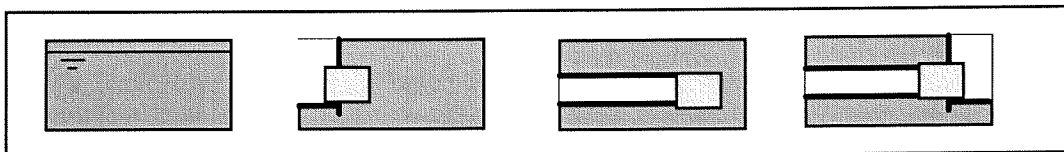
7.2 Uitvoeringsmethoden

7.2.1 Inleiding

De toe te passen uitvoeringsmethoden zijn in het algemeen van belang voor het ruimtelijk ontwerp. Als uitgangspunt voor de verbinding tussen de RandstadRail en de metro in het centrum van Rotterdam geldt dat de verbinding bestaat uit een volledig ondergronds liggende tunnel. De uitvoeringsmethoden hebben niet zo zeer invloed op het horizontaal alignement, maar meer op het verticaal alignement. De methoden hiervoor zijn in te delen in ondergrondse en bovengrondse uitvoeringsmethoden:

7.2.2 Ondergrondse uitvoeringsmethoden;

Hierbij wordt vanuit een bouwput in horizontale richting gewerkt aan de bouw van een tunnel, waarbij het maaiveld onaangetast blijft. Er bestaan een aantal methoden voor onderdoorgangen van een beperkte lengte, zoals bijvoorbeeld een inschuifconstructie of een buizenscherm. De vereiste diepteligging bij deze methode is eerder aan de geringe dan aan de diepe kant, aangezien de constructie bij toenemende diepte zwaarder uitgevoerd moet worden door de toenemende massa van de grond boven de onderdoorgang. Een methode die gebruikt wordt voor tunnels met een grotere lengte is de boormethode. Het toepassen van deze methode is bepalend voor het ruimtelijk ontwerp door de vereiste diepte die de tunnel moet hebben om voldoende gronddekking te hebben, om onder funderingspalen door te gaan of om de juiste grondlaag te vinden.



Figuur 6 Boormethode

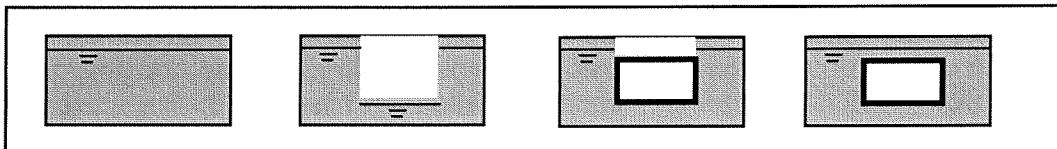
Het dwarsprofiel is van invloed op het horizontale alignement door de eis dat de boogstraal van een boortunnel minimaal 50 maal de diameter is. In

uitzonderingsgevallen kan deze boogstraal gereduceerd worden tot 25 maal de diameter.

Naast de omtrek van de tunnel is ook de diepte van de boortunnel van belang. Als richtlijn wordt gesteld voor de diepte van een boortunnel dat de diepte minimaal de diameter van de tunnel moet zijn om opdrijven of opbarsten te voorkomen. Er wordt geen limiet gesteld aan de maximale diepte van de tunnel, hoewel de belasting op de tunnel en het boorfront wel steeds groter wordt naarmate de diepte toeneemt. Wanneer een tunnel onder fundering van bebouwing wordt geboord moet voldoende diepte aangehouden worden ten opzichte van de onderkanten van de paalpunten.

7.2.3 Bovengrondse uitvoeringsmethoden;

Hierbij wordt vanuit het maaiveld in verticale richting gewerkt, zodat het maaiveld over het hele tracé 'open' ligt. Hierbij wordt een bouwput gemaakt waarin in een tunnel kan worden gebouwd. De bouwkuip bestaat uit natuurlijke of kunstmatige verticale en horizontale begrenzingen, die zwaarder worden uitgevoerd naarmate de diepte toeneemt of de omgevingseisen strenger zijn. De bouwkuip wordt ruimer uitgevoerd dan de afmetingen van de tunnel. Een methode waarbij de bouwkuip overbodig is de caissonmethode waarbij het caisson van het maaiveld in de grond pneumatisch wordt afgezonken.



Figuur 7 Bouwmethode vanaf het maaiveld

7.2.4 Conclusie

De ligging van de infrastructuur nabij de Spoorsingel bepaalt grotendeels de toepasbaarheid van de uitvoeringsmethoden. Zo is het voor het eerste gedeelte van de aansluiting met de metro tot aan het station CS uitgesloten om een boortunnel aan te leggen, gezien de te geringe gronddekking die aanwezig is voor een boortunnel bij de aansluiting en de obstakels in de grond. De afstand tussen het station en de aansluiting is te gering om voldoende diepte te komen. Voor het gedeelte tot het station CS moet daarom gedacht worden aan bovengrondse uitvoeringsmethoden. Deze methoden bepalen niet strikt eisen voor het verticaal en horizontaal alignement. Wel geldt dat hoe dieper de bouwput is des te duurder de aanleg wordt.

Voor het gedeelte vanaf het station CS kan het lonend zijn om een boortunnel aan te leggen tot de aansluiting met de Hofpleinlijn, om zo de panden nabij de Schieweg te ondertunnelen. De diepteligging van de boortunnel heeft dan invloed op het gehele verticale tracé.

7.3 Stations

In het plan van de Spoorsingelvariant zijn twee stations opgenomen; één nabij Rotterdam CS en één nabij de Schiekade.

De afmetingen van het station zijn randvoorwaarden voor de inpassing. De plaats van een hal en sporen bepalen de ruimte die nodig is voor het station. Er zijn verschillende mogelijkheden denkbaar voor het station. Zo kan het station in de breedte gebouwd worden, zodat alles gelijkvloers ligt. Dit heeft vooral effect op het horizontaal alignement. De hal en de sporen kunnen ook boven elkaar gebouwd worden, zodat het station een minimale ruimte beslaat.

In het programma van eisen zijn de afmetingen genoemd waaraan de breedte van een perron minimaal moet voldoen. Ook zijn minimale hoogten weergegeven van een tunnel en een hal. De juiste layout van een station is sterk afhankelijk van de wensen van de opdrachtgever. Deze liggen nog niet vast. Ook is een nadere studie vereist van het te verwachten aantal reizigers dat gebruik gaat maken van de stations. De layout van het station is ook sterk afhankelijk van de diepteligging van het tracé.

De breedte en de hoogte zijn bepalend voor het alignement. Het geplande station CS is op een zodanige afstand gelegen dat de breedte van het station niet bepalend is voor de aansluiting.

De hoogteligging van het station is afhankelijk van de layout dat niet eenduidig vastligt. De hoogteligging van het spoorniveau in het station is van belang voor de helling van de sporen tussen het station CS en de aansluiting. De aansluiting echter zal onder eenzelfde helling moeten liggen als de bestaande metrotunnel, anders kunnen de sporen onmogelijk kruisen. De minimale en maximale hoogteligging van het station wordt dan begrensd door de minimale en maximale hellingspercentages en de bebouwing in de omgeving.

7.4 Kosten

Het verticaal alignement wordt bepaald vanuit de filosofie dat het gunstig is om stations hoog te leggen en tunnels diep. Zo krijgt een vertrekkend voertuig vanuit een station een versnelling mee door de daling en wordt een binnenkomend voertuig door de stijging afgeremd. Dit is gunstig in de exploitatiefase. In de uitvoeringsfase is het gunstig om het gehele tracé zo hoog mogelijk te leggen. Het is interessant om voor elk tracé een grondige studie uit te voeren om te bepalen wat de meest economische ligging is. Veelal ontbreekt de tijd hiervoor en de verschillende betrokken partijen kunnen van inzicht verschillen door tegenstrijdige belangen. Wanneer tunnelbouwmethoden vanaf het maaiveld gebruikt worden over het hele traject is het vanuit meerdere opzichten wenselijk om het station zo hoog mogelijk te leggen:

- De aanlegkosten worden hierdoor gereduceerd;
- De exploitatiekosten zijn minder door de gunstig werkende zwaartekrachteffecten;
- Het reizigersgemak wordt gediend door korte overstaplengtes.

Dit zou inhouden dat na de aftakking het tracé naar het maximale niveau van het station gaat. De diepte van de tunnel na het station wordt met name bepaald door de uitvoeringsmethode na het station, welke ook weer invloed heeft op de hoogte.

7.5 Ontwerpnormen

Voor het tracé gelden ook enkele normen waaraan het alignement moet voldoen. In Nederland bestaan er geen landelijke normen voor het ontwerp van spoorwegen. Elk vervoersbedrijf kent haar eigen eisen, aangezien het materieel wat ingezet wordt nogal kan verschillen. Toch zijn uit het oogpunt van veiligheid en comfort vele overeenkomsten tussen de gehanteerde regels te ontdekken.

In bogen wordt het spoor onder een dwarshelling aangelegd om de naar buiten gerichte dwarskracht zo minimaal mogelijk te houden. Deze dwarshelling wordt de verkanting van de baan genoemd. De verkanting is afhankelijk van de snelheid van de toegestane snelheid op de baan.

Een bepalende factor voor de snelheid op de baan is de grootte van de boogstralen. Boogstralen moeten in principe zo groot mogelijk worden ontworpen, wat gunstig is voor het reizigerscomfort en de snelheid. Ook treedt er dan minder snel slijtage op aan het voertuig en is er minder geluidshinder voor de omgeving. Aan boogstralen worden minima gesteld. Deze minima kunnen bepalend zijn voor het horizontale en verticale alignement.

Als overgang tussen rechtstanden en bogen, tussen tegengesteld gerichte bogen en tussen gelijkgerichte bogen worden overgangsbogen toegepast om de verandering in de zijdelingse versnelling geleidelijk te laten verlopen. De overgangsboog heeft de vorm van een klotoïde. De klotoïde is een boog waarvan de boogstraal geleidelijk afneemt van oneindig naar nul.

Verder zijn eisen gesteld aan de minimale en maximale hellingen van de baan, die bepaald worden door respectievelijk de afwatering van de baan en het vermogen van het voertuig.

In Bijlage X wordt nader ingegaan op de theorie van het ontwerp van spoorwegen en worden diverse formules beschreven waarmee verkantingen, boogstralen, overgangsbogen en hellingen kunnen worden berekend.

7.6 Literatuur

- [1] *Ondergronds bouwen*, Prof ir. E. Horvat, TU-Delft, Delft, 1997
- [2] *Handboek ondergronds bouwen deel 1*, Centrum Ondergronds Bouwen, Rotterdam, 1997
- [3] *Ontwerp van wegen en spoorwegen*, Prof. dr. ing. I.A. Hansen, TU-Delft, Delft, 1996
- [4] *Die klotoïde als trassierungselement*, Prof. dr. ing. H. Kasper, Bonn, 1954

8. Horizontaal alignement

8.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de vraag welke varianten voor de koppeling van de RandstadRail via de Spoorsingel mogelijk zijn. Het horizontaal alignement is meer bepalend voor de ontwikkeling van de varianten dan het verticaal alignement. De verschillende tracés zijn getekend met het programma Autocad LT waarmee nauwkeurig de lengtes en de boogstralen getekend kunnen worden. De diverse tracés worden beschreven vanaf het zuiden, dat is in de tekeningen onderaan.

De berekeningen hebben niet als doel het tracé op de centimeter nauwkeurig vast te leggen, maar zijn bedoeld om een indicatie te geven van de grootte van de boogstralen, hellingen, verkantingen en niveaus.

8.2 Randvoorwaarden

Er zijn een aantal randvoorwaarden uit de omgeving die van invloed zijn op het horizontaal alignement:

1. Naast het gebouw van Unilever (zie figuur 5) staat een smalle, hoge woontoren. De belasting van deze toren wordt via een relatief klein oppervlak afgedragen aan de grond. Hierdoor is de dichtheid van de funderingspalen hoog. Vanuit constructief oogpunt is het wenselijk, al dan niet noodzakelijk, om de metrotunnel niet ondergronds te kruisen met dit gebouw.
2. Onder het kantoorgebouw van het Weenahuis is een ondergrondse brugconstructie gebouwd over de metrotunnel. Tijdens het ontwerp van het Weenahuis is bepaald dat de overspanning van deze brug 45 meter moest zijn om de invloed van de zettingen van het gebouw op de metrotunnel te beperken. De noordelijke oplegging van deze brugconstructie, een paalgroep van 19 dicht op elkaar geheide palen die voor de helft de last afdraagt van de bebouwing bovenop de brug, vormt eveneens een zeer moeilijk te kruisen obstakel in de ondergrond, aangezien de tunnel aan de noordelijke kant afgetakt wordt.
3. Uit de funderingskaart van het stationspostkantoor blijkt dat het gebouw aan beide einden zwaarder is gefundeerd dan in het midden. Het is daarom wenselijk om deze zwaardere fundering te mijden.

Van belang voor het ruimtelijk ontwerp is ook de snelheid op het traject. De maximum snelheid van de metro in de boog tussen het Weena en de Coolsingel is gesteld op 50 km/u, door de geringe boogstraal van 220 meter. De metro rijdt in de boog dus in de 'eerste versnelling' van het zogenaamde automatische treinbeïnvloedingssysteem (ATB) (in tabel I in bijlage X zijn duidelijk drie trappen in de snelheden te zien). De snelheid van aankomst van een metro bij een station is bij voorkeur ook 50 km/u. Hieruit volgt dat de metro tussen het station en de boog ook niet harder zal rijden dan 50 km/u, gezien de korte lengte, ruim honderd meter, die tussen deze boog en het station ligt.

8.3 Variant 1

8.3.1 Beschrijving variant 1

De eerste variant van het eerste gedeelte is het tracé zoals die beschreven staat in het plan 'De bogen gewogen' en het document 'Planstudie RandstadRail'. De metrotunnel wordt noordelijk afgetakt nabij het Weenahuis en kruist het stationspostkantoor, zie de kaart in bijlage II en de onderstaande figuur.

8.3.2 Inpassing variant 1

Een voor de hand liggend tracé is een rechtstand aan te leggen langs de zwaardere fundering van het Weenahuis en het Stationspostkantoor, de randvoorwaarden 2 en 3. Deze rechtstand gaat een aantal meter langs de eigenlijke boog van de metrotunnel, zodat het mogelijk is om de vereiste klotoïde in te passen. Hieruit volgt wel dat de aansluiting op de metrotunnel al voor het Weenahuis is. Bij een flauwere rechtstand kan de aansluiting onder het Weenahuis plaatsvinden, maar dan komt randvoorwaarde 1 in het geding.

De lengte van de klotoïde tussen de boog en de rechtstand volgt uit de lengte van de overgangshelling van de verkanting, die nodig is om de verkanting naar nul te leiden. Een kortere overgangslengte geeft een kleinere klotoïde. In dit geval is een kleine klotoïde wenselijk aangezien de ruimte tussen de doorgetrokken rechtstand en de boog maar enkele meters bedraagt. Een minimale lengte volgt uit de bij voorkeur minimaal toe te passen overgangshelling van 1:700 (zie bijlage X). Hierbij valt op te merken dat de comforteis (formule 11 in bijlage X) van de klotoïde nog wel een kortere verbinding toestaat, zodat er nog wat 'rek' zit in de huidige eis van de RET.

Met de toegepaste verkanting in de boog van 70 mm volgt hieruit dat bij benadering de overgangslengte 50 meter bedraagt. Met de formule van de kubische parabool kan nu de loodrechte afstand berekend worden tussen de rechtstand en de boog:

$$y = \frac{x^2}{6R} \quad [\text{m}]$$

Waarin:

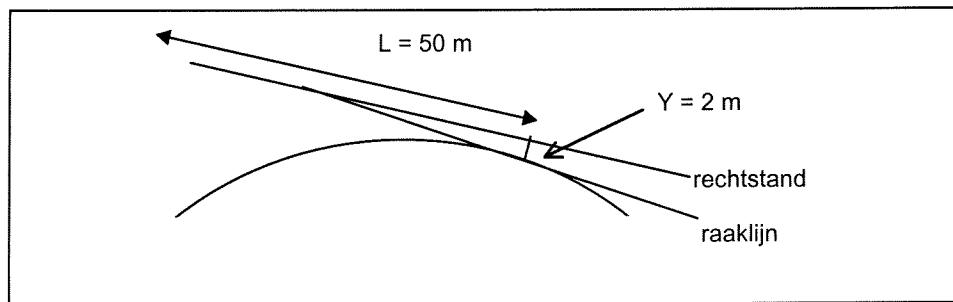
- y : de afstand van het betreffende punt van de overgangsboog loodrecht op de doorgetrokken rechtstand ter plaatse van dat punt x [m].
- x : de afstand van het begin van de overgangsboog op de doorgetrokken rechtstand = 50 m.
- R : boogstraal = 220 m

Hieruit volgt dat de afstand loodrecht op de rechtstand ongeveer 2,0 m is.

De hoek van de raaklijn met de rechtstand aan het eind van de overgangsboog wordt nu gegeven door:

$$\tan \beta = \frac{x}{2R} \quad [\text{rad}]$$

waauir volgt dat de hoek die de raaklijn met de rechtstand maakt 6,5 graden bedraagt. Deze hoek bepaalt de positie van de rechtstand en daarmee de positie van de overgangsboog.

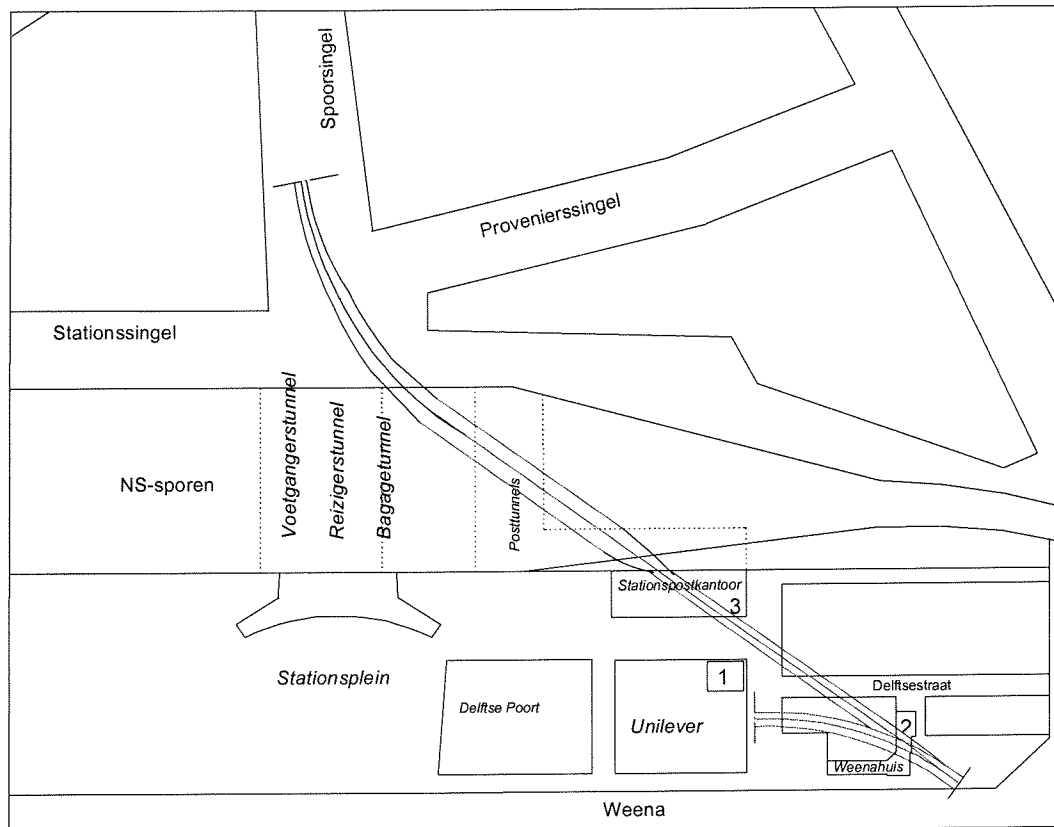


Figuur 8 Overgangsboog variant 1

Deze 'minimale overgangsboog' is goed in te passen. Aangezien $L \ll R$ is de boogverschuiving die optreedt wanneer men een kubische parabool toepast als benadering van een klotoïde te verwaarlozen.

Een variatie op dit tracé is mogelijk door de overgangsboog iets later te laten beginnen in combinatie met een tegengestelde overgangsboog. Het voordeel van deze variatie is dat hoek van de kruising met het postkantoor groter is, zodat de onderdoorgang korter is. De ruimte voor deze variatie is echter minimaal. De rechtstand is tevens verbonden aan de wens dat het spoor in het station zo recht mogelijk moet liggen. Het is tevens wenselijk om met het spoor rechtstreeks in de Spoorsingel uit te komen zonder een s-boog aan te hoeven leggen. Het slingeren zal door de reiziger als onprettig worden ervaren.

De plaats van het station ligt hierdoor voor deze variant min of meer vast. Het station kan recht ingepast worden zonder de bagagetunnel te kruisen, als de breedte beperkt blijft. Om het tracé in de Spoorsingel in te passen is dan een boogstraal van ruim 200 meter nodig. De verbinding tussen de rechtstand en de boog wordt gemaakt met een klotoïde die onder de laatste twee spoorbanen van CS begint. Het nieuw te bouwen station kruist wel de tunnel van het Stationspostkantoor.



Figuur 9 Variant 1

8.4 Variant 2

8.4.1 Beschrijving variant 2

Naast het geplande tracé kunnen er meer varianten mogelijk zijn. Het blijkt dat nog één andere variant reëel mogelijk is. Het blijkt mogelijk te zijn om het tracé langs het Stationspostkantoor te leggen. Deze variant wordt nog niet vermeld in publicaties over de RandstadRail.

8.4.2 Inpassing variant 2

Bepalend voor de plaats van de aansluiting zijn de fundering van het Weenahuis in combinatie met de fundering van de woontoren, randvoorwaarde 1 en 2.

Hierdoor zijn twee rechtstanden nodig, één langs het postkantoor en één langs de metrotunnel. Tussen deze twee rechtstanden is een overgangsboog nodig.

Wil men dit tracé inpassen dan moet men afstappen van de voorkeur voor een minimale boogstraal van 240 meter en de minimaal haalbare boogstraal voor de metro van 123 meter toepassen. De maximale snelheid van 50 km/u kan dan gehandhaafd blijven als men een maximale verkanting van 150 mm toepast. Voor de lightrail, die in de toekomst waarschijnlijk op dit traject zal gaan rijden, kan zelfs nog een kleinere boogstraal toegepast worden. Bij de minimum boogstraal van 123 meter kan het huidige gebruikte materieel ook ingezet worden, hetgeen vooralsnog een goed

uitgangspunt is. De minimale lengte van de boog moet vervolgens 25 meter bedragen, waarna weer een overgangshelling van nodig is om de verkanting naar nul te leiden.

Het blijkt dat de plaats van de aansluiting bij deze boog gelijk is aan de eerste variant.

Na de overgangsboog is een klein stuk rechtstand mogelijk waarna een volgend stuk overgangsboog toegepast moet worden om het tracé onder het Centraal Station te leiden.

Om het nieuwe metrostation CS langs de bagagetunnel te kunnen leggen, wat aanzienlijk zal schelen in de aanlegkosten, is een tweede minimale boog van 123 meter nodig. De verkanting in deze boog is tegengesteld aan de verkanting in de eerste boog. Wanneer men een overgangshelling toepast van 1:700 is er een tekort aan ruimte. De totale lengte van de overgang die gebruikt kan worden om de bogen op elkaar aan te laten sluiten is 160 meter gerekend langs de klotoïde. Bij een verkanting van 150 mm is de overgangshelling ongeveer 1:1060, wanneer men de verkanting in beide klotoïdes van de S-boog laat doorlopen. Als het ene spoor afloopt, loopt het andere spoor op zodat de eigenlijke helling 1:530 bedraagt. Deze helling is kleiner dan de minimum overgangshelling van 1:700 waar de RET een voorkeur voor heeft.

Uit de benaderingsformule van de overgangslengte:

$$L = 0,01vh$$

waarin: v : de ontwerpsnelheid = 50 km/u
 h : de verkanting = 150 mm

volgt dat 150 meter voldoende is voor de beide klotoïdes, wat overeenkomt met een helling van 1:500. En uit de comforteis van een klotoïde:

$$A_{\min} = 0,146 \sqrt{\frac{v^3}{C_{\max}}}$$

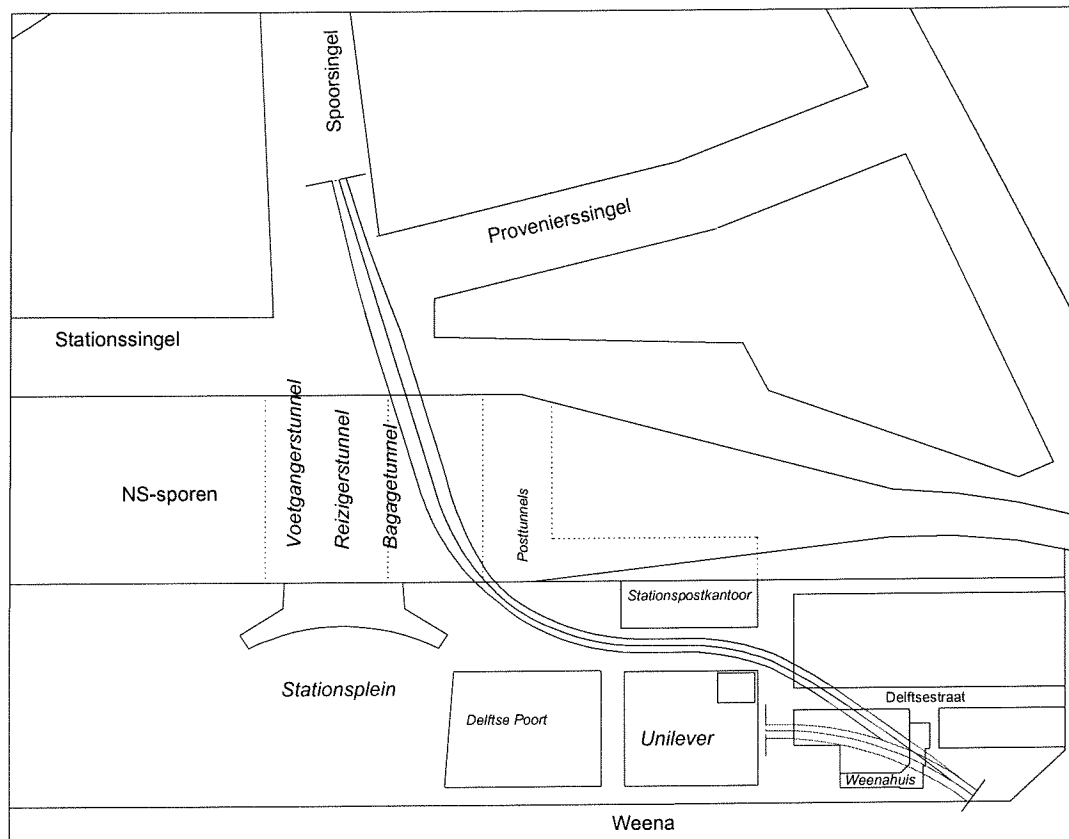
waarin: $A_{\min}$: de minimale parameter van de klotoïde [m]
 v : de ontwerpsnelheid = 50 km/u
 $C_{\max}$: de toelaatbare toename van de dwarsversnelling = 0,65 m/s³

volgt een minimale parameter voor een klotoïde van 64 m. Met $A^2 = RL$ blijkt dan de uiterst minimale helling 1:450 te zijn.

De overgangslengte van 160 meter voldoet in principe uitstekend. Men kan dus stellen dat de lengte van 210 meter die volgt uit een helling van 1:700 aan de veilige kant is. De helling van 1:700 is overigens geen harde eis van de RET, maar een voorkeur.

Ook na de tweede boog is een klotoïde nodig om de rechtstand van het station in te leiden. De minimum boogstraal moet toegepast worden voor de binnenbocht. Het perron mag beginnen bij een boogstraal van 800 meter. Bij een overgangshelling van 1:700 komt het station ver naar het noorden te liggen. Ook hier is het dus wenselijk om een steilere helling toe te passen en bij voorkeur dezelfde als voor de tweede boog. Met de formule $A^2 = RL$ kan met een overgangslengte van 80 meter de plaats berekend worden waar de boogstraal van de klotoïde groter is dan 800 meter zodat het station daar kan beginnen. Hieruit volgt dat het perron kan beginnen op 70 meter na de tweede boog.

Vervolgens is er ruimte voor een perron van ruim 130 meter waarna de lijnen weer bij elkaar komen. De meest oostelijk gelegen lijn buigt naar de andere toe om de bebouwing in de Spoorsingel te mijden. Hierna is een flauwe boog nodig om het tracé door de Spoorsingel te leggen.



Figuur 10 **Variant 2**

8.5 Conclusie

Uit de studie naar de varianten blijkt dat er twee varianten zijn voor de fysieke koppeling van de Spoorsingelvariant. Daarbij is de tweede variant een geheel nieuwe mogelijkheid die nog niet eerder genoemd is in de publicaties over de RandstadRail. De belangrijkste conclusie voor deze studie is echter dat de plaats van de aansluiting bij beide varianten hetzelfde is. De Spoorsingelvariant blijkt dus één mogelijkheid voor een fysieke koppeling te hebben.

8.6 Literatuur

- [1] *Ontwerp van wegen en spoorwegen*, Prof. dr. ing. I.A. Hansen, TU-Delft, Delft, 1996
- [2] *Die klotoïde als trassierungselement*, Prof. dr. ing. H. Kasper, Bonn, 1954



9. Verticaal alignement

9.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt bepaald of de hoogten van kelders van de bebouwing in de omgeving van de aansluiting geen belemmering vormen om de beide varianten in te passen.

9.2 Randvoorwaarden

Het verticaal tracé wordt bepaald door de onderstaande eisen en randvoorwaarden:

1. Ter plaatse van de aansluiting is een helling toegepast van 1:300 dalend naar de richting van het Centraal Station. Vlak na de aansluiting ligt in de bestaande tunnel een dalparabool met een straal van 5000 meter.
2. Het niveau van de bestaande tunnel over de gehele aansluitlengte is maatgevend voor het beginniveau van de aftakking. Het niveau van het dak ligt bij het eind van de aansluiting, gerekend vanaf de Coolsingel, op 4,40 m - NAP.
3. De onderkant van de funderingsplaten onder de kelder van het stationspostkantoor liggen op 7,00 m - NAP.
4. Het maaiveldniveau in de Delftsestraat ligt op 0,40 m - NAP.
5. De tunnel moet een minimale gronddekking hebben van 1,75 meter om leidingen en kabels te kunnen plaatsen.
6. De hellingen mogen maximaal 1:25 en minimaal 1:500 zijn. Voor het station geldt een maximale helling van 1:400. Het station moet recht of onder een helling liggen maximaal 15 meter voor de uiteinden van het station.
7. De minimale toe te passen boogstraal van een voetboog is 2000 meter en voor een topboog 2500 meter. Het is wenselijk om een wissel voor het station aan te leggen, zodat het nevenspoor gebruikt kan worden als er calamiteiten optreden. Een wissel mag in een verticale boog worden aangelegd waarvan de straal groter is dan 5000 meter.

9.3 Verticaal alignement variant 1

Het meest bepalend voor het verticaal alignement van variant 1 is de hoogte van het dak van metrotunnel en de hoogte van de kelder van het Stationspostkantoor. De nieuwe tunnel moet over een lengte van ruim 100 meter 2,6 meter dalen. Of dit mogelijk is kan uitgerekend wordt door de helling gelijk te stellen aan de afgeleide van een boog. Zo kan precies de plaats bepaald worden waar een helling raakt aan een boog. Deze waarde x kan dan gemakkelijk omgerekend worden in een waarde voor de verticale verplaatsing y in de boog.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-x}{\sqrt{R^2 - x^2}}$$

Na enige iteraties volgt hieruit dat bij de toepassing van de minimale boogstraal voor een topboog van 2500 meter en de maximale helling van de tunnel van 1:25 het net mogelijk is om de tunnel onder het stationspostkantoor te leggen. Het blijkt dus dat deze variant mogelijk is voor de huidige metro's. Nieuw materieel kan waarschijnlijk op steilere hellingen rijden.

Wanneer het dak van de tunnel op het niveau van de kelder van het Stationspostkantoor is, is een overgangsboog nodig om de maximale helling van 1:400 in te leiden welke nodig is voor het station. Bij de toepassing van een voetboog van 2000 meter is vanaf het begin van het postkantoor hiervoor 75 meter nodig. Doordat het postkantoor schuin gekruist wordt is voldoende ruimte om voor het station een gewenste helling te krijgen.

Het is overigens wel ongunstig voor het stroomverbruik om een metro onder een neerwaarts gerichte helling een station binnen te rijden. Er is namelijk meer energie nodig om een metro af te remmen. Wat de juiste hoogte van het station is, is afhankelijk van meerdere factoren. Eén belangrijke factor is hoe het verticaal alignement van de rest van het tracé er uit komt te zien.

9.4 Verticaal alignement variant 2

Bij variant 2 vormen de randvoorwaarden in de omgeving geen belemmering voor de aansluiting. De onderkant van de kelders van de bebouwing in de Delftse straat liggen hoger dan het dak van de tunnel nabij het Weenahuis. Zelfs wanneer deze bebouwing moet blijven staan blijft er dus voldoende vrijheid over voor het inpassen van een verticaal alignement.

9.5 Conclusie

De belangrijkste conclusie voor de studie naar de aansluiting is dat de bepaalde plaats van de aansluiting in het vorige hoofdstuk, ook verticaal geen belemmering oplevert voor beide varianten. De vraag is wel hoe de rest van het tracé verticaal moet verlopen. Voor de studie naar de aansluiting is dit echter niet zozeer van belang aangezien het niveau van de aansluiting bepaald wordt door het niveau van bestaande tunnel. Ter plaatse van de aansluiting moeten de sporen namelijk kruisen.

9.6 Literatuur

- [1] *Ontwerp van wegen en spoorwegen*, Prof. dr. ing. I.A. Hansen, TU-Delft, Delft, 1996
- [2] *Die klotoide als trassierungselement*, Prof. dr. ing. H. Kasper, Bonn, 1954

DEEL D: CONSTRUCTIEF ONTWERP

10. Geometrie aansluiting

10.1 Inleiding

Voordat begonnen kan worden met het constructief ontwerp moet eerst de geometrie van de aansluiting bekend zijn. In het ruimtelijk ontwerp zijn de maten van de klootde berekend. Resumerend:

- de overgangslengte van de boog naar de rechtstand bedroeg bij benadering 50 meter;
- de loodrechte afstand tussen de doorgetrokken rechtstand en de boog is bij benadering 2 meter;
- de rechtstand werd bepaald door de ligging van de funderingen in de omgeving.

In het tekenprogramma Autocad is de precieze ligging van de aansluiting zo nauwkeurig mogelijk gedimensioneerd, wat weergegeven is in de figuren op de volgende pagina's.

10.2 Beschrijving van de figuren

In figuur 11 wordt een overzicht gegeven van de plaats van de aansluiting bij het Weena.

Vervolgens wordt in figuur 12 ingezoomd op het Weenahuis. In deze tekening zijn de doorsneden A t/m C aangegeven, welke in de figuren 17 t/m 19 getoond worden. In de doorsneden wordt een hoogte aangegeven van de tunnel. De bestaande tunnel ligt onder een neerwaarts gerichte helling gerekend vanaf de Coolsingel. De helling verloopt van 1:786 naar 1:295. Aan de meest westelijke zijkant van het Weenahuis ligt het dak van de tunnel op 4,30 m - NAP en de onderkant op 10,05 m - NAP. Voorbij het begin van de aansluiting ligt het dak van de tunnel op ongeveer 4,15 m - NAP en de onderkant op 9,90 m - NAP.

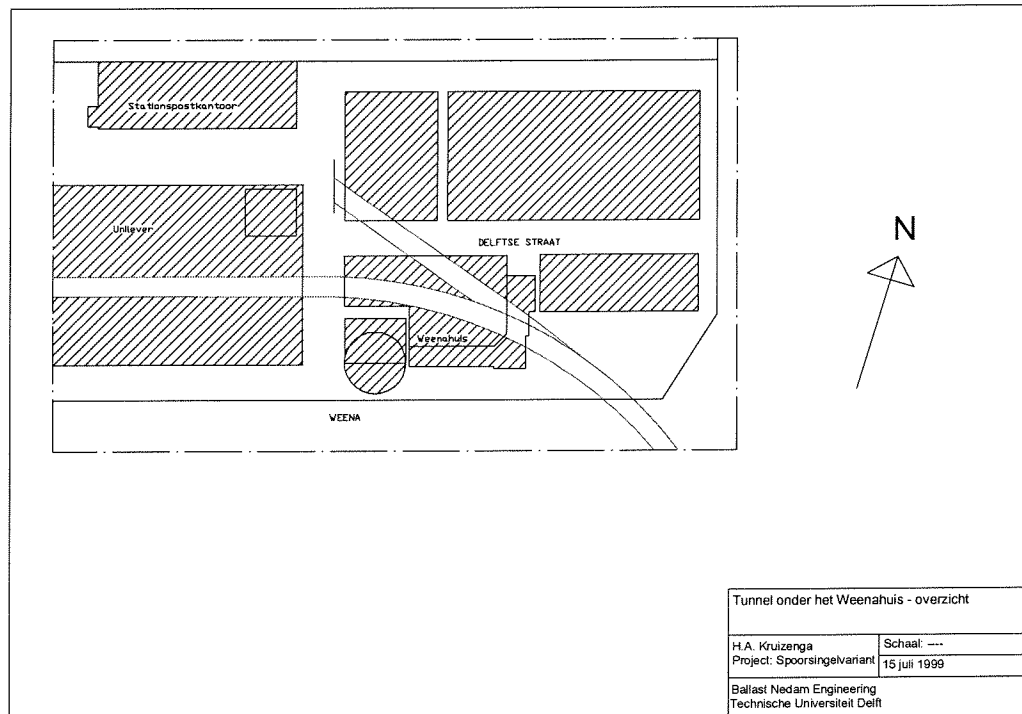
In figuur 13 wordt een ruimtelijk beeld gegeven van het Weenahuis met daaronder de metrotunnel en de aansluiting.

In figuur 14 is de positie van de verschillende tunnelementen getekend. Halverwege het Weenahuis heeft de scheiding gestaan tussen het bouwdok en het 'afzinkkanaal' zodat hier de aansluiting ligt tussen het in situ gestorte element en de afgezonken elementen. De afgezonken elementen bestaan uit moten van 60 meter lengte, die elk weer bestaan uit rechte delen van 15 meter. Uit de tekening van de aansluiting volgen enkele belangrijke punten voor het verdere ontwerp:

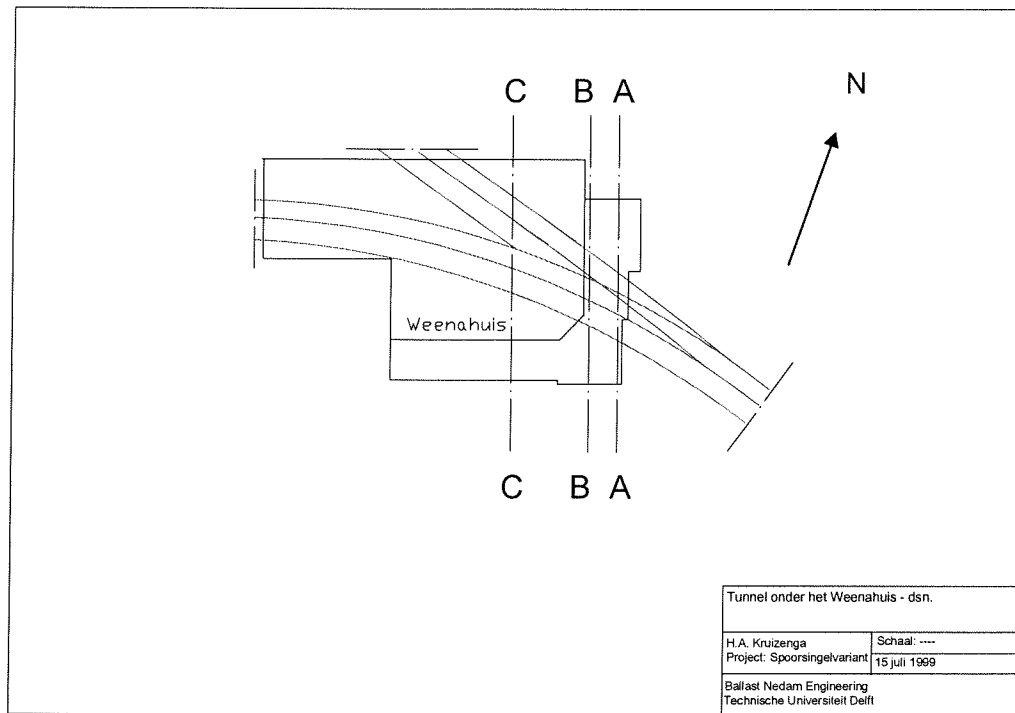
- De lengte van de aansluiting langs de boog bij benadering 70 meter bedraagt.
- Het einde van de aansluiting precies ter plaatse is van de aansluiting tussen het afgezonken tunnelement en het in situ gestorte tunnelement.
- De eerste tien meter, gerekend vanaf het Weena, ligt de lijn van de aansluiting bijna gelijk aan de boog, zodat ook hier de aansluiting ter plaatse van een voeg tussen twee afgezonken tunnelementen ligt, zodat de gehele aansluiting volgens de tekening over de lengte van één afgezonken tunnelmoot van 60 meter ligt.

In de figuren 15 en 16 wordt een 3D aanzicht gegeven van de aansluiting in vaste en in losgekoppelde toestand.

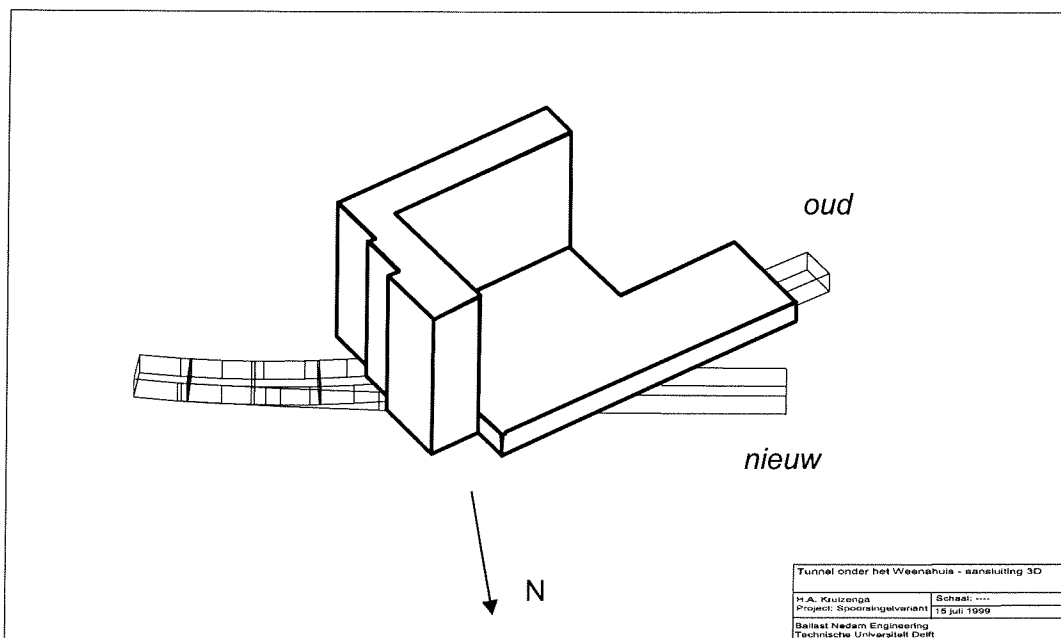
In figuur 20 is doorsnede A getekend met het bijbehorend grondprofiel. Daarin is ook de grondaanvulling getekend. Deze grond is de opvulling van het bouwdok en het afzinkkanaal na de bouw van de metrotunnel. Deze opvulling bestaat uit zand.



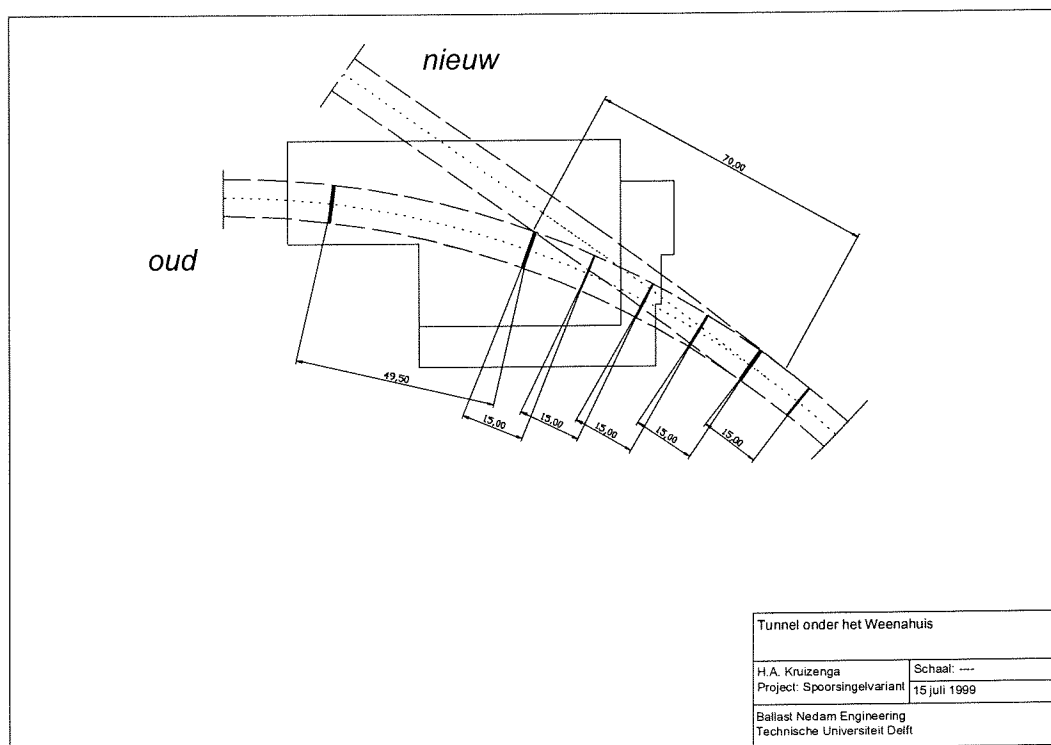
Figuur 11 Plattegrond van het Weenhuis



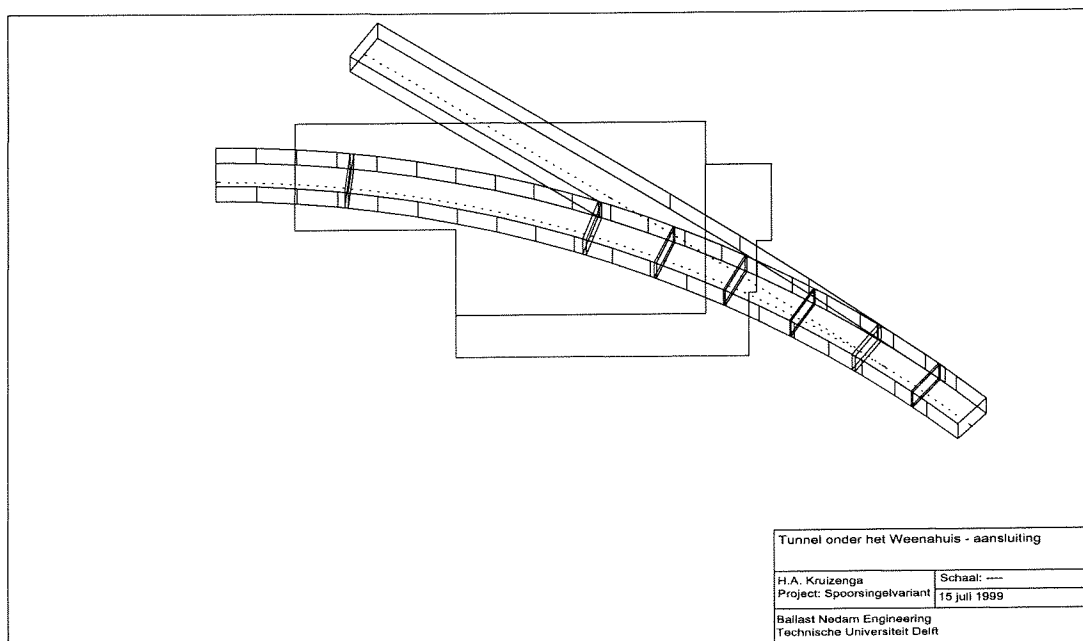
Figuur 12 Weenahuis & overzicht doorsneden



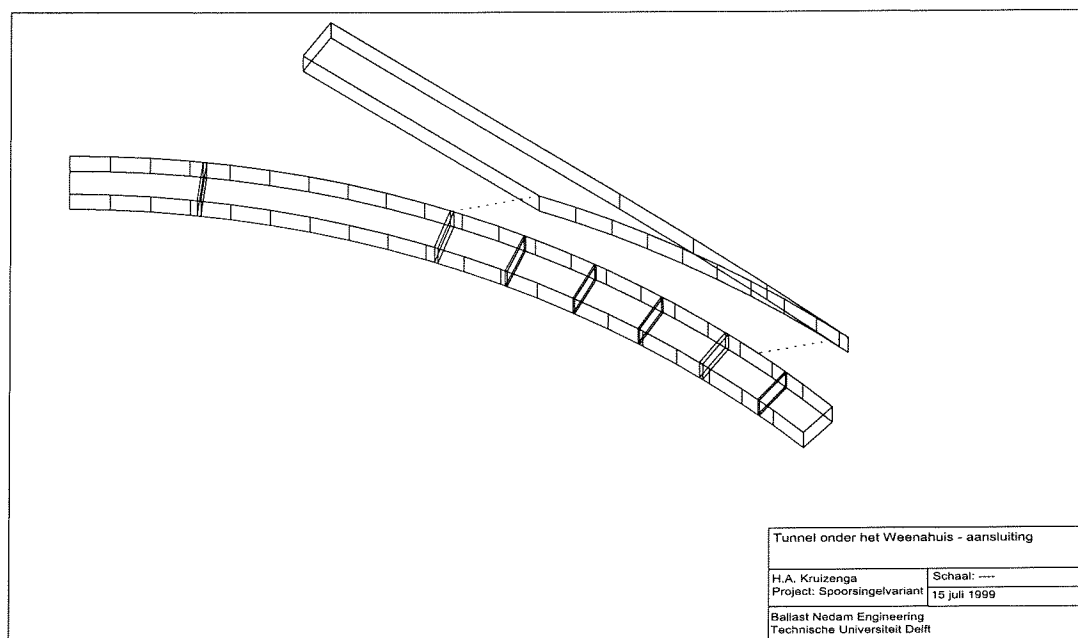
Figuur 13 3D aanzicht van de aansluiting



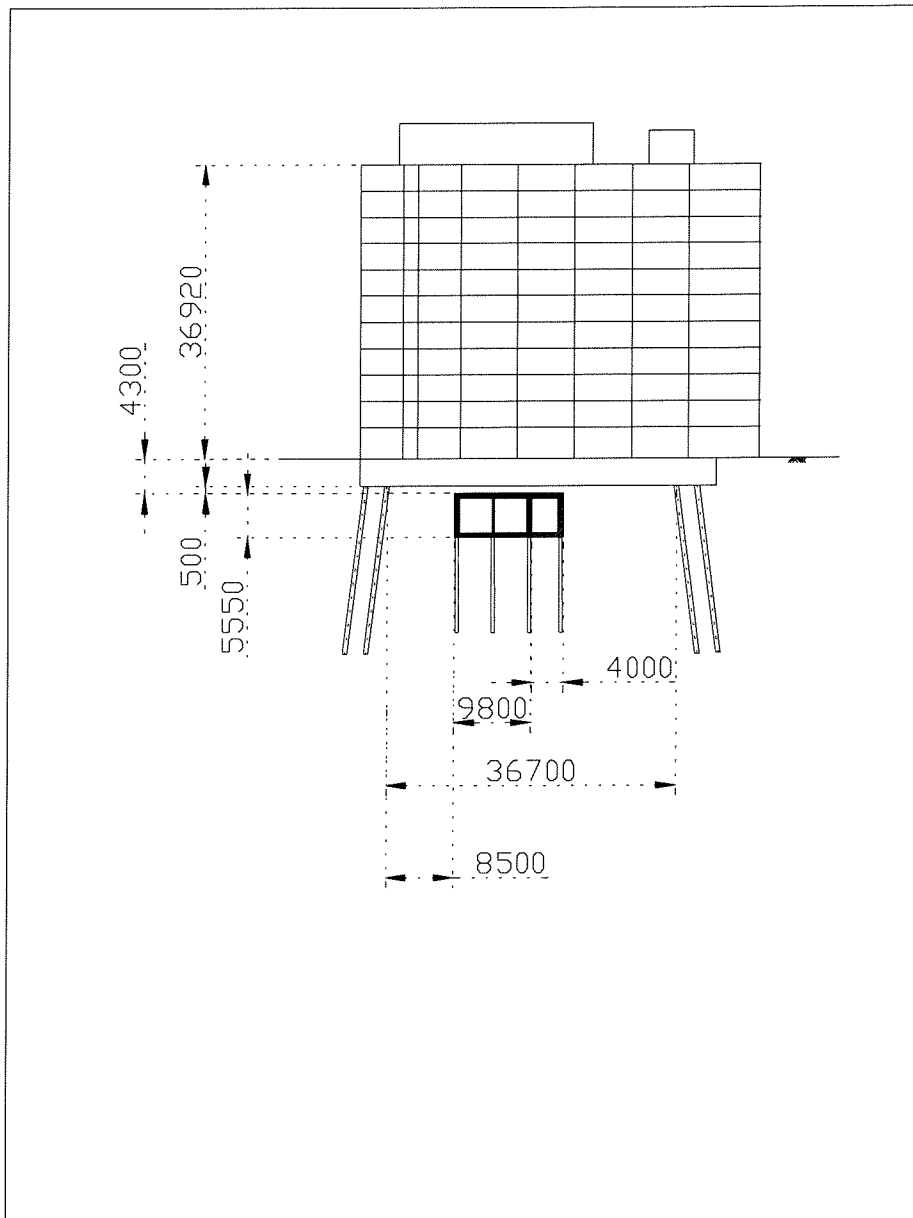
Figuur 14 Afmetingen van de aansluiting



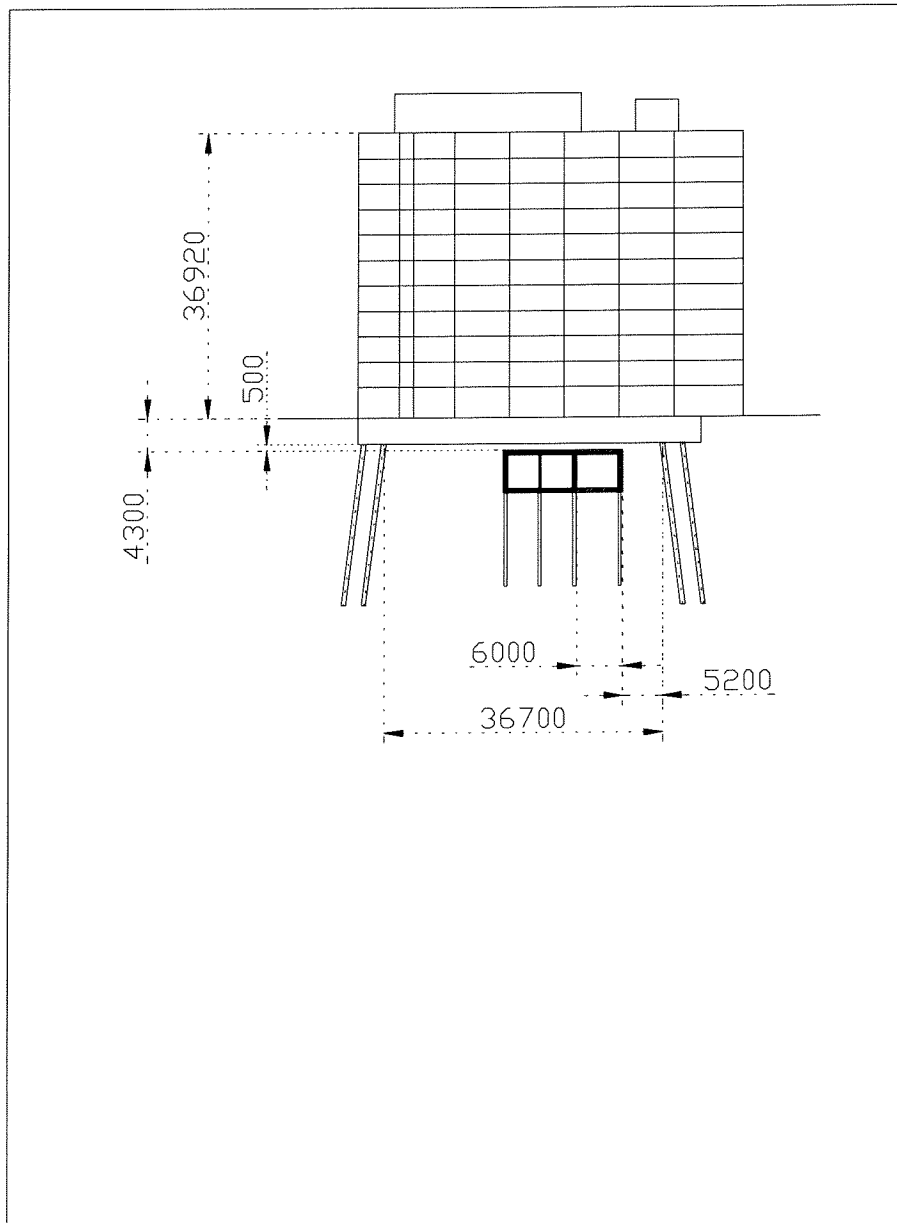
Figuur 15 3D aanzicht van de aangesloten tunnel



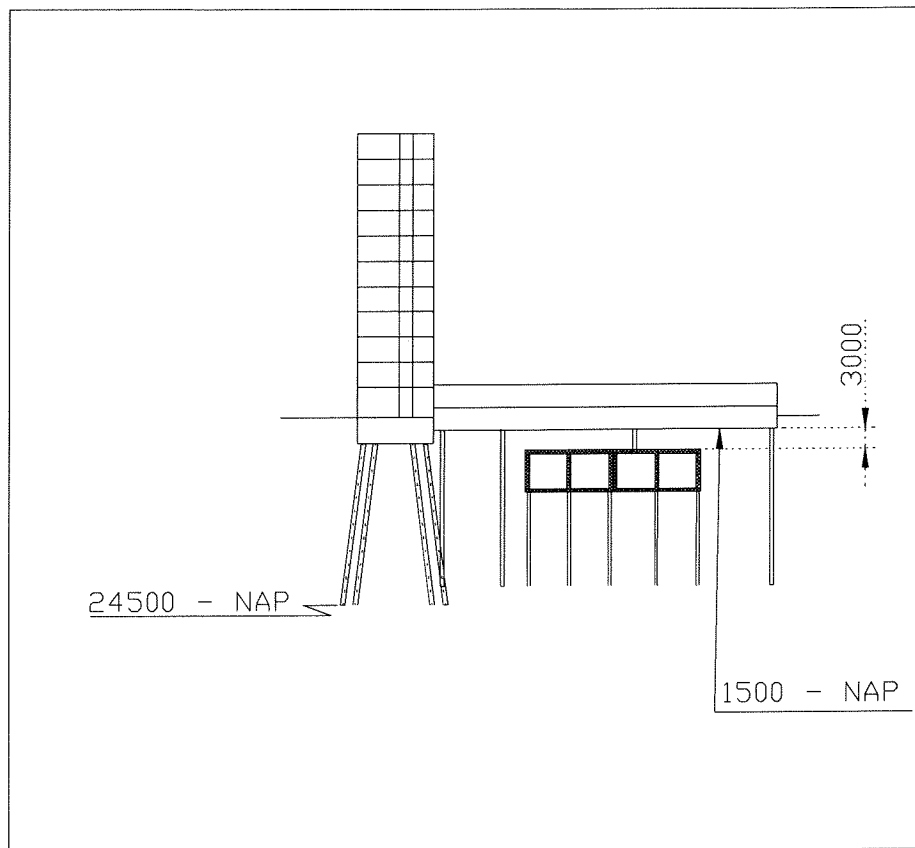
Figuur 16 3D aanzicht van de losgekoppelde tunnel



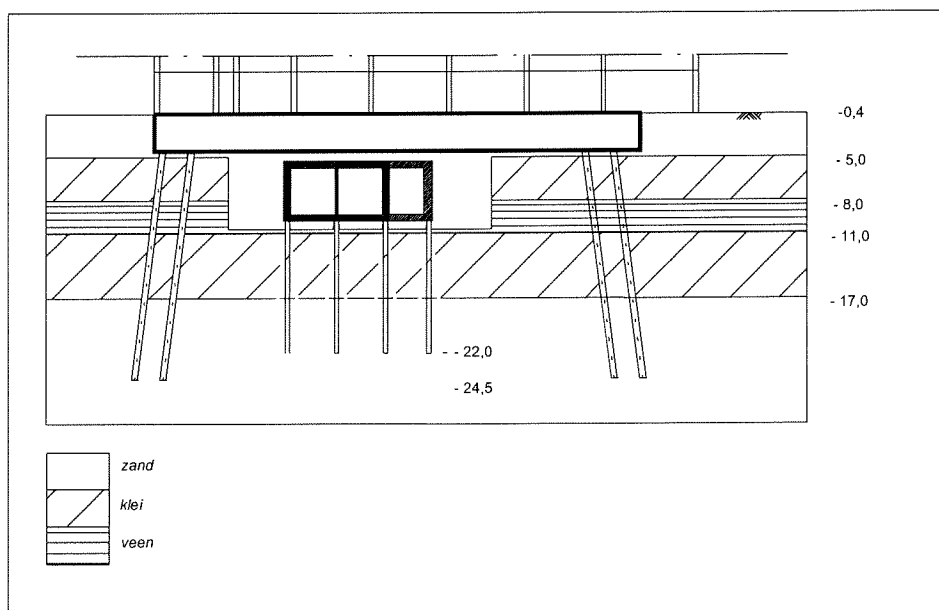
Figuur 17 Doorsnede A-A



Figuur 18 **Doorsnede B-B**



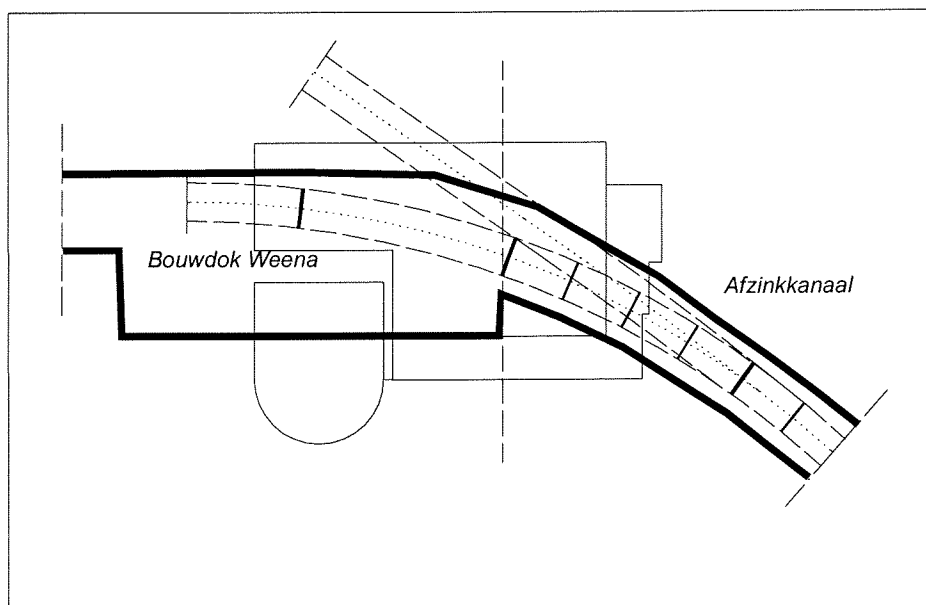
Figuur 19 Doorsnede C-C



Figuur 20 doorsnede A-A met bodemprofiel

10.3 Enkele bijzonderheden bij de uitvoering van de bestaande tunnel

- De kolommen in de tunnel staan hart op hart op 2 meter afstand van elkaar. De vorm van de doorsnede is rechthoekig met een doorsnede van 30 cm x 40 cm.
- In de tunnel zijn horizontale stornaden toegelaten aan de bovenkant van de vloer, om precies te zijn op 113,5 cm van de onderkant van de vloer.
- De tunnelstukken bestaan uit moten van 60 meter lengte. Deze moten zijn onderverdeeld in vier secties van ongeveer 15 meter lengte. Tussen deze secties zijn voegafsluitingen geplaatst die bestaan uit een rubberslab met staalplaten. Achter deze slabben is een doorgaande wapening aangebracht, zodat de secties blijvend verbonden zijn.
- Onder de tunnel ligt een bodemplaat van 10 cm dikte. De bodemplaat bestaat uit een gewapend betonnen bodemplaat.
- Op de tunnel is een bitumineuze waterdichte bekleding aangebracht.
- De damwanden van de bouwput voor de bouw van de metrotunnel zijn destijds na het voltooiën van de bouw weer getrokken. De damwanden voor de bouw van het Weenahuis zijn eveneens weer getrokken zodat geen gebruik kan worden gemaakt van nog aanwezige verticale begrenzingen voor de bouwput.
- Op de metrotunnel onder het kantoorgebouw van het Weenahuis is een laag ballast beton gestort van 40 cm dat bestaat uit ongewapend beton met een kwaliteit van B 17,5 om opdrijven van de tunnel tijdens de ontgraving te voorkomen. Hieruit volgt dat een vrije ruimte van 50 cm overblijft tussen de kelderconstructie van het kantoorgebouw en het dak van de metrotunnel. Deze ruimte is nodig om elk contact tussen de vloer van de kelder en het dak van de tunnel te vermijden, zodat geen belasting van het kantoorgebouw kan worden overgedragen op de metrotunnel.
- Het Weenahuis staat precies op de grens van het grotere bouwdok Weena, waar de tunnelementen gebouwd werden, en het kanaal waarin de elementen afgezonken werden. Bij het bouwdok is destijds een grondverbetering aangebracht om een goede werkvloer te creëren. In de onderstaande figuur is de positie getekend van het vroegere bouwdok onder het Weenahuis.



Figuur 21 Bouwdok van de metrotunnel, anno 1964

- Om de belasting van de grond op de afgezonden tunnel te verminderen zijn, nadat de tunnel afgezonden was, houten palen naast de tunnel de grond ingebracht. De plaats van deze palen wordt weergegeven in bijlage VI, alsmede de dokdrempel die achtergebleven is.

10.4 Enkele bijzonderheden van het Weenahuis

- De Weenatoren is aan het eerder gebouwde Weenahuis vast gebouwd. Ook is het Weenahuis constructief verbonden aan de daarnaast gelegen panden aan de oostzijde. Dit is onderbroken door een smalle gang van ongeveer 2,5 meter hoog en ongeveer 12 meter lang.
- De vloer van de parkeergarage bestaat uit bakstenen, waaruit geconcludeerd kan worden dat dit de afscheiding met de bodem is. Het is namelijk onlogisch om een bakstenen slijtlaag op een betonnen vloer te leggen. Deze methode wordt vaker toegepast in parkeergarages waarbij in het geval van een hoge grondwaterstand het water vrij kan intreden in de garage. Zo kan bespaard worden in de kosten van de constructie. Hier staat normaliter het grondwater ruim onder deze vloer.
- Bij de bouw van de kelderconstructie van het Weenahuis zijn hulppalen in de grond achtergebleven. Dit wordt weergegeven in bijlage V.

11. Voorbeeld van een aansluiting

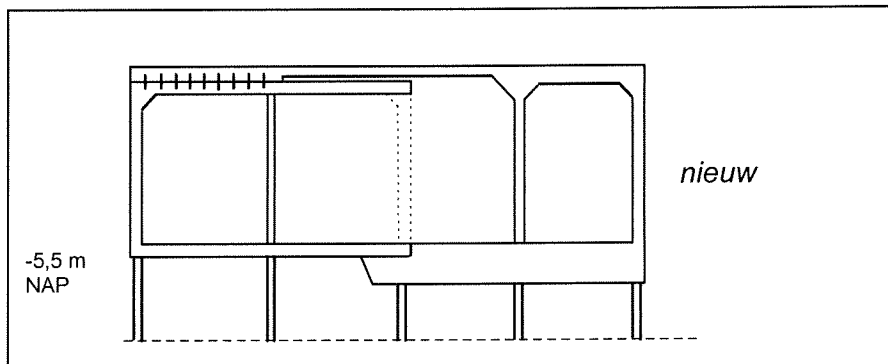
11.1 Inleiding

In Rotterdam is al eens eerder de bestaande tunnel van de Noord-Zuidlijn opengebroken om een aftakking te realiseren. Een verbindingsboog was nodig om het verkeer van werkmaterieel tussen de Oost-Westlijn en de Noord-Zuidlijn mogelijk te maken. Deze situatie heeft veel weg van de aansluiting van de RandstadRail en daarom wordt in dit hoofdstuk de bouw van de verbindingsboog beschreven, zodat hieruit enkele lessen getrokken kunnen worden.

11.2 Aansluiting van de Oost-Westlijn met de Noord-Zuidlijn

De aansluiting werd gerealiseerd door middel van een enkelsporige verbindingsboog die materieeltransport tussen de beide lijnen mogelijk maakt. De aansluiting was bij de bouw van de Noord-Zuidlijn niet voorzien. Een primaire eis voor het ontwerp was dat het metroverkeer op de Noord-Zuidlijn niet gestoord mocht worden. De stabiliteit van de 'los gefundeerde' tunnel moest onder alle omstandigheden gewaarborgd blijven en de krachtsverdeling van de nieuwe aansluiting mocht niet tot bezwijken of tot ontoelaatbare scheurvorming leiden. Een belangrijke randvoorwaarde was de wapeningsverdeling in de bestaande tunnel die destijds zo economisch en minimaal mogelijk was ontworpen.

De uiteindelijke constructie van de aansluiting ziet er als volgt uit, het maaiveld ligt op 4 m + NAP en de onderkant van de tunnel op 5,5 m -NAP:



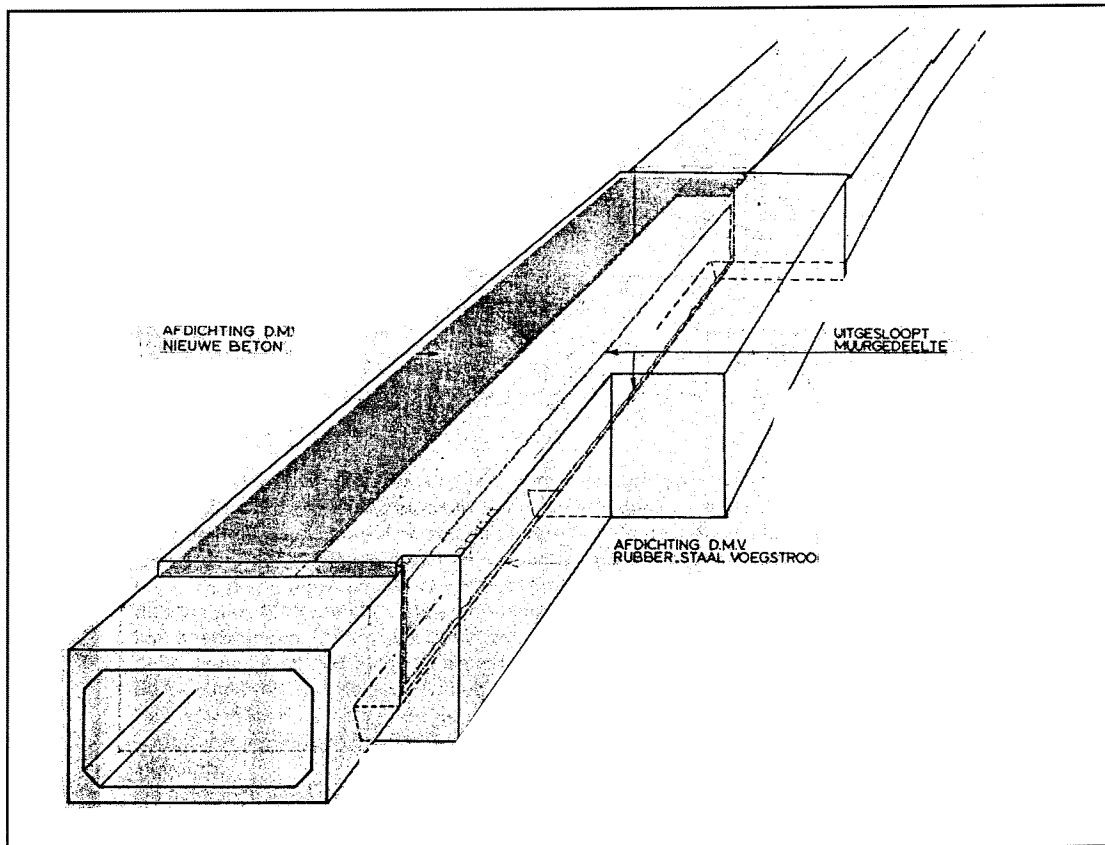
Figuur 22 Aansluitconstructie tussen O-W-lijn en N-Z-lijn

De tunnelvloer van de aansluiting loopt gedeeltelijk onder de oude tunnel door zodat de helft van de oorspronkelijke funderingspalen zijn verruild voor nieuwe, trillingsvrij ingebrachte, funderingspalen. De oude vloer is scharnierend verbonden met de nieuwe vloer door middel van deuvels. De waterafsluiting is gemaakt met een t-vormig rubberprofiel.

Het dak van de aansluiting loopt vrij door over de oude tunnel en wordt aan het eind vastgestort. De dakhelft van de oude tunnel hangt in de nieuwe tunnelconstructie geheel onbelast als een vrije uitkraging.

In de bouwfase kon gedeeltelijk gebruik worden gemaakt van een achtergebleven damwand en werd voor het overige deel een nieuwe lichte damwand gebruikt. De bestaande tunnel kwam weer geheel vrij te liggen in de oorspronkelijke bouwsleuf. De werkmethode werd verdeeld in vier fasen. In de eerste fase werd 'in den droge'

ontgraven tot 1m + NAP en werd het bovenste stempelraam aangebracht. De verschillen in deformaties tussen de oude en de nieuwe damwand werd met behulp van vijzels gecompenseerd. In fase 2 kon 'in den droge' ontgraven tot halverwege de tunnel op 3 m - NAP. Op het dak van de tunnel bleef een gronddekking aanwezig om opdrijven te voorkomen. In fase 3 werd nat ontgraven tot aan de onderzijde van de tunnel en werden onder water stempels aangebracht tussen de damwand en de tunnel. In fase 4 werd de bouwput droog gezet en nam de nieuw gestorte vloer de onderste stempeling over. Vervolgens werd de oude tunnel gedeeltelijk gesloopt en de nieuwe wand en het dak in één keer gestort, waarbij het dak van de oude tunnel als ondersteuningsconstructie heeft gediend.



Figuur 23 **Verbindingsboog**

11.3 Conclusies

Er kunnen aantal globale conclusies getrokken worden uit de bouw van de verbindingsboog:

- De linker tunnelbuis kon gehandhaafd blijven.
- Het dak aan de rechterkant is als een uitkragende ligger uitgevoerd en blijft uitzichzelf hangen.
- Aan de rechterkant was gedeeltelijk nieuwe fundering nodig.
- De nieuwe vloer is scharnierend verbonden met de bestaande vloer.
- De wand hoefde pas gesloopt te worden, nadat de aansluitconstructie was gerealiseerd.

11.4 Literatuur

- [1] *Constructieve aspecten van enkele bijzondere kunstwerken*, Ir. S.B. de Vries, Cement 1977
nr. 10

12. Constructie van een werkruimte

12.1 Inleiding

In het vorige hoofdstuk zijn tekeningen weergegeven van de uiteindelijke situatie. In de komende hoofdstukken moet nu de vraag beantwoord worden hoe de aansluiting gerealiseerd kan worden. Om de aansluiting te kunnen maken is een werkruimte vereist. Gezien de moeilijke uitvoering van de aansluiting op de bestaande constructie is het wenselijk om de aansluiting 'in den droge' te bouwen waardoor verticale en horizontale begrenzingen nodig zijn voor de bouwkuip. Er zijn diverse mogelijkheden om een bouwkuip te maken. De diverse mogelijkheden zijn beschreven in bijlage XI en worden in dit hoofdstuk toegepast op de huidige situatie. Een bijkomend voordeel van een droge bouwkuip is tevens dat er geen gevaar bestaat dat de bestaande tunnel gaat opdrijven. Naast een droge bouwkuip is ook voldoende werkruimte nodig.

In dit hoofdstuk wordt in gegaan hoe een droge, veilige en voldoende werkruimte verkregen kan worden.

12.2 Afmetingen bouwkuip

12.2.1 Algemeen

In de inleiding werd al gezegd dat een droge bouwput wenselijk is voor het gedeelte van de aansluiting, aangezien de oude tunnel eerst opengebroken moet worden voordat de nieuwe tunnel op de oude aangesloten kan worden. Als eerste is het belangrijk om de grenzen van de bouwkuip vast te stellen.

Een overweging is om geen wand aan te brengen en onder natuurlijk talud te ontgraven. Een nadeel is het grote ruimtebeslag van deze optie. Bij een helling van 1:3 is bij een ontgraving van 10 meter al een ruimtebeslag van dertig meter nodig voor de breedte van een helling. In dit dicht bebouwde gebied is dit niet reëel, nog afgezien van het gevaar dat de grond gaat afschuiven en funderingen zal beschadigen. Ook zal een verlaging van het freatisch vlak nodig zijn wat merkbaar zal zijn in de omgeving door het ontbreken van een waterdichte afscheiding. Door het gevaar voor zettingen en een toename van de negatieve kleef op palen, is dit niet gewenst.

Daaruit volgt dat een verticale begrenzing nodig is. Globaal zijn er twee mogelijkheden voor de bouwkuip:

- Een bouwkuip naast het Weenahuis;
- Een bouwkuip gedeeltelijk onder het Weenahuis.

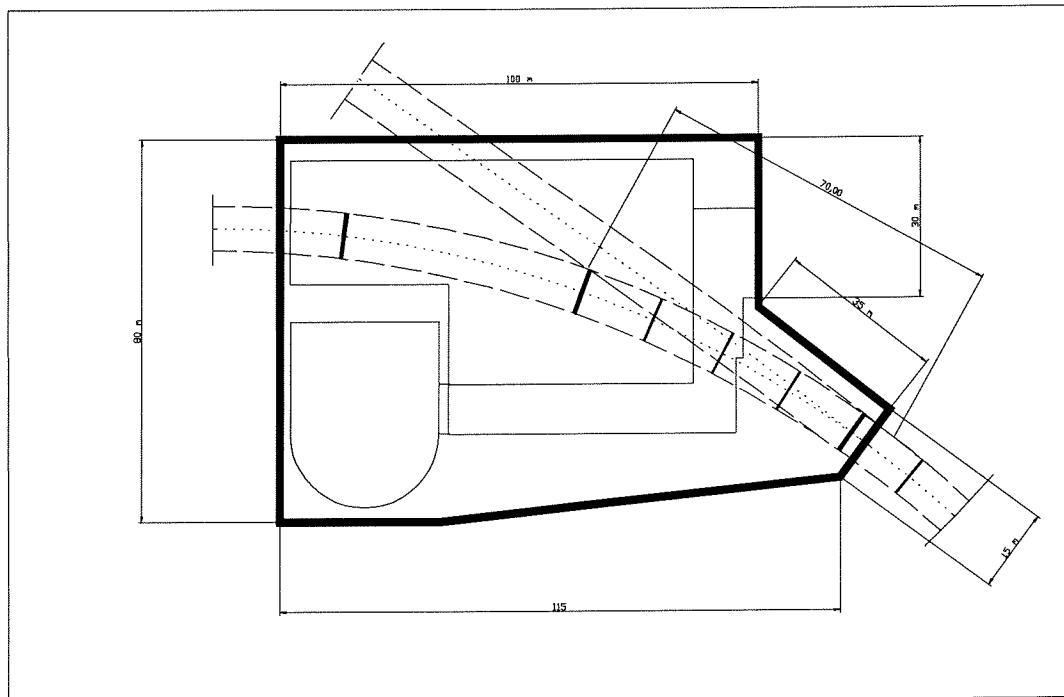
12.2.2 Bouwkuip naast het Weenahuis

Een reële mogelijkheid om een bouwput te maken voor de bouw van de aansluiting is door een wand om het gehele Weenahuis te aan te brengen. De totale lengte van de wanden is bij benadering 415 meter.

Het grote voordeel van het plaatsen van wanden naast het Weenahuis is dat de wanden relatief gemakkelijk zijn aan te brengen.

Een nadeel is dat de bouwkuip veel groter is dan eigenlijk nodig is voor de bouw van de aansluiting. Een groot deel van de grond hoeft dan niet ontgraven te worden,

zodat een groot gedeelte van de wand enkel een waterkerende functie vervuld. Om toch de stabiliteit van de grond in de bouwkuip te waarborgen zal een tweede kering nodig zijn.



Figuur 24 **Bouwkuip om het Weenahuis**

12.2.3 Bouwkuip gedeeltelijk onder het Weenahuis

Een andere mogelijkheid is het aanbrengen van een wand onder het Weenahuis. De mogelijkheid om een wand onder het Weenahuis aan te brengen stuit op een aantal moeilijkheden.

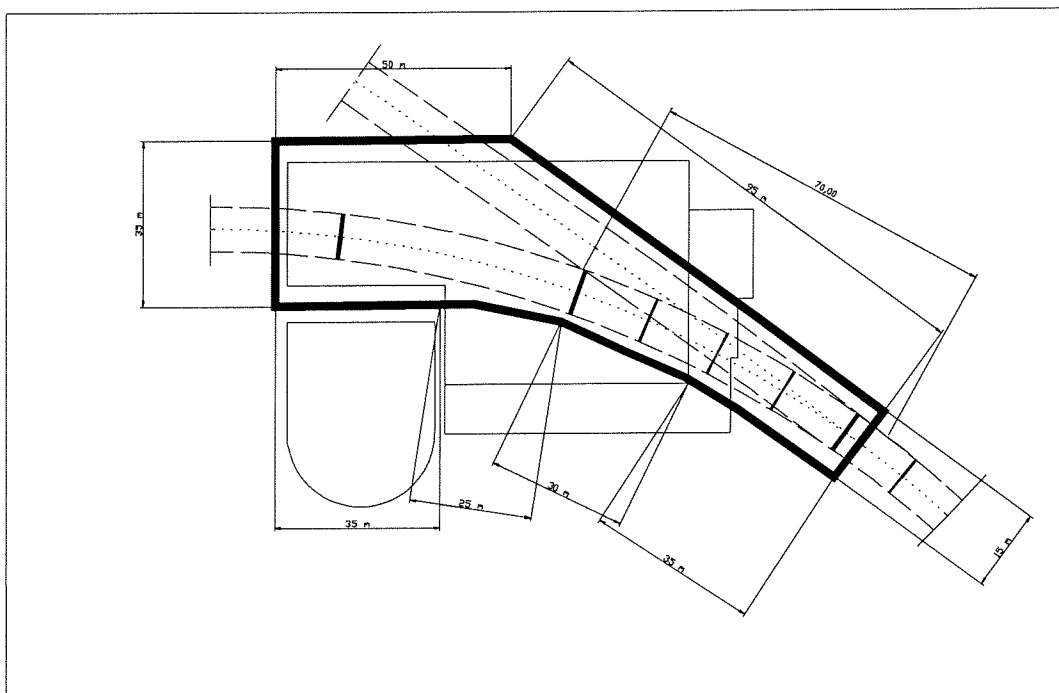
De kritieke situatie is het aanbrengen van een wand onder de kelderconstructie van het Weenahuis (zie de onderstaande figuur). De onderkant van de kelder staat onder de grondwaterspiegel. De wand moet daar onder water worden aangebracht. Voor het graven van een diepwand of het inheien van een in stukken aan elkaar te lassen damwand is het liefst een droge werkruimte nodig. Voor een droge werkruimte van twee meter is al een waterstandsverlaging nodig van ongeveer drie meter. Een verlaging van het freatisch vlak is echter niet mogelijk in Rotterdam.

Er zijn een aantal mogelijkheden:

- Men zou de wand ondergronds onder water kunnen aanbrengen. Het aanbrengen van een wand onder water betekend het werken met duikers en waterdicht materiaal, wat een aanzienlijke kostenpost zal zijn. Ook zal de wand waterdicht verbonden moeten worden met de kelderconstructie, wat invloed zal hebben op de constructie van de kelder.
- Een andere optie is om de wand aan te brengen vanuit de kelder van het Weenahuis. Door gaten te boren in de vloer kunnen kolommen geïnjecteerd of gegroot worden. Dit betekent dat de kelderconstructie beschadigd wordt. Nu is deze kelderconstructie een stijve koker die het hele kantoorgebouw draagt. Daar bij is relatief veel voorspanning gebruikt. Hoewel de voorspanning geconcentreerd is in de wanden is daarbij ook veel wapening gebruikt in de

vloeren. Het doorboren van deze vloer op meerdere plaatsen kan het draagvermogen van de constructie aantasten. Het verlies aan draagvermogen van de kokerconstructie kan meteen grote gevolgen hebben voor de constructie van het hele gebouw. Wanneer de wand zich hecht aan de keldervloer vormt de wand een nieuwe ondersteuning voor de kelder, waar de constructie niet op berekend is. De kokerconstructie wordt beschreven in het tijdschrift Cement nr. 9 uit 1985.

- Ook kan men vanaf de zijkanten injectielansen in de grond steken om zo kolommen te vervaardigen. Het is dan moeilijk controleerbaar of de wand de gehele ruimte ontsluit door de schuine hoek die de injectielansen moeten maken. Bovendien zijn injectie methoden nogal risicogevoelig. Een probleem vormt ook de verschillende grondlagen waarin de uitwerking van het geïnjecteerde middel kan verschillen.



Figuur 25 Bouwkuip onder het Weenahuis

12.2.4 Conclusie

Het bouwen van een wand onder het Weenahuis brengt nogal wat problemen en uitvoeringsrisico's met zich mee. Het grote knelpunt blijkt het waterdicht aanbrengen van een wand onder de kelder van het kantoorgebouw van het Weenahuis. Een wand aanbrengen om het Weenahuis is veel makkelijker uitvoerbaar. Daarom wordt de bouwkuip om het Weenahuis verder uitgewerkt. Het gevolg is wel dat nu twee bouwkuipen nodig zijn; één om een droge bouwkuip te creëren en één om de grond te keren.

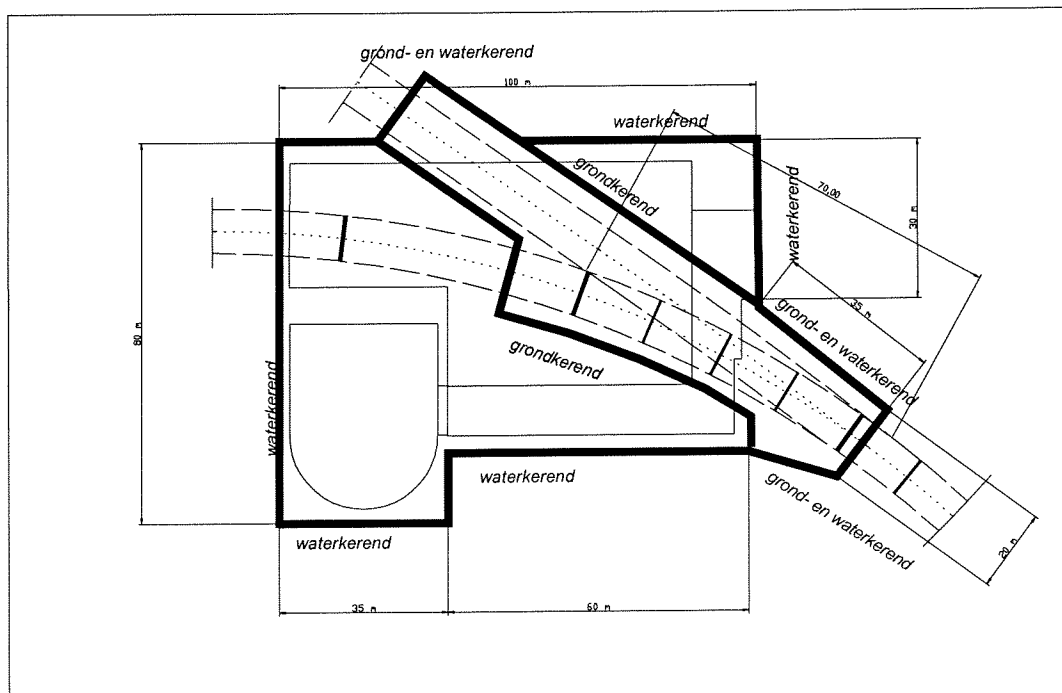
12.3 Optimalisatie van de afmetingen van de bouwkuip

De wand om het Weenahuis kan gedeeltelijk ook grond- en waterkerend zijn. Het is dan efficiënt om de vorm van de buitenste wand ook zodanig aan te passen. Op plaatsen waar de wand ook grondkerend is kan de wand het beste evenwijdig aan de tunnel lopen zodat de tunnel afgestempeld kan worden tegen de wand. De tunnel ligt los op de funderingspalen en kan dus gemakkelijk horizontaal verplaatsen wanneer de grond om de tunnel ontgraven is. De horizontale krachten worden veroorzaakt door de metro's die moeten kunnen blijven rijden.

In figuur 24 loopt de damwand aan de zuidzijde van de tunnel recht door naar de Weenatoren. Het is echter logisch om eerst de damwand een stuk naast de tunnel te laten lopen, zie figuur 26. Onder het Weenahuis kan deze wand dan worden voortgezet door een andere wand die in den droge kan worden gebouwd.

Aan de noordkant is ook een gedeelte van de wand grond- en waterkerend. Hier zal een bouwkuip voor het vervolg van het tracé moeten aansluiten zodat ook hier de vorm daarop aangepast moet worden. De kering kan daar het beste haaks op de lengterichting van de tunnel liggen. Hier kunnen twee tunneldelen, die in verschillend putten zijn gemaakt, door middel van een voeg op elkaar aansluiten. Ook kan men er voor kiezen om de bouwkuip in één keer door te zetten in de richting van het Centraal Station zonder een scheidingswand.

Een andere optimalisatie is nodig voor de toegang tot de bouwkuip. Hier is de vraag of men groot materieel in de bouwkuip nodig heeft of dat alles vanaf het maaiveld gemaakt kan worden. Een inrit is niet mogelijk aan de oostzijde (zie onderstaande figuur) aangezien daar de vloer van de tunnel gestempeld moet worden om de horizontale belasting af te kunnen dragen. Eventueel kan aan de noordzijde een inrit gemaakt worden, maar hier is de werkruimte beperkt door de aanwezigheid van de parkeergarage. Er wordt naar gestreefd om een zo minimaal mogelijk ruimtebeslag te hebben, door zoveel mogelijk materieel buiten de bouwkuip te laten.



Figuur 26 Nieuwe verticale begrenzing van de bouwkuip

12.4 Horizontale begrenzing bouwkuip

12.4.1 Opbarsten van de bodem

Om te bepalen welke horizontale afsluiting geschikt is wordt eerst gekeken of de bouwkuip opbarst in een afgegraven situatie. De bodem barst op wanneer de opwaartse spanning van het spanningswater groter is dan de neerwaarts gerichte spanning van de gronddruk.

In hoofdstuk 10 staat beschreven dat de onderkant van de bestaande tunnel een verloop heeft van 9,95 m - NAP tot 10,30 m - NAP. Om voldoende ruimte te hebben voor de bouw van de aansluiting wordt het niveau van de bodem van de bouwkuip gesteld op 11,0 m - NAP. Het hoogst gemeten niveau van het spanningswater in de watervoerende zandlaag beneden 17,0 m - NAP van de laatste jaren is 1,5 meter.

$$\gamma_w H_d \leq \gamma_g d$$

Waarin	γ_w	is het volumieke gewicht van het poriënwater in de watervoerende laag dat volgens NEN 6740 op 10,0 kN/m ³ gehouden mag worden.
	H_d	is de rekenwaarde van de hoogste stijghoogte van het poriënwater in de watervoerende laag juist onder de afsluitende laag. In dit geval 17,0-1,5 = 15,5 meter.
	γ_g	is het volumiek gewicht van de grond. In dit geval is dat klei met een volumiek gewicht van 16,0 kN/m ³ .
	d	is de dikte van de grondlaag. In dit geval 6 meter.

De spanning van het grondwater wordt vermenigvuldigd met een veiligheidsfactor van 1,1 volgens NEN 6740.

Hieruit volgt:

$$1,1 \cdot 10,0 \cdot 15,5 \leq 16,0 \cdot 6,0$$

$$170,5 \geq 96,0 \text{ kN/m}^2$$

Hieruit kan geconcludeerd worden dat de bodem opbreekt en een horizontale afsluiting nodig is. Voor de horizontale afsluiting van de bouwkuip om het Weenahuis zijn nu een aantal mogelijkheden:

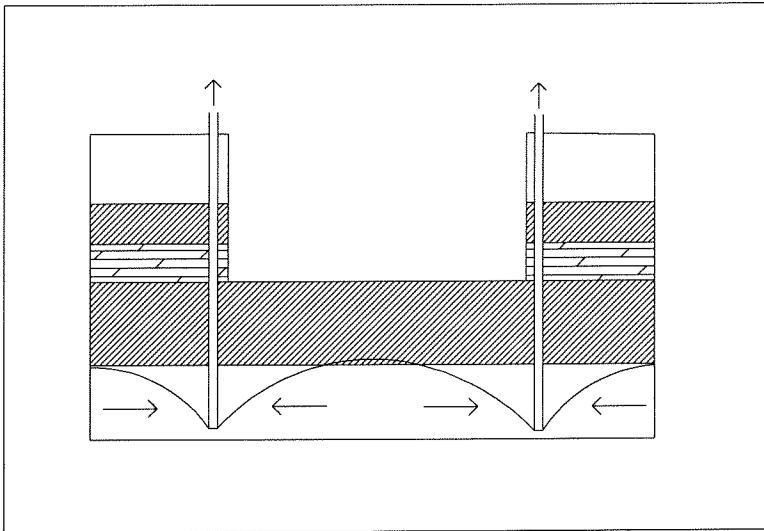
- Gebruik van de eerste waterafsluitende laag in combinatie met spanningsbemaling;
- Het aanbrengen van een kunstmatig waterafsluitende laag;
- Gebruik van de tweede waterafsluitende laag;
- Aanbrengen van onderwaterbeton.

12.4.2 Gebruik van de eerste waterafsluitende laag in combinatie met spanningsbemaling

Om opbarsten van de bouwkuip te voorkomen is het mogelijk om de spanning van het spanningswater in het watervoerende pakket te reduceren door spanningsbemaling aan te leggen. Er moet een spanningsreductie optreden van $170,5 - 96,0 = 74,5 \text{ kN/m}^2$ wat overeenkomt met een verlaging van de stijghoogte van het spanningswater tot ongeveer 9,0 m - NAP.

De waterstandsverlaging heeft invloed op de bebouwing in de omgeving. Wanneer de verlaging groter is dan de laagste waterstand in het verleden gedurende

eenzelfde periode kan er schade optreden aan oude bebouwing in de omgeving. Met retourbemaling kan de verlaging op een bepaalde plaats verminderd worden. Naast de invloed op de omgeving is een ander nadeel dat het toepassen van bemalingen in de binnenstad wordt bemoeilijkt door de beperkte mogelijkheden tot het lozen van het water en het leggen van leidingen in de omgeving van de bouwkuip.



Figuur 27 Spanningsbemaling

12.4.3 Het aanbrengen van een kunstmatig waterafsluitende laag

Het is ook mogelijk een kunstmatig afsluitende laag aan te brengen in de zandlaag onder de kleilaag. De spanning van het water onder de kleilaag kan dan gereduceerd totdat een voldoende veiligheid is bereikt tegen opbarsten.

Om het juiste niveau te bepalen van de injectielaag moet worden berekend wanneer de neerwaartse en opwaartse belasting in evenwicht is.

$$170,5 + 1,1 \cdot 10,0 \cdot d_{\text{zand}} = 96,0 + \gamma_{\text{zand}} \cdot d_{\text{zand}}$$

Met $\gamma_{\text{zand}} = 20 \text{ kN/m}^3$ volgt hieruit dat de dikte van de zandlaag 8,3 meter moet bedragen om evenwicht te maken. Het niveau van de onderkant van de injectielaag ligt dan op 25,3 m - NAP.

Dit betekent dat een injectielaag aangebracht moet worden vlak onder de paalpuntniveau's van de funderingspalen van het Weenahuis en de metrotunnel, respectievelijk 24,5 en 22 m - NAP. Dit betekent dat de injectielansen de grond moeten doorboren waaruit de funderingspalen hun draagkracht halen. Dit kan de draagkracht ondermijnen waardoor deze variant niet mogelijk is.

12.4.4 Gebruik van de tweede waterafsluitende laag

De tweede waterremmende kleilaag, die begint op een diepte van 38 m - NAP, kan ook gebruikt worden, maar impliceert wel een verticale begrenzing van minstens een even zo grote lengte. De stijghoogte van het spanningswater onder de tweede waterafsluitende laag verschilt niet dusdanig dat er gevaar is van opbarsten voor de

tweede waterafsluitende laag. Wel zal de spanning onder de eerste waterafsluitende laag gereduceerd moeten worden, zoals hierboven beschreven is.

Door op deze diepte wanden aan te brengen kan de grond waar de funderingspalen hun draagkracht vandaan halen worden verstoord, wanneer de wand te dicht op funderingspalen komen te staan. Een groot aantal palen onder het Weenahuis zijn schoor geheid onder een helling van 1:8, zodat de onderkant van enkele palen naast het gebouw liggen. Hierdoor is bij het gebruik van de tweede waterafsluitende laag een grotere bouwkuip nodig, wat deze variant alleen maar duurder maakt ten opzichte van de variant die gebruikt maakt van de eerste waterafsluitende laag waar kortere wanden nodig zijn.

12.4.5 Aanbrengen van onderwaterbeton

Het grote voordeel van de bovenstaande horizontale afsluiting is dat maar een gedeelte van de grond afgegraven hoeft te worden. Bij het aanbrengen van een onderwaterbetonvloer moet dieper worden afgegraven en ook over de gehele bouwkuip. Er moet nat worden ontgraven wat zeer moeilijk is als er ook funderingspalen staan die geen extra horizontale belasting mogen hebben. Wanneer geen trekpalen toegepast worden volgt uit een evenwichtsberekening dat de benodigde dikte van het onderwaterbeton 13,7 meter is. De totale ontgravingsdiepte komt dan op 24,7 m - NAP, dat is beneden de paalpuntvineau's van de metrotunnel en het Weenahuis, wat deze mogelijkheid absoluut onmogelijk maakt. Om een grote dikte van het onderwaterbeton te voorkomen is een uitvoering met trekpalen wenselijk. Bij een uitvoering met trekpalen is er de moeilijkheid van het inbrengen van de palen onder water onder een gebouw. Ook is het nog maar de vraag of de funderingspalen van het Weenahuis en de metrotunnel, die zich ook hechten aan het onderwaterbeton, wel op deze trekkrachten belast mogen worden. Het lijkt ook niet nodig om de hele bouwkuip te ontgraven. Gezien de moeilijkheden wordt deze mogelijkheid niet verder onderzocht.

12.4.6 Conclusie

Uit het bovenstaande blijkt dat het toepassen van spanningsbemaling een goede oplossing is. Wat de invloed van de bemaling op de omgeving is moet nader onderzocht worden. In hoofdstuk 13 wordt verder ingegaan op het ontwerp van de bemaling en de invloeden op de omgeving.

12.5 Verticale afsluiting bouwkuip

12.5.1 Algemeen

De verticale afsluiting moet bij de toepassing van spanningsbemaling aansluiten op de eerste waterafsluitende laag.

12.5.2 Waterkerende wand

Bij deze verticale afsluiting worden in hoofdzaak eisen gesteld aan de doorlatendheid en niet primair aan de sterkte of de stijfheid. Deze schermen moeten wel weerstand kunnen bieden aan een horizontale wateroverdruk. Er zijn een aantal mogelijkheden:

- blik scherm
- kunststoffolies
- cement/betoniet scherm
- damwand

De cement/betoniet wand vervult vaak een blijvende functie. Bij het verwijderen van dit scherm moet de grond ontgraven worden. Wanneer een scherm in de grond achter blijft vormt dit een continu obstakel in de grond, dat een vrije grondwaterstroming blokkeert. Bovendien levert het gebruik van cement/betoniet veel rotzooi op, wat in stedelijk gebied minder gewenst is.

De andere genoemde schermen kunnen makkelijker verwijderd worden en zijn bovendien goedkoper. Damwandplanken zijn in ruime mate verkrijgbaar en goedkoop door de mogelijkheden tot hergebruik, meer nog dan een folie- of blik scherm. De waterdichtheid van een damwand is goed, afhankelijk van een juiste uitvoering. Een damwand zal echter continue lekken, in een zandlaag variërend dat van 1 tot 10 liter per meter slot per dag.

Bij het inbrengen van de damwand worden kabels en leidingen gekruist, zie bijlage VII . Wanneer de wand zo dicht mogelijk langs het gebouw ligt, worden de kabels en leidingen het minst gekruist. Ter plaatse van kruisingen moeten de kabels en leidingen dan omgelegd worden.

Een ander probleem is de poort tussen het Weenahuis en de daarnaast gelegen panden. De hoogte is daar ongeveer 2,5 meter. Hier is dus een beperkte werkruimte beschikbaar voor het inbrengen van de wand. Hier kan de wand in gedeelten ingebracht worden, welke aan elkaar gelast worden. De werkhoogte kan vergroot worden door de grond ter plaatse van de gang een stuk af te graven.

12.5.3 Water- en grondkerende wand

De lengte van de water- en grondkerende wand is minstens tien meter. De eenvoudigste en goedkoopste oplossing is ook hier het toepassen van damwanden, wat heel goed kan bij een kerende hoogte van ongeveer 10 meter. Een bijkomend voordeel is dan dat deze wand een voortzetting is van de waterkerende wand. De wanden zijn goed aan te sluiten en de repetitie zorgt voor een snelle uitvoering.

12.5.4 Grondkerende wand

Nadat de bouwkuip gemaakt is moet de grond langs de tunnel ontgraven worden. Wanneer de grond onder natuurlijk talud ontgraven wordt bestaat er gevaar voor afschuiving. Daarom moet ook deze grond gekeerd worden. Daarvoor zijn een aantal mogelijkheden.

- Berlinerwand
- Damwand
- Palen
- Buizen
- Injectie

De interne bouwkuip is als het ware een tunnel onder het Weenahuis en de parkeergarage. Hierdoor is het niet mogelijk voor een groot gedeelte om van boven af de grond te ontgraven. De grond moet vanuit de bouwkuip ontgraven worden door graafmachines met een beperkte omvang. Dit heeft invloed op het plaatsen van stempels. Stempels zullen het materieel wat de grond moet ontgraven en het materieel wat een grondkerende wand onder de kelderconstructie moet maken belemmeren. Anderzijds zullen stempels wenselijk zijn om de horizontale krachten, die optreden wanneer een metro door de buis rijdt, op te vangen. De tunnel ligt in dit gedeelte namelijk los gefundeerd op palen.

Het moeilijkste knelpunt is de bouw van een grondkerende wand onder de kelder van het Weenahuis. Hiervoor zijn twee mogelijkheden:

- horizontaal aanbrengen van een wand;
- verticaal aanbrengen van een wand.

Bij het horizontaal aanbrengen van de wand kunnen horizontale buizen de grond in geperst worden. De lengte van deze buizen bedragen ongeveer 15 meter. Deze buizen moeten dan naast de kelder gesteund worden door verticale palen. De afmetingen van de buizen kunnen aardig groot worden door de gronddruk die gekeerd moeten worden over 15 meter lengte.

Een andere mogelijkheid is om de wand verticaal aan te brengen. Hiervoor moet eerst een gedeelte van de grond ontgraven worden. De wand kan aangebracht worden door tubexpalen. Deze palen kunnen in een ruimte met een beperkte constructiehoogte ingebracht worden. Er kan al gewerkt worden in een ruimte met een hoogte van 3 meter. De grond moet dan eerst ontgraven worden tot 3 meter onder het niveau van de kelder aan beide kanten van de tunnel. Hierbij kan een helling van 1:1 aangehouden worden om de grond te keren over deze hoogte. De grond heeft al enige stabiliteit door de dicht op elkaar geheide funderingspalen van het Weenahuis, zie bijlage V.

De kleinste ruimte tussen de bestaande tunnel en de funderingspalen van het Weenahuis bedraagt 10 meter aan de kant van de aansluiting. De breedte van de bouwkuip die overblijft na het plaatsen van de wand is ongeveer 7 meter. De breedte van de aansluiting is hier ongeveer 4 meter, zodat de werkruimte voor de bouw van de wand nog ongeveer 3 meter bedraagt.

Aan de andere kant is de ruimte iets krappier en blijft na het maken van de wand een constructieruimte van vier meter over.

De uitvoering wordt verder besproken in hoofdstuk 15. Voor dit hoofdstuk is het belangrijk dat een gedeelte van de grond- en waterkerende wand voor het Weenahuis geen stempeling kan hebben bij een ontgraving tot 3 meter onder de kelder van het Weenahuis, tot -6,4 m - NAP. Dit is bepalend voor de sterkte van de damwand.

De grondkerende wand onder het Weenahuis kan dus gemaakt worden door middel van tubexpalen. Het is nog maar de vraag of een dichte wand gemaakt moet worden. Mogelijk heeft de grond een goede samenhang door de dicht op elkaar gefundeerde palen van het Weenahuis, zodat het voldoende is om een ruimte tussen de tubexpalen te laten.

Wanneer dit niet mogelijk is kunnen de palen dicht op elkaar geheid worden, of kan een berlinerwand-systeem toegepast worden. Er kunnen dan planken of schotten achter de palen worden geplaatst. Op de berekening hiervan wordt in deze studie niet verder ingegaan.

De grondkerende wand onder de parkeergarage kan wel weer van boven af gemaakt worden. Het is goed mogelijk om een hier een Berlinerwand toe te passen aangezien de kering enkel droge grond hoeft te keren. Een Berlinerwand is een kering waarbij gebruikt wordt gemaakt van stalen I-profielen die op een afstand van 1 tot 3 meter van elkaar geplaatst worden, waartussen houten planken geplaatst worden. Een damwand zou ook tot de mogelijkheden behoren.

De lengte van de grondkering (9,5 meter plus inheidiepte) is hier sowieso langer dan de ruimte in de parkeergarage (ongeveer 3) wanneer de grond nog niet ontgraven is. De damwand of de I-profielen moeten dan in delen in de grond gebracht worden. Het is ook een idee om het type grondkering met de tubexpalen, wat onder de kelder toegepast wordt, door te zetten onder de parkeergarage.

12.5.5 Aansluiting damwand met tunnel

De tunnel onderbreekt als het ware de wand van de bouwkuip. De tunnel moet waterdicht aansluiten met de damwand en ook de ruimte onder en boven de tunnel moet waterdicht aansluiten met de kleilaag en de damwand. Toen de tunnel werd afgezonken, is deze niet onderspoeld. Hier bevindt zich dus een spleet, welke aan de westzijde van de bouwkuip groter is dan aan de oostzijde, aangezien aan de westelijke kant de grond indertijd verbeterd is voor het bouwdok Weena.

De injectiemethode leent zich uitstekend voor deze grondverbetering, maar dan moet er wel overal grond zijn. Bij de verbreding van station Beurs is een miljoenschade opgetreden, door de grote hoeveelheid grout die in de spleet verdween. Daarom moet eerst de grond aangevuld worden, voordat een waterdichte afsluiting gemaakt kan worden. De spleet kan bijvoorbeeld worden aangevuld met zand wat verdikt is met grout.

Voor het opvullen van de grond en het maken van een waterdichte aansluiting van de grond onder de tunnel zijn grofweg twee mogelijkheden:

- Injecteren vanuit buispalen naast de tunnel;
- Injecteren door de tunnelvloer.

In het verleden is bij de bebouwing van het Weena de injectie methode met buispalen gebruikt. Hier werden buispalen ($\varnothing$ 1120 mm) naast de tunnel in de grond gebracht, vanwaar uit met een cement-bentonietmengsel de spleet opgevuld en de grond verbeterd is.

Bij de verbreding van het station Wilhelminaplein is indertijd de spleet onder de tunnel opgevuld door gaten te boren in de tunnelvloer en de ruimte te injecteren met grout. Dit scherm was in eerste instantie niet waterdicht. Een nadeel van deze methode is dat door de tunnelvloer geboord moet worden.

Het voordeel van de buispalen is dat deze een hoge stijfheid hebben waardoor de overgang tussen de damwand en de injectie gevormd wordt door een nagenoeg vast punt. De belastingen uit de vervormingen van de minder stijve damwand worden dan niet rechtstreeks overgedragen naar de stijvere injectielaag, waardoor scheurvorming zou kunnen optreden in de injectielaag. Een feit is dat deze methode in het verleden met succes is toegepast, waardoor deze methode ook nu goed toegepast kan worden. Ook hoeft de tunnelvloer dan niet doorboord te worden.

13. Ontwerp bemaling

13.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op het ontwerp van de spanningsbemaling. Dit wordt gedaan voor de gewenste stijghoogte verlaging tot - 9 m NAP. Het kan zijn dat er in het begin van het reduceren van de spanningsbemaling blijkt dat er welvorming optreedt. Dan moet het mogelijk zijn om korte tijd het niveau van het spanningswater te reduceren tot de bouwputbodem, -11 m NAP, zodat het lek kan wordt gedicht. Het ontwerp van de spanningbemaling wordt gemaakt voor de langdurige situatie waarin de stijghoogte verlaagd moet worden tot - 9 m NAP.

13.2 Formule voor de bemaling van onvolkomen spanningswater

De stijghoogteverlaging wordt berekend met de formule van De Glee voor onvolkomen spanningswater.

$$\phi - \phi_0 = \frac{1}{2\pi kD} \sum_{j=1}^N Q_j K_0 \left(\frac{r_j}{\lambda} \right)$$

Waarin:

$\phi - \phi_0$	= stijghoogteverlaging [m]
k	= doorlatendheidscoëfficiënt [m/dag]
D	= dikte van de watervoerende laag [m]
Q_j	= bemalingsdebiet van de bron [m³/dag]
K_0	= gemodificeerde Besselfunctie welke weergegeven wordt in tabellen.
r	= equivalente straal voor rechthoekige bouwputten
λ	= lekfactor of spreidingslengte

Bij onvolkomen spanningswater treedt er lekkage op door de waterafsluitende laag, wat tot uiting komt in de lekfactor λ . Deze formule houdt geen rekening met stroming in verticale richting, alleen met stroming in horizontale richting. Wanneer $r/\lambda < 0.2$, wat voor de afmetingen van deze bouwput geldt, kan de Besselfunctie $K_0(r/\lambda)$ benaderd worden door $\ln(r/1.123\lambda)$. Bij een bemalingssysteem met meerdere bronnen moet de invloed van de bronnen gesuperponeerd worden. De formule wordt dan:

$$\phi - \phi_0 = \frac{1}{2\pi kD} \sum_{j=1}^N Q_j \ln \frac{\sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2}}{1.123\lambda}$$

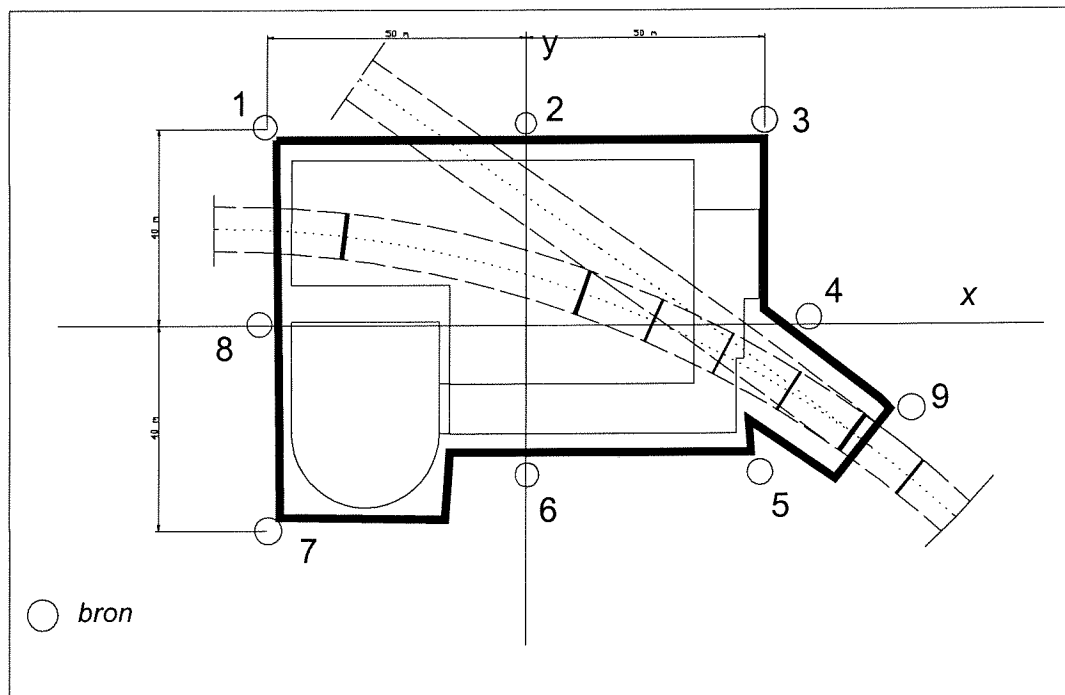
De aanwezigheid van de Maas wordt met de berekening met deze formule niet meegenomen. Uit onderzoek bij de bouw van de Willemspoortunnel bleek dat dit gerechtvaardigd is door de grote intreeweerstand bij de rivieroever. De bronnen hoeven dan niet gespiegeld te worden. Bij de bouw van Willemspoortunnel zijn op basis van pompproeven uit de jaren vijftig de geohydrologische constanten bepaald voor deze formule in de Rotterdamse situatie:

- doorlaatvermogen (kD) = 900 m²/dag

- spreidingslengte (λ) = 1500 m

13.3 Ontwerp van de spanningsbemaling

In het spreadsheetprogramma Excel is een bemalingsprogramma beschreven waarin de stijghoogteverlaging van de bouwput kan worden berekend met de bovenstaande formule en de capaciteit en de positie van de bronnen kan worden gevarieerd. Uit praktische overwegingen worden bronnen altijd vlak buiten de bouwkuip gezet, omdat ze anders in de weg staan bij de uitvoering. Ook moet de bemaling zo worden ingericht dat de onttrekking aan het grondwater minimaal is. Na de optimalisatie van het aantal bronnen, hun positie en debiet, blijkt dat met 9 bronnen met een capaciteit van 60 m³/uur de stijghoogte in de bouwkuip tot 9 m - NAP optimaal verlaagd kan worden. De capaciteit is berekend op de maximaal opgetreden stijghoogte van 1,5 m - NAP in de laatste jaren. Het werkelijk te onttrekken debiet kan lager zijn. Een goede monitoring van de stijghoogte is tijdens de uitvoering vereist.



Figuur 28 Positie van de bronnen van de spanningsbemaling

Bij het ontwerp speelden de onderstaande overwegingen een rol:

- De bouwkuip vormt nagenoeg een vierkant waardoor eerst een achttal bronnen evenredig verdeeld worden langs de bouwkuip.
- In de rechteronderhoek van de bouwkuip bleek nog een bron nodig te zijn, aangezien buiten het vierkant de stijghoogte snel oploopt.
- Ondanks het feit dat niet heel de bouwkuip ontgraven hoeft te worden, zijn toch rond de gehele bouwkuip bronnen nodig. Een bron als nummer 7, in welke hoek niet ontgraven wordt, draagt veel bij aan de stijghoogteverlaging over de hele bouwkuip.

Wanneer niet ontgraven en toch bemaald wordt, blijkt er voldoende veiligheid tegen opbarsten te zijn:

$$\gamma_w H_d \leq \gamma_g d$$

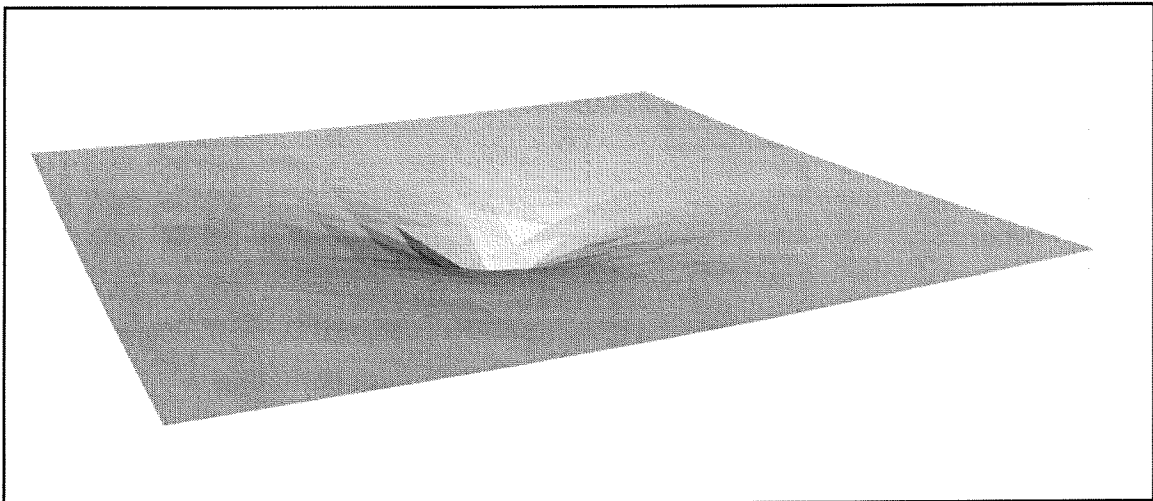
$$1,1 \cdot 15,5 \text{ m} \cdot 10 \text{ kN/m}^3 \leq 3,6 \text{ m} \cdot 20,0 \text{ kN/m}^3 + 4,0 \text{ m} \cdot 16,0 \text{ kN/m}^3 + 3,0 \text{ m} \cdot 11,0 \text{ kN/m}^3 + 6,0 \text{ m} \cdot 16,0 \text{ kN/m}^3$$

$$170,5 \text{ kN/m}^3 \leq 265,0 \text{ kN/m}^3$$

- Bemalingssystemen zijn leverbaar in een reeks van 40 tot 90 m³/uur. Wanneer bronnen met grotere debieten dan 60 m³/uur toegepast worden, is het veel moeilijker om effectief te bemalen. De verhanglijnen zijn dan groter en er wordt op een aantal plaatsen veel meer bemalen dan gewenst is. Bij kleinere debieten blijken meer putten nodig te zijn.

13.4 Invloed op de omgeving

Nu een ontwerp van de bemaling gemaakt is moet onderzocht worden wat het effect van de de bemaling in de omgeving is. Hierbij wordt op een dusdanige afstand van de bouwkuip gekeken dat de Besselfunctie niet meer te benaderen is met logaritme. De Besselfunctie wordt weergegeven in tabellen¹⁹. In het spreadsheet programma Excell is ook hiervoor een programma geschreven die de stijghoogteverlaging in de omgeving berekend. Hierbij is een net van 1,5 bij 1,5 km uitgezet waar de bouwkuip middenin ligt. Dit net is opgebouwd uit een groot aantal punten met een onderlinge afstand van 150 m. In de onderstaande figuur is een 3D aanzicht gegeven van de invloed van de spanningsbemaling.

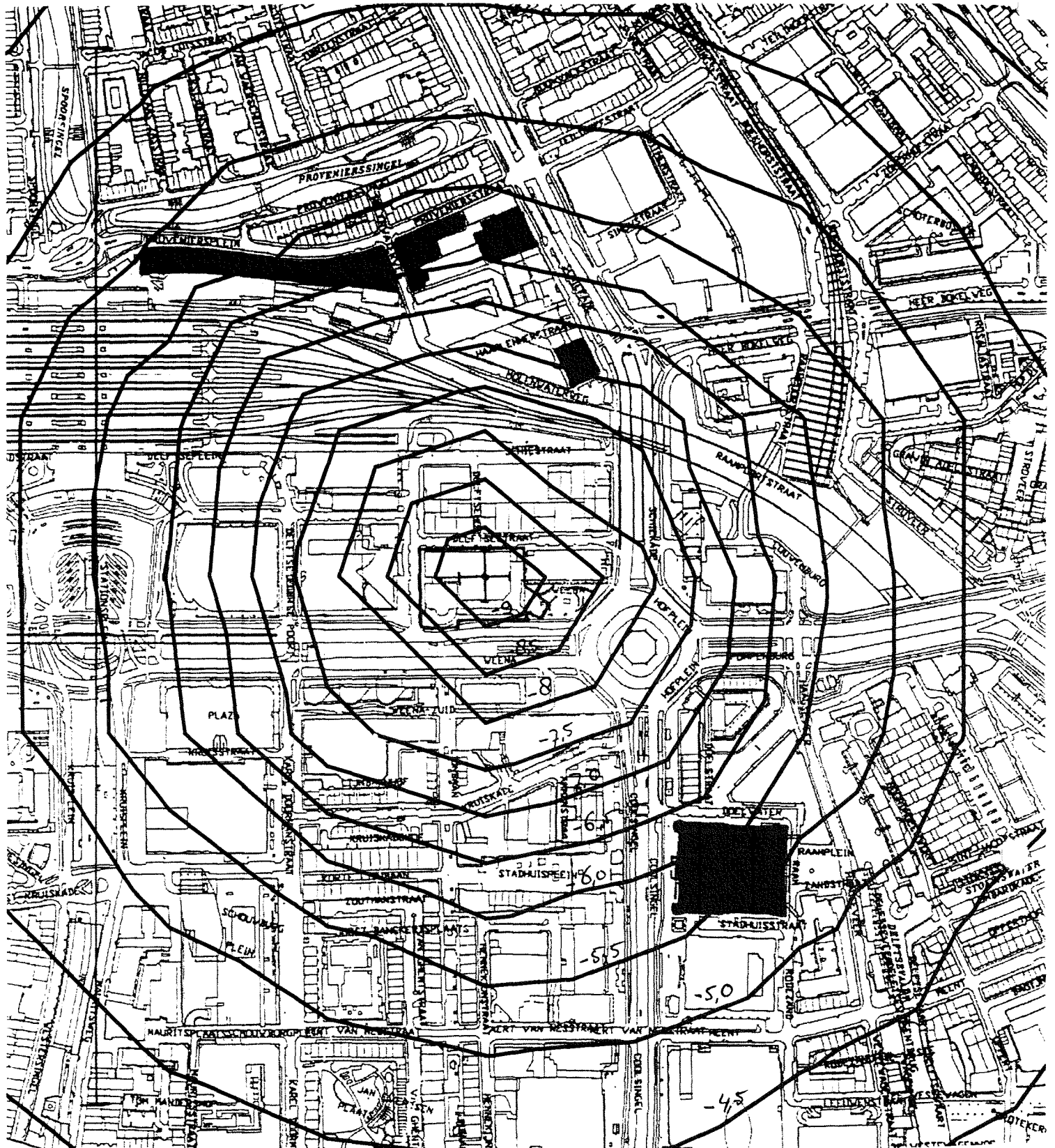


Figuur 29 3D-aanzicht van de invloed van de spanningsbemaling

De invloed van de spanningsbemaling op de omgeving kan vervolgens ook weergegeven worden met isohypsen. Isohypsens zijn lijnen die plaatsen met éénzelfde stijghoogte weergeven. De isohypsen worden weergegeven in het programma Autocad. Deze isohypsen kunnen vervolgens op de plattegrond van Rotterdam worden geprojecteerd. In deze kaart is tevens de kwetsbare bebouwing

weergegeven. Kwetsbare bebouwing is de bebouwing die een onvoldoende veiligheid bezit ten opzichte van het grensdragvermogen. Door de stijghoogteverlaging kan de onderkant van de kleilaag gaan zakken, waardoor de negatieve kleef toeneemt wat tot zetting van de paal kan leiden. Deze zetting kan vervolgens leiden tot schade aan de bebouwing. Uit funderingsonderzoeken in Rotterdam is gebleken dat de bebouwing van voor 1940, welke op houten palen is gebouwd, als kwetsbaar beschouwd moet worden.

Bij de berekening van de invloed is als uitgangspunt genomen dat in de nabije omgeving geen andere bemaling plaatsvindt.



Figuur 30 Isohypsens t.g.v. de spanningsbemaling

13.5 Ontwerp van de retourbemaling

Uit de grondwatergegevens in bijlage IX blijkt dat langdurig tot 4,5 m - NAP bemaald kan worden. Deze grens is bij de bouw van de Willemspoortunnel ook aangehouden voor de kwetsbare bebouwing. Hieruit kan men concluderen dat nabij de kwetsbare bebouwing de stijghoogte dus minimaal 4,5 m - NAP mag bedragen.

Uit de bovenstaande figuur blijkt dat bij een gedeelte van de kwetsbare bebouwing de stijghoogte lager is dan 4,5 m - NAP; bij het stadhuis en bij de bebouwing ten noorden van de sporen. Op deze plaats wordt retourbemaling toegepast.

Het ontwerpen van retourbemaling is een iteratief proces waarbij de variabelen zijn:

- De capaciteit van de bronnen;
- De positie van de bronnen.

Om de invloed van de bemaling goed te kunnen weergeven zijn twee spreadsheetprogramma's gebruikt. Eén met een grid-afstand van 10 meter waarmee de stijghoogte in de bouwkuip goed in kaart kan worden gebracht en één met een grotere grid-afstand voor de invloed in de omgeving, waarin de stijghoogte in de bouwkuip minder goed zichtbaar is. Bij de bovenstaande kaart is een afstand van 150 meter gebruikt, 1/10 van de invloedslengte. Voor het in kaart brengen van de retourbemaling bleek een kleinere grid-afstand duidelijker. Aangezien buiten een straal van 600 meter rond de bouwkuip de stijghoogteverlaging acceptabel is, is hier voor een grid-afstand van 60 meter gekozen, 1/10 van 600 meter.

Het ontwerpen is tevens een iteratief proces tussen beide spreadsheets. Enkele voorbeelden van de spreadsheets worden weergegeven in bijlage XII.

De retourbronnen hebben invloed op het verhang. De bronnen bij de bouwput moeten nu meer bemalen om de vereiste stijghoogte verlaging te krijgen. Hierdoor wordt het verhang ook groter. Om te voorkomen dat de retourbronnen het te onttrekken debiet teveel vergroten moet de afstand tussen de onttrekkingsbronnen en de retourbronnen ten minste 25 meter bedragen. Hoe verder de retourbronnen staan des te minder spanningswater bij de bouwkuip onttrokken hoeft te worden. Daarom wordt de retourbemaling aan de rand van de kwetsbare bebouwing geplaatst. Retourbemaling heeft doorgaans een capaciteit van 10-30 m³/uur per infiltratieput. In de spreadsheet zijn niet alle benodigde bronnen afzonderlijk meegenomen, maar worden de bronnen geconcentreerd gedacht in een aantal punten langs lijnen van de kwetsbare bebouwing. Afhankelijk van het te onttrekken debiet op die plaats, kan het debiet nog opgedeeld worden in een meerdere bronnen met een kleiner debiet. Deze bronnen kunnen in een lijn met het andere nabijgelegen punt verdeeld worden. Deze punten en lijnen worden weergegeven in de onderstaande kaart.



Figuur 31 Isohypsen t.g.v. spanningsbemaling i.c.m. retourbemaling

13.6 Conclusie

Het blijkt dat bij een stijghoogte van 1,5 m - NAP, zo'n 90 m³/uur geïnfiltreerd moet worden nabij het stadhuis en ongeveer 200 m³/uur ten noorden van het station. De bronnen bij de bouwkuip moeten 80 m³/uur bemalen, wat neerkomt op een totale onttrekking van ongeveer 17300 m³/dag. Bij het stadhuis wordt 3000 m³/dag teruggepompt en ten noorden van het spoor zo'n 5000 m³/dag. Bij deze bemalingsberekening is uitgegaan van een maximale stijghoogte van 1,5 m - NAP. Doorgaans zal de stijghoogte lager zijn waardoor minder hoeft te worden bemalen om de gewenste verlaging te krijgen. De berekening is dan ook bedoeld om een bovengrens te geven voor de capaciteit van de pompen. Het is wenselijk om voor de bouwkuip bronnen te gebruiken met welke een debiet van 90 m³/ uur gehaald kan worden. Daarnaast moet een bemalingsprogramma opgesteld worden die afhankelijk is van de stijghoogte van het spanningswater, zodat de bronnen de juiste debieten kunnen pompen.

Met bronnen van 90 m³ is het goed mogelijk om zonder retourbemaling de waterstand tijdelijk te verlagen tot -11 m NAP wanneer er welvorming optreedt.

Voor de retourbronnen geldt dat het wenselijk is om kleine debieten te infiltreren zodat de grond het minst wordt verstoord.

Het water voor de retourbronnen komt van het opgepompte water. Hierdoor moeten leidingen door de stad gelegd worden. Wanneer het niet mogelijk is om deze bovengronds te leggen, moeten de leidingen tijdelijk ondergronds worden gelegd. Het overtollige water wordt in het riool gepompt.

13.7 Literatuur

- [1] *Groundwater mechanics, flow and transport*, Prof.dr. ir. F.B.J. Barends, TU-Delft, februari 1997
- [2] *Geotechnische aspecten van de bouw van de Willemspoortunnel te Rotterdam (1) - Ontwerp bouwputten Rechter Maasoever*, Ir. A.F. van Tol e.a., Civiele Techniek 1988 nr. 2
- [3] *Geotechnische aspecten van de bouw van de Willemspoortunnel te Rotterdam (2) - Ontwerp bemalingen*, Ir. A.F. van Tol e.a., Civiele Techniek 1988 nr. 3
- [4] *Funderingstechniek en Ondergrond Bouwen*, Prof. ir. A.F. van Tol, TU-Delft, januari 1999

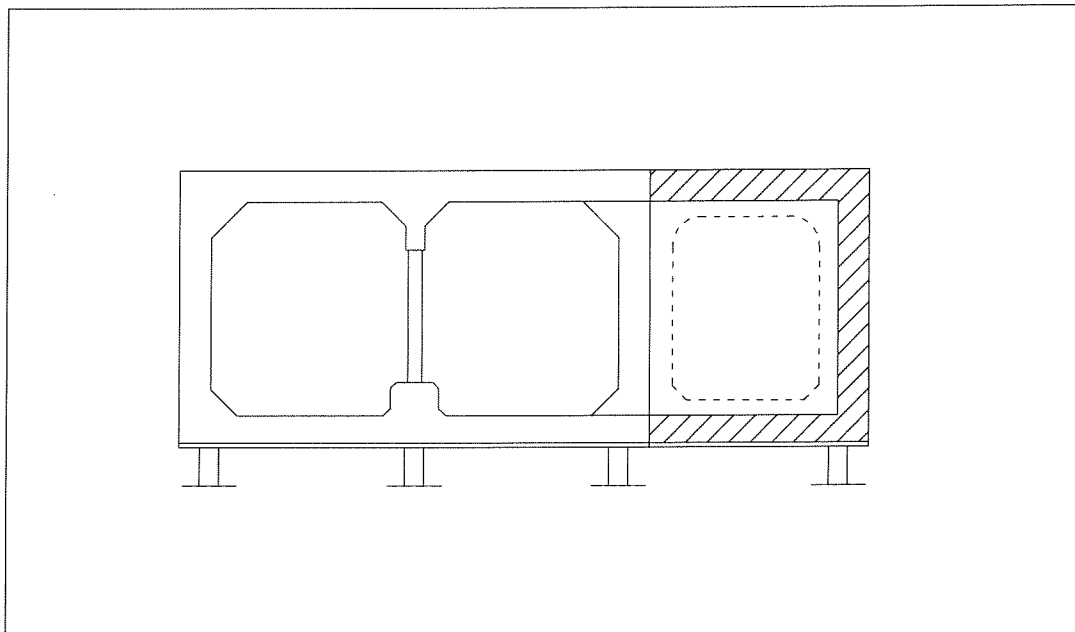
14. Constructie tunnel

14.1 Inleiding

Nadat beschreven is hoe een werkruimte gemaakt kan worden, wordt in dit hoofdstuk ingegaan op de vraag hoe de aansluiting tussen de nieuwe en de oude tunnel geconstrueerd kan worden.

14.2 Aandachtspunten bij het ontwerp van de aansluiting

Het principe van de aansluiting is dat er als het ware een nieuwe tunnel aan de oude vastgemaakt wordt, zoals in de onderstaande figuur wordt weergegeven:



Figuur 32 De constructie van de aansluiting

Er zijn een aantal aandachtspunten die bepalend zijn voor de constructie van de aansluiting:

- Een belangrijk punt bij de ontgraving van de bestaande tunnel is dat de tunnel nauwelijks horizontaal mag verplaatsen. De bestaande tunnel is namelijk afgezonken en ligt los gefundeerd op palen en kan dus gemakkelijk verschuiven. Dit geeft een belasting op de rest van het tunnelement en zou de sporen kunnen verschuiven van hun plaats.
- De belasting van de aansluiting kan beperkt afgedragen worden op de bestaande tunnel, aangezien die tunnel niet berekend is op een gewijzigde belastingssituatie.
- De aansluiting moet waterdicht aangesloten worden op de bestaande tunnel, aangezien de tunnel in het grondwater staat.
- Bij voorgaande bouwwerkzaamheden aan de metro in Rotterdam werd altijd de eis gesteld dat het metroverkeer niet gehinderd mag worden. Nu is dat in dit geval erg moeilijk aangezien de tunnel opengemaakt moet worden. Het moet echter

mogelijk zijn om één metrobaan continu open te houden, kleine onderbrekingen daargelaten, zodat het metrostation Centraal Station kan blijven functioneren. Er is een wissel opgenomen in het spoor vlak voor het station CS en nabij station Beurs (zie figuur 1). Het in stand houden van de oude tunnel tijdens de bouw impliceert eigenlijk dat de oude tunnel na de aansluiting ook nog steeds gebruikt kan worden.

- Een nieuwe fundering heeft mogelijk invloed op de bestaande fundering.
- Een nieuwe fundering zakt mogelijk anders dan de bestaande fundering wat gevolgen heeft voor de samenhang van de tunnel en de aansluiting.
- De bovenbelasting op de tunnel is verschillend over het gedeelte van de aansluiting. Het ontwerp van de aansluiting wordt daardoor beïnvloed. De bovenbelasting scheidt de tunnel in drie delen:
 1. Het gedeelte onder de parkeergarage van het Weenahuis. Hier is een gronddekking van gemiddeld 3 meter, met daarboven de belastingen van geparkeerde auto's. Ook kruisen enkele funderingspalen de tunnel.
 2. Het gedeelte onder het kantoorgebouw van het Weenahuis. Hier is een vrije ruimte van 50 cm boven het dak van de bestaande tunnel, welke gehandhaafd moet blijven om te voorkomen dat de kelderconstructie ten gevolge van doorbuiging belasting overdraagt op de metrotunnel.
 3. Het gedeelte van de aansluiting voor het Weenahuis. Hier is een gronddekking van ongeveer vier meter boven de bestaande tunnel

14.3 De constructie onderverdeeld in gebieden

De constructie van de aansluiting wordt verder beïnvloed door het feit dat slechts over een bepaald gedeelte kolommen in de tunnelbuis kunnen staan. In de onderstaande figuur wordt dat gebied aangegeven met nummer 1. In dit gedeelte is er geen spoorwissel in de buitenste banen. Hierdoor kunnen kolommen opgenomen worden in de doorsnede, wat dit gedeelte constructief scheidt van rest van de aansluiting. Het overige gedeelte van de aansluiting moet namelijk helemaal vrij zijn van kolommen, want daar kruisen de rijbanen.

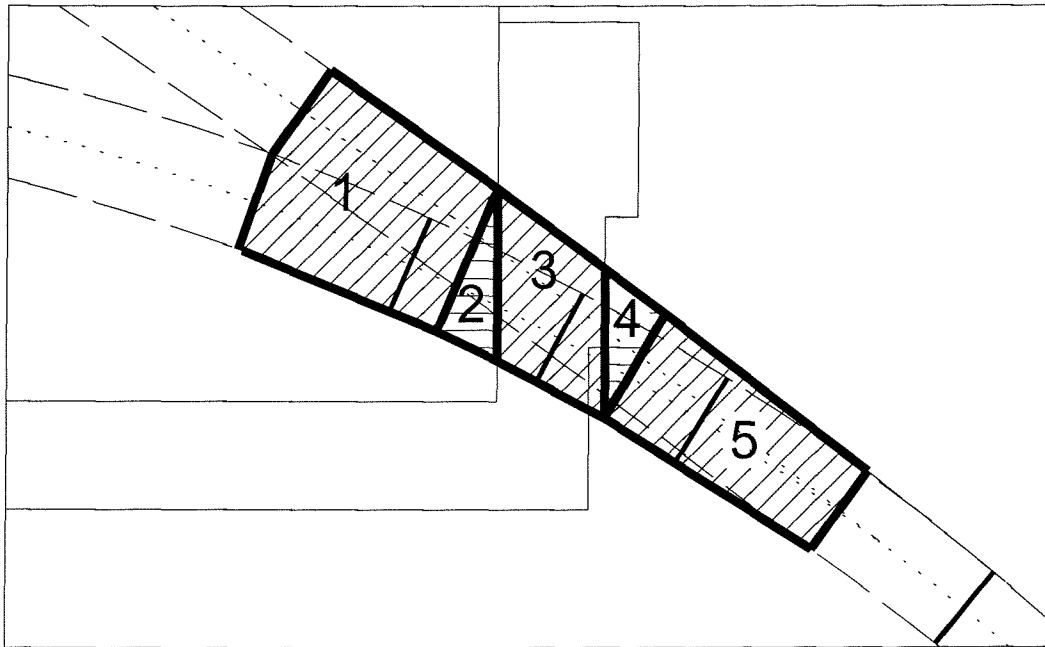
Een moeilijk punt vormt de kelderconstructie van het Weenahuis. Onder het Weenahuis is namelijk weinig ruimte voor een dakconstructie. De vraag is of de keldervloer als dak gebruikt kan worden. De kelderconstructie is berekend op de situatie dat er grondwater aanwezig is. Ook is het maar de vraag of de eigenaar van het Weenahuis dergelijke veranderingen aan het gebouw toelaat. Dit gebied wordt aangegeven met nummer 3.

Nu blijft er een driehoek over tussen gebied 1 en 3. Hier is een dakconstructie nodig voor de vloer van de parkeergarage. Dit gebied is weergegeven met nummer 2.

Gebied nummer 4 lijkt veel op gebied 2, zij het dat de bovenbelasting anders is. Gebied 4 vormt een overgang naar gebied 5.

In gebied 5 neemt de overspanning af naar twee rijbanen, waardoor hier een minder zware constructie nodig is voor het dak.

De verschillende constructies worden uitgewerkt in de volgende paragrafen. Het middengedeelte 2,3 en 4 is afhankelijk van de constructie keuze in gebied 1 en 5. Ook zijn de gebieden 2 en 4 afhankelijk van de constructie keuze in gebied 3. Daarom worden eerst de gebieden 1 en 5 besproken, vervolgens gebied 3 en daarna de gebieden 2 en 4.



Figuur 33 5 gedeelten

14.4 Belastingen op de tunnel in de oude situatie

14.4.1 Inleiding

Om globaal de sterkte van de bestaande constructie te bepalen moet bepaald worden of de constructie voldoende draagvermogen heeft in de uiterste grens toestand bij buiging en voldoende weerstand tegen afschuiven. De scheurvorming is meestal niet maatgevend, maar moet zeker gecontroleerd worden in de bruikbaarheid grens toestand, aangezien dit de waterdichtheid van de tunnel garandeert.

14.4.2 Buiging

Uit bijlage VI blijkt dat de in de gehele constructie dezelfde hoofdwapening is toegepast voor de buigende momenten, namelijk $\varnothing 16 - 15$ mm en $\varnothing 16 - 30$ mm. In de wand en het dak is het oppervlak van de doorsnede $0,65 \text{ m}^2$ en in de vloer $0,55 \text{ m}^2$. Hieruit volgen de onderstaande wapeningspercentages:

wand en dak : $\omega = 0,31 \%$

vloer : $\omega = 0,37 \%$

De betonkwaliteit die destijds is toegepast is K300, wat nu overeenkomt met een kubus druksterkte van 300 kg/cm^2 . Het beton is in de loop der tijd een stuk sterker geworden, naar schatting rond een sterkte klasse van B40. Om aan de veilige kant te zitten wordt de sterkte geschat op B35.

Met deze gegevens kan nu in de uiterste grens toestand het rekenkundig bezwijkmoment in het veld berekend worden met:

De dikte van het dak bedraagt 650 mm en van de vloer 550 mm. Uit de waarden voor σ komt dan respectievelijke 0,18 en 0,24 N/mm². Het extra op te nemen moment in deze situatie wordt dan 12,7 en 12,1 kNm/m. Ten opzichte van het bezwijkmoment is dit een toename van ongeveer 3 %.

De normaalkracht op de wand volgt uit de bovenbelasting van de grond en het water en het eigengewicht van de tunnel tot het midden van de doorsnede. Daarbij wordt er van uitgegaan dat een kwart van de totale bovenbelasting en 1/6 van het volume van de tunnel de normaalkracht in het midden van de doorsnede van de wand bepaalt. De normaalkracht bedraagt 186,8 kN. Hieruit volgt een waarde voor σ van 0,29. Het extra op te nemen moment bedraagt dan 20,4 kNm/m. Ten opzichte van het bezwijkmoment is dit een toename van ongeveer 5 %.

De toename van het bezwijkmoment verschilt natuurlijk per doorsnede en per belastingssituatie. Voor de vervolgstudie wordt eerst gedimensioneerd op het bezwijkmoment zonder de gunstige werking van de normaalkracht. Daarbij wordt, wanneer dat nodig is, deze extra veiligheid in rekening gebracht. Op sommige plaatsen is de bovenbelasting gereduceerd. Hier kan dus nog minder in rekening worden gebracht. Daarom is het in principe een veilige aanname om eerst op het zuivere bezwijkmoment te dimensioneren.

14.4.3 Afschuiving

Om te bepalen wat de weerstand tegen afschuiven is moet de maximale rekenwaarde van de schuifspanning τ_d vergeleken worden met de uiterst opneembare schuifspanning τ_1 waarbij $\tau_d \leq \tau_1$. Bij een normaalkracht op de tunnel mag de waarde van τ_1 nog verhoogd worden met τ_n . Wanneer de schuifspanning groter is kan dwarskrachtwapening worden toegepast. Dit is niet toegepast in de metrotunnel.

De waarden voor de schuifspanning worden gegeven door de volgende formules:

$$\tau_d = V_d/bd$$

$$\tau_1 = 0,4f_b$$

$$\tau_n = 0,15\sigma'_{bmd}$$

waarin:

- V_d : waarde van de dwarskracht
- b : breedte van de doorsnede, hier 1 meter
- d : dikte van de doorsnede, hier 0,65 meter. De 10 cm dikke stortvloer wordt nu ook meegerekend bij de dikte van de vloer.
- f_b : rekenwaarde van de treksterkte = 0,5 (1,05 + 0,05 f'_{ck})
met een B35 is dat 1,4 N/mm²
- σ'_{bmd} : gemiddelde betondrukspanning t.g.v. de rekenwaarde van normaalkracht.

De waarde van de opneembare schuifspanning $\tau_1 = 0,56$ N/mm². Hieruit volgt dat de maximaal optredende dwarskracht zonder een normaalkracht 365 kN mag zijn. De toegevoegde waarde door de normaalkracht is afhankelijk van de belastingssituatie op de tunnel. In de hoekpunten is de doorsnede dikker, hier kan een grotere dwarskracht worden opgenomen. Er kan nog opgemerkt worden dat sinds de jaren zestig de inzichten op het berekenen van afschuiving sterk verbeterd zijn.

14.4.4 Scheurvorming

Voor het berekenen van de maximale scheurwijdte wordt van de bruikbaarheid grens toestand uitgegaan. Uit de TGB van 1990 volgt dat aan één van de onderstaande eisen voldaan moet worden:

$$\varnothing_{km} \leq \frac{k_1 \xi}{\sigma_s} \quad [\text{mm}]$$

of

$$s \leq 100 \left(\frac{k_2 \xi}{\sigma_s} - 1,3 \right) \quad [\text{mm}]$$

waarin:

- σ_s : maximaal optredende staalspanning in een scheur
- $\varnothing_{km}$: kenmiddellijn van de betonstaalstaven, 16 mm
- s : h.o.h. afstand tussen de staven, 150 mm
- k_1 : factor, hier 3750
- k_2 : factor, hier 750
- ξ : aanhechtingsfactor, hier 1,0

Uit de eerste formule volgt dat de maximaal toelaatbare staalspanning in een scheur is $\sigma_s = 234 \text{ N/mm}^2$ en uit de tweede $\sigma_s = 268 \text{ N/mm}^2$. De laatste is hier maatgevend. Vervolgens kan het maximaal optredende moment in de bruikbaarheid grens toestand berekend worden met:

$$\sigma_s = \frac{M_{rep}}{M_u} f_s$$

Met de eerder berekende waarden van M_u volgt hieruit voor M_{rep} :

$M_{\text{binnenkant; dak/wand}} = 320 \text{ kNm}$
 $M_{\text{buitenkant; dak/wand}} = 314 \text{ kNm}$
 $M_{\text{binnenkant; vloer}} = 292 \text{ kNm}$
 $M_{\text{buitenkant; vloer}} = 286 \text{ kNm}$

14.4.5 Controle berekening

De bestaande tunnel is berekend op een grondbelasting vanaf het maaiveld, aangezien in de jaren zestig een groenvoorziening was gepland op het maaiveld. Om een indicatie te geven van de optredende krachten in de constructie en als controle voor de hierboven beschreven grenzen wordt met het programma STAAD de krachten in de constructie berekend. De tunnel blijkt indertijd met weinig reserves gedimensioneerd te zijn. Om dan een globaal beeld te krijgen van de krachten die de huidige constructie kan hebben wordt de tunnelconstructie berekend met het programma STAAD.

14.4.6 Belastingen

De belastingen die op de tunnel werken zijn:



1. Grondbelasting

De grootste bovenbelasting van de grond treedt op bij een maximale grondwaterstand van 1,5 m - NAP.

Aangezien de grond rond de tunnel uit opgevulde grond bestaat wordt voor het soortelijk gewicht hier aangehouden:

- nat zand: 20 kN/m³
- droog zand: 18 kN/m³

Het maaiveldniveau ligt op 0,4 m - NAP. De bovenkant van de tunnel varieert van 4,15 m - NAP tot 4,30 m - NAP. Een drietal doorsneden zijn relevant om door te rekenen, namelijk die aan het eind van de gebieden 1, 3 en 5. Aan het eind van gebied 1 ligt het dak van de tunnel op 4,3 m - NAP. Aan het eind van gebied 3 op 4,25 m - NAP en bij gebied 5 op 4,2 m - NAP.

Aan de zijanten van de tunnel levert de grond een horizontale gronddruk op de tunnelwand. Voor de berekening van de horizontale gronddruk moet de verticale korreldruk vermenigvuldigd worden met een zogenaamde K-waarde. Voor een starre constructie in zand wordt daarvoor een waarde van 0,5 aangehouden.

2. Opwaartse druk van het grondwater

Hier wordt voor het soortelijk gewicht 10 kN/m³ aangehouden. De opwaartse druk is maximaal bij een maximale grondwaterstand van 1,5 m - NAP. De opwaartse druk is minimaal aan het eind van de bouwphase, wanneer de grond is aangevuld maar het water nog niet in de bouwkuip staat.

3. Het eigen gewicht van de tunnel

Voor het eigengewicht van de tunnelconstructie wordt 25 kN/m³ aangehouden.

4. Maaiveldbelasting

Voor de belasting vanaf het maaiveld wordt een gelijkmatig verdeelde belasting van 20 kN/m² aangehouden. Dit is een gangbare bovenbelasting voor een constructie in veiligheidsklasse III.

5. Kleefbelasting

De kleefbelasting op de tunnelwand wordt benaderd met de slipmethode volgens de formule:

$$F_{kleef} = AK_0\sigma'_v \tan \delta$$

Waarin:

A	: oppervlak waarop de kleef werkt, hier 9.65 m ²
K ₀	: horizontale gronddruk coëfficiënt 0,5
σ' _v	: gemiddelde verticale korrelspanning
δ	: wrjvingshoek tussen grond en wand, 0,75φ = 0,75x 30° = 22,5°

De kleefkracht wordt vervolgens over de ingevoerde hoogte van de tunnel gedeeld, zodat de kleefbelasting gelijkmatig benaderd wordt.

6. Metrobelasting

Voor de belasting van de metro wordt 35 kN/m¹ aangehouden in het midden van de rijbaan.

Overige belasting uit kabels en rails worden verwaarloosd.

14.4.7 Belastingsfactoren

De tunnel wordt ingedeeld in de veiligheidsklasse III omdat levensgevaar en economische schade het gevolg is bij het bezwijken van de constructie.

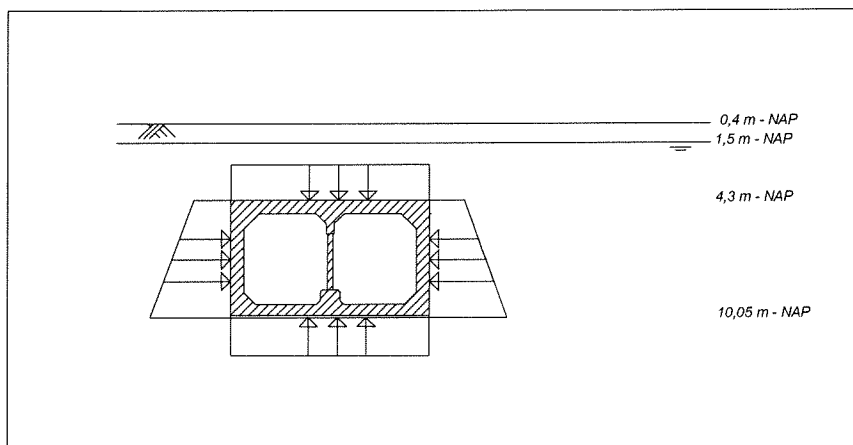
Voor een permanente belasting in de uiterste grens toestand wordt dan een factor 1,2 toegepast als de belasting ongunstig werkt en een factor 0,9 als deze gunstig is. Voor de veranderlijk belasting wordt een factor 1,5 toegepast.

De uiterste grens toestand zijn voor de sterkteberekeningen maatgevend, aangezien de maximale belasting voor de hele constructie de maximale sterkte aangeeft. De bruikbaarheid grens toestand is voor scheurvorming maatgevend. Voor het verloop van de veld- en steunpuntsmomenten is de maatgevende situatie, wanneer de grondwaterstand maximaal is. Het grondwater werkt ongunstig, en wordt dus vermenigvuldigd met een factor 1,2. Voor de funderingskracht in de linker en rechterfundering is de maatgevende situatie wanneer het grondwaterniveau minimaal is, dat is onder het niveau van de vloer.

14.4.8 Modelvorming

De funderingspalen worden geschematiseerd als veren met een bepaalde veerstijfheid. Als vuistregel kan daarvoor worden aangehouden: $200.000 \text{ kN/m}^2 \times$ diameter van de paal in meter. Bij een diameter van 42 cm volgt hieruit een veerstijfheid van 85.000 kN/m . De afmetingen van de tunnel wordt berekend aan de hand van hartlijnen. De belastingen worden ingevoerd per m^1 in de langsrichting van de tunnel. De kolommen staan h.o.h. ongeveer 2 meter. Om dit te dimensioneren wordt de doorsnede van de kolom gehalveerd. De funderingspalen staan h.o.h. 3,20 meter uit elkaar. Om de juiste funderingskrachten te krijgen moeten de oplegreacties vermenigvuldigd worden met een factor 3,2. Voor de doorsnede is de stijfheid van beton genomen, zodat de hoekpunten rotatieveren zijn.

De invoer in het programma STAAD is dan als volgt:



Figuur 34 Invoer STAAD oorspronkelijke belastingssituatie

Hieronder zijn de krachten in de constructie berekend voor twee situaties:

1. Uiterste grens toestand, met maximale grondwaterstand, zonder metrobelasting. Dit is maatgevend voor de momenten. De metrobelasting werkt daar ongunstig in mee en wordt daarom niet meegenomen.
De bovenbelasting bedraagt 121 kN/m^2 . De horizontale belasting verloopt van $77,3 \text{ kN/m}^2$ naar $180,8 \text{ kN/m}^2$. De belasting aan onderkant bedraagt $102,6 \text{ kN/m}^2$. De kleeftbelasting op de wand bedraagt $31,2 \text{ kN/m}^2$.
2. Uiterste grens toestand, zonder waterstand, met metrobelasting. Dit is maatgevend voor de paalbelasting.

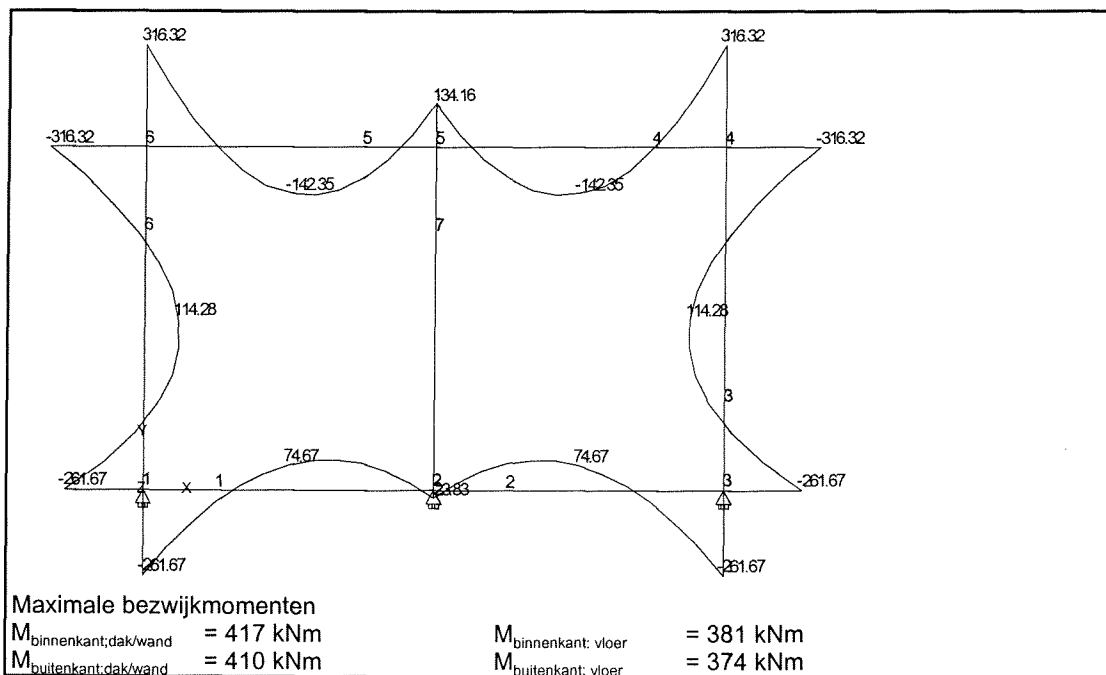
De bovenbelasting bedraagt $114,2 \text{ kN/m}^2$. De horizontale belasting verloopt van $57,1 \text{ kN/m}^2$ naar $119,2 \text{ kN/m}^2$. De kleefbelasting op de wand bedraagt $47,6 \text{ kN/m}^2$.

3. Bruikbaarheid grens toestand, met een maximale grondwaterstand, zonder metrobelasting zodat de maximale momenten optreden in de constructie. Deze situatie is maatgevend voor de scheurvorming.

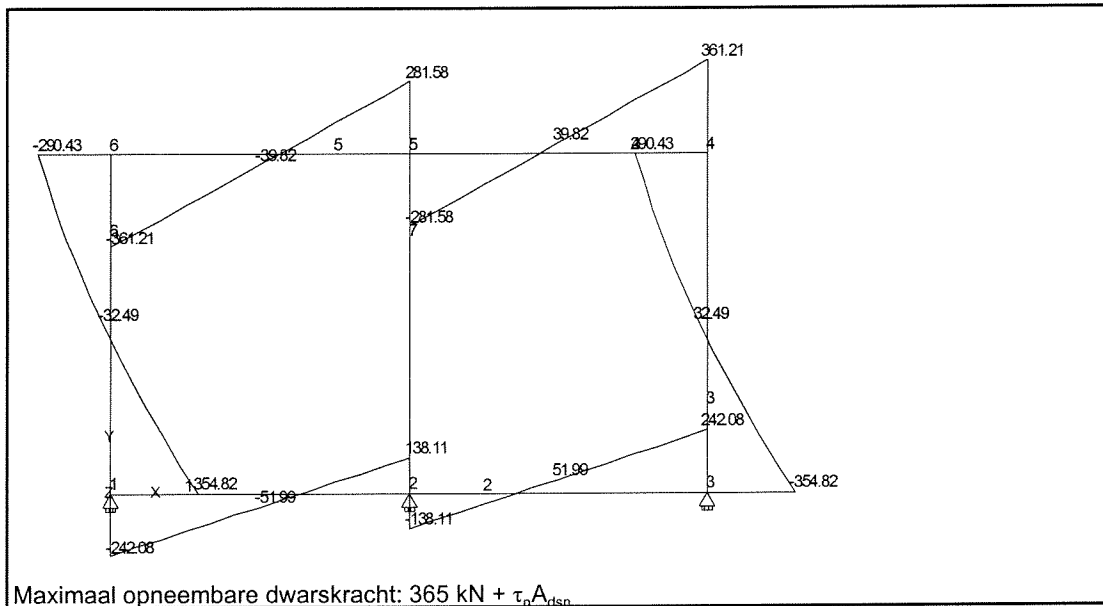
De bovenbelasting bedraagt $95,8 \text{ kN/m}^2$. De horizontale belasting verloopt van $61,9 \text{ kN/m}^2$ naar $148,2 \text{ kN/m}^2$. De belasting aan onderkant bedraagt $85,5 \text{ kN/m}^2$. De kleefbelasting op de wand bedraagt $25,5 \text{ kN/m}^2$.

14.4.9 Uitvoer

Hieruit volgt de onderstaande uitvoer. Voor een eerste beschouwing van de constructie zijn de momentenlijnen en diverse krachten berekend. In doorsnede 1 is tevens de kracht in de middenkolom van belang.



Figuur 35 Momentenlijn eind gebied 1, uiterste grens toestand, oorspronkelijke situatie, belastingsgeval 1



Figuur 36 Dwarskrachtenlijn eind gebied 1, uiterste grens toestand, oorspronkelijke situatie, belastingsgeval 1

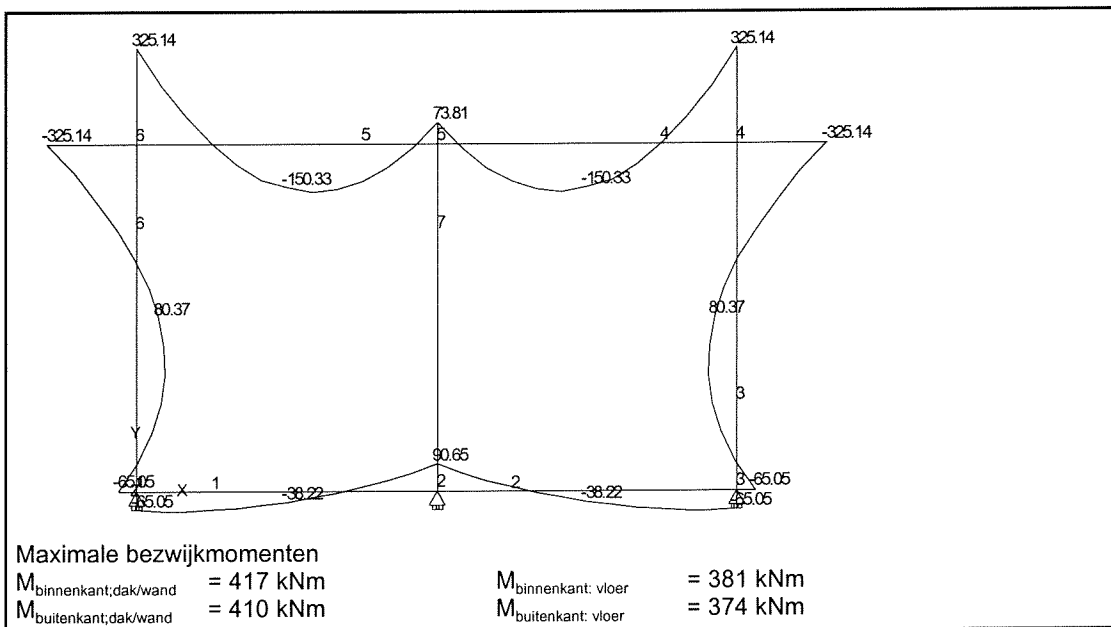
De kracht op de middenkolom bedraagt 565 kN/m¹

De oplegcracties zijn (h.o.h. 3,2 m):

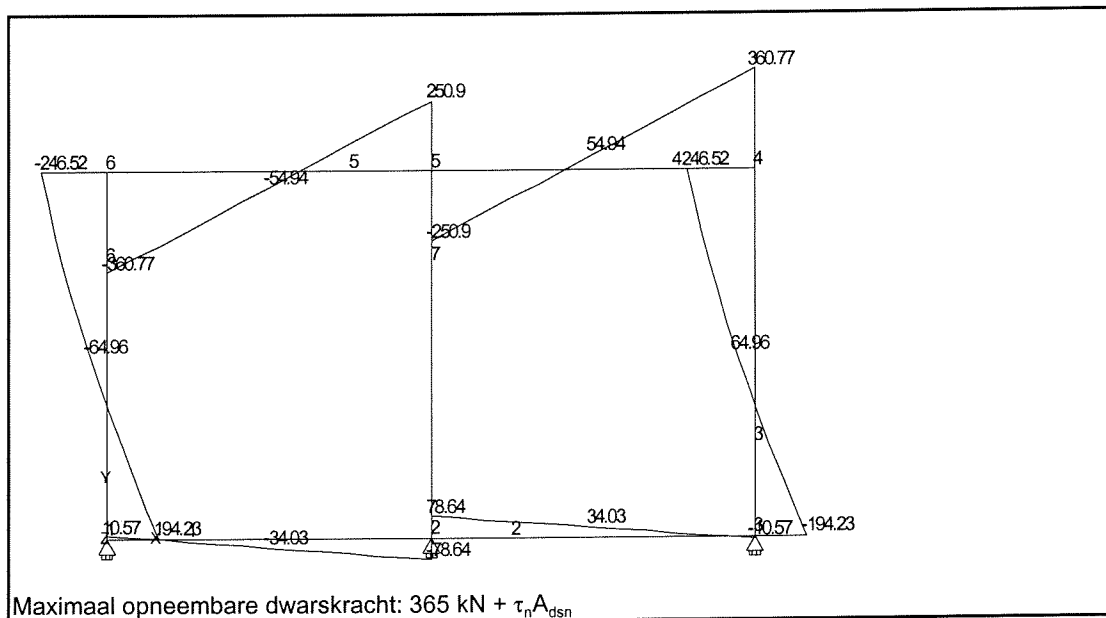
linkerfundering: 1125 kN

middenfundering: 950 kN

rechterfundering: 1125 kN



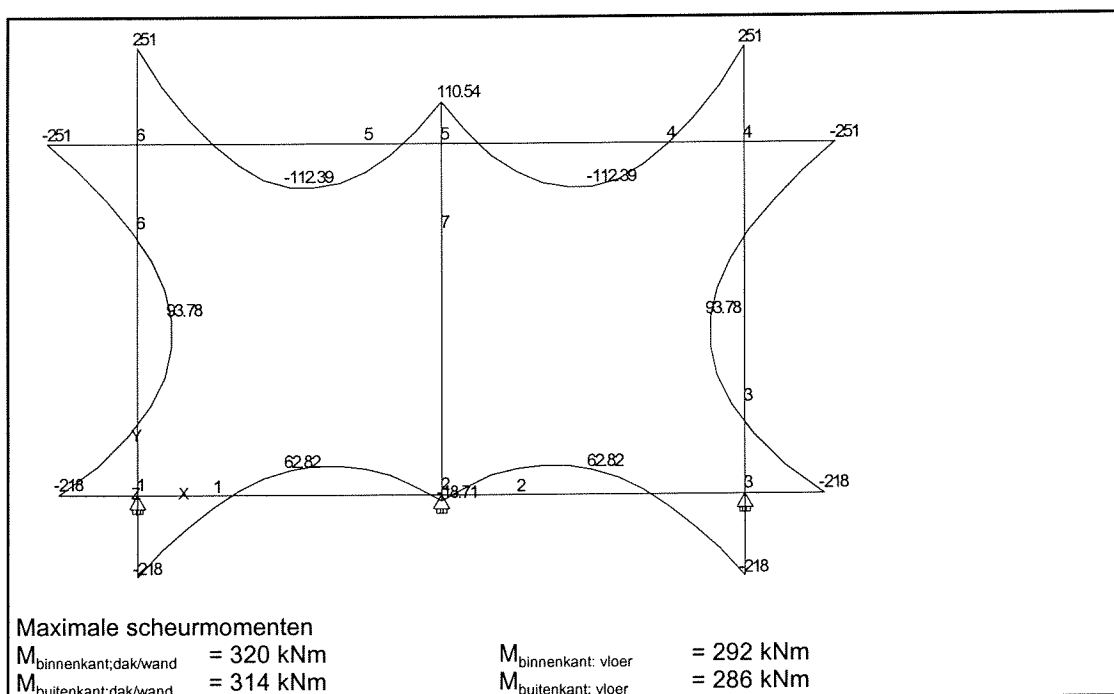
Figuur 37 Momentenlijn eind gebied 1, uiterste grens toestand, oorspronkelijke situatie, belastingsgeval 2



Figuur 38 Dwarskrachtenlijn eind gebied 1, uiterste grens toestand, oorspronkelijke situatie, belastingsgeval 2

De oplegracties zijn:

linkerfundering:	2160 kN
middenfundering:	2140 kN
rechterfundering:	2160 kN



Figuur 39 Momentenlijn eind gebied 1, bruikbaarheid grens toestand, oorspronkelijke belastingssituatie, belastingsgeval 3

Aangezien de palen gedimensioneerd zijn op een evenwichtsbelasting van 2100 kN in de uiterste grens toestand volgt hieruit dat de palen niet berekend zijn voor een situatie waarin de waterstand verlaagd wordt tot onder de tunnel, maar de grond nog

wel aanwezig is. Dit zou het geval kunnen zijn tijdens de bouwphase in gebied 5. Deze situatie moet voorkomen worden. Het is daarbij belangrijk om gefaseerd de grond af te graven en de waterstand te verlagen. Belastingsgeval 2 is daarom niet meer maatgevend in de verdere studie. De nieuwe maatgevende situatie voor de fundering blijkt dan het belastingsgeval met een minimale grondwaterstand te zijn. Hierna kan namelijk de grond systematisch ontgraven worden tot de grens dat de tunnel gaat opdrijven. De bovenbelasting neemt hierdoor alleen maar toe. Bij het bereiken van het opdrijfriterium is de paalbelasting nagenoeg nul en neemt dan weer toe door het droogpompen van de bouwkuip en door de belasting uit het eigen gewicht van de tunnel die op de palen werkt. Deze belasting is geringer dan de belasting op de palen bij een minimale grondwaterstand, zodat deze maatgevend is. De paalbelasting is dan (h.o.h 3,2 m):

linkerfundering:	1285	kN
middenfundering:	1130	kN
rechterfundering:	1285	kN

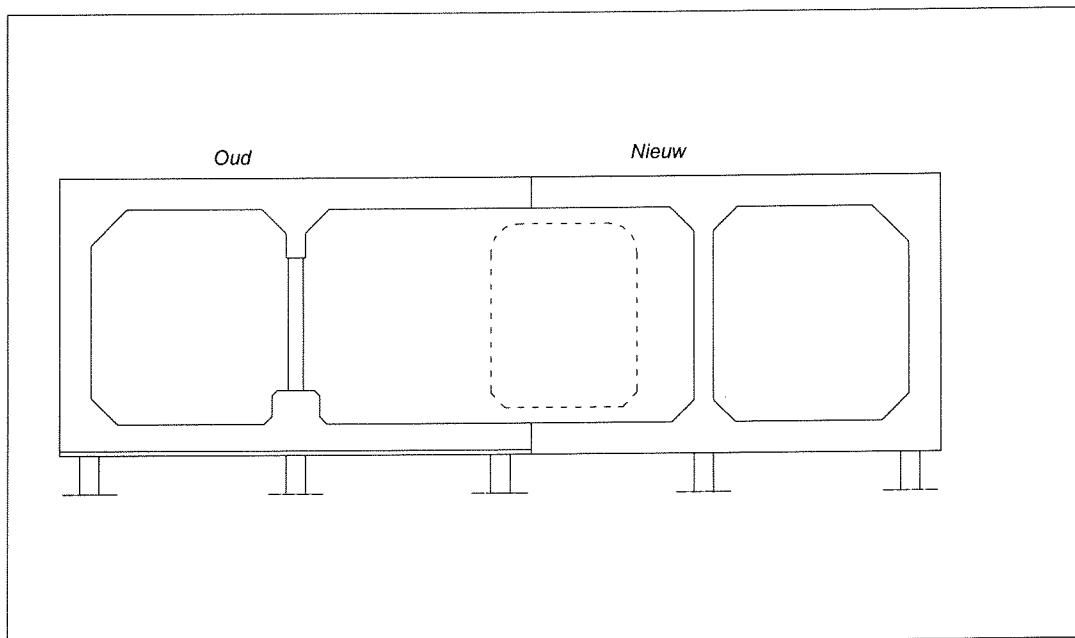
In de overige doorsneden is er iets minder bovenbelasting. De reductie in de belasting werkt heel gering door in krachtsverdeling. De krachten en momenten nemen maar met enkele kN respectievelijk kNm af.

14.5 Constructie van de tunnel in gebied 1

14.5.1 Functionele doorsnede

In dit gedeelte moet de zijwand worden weggebroken. Aangezien de kolommen kunnen blijven staan lijkt deze aansluiting veel op de eerder gemaakte verbidingsboog tussen de Noord-Zuidlijn en de Oost-Westlijn, hoewel de belastingssituatie wel iets anders is. De verbidingsboog is beschreven in hoofdstuk 11.

In dit gedeelte loopt de tunnel van drie tunnelbuizen naar vier tunnelbuizen en moet er functioneel zo uitzien:



Figuur 40 Functionele tunneldoorsnede in gebied 1

14.5.2 Belastingen

In het programma STAAD is de functionele doorsnede ingevoerd in de nieuwe situatie op een doorsnede aan het eind van gebied 1, waar de overspanning in het midden het grootst is. Zo wordt een indicatie gegeven van de krachten in de nieuwe situatie en kunnen enkele conclusies getrokken worden uit de verschillen met de situatie in de jaren zestig.

De onderkant van de tunnel ligt hier op 10 m - NAP. De onderkant van de parkeergarage ligt op 1,5 m - NAP. De vloer van de parkeergarage bestaat uit bakstenen. Uit de NEN-norm voor parkeergarages (2443) volgt dat de massa van een geparkeerde auto maximaal 2500 kg is. Aangezien er enkele meters grond zit tussen de parkeergarage en het dak van de tunnel kan dit als een gelijkmatig verdeelde belasting worden meegenomen op het dak van de tunnel. De puntlasten van de wielen zijn over een oppervlakte van 10 m² verdeeld zodat de verdeelde belasting neerkomt op 2,5 kN/m². Verder is er een toename van de belasting door de

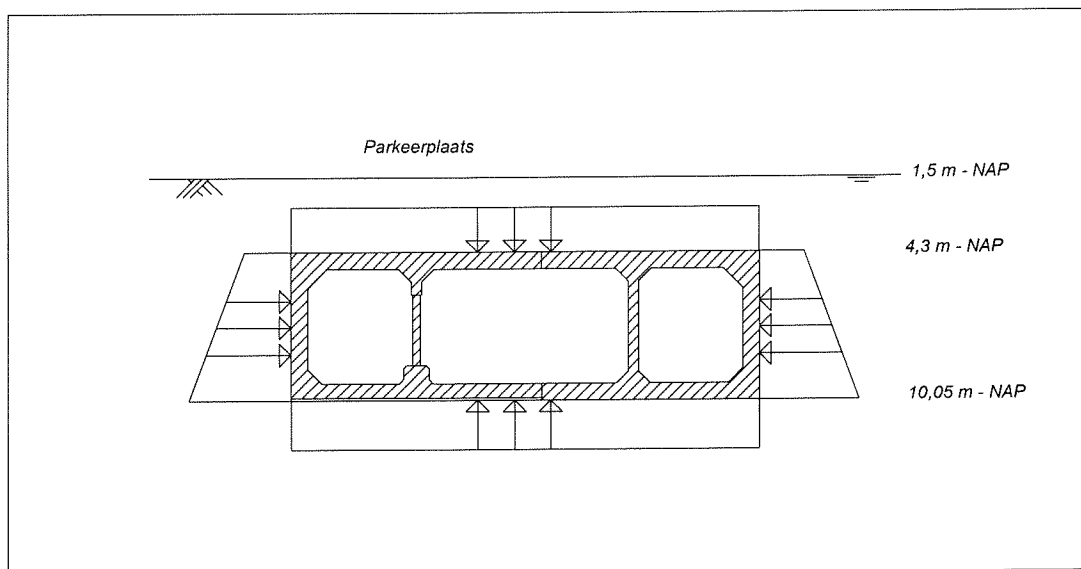
bakstenen vloer van de parkeergarage ongeveer $2,0 \text{ kN/m}^2$. De bovenbelasting is nu zo'n $4,5 \text{ kN/m}^2$.

De overige belastingen zijn identiek aan de belastingen zoals die beschreven zijn in de vorige paragraaf.

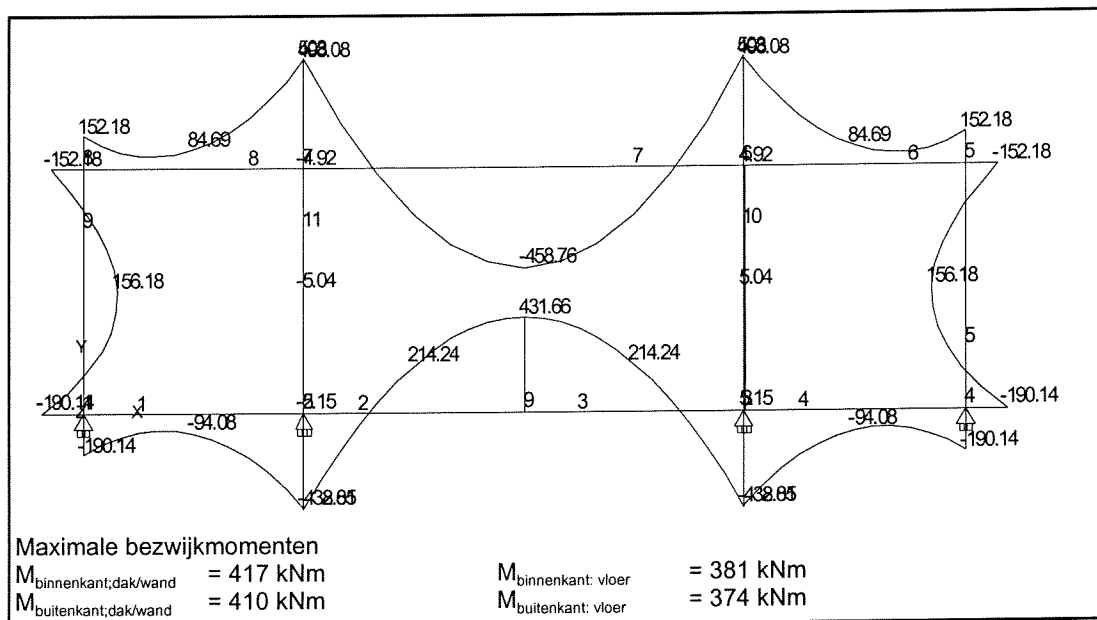
Hieronder zijn de krachten in de constructie berekend, weer voor twee situaties:

1. Uiterste grens toestand, met maximale grondwaterstand, zonder metrobelasting. Dit is maatgevend voor de momenten. De metrobelasting werkt daar ongunstig in mee en wordt daarom niet meegenomen.
De bovenbelasting bedraagt $72,4 \text{ kN/m}^2$. De horizontale belasting verloopt van $53,0 \text{ kN/m}^2$ naar $156,5 \text{ kN/m}^2$. De belasting aan onderkant bedraagt $102,6 \text{ kN/m}^2$. De kleefbelasting op de wand bedraagt $21,5 \text{ kN/m}^2$.
2. Uiterste grens toestand, met een minimale waterstand op 3 m - NAP, met metrobelasting. Dit is maatgevend voor de paalbelasting.
De bovenbelasting bedraagt $69,8 \text{ kN/m}^2$. De horizontale belasting verloopt van $42,7 \text{ kN/m}^2$ naar $146,2 \text{ kN/m}^2$. De kleefbelasting op de wand bedraagt $24,6 \text{ kN/m}^2$. De belasting aan onderkant werkt positief en bedraagt $63,5 \text{ kN/m}^2$.
3. Bruikbaarheid grens toestand, met een maximale grondwaterstand, zonder metrobelasting, zodat de maximale momenten optreden in de constructie. Deze situatie is maatgevend voor de scheurvorming.
De bovenbelasting bedraagt $60,5 \text{ kN/m}^2$. De horizontale belasting verloopt van $43,3 \text{ kN/m}^2$ naar $121,9 \text{ kN/m}^2$. De belasting aan onderkant bedraagt $85,5 \text{ kN/m}^2$. De kleefbelasting op de wand bedraagt $14,6 \text{ kN/m}^2$.

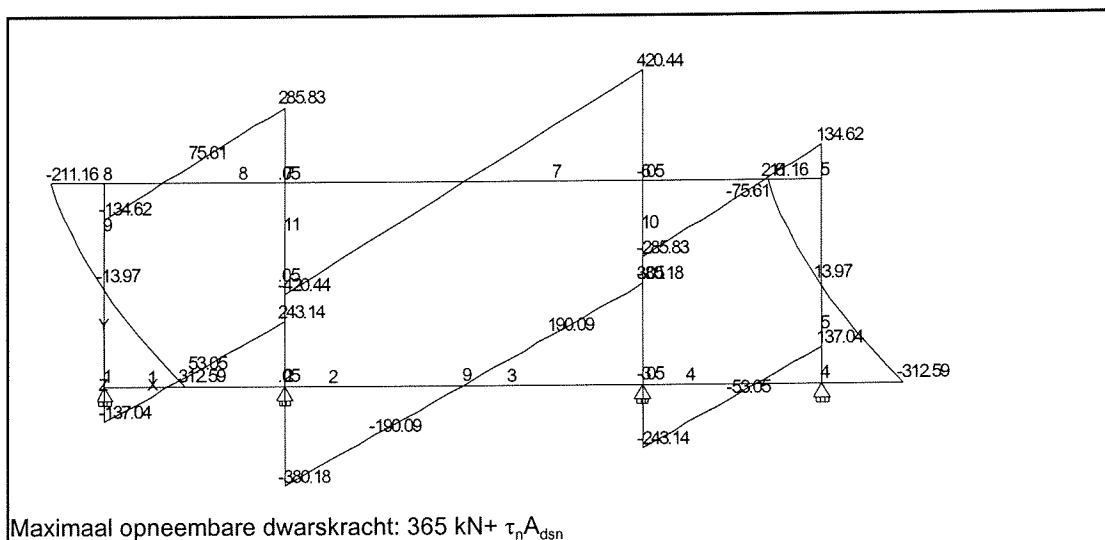
In de onderstaande figuur wordt de situatie weergegeven.



Figuur 41 Invoer STAAD nieuwe tunnel, gebied 1



Figuur 42 Momentenlijn eind gebied 1, uiterste grenstoestand, belastingsgeval 1



Figuur 43 Dwarskrachtenlijn eind gebied 1, uiterste grens toestand, belastingsgeval 1

De kracht op de middenkolom bedraagt 705 kN/m¹

De oplegcracties van de bestaande tunnel zijn (h.o.h. 3,2 m):

linkerfundering: 605 kN

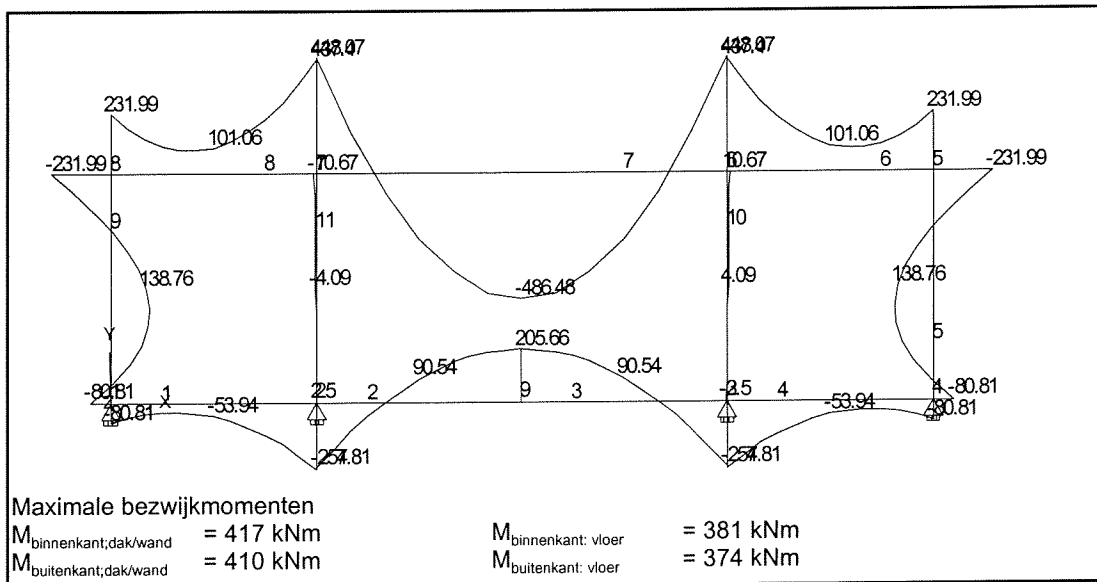
middenfundering: 295 kN

rechterfundering: 0 kN

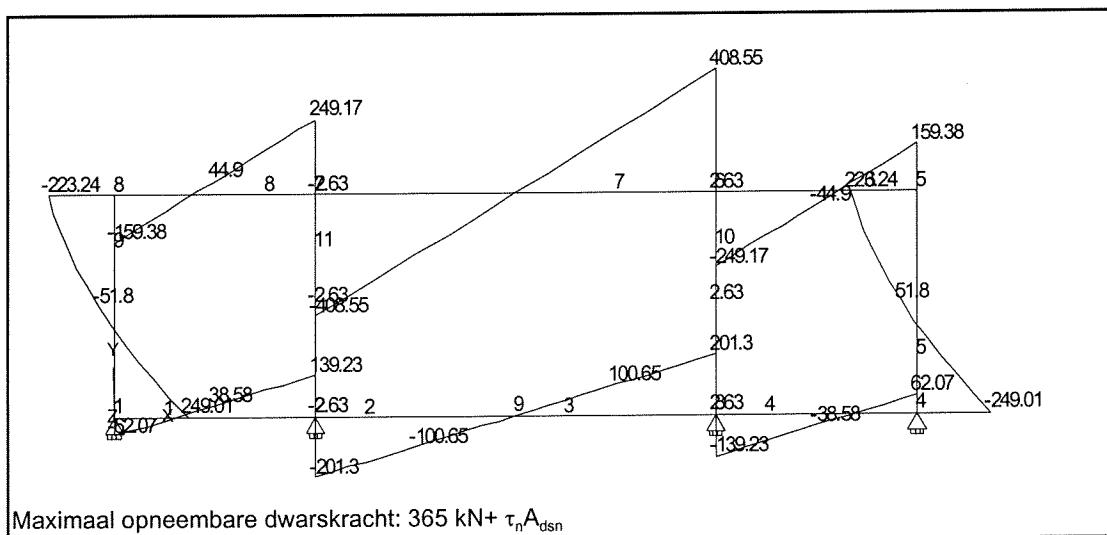
En van de nieuwe fundering:

middenfundering: 295 kN

rechter fundering: 605 kN



Figuur 44 Momentenlijn eind gebied 1, uiterste grens toestand, belastingsgeval 2



Figuur 45 Dwarskrachtenlijn eind gebied 1, uiterste grens toestand, belastingsgeval 2

De oplegreacties van de bestaande fundering zijn (h.o.h. 3,2 m):

linkerfundering: 965 kN

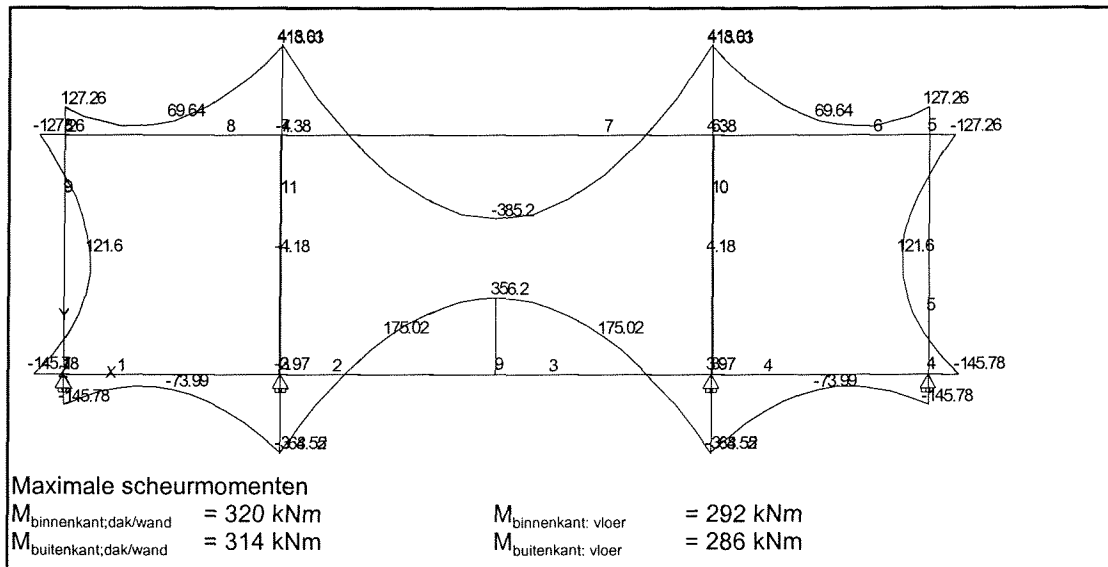
middenfundering: 1045 kN

rechterfundering: 0 kN

En van de nieuwe fundering:

middenfundering: 1045 kN

rechterfundering: 965 kN



Figuur 46 Momentenlijn eind gebied 1, bruikbaarheid grens toestand, belastingsgeval 3

Het blijkt dat de momentenlijn in de linkerbuis in de nieuwe situatie verandert in vergelijking met de situatie van de linkerbuis in de oude situatie. Het steunpuntsmoment in de linker bovenhoek is in beide belastingsgevalen kleiner. In de linker onderhoek is deze een stuk kleiner. Het veldmoment in de linkerwand is ook een stuk groter, maar nog wel minder dan het bezwijkmoment.

De steunpuntsmomenten in het midden worden een stuk groter en zijn groter dan het bezwijkmoment. De kracht op de middenkolom neemt met een factor 1,25 in de uiterste grenstoestand toe.

Het maximale veldmoment in het midden van het dak overschrijdt het bezwijkmoment. Ook is de dwarskracht van het dak ter plaatse van de middenkolom groter dan toegestaan is door het criterium afschuiven. (De extra reserve door de normaalkracht bedraagt hier 30 kN.)

De vloer in de rechter tunnelbuis voldoet ook niet op het criterium afschuiven en scheurvorming. Ook is het steunpuntsmoment onder de middenkolom te groot.

Hieruit kunnen een aantal conclusies worden getrokken:

- Het rechter gedeelte van het oude dak zal niet voldoen en moet vervangen worden door een nieuw dak.
- De linkertunnelbuis kan in principe opgenomen worden in de constructie.
- De kracht op de middenkolom wordt ongeveer 1,25 keer zo groot.
- De rechter vloer voldoet niet in belastingsgeval 1 en 3.

14.5.3 Ontwerp

14.5.3.1 Dak

Er is een nieuw dak nodig om een vloer voor de parkeergarage te kunnen maken. De aansluiting in dit gedeelte kan grotendeels gebouwd worden zonder de bestaande tunnel te beïnvloeden. Het is mogelijk om de wand pas weg te breken als het nieuwe

dak is gemaakt. Dit biedt voordelen voor de exploitatie van de metro tijdens de bouwfase. Het nieuwe dak moet dan wel gedeeltelijk over het oude dak gestort worden. Het oude dak vormt dan meteen de ondersteuning voor de bekisting. Dit is ook toegepast bij de uitvoering van de verbindingsboog, welke beschreven is in hoofdstuk 11. Het rechter gedeelte van het oude dak kan een uitkragende ligger vormen in de nieuwe constructie.

Wanneer het dak tot aan het linker uiteinde doorgebouwd wordt neemt de bovenbelasting wel toe op de linker tunnelbuis, maar dit is nog veel minder dan de reductie die is opgetreden door de komst van de parkeergarage. Door de komst van de parkeergarage is de grondbelasting met 1,1 meter gereduceerd.

Conclusie: Er is een nieuw dak nodig voor het middengedeelte. Dit dak kan over het oude dak gestort worden. Het rechter gedeelte van het oude dak kan als een uitkragende ligger in de constructie worden opgenomen.

14.5.3.2 Middenkolom

Het blijkt uit de berekeningen van STAAD dat de belasting in de linker middenkolom groter is dan in de oude situatie.

Het blijkt uit de literatuur²⁰ dat de middenkolom in de tunnelementen ontworpen is op een belasting van 150 ton. Dat komt overeen met 1500 kN. De middenkolom zal dus voldoen.

Conclusie: De middenkolom voldoet.

14.5.3.3 Vloer

Om het moment en de dwarskracht in de vloer ter plaatse van de middenkolom te verkleinen is het mogelijk om de nieuwe vloer te verzwaren. Het blijkt dat bij een dikte van 1 meter het moment en de dwarskracht acceptabele waarden aannemen. Een grotere dikte van de vloer heeft meer voordelen. Een grotere dikte maakt het de koppeling tussen de oude en nieuwe vloer ook beter uitvoerbaar.

In de berekeningen is de bestaande vloer momentvast gekoppeld aan de nieuwe vloer. Wanneer het rechter gedeelte meer zakt dan het linkergedeelte zullen er spanningen in de constructie optreden. Wanneer de vloer als een scharnier verbonden wordt is de invloed een stuk kleiner. Wanneer een scharnierende verbinding toegepast wordt is het niet nodig om een dikkere zwaardere vloer toe te passen. De scharnierende verbinding kan gemaakt worden door middel van deuvels.

Het is logisch om een nieuwe fundering aan te leggen onder de rechter wand en rechter middenkolom. Een bijzondere situatie treedt dan op vlak nadat de doorsnede bestaat uit drie buizen. De nieuwe fundering komt dan dicht tegen de bestaande fundering aan te liggen. Dit kan opgelost worden door de nieuwe palen niet in dezelfde hartlijn van de oude palen te maken, maar halverwege tussen de oude palen. De afstand bedraagt dan minimaal ongeveer 1,6 meter h.o.h. Zolang de nieuwe palen maar grondverdringend zijn kunnen de palen goed op een dergelijke afstand van elkaar geheid worden.

De rechterfundering wordt echter op trek belast in de nieuwe situatie. Daar is deze niet op gedimensioneerd. Er zijn nu twee mogelijkheden: de nieuwe vloer zodanig te verzwaren of trekpalen toepassen. De nieuwe vloer moet in de maximale doorsnede minimaal 2 meter dik zijn wil de fundering ook in belastingsgeval 1 op druk belast worden. In bijlage XIII waar de berekeningen van de uiteindelijke constructie

weergegeven zijn is de situatie doorgerekend waarin zowel trekpalen als een dikkere vloer wordt toegepast.

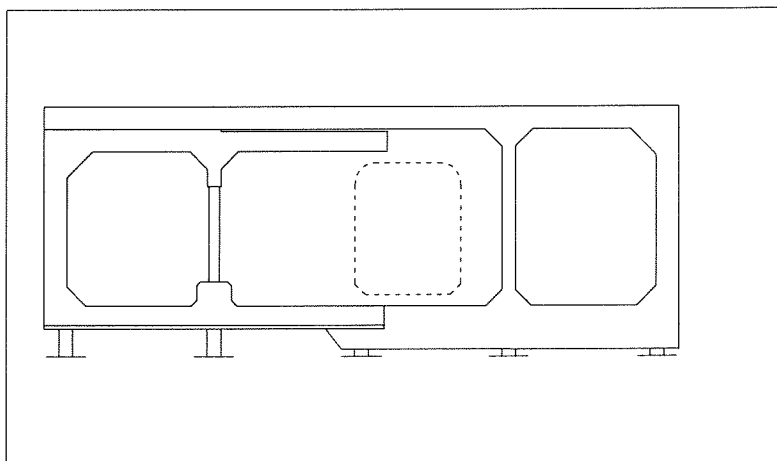
Conclusie: De nieuwe vloer moet scharnierend worden verbonden aan de oude vloer. Tevens zal ter plaatse van de rechter bestaande funderingspaal een trekpaal nodig zijn, wanneer in de maximale doorsnede de vloer niet verdikt wordt tot 2 meter.

14.5.3.4 Controle van opdrijven van de tunnel

Tenslotte moet de constructie nog worden gecontroleerd tegen opdrijven. De maximale oprijfkracht treedt op in de situatie met water langs de gehele tunnel wand. Het nieuwe dak ligt in het ontwerp bovenop de tunnel. Wanneer geschat wordt dat het nieuwe dak 0,8 meter hoger ligt dan het bestaande dak ligt de bovenkant op ongeveer 3,5 m - NAP. Wanneer de nieuwe vloer 1 meter dik is komt de onderkant van de vloer op 10,4 m - NAP. De maximale opwaartse kracht is dan 6,9 meter waterdruk. De gezamenlijke dikte van de vloer en het dak is minimaal 2 meter. De kracht uit het eigen gewicht van het dak en de vloer komt dan al aardig in de buurt van de opwaartse kracht per strekkende meter. Wanneer kleef in rekening wordt gebracht en het gewicht van de zijwanden neemt de neerwaartse belasting nog meer toe. Zeker met bovenbelasting zal de tunnel niet opdrijven in de uiteindelijke situatie. In de bouwfase moet wel rekening gehouden worden met het gevaar voor opdrijven. In het hoofdstuk uitvoering wordt hierop teruggekomen.

14.5.4 Uiteindelijk constructie

De uiteindelijke constructie ziet er dan zo uit:



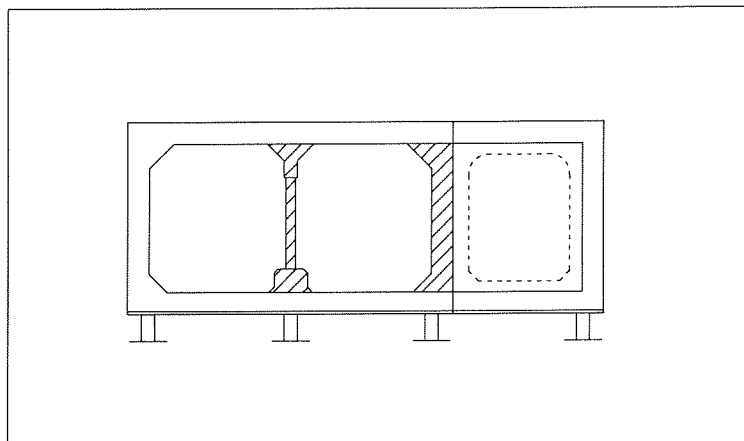
Figuur 47 Doorsnede van de tunnel in gebied 1

In bijlage XIII worden de uitkomsten van de berekening in het programma STAAD van de uiteindelijke constructie weergegeven in de drie belastingsituaties.

14.6 Constructie van de tunnel in gebied 5

14.6.1 Functionele doorsnede

In dit gedeelte moet de rechter zijwand en de middenkolom van de oude tunnel worden weggebroken. Dit geldt ook voor de doorsneden 2, 3 en 4. In de onderstaande figuur wordt een functionele doorsnede gegeven:



Figuur 48 Functionele tunneldoorsnede in gebied 2 - 5

14.6.2 Belastingen

In het programma STAAD is de functionele doorsnede ingevoerd in de nieuwe situatie op een doorsnede aan het einde van gebied 5, waar de overspanning het grootst is.

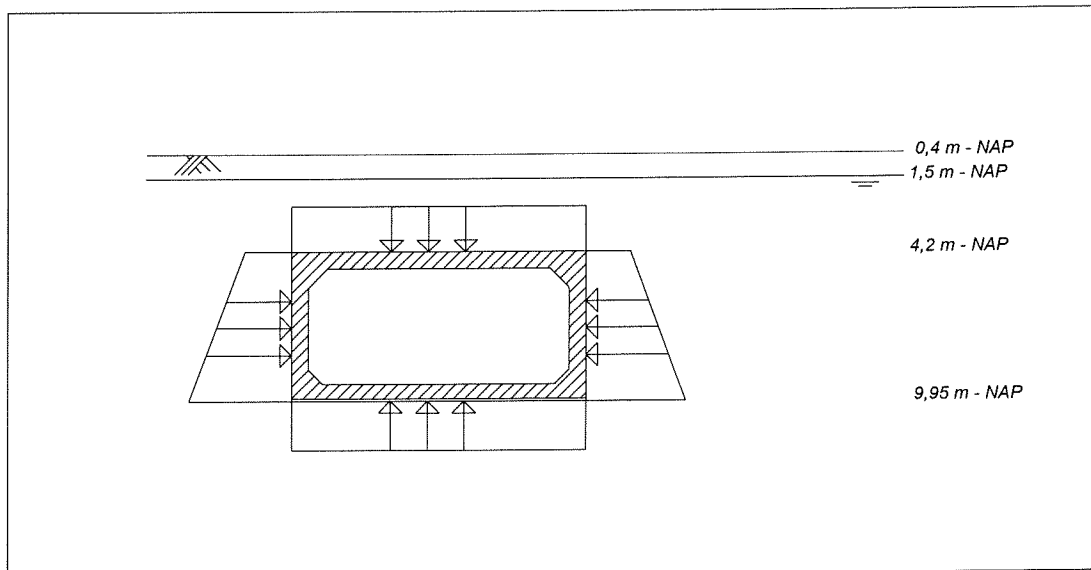
De onderkant van de tunnel ligt hier tussen de 9,9 en 9,95 m - NAP. Het maaiveld bevindt zich op 0,4 m - NAP. De belastingssituatie op de tunnel is identiek aan die van de bestaande tunnel in de jaren zestig. In de onderstaande figuur wordt de situatie weergegeven zoals die is ingevoerd in STAAD.

Hieronder zijn de krachten in de constructie berekend, weer voor drie situaties:

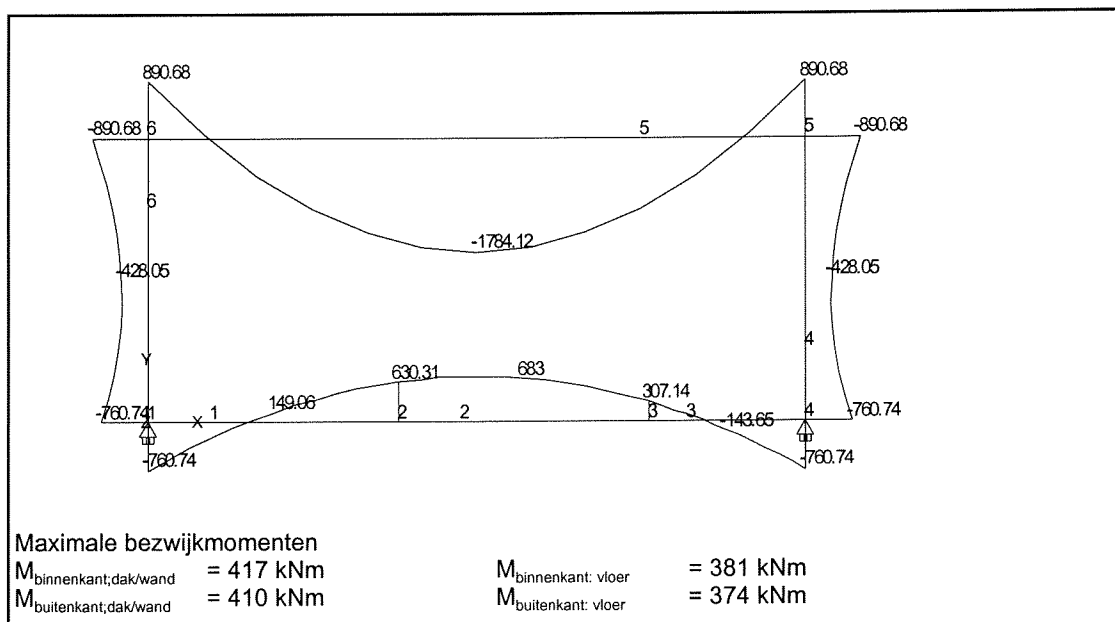
1. Uiterste grens toestand, met maximale grondwaterstand, zonder metrobelasting. Dit is maatgevend voor de momenten. De metrobelasting werkt daar ongunstig in mee en wordt daarom niet meegenomen.
De bovenbelasting bedraagt $118,6 \text{ kN/m}^2$. De horizontale belasting verloopt van $75,5 \text{ kN/m}^2$ naar $179,0 \text{ kN/m}^2$. De belasting aan onderkant bedraagt $101,4 \text{ kN/m}^2$. De kleefbelasting op de wand bedraagt $30,7 \text{ kN/m}^2$.
2. Uiterste grens toestand, met een minimale grondwaterstand op 3 m - NAP, met metrobelasting. Dit is maatgevend voor de paalbelasting.
De bovenbelasting bedraagt $115,0 \text{ kN/m}^2$. De horizontale belasting verloopt van $64,7 \text{ kN/m}^2$ naar $168,2 \text{ kN/m}^2$. De kleefbelasting op de wand bedraagt $33,6 \text{ kN/m}^2$. De belasting aan onderkant werkt positief en bedraagt $62,6 \text{ kN/m}^2$.
3. Bruikbaarheid grens toestand, met een maximale grondwaterstand, zonder metrobelasting zodat de maximale momenten optreden in de constructie. Deze situatie is maatgevend voor de scheurvorming.

De bovenbelasting bedraagt $93,8 \text{ kN/m}^2$. De horizontale belasting verloopt van $60,4 \text{ kN/m}^2$ naar $146,7 \text{ kN/m}^2$. De belasting aan onderkant bedraagt $84,5 \text{ kN/m}^2$. De kleefbelasting op de wand bedraagt $24,8 \text{ kN/m}^2$.

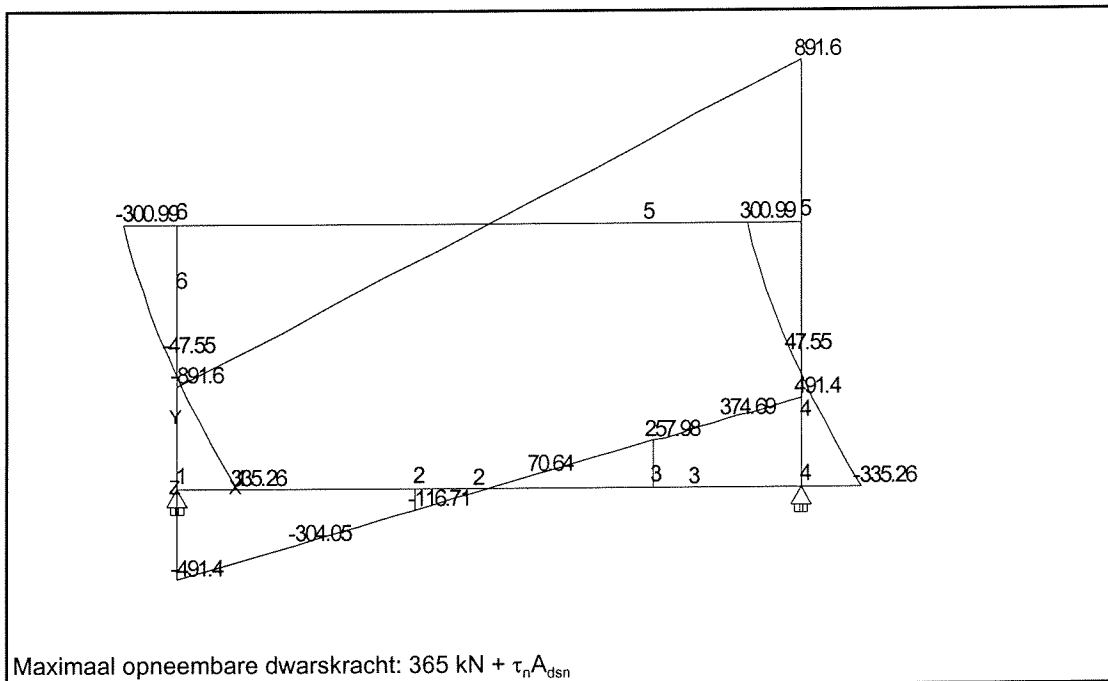
In de onderstaande figuur wordt de situatie weergegeven.



Figuur 49 Invoer STAAD nieuwe tunnel, gebied 5

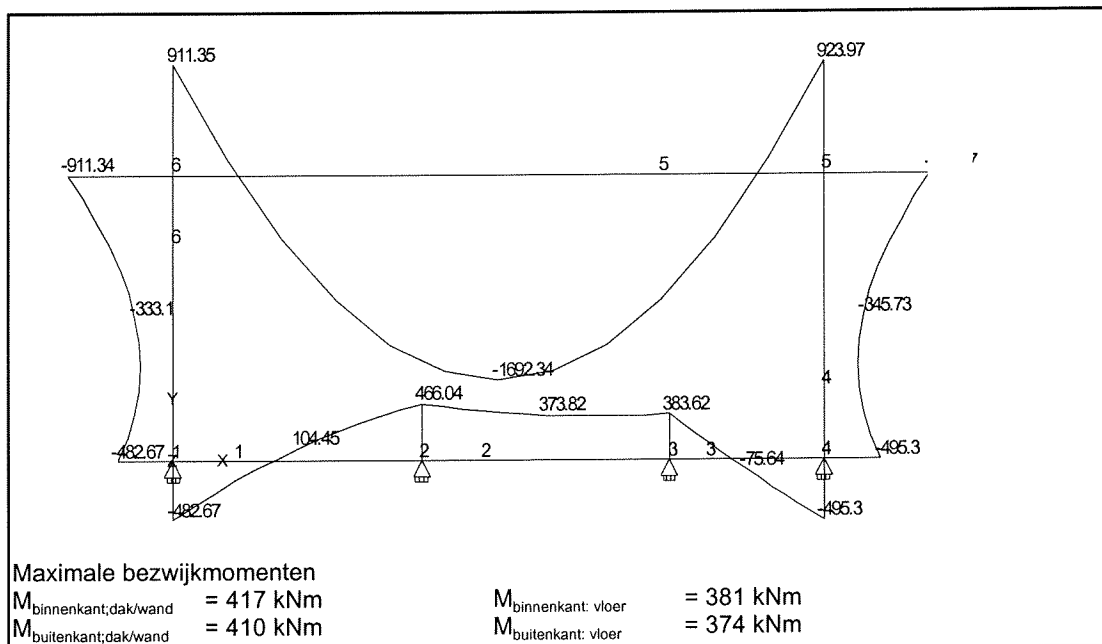


Figuur 50 Momentenlijn eind gebied 5, uiterste grens toestand, belastingsgeval 1

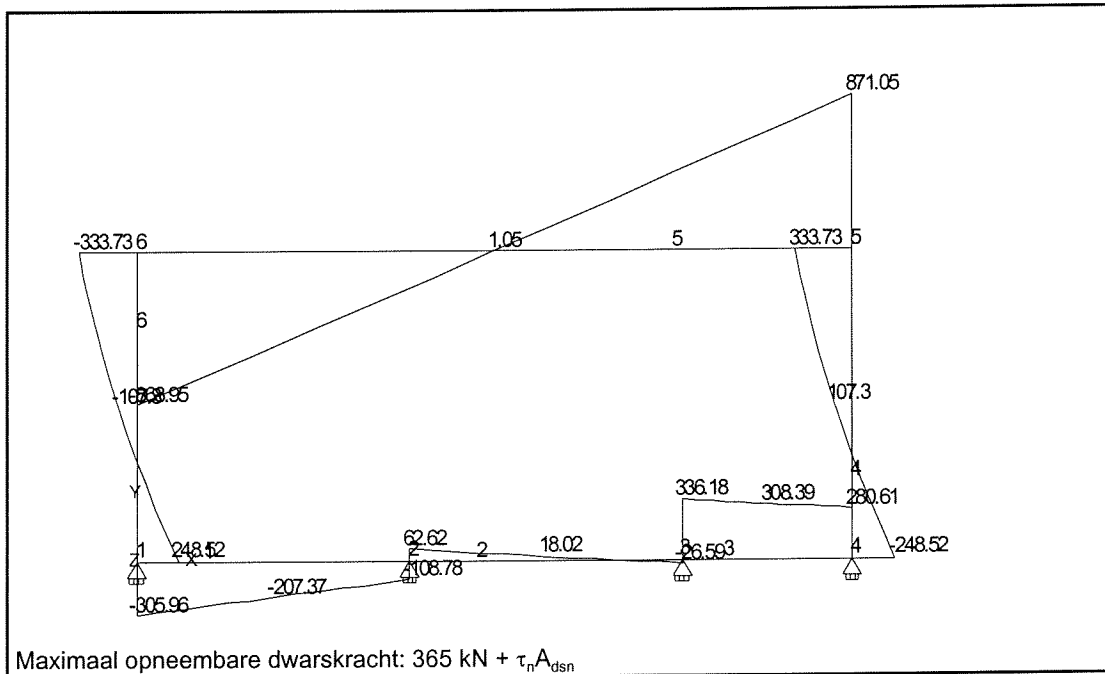


Figuur 51 Dwarskrachtenlijn eind gebied 5, uiterste grens toestand, belastingsgeval 1

De oplegreacties in de fundering aan de beide uiteinden bedragen 2000 kN. De overige zijn nul.



Figuur 52 Momentenlijn eind gebied 5, uiterste grens toestand, belastingsgeval 2



Figuur 53 Dwarskrachtenlijn eind gebied 5, uiterste grens toestand, belastingsgeval 2

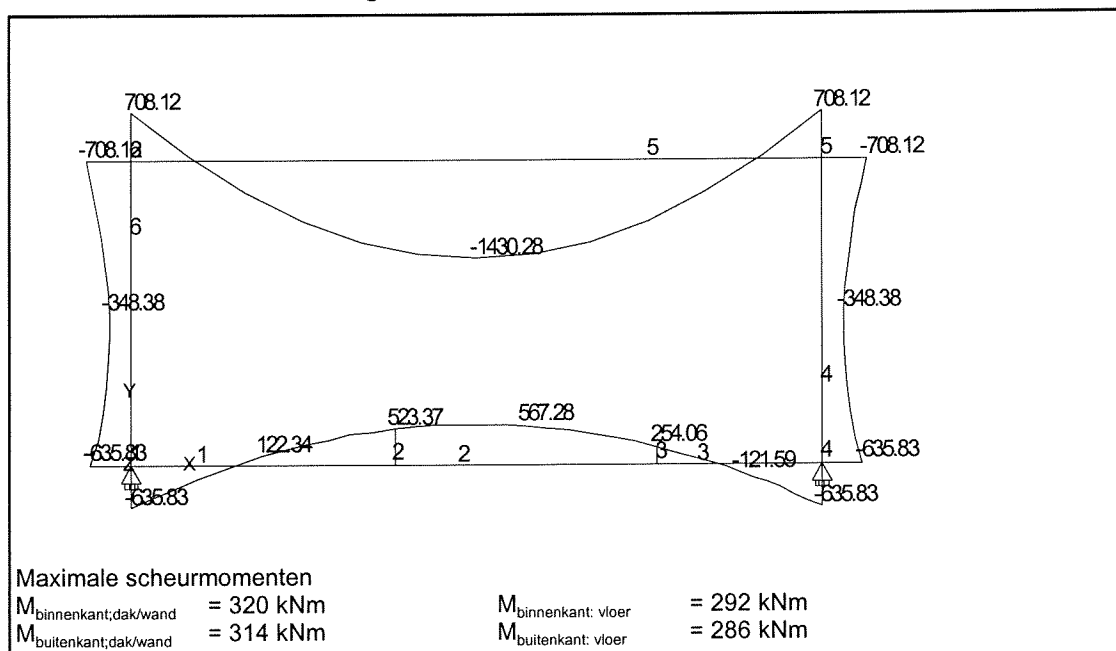
De oplegreacties van de bestaande funderingen zijn:

linkerfundering: 2750 kN

middenfundering: 715 kN

rechterfundering: 1330 kN

En van de nieuwe fundering onder de rechterwand: 2840 kN



Figuur 54 Momentenlijn eind gebied 5, bruikbaarheid grens toestand, belastingsgeval 3

Het bestaande dak van de metrotunnel ter plaatse van de aansluiting verliest een groot deel van haar ondersteuningsconstructie. Hierdoor zal het dak niet voldoen in een nieuwe situatie. De veldmomenten in het dak worden aanzienlijk groter waar het bestaande dak niet op berekend is. Het dak voldoet niet aan de scheurvormingseisen en aan de sterkte eisen. Het nieuwe dak van de aansluiting kan dus niet simpelweg gekoppeld worden aan het oude dak.

De steunpuntsmomenten in de linkerwand zijn ook groter dan toelaatbaar. De momenten en de dwarskrachten in de vloer zijn eveneens groter dan de gestelde grenzen.

Verder is ook de belasting op de linker funderingspaal groter dan waar die op berekend is.

14.6.3 Ontwerp

14.6.3.1 Het dak

Uit bovenstaande berekeningen blijkt wel dat het huidige dak niet geschikt is om op te nemen in de nieuwe constructie. Er zijn nu voor het dak een drietal oplossingen denkbaar:

- Er wordt geen dak toegepast.
- Het nieuwe dak is een uitkragende ligger over het bestaande dak.
- Het nieuwe dak is een overspanning op twee steunpunten.

Men zou kunnen overwegen om geen dak toe te passen. De wanden moeten dan wel doorgezet worden tot aan het maaiveld vanuit veiligheidsoogpunt. Ook zal een stempeling nodig zijn om de horizontale druk op de wanden op te vangen. Wanneer geen dak wordt toegepast vormt deze open bak wel een belemmering voor voetgangers in dit gebied. Verder zal er wel een licht dak gemaakt moeten worden ter hoogte van het maaiveld om de voetgangers op het maaiveld niet te hinderen. Ook zal het geluid van de metro hinder geven in de omgeving. Bovendien vormt de open bak een belemmering voor de kabels en leidingen in de omgeving. Het is dus wenselijk om de bak wel af te sluiten. Hierdoor vervalt deze oplossing in de laatst genoemde oplossing.

Een oplossing is om van het dak van de aansluiting een uitkragende ligger te maken waaraan het bestaande dak opgehangen kan worden. Deze uitkraging moet dan minimaal overhangen tot het midden van de linker rijbaan. Anders neemt de belasting op de linker zijwand en de linker fundering toe. Om dergelijke uitkraging te bouwen is een zware constructie nodig door het grote moment wat optreedt in het hoekpunt tussen de wand en het dak. Hiervoor is een heel stijf hoekpunt nodig. Om het moment te reduceren kan aan de zijkant een gewichtsconstructie gebouwd worden. Hier is nauwelijks ruimte voor. Deze oplossing is dan ook niet reëel.

Bij de constructie van een compleet nieuw dak op twee steunpunten is het belangrijk hoe de steunpunten gemaakt worden. Daarbij is de vraag wat van de bestaande tunnel kan blijven staan. Wanneer het mogelijk blijkt om de linker zijwand te laten staan scheelt dit in de hoeveelheid beton dat gesloopt en opnieuw gebouwd moet worden. Dit reduceert de bouwtijd en de bouwkosten.

Conclusie: Er moet een nieuw dak gemaakt worden. Een dak op twee steunpunten is daarbij de meest reële oplossing. Hoe de steunpunten er uit moeten zien wordt hieronder besproken.

14.6.3.2 Zijwand laten staan

Om de zijwand te kunnen laten staan moet de bovenzijde van de wand momentvrij zijn van het dak. Zo wordt het steunpuntsmoment aan de bovenzijde gereduceerd, theoretisch tot een waarde nul. Een gevolg is dat het veldmoment in het dak groter wordt, zodat het nieuwe dak stijver uitgevoerd moet worden. Het steunpuntsmoment in de linker onderhoek wordt kleiner maar blijft groter dan het bezwijkmoment. Ook de vloer heeft te grote buigende momenten.

Om dit op te lossen blijkt de optimale oplossing te liggen in het maken van een aantal aanpassingen:

- Een scharnierende verbinding tussen de oude en de nieuwe vloer.
- Het verwijderen van de bestaande middenfundering.
- Het toepassen van een trekanker ter plaatse het oude middensteunpunt.

Een moeilijkheid bij deze oplossing is het maken van de scharnieren. Voor de scharnierende verbinding tussen de wand zijn twee overwegingen:

- Het oude dak in zijn geheel slopen;
- Het nieuwe dak over het oude heen storten

Wanneer het oude dak helemaal gesloopt wordt is het relatief makkelijk om een scharnierende verbinding te maken. De bovenkant van de wand komt dan vrij zodat er veel werkruimte is. Het metroverkeer zal dan hinder ondervinden van de sloopwerkzaamheden en ook wordt de bovenleiding dan gesloopt. Het metroverkeer moet zo minimaal mogelijk gestoord worden. Daarom kan beter het dak over het bestaande dak gestort worden. Er is dan ook voldoende ruimte om een scharnier te maken. Een nieuw dak over het oude dak storten heeft tevens het voordeel dat het bestaande dak dan een ondersteuningsconstructie vormt voor de bekisting van het nieuwe dak. Het metroverkeer wordt dan niet gestoord.

Wanneer in het programma STAAD de constructie gedimensioneerd wordt met de bovengenoemde aanpassingen blijken uit de verschillende belastinggevallen verschillende eisen te komen. In belastingsgeval 1 is een trekkracht voor het anker benodigd van ongeveer 400 kN en in belastingsgeval 2 één van 100 kN. Wanneer in belastingsgeval 2 de trekkracht van belastingsgeval 1 wordt toegepast blijkt de constructie te bezwijken ter plaatse van het anker. Wanneer de trekkracht van belastingsgeval 2 bij belastingsgeval 1 wordt toegepast bezwijkt de constructie bij het linker steunpunt. Na diverse iteraties in het programma STAAD blijkt een compromis niet mogelijk. De enige mogelijkheid om dit te verhelpen is het maken van een scharnier ter plaatse van het linker steunpunt onderaan of in het midden van de constructie. Het metroverkeer wordt dan behoorlijk gehinderd, zodat deze oplossing niet nader onderzocht wordt.

Een andere mogelijkheid om het linker steunpunt te reduceren is het gewicht van de vloer te vergroten. Dit blijkt er echter niet afdoende te zijn. Bovendien is dit moeilijk te realiseren door de nauwe werkruimte onder de tunnel.

Conclusie: Het is mogelijk om de zijwand te laten staan wanneer zowel onder als boven in de linkerzijwand een scharnier wordt aangebracht. Het metroverkeer wordt aanzienlijk gehinderd bij het maken van de scharnierende verbindingen in de

bestaande linkerzijwand. Het metroverkeer moet zo min mogelijk gehinderd worden zodat deze oplossing niet verder uitgewerkt wordt.

14.6.3.3 Zijwand vervangen

Een andere mogelijkheid is het slopen van de wand. Het metroverkeer zal hinder ondervinden van de sloopwerkzaamheden en de bouw van de nieuwe wand. Ook zal een gedeelte van het dak gesloopt moeten worden om de wand vrij te maken. Daardoor is deze oplossing niet aantrekkelijk. Het metroverkeer moet dan tijdens de sloop en de bouw van de wand gebruik maken van één tunnelbuis. Dit geeft ook een hoop overlast voor reizigers, wat tot een minimum beperkt moet worden.

Het linker steunpuntsmoment in de vloer, wat een belangrijk knelpunt was bij de bovenstaande oplossing, kan nu een stuk steviger gemaakt worden, aangezien het metroverkeer niet door de linkerbuis kan rijden. Zo kan een voldoende sterke verbinding tussen de wand en de vloer gemaakt worden.

Een volgend probleem is dat de kracht op de linker fundering veel groter is dan toelaatbaar in belastingsgeval 2 in de uiterste grens toestand. Bij de oplossingen waar de zijwand op de huidige plaats blijft staan kan moeilijk een extra fundering aangelegd worden centraal onder de wand. De belangrijkste aanpassing die gedaan kan worden om de huidige fundering te handhaven, is door de bovenbelasting te reduceren. De belasting kan op twee manieren gereduceerd worden:

- Door lichter opvulmateriaal te gebruiken;
- Door het dak van de tunnel op een hoger niveau te leggen.

Bij deze oplossing kan het rechter gedeelte van het dak blijven liggen, zodat het nieuwe dak al een stuk hoger komt te liggen. Maatgevend voor de belasting op de palen is belastingsgeval 2 met een minimale grondwaterstand. Het blijkt na een aantal iteratieve berekeningen met het programma STAAD dat wanneer de bovenkant van het dak twee meter hoger ligt als nu het geval is de paalbelasting (inclusief de metrobelasting) nagenoeg gelijk is aan het grensdragvermogen van de paal. Dit is echter het geval bij een middenfundering. Bij het verwijderen van de middenfundering wordt de belasting op de linkerpaal weer groter. Uit het programma van eisen volgt een minimale gronddekking van 1,75 meter op het dak van de tunnel. In het programma STAAD is vervolgens deze situatie doorgerekend met het maximale niveau van het tunnel dak. Het blijkt dat de belasting op de palen dan nog te groot is. De oplossing moet dus gezocht worden in de combinatie van een hoger dak en een lichtere bovenbelasting, zodat voldoende veiligheid verkregen is tegen het bezwijken van de fundering.

De belasting op de zijwand neemt wel toe door het verhogen van het dak maar is bij een verhoging van twee meter nog acceptabel.

Uit een volgende STAAD-berekening volgt dat de constructie voldoet in de uiterste grens toestand bij een verhoging van het dak met twee meter en een bovenbelasting van 50 kN/m^3 in de uiterste grens toestand. De grond opvulling van 1,8 meter is in het maatgevende belastingsgeval droog. Ook staat er een bovenbelasting op van 20 kN/m^2 . Hieruit volgt dat het soortelijk gewicht van het opvul materiaal $9,3 \text{ kN/m}^3$ mag bedragen.

Om het veldmoment in de vloer te reduceren is een trekanker nodig. Dit kan gemaakt worden door een GEWI-anker door de vloer heen te boren. Ook is een scharnierende verbinding nodig tussen de oude en de nieuwe vloer. Het dikker maken van de nieuwe vloer maakt dat de rechterfundering van de bestaande constructie op druk

belast kan worden, aangezien deze paal niet op trek berekend is. Ook is het scharnier dan makkelijker te maken.

Daarbij moet nog opgemerkt worden dat deze doorsnede de maximale doorsnede is in gebied 5 zodat verlopend naar het begin bij éénzelfde constructie de veiligheid toeneemt.

Conclusie: Het vervangen van de zijwand is mogelijk. Het metroverkeer zal gedurende de sloop en de bouw van de linker wand en dak in de linker buis wel gestremd zijn. De bestaande fundering zal voldoen wanneer de bovenbelasting gereduceerd wordt door het dak 2,0 meter te verhogen en een licht materiaal te gebruiken voor de grondopvulling. Verder moeten de middenkolommen vervangen worden door GEWI-ankers en is een scharnierende verbinding vereist tussen de oude en de nieuwe vloer. Deze langdurige stremming is echter ongewenst voor de exploitatie van de metro. Daarom wordt ook deze optie niet verder uitgewerkt.

14.6.3.4 Nieuwe wand naast de oude wand

Een derde mogelijkheid waarbij het mogelijk is om het metroverkeer minimaal te storen is door een nieuwe wand en een nieuw dak aan te brengen om de oude tunnel. Er moet weinig gesloopt worden van de bestaande tunnel, enkel de middenkolommen en de rechterzijwand. Het oude dak kan dan opgehangen worden aan het nieuwe dak en draagt niet bij aan de sterkte van de tunnel. De voordelen van deze methode is dat de bestaande wand en het dak hoeft niet gesloopt te worden. Ook kan het metroverkeer tijdens de bouw van de wand en het dak ongehinderd doorgang vinden. Ook een voordeel is dat de bovenleiding gewoon kan blijven hangen.

Nadelig is dat er relatief het meeste constructiemateriaal nodig is in vergelijking met de andere oplossingen.

Ook hier is de kracht op de fundering te groot. Het blijkt uit een aantal berekeningen met STAAD dat de belasting op de linkerfundering veel te hoog is. Het blijkt niet mogelijk te zijn om de belasting te reduceren door het dak te verhogen en een lichter materiaal toe te passen boven de tunnel. Dit komt met name door de toename van de belasting door het eigen gewicht van het beton. De bestaande wand en het dak worden niet gesloopt en maken onderdelen uit van de constructie.

Er zal dus nieuwe fundering nodig zijn naast de tunnel. Uit belastingsgeval 2 volgt dat de belasting op de nieuwe fundering onder de nieuwe wand maximaal ongeveer 1600 kN is, wanneer de palen om de 3,2 meter geheid worden. Om de maximale afstand met de bestaande palen te krijgen moeten de nieuwe palen in de lijn geheid worden die loopt door het midden van de twee palen van de bestaande fundering. Ook hier neemt de kracht op de fundering af in gebied 5 door het kleiner worden van de overspanning.

Om het veldmoment in de vloer te reduceren is het toepassen van een trekanker noodzakelijk in het midden van de bestaande vloer.

Er zijn diverse GEWI-ankers op de markt die een kracht tot ongeveer 1500 kN kunnen opnemen in de uiterste grens toestand. Belangrijk voor de vloer is dat de kracht plaatselijk niet te hoog mag worden om het bezwijken van de constructie ter plaatse van de verankering te voorkomen. Belastingsgeval 1 bepaalt het minimum van de trekkracht: 200 kN en belastingsgeval 2 het maximum: 400 kN.

Deze kracht blijft wel gelijk in gebied 5 aangezien de lengte van de bestaande vloer niet afneemt.

Het veldmoment wordt verder gereduceerd door het maken van een scharnierende verbinding tussen de oude en de nieuwe vloer. In bijlage XIII, waar de berekeningen van de uiteindelijke constructie zijn opgenomen, is de nieuwe vloer twee maal zo dik dan de oude vloer. Er zijn dan ter plaatse van de rechter bestaande fundering geen trekpalen nodig. Ook is het dan makkelijker om de scharnierende verbinding te maken.

Uit de berekeningen met STAAD volgt tevens dat het niet nodig is om een scharnierende verbinding te maken tussen de nieuwe wand en de oude wand. Wanneer er echter gevaar bestaat dat de nieuwe constructie meer gaat zakken, is het raadzamer om een scharnierende verbinding te maken met deuvels en waterafsluitende rubberprofielen.

Conclusie: Het maken van een nieuwe wand naast de oude wand heeft als voordeel dat het metroverkeer minimaal gestoord wordt en geen scharnierende verbinding in het dak gemaakt hoeft te worden. Hierdoor is de kans op lekkage minder. Er is wel een nieuwe fundering nodig onder de nieuwe wand. Deze mogelijkheid blijkt voor gebied 5 de beste oplossing te zijn, aangezien het metroverkeer nauwelijks gestoord hoeft te worden.

In het midden van de vloer zal net als de hierboven beschreven opties een trekanker nodig zijn. De verbinding tussen de twee wanden aan de linkerkant mag een moment vaste verbinding zijn. Wanneer er echter gevaar bestaat dat de nieuwe constructie meer gaat zakken, is het raadzamer om een scharnierende verbinding te maken met deuvels en waterafsluitende rubberprofielen. Verder moet de middenfundering gesloopt worden en de verbinding tussen de oude en de nieuwe vloer scharnierend zijn. Ook moet de nieuwe vloer twee keer zo dik gemaakt worden als de oude vloer, zodat de bestaande fundering aan de rechterkant opgenomen kan worden in de constructie.

14.6.3.5 Controle van opdrijven van de tunnel

De constructie moet nog worden gecontroleerd tegen opdrijven. De maximale oprijfkracht treedt op in de situatie met water langs de gehele tunnel wand. Het nieuwe dak ligt in het ontwerp bovenop de tunnel. Wanneer geschat wordt dat het nieuwe dak 1 meter hoger ligt dan het bestaande dak ligt de bovenkant op ongeveer 3,2 m - NAP. Wanneer de nieuwe vloer twee keer zo dik is als de andere vloer komt de onderkant van de vloer op 10,6 m - NAP. De maximale opwaartse kracht is dan 7,4 meter waterdruk. De gezamenlijke dikte van de vloer en het dak is hier minimaal 2,3 meter. De kracht uit het eigen gewicht van het dak en de vloer komt dan al aardig in de buurt van de opwaartse kracht per strekkende meter. Wanneer kleef in rekening wordt gebracht en het gewicht van de zijwanden neemt de neerwaartse belasting nog meer toe. Nu wordt voor de zekerheid een controle berekening uitgevoerd in de uiterste grens toestand in een situatie met volledige grondaanvulling en een minimale grondwaterstand.

Als verondersteld wordt dat de nieuwe palen niet op trek belast mogen worden kan de onderstaande formule toegepast worden.

$$0,9(\gamma_b A + \gamma_g h_g b) \geq 1,2\gamma_w h_w b$$

Waarin:

- A oppervlakte van het beton in de tunneldoorsnede. Bij een breedte van 12 meter en een dikte van de nieuwe wanden van ongeveer 0,7 meter wordt de oppervlakte bij benadering 35 m².
- γ_b is het volumiek gewicht van het beton, hier 25,0 kN/m³.
- γ_g is het volumiek gewicht van grond, hier resp. 18 en 20 kN/m³ voor droge en natte grond.
- h_g is de hoogte van de gronddekking op de tunnel, hier 2,8 meter.
- γ_w is het volumieke gewicht van het poriënwater in de watervoerende laag dat volgens NEN 6740 op 10,0 kN/m³ gehouden mag worden.
- h_w is de hoogte van het grondwater t.o.v. de tunnelbodem, hier 7,6 meter.
- b de breedte van de tunnel, hier 12 meter.

Er is geen rekening gehouden met kleeftbelasting en metrobelasting en maaiveldbelasting. Ook is geen rekening gehouden met de kracht uit het GEWI-anker. Er is een veiligheidsfactor van 1,2 toegepast op het water en een factor van 0,9 op het eigen gewicht.

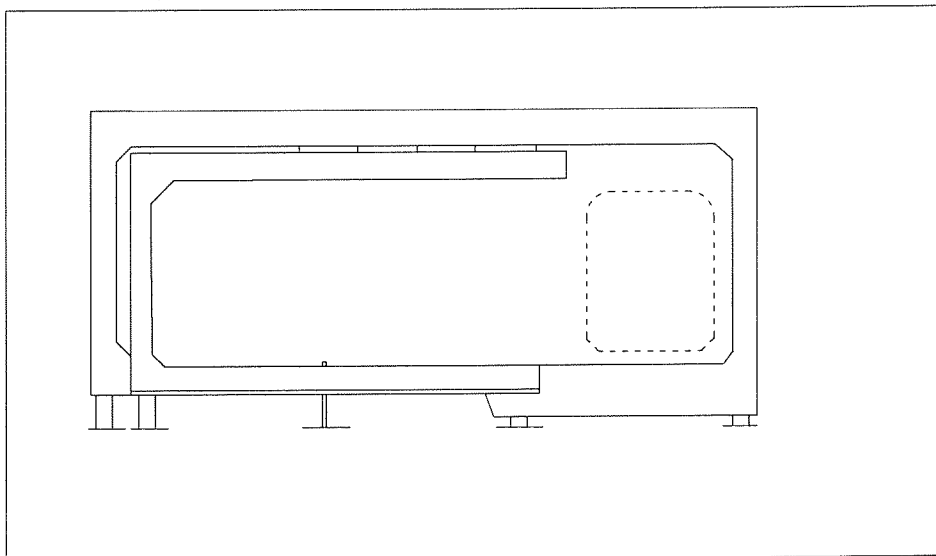
Hieruit volgt:

$$1350 \text{ kN/m} \geq 1100 \text{ kN/m}$$

zodat geconcludeerd kan worden dat er hier geen gevaar is voor opdrijven in de uiteindelijke situatie. In de bouwfase moet wel rekening gehouden worden met het gevaar voor opdrijven wanneer geen grondbelasting aanwezig is op de tunnel. In het hoofdstuk uitvoering wordt hier op teruggekomen.

14.6.4 Uiteindelijke constructie

De uiteindelijke constructie ziet er dan ongeveer zo uit:



Figuur 55 Doorsnede van de tunnel in gebied 5 met een nieuwe zijwand naast de bestaande wand.

In bijlage XIII worden de uitkomsten van de berekening in het programma STAAD van de uiteindelijke constructie weergegeven in de drie belastingsituaties.



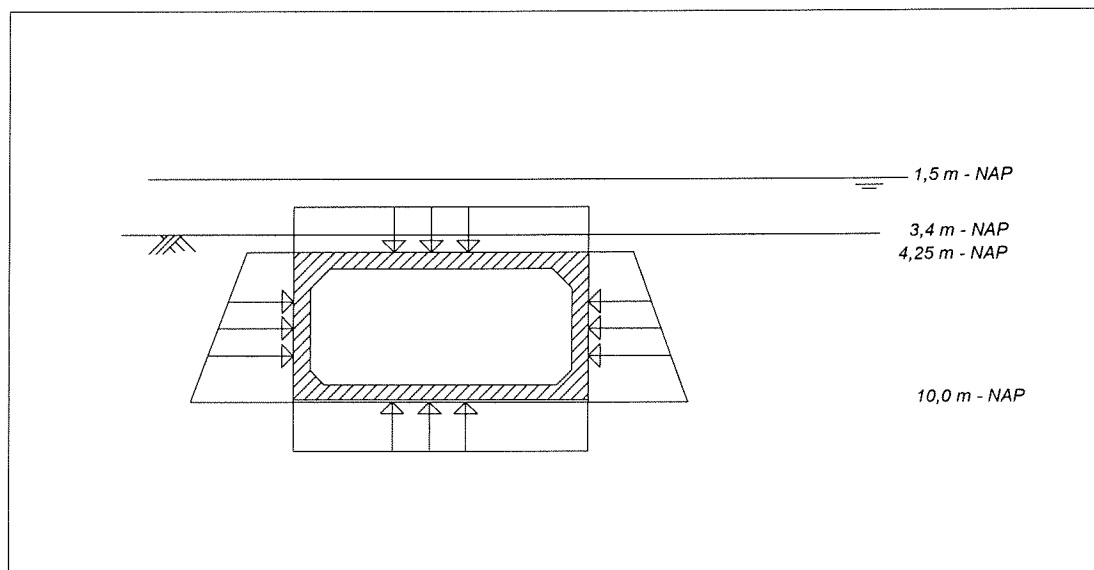
14.7 Constructie van de tunnel in gebied 2, 3 en 4

14.7.1 Functionele doorsnede

In paragraaf 14.3 werd al beschreven dat er weinig ruimte is voor een dak. Bij de bouw van de kelderconstructie is rekening gehouden met de stand van het grondwater. Misschien is het met de constructie van de kelder mogelijk om de keldervloer als dak te gebruiken. Dat moet herberekend worden aan de hand van de berekeningsrapporten. De vraag is echter of de eigenaar van het gebouw een dergelijke aanpassing in de belastingssituatie wel toestaat. Het is daarom veiliger om uit te gaan van een situatie met grondwater boven de tunnel, zodat ook hier een nieuw dak nodig is.

In het programma STAAD is de functionele doorsnede ingevoerd in de nieuwe situatie op een doorsnede in het midden van gebied 3, waar de overspanning het grootst is. De bovenkant van de tunnel ligt hier tussen de 4,2 en 4,25 m - NAP. Er staat enkel grondwater boven de tunnel.

In de onderstaande figuur wordt de situatie weergegeven.



Figuur 56 Invoer STAAD nieuwe tunnel, gebied 3

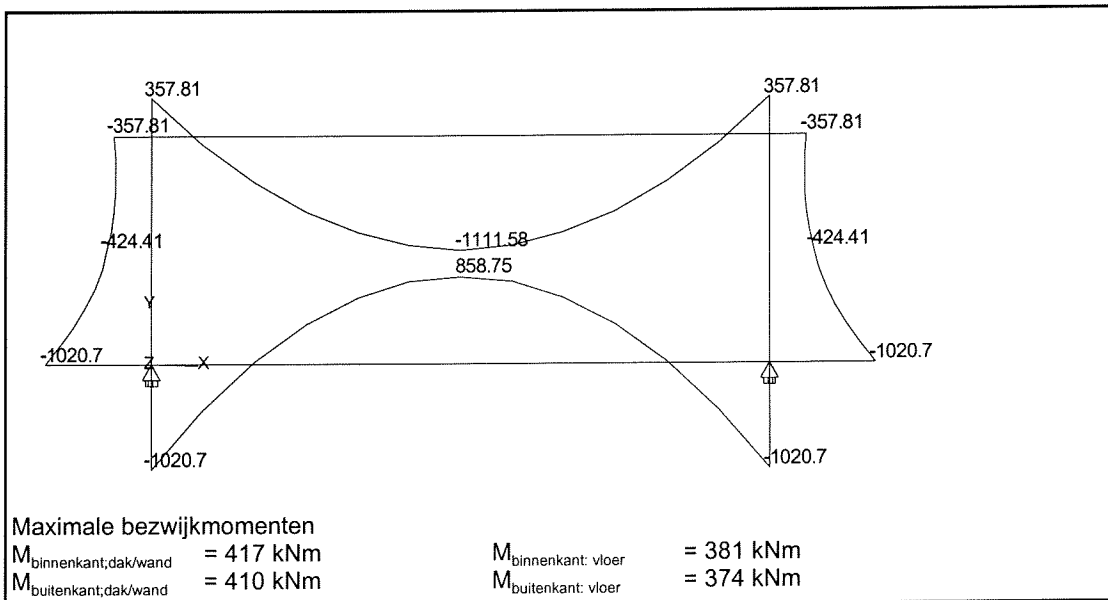
14.7.2 Belastingen

Hieronder zijn de krachten in de constructie berekend, weer voor drie situaties:

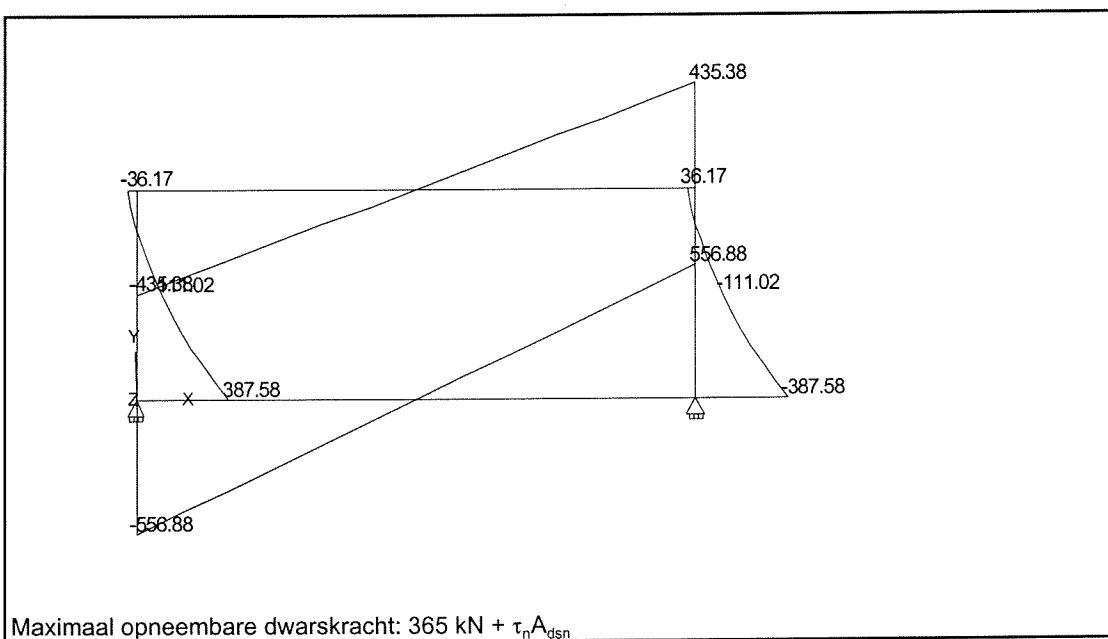
1. Uiterste grens toestand, met maximale grondwaterstand, zonder metrobelasting. Dit is maatgevend voor de momenten. De metrobelasting werkt daar ongunstig in mee en wordt daarom helemaal niet meegenomen. De bovenbelasting bedraagt $33,0 \text{ kN/m}^2$. De horizontale belasting verloopt van $33,0 \text{ kN/m}^2$ naar $136,5 \text{ kN/m}^2$. De belasting aan onderkant bedraagt $102,0 \text{ kN/m}^2$. De kleefbelasting op de wand bedraagt $3,5 \text{ kN/m}^2$.
2. Uiterste grens toestand, met minimale waterstand op 3 m - NAP, met metrobelasting. Dit is maatgevend voor de paalbelasting.

- De bovenbelasting bedraagt $15,0 \text{ kN/m}^2$. De horizontale belasting verloopt van $15,0 \text{ kN/m}^2$ naar $118,5 \text{ kN/m}^2$. De kleefbelasting op de wand bedraagt $3,5 \text{ kN/m}^2$.
3. Bruikbaarheid grens toestand, met een maximale grondwaterstand, zonder metrobelasting zodat de maximale momenten optreden in de constructie. Deze situatie is maatgevend voor de scheurvorming.
- De bovenbelasting bedraagt $27,5 \text{ kN/m}^2$. De horizontale belasting verloopt van $27,5 \text{ kN/m}^2$ naar $113,8 \text{ kN/m}^2$. De belasting aan onderkant bedraagt $85,0 \text{ kN/m}^2$. De kleefbelasting op de wand bedraagt $2,9 \text{ kN/m}^2$

Hieronder zijn de uitkomsten weergegeven:

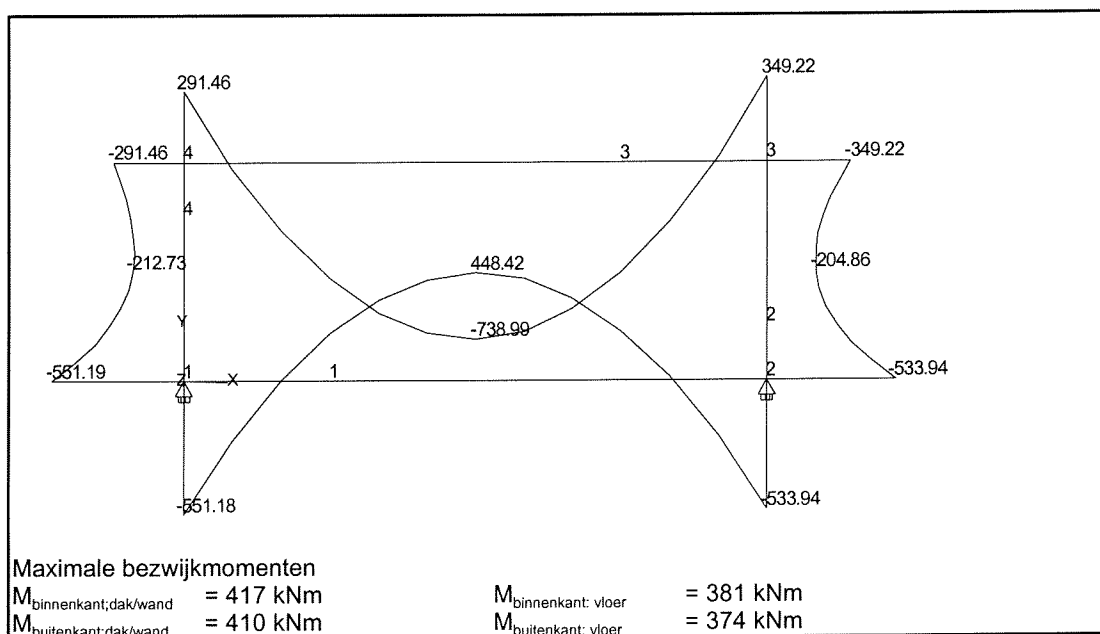


Figuur 57 Momentenlijn gebied 3, uiterste grenstoestand, belastingsgeval 1

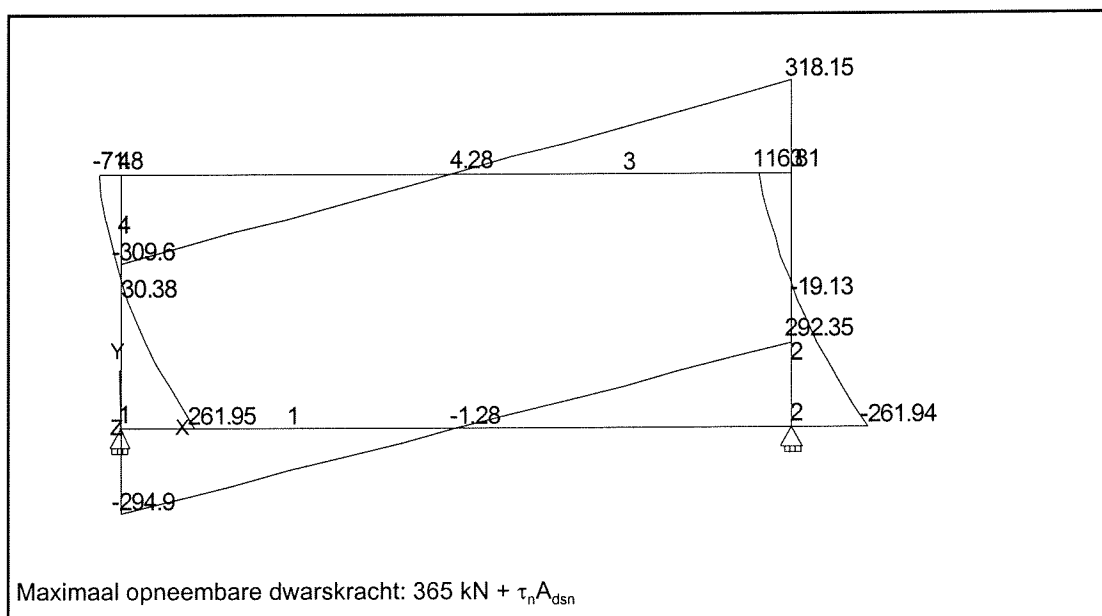


Figuur 58 Dwarskrachtenlijn gebied 3, uiterste grens toestand, belastingsgeval 1

De oplegreacties in de fundering aan de beide uiteinden bedragen 35 kN

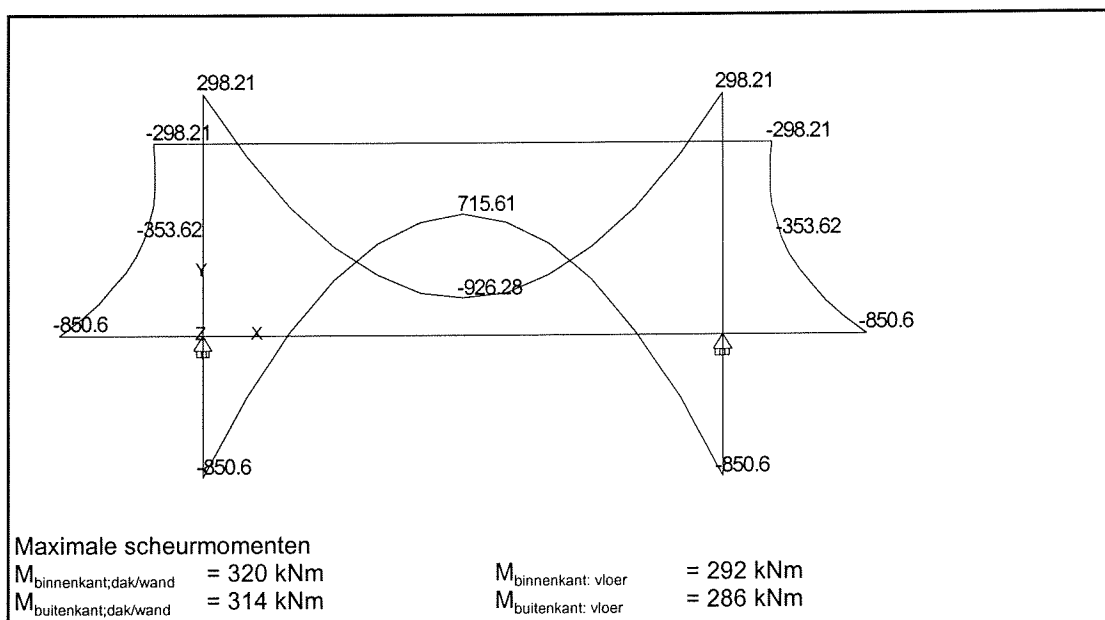


Figuur 59 Momentenlijn gebied 3, uiterste grenstoestand, belastingsgeval 2



Figuur 60 Dwarskrachtenlijn eind gebied 3, uiterste grens toestand, belastingsgeval 2

De oplegreacties van de fundering nemen in deze situatie toe door de metrobelasting en de gunstige werkende belasting van het water op de tunnelvloer. De belasting komt dan uit op 365 kN per paal bij een h.o.h. afstand van 3,2 meter.



Figuur 61 Momentenlijn gebied 3, bruikbaarheid grens toestand, belastingsgeval 3

Het blijkt dat hier het dak, de vloer en de zijwand niet voldoen. De fundering wordt slechts licht belast in gebied 3

14.7.3 Ontwerp

14.7.3.1 Dak

Bij een benadering van de dikte van het dak bleek in paragraaf 14.3 dat het dak dikker moet worden in de grootste doorsnede in gebied 3, dan in de oude situatie. Hierdoor neemt de ruimte tussen de kelderconstructie en het dak van de tunnel af. De vraag is hoeveel van de bestaande ruimte van 50 cm daadwerkelijk nodig is om contact tussen het dak van de tunnel en de vloer van de kelder te voorkomen. Ook is het nog maar de vraag wat de werkelijk benodigde dikte van het dak is.

Een overspanning in langsricting, wat mogelijk zou zijn door zwaardere liggers te gebruiken als overspanning in de doorsneden 2 en 4, heeft niet veel zin aangezien de overspanning in die richting al bijna even groot is. Uit bijlage V blijkt dat de kelder 13,5 meter breed is.

Er zijn meerdere typen dakconstructies mogelijk. Wanneer een dak ter plaatse wordt gestort variëren de hoogten tussen de 1/10 en 1/20 van de overspanning. De huidige dikte van het dak met het toegevoegde ballastbeton bedraagt 1,05 meter. Bij een maximale overspanning is de lengte van het dak 15 meter. De bestaande hoogte van 1,05 meter bedraagt dan 1/14 van de overspanning. De hoogte is afhankelijk van de hoeveelheid wapening en voorspanning dat toegepast wordt. In principe is een dak met een dergelijke hoogte bij de beoogde overspanning mogelijk.

Uit de beschrijving van de bouwmethoden van de zijwanden in gebied 5 volgt dat het nieuwe dak in elk geval boven het huidige dak moet worden gebouwd.

Dit zal in gebied 3 dus niet kunnen gezien de beperkte ruimte. Daar is de hele hoogte tussen het profiel van vrije ruimte en de onderkant van de keldervloer nodig om een dak te kunnen maken dat voldoende sterk is voor deze overspanning. Er zal dus een hoogteverschil zitten tussen het dak onder de kelder en het dak onder het maaiveld.

Een volgende probleem is hoe het dak in de gebied 2 en 4 moet worden gemaakt. Wanneer dit dak gescheiden wordt van gebied 3 wordt dit gedeelte een driehoek. In STAAD is de driehoek van gebied 4 benaderd. Het blijkt dat in de punt van de driehoek een hoge puntlast optreedt, waar de huidige fundering absoluut niet op berekend is. De puntlast is in de orde van grootte van 3000 kN. Bovendien is een driehoek heel lastig te maken. En de winst aan wapening die men heeft doordat in gebied 3 een lichter dak kan worden toegepast, gaat verloren door het moeilijke wapeningsnet dat gemaakt moet worden en het plaatsen van een zware fundering. Het is gezien deze overwegingen beter om het dak gewoon in doorsneden loodrecht op de tunnelas te dimensioneren, zodat in de gebieden 2-4 één en hetzelfde dak wordt gemaakt. Het maximale veldmoment zal dan verschuiven van gebied 2 tot en met 4.

Om het vlechten van de wapening te vergemakkelijken zal eenheidswapening toegepast moeten worden, waardoor het dak in gebied 3 op sommige plaatsen sterker dan noodzakelijk zal worden.

De wanden en de vloer zullen in gebied 2-4 ook niet voldoen. Uit de studies in de vorige paragrafen blijkt dat de oplossing ligt in het maken van een nieuwe zijwand in combinatie met een scharnierende verbinding tussen de nieuwe en de bestaande vloer, het verankeren van de vloer en het verwijderen van de bestaande middenfundering.

De constructiekeuze voor de zijwand die gemaakt wordt in gebied 5 kan het beste ook in de gebieden 3 en 2 toegepast worden, vanwege het repetitie-effect in de uitvoering. Wanneer gekozen wordt voor een zijwand naast de bestaande wand is het niet nodig om een nieuwe fundering toe te passen in de doorsnede precies onder het Weenahuis. In de gebieden 2 en 4 is dat wel weer nodig. In de maatgevende belastingssituatie met minimale grondwaterstand voor de druk op de fundering blijkt dat er bij de maximale overspanning in gebied 3 een druk op de linker fundering optreedt van 1500 kN, zodat ook hier de fundering voldoet. De bevestiging van de nieuwe wand aan de oude wand wordt dan wel moeilijk doordat de belasting van het dak en de wand op een relatief klein contactvlak moet worden overgedragen. Daarom is het beter om ook hier aan de linkerkant een nieuwe fundering aan te brengen. Zo wordt ook meer eenheid verkregen in de constructie, wat het ontwerp en de uitvoering makkelijker maakt.

Uit bijlage XIII, waar de berekeningen van de uiteindelijke constructie opgenomen zijn, blijkt dat hier trekpalen nodig zijn ter plaatse van de rechter bestaande fundering. Doordat de nieuwe vloer steeds groter wordt neemt het moment in de vloer ook steeds meer toe. Hier moet de dikte van de nieuwe vloer al enkele meters bedragen wil de bestaande rechterfundering nog op druk belast worden. Het is dan makkelijker om enkele trekpalen vlak naast de rechterwand te heien.

Conclusie: Het grootste knelpunt van de constructie in de gebieden 2-4 is dat het bestaande dak gesloopt moet worden om constructieruimte te creëren. Het metroverkeer zal dus meer hinder ondervinden bij de bouw van dit gedeelte dan bij de andere gedeelten. Bij het maken van het slopen en maken van het dak zal het metroverkeer niet kunnen rijden. Het maken van een dak neemt meer tijd in beslag

dan één nacht. Daarom zal minstens één buis gestremd zijn, wanneer het slopen en het maken van het dak gefaseerd worden uitgevoerd. Een mogelijkheid is om het nieuwe dak elders te maken en dan in de nauwe ruimte te schuiven. De werkruimte onder de kelder is namelijk minimaal. Dan kan het hinderen van de metro beperkt worden tot de sloopwerkzaamheden en wordt de metro niet gehinderd bij de bouw van het nieuwe dak.

De constructie van de vloer en de wand is dezelfde als van de constructie in gebied 5. Ook hier moet de middenfundering gesloopt worden, een Gewi-anker toegepast worden, een scharnierende verbinding tussen de oude en de nieuwe vloer en een nieuwe fundering aan beide kanten aangebracht worden. Ter plaatse van de rechterfundering zijn trekpalen nodig. De nieuwe fundering moet halverwege de bestaande fundering worden aangebracht, zodat onderling de grootste afstand tussen de oude en de nieuwe fundering aangehouden wordt.

14.7.3.2 Controle van opdrijven van de tunnel

De constructie moet nog worden gecontroleerd tegen opdrijven. Deze doorsnede is het meest kritiek voor het criterium opdrijven, omdat hier geen bovenbelasting toegepast mag worden. De maximale opdrijfkracht treedt op in de situatie met water langs de gehele tunnel wand, ongeacht of er grondwater boven de tunnel staat. Het nieuwe dak ligt in het ontwerp op het bestaande niveau van de tunnel. Het nieuwe dak moet de volledige hoogte van 1,05 meter benutten, alleen al om voldoende ballast te hebben tegen opdrijven. Het beton oppervlak in deze doorsnede is ook al minder dan in de overige gedeelten aangezien hier het meeste van de bestaande constructie wordt gesloopt.

Het geschatte oppervlak van de berekende doorsnede is in gebied 3 is met een geschatte breedte van 13,5 meter 35 m². Wanneer de nieuwe vloer twee keer zo dik is als de andere vloer komt de onderkant van de vloer op 10,65 m - NAP. De bovenkant van het dak ligt hier op 3,9 m - NAP. De maximale opwaartse kracht is dan 6,75 meter waterdruk.

Als verondersteld wordt dat de nieuwe palen niet op trek belast mogen worden kan de onderstaande formule toegepast worden die ook eerder werd gebruikt.

$$0,9\gamma_b A \geq 1,2\gamma_w h_w b$$

Hieruit volgt:

$$790 \text{ kN/m} \leq 1100 \text{ kN/m}$$

zodat geconcludeerd kan worden dat er hier gevaar is voor het opdrijven van de tunnel in de uiteindelijke situatie.

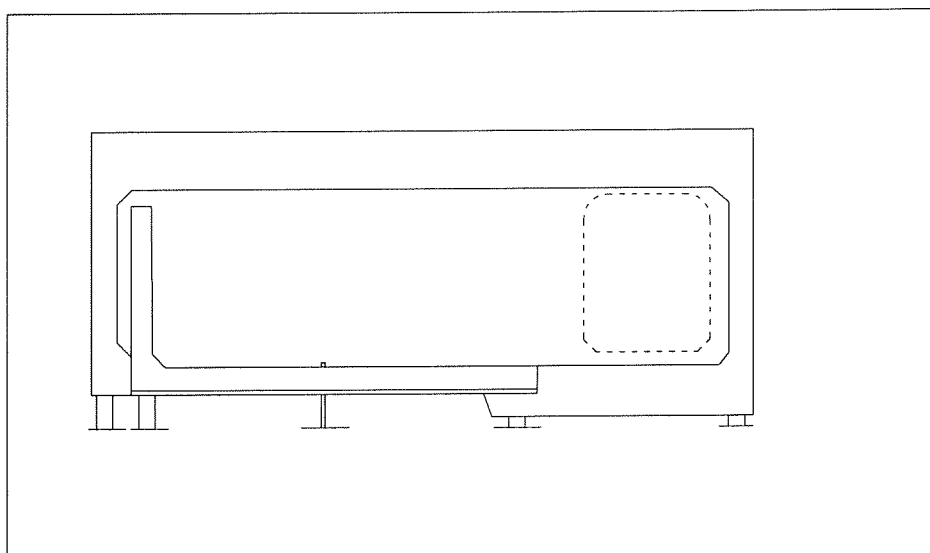
Op het dak van gebied 3 kan wel wat bovenbelasting werken door de bovenbelasting in de gebieden 2 en 4 waar eenzelfde constructie wordt toegepast. De grondbelasting werkt bij benadering op de helft van het tunneldak. De hoogte van de grond varieert wel van 2,4 meter in gebied 4 tot 3,5 meter in gebied 2. Gemiddeld is dat 2,9 meter. De grondwaterstand staat nu 0,9 meter boven de tunnel. Wanneer nu de tunnel ook nog benaderd wordt door een rechthoek van 13,5 bij 15 meter volgt uit de formule van evenwicht waarin nu ook grondbelasting en de lengte meegenomen wordt:

$$21650 \text{ kN} \geq 18600 \text{ kN}$$

Hierin is de kleefbelasting nog niet meegenomen zodat voorzichtig geconcludeerd kan worden dat er wel voldoende veiligheid is tegen het opdrijven van de tunnel. Deze voorzichtigheid is geboden om dat de bovenstaande berekening natuurlijk een grove benadering is. In een detail ontwerp moet dit precies berekend worden. In de bouwphase moet dus eerst de grond worden aangevuld voordat de grondwaterstand weer verhoogd mag worden. Dit wordt verder besproken in het hoofdstuk uitvoering. Een overweging zou ook nog kunnen zijn om de palen wel te ontwerpen op een tijdelijke trekbelasting.

14.7.4 Uiteindelijke constructie

De uiteindelijke constructie ziet er dan ongeveer zo uit:



Figuur 62 Doorsnede van de tunnel in gebied 2, 3 en 4 met een nieuwe zijwand naast de bestaande wand.

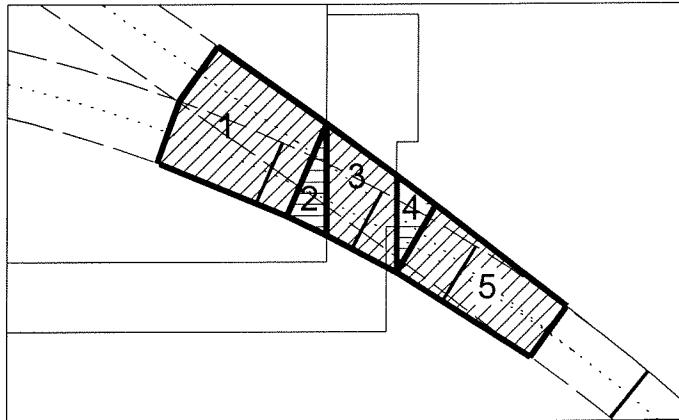
In bijlage XIII worden de uitkomsten van de berekening in het programma STAAD van de uiteindelijke constructie weergegeven in de drie belastingsituaties.

14.8 Samenhang van de constructie

In de bestaande constructie waren voegen opgenomen in de bestaande constructie. Het is raadzaam om deze voegen door te zetten in de nieuwe constructie. Het dak ter plaatse van de kelder ligt op een lager niveau dan de daken in de aansluitende gebieden. De daken overlappen elkaar wel. Toch zal de wapening in de verschillende daken anders verdeeld zijn. Daarom is het raadzaam om ook hier voegen toe te passen tussen de verschillende daken. De bestaande tunnel bestaat uit een afzinkelement van 4 aan elkaar gekoppelde moten van 15 meter. Deze moten zijn verbonden door nokverbindingen, waarin de voegen toegepast zijn. Eénzelfde principe kan hier ook toegepast worden. Verder ontstaat er eenheid in de constructie door overal dezelfde dikte voor de nieuwe vloer te nemen. Bij de berekeningen in bijlage XIII is de nieuwe vloer twee keer zo dik genomen als de bestaande vloer. In gebied 5 zijn dan geen trekpalen nodig. In gebied 3 en een gedeelte van gebied 1 neemt de doorsnede toe, waardoor

er hier wel trekpalen nodig zijn. De dikte van de vloer moet hier al snel enkele meters bedragen, wil de rechter paal nog op druk belast kunnen worden. Door de zwaardere vloer is de horizontale druk op de tunnel niet gelijk aan beide kanten. De horizontale resultante kan opgenomen worden door de nieuwe funderingspalen. Deze moeten dan verankerd worden in de nieuwe constructie. De scharnierende verbinding tussen de oude en de nieuwe vloer kan gemaakt worden door aan de zijkant van de oude vloer deuken te plaatsen. Een waterdichte voeg kan dan onder de deuken aan de oude vloer vastgestort worden en opgenomen worden in de nieuwe constructie.

14.9 Conclusies



Bij de gekozen constructie kan de gehele linkerzijwand blijven staan. Het bestaande dak kan in gebied 5 ook deel uitmaken van de constructie. De wand en het dak hebben geen constructiefunctie meer. In de gebieden 2 - 4 moet het dak wel gesloopt worden en kan een nieuw dak ingeschoven worden. In de gebieden 2, 3 en 5 is een nieuwe fundering aan de linkerkant nodig. Aan de

rechterkant is een rij nieuwe palen aan de buitenkant nodig in de gebieden 2 - 5 en in gebied 1 twee rijen. Aan de rechterkant zijn trekpalen nodig vlak naast de tunnel in de gebieden 1-4. De nieuwe palen worden in lengterichting tussen de bestaande fundering geplaatst, maar wel naast de bestaande tunnel.

De middenfundering moet gesloopt worden in de gebieden 2 - 5 en vervangen worden door een trekanker. Het trekanker kan tussen de bestaande middenfunderingen geplaatst worden.

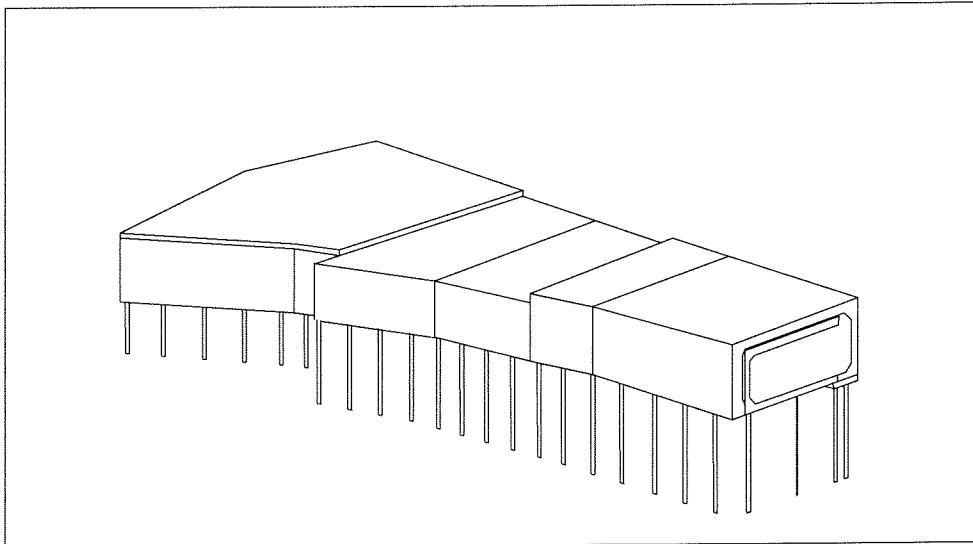
In gebied 1 kan het nieuwe dak over het bestaande dak gebouwd worden waarbij het rechtergedeelte van het bestaande dak een uitkragende ligter vormt in de nieuwe constructie. De linker tunnelbuis kan totaal worden opgenomen in de nieuwe constructie.

De oude vloer en de nieuwe vloer moeten scharnierend verbonden worden. De nieuwe vloer wordt overal twee maal zo dik als de bestaande vloer, zodat over een groot gedeelte van de aansluiting geen trekpalen nodig zijn.

De rechterzijwand moet in zijn geheel gesloopt worden en de middenkolom in de gebieden 2 - 5

Deze constructie geeft het minste overlast voor de metro.

De constructie ziet er ruimtelijk zo uit:



Figuur 63 3D aanzicht tunnelconstructie variant 1

De bouw van deze variant, waarbij de metro het minste overlast heeft, wordt in het volgende hoofdstuk beschreven.

14.10 Literatuur

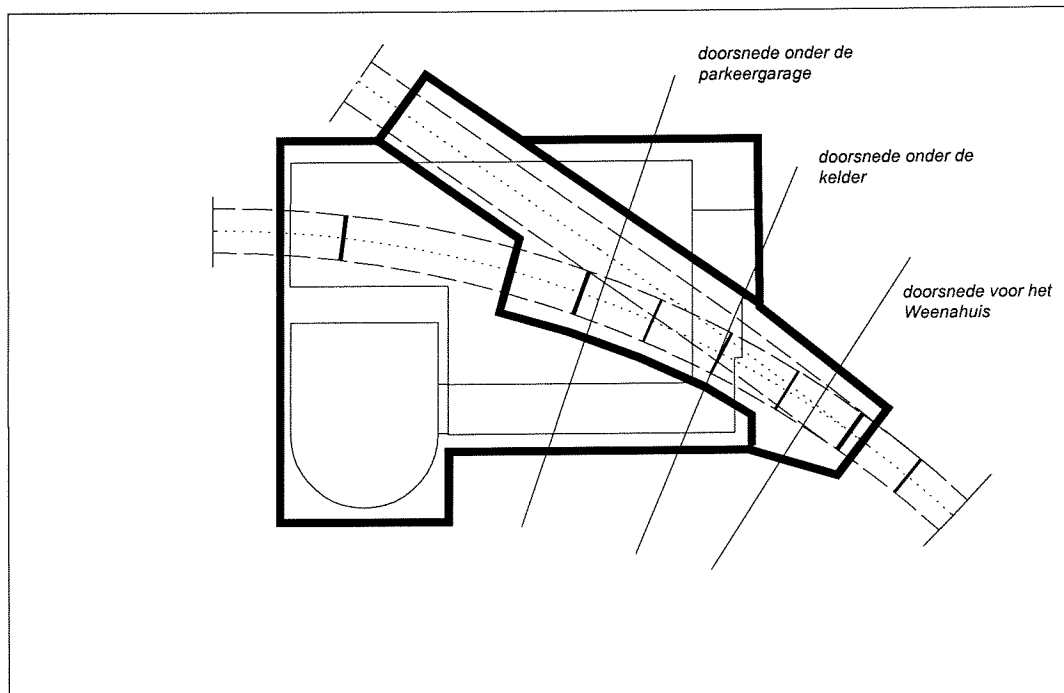
- [1] *Funderingsproblematiek bij overbouwing van metrotunnels*, Ir. Th.A. Feijen, Cement 1989 nr. 2
- [2] *Metro Rotterdam*, Ir. J. van Herk e.a., Cement 1963 nr. 7 en 8
- [3] *Geotechnische aspecten bij de aanleg van de metro*, Ir. E. Horvat, Cement 1977 nr. 10
- [4] *Metrobouw in Rotterdam*, Ir. G. Plantema, Ingenieur 1968 nr. 6
- [5] *Reference manual STAAD-III*
- [6] *Voorgespannen beton*, Prof. dr. ir. J.C. Walraven, 's-Hertogenbosch, januari 1997
- [7] *Gewapend beton*, Prof. dr. ir. J.C. Walraven, TU-Delft, oktober 1995
- [8] *Funderingstechnieken*, Prof. ir. A.F. van Tol, TU-Delft, september 1996

15. Uitvoering

15.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de vraag hoe de bouw van de aansluiting gemaakt kan worden. De bouw van de aansluiting bestaat uit de volgende werkzaamheden:

- Het plaatsen van de wanden van de buitenste bouwkuip;
 - Het plaatsen van de bemaling;
 - Het ontgraven van de bouwkuip;
 - Het bouwen van de aansluiting;
 - Het aanvullen van de grond en het verwijderen van de wanden en de bemaling.
- Deze werkzaamheden worden hieronder beschreven en toegelicht met plaatjes. De plaatjes geven een drietal relevante doorsneden aan:
- De bouwkuip voor het Weenahuis;
 - De bouwkuip onder de kelder van het Weenahuis;
 - De bouwkuip onder de parkeergarage.



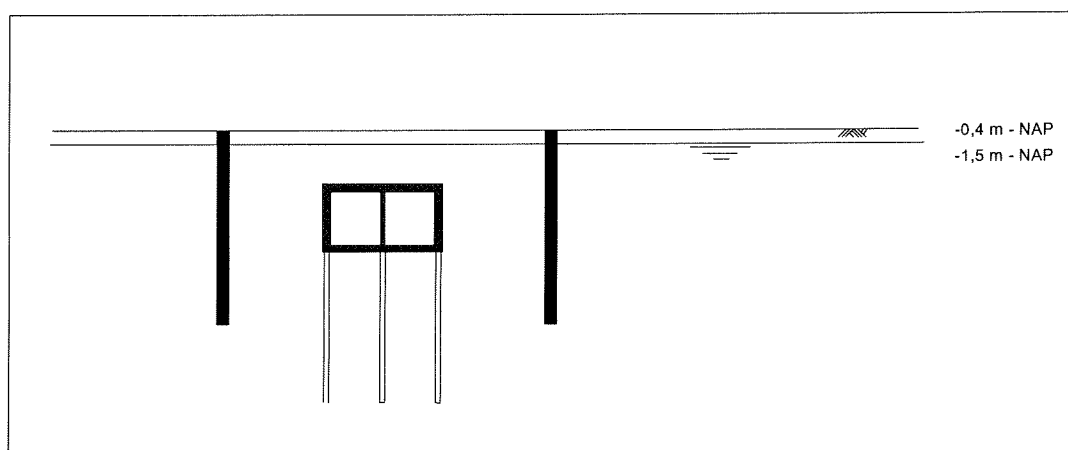
Figuur 64 **Overzicht van de doorsnede tekeningen**

N.B. De nieuwe fundering en de GEWI-ankers zijn in de doorsneden voor de duidelijkheid getekend in hetzelfde vlak als de bestaande fundering, hoewel uit de studie blijkt dat de nieuwe fundering tussen twee 'vlakken' van de bestaande fundering in ligt.

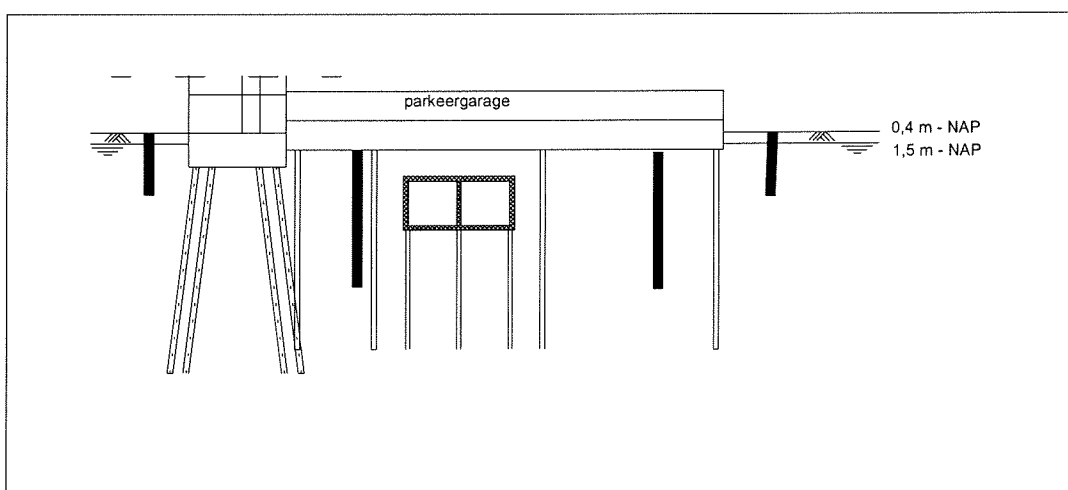
15.2 Plaatsen van de waterkerende en water- en grondkerende schermen van de buitenste bouwkuip.

De plaats van de diverse wanden van de buitenste bouwkuip wordt aangegeven in figuur 26 van hoofdstuk 12. De grondwaterstand staat altijd minimaal een meter onder het maaiveld, dus de bovenkant van de waterkerende schermen kunnen even onder het maaiveld staan. Zo is het Weenahuis en de Weenatoren nog goed te bereiken voor bezoekers. Bij de gedeelten waar het scherm ook grond keert is dit niet mogelijk. De toegangen tot de gebouwen bevinden zich op plaatsen waar enkel waterkerende schermen nodig zijn.

Een moeilijk punt bij het aanbrengen van de wanden is de poort tussen het Weenahuis en het daarnaast gelegen kantoorpand. Deze poort is een smalle gang van ongeveer 2,5 meter hoog en 12 meter lang. De breedte is ongeveer 2,5 meter. Er kan in de hoogte meer werkruimte verkregen worden door eerst een gedeelte van de grond af te graven.



Figuur 65 Bouwkuip voor het Weenahuis, de grond- en waterkerende wanden zijn aangebracht.



Figuur 66 Bouwkuip onder de parkeergarage, de grondkerende en waterkerende wanden zijn aangebracht.

Ook de wanden van de binnenste bouwkuip kunnen onder de parkeergarage aangebracht worden. Dit is in de bovenstaande tekening al weergegeven. Afhankelijk van de gekozen methode worden de wanden compleet of gedeeltelijk ingebracht. Bij

een Berlinerwand worden eerst de stalen I-profielen aangebracht en pas bij het ontgraven de planken.

De ruimte van de interne bouwkuip wordt bepaald door de afmetingen van het bouwmaterieel wat in de tunnel komt. De afmetingen van de graafmachine en de machine die tubex palen aanbrengt zijn hier maatgevend. Er zal in dit gedeelte namelijk moeilijk van bovenaf ontgraven kunnen worden, door dat de werkhoogte beperkt is. De bouwkuip is als het ware een tunnel onder het Weenagebouw. Daarom moeten hier de meeste werkzaamheden vanuit de bouwkuip uitgevoerd worden.

De parkeergarage is nu niet meer te gebruiken op de begane vloer. De toegang naar het middelste en het bovenste dek is nog bereikbaar doordat er bij de ingang meteen een oprit naar boven loopt.

15.3 Spannings-, retour en open bemaling aanbrengen om en in de bouwkuip.

De spanningsbemaling wordt buiten de bouwkuip aangebracht op een negental plaatsen zoals die weergegeven zijn in figuur 28. Dit gaat als volgt:

Als eerst wordt een boormachine die de pomp de grond in boort op de plaats afgestempeld. De plek moet vrij zijn van kabels en leidingen. Achter de boorstelling wordt een zogenaamde 'retourbak' geplaatst welke ervoor moet zorgen dat er een overdruk ontstaat waardoor het boorgat open blijft staan. De boorbuis wordt in gedeelten in de grond ingebracht.

Nadat er tot op een gewenste diepte is geboord, een aantal meter in de stroomvoerende laag, wordt de boor getrokken, de bron ingelaten en omstort met filtergrind en bij de afsluitbare lagen met klei.

Hierna kan de boormachine verplaatst worden naar het volgende punt. De afmetingen van de machine en de ruimte die nodig is om de machine af te stempelen bedraagt ongeveer 7 bij 15 meter.

De retourbemaling wordt op éénzelfde wijze in de grond gebracht.

Om de bouwkuip droog te krijgen is bronbemaling nodig. Bronbemaling bestaat uit verticale bronnen die gekoppeld worden aan een centrale zuigleiding die het grondwater onttrekken tot een diepte van ongeveer 6 meter onder het maaiveld. In deze bouwkuip moet de waterstand verder worden verlaagd. Dit kan opgelost worden door het toepassen van meerdere bemalingsniveau's. Ook is het mogelijk om een zogenaamde diepwell bemaling toe te passen.

Op plaatsen waar gelaagde grond aanwezig is, is het belangrijk om open filters toe te passen zodat alle lagen ontlast worden. De grond die in de jaren '60 buiten het bouwdok Weena heeft gelegen maar nu wel binnen de waterkerende wand ligt is gelaagd, zie ook figuur 21. De pompen kunnen door elektriciteit of door diesel aangedreven worden.

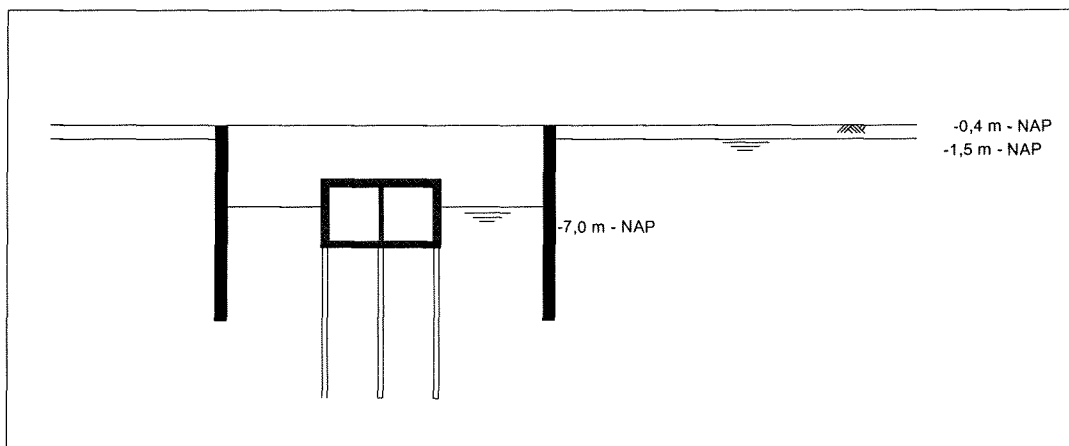
Van het water dat opgepompt wordt moet een gedeelte van het water naar de retourbronnen op de Coolsingel en ten noorden van de sporen verplaatst worden. Het overige gedeelte kan geloosd worden in het riool. Er moeten leidingen gelegd worden naar de retourbronnen. De bronnen ten noorden van het spoor zijn relatief goed bereikbaar door het leggen van een leiding door de verkeersbak in de Schiekade. De Coolsingel is een stuk moeilijker bereikbaar aangezien twee drukke verkeersstraten gekruist moeten worden.

15.4 Het ontgraven van de bouwkuip

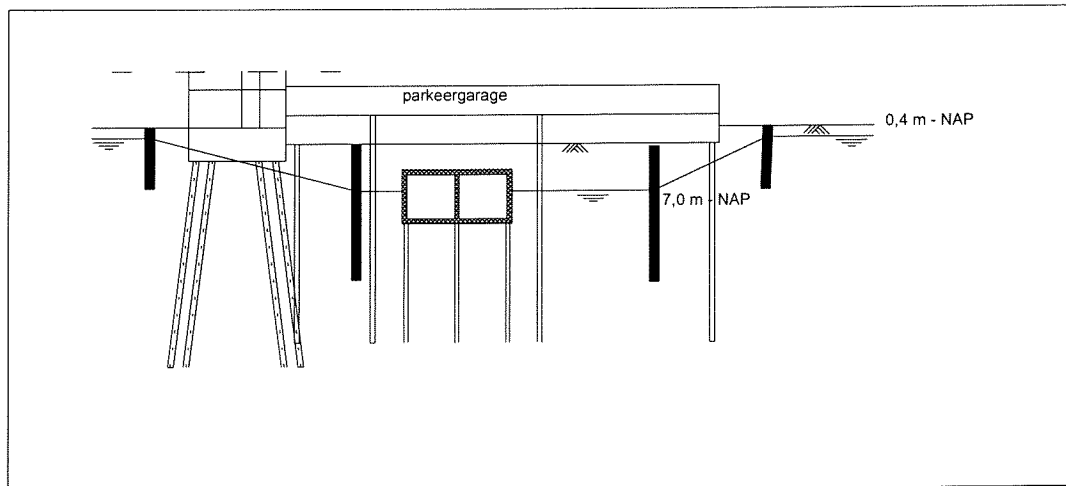
15.4.1 Verlagen van de waterstand tot 7 m -NAP

Onder het Weenahuis moet nog een grondkerende wand aangebracht worden. In hoofdstuk 12 werd de mogelijkheid beschreven om met tubexpalen een grondkering te maken. Hiervoor is ongeveer een werkruimte benodigd van 3 meter. De onderkant van de kelder ligt hier op 3,4 m - NAP zodat het gewenste ontgravingsniveau 6,4 m - NAP is. Om een redelijke droge bouwkuipbodem te krijgen is het in deze fase van belang dat de grondwaterstand in de bouwkuip een halve meter onder dit niveau staat. In deze stedelijke omgeving is het niet wenselijk om nat te ontgraven, aangezien dat veel overlast geeft voor de omgeving. De straten worden smerig en ook ontbreekt een depot om het water uit de grond te laten stromen. Daarom moet hier gekozen worden voor droog ontgraven. In het gedeelte onder de kelder is dit zeker nodig, doordat dit gedeelte niet van bovenaf ontgraven kan worden. Daarom wordt eerst de waterstand verlaagd tot 7 m - NAP. In het programma STAAD is een berekening uitgevoerd om te controleren of de fundering van de tunnel dan niet bezwijkt. Wanneer er geen maaiveld belasting wordt meegenomen, is dit mogelijk. Wanneer gekozen wordt om in de eerste fase ook met machines boven op de tunnel te rijden, moet de waterstand gefaseerd verlaagd worden met het ontgraven van de grond boven op de tunnel. De kritieke doorsnede is hier de bouwkuip voor het Weenahuis.

De fasering in het bemalen van het grondwater komt nu ook goed overeen met het getrapte systeem dat nodig is bij een open bemaling zoals dat in paragraaf 15.3 beschreven is.



Figuur 67 **Bouwkuip voor het Weenahuis, de waterstand wordt verlaagd tot -7 m NAP.**



Figuur 68 Bouwkuip onder de parkeergarage, de waterstand wordt verlaagd tot 7,0 m - NAP.

15.4.2 Ontgraven van de bouwkuip tot 6,4 m - NAP

Nadat de grondwaterstand verlaagd is kan de grond ontgraven worden. De grond kan ontgraven worden vanuit de bouwkuip, als de machines eerst maar naast de tunnel worden neergezet. Wanneer enige grond ontgraven is boven de tunnel neemt het gevaar voor het bezwijken van de fundering snel af. Er ontstaat nu een nieuw gevaar; de mogelijkheid dat de tunnel gaat opdrijven. Dit kan gebeuren als de opwaartse kracht van het water groter is dan het eigengewicht van de tunnel:

$$0,9\gamma_b A \geq 1,2\gamma_w h_w b$$

Waarin:

- A oppervlakte van het beton in de tunneldoorsnede, hier 18,5 m².
- γ_b is het volumiek gewicht van het beton, hier 25,0 kN/m³.
- γ_w is het volumieke gewicht van het poriënwater in de watervoerende laag dat volgens NEN 6740 op 10,0 kN/m³ gehouden mag worden.
- h_w is de hoogte van het grondwater t.o.v. de tunnelbodem, hier maximaal 3,05 meter.
- b de breedte van de tunnel, hier 9,8 meter.

Er is geen rekening gehouden met kleefbelasting en metrobelasting. Er is een veiligheidsfactor van 1,2 toegepast op het water en een factor van 0,9 op het eigen gewicht.

Hieruit volgt:

$$417 \text{ kN/m} \geq 359 \text{ kN/m}$$

zodat geconcludeerd kan worden dat er geen gevaar is voor opdrijven.

Het afgraven van de grond onder de parkeergarage wordt belemmerd door de aanwezigheid van funderingspalen van de parkeergarage. Ook zijn er nadat de bestaande tunnel afgezonken is ook houten palen geplaatst naast de tunnel om de

belasting van de grond op de wand te reduceren. Deze zullen ook verwijderd moeten worden.

De ontgraven grond moet met graafmachines die buiten de bouwkuip staan overgebracht worden van de bouwkuip naar dumpers, die de grond naar een depot moeten brengen waar de grond gestort kan worden. De ontgraven grond onder de parkeergarage kan dan ook het best ter plaatse van de Deltsetraat buiten de bouwkuip gebracht worden. Er zijn nu dus graafmachines bezig in de bouwkuip om de grond te ontgraven en machines die de ontgraven grond verplaatsen naar buiten de bouwkuip. Het is verder belangrijk dat de grond aan beide kanten van de tunnel gelijktijdig ontgraven wordt. Zo wordt voorkomen dat de tunnel aan één kant horizontaal meer belast wordt dan aan de andere kant, waardoor de tunnel zou kunnen gaan schuiven.

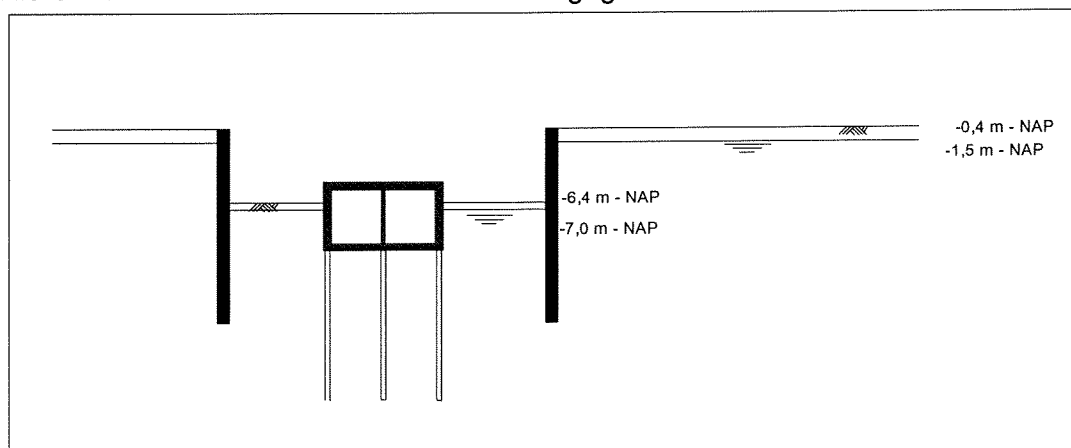
Nadat de grond voor het Weenahuis weggehaald is kan de grond ontgraven worden onder de kelder. Dit kan het makkelijkste gebeuren vanuit de bouwkuip voor het Weenahuis, omdat hier de ontgraven grond de minst grote afstand hoeft af te leggen om buiten de bouwkuip te kunnen komen. De grond kan hier tijdelijk onder steil talud van bijvoorbeeld 1:1 ontgraven worden. De grond zal nog vochtig zijn zodat de grond niet meteen onder natuurlijk talud gaat staan. Er blijft dan voldoende werkruimte over, zie paragraaf 12.5.4. Onder de kelder staan nog hulppalen, welke gebruikt zijn bij de bouw van de kelder, die verwijderd moeten worden tijdens het ontgraven.

Het is in deze fase niet gewenst om stempels aan te brengen. Dit zou de uitvoeringswerkzaamheden erg bemoeilijken. Zonder stempels kunnen de graafmachines makkelijk heen en weer rijden om de grond te ontgraven. Er kan nu eenmaal niet overal van bovenaf ontgraven worden. De grondkerende wanden van de bouwkuip moeten dan berekend worden op deze situatie.

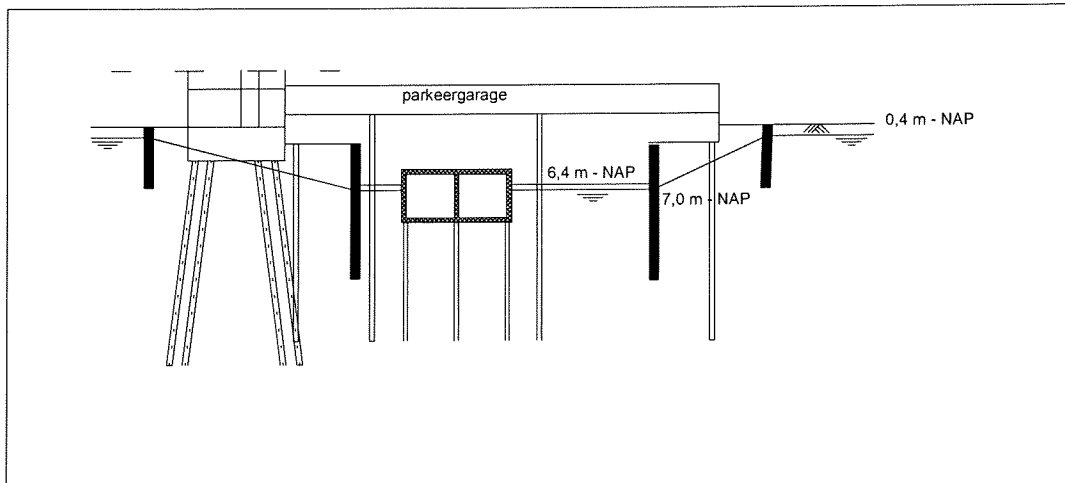
De horizontale krachten op de wanden door de grond bij deze ontgraving zijn nog veel groter dan de middelpuntvliedende kracht uit de metro. Per aslast van 130 kN volgt met de formule voor deze kracht uit het programma van eisen de geringe waarde van 0,8 kN per as. De spatkracht uit de voegloospoorkracht is de orde van grootte van 3,5 kN in deze boog. De tunnel zal door deze belasting in deze situatie niet gaan verschuiven.

De spanningsbemaling is ook in deze situatie al nodig aangezien de grond zou opbarsten onder de tunnel. Wanneer begonnen wordt met graven moet de spanningsbemaling in werking treden.

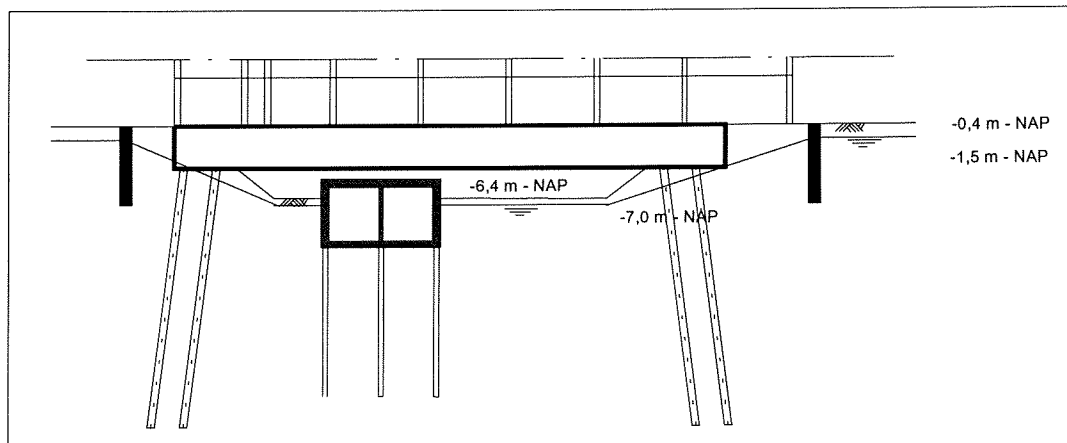
Hieronder worden de drie doorsneden weergegeven in deze situatie.



Figuur 69 Bouwkuip voor het Weenahuis, de grond wordt afgegraven tot - 6,4 m - NAP.

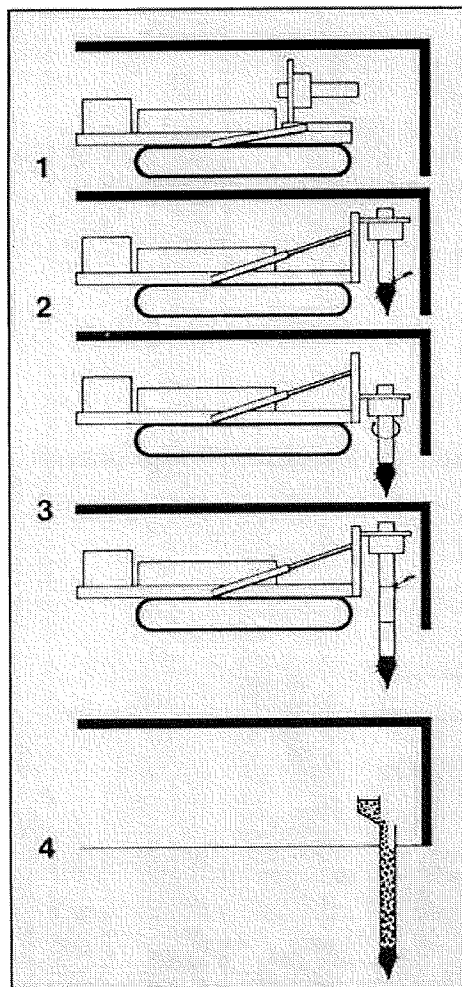


Figuur 70 Bouwkuip onder de parkeergarage, de grond wordt afgegraven tot 6,4 m - NAP.



Figuur 71 Bouwkuip onder de kelder, de waterstand is verlaagd tot 7,0 m - NAP en de grond is afgegraven tot 6,4 m - NAP.

15.4.3 Het maken van de grondkering onder de kelder



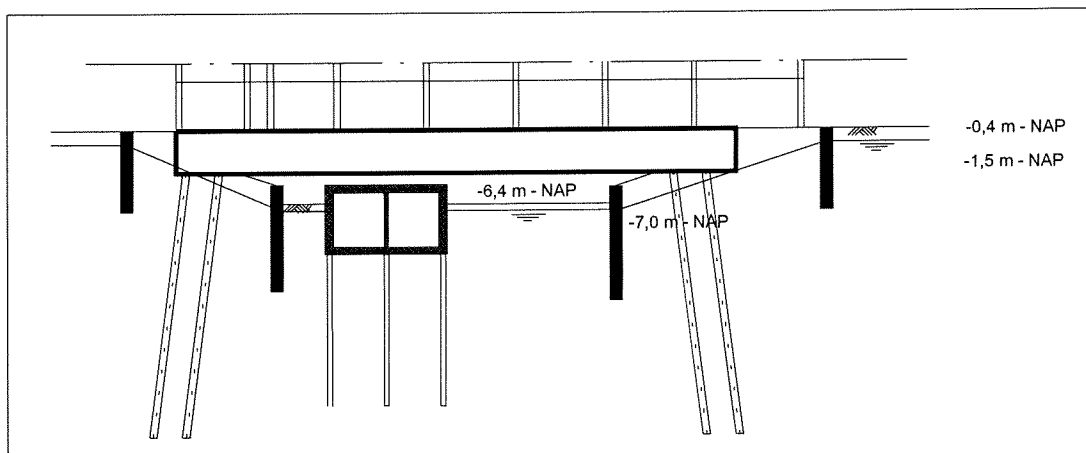
Nadat de grond ontgraven is tot 6,4 m - NAP kan de grondkering onder de kelder gemaakt worden. Deze wordt gemaakt met tubexpalen. De tubexpaal is een stalen buispaal. De werkwijze is als volgt:

1. Het eerste buisstuk wordt in de boortafel geplaatst. De lengte van het buisstuk is afhankelijk van de beschikbare hoogte.
2. Aan de onderkant van het buisstuk wordt een boorpunt gelast. Deze boorpunt sluit de buis ook waterdicht af.
3. De boortafel brengt het buisstuk met een verticale kracht en een draaimoment in de grond. Nu kan een volgende buis er op gelast worden. Dit gaat door totdat de gewenste diepte is bereikt.
4. Vervolgens kan er wapening in de buis aangebracht worden, waarna er beton gestort wordt in de buis.

Nadat de wand is aangebracht tot op een niveau van het dak van de tunnel kan de grond achter de wand weer aangevuld worden zodat de helling van de grond kleiner is dan 1:1.

De tubex machine moet nu weer uit de bouwkuip gehaald worden.

Figuur 72 Het maken van een tubexpaal



Figuur 73 Bouwkuip onder de kelder, de grondkerende wand is aangebracht

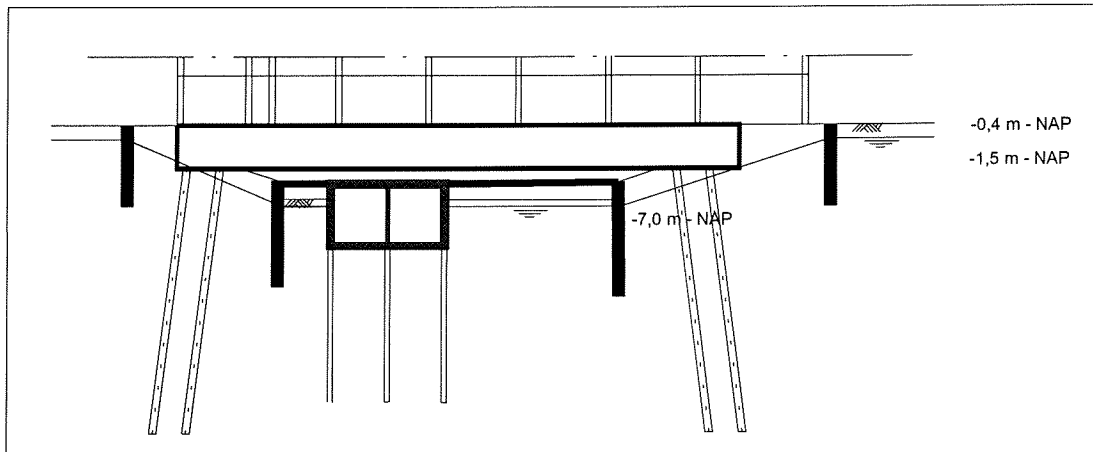
15.4.4 Het aanbrengen van de stempels

Nu kunnen er stempels worden aangebracht die twee functies vervullen: het steunen van de grondkering en het op de plaats houden van de tunnel.

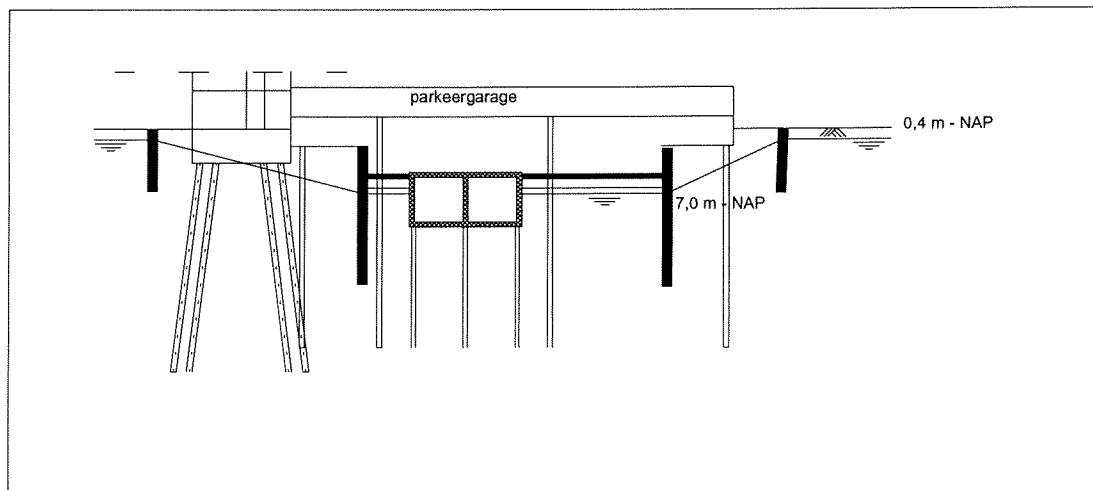
Als eerste moeten nu gordingen aan de tunnel en aan de grondkerende wand vastgemaakt worden. Het dak van de tunnel ligt nu ongeveer 2 meter vrij, zodat er een goede werkruimte is om de gordingen en de stempels aan te brengen.

De gording moet worden aangebracht ter hoogte van het dak, zodat het dak ook een onderdeel vormt van de stempeling. Bij het ontwerp van de stempels moet bedacht worden dat de rechter stempels de horizontale kracht moeten opvangen die de metro uitoefent in de bocht.

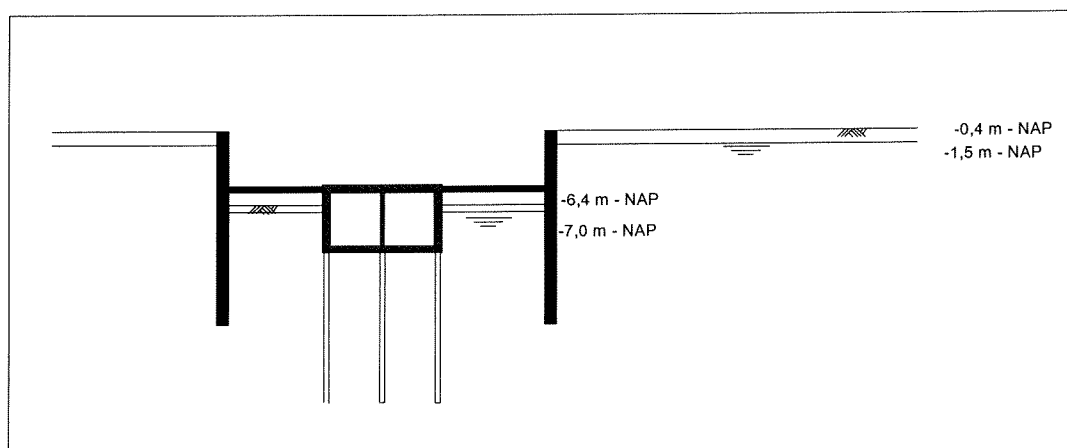
Nu kan de grond ontgraven worden zonder dat er gevaar bestaat dat de tunnel gaat schuiven door de horizontale kracht die de metro in de bocht uitoefent.



Figuur 74 Bouwkuip onder de kelder, de stempels worden aangebracht ter plaatse van het dak van de tunnel.



Figuur 75 Bouwkuip onder de parkeergarage, de stempels worden aangebracht ter plaatse van het dak van de tunnel.



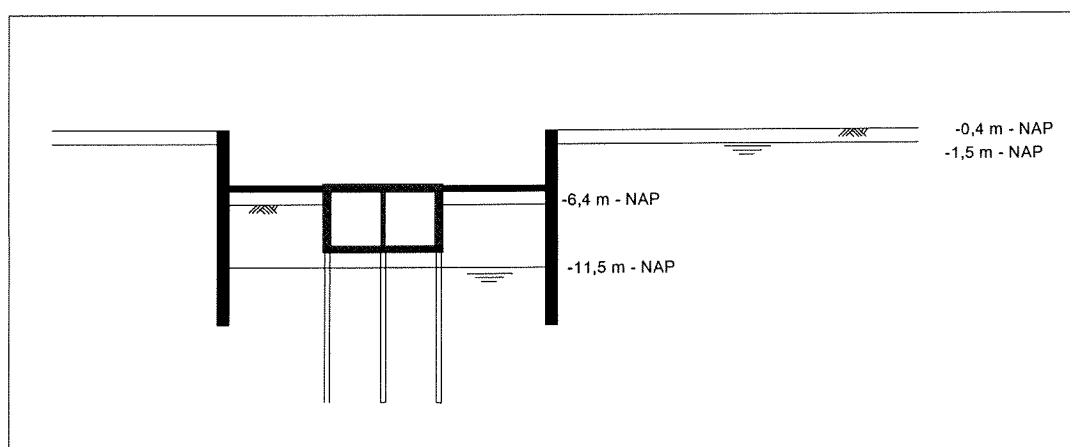
Figuur 76 Bouwkuip voor het Weenahuis, de stempels worden aangebracht ter plaatse van het dak van de tunnel.

15.4.5 Verlagen van de waterstand tot 11,5 m - NAP

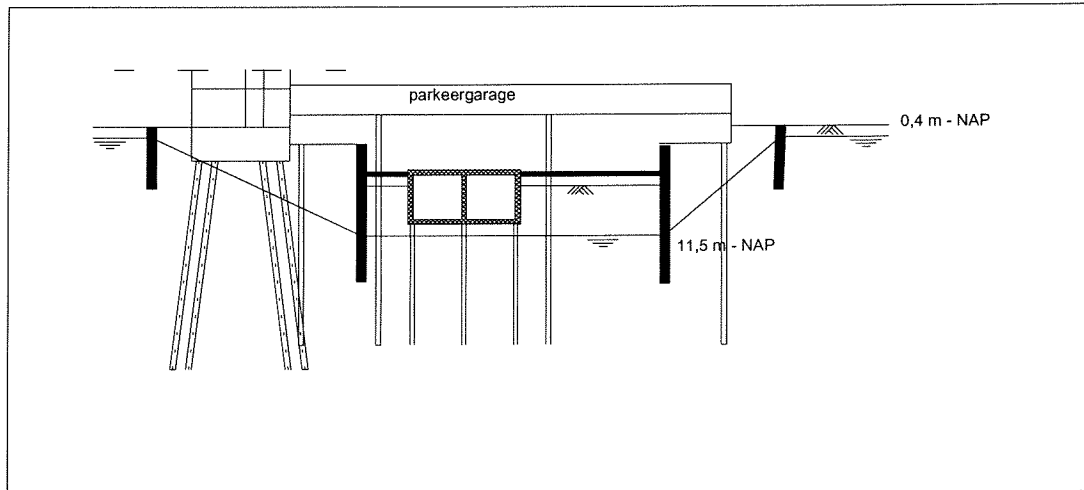
Vervolgens kan de waterstand verlaagd worden tot 11,5 m - NAP, een halve meter onder het benodigde niveau van de werkvloer.

Nu ontstaat een kritieke situatie onder de parkeergarage, waar een gedeelte van de bestaande tunnel buiten de grondkerende wand ligt en binnen de waterkerende wand. Uit een berekening met STAAD met een situatie zonder grondwaterstand volgt hieruit dat er maximaal een paalbelasting optreedt van 1750 kN per paal in de uiterste grens toestand, wat lager is dan de grenswaarde van 2100 kN. Bij de invoer is geen rekening gehouden met belasting vanuit de parkeergarage, zodat in dit gedeelte tijdens de bouw geen bovenbelasting op het maaiveld aanwezig mag zijn. Wel is rekening gehouden met klee- en metrobelasting. In deze situatie is een bovenbelasting van 2,8 meter droge grond ingevoerd. Een extra veiligheid kan verkregen worden door wel een gedeelte van de grond te ontgraven boven de tunnel in dit gedeelte. Het kan namelijk ongewenst zijn dat enkele funderingspalen meer belast worden dan andere palen van de constructie.

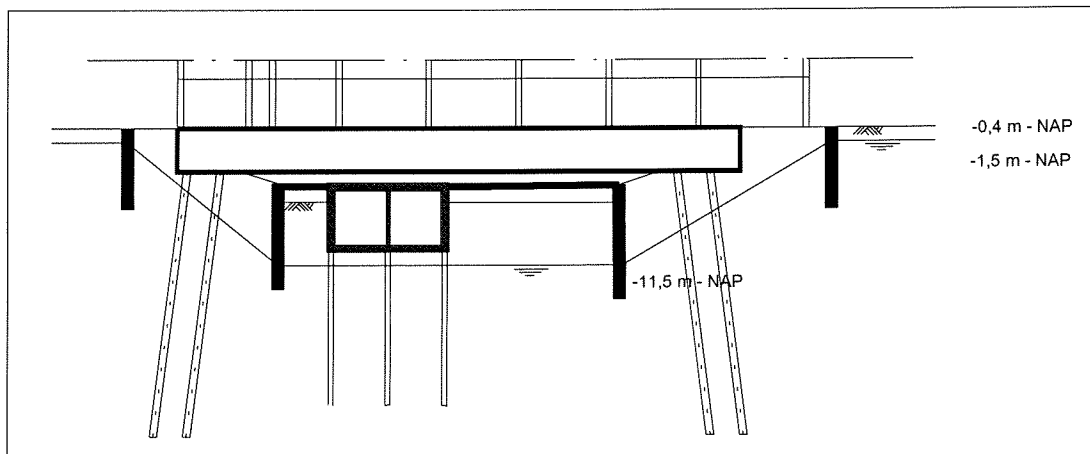
Hieronder wordt de nieuwe situatie weergegeven:



Figuur 77 Bouwkuip voor het Weenahuis, de waterstand wordt verlaagd tot 11,5 m - NAP.



Figuur 78 Bouwkuip onder de parkeergarage, de waterstand wordt verlaagd tot 11,5 m - NAP.



Figuur 79 Bouwkuip onder de kelder, de waterstand wordt verlaagd 11,5 m - NAP.

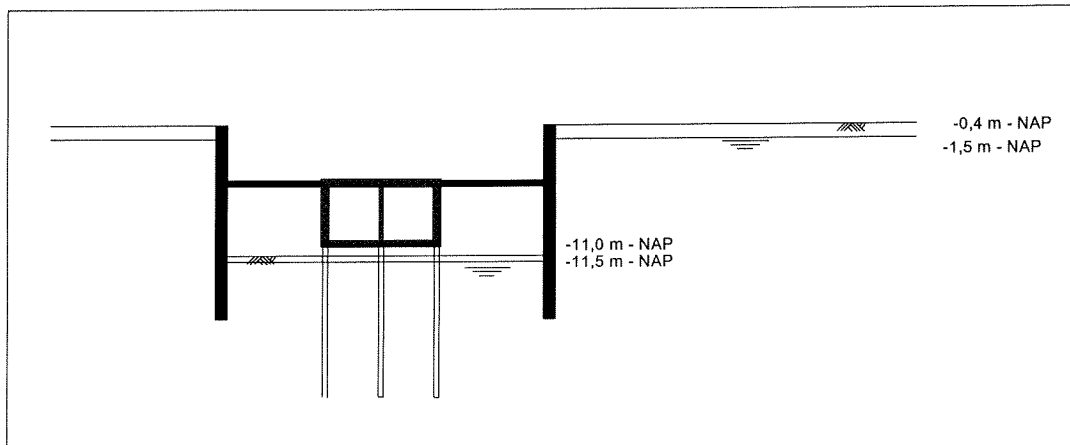
15.4.6 Ontgraven van de bouwkuip tot 11,0 m - NAP

Nadat de waterstand is verlaagd kan de grond ontgraven worden tot op 11,0 m - NAP. Nu moet er onder de stempels worden ontgraven. Het is daarbij het makkelijkst om van buitenaf naar binnen te graven. Als eerste moet nu van buitenaf een gedeelte tussen de stempels ontgraven worden, waarna men een graafmachine tussen de stempels kan laten zakken. Deze graafmachine graaft dan onder de stempels door naar binnen. Dit gebeurt op een drietal plaatsen. Voor het Weenahuis wordt gelijkmatig ontgraven aan beide zijden van de tunnel. Aan de kant van de Delftsestraat kan ook een graafmachine ingezet worden. De graafmachine aan de linkerkant van de tunnelbuis moet dan steeds gelijkmatig met één van de twee machines ontgraven.

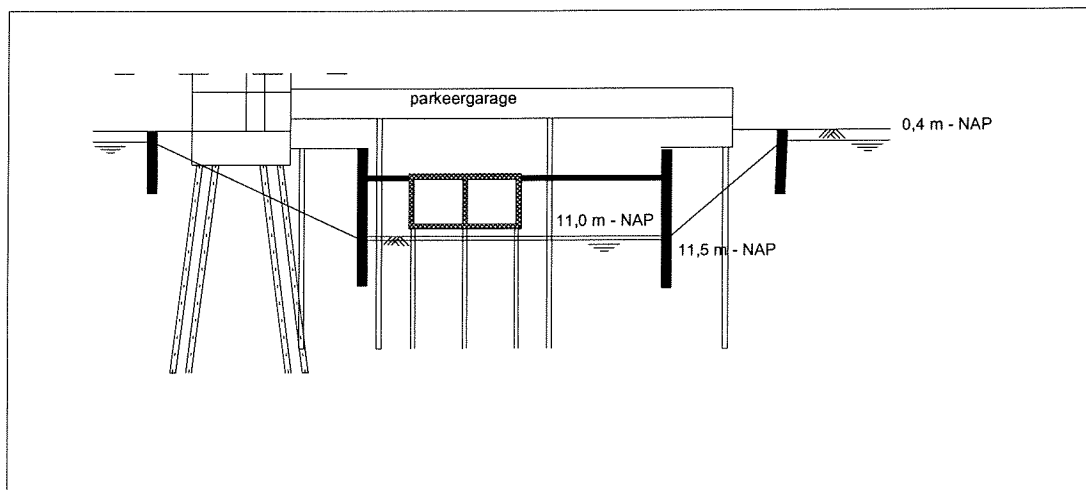
De ontgraven grond kan ook weer aan twee kanten uit de bouwkuip gehaald worden, voor het Weenahuis en bij de Delftsestraat.

Een overweging is om nu ook stempels aan de onderkant van de tunnel te plaatsen. Dit bemoeilijkt echter het bouwproces aanzienlijk. In de volgende fasen moet de nieuwe fundering aangelegd worden, wat ook weer moet gebeuren vanuit de

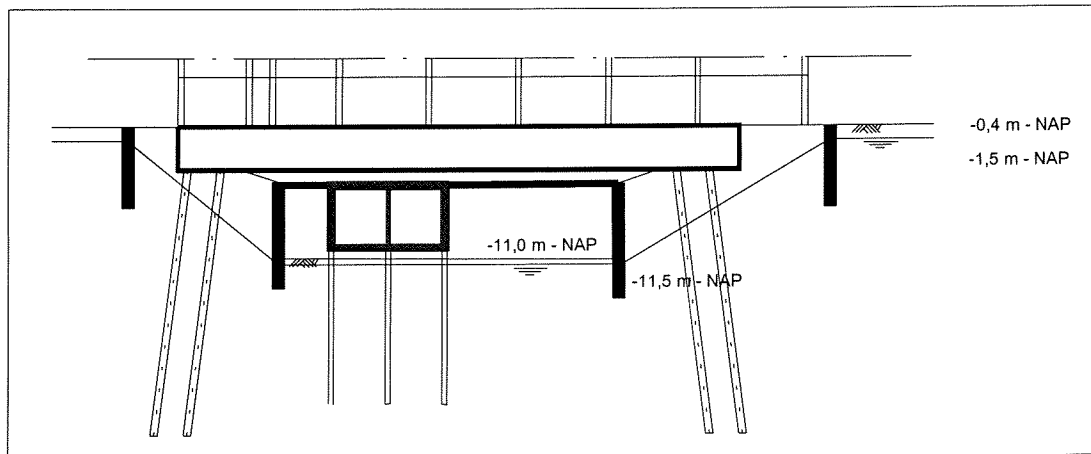
bouwkuip. Hierdoor kan de boormachine niet makkelijk verplaatst worden. Onder de kelder ontbreekt ook de mogelijkheid om de boormachine te verplaatsen. Het is dus wenselijk om de wanden wat zwaarder uit te voeren en/of dieper de grond in te boren, zodat de werkvloer vrij blijft van stempels.



Figuur 80 Bouwkuip voor het Weenahuis, de grond wordt afgegraven tot 11,0 m - NAP.



Figuur 81 Bouwkuip onder de parkeergarage, de grond wordt afgegraven tot 11,0 m - NAP.

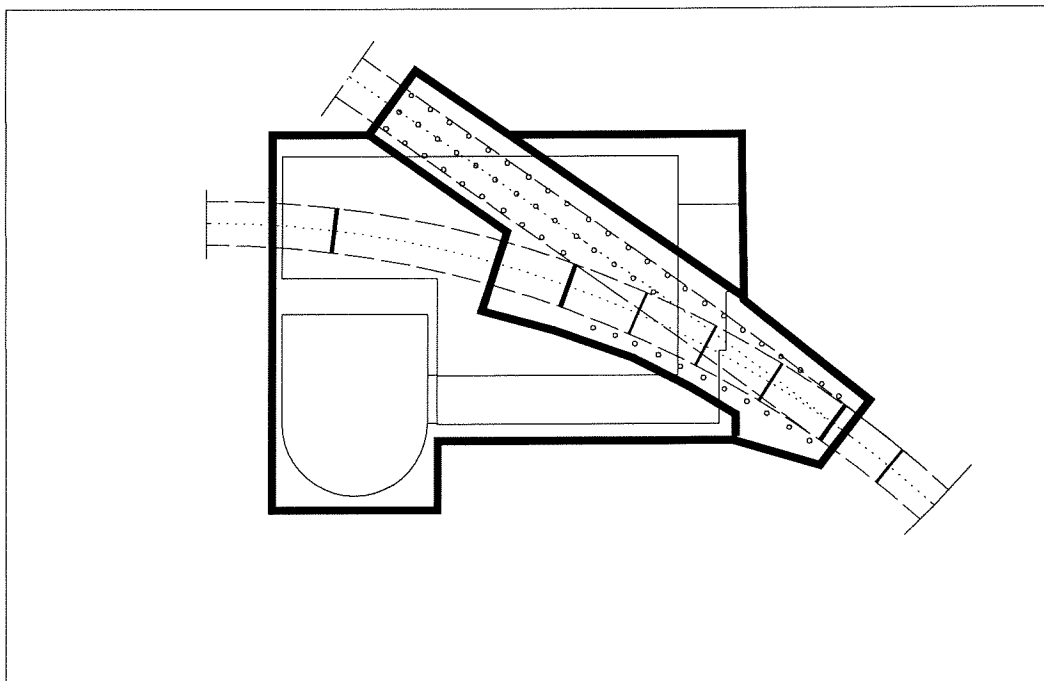


Figuur 82 Bouwkuip onder de kelder, de grond wordt afgegraven tot 11,0 m - NAP.

15.5 Bouwen van de aansluiting

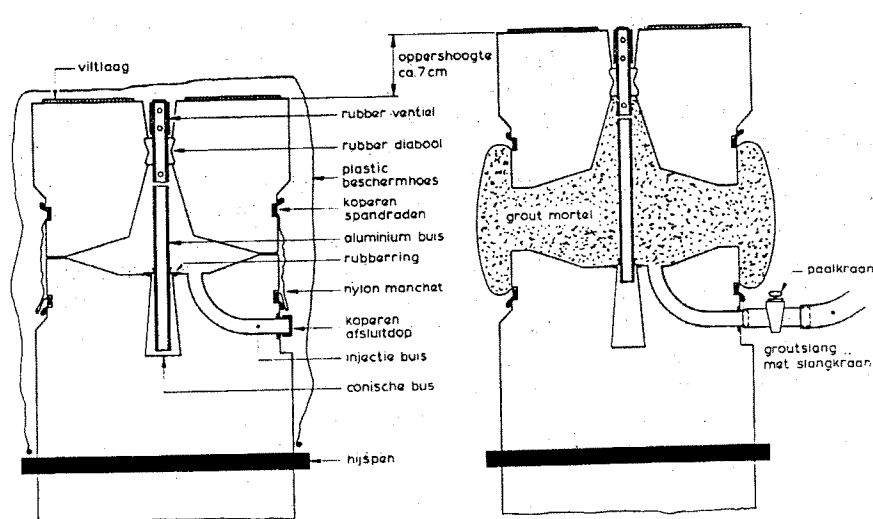
15.5.1 Aanbrengen van de nieuwe fundering en slopen middenfundering

De nieuwe fundering moet grotendeels onder een beperkte werkhoogte worden ingebracht. Een mogelijkheid hiervoor is om tubexpalen te gebruiken. Deze palen kunnen onder een beperkte hoogte worden ingebracht, zoals hierboven beschreven is. De palen worden dan in delen in de grond gedraaid.



Figuur 83 Aanbrengen van de nieuwe fundering

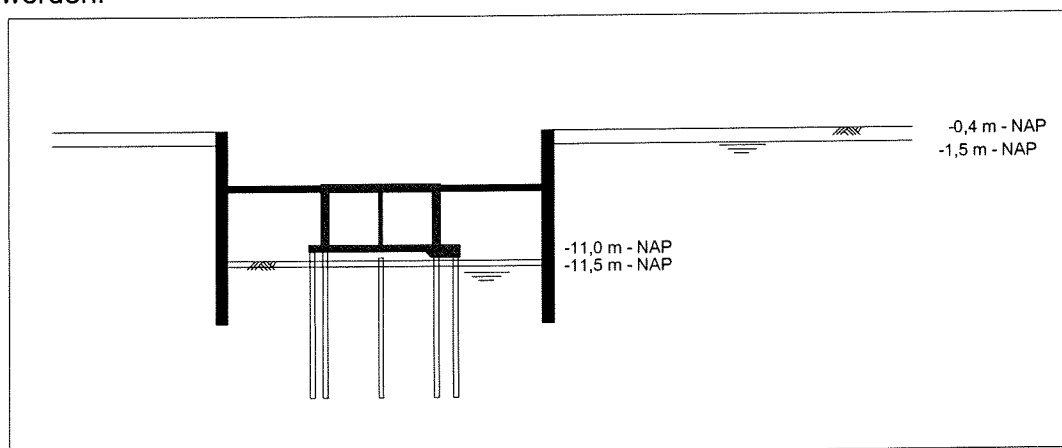
Voor of na het aanbrengen van de nieuwe fundering kan de bestaande fundering in het midden worden gesloopt. De fundering bestaat uit een zogenaamde opperspaal. Nadat de tunnel afgezonken was zijn de koppen van deze palen omhoog gegrout tegen de onderkant van de tunnel. Deze koppen zijn dus relatief makkelijk te slopen, aangezien er in een gedeelte van de kop geen wapening is toegepast. De paal hoeft dus niet volledig te worden verwijderd. Wanneer de kop verwijderd wordt is er een ruimte van 300 mm tussen de onderkant van de tunnel en de bovenkant van de paal. Uit een berekening van STAAD volgt dat de middenfundering veilig gesloopt kan worden wanneer er geen bovenbelasting op de tunnel aanwezig is.



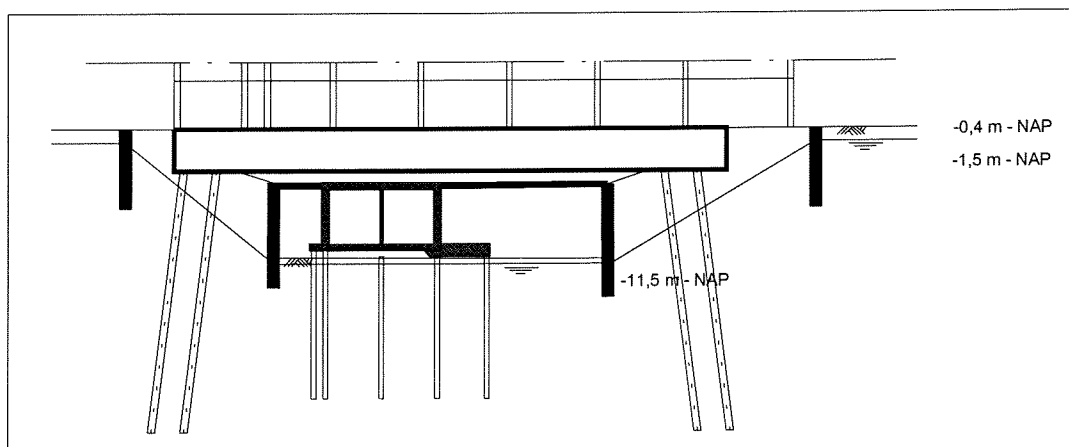
Figuur 84 Opperspaal

15.5.2 Maken van de nieuwe vloer

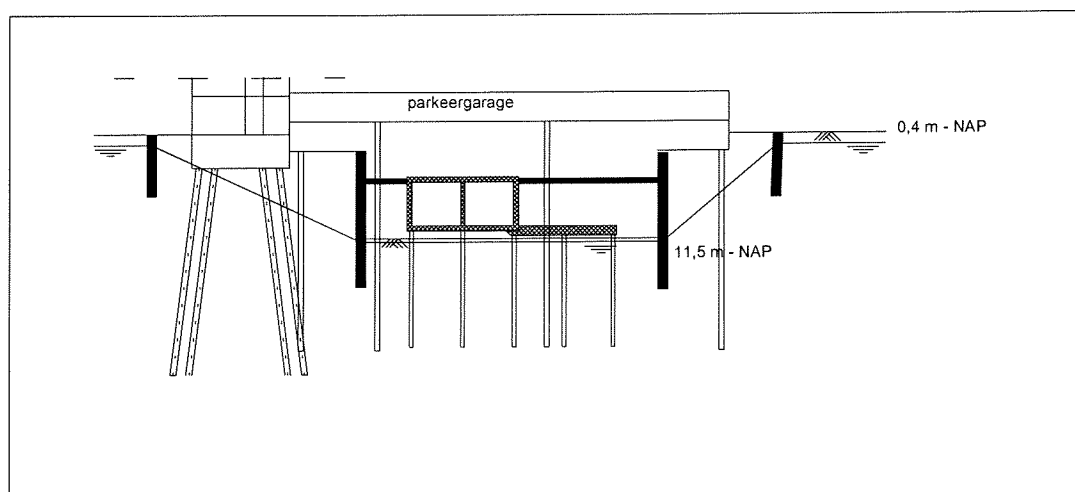
Vervolgens kan de nieuwe vloer gemaakt worden. Als eerste worden deuvels en de waterdichte voegen aan de tunnel gemaakt. Hierna kan een bekistingsvloer worden aangebracht. De wapening kan worden aangebracht, waarna de vloer gestort kan worden.



Figuur 85 Bouwkuip voor het Weenahuis, nadat de bestaande middenfundering is gesloopt en de nieuwe fundering is aangebracht wordt de nieuwe vloer gemaakt.



Figuur 86 Bouwkuip onder de kelder, nadat de bestaande middenfundering is gesloopt en de nieuwe fundering is aangebracht wordt de nieuwe vloer gemaakt.

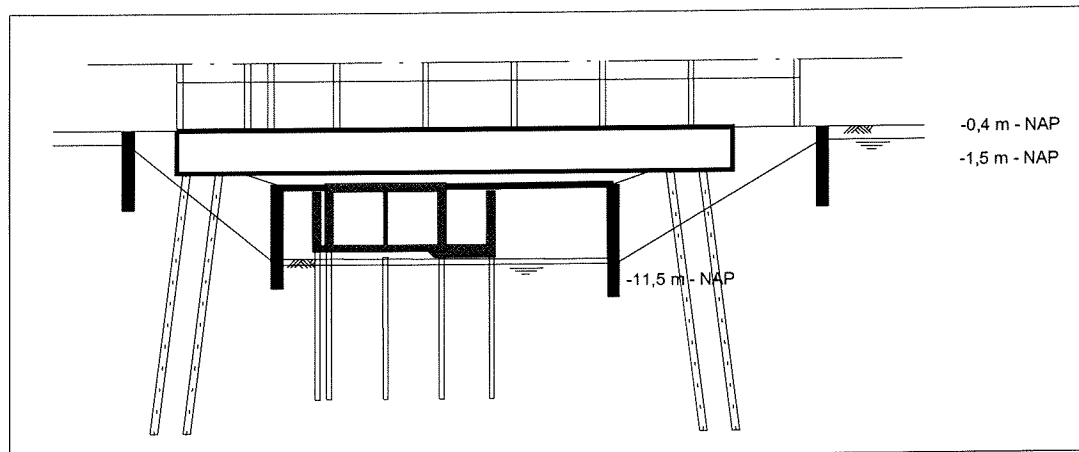


Figuur 87 Bouwkuip onder de parkeergarage, nadat de bestaande middenfundering is gesloopt en de nieuwe fundering is aangebracht wordt de nieuwe vloer gemaakt.

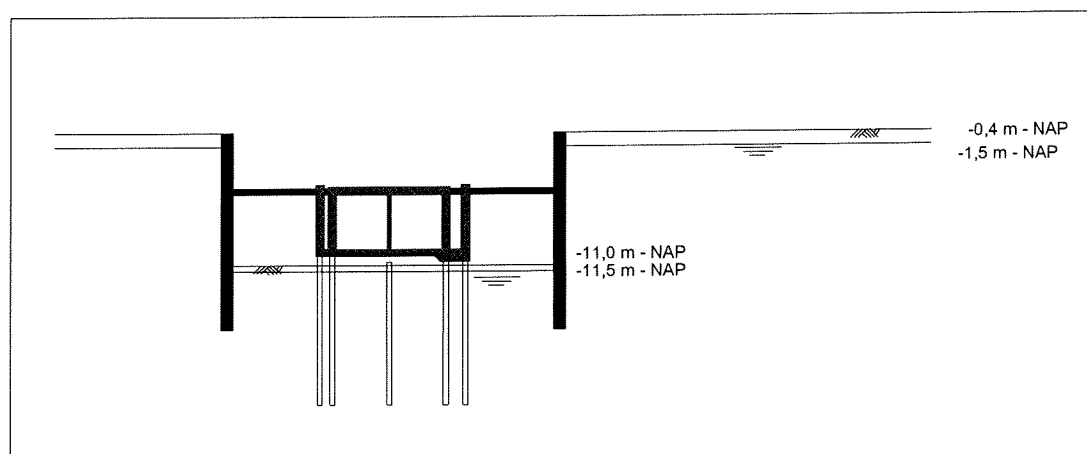
15.5.3 Het maken van de nieuwe wanden

Bij de bouw van de nieuwe wanden moet rekening worden gehouden met verschillende niveaus. Het nieuwe dak in gebied 5 voor het Weenahuis en in gebied 1 onder de parkeergarage moet op een zodanige hoogte worden gemaakt dat het oude dak vrij opgehangen kan worden aan het nieuwe dak, respectievelijk een vrije uitkraging kan zijn. Onder de kelder moet het dak op de plaats van het oude dak komen. Er zit dus een hoogteverschil in het niveau van de wanden.

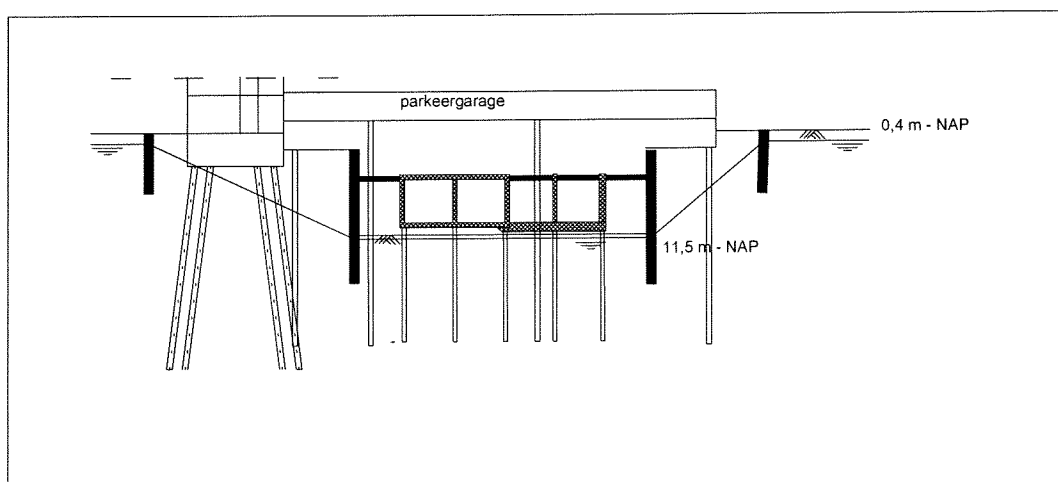
De wanden moeten worden opgenomen in de stempeling tussen de tunnel en de wand. De wand moet dus gefaseerd worden gestort zodat bij het gereedkomen van de wand nieuwe stempels geplaatst kunnen worden die de daarnaast gelegen stempels kunnen vervangen.



Figuur 88 Bouwkuip onder de kelder, de wanden worden gemaakt



Figuur 89 Bouwkuip voor het Weenahuis, de wanden worden gemaakt



Figuur 90 Bouwkuip onder de parkeergarage, de wanden worden gemaakt

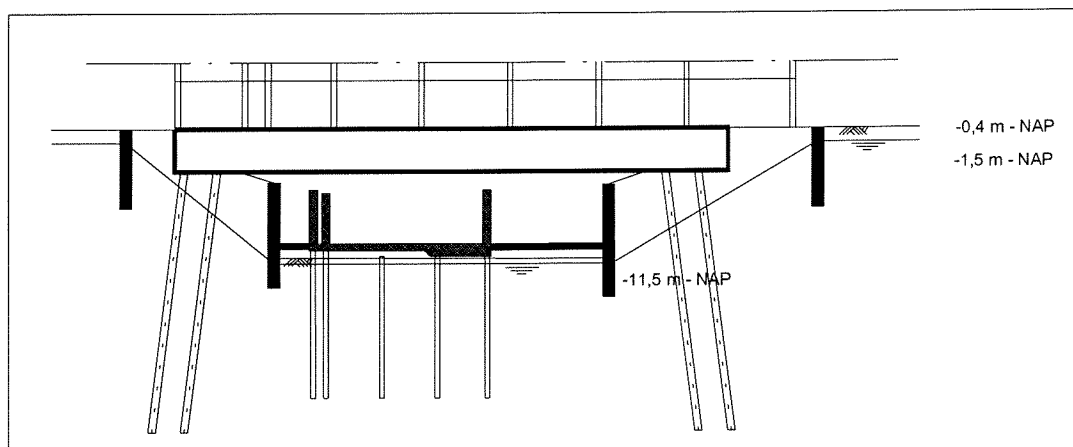
15.5.4 Maken van het nieuwe dak

Voor het maken van het dak is het belangrijk eerst het dak onder de kelder te maken aangezien de andere daken hoger liggen, wat de bouw zou bemoeilijken. Gezien de nauwe werkruimte is het wenselijk om het dak elders te maken en dan in te schuiven. Dit gaat ook sneller, waardoor het metroverkeer niet lang gestremd is. Belangrijk is wel dat dit dak waterdicht is. De koppeling met de wanden kan later gemaakt worden. Het dak kan vlak naast de kelder gemaakt worden.

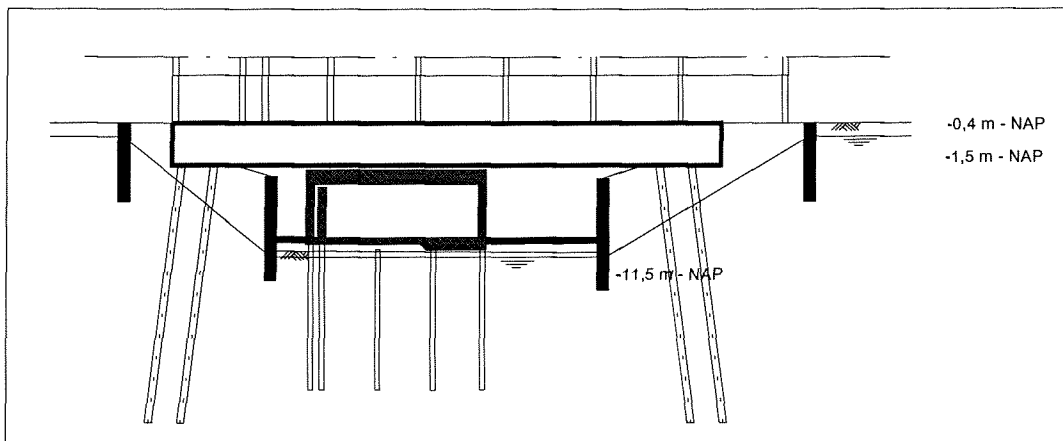
Als eerste moet dus het dak van de bestaande tunnel onder de kelder gesloopt worden. De kolommen en de zijwand kunnen nu ook meteen gesloopt worden. Het dak kan niet gesloopt worden als de stempeling nog aanwezig is. Daarom moeten eerst de stempels verplaatst worden naar onderen ter hoogte van de vloer. De grondkerende wanden onder de kelder moeten hierop berekend zijn.

Vervolgens kan het nieuwe dak ingeschoven worden en constructief en waterdicht verbonden worden met de wanden. De tunnel moet dan snel weer in gereedheid worden gebracht zodat de tunnel kan worden vrijgegeven voor de metro.

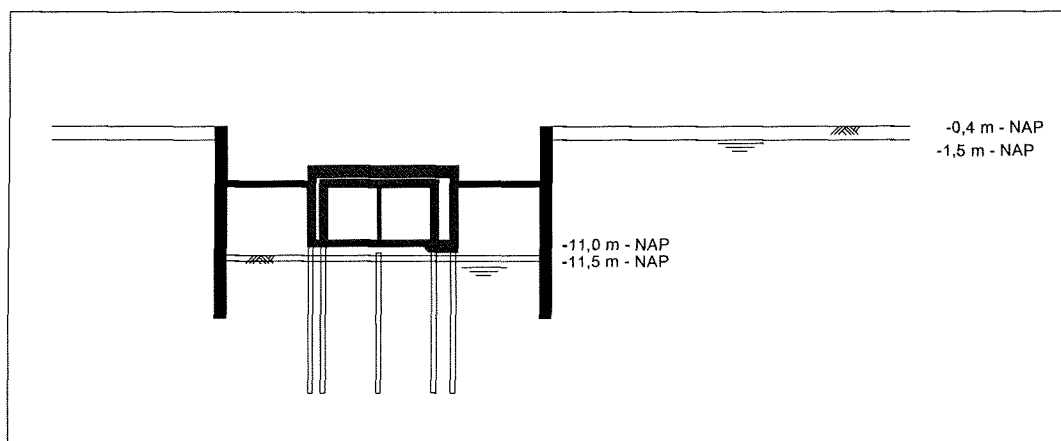
Hierna kunnen ook de andere daken gemaakt worden die het metroverkeer niet hinderen. Een moeilijk punt daarbij is nog dat aan de linkerkant voor het Weenahuis de stempel tussen de nieuwe wand en de oude wand ingeklemd zit in een smalle ruimte. Deze moet weggehaald worden bij de bouw van het dak, want de nieuwe wand mag geen belasting afgedragen aan de oude wand in de eindsituatie. Ook hier kan gefaseerd een dak worden gestort, zodat ook deze stempeling kan worden vervangen. Verder is het noodzakelijk dat de oude daken vrij hangen van de nieuwe daken, zodat geen belasting kan worden overgedragen.



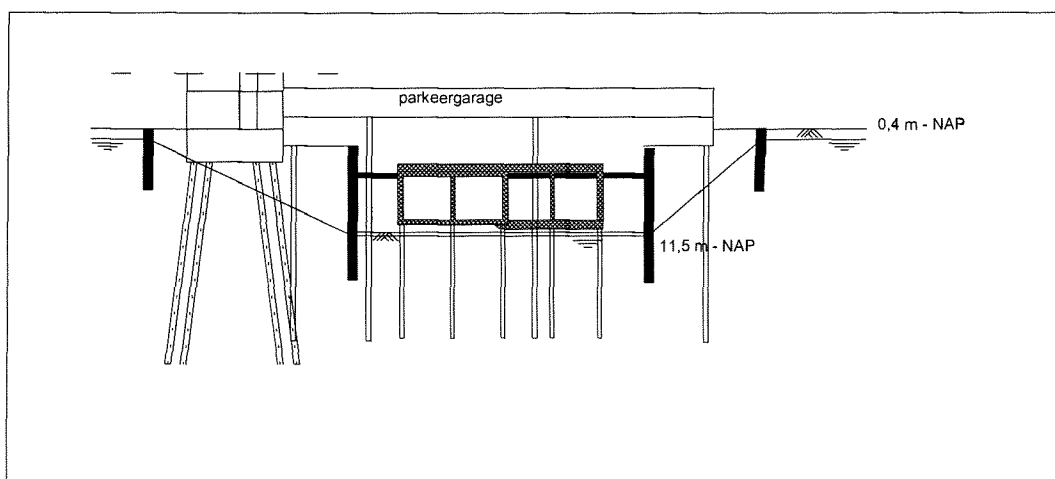
Figuur 91 Bouwkuip onder de kelder, het dak, de middenkolom en de zijwand wordt gesloopt. De stempels zijn verplaatst.



Figuur 92 Bouwkuip onder de kelder, het dak wordt ingeschoven



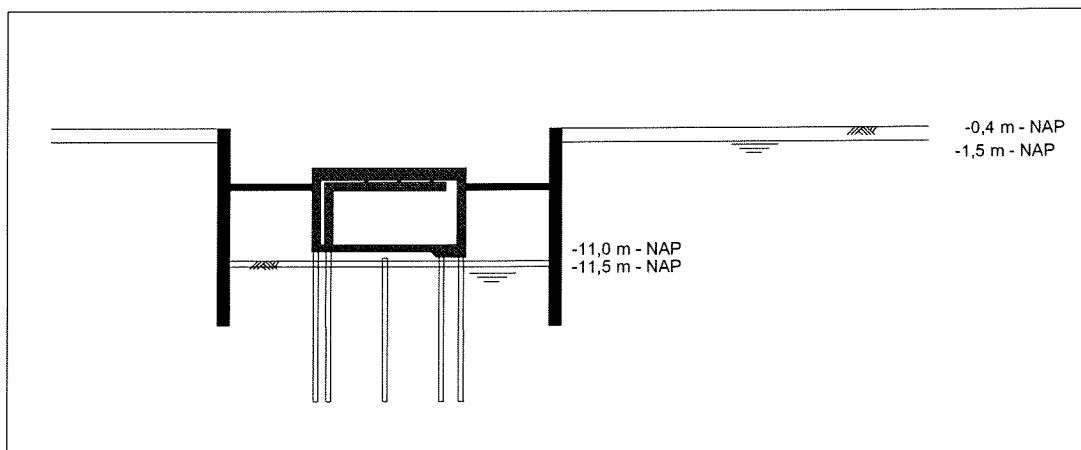
Figuur 93 Bouwkuip voor het Weenahuis, het dak wordt gemaakt



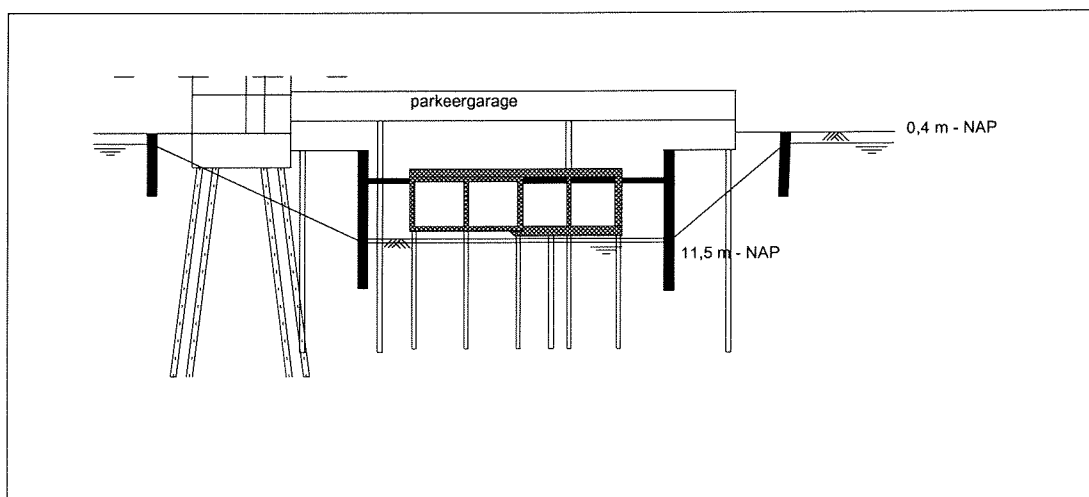
Figuur 94 Bouwkuip onder de parkeergarage, het dak wordt gemaakt

15.5.5 Slopen van de resterende middenkolommen en zijwand

Vervolgens moeten de resterende kolommen en de zijwand van de bestaande tunnel gesloopt worden voor het Weenahuis. Dit zal enige overlast met zich meebrengen voor de metro. Dit kan beperkt worden door gefaseerd te werken. Bij het slopen van de rechter zijwand kan de linker tunnelbuis in gebruik blijven. Bij het slopen van de middenkolommen zal er geen metroverkeer mogelijk zijn. Wanneer de meeste werkzaamheden 's nachts gedaan worden blijft de overlast beperkt. Dit heeft echter wel weer gevolgen voor de bouwsnelheid.



Figuur 95 Bouwkuip voor het Weenahuis, slopen van de overbodige delen van de bestaande constructie



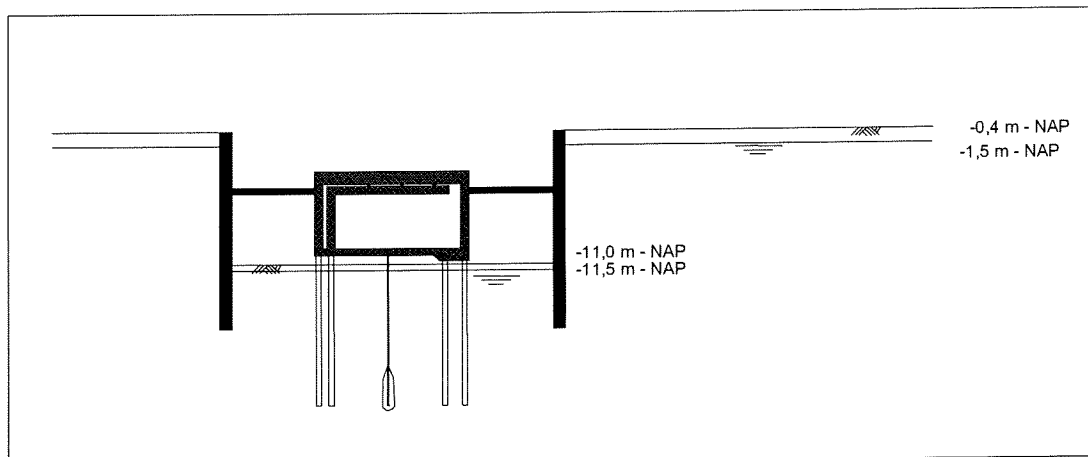
Figuur 96 Bouwkuip onder de parkeergarage, verplaatsen van de fundering van de parkeergarage

Onder de parkeergarage kan nu een nieuwe fundering worden aangebracht voor de parkeergarage wanneer de paal het dak in het midden kruist. Door een nieuwe fundering aan te brengen wordt de last uit de parkeergarage niet overgedragen op de middenkolom en de middenfundering van de oude tunnel, waar deze niet op berekend is.

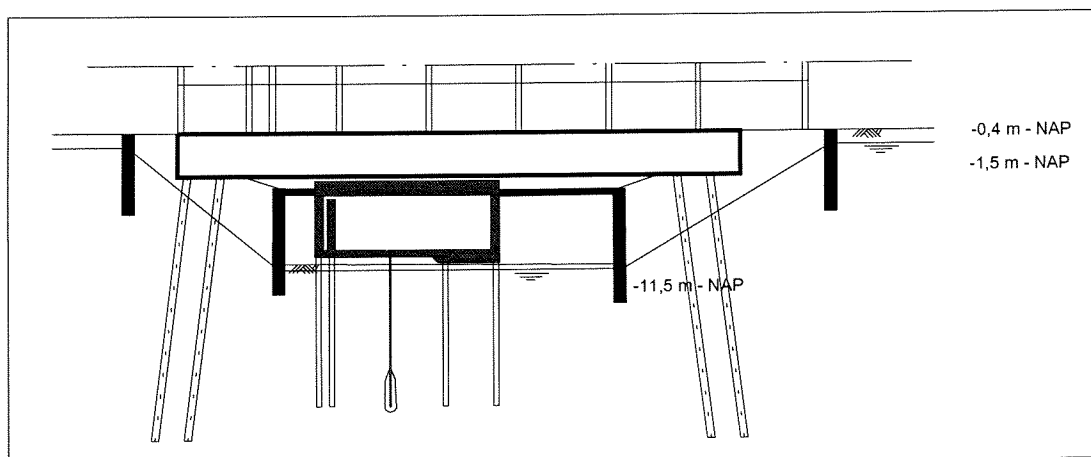
15.5.6 Aanbrengen van GEWI-ankers in de tunnel

Vervolgens moeten GEWI-ankers geplaatst worden tussen de oude middenfunderingen in. Dit moet gebeuren voordat de waterstand mag worden teruggebracht op het oude niveau.

Er wordt eerst een gat in de vloer gemaakt, waardoor een buis in de grond wordt geboord. Vervolgens wordt het anker neergelaten met een injectiebuis. Hierna wordt een groutprop gemaakt aan het anker en wordt de buis teruggetrokken uit de grond. Vervolgens kan het anker op spanning worden gebracht.



Figuur 97 Bouwkuip voor het Weenahuis, het aanbrengen van GEWI-ankers



Figuur 98 Bouwkuip onder de kelder, het aanbrengen van GEWI-ankers

Onder de kelder moeten de stempels weer verplaatst worden voordat de grond kan worden aangevuld. Bij het verhogen van de grondwaterstand en het aanvullen van de grond zitten de stempels onderaan de tunnel in de weg. Deze stempels worden eerst verplaatst naar het niveau van het dak van de tunnel. Zo blijft de stabiliteit van de tunnel gewaarborgd.

15.6 Afwerking van de tunnel en de bouwkuip

15.6.1 Verhogen van de grondwaterstand en het aanvullen van de grond

Nu kan de grond weer worden aangevuld tot op het vorige niveau van de ontgraving, op 6,4 m -NAP. Zo is het mogelijk om de stempels te verwijderen aangezien de grondkering onder de parkeergarage en voor het Weenahuis berekend zijn voor deze situatie.

De grond moet als eerste aangevuld worden onder de kelder. Hierbij is het belangrijk dat ook nu de grond weer van beide kanten van de tunnel aangevuld wordt, hoewel er door de aanwezige stempels geringe hoogteverschillen mogelijk zijn.

Nadat de grond aangevuld is kan ook de waterstand worden verhoogd tot 7,0 m -NAP. Hierbij is er weer een gevaar dat de tunnel gaat opdrijven, aangezien de doorsnede van de tunnel vergroot is. Als verondersteld wordt dat de nieuwe palen niet op trek belast mogen worden kan weer de onderstaande formule toegepast worden.

$$0,9\gamma_b A \geq 1,2\gamma_w h_w b$$

Waarin:

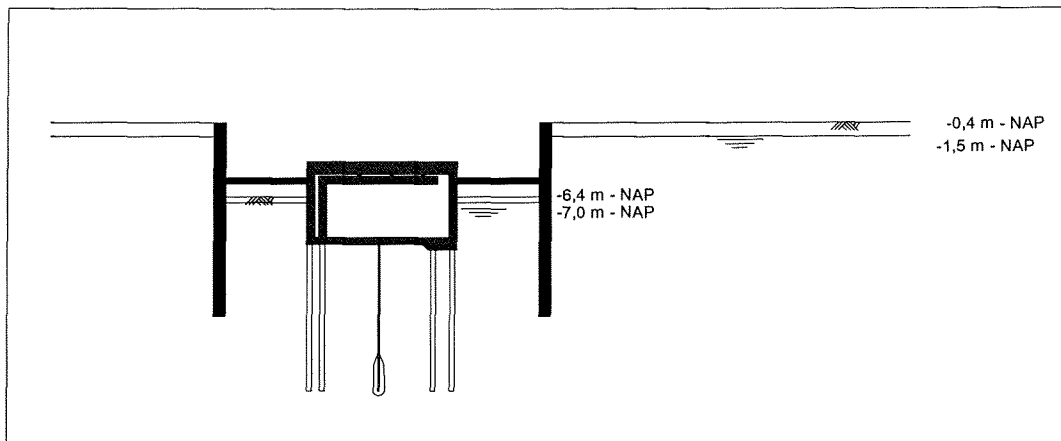
- | | |
|------------|---|
| A | oppervlakte van het beton in de tunneldoorsnede. |
| γ_b | is het volumiek gewicht van het beton, hier 25,0 kN/m ³ . |
| γ_w | is het volumieke gewicht van het poriënwater in de watervoerende laag dat volgens NEN 6740 op 10,0 kN/m ³ gehouden mag worden. |
| h_w | is de hoogte van het grondwater t.o.v. de tunnelbodem, hier bij benadering 3,0 meter. |
| b | de breedte van de tunnel. |

Er is geen rekening gehouden met kleefbelasting en metrobelasting. Ook is geen rekening gehouden met de kracht uit het GEWI-anker. Er is een veiligheidsfactor van 1,2 toegepast op het water en een factor van 0,9 op het eigen gewicht.

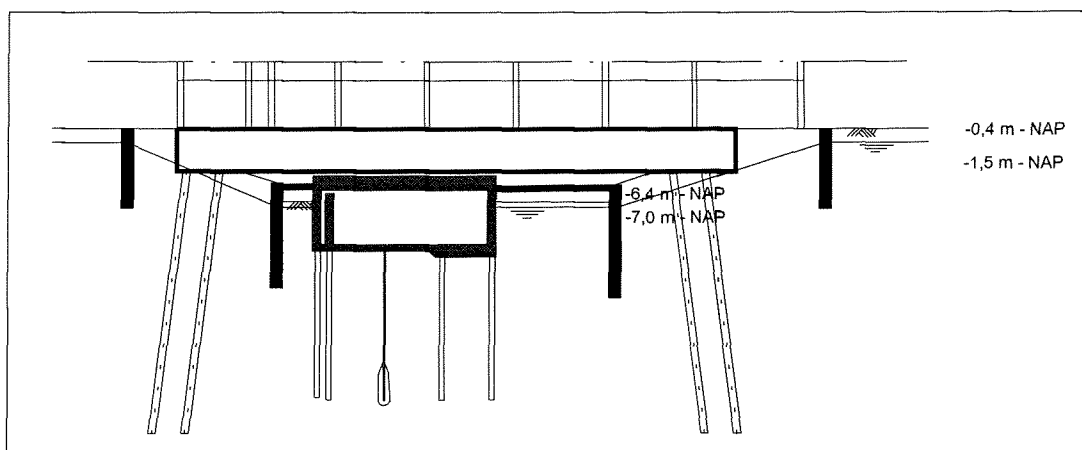
Hieruit volgt voor de volgende doorsneden:

- eind gebied 1; A = 45 m²; b = 20 m; 1015 kN/m ≥ 720 kN/m
 - begin gebied 1; A = 40 m²; b = 15 m; 900 kN/m ≥ 540 kN/m
 - gebied 3; A = 35 m²; b = 13.5 m; 790 kN/m ≥ 490 kN/m
 - eind gebied 5; A = 35 m²; b = 12 m; 790 kN/m ≥ 430 kN/m
 - begin gebied 5; A = 35 m²; b = 12 m; 790 kN/m ≥ 430 kN/m
- zodat geconcludeerd kan worden dat er hier geen gevaar is voor opdrijven.

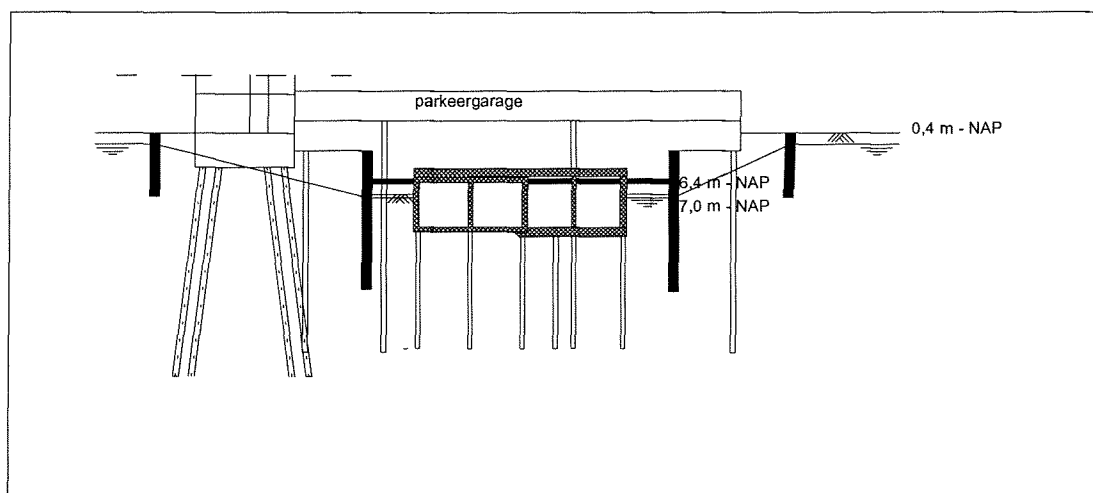
Een ander belangrijk punt van aandacht is dat de tunnel niet mag volstromen met water aan de kant van de Delftsestraat bij het verhogen van de waterstand. Het nieuwe stuk tunnel moet daarom waterdichtverbonden zijn met de grond- en waterkering in de Delftsestraat. De bouwkuip voor de bouw van de tunnel in de Delftsestraat kan nu ook gereedgemaakt worden. De tunnel is dan open in deze nieuwe bouwkuip in de Delftsestraat die aansluit aan de bouwkuip om het Weenahuis.



Figuur 99 Bouwkuip voor het Weenahuis, verhogen van de grondwaterstand en aanvullen van de grond



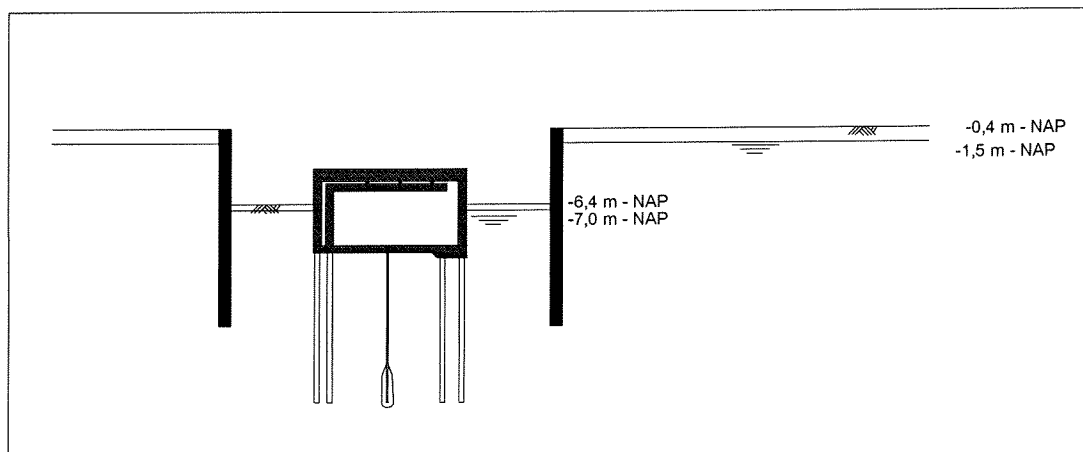
Figuur 100 Bouwkuip onder de kelder, verhogen van de grondwaterstand en aanvullen van de grond



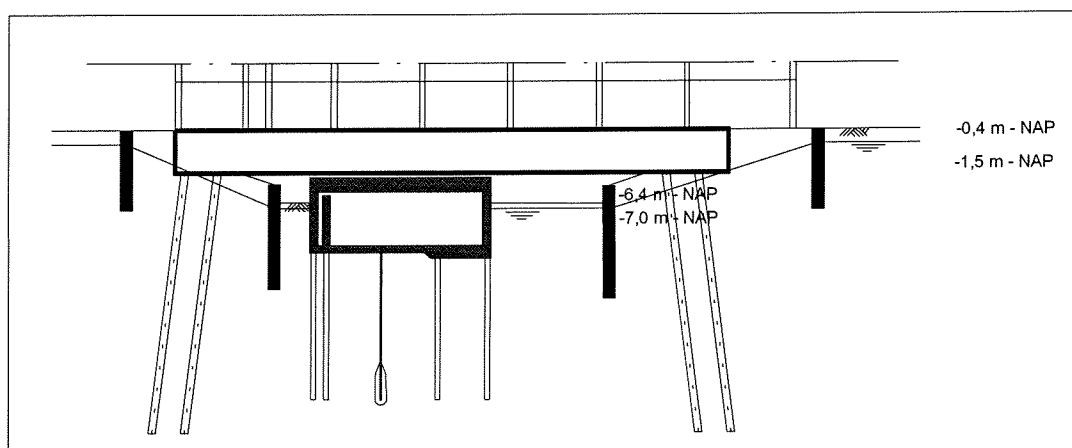
Figuur 101 Bouwkuip onder de parkeergarage, verhogen van de grondwaterstand en aanvullen van de grond

15.6.2 Verwijderen van de stempels

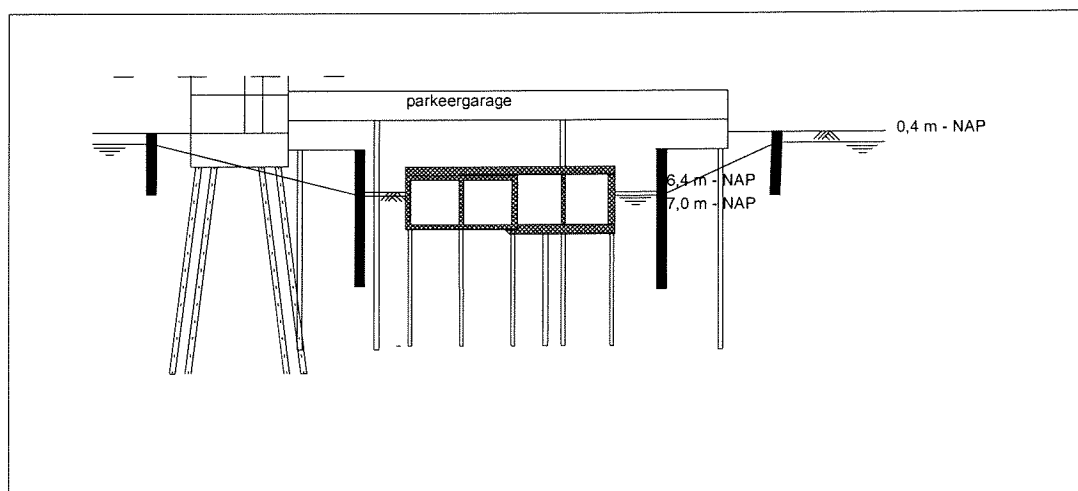
Vervolgens kunnen de stempels verwijderd worden in de gehele bouwkuip.



Figuur 102 Bouwkuip voor het Weenahuis, verwijderen van de stempels



Figuur 103 Bouwkuip onder de kelder, verwijderen van de stempels



Figuur 104 Bouwkuip onder de parkeergarage, verwijderen van de stempels

15.6.3 Aanvullen van de grond en het verhogen van de grondwaterstand

Nu kan ook de rest van de grond aangevuld worden. De grondkerende wanden onder de kelder gaan verloren. De grond onder de kelder kan ook niet helemaal aangevuld worden, maar dat is ook niet vereist. Op de tunnel moeten weer blokken gemaakt worden om te voorkomen dat grond tussen het dak van de tunnel en de onderkant van de keldervloer gaat zitten. Dit was ook zo in de oude situatie. Zo wordt voorkomen dat de kelder belasting kan overdragen op de tunnel.

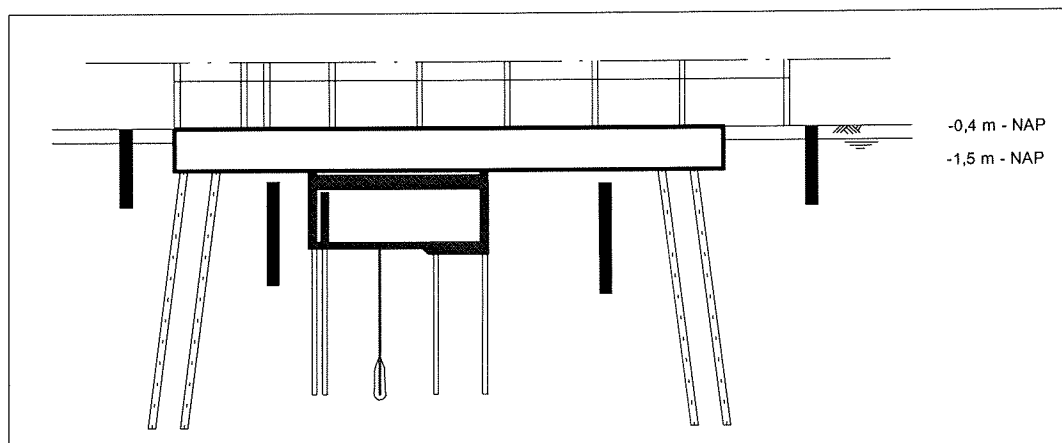
Nu zijn er twee risico's: de tunnel kan opdrijven of de fundering kan bezwijken. De maatgevende situatie waar de fundering op berekend is, was de situatie met een minimale grondwaterstand van 3,0 m - NAP. In deze situatie mag alle bovenbelasting aanwezig zijn.

De maatgevende situatie voor het opdrijven van de constructie is een situatie zonder bovenbelasting en met grondwater langs de gehele tunnelwand.

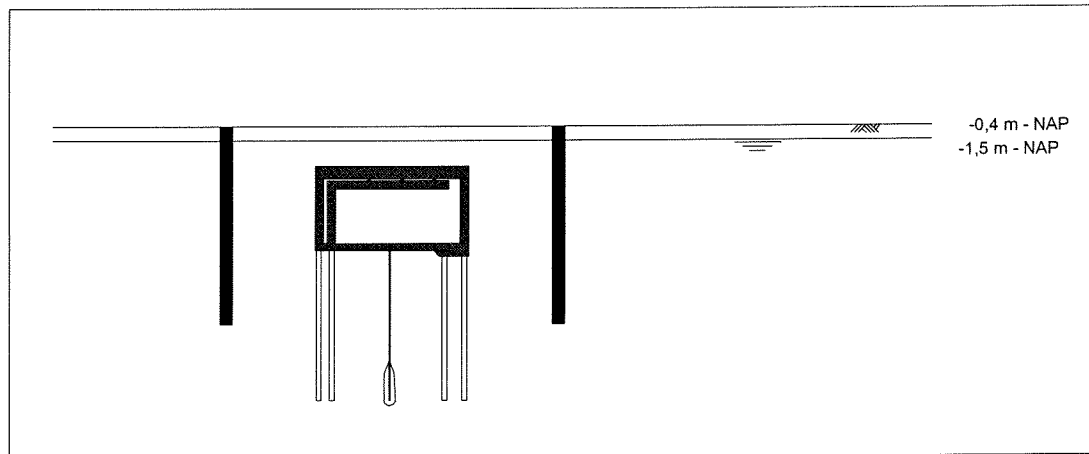
Bij een minimale hoogte voor de doorsneden voor de kelder van 6,5 meter, blijkt de opwaartse kracht ongeveer 950 kN/m te zijn, dit is groter dan de neerwaartse kracht door het eigen gewicht die berekend was op 790 kN/m in paragraaf 15.6.1. Hier moet dus bovenbelasting aanwezig zijn op de tunnel als de waterstand deze kritieke stand bereikt.

Ook in het gebied met het lage dak moet grondebelasting aanwezig zijn wanneer de grondwaterstand wordt verhoogd. In dit gedeelte is de veiligheid tegen opdrijven minder dan in de andere gebieden. Hier moet dus ook relatief meer grond aanwezig zijn op de tunnel dan in de andere gebieden bij het verhogen van de waterstand. De neerwaartse belasting van de tunnel kan ook worden vergroot door in deze bouwphase tijdelijk de tunnel binnenin te voorzien van ballast.

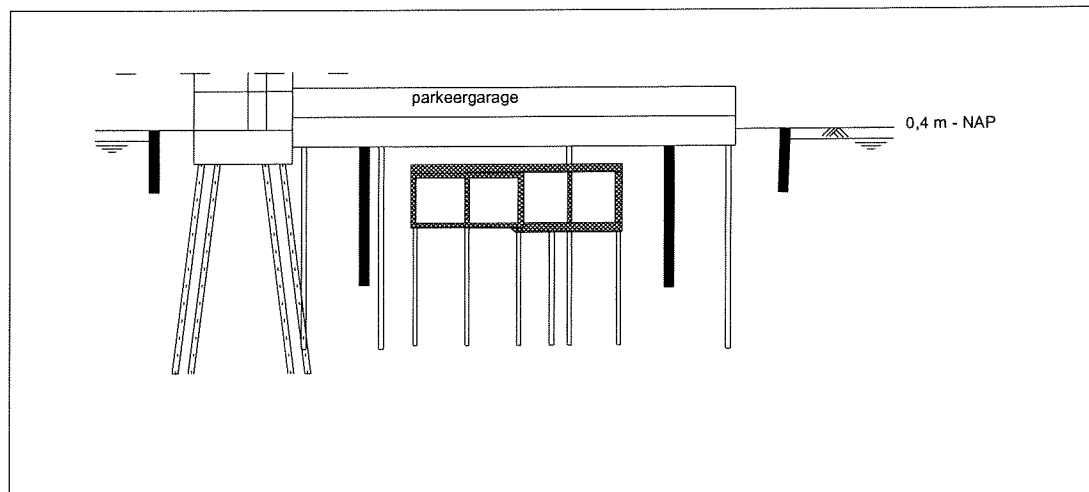
Er moet dus een extra belasting aanwezig zijn op de tunnel voordat de waterstand mag worden verhoogd waarbij de draagkracht van de fundering de bovengrens van de ballast bepaalt. Dit moet in de uitvoeringsfase gedetailleerd berekend worden.



Figuur 105 Bouwkuip onder de kelder, aanvullen van de grond en verhogen van de grondwaterstand



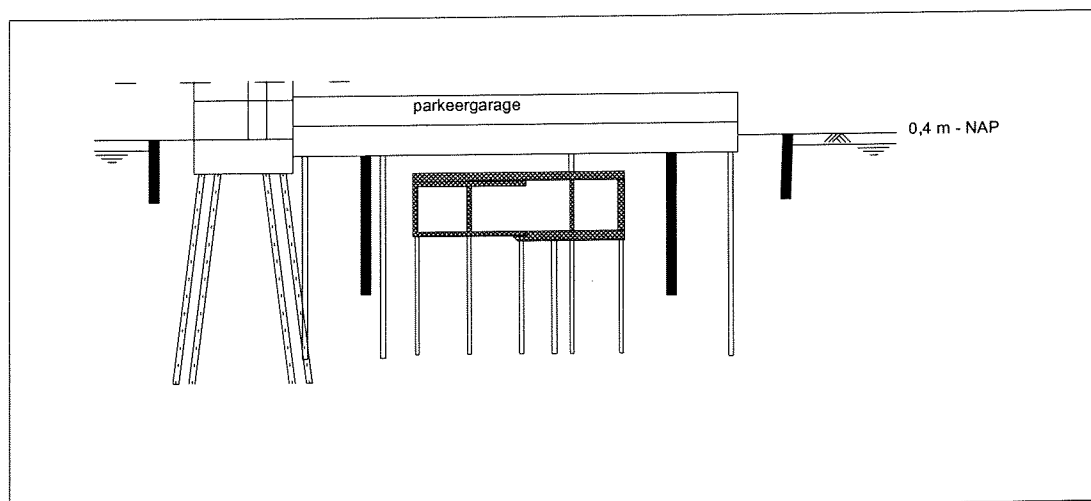
Figuur 106 Bouwkuip voor het Weenahuis, aanvullen van de grond en verhogen van de grondwaterstand



Figuur 107 Bouwkuip onder de parkeergarage, aanvullen van de grond en verhogen van de grondwaterstand

15.6.4 Slopen van de zijwand onder de parkeergarage

Wanneer de stempels weggehaald zijn kan de zijwand ook in gebied 1 gesloopt worden. De gesloopte wand kan via de opening in de tunnel aan de kant van de Delftsestraat naar buiten gebracht worden.

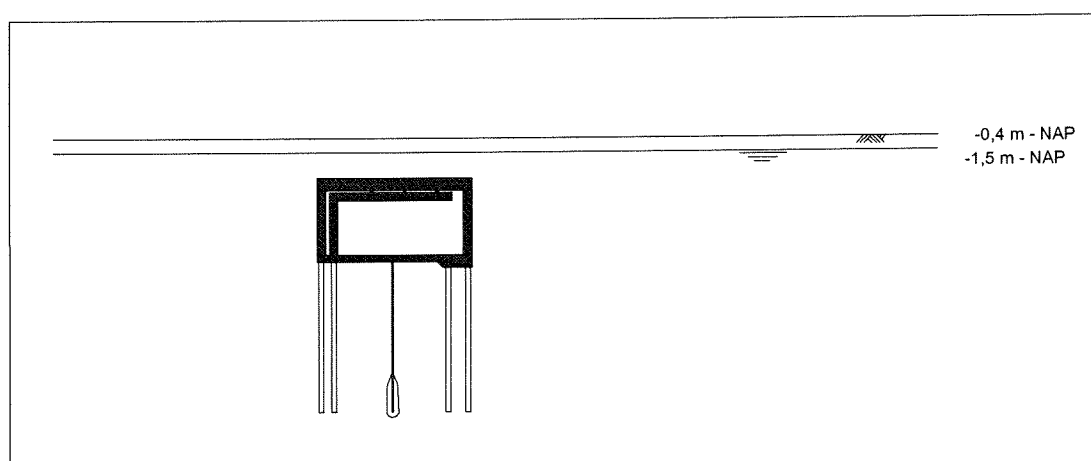


Figuur 108 Bouwkuip onder de parkeergarage, verwijderen van zijwand

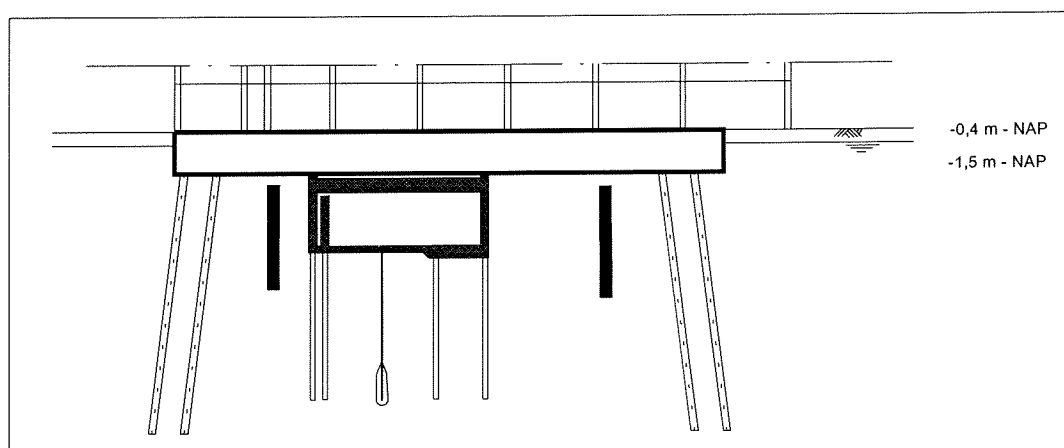
15.6.5 Terugwinnen van de wanden van de bouwkuip

Wanneer de grond is aangevuld kunnen de wanden teruggewonnen worden. Als onder de parkeergarage Berlinerwanden zijn toegepast kunnen de planken al eerder worden teruggewonnen bij het aanvullen van de grond. Het is maar de vraag of de wanden of de I-profielen onder de parkeergarage teruggewonnen kunnen worden. De werkhoogte is zeer beperkt waardoor geen grote machines die palen en wanden uit de grond kunnen trekken, toegepast kunnen worden. Wanneer dit wel mogelijk is zullen de wanden of I-profielen in gedeelten verwijderd moeten worden. Mogelijk zijn de kosten voor het verwijderen van deze grondkerende wand hoger, dan de kostprijs van deze wand. In dat geval is het voordeliger om de wand in de grond achter te laten.

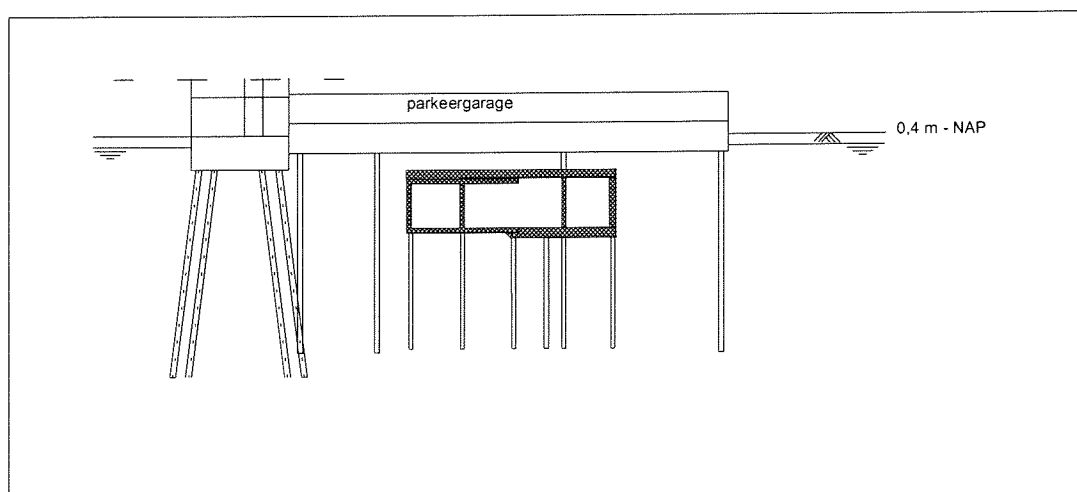
Dezelfde situatie is de waterkering onder de poort tussen het Weenahuis en het daarnaast gelegen kantoorgebouw. De overige wanden kunnen makkelijker worden teruggewonnen.



Figuur 109 Bouwkuip voor het Weenahuis, verwijderen van de grond- en waterkerende wanden



Figuur 110 Bouwkuip onder de kelder, verwijderen van de waterkerende wanden



Figuur 111 Bouwkuip onder de parkeergarage, verwijderen van de grond- en waterkerende wanden

15.6.6 Afwerking en continuering

De tunnel moet van binnen afgewerkt worden. Er moeten kabels en leidingen worden aangebracht. Ook moet de rails, de bijbehorende wissels en de bovenleiding worden aangelegd. Dit kan gebeuren wanneer de sloopwerkzaamheden voltooid zijn in de tunnel.

De bouw van de tunnel kan gecontinueerd worden in de Delftsestraat, wanneer met de bouw van de Spoorsingelvariant begonnen wordt bij de aansluiting.

15.7 Conclusies

Er moet een getrapte ontgraving en verlaging van de grondwaterstand worden toegepast, zodat ook onder de kelder een grondkerende wand kan worden aangebracht. De waterstand kan tot - 7 m NAP verlaagd worden met een volledige

grondbelasting. Nadat de grond tot op de benodigde 6,4 m - NAP afgegraven is drijft de tunnel niet op.

Het verlagen van de waterstand tot het tweede niveau van 11,0 m - NAP geeft een grote paalbelasting in het gedeelte van de bestaande tunnel dat buiten de grondkerende en binnen de waterkerende wand ligt. De fundering zal echter niet bezwijken. Bij het verhogen van de waterstand hoger dan 7 m - NAP is het belangrijk dat er bovenbelasting op de tunnel aanwezig is op de delen van de tunnel die niet onder de kelder liggen, omdat er gevaar voor opdrijven van de tunnel bestaat.

Wanneer er geen bovenbelasting aanwezig is op de bestaande tunnel kan de middenfundering gesloopt worden, zonder gevaar dat de constructie zal bezwijken.

De metro ondervindt hinder bij de sloop van de rechter zijwand over de gehele aansluiting, bij de sloop van de middenkolommen in het gebied waar geen kolommen mogen staan, bij het maken van de GEWI-ankers in de vloer in het gebied waar geen kolommen mogen staan en bij het inrichten van de tunnel. Door grotendeels 's nachts te werken en bij de sloop van de rechterwand de linkerbuis in gebruik te houden kan de overlast voor het metroverkeer worden beperkt.

DEEL E: CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

16. Conclusies

De vraag uit de inleiding of de aansluiting haalbaar is en hoe de aansluiting te realiseren is, kan beantwoord worden door de onderstaande conclusies.

De aansluiting van de RandstadRail op de metrolijn via de Spoorsingel is technisch haalbaar.

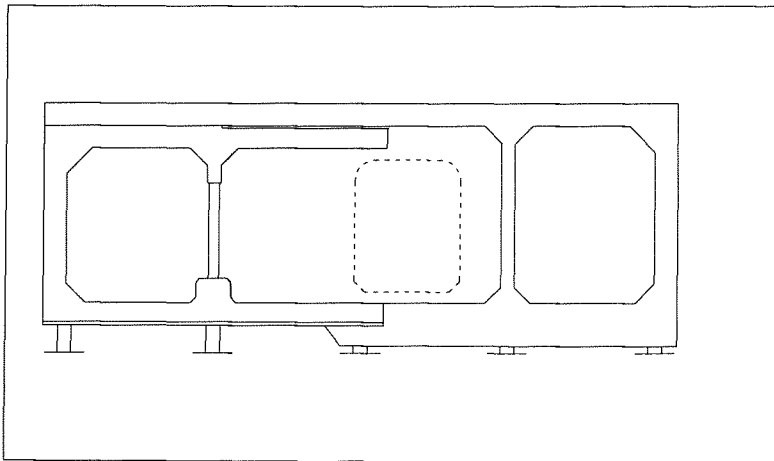
- Er blijken geen grote constructieve obstakels in het tracé te liggen die de aanleg van de RandstadRail onmogelijk zouden maken.
- Ook laten de ontwerpregels voor het horizontaal en verticaal tracé een dergelijke aansluiting toe.
- Bovendien blijkt het mogelijk te zijn om het metroverkeer minimaal te hinderen door de bestaande vloer van de metrotunnel in zijn geheel op te nemen in de nieuwe constructie.
- Verder blijkt de nieuwe constructie, ondanks de beperkte ruimte, inpasbaar te zijn in de bebouwde omgeving.

Het ontwerp van de aansluiting laat weinig vrijheden over door de eis dat het metroverkeer minimaal gestoord mag worden en door de randvoorwaarden uit de volgebouwd omgeving. Het ontwerp wat voldoet is opgebouwd uit de volgende conclusies:

- De plaats van de aansluiting, wanneer de RandstadRail in de Spoorsingel wordt aangelegd, is maar op één plaats mogelijk.
- De aansluiting is precies ter plaats van één afgezonken tunnelmoot van de bestaande tunnel.
- Er zijn twee bouwkuipen nodig. Eén bouwkuip rond het Weenagebouw die voornamelijk een waterkerende functie vervult en één bouwkuip onder het Weenagebouw die voornamelijk een grondkerende functie heeft.
- Als horizontale afsluiting van de bouwkuip kan het beste de aanwezige waterafsluitende kleilaag gebruikt worden. Er is dan spanningsbemaling nodig om te voorkomen dat de afsluitende laag opbarst. Om de verlaging van de stijghoogte van het spanningswater te reduceren is nabij de kwetsbare bebouwing ten noorden van de NS-sporen en het stadhuis retourbemaling nodig.
- Om het metroverkeer minimaal te storen kan de nieuwe constructie grotendeels om de huidige constructie heen worden gebouwd. Daarbij wordt onderscheidt gemaakt in de onderstaande gebieden:
 1. De doorsneden onder de parkeergarage, waar kolommen opgenomen kunnen worden in de doorsnede;
 2. De doorsneden onder de kelder van het Weenahuis, waar geen kolommen opgenomen mogen worden in de doorsnede en de hoogte beperkt is;
 3. De doorsneden voor het Weenahuis, waar ook geen kolommen opgenomen mogen worden in de doorsnede, maar waar wel meer constructiehoogte is.

De doorsneden onder de parkeergarage

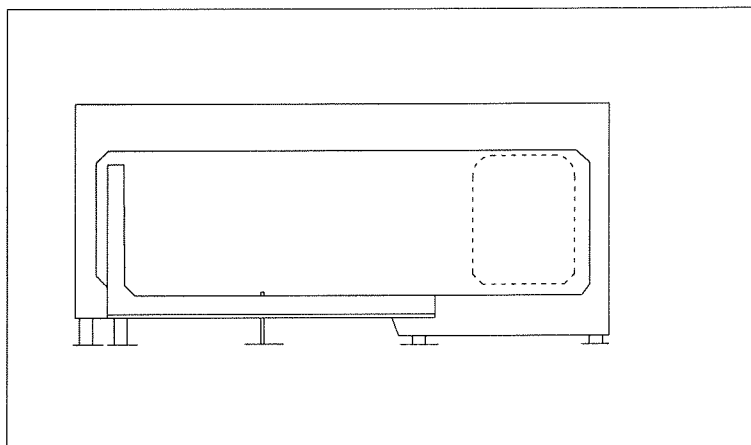
- Een nieuw dak is nodig voor het midden van de overspanning. Het nieuwe dak kan over het bestaande dak gebouwd worden, waarbij de linker tunnelbuis in zijn geheel opgenomen kan worden in de constructie. Het oude dak aan de rechterkant kan als een uitkragende ligger opgenomen worden in de constructie.
- De bestaande vloer kan in zijn geheel opgenomen worden in de nieuwe constructie. Daarvoor is echter de volgende maatregel nodig:
⇒ De nieuwe vloer moet scharnierend verbonden worden met de oude vloer.
- Aan de rechterkant van de tunnel is een nieuwe fundering nodig. Onder de nieuwe rechterzijwand en de nieuwe rechter middenkolom zijn drukpalen vereist. Ter plaatse van de koppeling van de oude en nieuwe vloer zijn trekpalen nodig. Dit kan gereduceerd worden door de vloer dikker te maken, zodat over een gedeelte geen trekpalen nodig zijn.



Figuur 112 Doorsnede onder de parkeergarage

De doorsneden onder de kelder van het Weenahuis

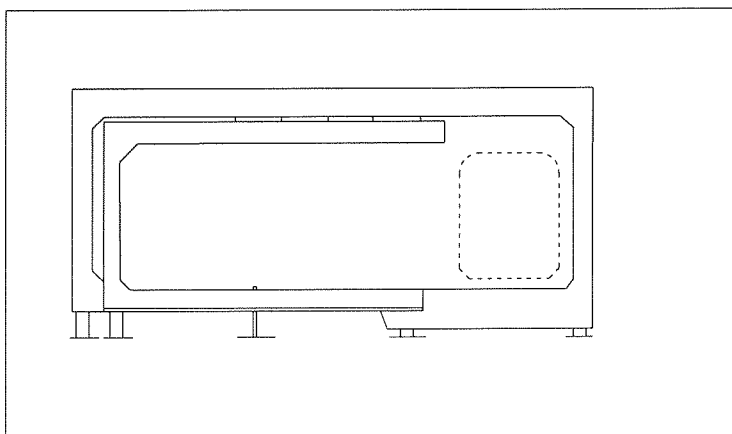
- Een nieuw dak en een nieuwe zijwand zijn nodig. Het nieuwe dak kan niet over het bestaande dak gebouwd worden, maar moet op dezelfde plaats gebouwd worden als het huidige dak. Dit geeft hinder voor het metroverkeer. De zijwand kan wel naast de bestaande zijwand gebouwd worden.
- De bestaande vloer kan in zijn geheel opgenomen worden in de nieuwe constructie. Daarvoor zijn echter de volgende maatregelen nodig:
⇒ De middenfundering van de bestaande tunnel moet gesloopt en vervangen worden door GEWI-ankers.
⇒ De nieuwe vloer moet scharnierend verbonden worden met de oude vloer.
- Aan beide kanten van de tunnel is een nieuwe fundering nodig. Daarnaast zijn trekpalen nodig ter plaatse van de verbinding tussen de oude en de nieuwe vloer. De dikte van de nieuwe vloer moet enkele meters bedragen als men de bestaande fundering op deze plaats op druk wil belasten. Het dikker maken van de vloer heeft hier de functie van het reduceren van de trekkracht en voor het maken van het scharnier.



Figuur 113 Doorsnede onder de kelder

De doorsneden voor het Weenahuis

- Een nieuw dak en een nieuwe zijwand zijn nodig. Het nieuwe dak kan over het bestaande dak gebouwd worden. Het oude dak kan opgehangen worden aan het nieuwe dak. De zijwand kan naast de bestaande zijwand gebouwd worden.
- De bestaande vloer kan in zijn geheel opgenomen worden in de nieuwe constructie. Daarvoor zijn echter de volgende maatregelen nodig:
 - ⇒ De middenfundering van de bestaande tunnel moet gesloopt en vervangen worden door GEWI-ankers.
 - ⇒ De nieuwe vloer moet scharnierend verbonden worden met de oude vloer.
- Aan beide kanten van de tunnel is een nieuwe fundering nodig. Wanneer de nieuwe vloer twee keer zo dik wordt gemaakt als de oude vloer is geen trekpaal nodig ter plaatse van de verbinding tussen de oude en de nieuwe vloer.



Figuur 114 Doorsnede voor het Weenahuis

- In de fase van de uitvoering treden een aantal maatgevende situaties op:
 - ⇒ De tunnel is niet berekend op een situatie met volledige bovenbelasting in combinatie met het verlagen van de grondwaterstand tot onder de tunnel.
 - ⇒ In het hoofdstuk uitvoering wordt een getrapte ontgraving en verlaging van de grondwaterstand toegepast, zodat ook onder de kelder een grondkerende wand

kan worden aangebracht. De waterstand kan tot - 7 m NAP verlaagd worden met een volledige grondbelasting. Nadat de grond tot op de benodigde 6,4 m - NAP afgegraven is drijft de tunnel niet op.

⇒ Het verlagen van de waterstand tot het tweede niveau van 11,0 m - NAP geeft een grote paalbelasting in het gedeelte van de bestaande tunnel dat buiten de grondkerende en binnen de waterkerende wand ligt. De fundering zal echter niet bezwijken.

⇒ Wanneer er geen bovenbelasting aanwezig is op de bestaande tunnel kan de middenfundering gesloopt worden.

⇒ Bij het verhogen van de waterstand hoger dan 7 m - NAP is het belangrijk dat er bovenbelasting op de tunnel aanwezig is op de delen van de tunnel die niet onder de kelder liggen, omdat er gevaar voor opdrijven van de tunnel bestaat.

- De metro ondervindt hinder bij:

⇒ de sloop van de rechter zijwand over de gehele aansluiting.

⇒ de sloop van de middenkolommen in het gebied waar geen kolommen mogen staan.

⇒ Bij het maken van de GEWI-ankers in de vloer in het gebied waar geen kolommen mogen staan.

⇒ Bij het inrichten van de tunnel.

17. Aanbevelingen

Een eerste aanbeveling volgt uit de studie naar het ruimtelijk ontwerp van de Spoorsingelvariant. Daar is de mogelijkheid onderzocht om het tracé langs het stationspostkantoor te leggen. Deze variant heeft een aantal voordelen op de variant waar wel het stationspostkantoor gekruist wordt.

- ⇒ Het stationspostkantoor hoeft niet gesloopt te worden.
- ⇒ Het nieuwe centraal station komt veel centraler te liggen, waardoor de looplijnen voor de reizigers veel korter worden.
- ⇒ Ook wordt nu de posttunnel niet gekruist, zodat deze tunnel makkelijker te realiseren is.

Deze variant wordt nog niet genoemd in de studies over de RandstadRail en kan een nieuw licht werpen op de Spoorsingelvariant. Daarom is het aan te bevelen om deze mogelijkheid mee te nemen in de haalbaarheidstudie van de Spoorsingelvariant en mee te laten wegen in de besluitvorming over de RandstadRail.

Een tweede aanbeveling volgt uit de studie naar het constructief ontwerp. Een punt wat in deze studie nog onderbelicht gebleven is, is de mogelijkheid dat er ongelijkmatige zettingen optreden in de fundering. De bestaande fundering wordt grotendeels opgenomen in de nieuwe constructie. Hierdoor verandert de belasting op de fundering. Bij de bouw van de panden op het Weena zijn de toleranties van de zettingen en de hoekverdraaiingen van de tunnel vastgesteld. Nu zullen opnieuw de toleranties vastgesteld moeten worden, waarna onderzocht moet worden of deze grenzen niet worden overschreden. Dit kan het ontwerp en met name de uitvoering beïnvloeden.

Ook is het belangrijk om te onderzoeken wat de gevolgen zijn voor het Weenahuis. Ook hier zal een gewijzigde belasting op de palen optreden door het verlagen van de stijghoogte van het grondwater en het spanningswater.

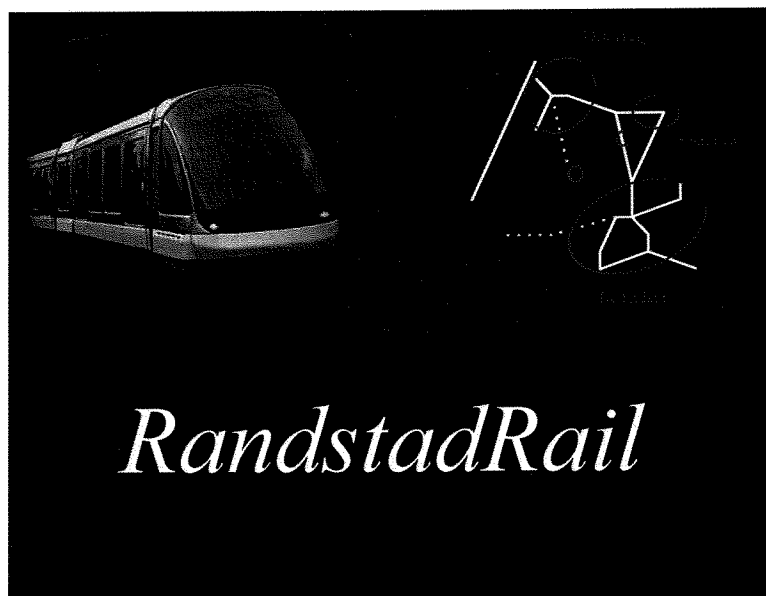
Een derde interessante studie is het maken van een kostenraming van de bouw van de aansluiting, zoals deze in dit rapport gepresenteerd is. De kostenraming kan dan vergeleken worden met de schatting van de kosten van deze aansluiting, die in eerdere haalbaarheidstudies van de diverse tracés gedaan zijn.

Verwijzingen

- ¹ De indeling is gemaakt aan de hand van het boek 'Civiele Kunstwerken' april 1998, en aan de hand van 'Organization of complex problem solving processes', Prof.dr.ir. H.A.J. de Ridder, waarbij het specifieke ontwerpprobleem centraal stond.
- ² Volgens De Bogen Gewogen blz. 14.
- ³ Volgens Planstudie RandstadRail, blz. 21.
- ⁴ Volgens de Global Systeemdefinitie RandstadRail.
- ⁵ Volgens Gegevens Metrobouw en uit een gesprek mer dhr. v/d Mij van de RET.
- ⁶ Volgens de Globale Systeemdefinitie RandstadRail.
- ⁷ Uit afstudeeronderzoek 'Ondertunneling van NS-sporen', V.C.L. Janssens, TU-Delft november 1994, blz.13.
- ⁸ De diepteligging is enkel functioneel bepaald. Er gaat geen opdrijvings- of sterkte berekening aan vooraf.
- ⁹ Gegevens Metrobouw, vanaf blz. 94.
- ¹⁰ Uit Gegevens Metrobouw en de Globale Systeemdefinitie RandstadRail.
- ¹¹ Gegevens Metrobouw, blz. 134.
- ¹² Gegevens Metrobouw
- ¹³ Gegevens Metrobouw, blz. 116.
- ¹⁴ Volgens Noordlijn, Programma van Eisen, RET, vanaf blz. 47.
- ¹⁵ De gegevens van leidingen en kabels in het gebied zijn verstrekt door het Leidingenbureau van gemeentewerken Rotterdam. De gegevens uit de kaart zijn bijgewerkt tot 10 mei 1999.
- ¹⁶ De bodemopbouw blijkt uit de sondering van Fugro van het Weena zoals weergegeven in bijlage IV. Deze sondering is mij verstrekt door Grondmechanica Delft. De toegekende waarden van de grond zijn overgenomen van de uitkomsten van het grondonderzoek t.b.v. de bouw van de Willemspoortunnel (bouwput Blaak). De eigenschappen van de bodem onder het Weena worden gelijk verondersteld. De waarden zijn, voor zover bekend, overgenomen uit het artikel 'Geotechnische aspecten van de bouw van de Willemspoortunnel' Civiele Techniek 1992 nummer 4. De ontbrekende waarden worden later ingevuld.
- ¹⁷ De gegevens zijn verstrekt door Gemeentewerken Rotterdam. Ter plaatse van het Weenahuis zijn geen putten gestationeerd. De gegevens komen van putten uit de nabije omtrek.
- ¹⁸ Bekendmaking voorbereidingsbesluit, dS+V, Rotterdam 21 april 1999.
- ¹⁹ De Besselfunctie is een benadering van de differentiaalvergelijking van de vorm: $x^2y'' + xy' + (x^2 - v^2)y = 0$. Deze benadering kan in diverse orden worden benaderd. De benaderingsformules zijn dusdanig bewerkelijk dat deze doorgaans in tabellen worden gepresenteerd. Voor meer informatie zie bv: *Elementary differential equations and boundary value problems*, W.E. Boyce, 1992, John Wiley & Sons, Inc. Singapore.
- ²⁰ Uit Cement 1963 nr. 8

De Spoorsingelvariant

*Een ontwerp van de tunnelverbinding tussen de metro en de RandstadRail
in het centrum van Rotterdam*



Bijlagen



**Ballast Nedam
Engineering**



De Spoorsingelvariant

*Een ontwerp van de tunnelverbinding tussen de metro en de RandstadRail
in het centrum van Rotterdam*

Door:

H.A. Kruizenga

student TU-Delft faculteit Civiele Techniek

Begeleiders:

Prof.drs.ir. J.K. Vrijling

TU-Delft faculteit Civiele techniek

Prof.ir. A.F. van Tol

TU-Delft faculteit Civiele techniek

Ir. K.J. Bakker

TU-Delft faculteit Civiele techniek

Ir. C.Q. Klap

Ballast Nedam Engineering



**Ballast Nedam
Engineering**


TU Delft
Technische Universiteit Delft

Bijlagen

Bijlage I	RandstadRail
Bijlage II	Varianten RandstadRail
Bijlage III	Metro belastingen
Bijlage IV	Plattegronden Rotterdam
Bijlage V	Gegevens bebouwing
Bijlage VI	Gegevens metrotunnel
Bijlage VII	Kabels en leidingen
Bijlage VIII	Sondering Weena
Bijlage IX	Gegevens grondwater
Bijlage X	Theorie over het ontwerp van spoorwegen
Bijlage XI	Overzicht uitvoeringsmethoden bouwkuip
Bijlage XII	Berekeningen van de bemaling
Bijlage XIII	Berekeningen van het uiteindelijke ontwerp



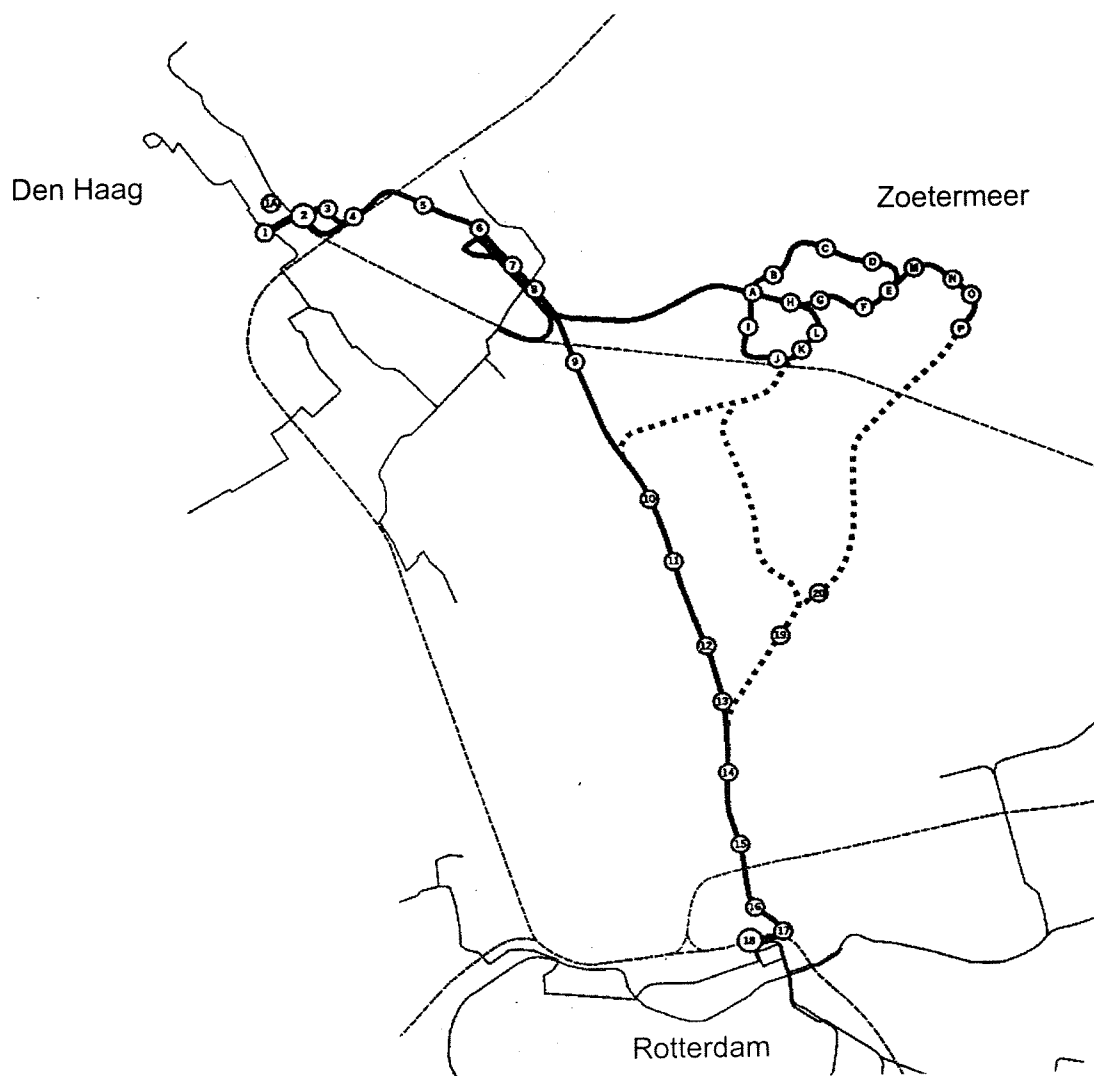
Bijlage I RandstadRail

RandstadRail



**Ballast Nedam
Engineering**

RandstadRail



1	Grote Markt	14	Wilgenplas
1a	Spui	15	Kleiweg
2	Den Haag C.S.	16	Bergweg
3	Beatrixkwartier	17	Rotterdam Hofplein
4	Laan van NOI	18	Rotterdam C.S.
5	Voorburg 't Loo	19	Berkel-Boterdorpseweg
6	Leidschendam	20	Berkel-Berkelseweg
7	Forepark		
8	Leidscheveen		
9	Nootdorp		
10	Pijnacker		
11	Pijnacker-Zuid		
12	Berkel		
13	Rodenrijs		

Bijlage II Varianten RandstadRail

Blijdorpboog

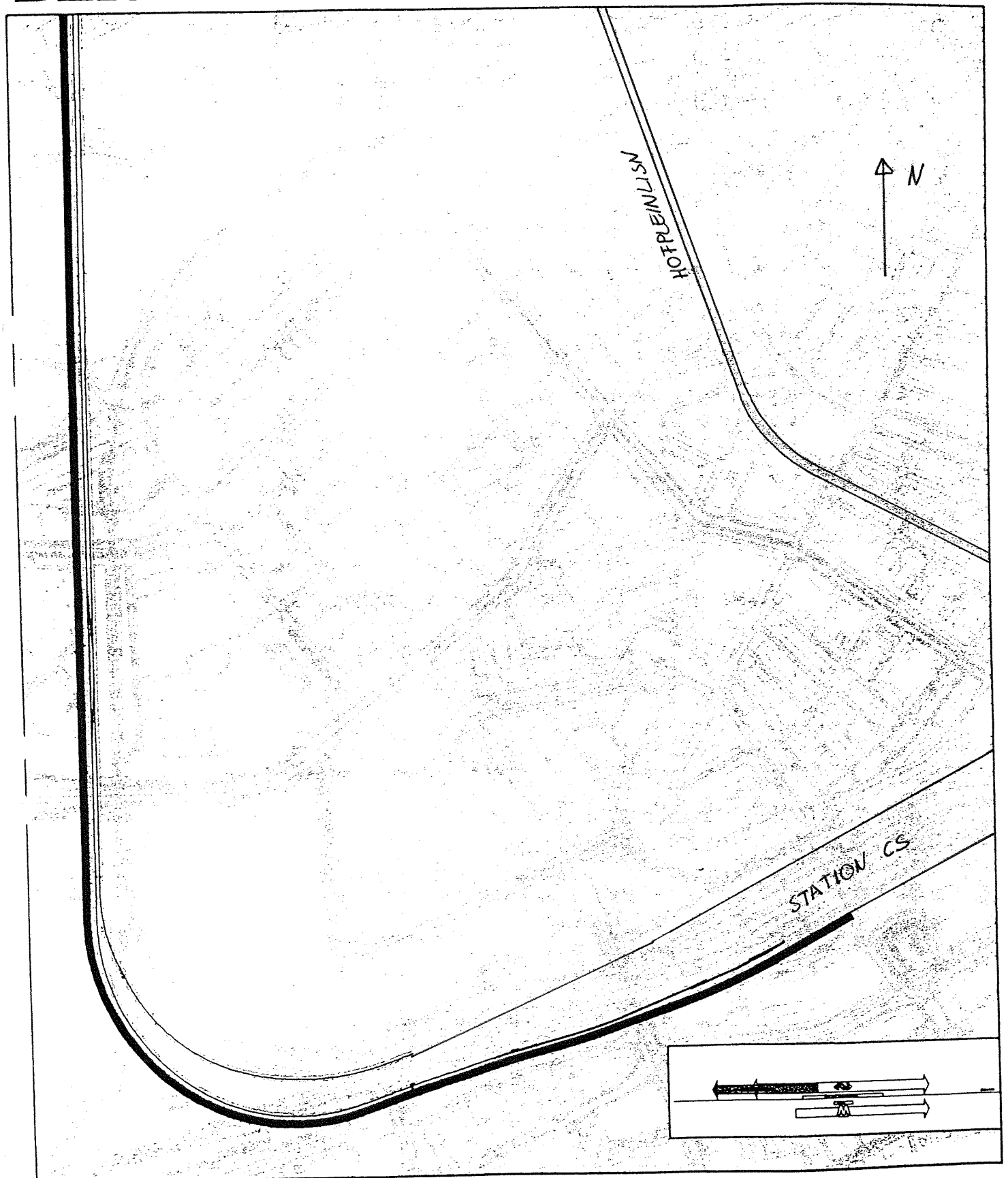
Bokelwegboog

Spoorsingelvariant

Statenwegtracé



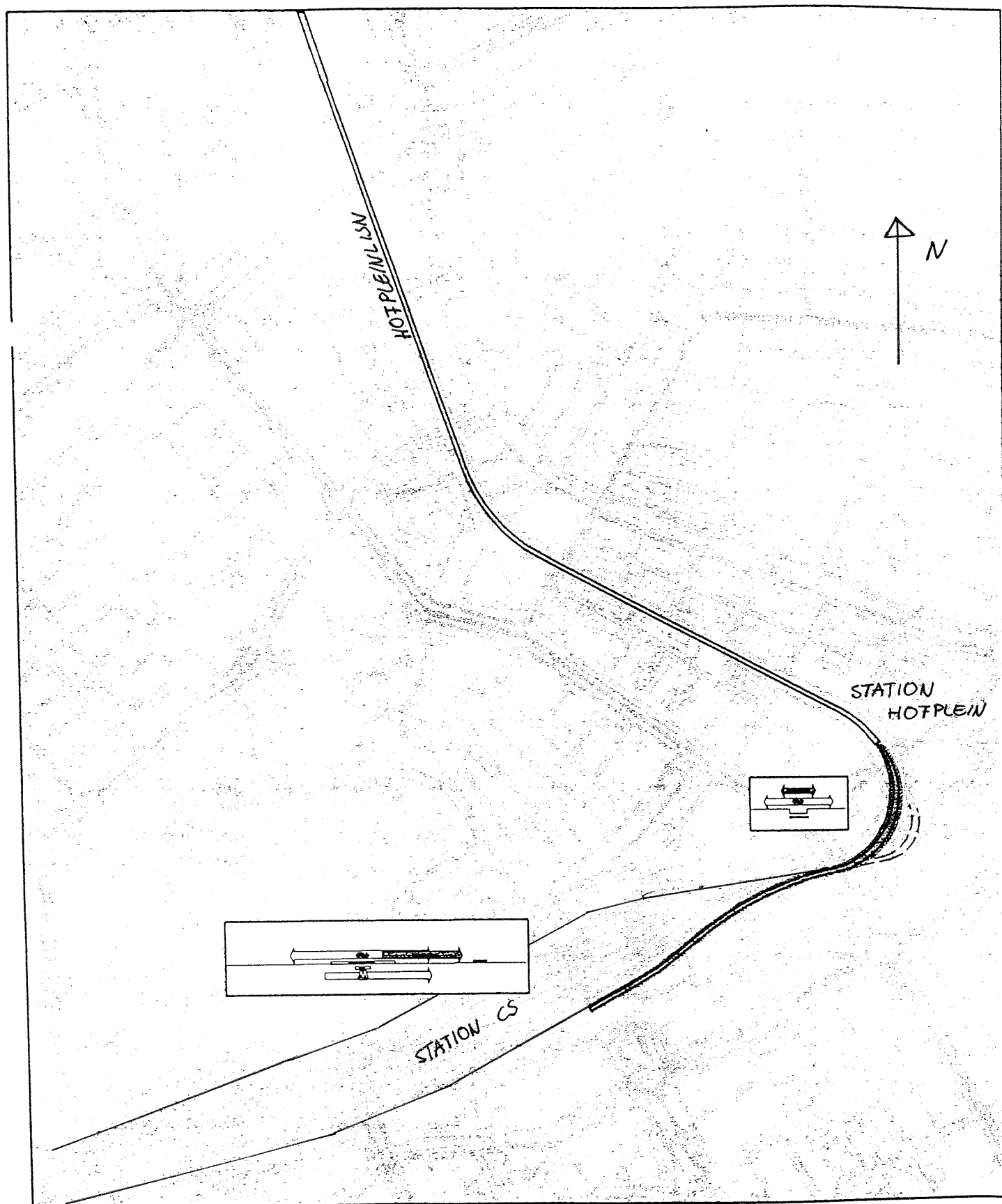
BLIJDORPBOOG



VOORSTEL: Gezamenlijke Vervoersbedrijven
CONCEPT: huidig spoorniveau

KAART 3

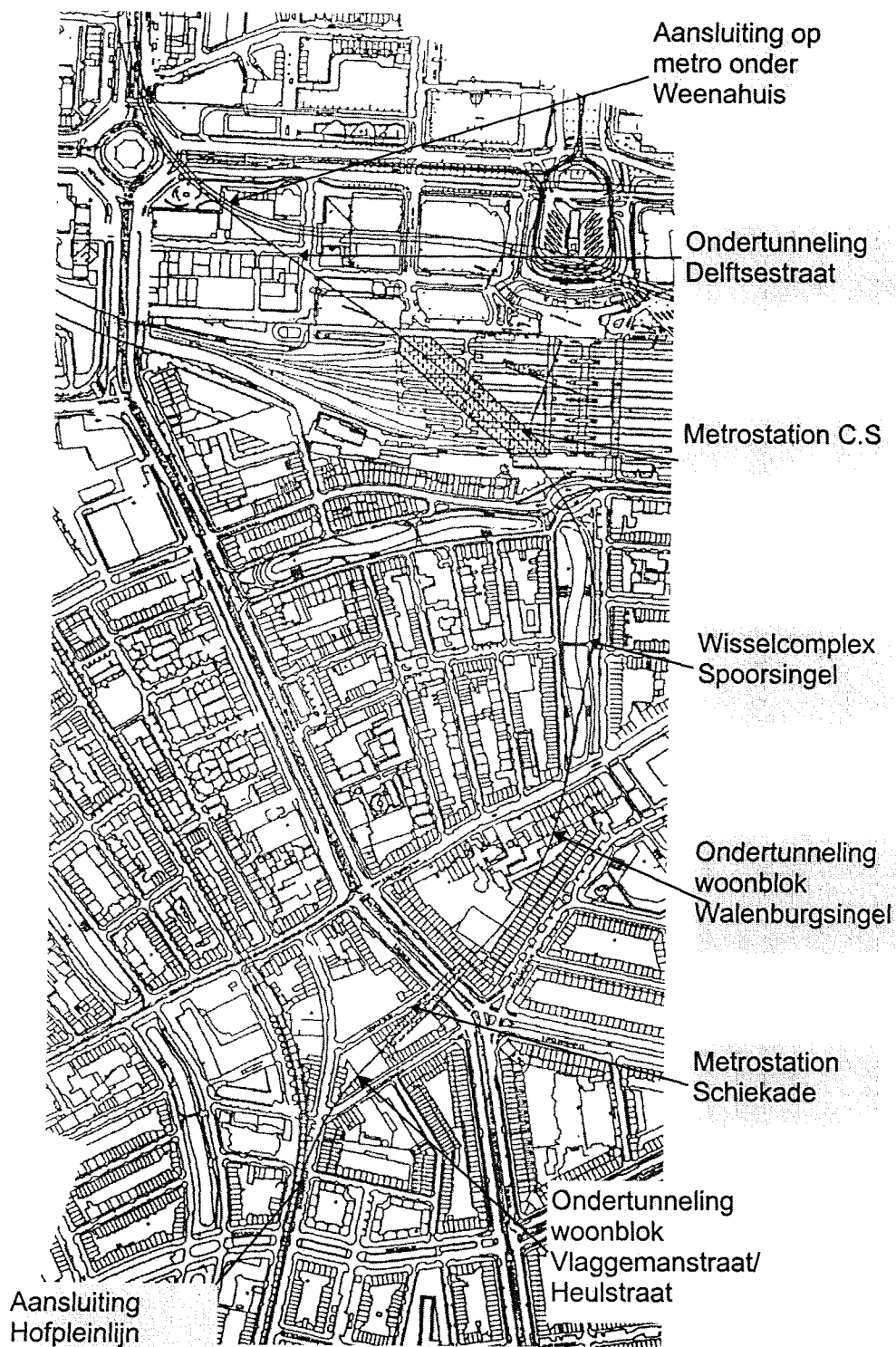
BOKELWEGBOOG



VOORSTEL: Projectbureau Hogesnelheidslijn Zuid Infra
CONCEPT: huidig spoorniveau zuidzijde

KAART 2

Spoorsingelvariant



Statenwegtracé



Bijlage III Metro belastingen

Metrobelastingen

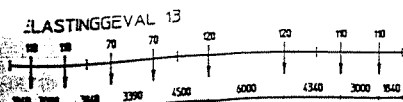


**Ballast Nedam
Engineering**

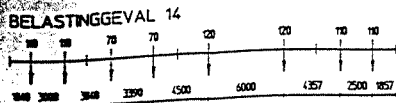


TU Delft

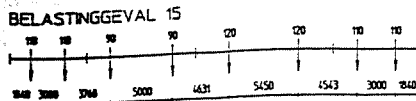
Technische Universiteit Delft



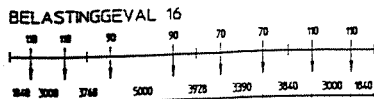
LOK MD 6000 + TRANSPORTWAGEN HV 7002 +
KRAANWAGEN HK 7003 + LOK MD 6000



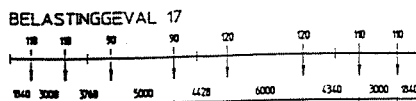
LOK MD 6000 + TRANSPORTWAGEN HV 7002 +
KRAANWAGEN HK 7003 + SLIJPWAGEN



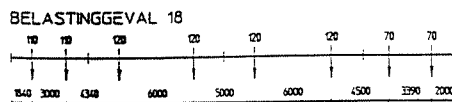
LOK MD 6000 + MATERIAALWAGEN HM 7101 +
HEFPLATFORMWAGEN HV 7001 + LOK MD 6000



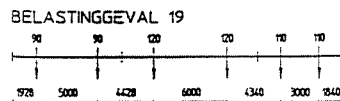
LOK MD 6000 + MATERIAALWAGEN HM 7101 +
TRANSPORTWAGEN HV 7002 + LOK MD 6000



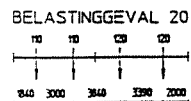
LOK MD 6000 + MATERIAALWAGEN HM 7101 +
KRAANWAGEN HK 7003 + LOK MD 6000



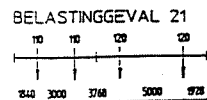
LOK MD 6000 + 2 OF MEER WERKWAGENS HR 7011 +
TRANSPORTWAGEN HV 7002



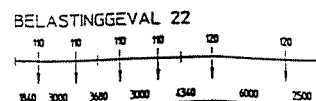
MATERIAALWAGEN HM 7101 + 1 OF MEER
WERKWAGENS HR 7011 + LOK MD 6000



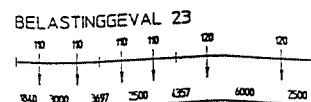
LOK MD 6000 + TRANSPORTWAGEN HV 7002



LOK MD 6000 + MATERIAALWAGEN HM 7101



LOK MD 6000 + LOK MD 6000 +
KRAANWAGEN HK 7003



LOK MD 6000 + SLIJPWAGEN +
KRAANWAGEN HK 7003

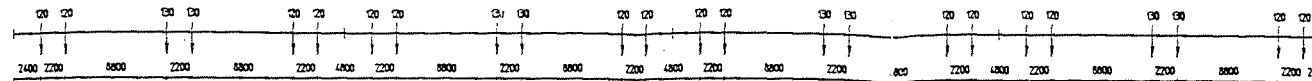
Bijzondere combinaties

N.B. : Alle krachten zijn uitgedrukt in kN.

Bij elk belastinggeval op een spoor mag het
andere spoor belast worden volgens belastinggeval 1.
Alle belastinggevallen waarin minder wagens
aanwezig zijn dan aangegeven zijn toegestaan.

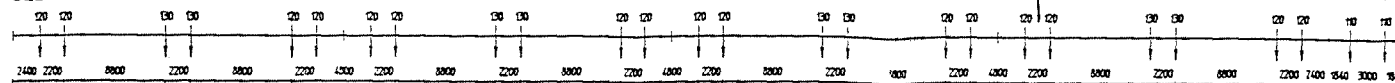
ROTTERDAMSE ELEKTRISCHE TRAM				COMPUTERTEKENING	
AFD. WEG EN WERKEN VOORBEHEIDING BAAN				MAG.Nr.CPL.:	
PROJECTIE METHODE				SCHAAL:	
				TOEGEZ.TEK.:	
GETEK. GECONT. GEZIEN DATUM v.d.W. 22-09 1992				BEH.BIJ: W5-57208	
DIVERSE BELASTINGCOMBINATIES VAN RIJTOUGEN EN WERKTREINEN				☒ A ☒ B ☒ C ☒ D ☒ E ☒ F ☒ G ☒ H ☒ I ☒ J ☒ K	

BELASTINGGEVAL 1



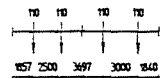
4 RIJTUIGEN MG 2

BELASTINGGEVAL 2



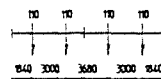
4 RIJTUIGEN MG 2 + LOK MD 6000

BELASTINGGEVAL 3



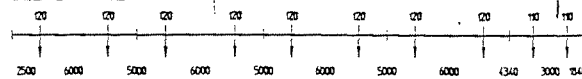
RAILSLIJPWAGEN + LOK MD 6000

BELASTINGGEVAL 4



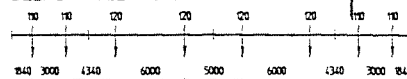
2 GEKOPPELDE LOK'S MD 6000

BELASTINGGEVAL 5



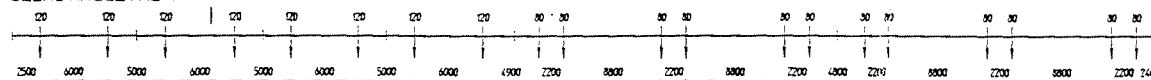
4 WERKWAGENS HR 7011 + LOK MD 6000

BELASTINGGEVAL 6



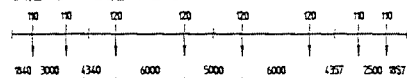
LOK MD 6000 + 2 OF MEER
WERKWAGENS HR 7011 + LOK MD 6000

BELASTINGGEVAL 7



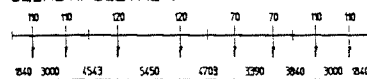
4 WERKWAGENS HR 7011 + 1 OF 2
RIJTUIGEN MG 2 (LEEG)

BELASTINGGEVAL 8



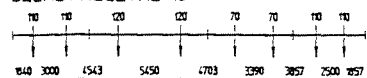
LOK MD 6000 + 2 WERKWAGENS HR 7011 -
SLIJPWAGEN

BELASTINGGEVAL 9



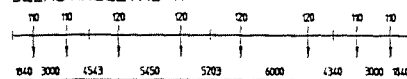
LOK MD 6000 + HEFPLATFORMWAGEN HV 7001 +
TRANSPORTWAGEN HV 7002 + LOK MD 6000

BELASTINGGEVAL 10



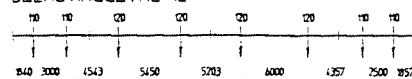
LOK MD 6000 + HEFPLATFORMWAGEN HV 7001 +
TRANSPORTWAGEN HV 7002 - SLIJPWAGEN

BELASTINGGEVAL 11



LOK MD 6000 + HEFPLATFORMWAGEN HV 7001 +
KRAANWAGEN HK 7003 + LOK MD 6000

BELASTINGGEVAL 12



LOK MD 6000 + HEFPLATFORMWAGEN HV 7001 +
KRAANWAGEN HK 7003 + SLIJPWAGEN

Bijlage IV Plattegronden Rotterdam

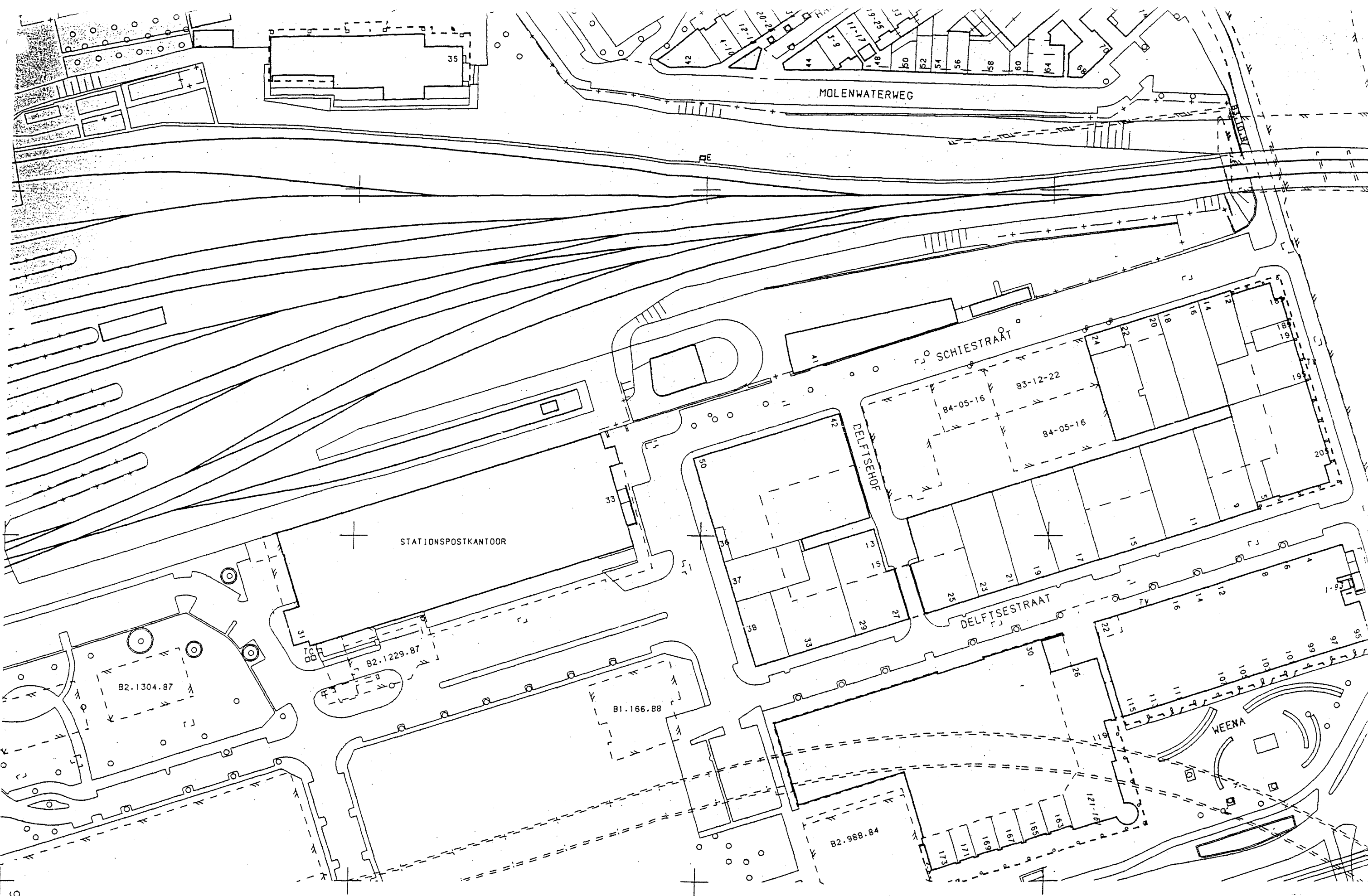
Plattegrond Rotterdam: centrum

Plattegrond Rotterdam: tussen de sporen en het Weena



Plattegrond Rotterdam centrum





Bijlage V Gegevens bebouwing

Bovenaanzicht, langs- en dwarsdoorsneden Weenahuis

Toelichting palenplan kantoorgebouw Weenahuis

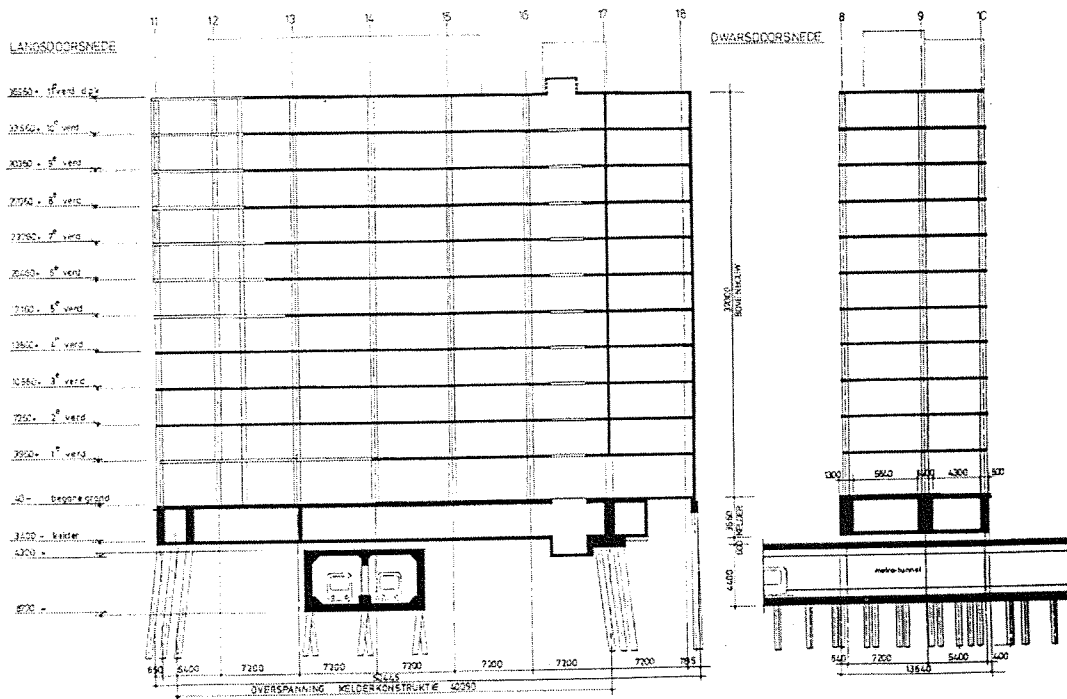
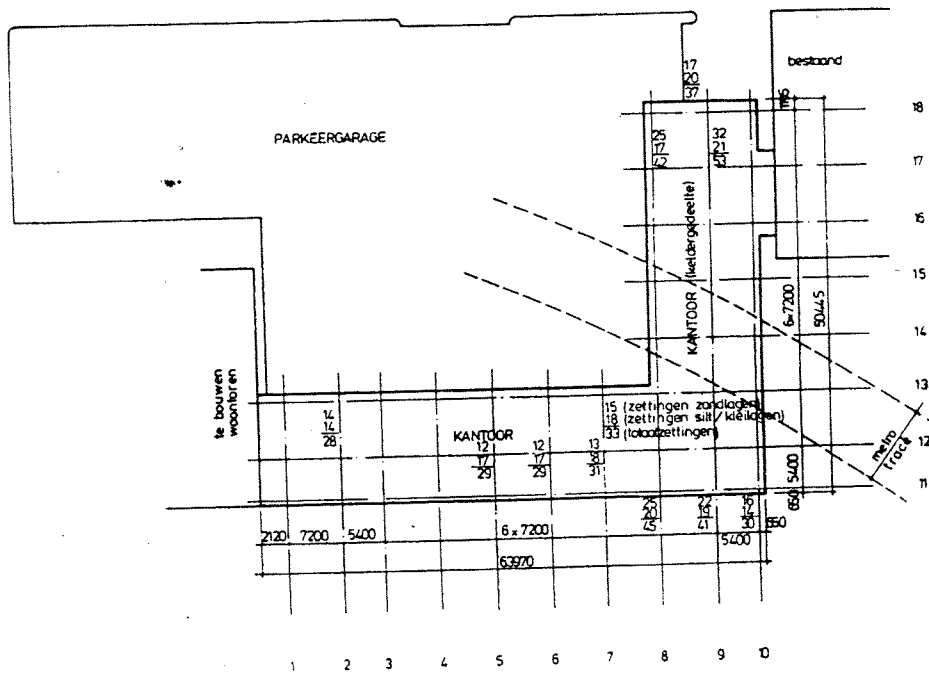
Palenplan kantoorgebouw Weenahuis (2 X)

Stationspostgebouw (3 X)

Bebouwing Delftsestraat



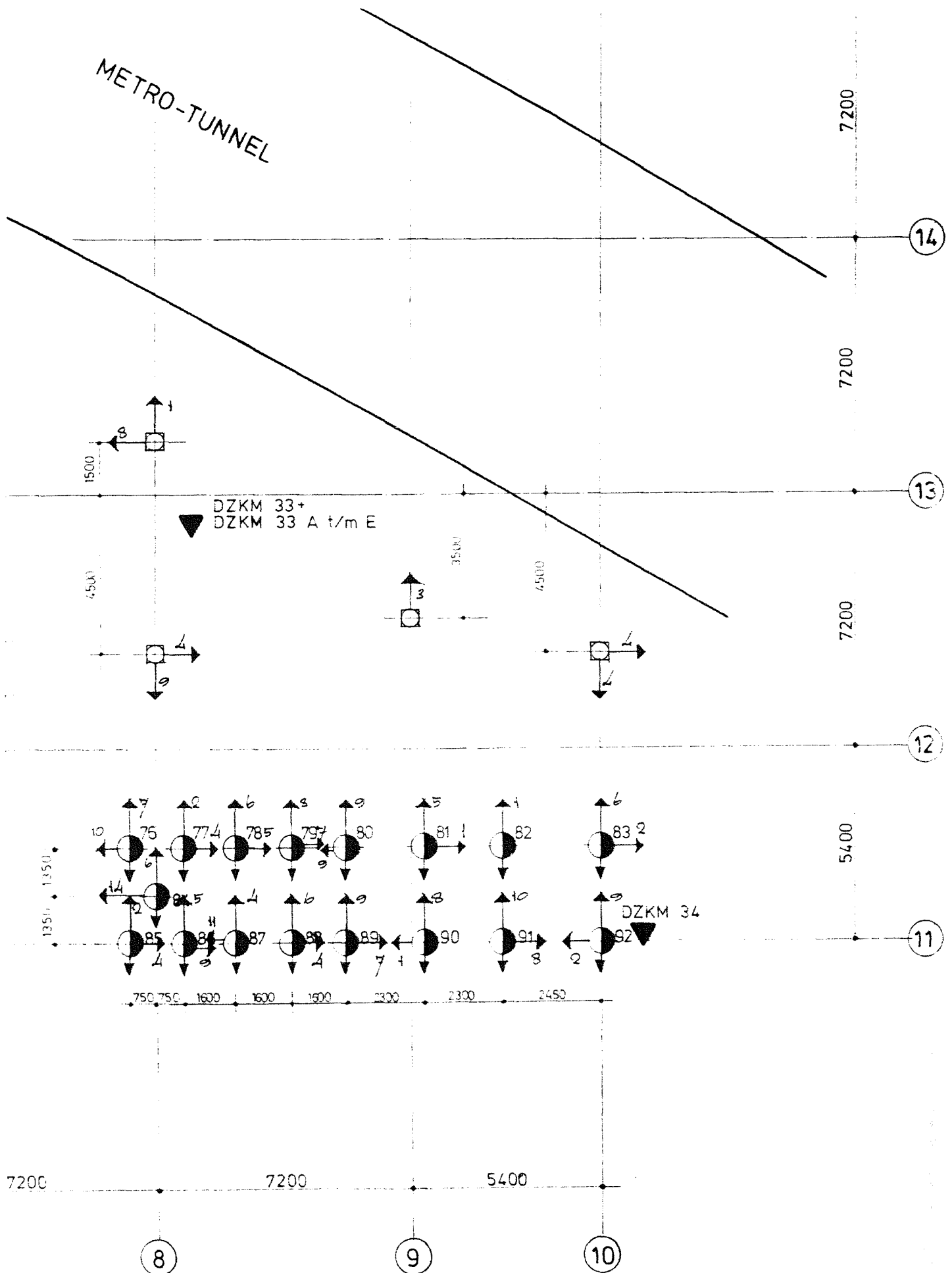
Bovenaanzicht, langs- en dwarsdoorsnede Weenahuis



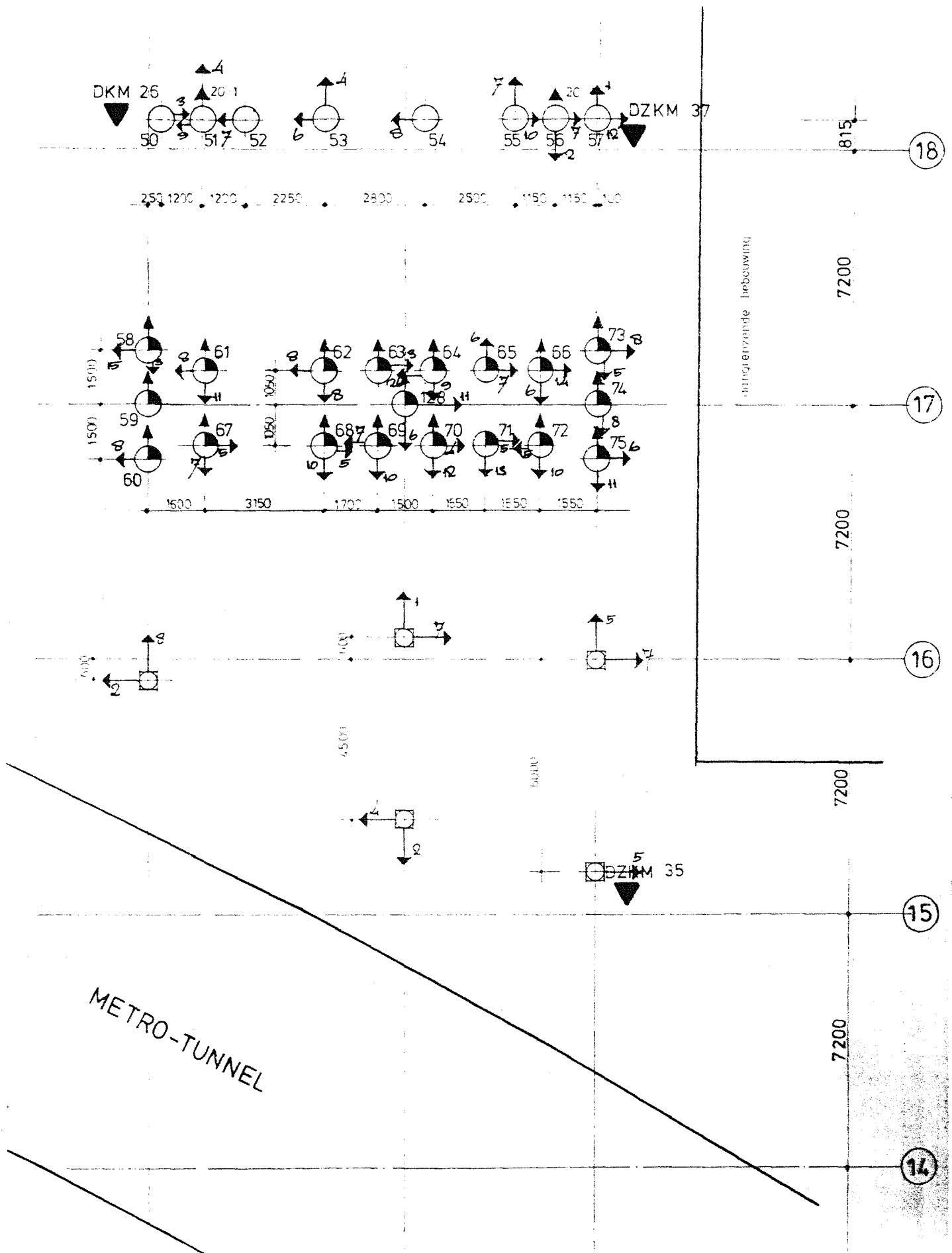
Toelichting palenplan kantoorgebouw Weenahuis

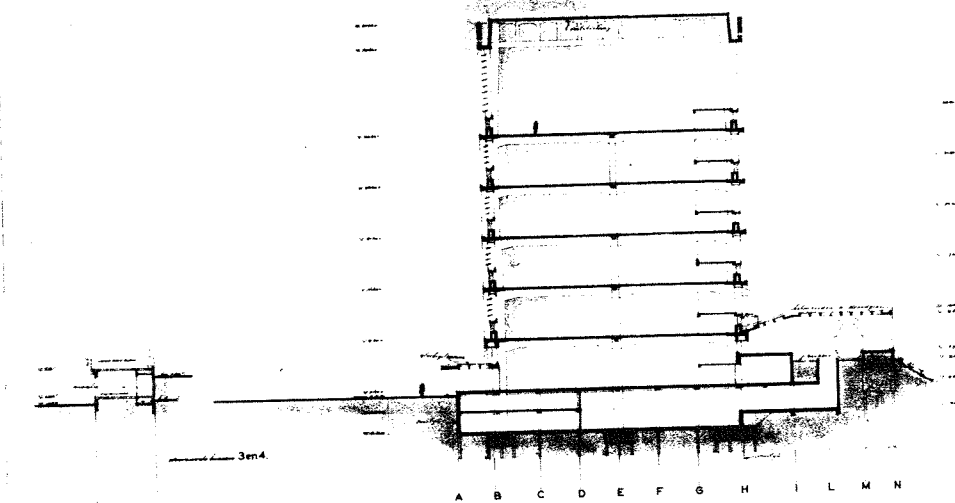
type	schacht afm.	punt . m ²	paal l m'	ok fund tov nap	ok paal tov nap	paalpunt tov nap	max draag- vermogen	aantal
	ø 610	0,35		1600 -		24500 -	2780 kN	8
				4600 -			3158 .	19
				3700 -			3158 .	17
				1640 -		▼	2780 .	8
				1340 -		24000 -		2
				2150 -		27000 -		3
				1340 -		25000 -		4
				2150 -		27000 -		7
				1020 -		24000 -		2
				1020 -		25000 -		2
				2150 -		27000 -		1
				2340 -		27000 -	▼	1
				1340 -		24000 -	3200 kN	1
				1340 -		25000 -	3200 .	1
				1340 -		24000 -	3158 .	1
				2150 -		27000 -		1
	▼	▼		2150 -		27000 -		1
							totaal	79
	ø 457	ø 457	(hulppaal)			22000	1300 kN	9
	schoorpaal	8:1						

Palenplan kantoorgebouw Weenahuis

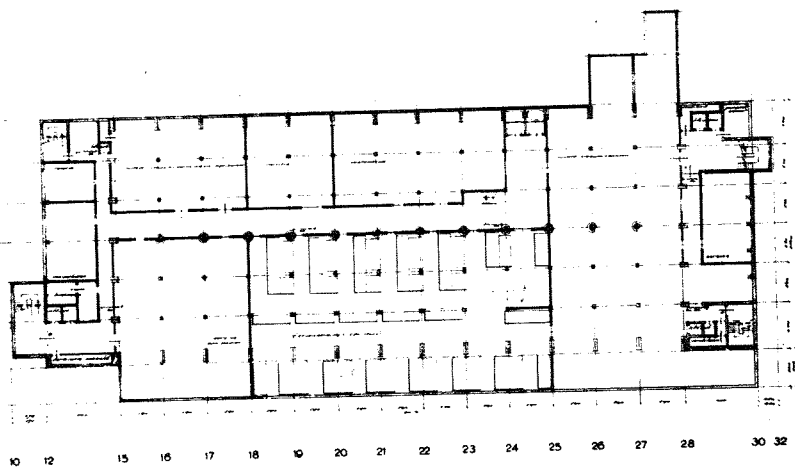


Palenplan kantoorgebouw Weenahuis

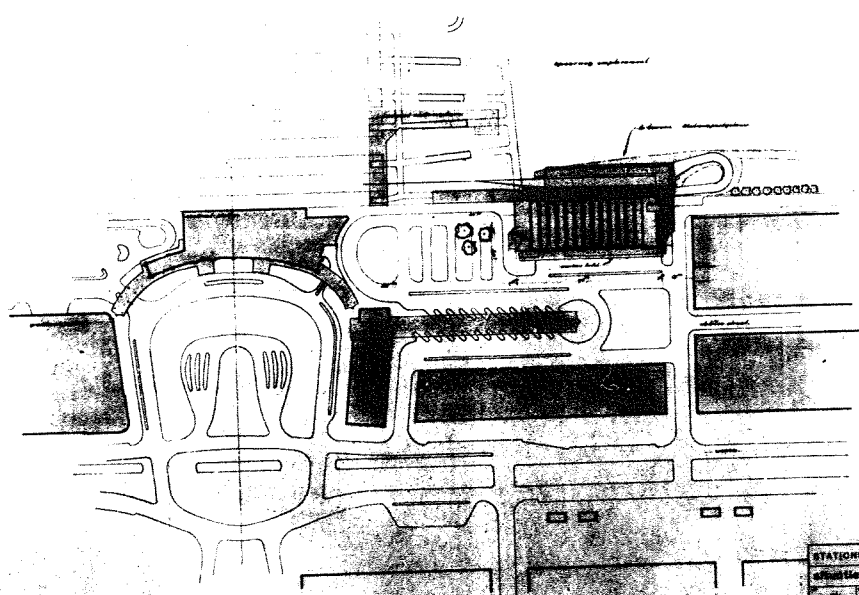




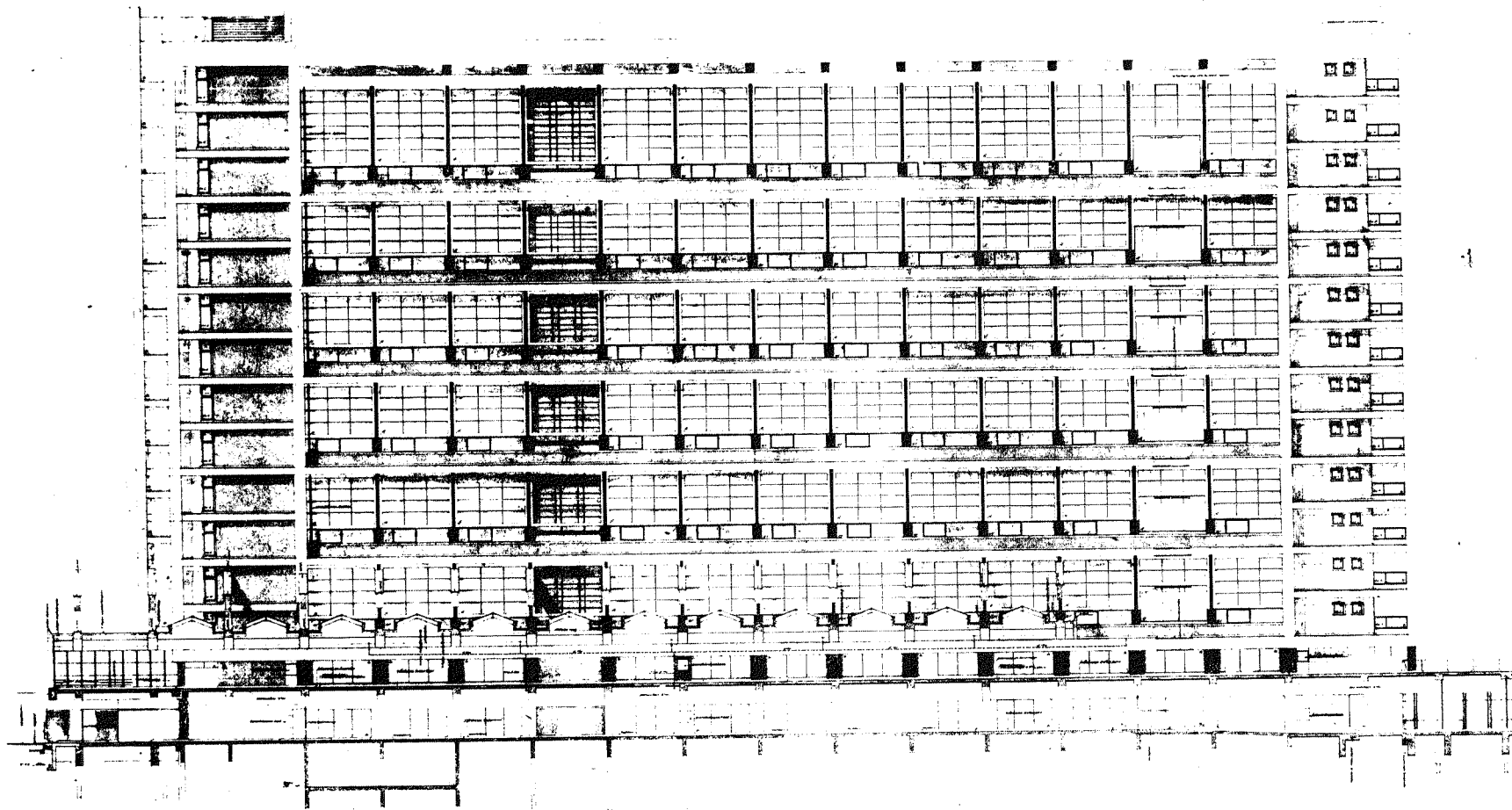
STATIONSPOSTGEBOUW TE ROTTERDAM	
dwars-doorsnede.	
945	VS 47.
BOUWBUREAU STATIONSPOSTGEBOUW	
ARCHITECTENBUREAU KRAAYVANGER	



STATIONSPOSTGEBOUW TE ROTTERDAM	
2' kelder.	
945	VS 31.
BOUWBUREAU STATIONSPOSTGEBOUW	
ARCHITECTENBUREAU KRAAYVANGER	



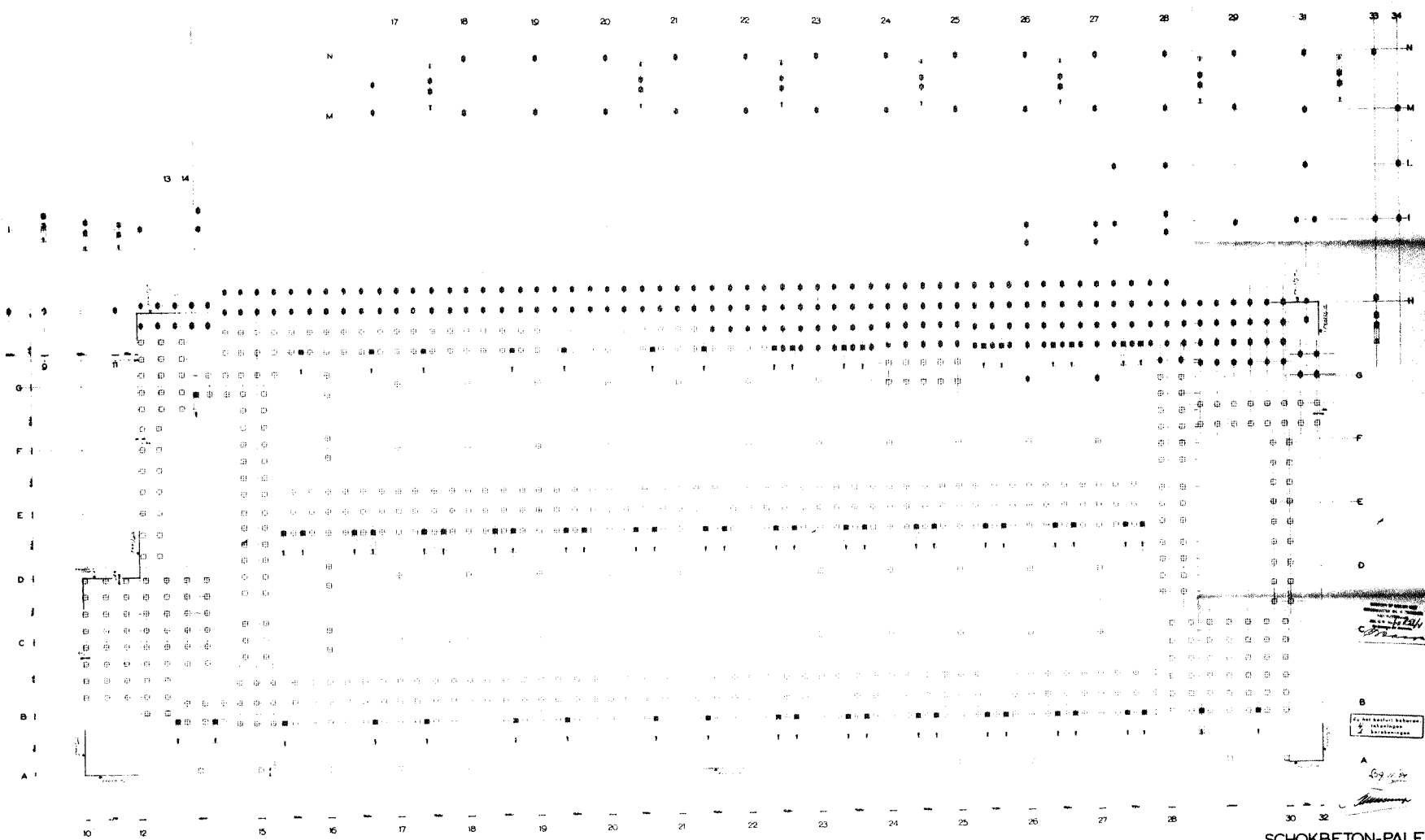
STATIONSPOSTGEBOUW TE ROTTERDAM	
platte	
945	VS 30.
BOUWBUREAU STATIONSPOSTGEBOUW	
ARCHITECTENBUREAU KRAAYVANGER	



GEMEENTELIJKE
BRANDVEILIGHEIDSDIENST
D.D. 1945

STA. CONRPOSTGEBOUW TE ROTTERDAM
noordgevel + doorsnede a-a
1:100
1945

B 2-610 - 54- 362



RENVOL

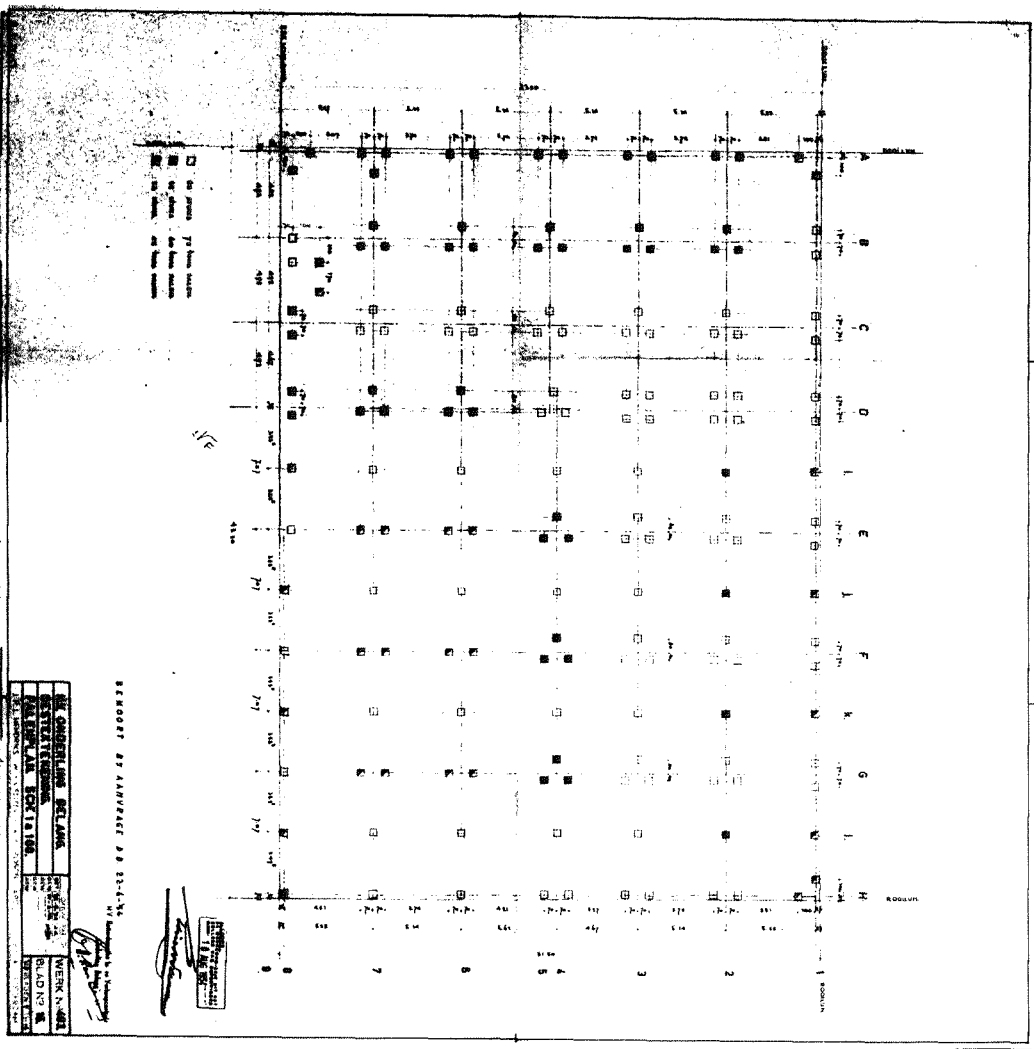
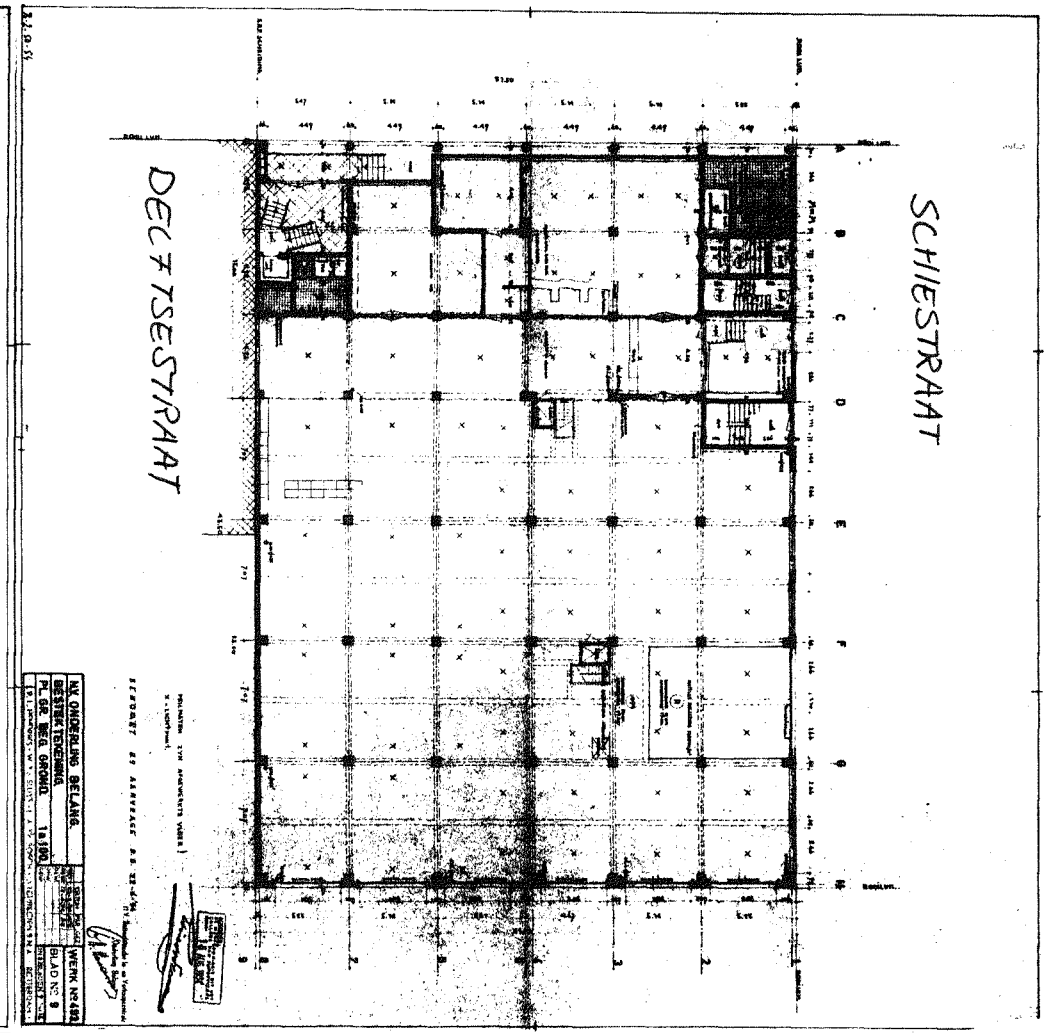
• stalen palen	283	stuk
• stalen schoorpien	26	•
• schokbetonpalen V.P. 40/69	671	•
• schokbeton schoorpien V.P. 40/65	67	•
Totaal	1047	•

SCHOKBETON-PALEN.

Stationspostgebouw	
Rijndam	
Polenplan	Datum
Schaal	1:100
E.H. Kraaijanger c.l.	
H.M. Kraaijanger	
R.A. Arenssohn c.l.	

B 2-610 - 54- 265

B 2 - 50 - 54 - 74



Bijlage VI Gegevens metrotunnel

Dwarsdoorsnede metrotunnel

Overzicht tunnelstukken

Palenplan afgezonken tunnel, deel W8

Palenplan sluitstuk Weena

Wapeningstekeningen vloer moot 1 van tunnelstuk W8

Wapeningstekeningen wand moot 1 van tunnelstuk W8

Wapeningstekeningen dak moot 1 van tunnelstuk W8

Sluitstuk van de metrotunnel onder het Weenahuis - bovenaanzicht

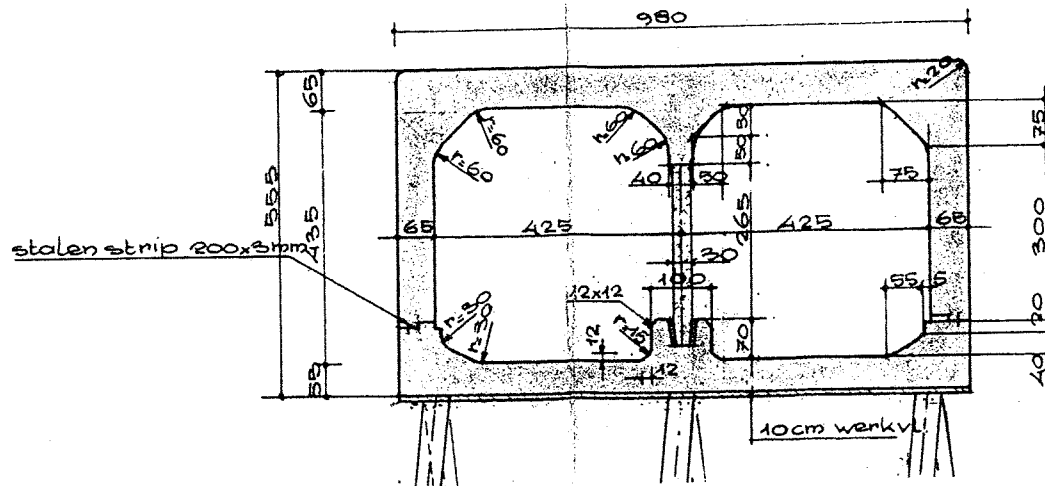
Sluitstuk van de metrotunnel onder het Weenahuis - zijaanzicht

Sluitstuk van de metrotunnel onder het Weenahuis - details sluiting

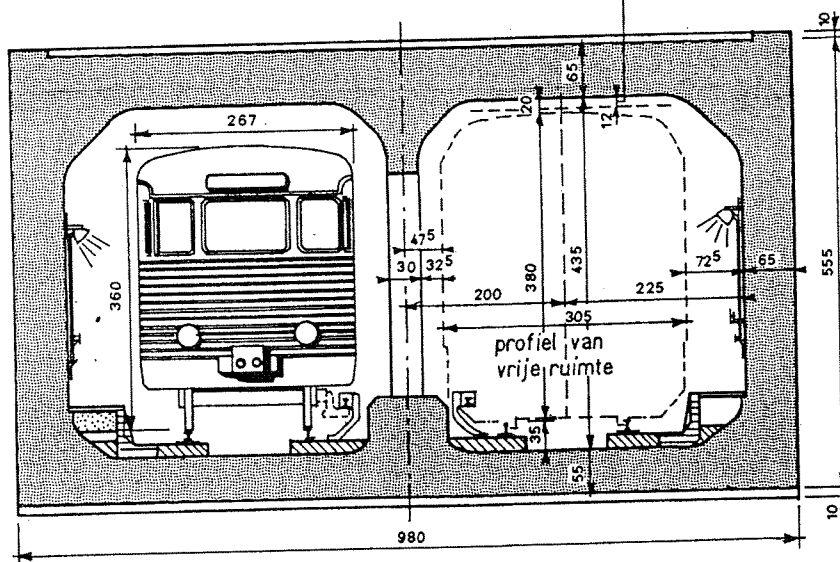
Achtergebleven constructies



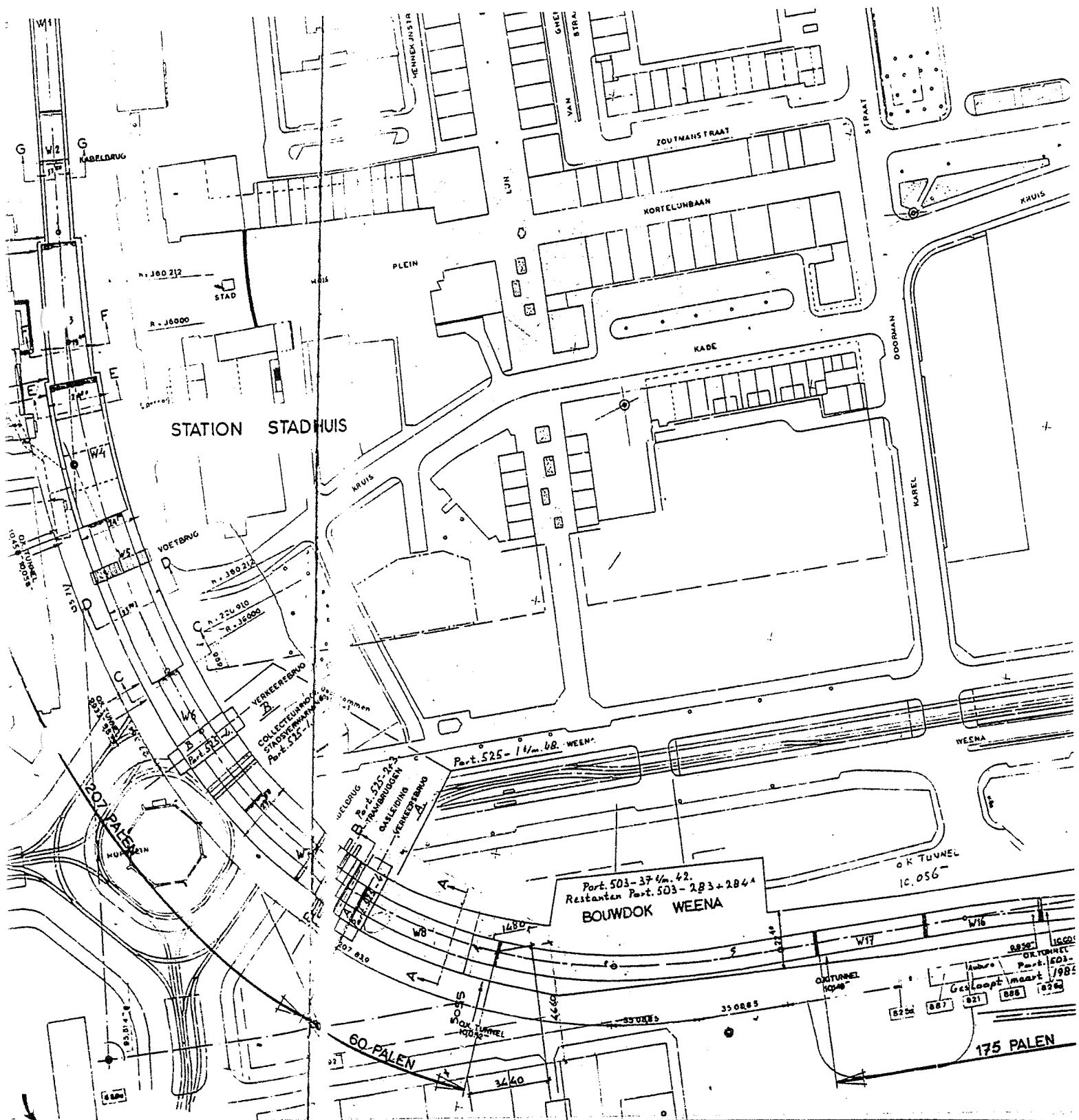
Dwarsdoorsnede metrotunnel



eventuele bekleding 5 cm
 maximum foutligging 5 cm (in werkel. 3⁵ cm)
 event. t.g.v. vert. afrond. 2 cm



Overzicht tunnelstukken

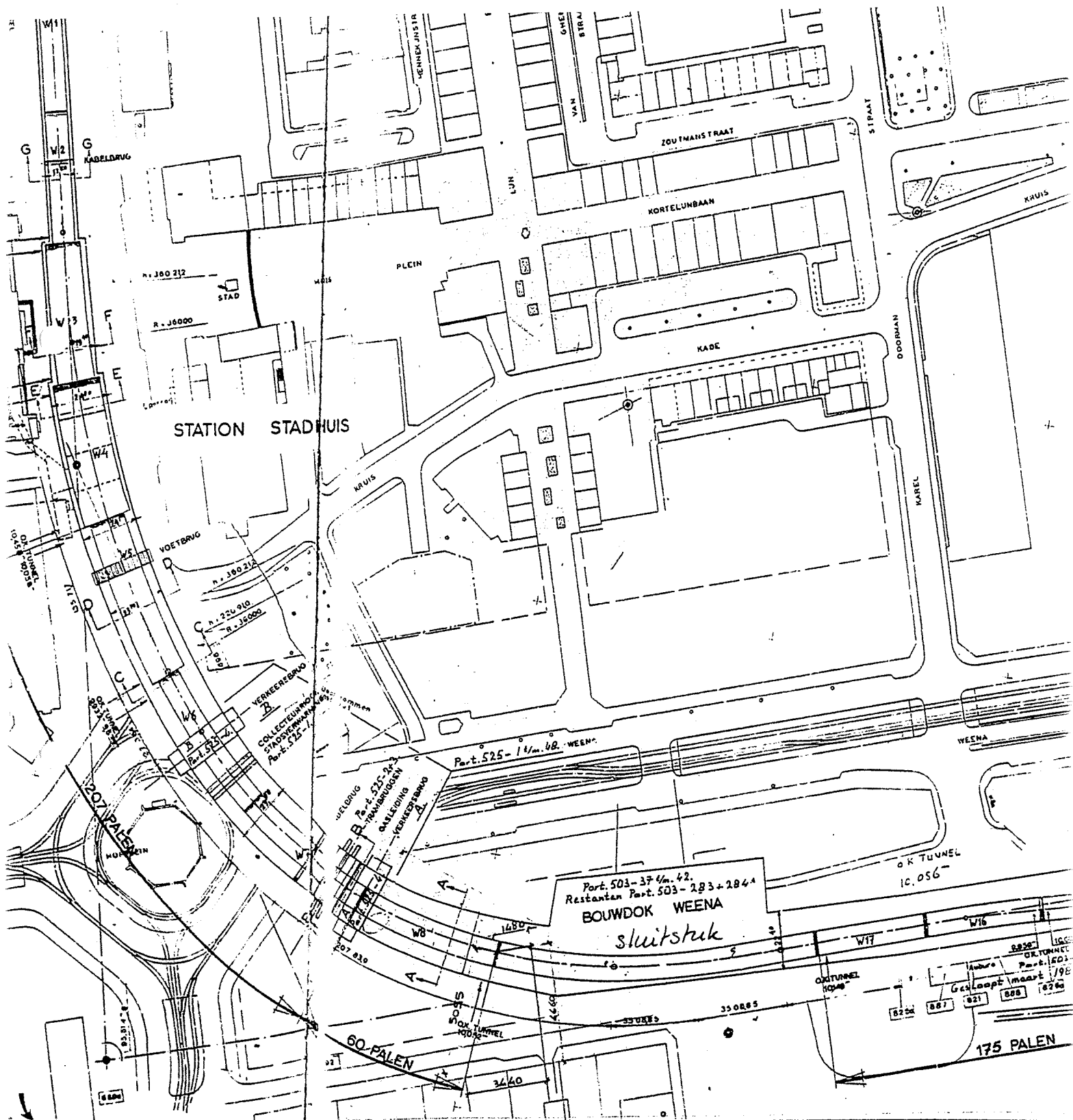


Behoort bij tekening No. (Port. ... - ...)

Note '12+W13+W14 (Centraal Station) Part. 503-59 1/2m. 62+
 + Part. 504-10+45+81.
 kaartspoor Part. 704-52.
 gemeene tek Part. 508-183 1/2m. 286+Part. 526-112 1/2m. 179.
 tonpalaan Part. 503-6+7+32+33.
 onw.k. overzicht C.S. Part. 515-18 1/2m. 25+44.
 " " Stadh. Part. 515-95 1/2m. 109+66E 40 Part. 7072.
 nt lastvloer in Coelsingel Part. 136-207 1/2m. 233

DRSN A-A t/m. G-G

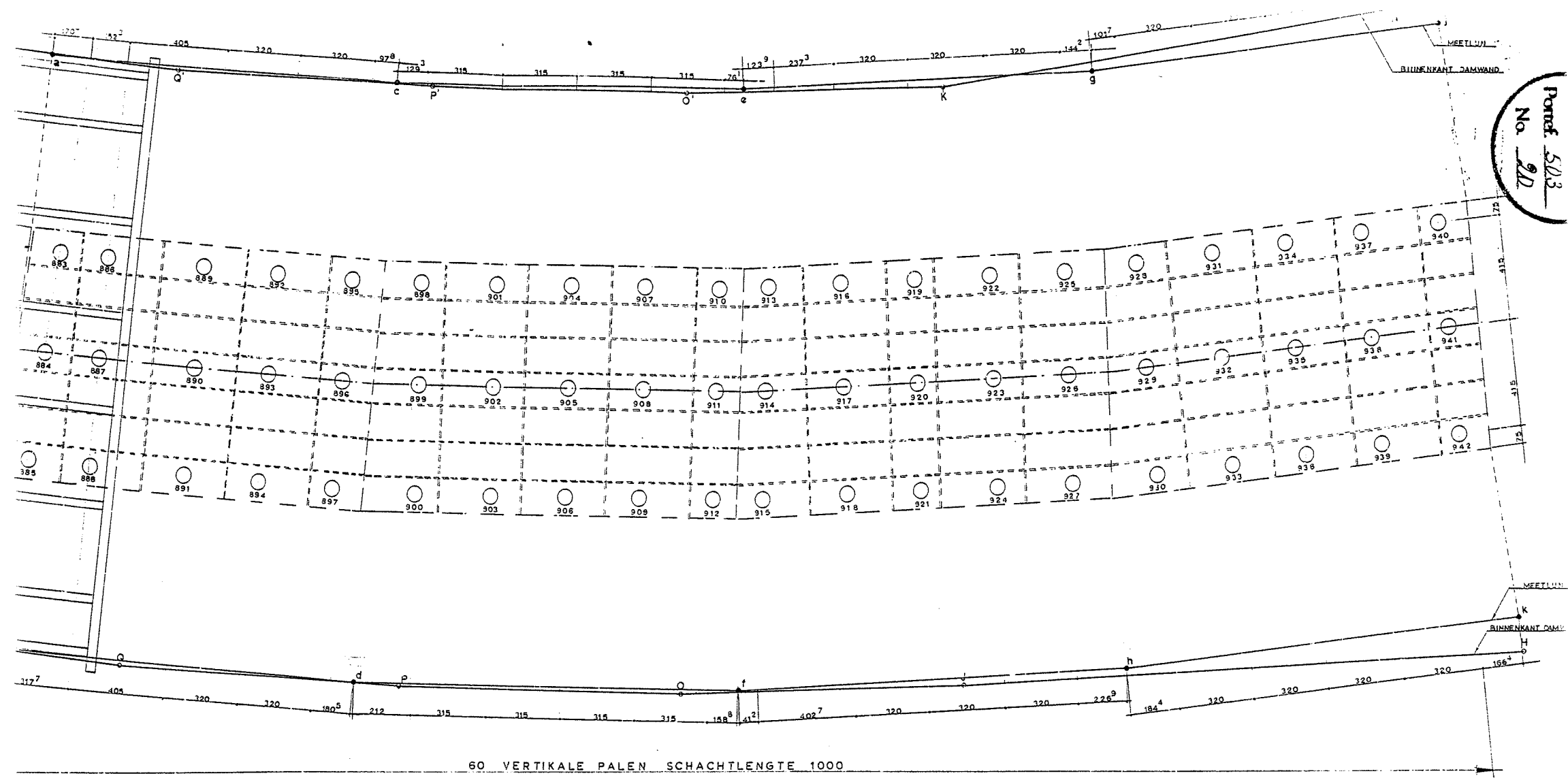
Overzicht tunnelstukken



Bchoort bij tellening No. (Port.)
Toten W12+W13+W14 (Centraal Station) Port. 503-59 1/2 m. 62+
+ P. 504-20+45+81.
baartspoor Port. 704-52.
gemene tek. Port. 508-183 1/2 m. 286+ Port. 526-111 1/2 m. 179.
tonpalen Port. 503-6+7+32+33.
anwk. overzicht C.S. Port. 515-18 1/2 m. 25+44.
" " Stadh. Port. 515-95 1/2 m. 109+66 E 40 1/2 m. bestek 7072.
nt lastvloer in Coalsingel Port. 136-207 1/2 m. 233.

DRSN A-A t/m G-

Palenplan afgezonken tunnel, deel W8

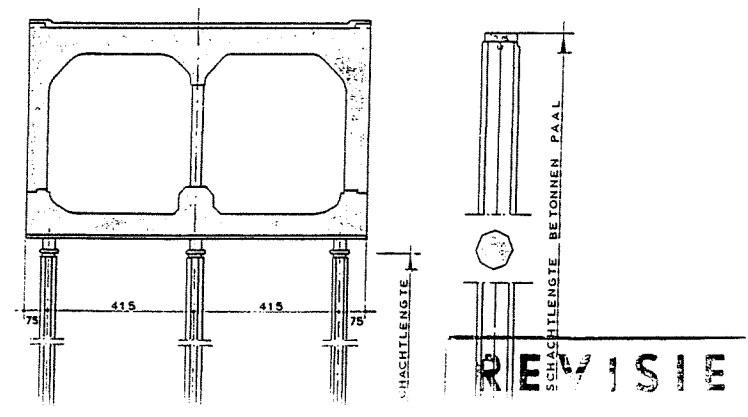


Portef. 503
No. 20

60 VERTIKALE PALEN SCHACHTLENGTE 1000

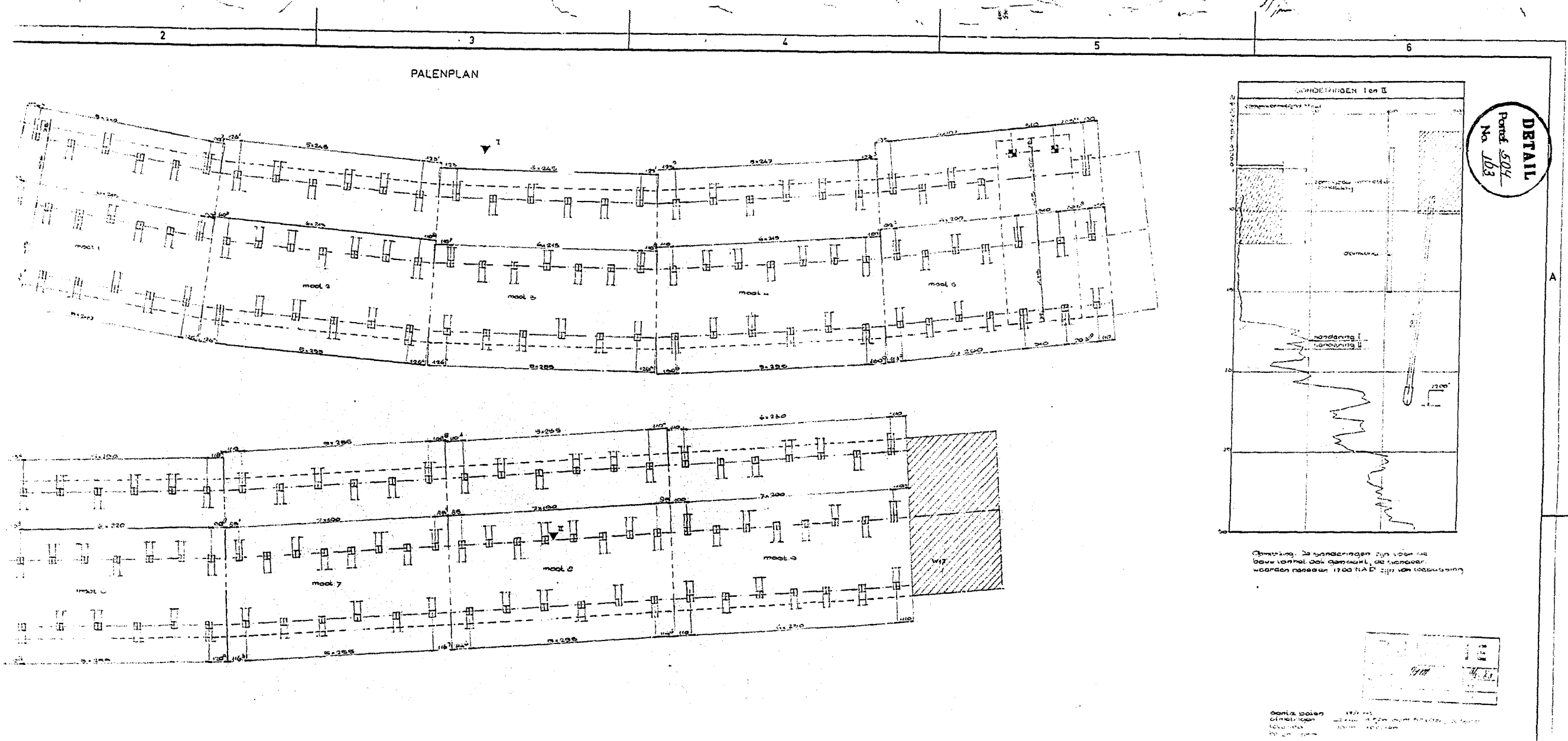
DWARSDOORSNEDE

SCHACHTL. L IN CM	PAAL NO.	O.K. TUNNEL	PAAL LENGTE	SCHACHTL. L IN CM	PAAL NO.	O.K. TUNNEL	PAAL LENGTE	SCHACHTL. L IN CM	PAAL NO.	O.K. TUNNEL	PAAL LENGTE	SCHACHTL. L IN CM	PAAL NO.	O.K. TUNNEL	PAAL LENGTE	SCHACHTL. L IN CM	PAAL NO.	O.K. TUNNEL	PAAL LENGTE	SCHACHTL. L IN CM
1000	893	-990,2		1000	903	-992,1		1000	913	-996,7		1100	923	-995,9		1100	933	-1001,2		1100
1000	894	-989,4		1000	904	-993,4		1000	914	-996,1		1100	924	-996,3		1100	934	-1003,4		1100
1000	895	-991,8		1000	905	-993,7		1000	915	-995,5		1100	925	-1000,5		1100	935	-1002,8		1100
1000	896	-991,0		1000	906	-993,0		1000	916	-997,6		1100	926	-999,9		1100	936	-1002,2		1100
1000	897	-990,2		1000	907	-995,3		1050	917	-997,0		1100	927	-999,3		1100	937	-1004,4		1100
1000	898	-992,5		1000	908	-994,5		1000	918	-996,4		1100	928	-1001,5		1100	938	-1003,8		1100
1000	899	-991,9		1000	909	-993,9		1000	919	-998,6		1100	929	-1000,9		1100	939	-1003,2		1100
1000	900	-991,2		1000	910	-996,2		1100	920	-998,0		1100	930	-1000,3		1100	940	-1005,4		1100
1000	901	-993,5		1000	911	-995,5		1100	921	-997,4		1100	931	-1002,4		1100	941	-1004,8		1100
1000	902	-992,5		1000	912	-994,8		1100	922	-999,5		1100	932	-1001,8		1100	942	-1004,2		1100

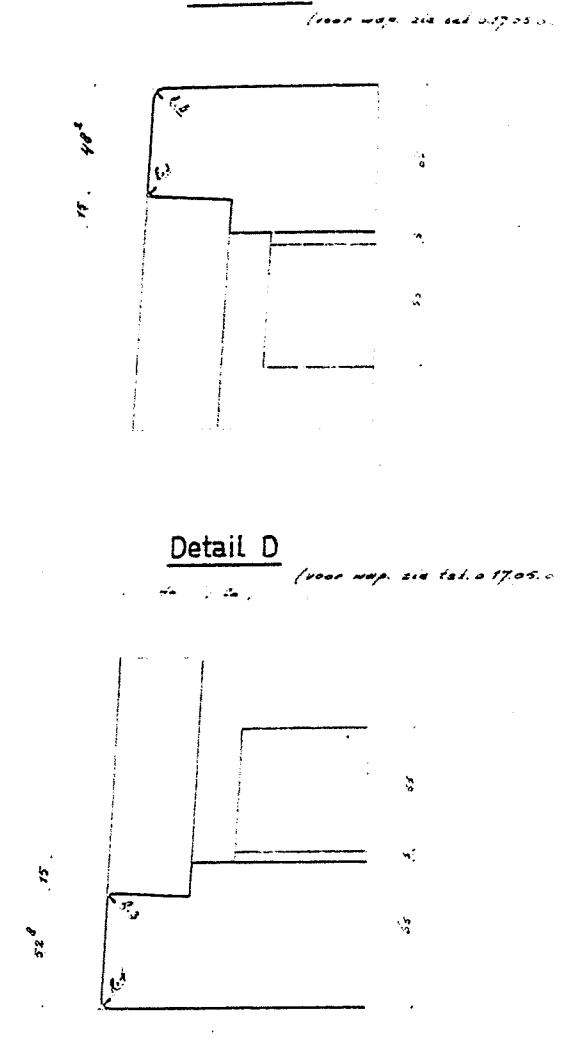
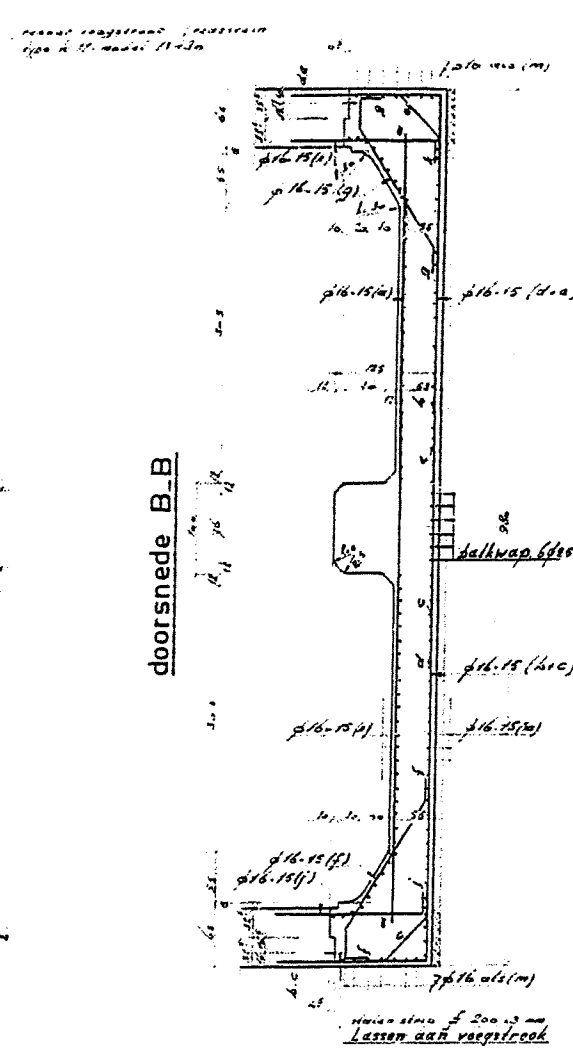
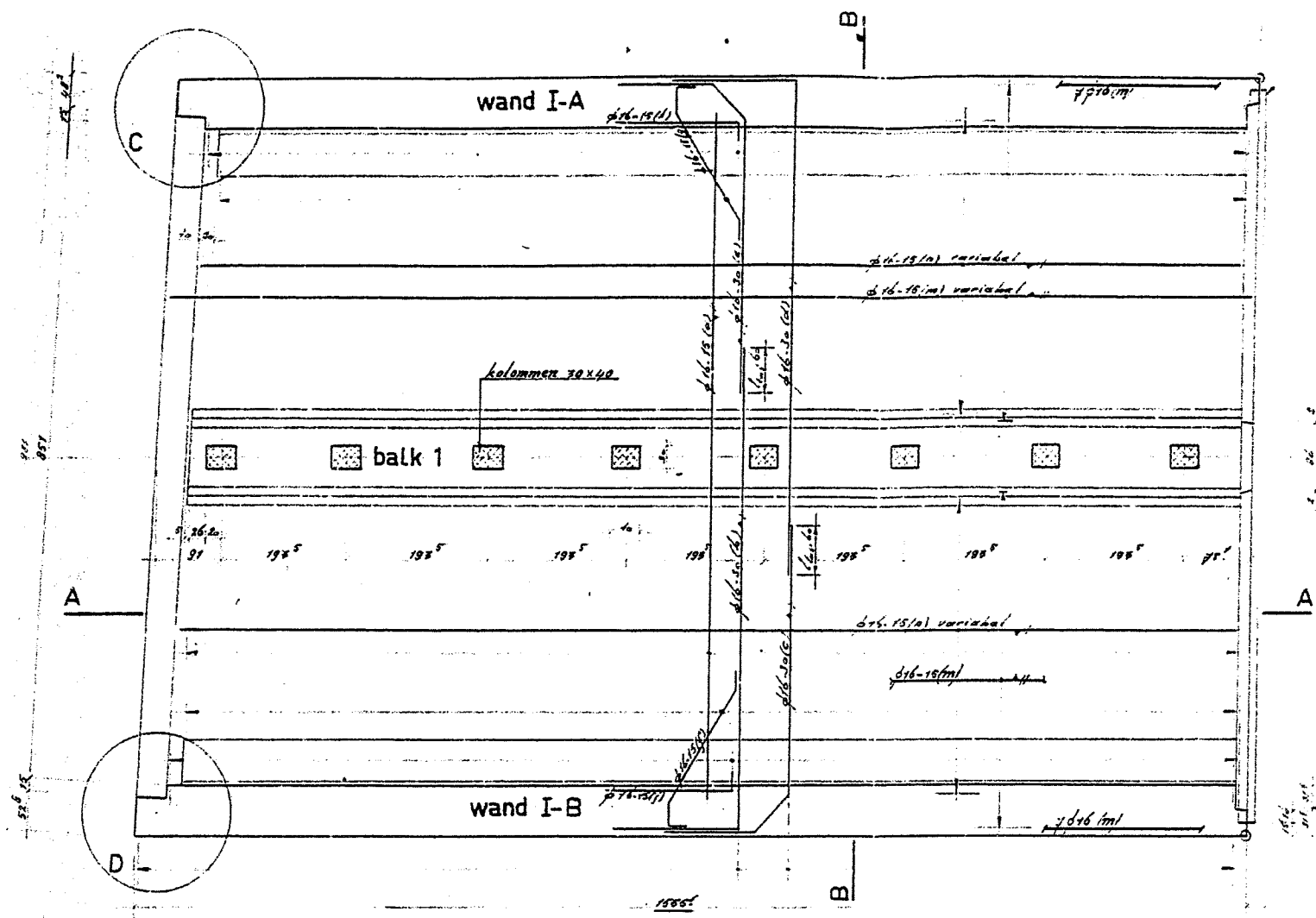


REVISIE

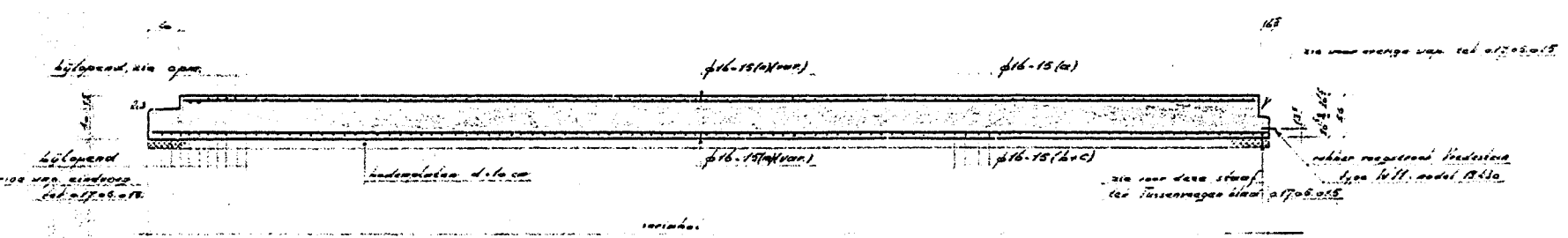
Palenplan sluitstuk Weena



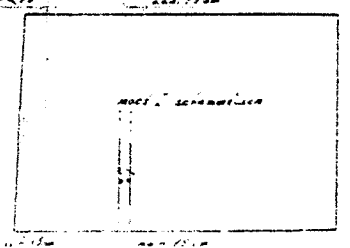
Wapeningstekening vloer moot 1 van tunnelstuk W8



doorsnede A-A

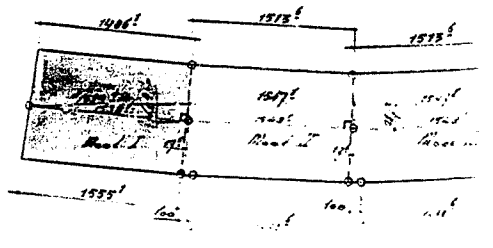


Opmerking:
Afstand hoofdwap. 15 cm te maken langs de langste zijde van de moot. Ruw de kant van het spierstuk over 150 cm de hoofdwap. later bijlijnen.
afstand < 15

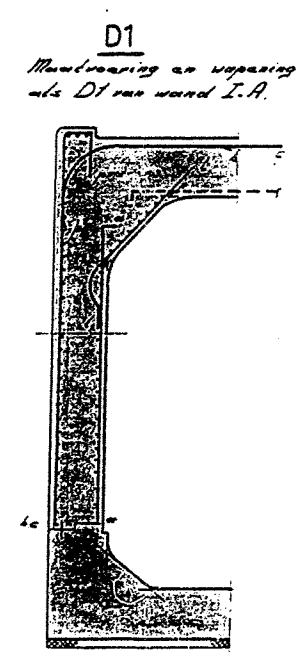
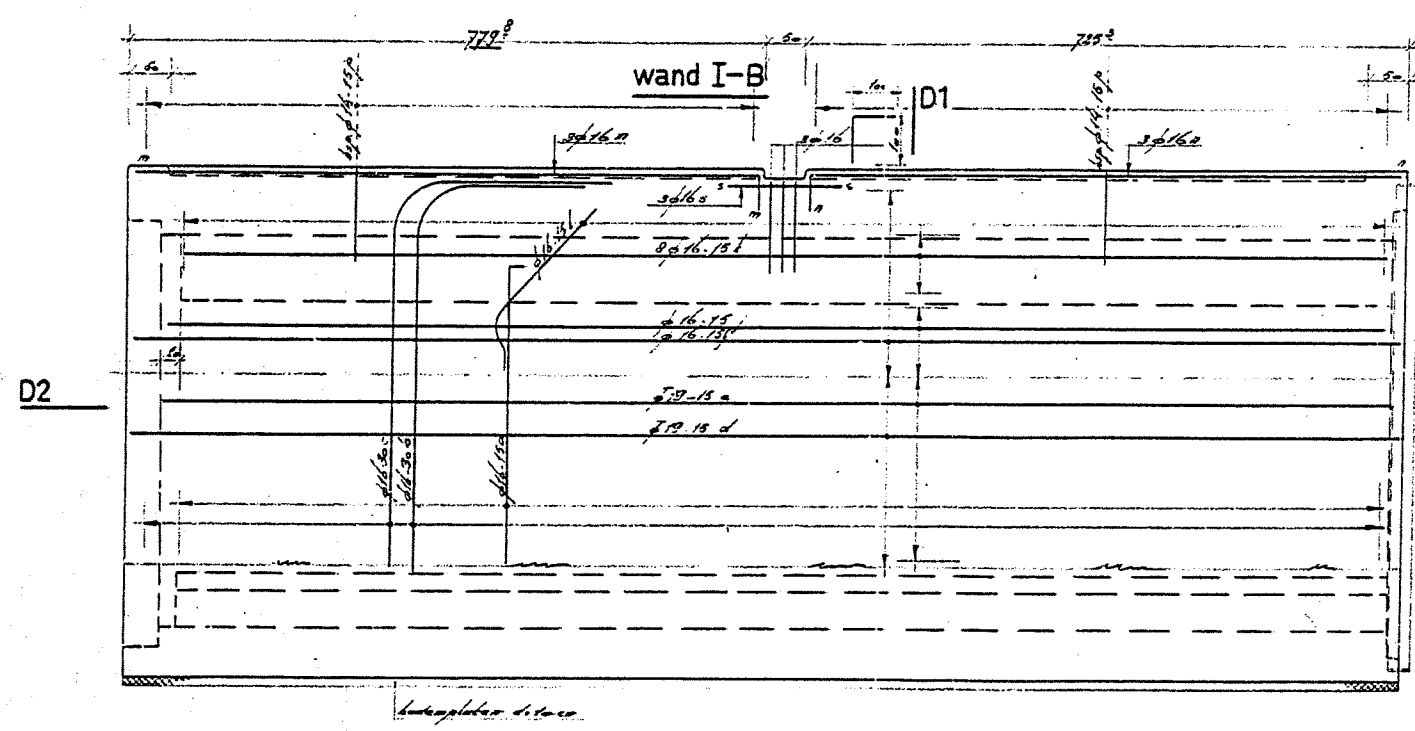
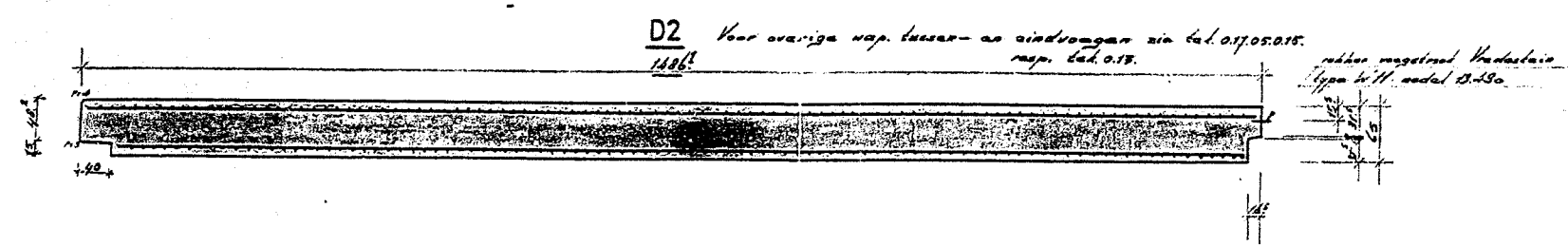
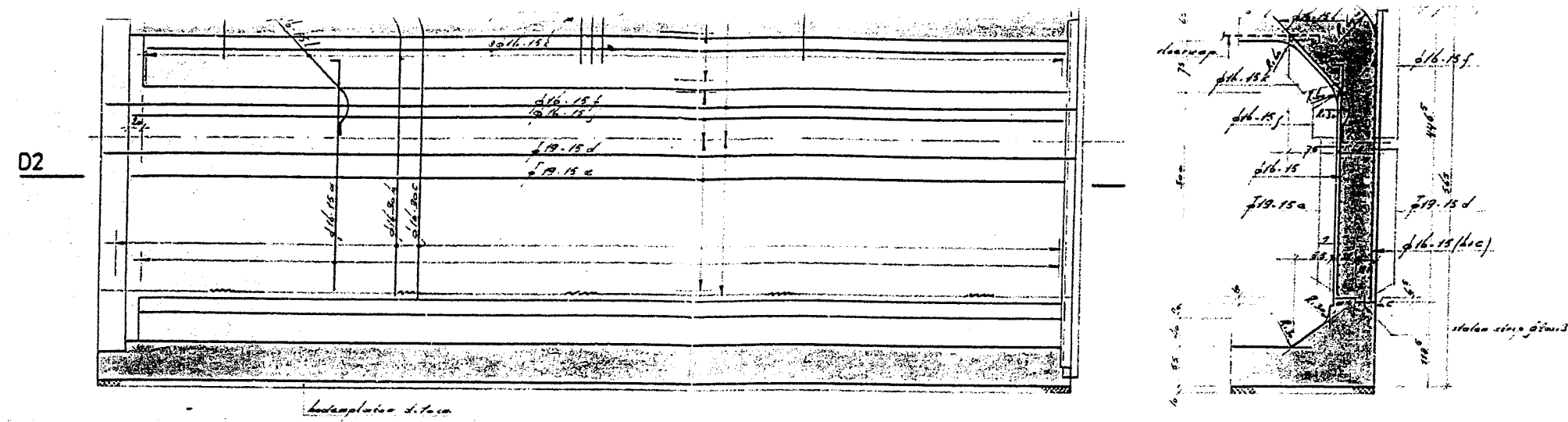


Staal	Ø Crénolé OR 24 Crénolé OR 42
Cement	180 kg/m ³ beton
Tres	70 kg/m ³ beton
Kubussterkte	30 = kg per cm ² na 28 dagen
Betondakking	innen 3 buiten 4

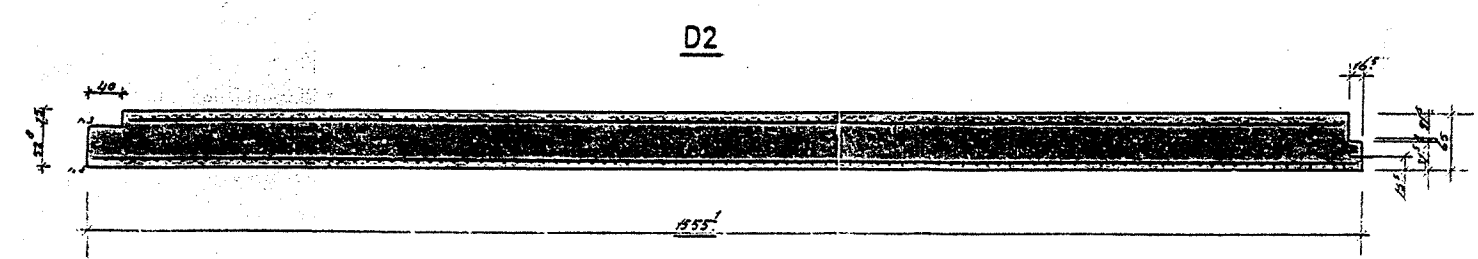
Matenschema W7 en W8



Wapeningstekening wand moot 1 van tunnelstuk W8

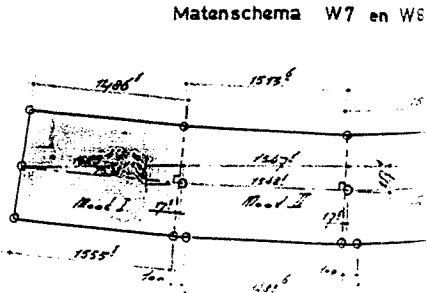
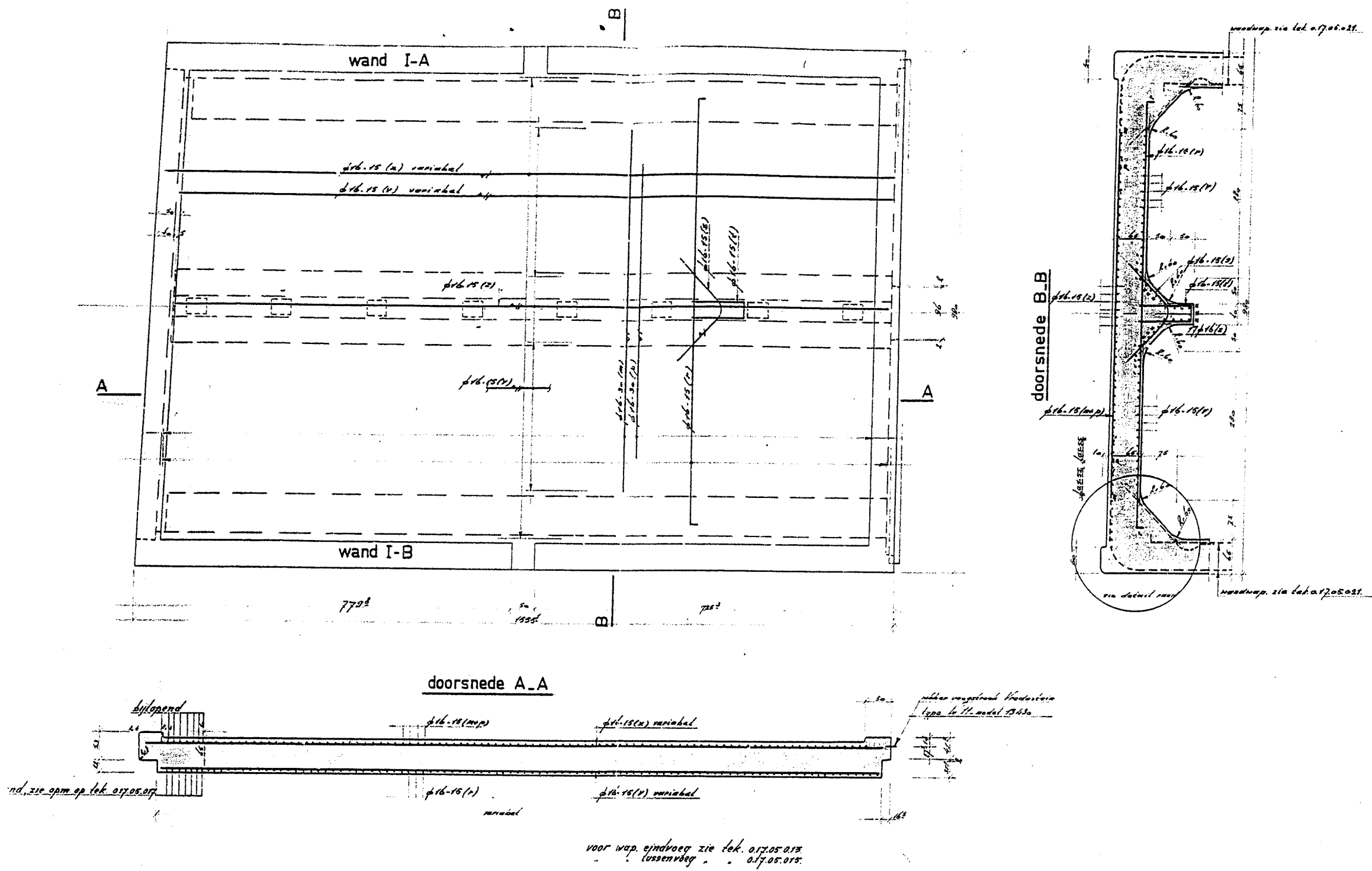


Staal	Ø Crânele OR 24 Ø Crânele OR 42
Cement	280 kg/m³ beton
Tres	70 kg/m³ beton
Kubus-sterkte	300 kg per cm² na 28 dagen
Beton-Jekking	
binnen	3
buiten	1

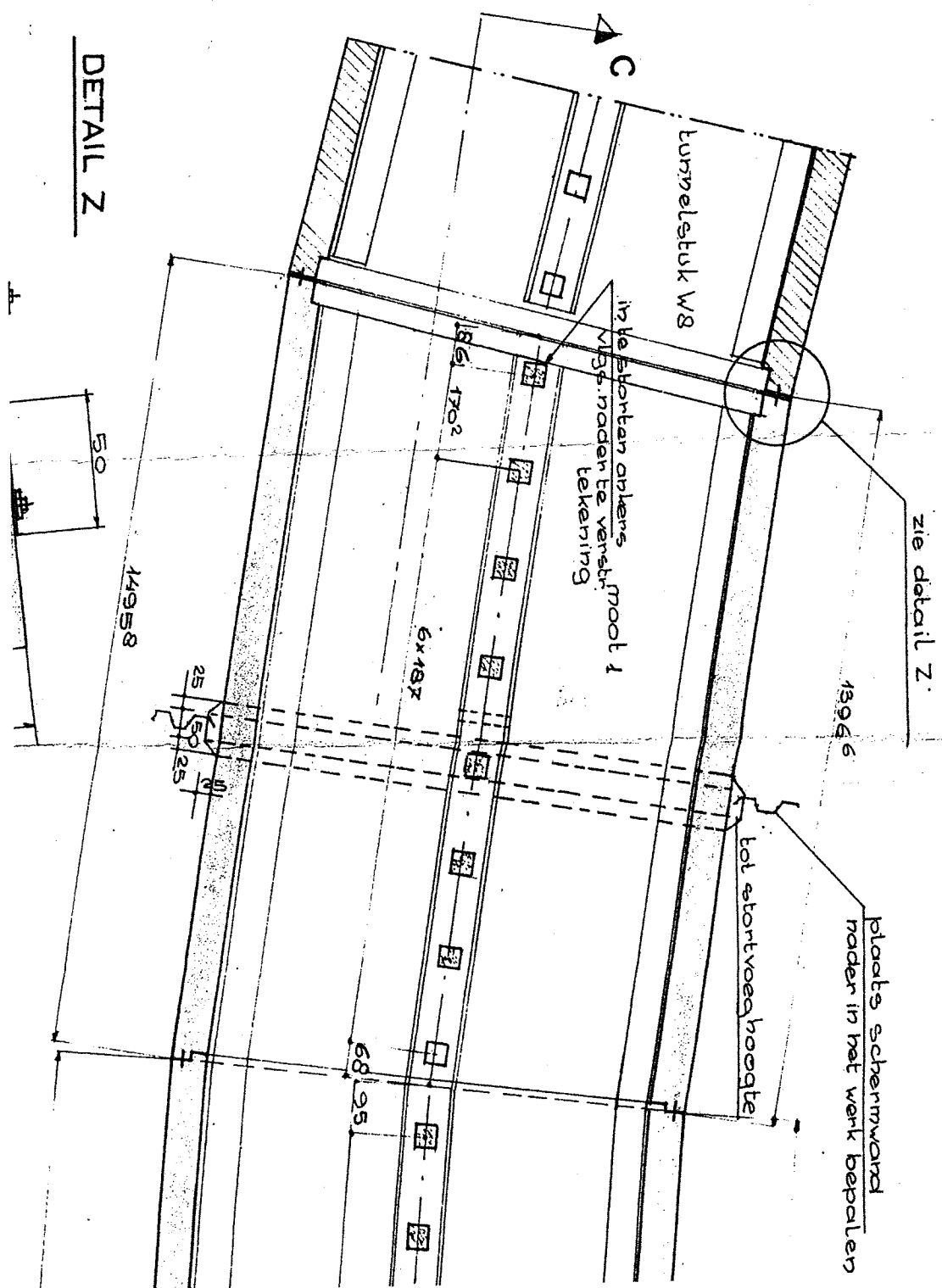


VOOR WAPENING TUSSENVVOEG ZIE EINDVOEG

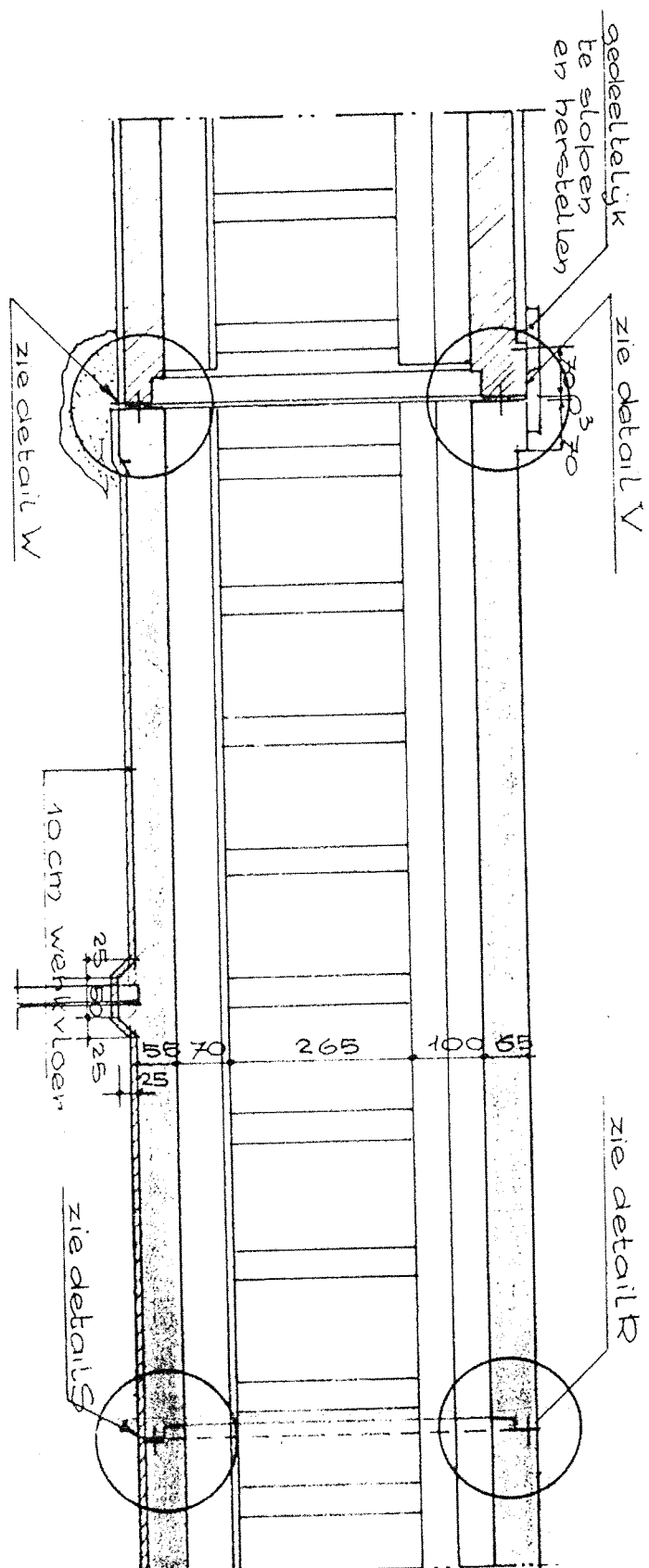
Wapeningstekening dak moot 1 van tunnelstuk W8



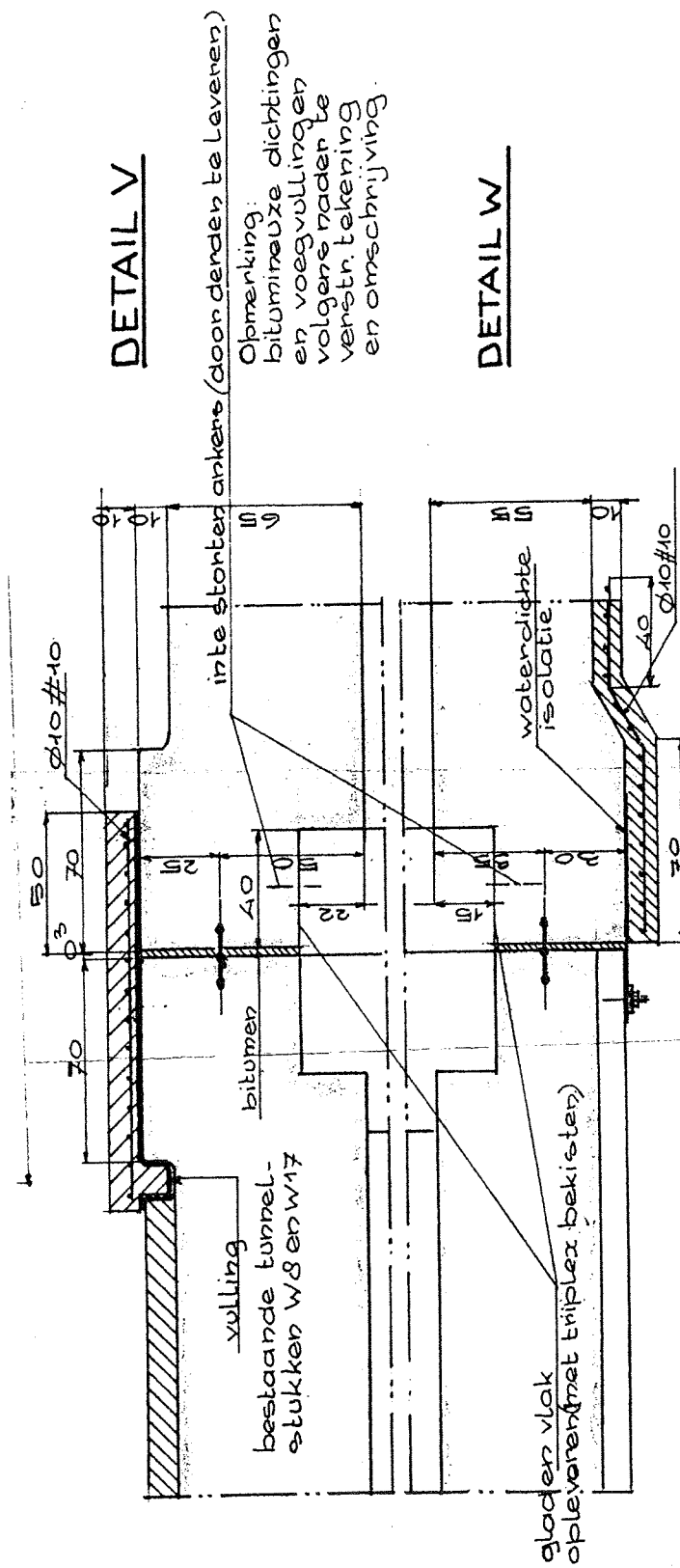
(bovenaanzicht)



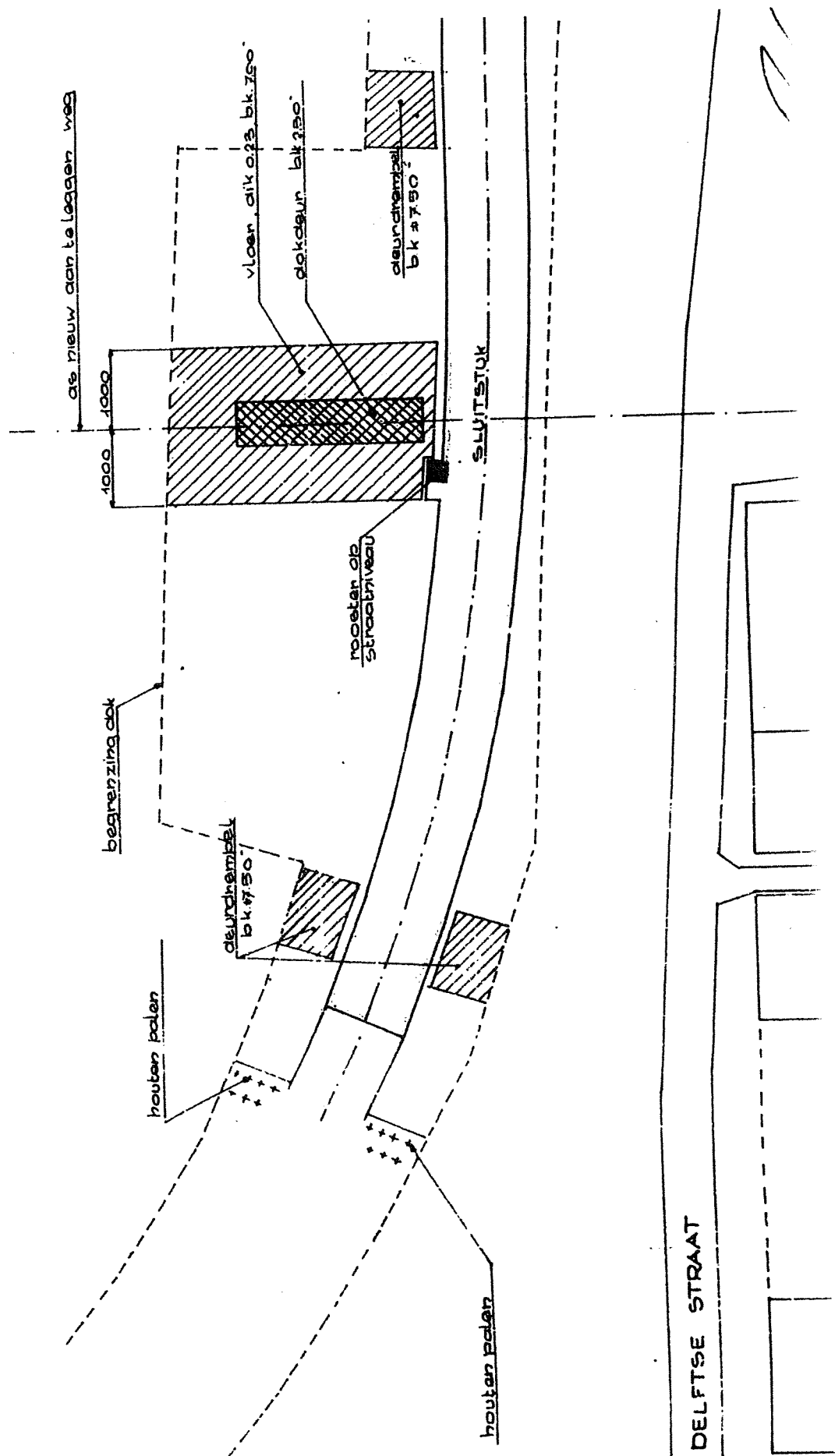
(zijaanzicht)



(details sluiting)



Achtergebleven constructies



Bijlage VII Kabels en leidingen

Overzicht kabels en leidingen

Kabels en leidingen in gebied A

Kabels en leidingen in gebied B







[illegible]

Bijlage VIII Sondering Weena

Sondering Weena



**Ballast Nedam
Engineering**



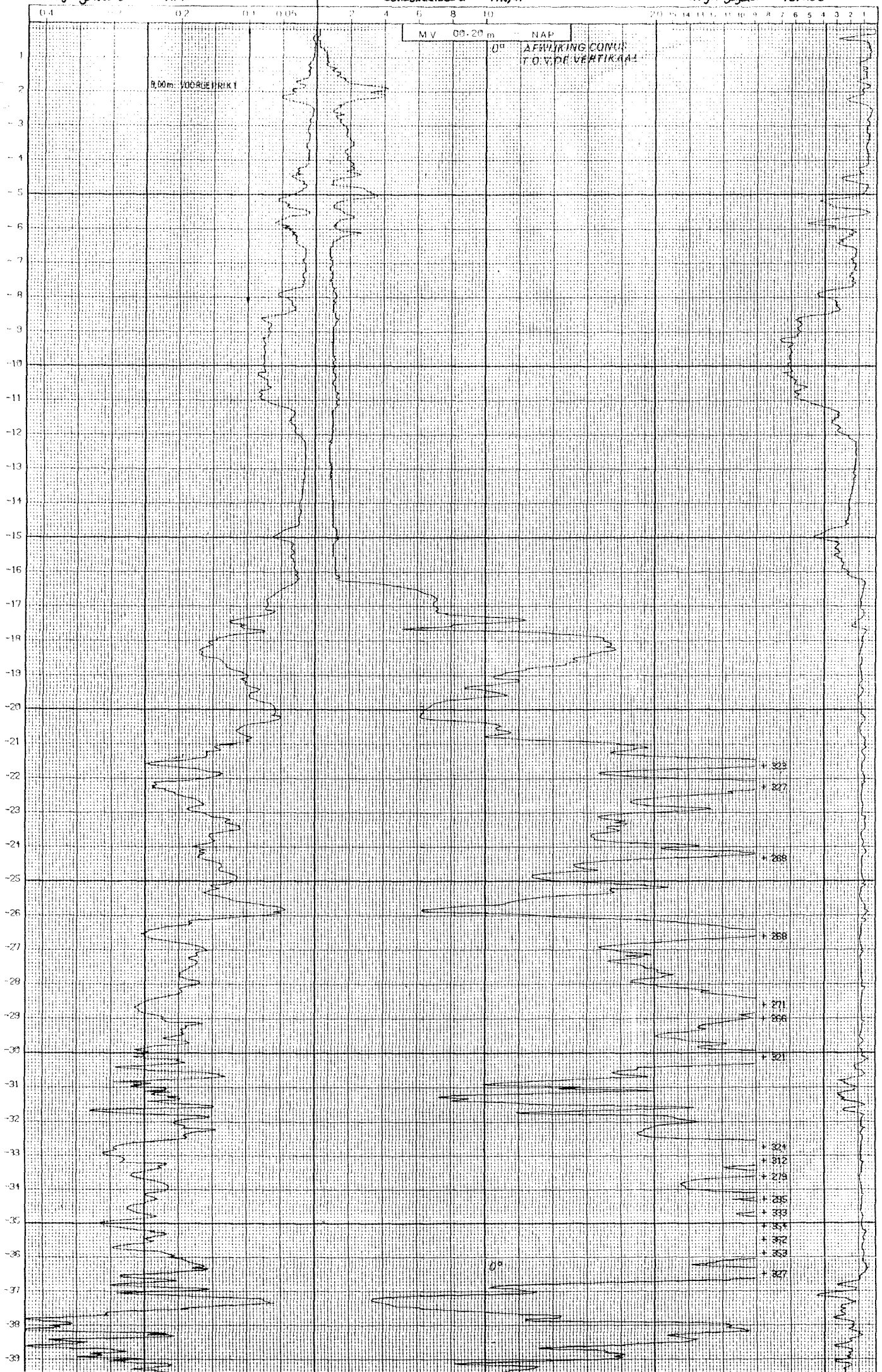
TU Delft
Technische Universiteit Delft

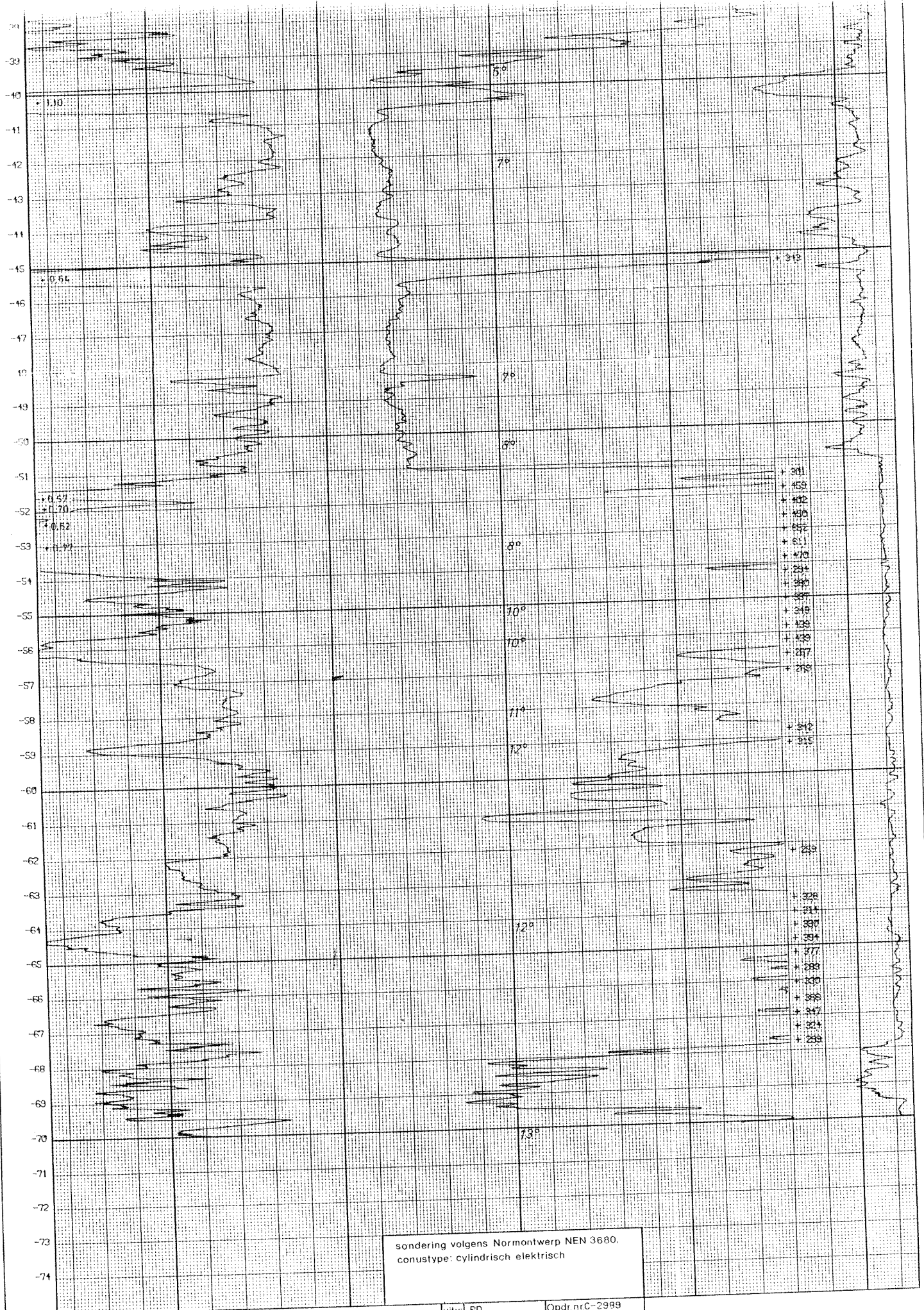
Wrijingsweerstand MN/m²

Conusweerstand MN/m²

Wrijingsgetal w/cx100

Diepte in meters





sondering volgens Normontwerp NEN 3680.
conustype: cilindrisch elektrisch

fugro

BEBOUWING AAN HET WEEHA TE ROTTERDAM

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

uitv: PD

dd: 22-12-82

get: 23-12-82

Opdr. nr C-2989

Sond. nr CZKM12

Bijlage IX Gegevens grondwater

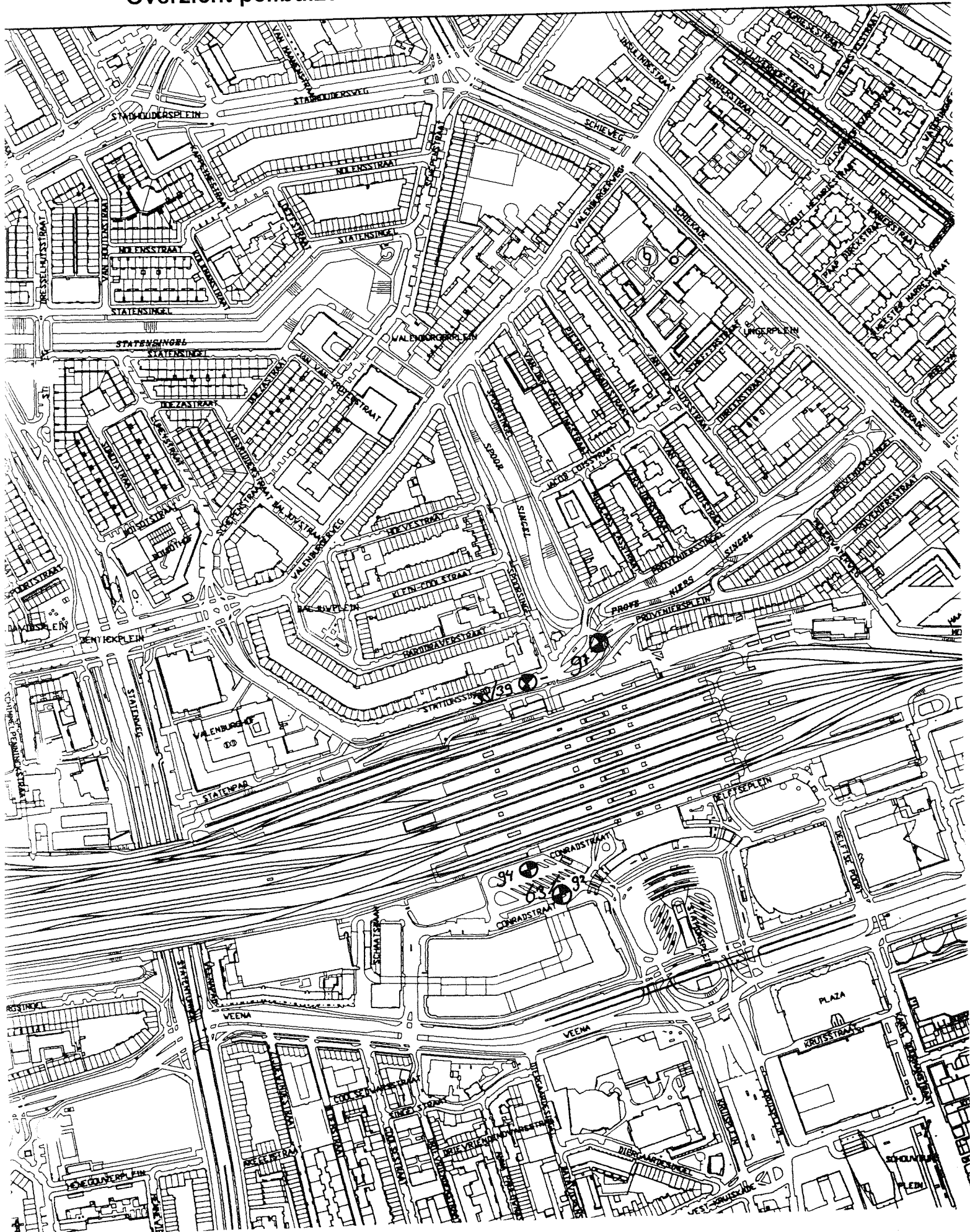
Overzicht peilbuizen

Peilbuisgegevens Rotterdam - spanningswater

Peilbuisgegevens Rotterdam - freatisch water



Overzicht peilbuizen



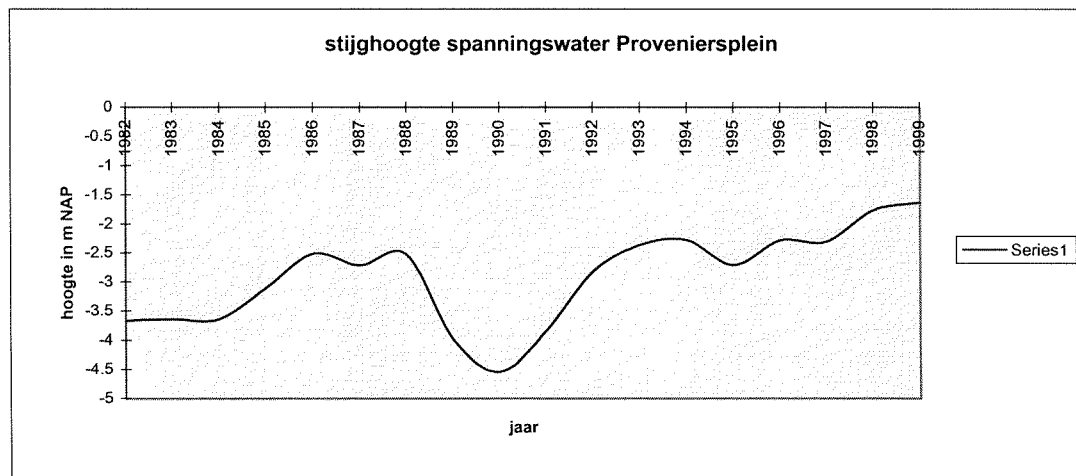
Peilbuisgegevens Rotterdam

Spanningswater

putnummer 91 centraal station (Proveniersplein)

jaar hoogte (m NAP)

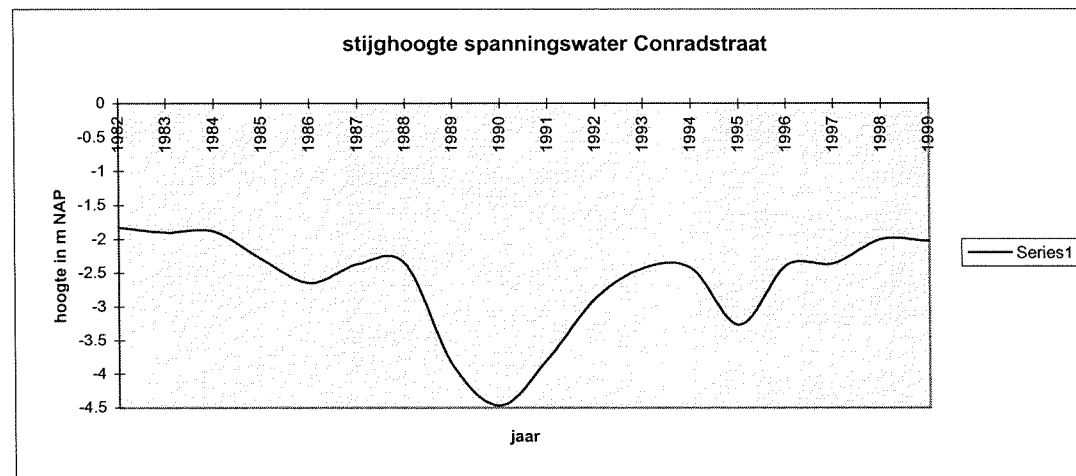
1982	-3.67
1983	-3.64
1984	-3.64
1985	-3.11
1986	-2.52
1987	-2.72
1988	-2.53
1989	-3.99
1990	-4.55
1991	-3.84
1992	-2.83
1993	-2.37
1994	-2.28
1995	-2.71
1996	-2.29
1997	-2.31
1998	-1.77
1999	-1.64



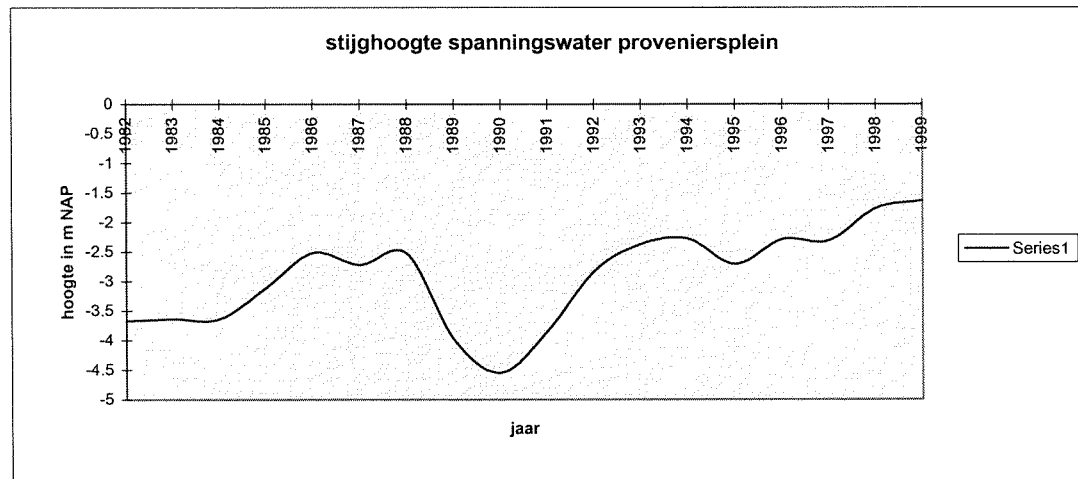
putnummer 92 centraal station (Conradstraat)

jaar hoogte (m NAP)

1982	-1.83
1983	-1.9
1984	-1.89
1985	-2.3
1986	-2.65
1987	-2.37
1988	-2.37
1989	-3.88
1990	-4.47
1991	-3.77
1992	-2.87
1993	-2.43
1994	-2.43
1995	-3.27
1996	-2.39
1997	-2.36
1998	-2
1999	-2.03

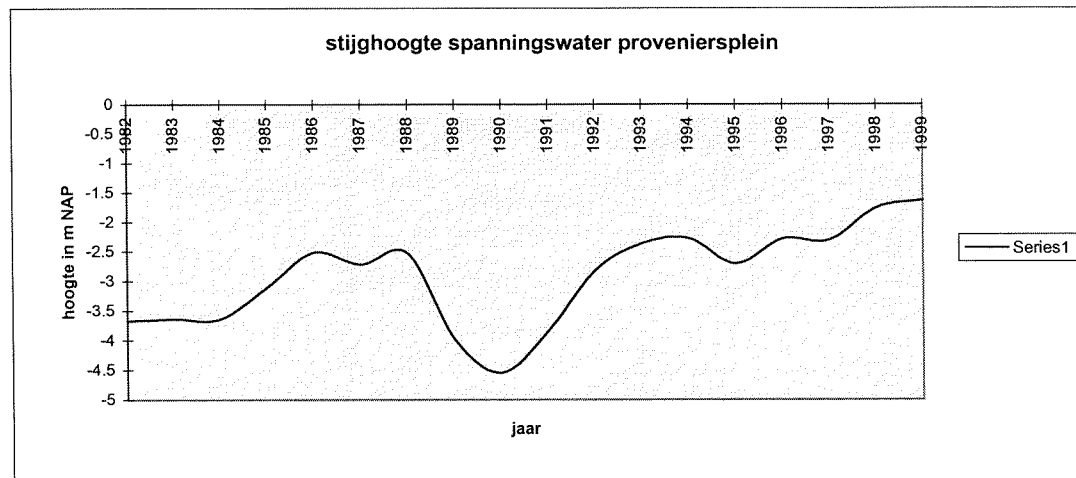


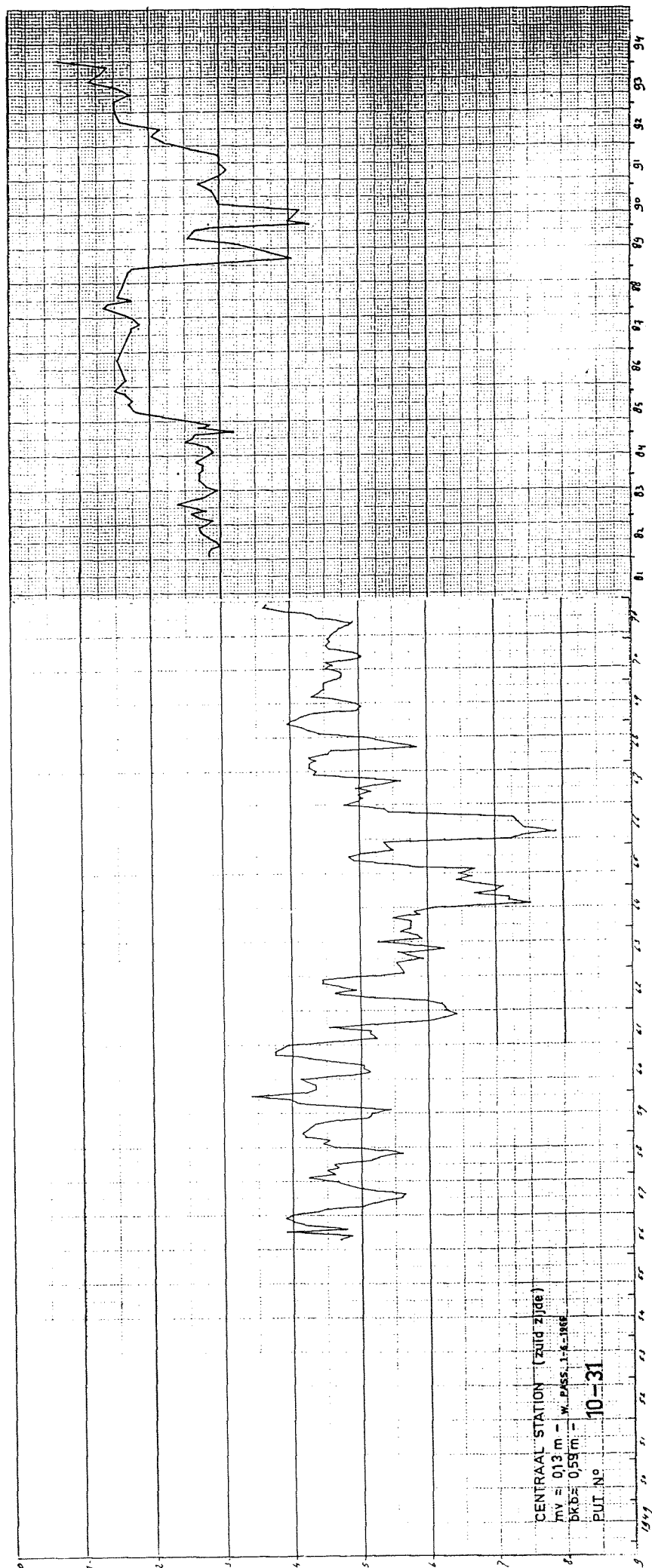
jaar	hoogte (m NAP)
1982	-3.67
1983	-3.64
1984	-3.64
1985	-3.11
1986	-2.52
1987	-2.72
1988	-2.53
1989	-3.99
1990	-4.55
1991	-3.84
1992	-2.83
1993	-2.37
1994	-2.28
1995	-2.71
1996	-2.29
1997	-2.31
1998	-1.77
1999	-1.64



putnummer 31 centraal station (proveniersplein)

jaar	hoogte (m NAP)
1982	-3.67
1983	-3.64
1984	-3.64
1985	-3.11
1986	-2.52
1987	-2.72
1988	-2.53
1989	-3.99
1990	-4.55
1991	-3.84
1992	-2.83
1993	-2.37
1994	-2.28
1995	-2.71
1996	-2.29
1997	-2.31
1998	-1.77
1999	-1.64



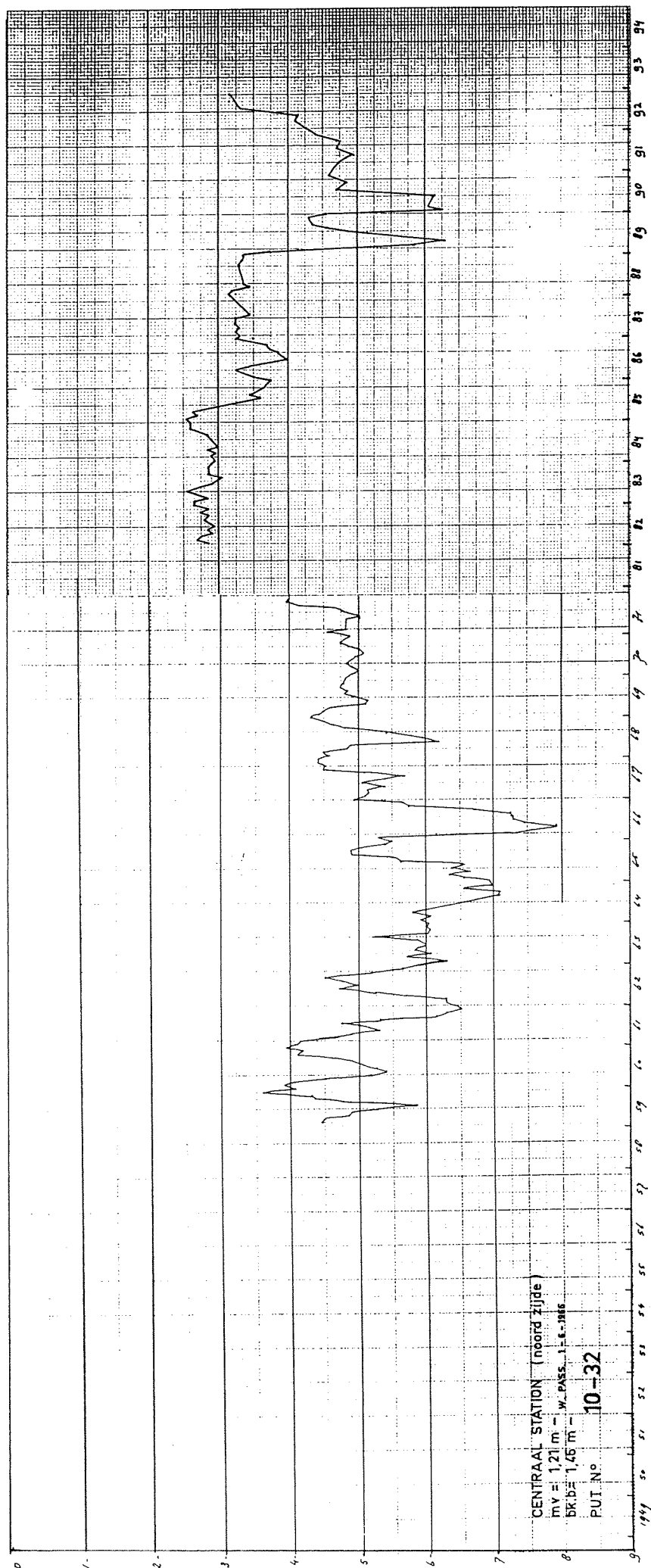


CENTRAAL STATION (Zuid zijde)

mv = 013 m - w. pass. 1-8-1966

BRD = 059 m -

PUT No 10-31



CENTRAAL STATION (noord zijde)

m.v. = 1,21 m - w. pass. 1-8-1966

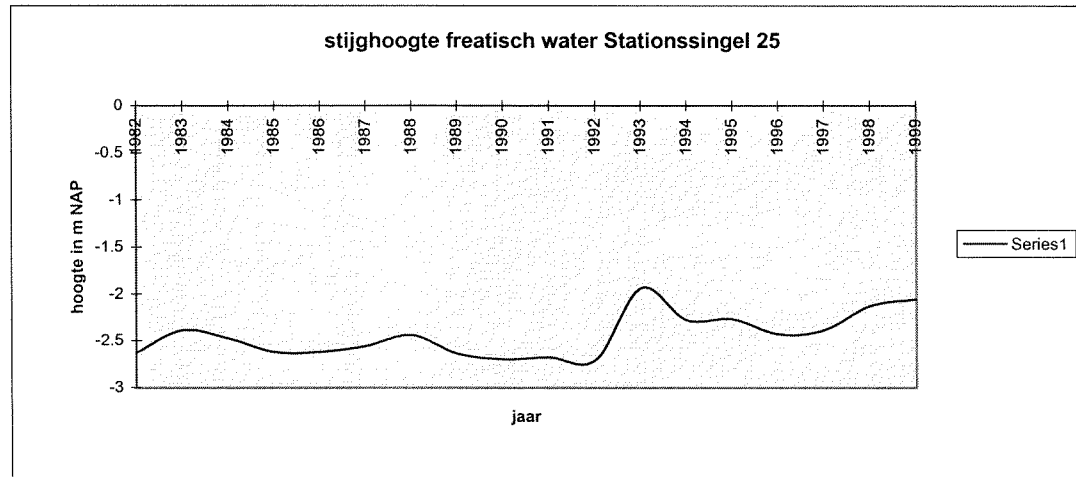
BR. b = 1,45 m -

PUT N° 10-32

Freatisch water

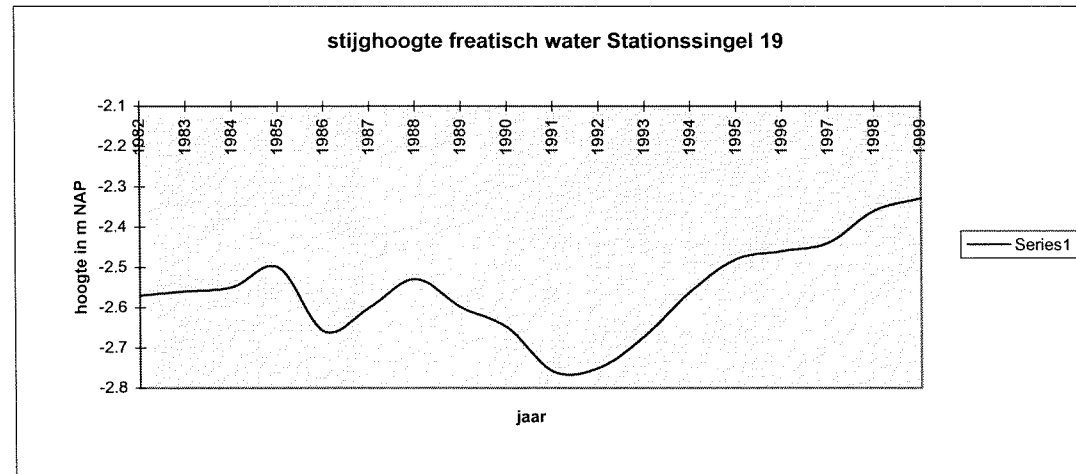
putnummer 39 achterkant centraal station (Stationssingel 25)

jaar	hoogte (m NAP)
1982	-2.63
1983	-2.39
1984	-2.48
1985	-2.62
1986	-2.62
1987	-2.56
1988	-2.44
1989	-2.64
1990	-2.7
1991	-2.68
1992	-2.71
1993	-1.94
1994	-2.28
1995	-2.27
1996	-2.43
1997	-2.39
1998	-2.13
1999	-2.06



putnummer 38 centraal station (Stationssingel 19)

jaar	hoogte (m NAP)
1982	-2.57
1983	-2.56
1984	-2.55
1985	-2.5
1986	-2.66
1987	-2.6
1988	-2.53
1989	-2.6
1990	-2.65
1991	-2.76
1992	-2.75
1993	-2.67
1994	-2.56
1995	-2.48
1996	-2.46
1997	-2.44
1998	-2.36
1999	-2.33



putnummer 31 centraal station (proveniersplein)

Bijlage X Theorie over het ontwerp van spoorwegen

Theorie over het ontwerp van spoorwegen

Tabel I Verkanting, snelheid en boogstraal metrospoor



Theorie over het ontwerp van spoorwegen

1.1 Horizontaal alignement

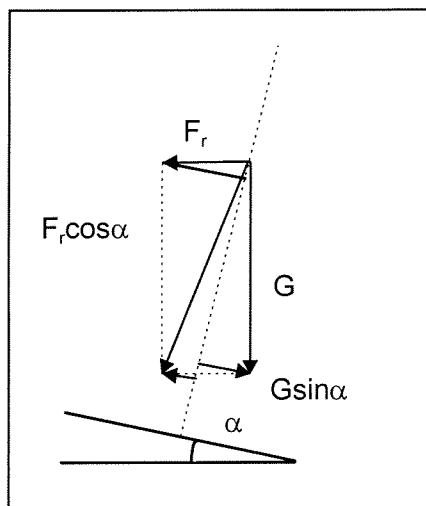
1.1.1 Verkanting

In bogen wordt het spoor onder een dwarshelling aangelegd om de naar buiten gerichte dwarskracht zo minimaal mogelijk te houden. Deze dwarshelling, ook wel verkanting genoemd, is afhankelijk van de toegestane snelheid op de baan. Een formule voor de verkanting volgt uit het krachtenevenwicht:

$$(1) \quad \Delta F_q = ma_q = F_r \cos \alpha - G \sin \alpha \quad [\text{N}]$$

Waarin:

- ΔF_q : niet gecompenseerde dwarskracht in het vlak van de vloer van het voertuig [N]
- F_r : dwarskracht op het voertuig in het horizontale vlak [N]
- a_q : niet gecompenseerde dwarsversnelling [m/s^2]
- G : gewicht van het voertuig [N]
- m : massa van het voertuig [kg]
- α : hellingshoek [rad]



Figuur 1 Dwarsversnelling en zwaartekracht van een voertuig in een bocht

Met $m = \frac{G}{g}$ en $v[\text{m/s}] = \frac{v[\text{km/h}]}{3,6}$ volgt hieruit:

$$(2) \quad \Delta F_q = \frac{G}{g} a_q = \frac{G v^2 \cos \alpha}{g R 3,6^2} - G \sin \alpha \quad [\text{N}]$$

Waarin:

- g : zwaartekrachtversnelling [m/s^2]
- v : rijsnelheid [km/h]
- R : boogstraal [m]

Met $\cos \alpha \approx 1$ en $\sin \alpha = \frac{h}{s}$ wordt dit:

$$(3) \quad a_q = \frac{v^2}{12,96R} - \frac{gh}{s} \quad [\text{m/s}^2]$$

Waarin: h : verkanting [mm]
 s : spoorbreedte [mm]

Met een spoorbreedte van 1500 mm en een zwaartekrachtversnelling van $9,81 \text{ m/s}^2$ volgt hieruit voor de verkanting:

$$(4) \quad h = \frac{11,8v^2}{R} - 153a_q \quad [\text{mm}]$$

De maximaal toegelaten dwarsversnelling wordt theoretisch bepaald door het kantelen en ontsporingengevaar en praktisch bepaald door het comfort van de reizigers. De maximaal toegelaten dwarsversnelling is bij metro en sneltrams $0,65 \text{ m/s}^2$. De verkanting wordt in het algemeen afgerond op 5 mm. Als de berekende verkanting minder dan 20 mm is wordt de verkanting verwaarloosd. Bij wisselbogen of kruisingen wordt geen verkanting toegepast. Aan de verkanting wordt een maximum gesteld. Deze verkanting bedraagt maximaal 150 mm, wat een helling van 1:10 inhoudt. Als de dwarsversnelling nul is wordt de dwarskracht volledig gecompenseerd. Dit wordt de compenserende verkanting (h_0) genoemd.

$$(5) \quad h_0 = \frac{11,8v^2}{R} \quad [\text{mm}]$$

Wanneer $h < h_0$ is er sprake van een verkantingstekort. Bij het rijden met verschillende snelheden of bij het toepassen van kleine boogstralen zijn verkantingstekorten niet te vermijden. Het maximale verkantingstekort uit het oogpunt van comfort is op beton 90 mm en op balastbed 30 mm. Het minimale verkantingstekort is 20 mm.

Wanneer $h > h_0$ is er sprake van een verkantingsoverschot. Verkantingsoverschot ontstaat indien treinen rijden met een lagere snelheid dan de snelheid waarvoor de verkanting is berekend. De RET past echter altijd een verkantingstekort toe bij het ontwerp.

1.1.2 Boogstraal

Horizontale bogen in een tracé moeten in principe zo ruim mogelijk worden ontworpen om:

- het discomfort voor de reizigers te minimaliseren;
 - een zo hoog mogelijke snelheid te halen met het voertuig;
 - slijtage aan het materiaal en materieel te minimaliseren;
 - de geluidshinder voor de omgeving te minimaliseren.
- Indien mogelijk worden boogstralen zo groot ontworpen dat geen verkanting toegepast hoeft te worden.

De maximale snelheid in een bocht wordt gegeven door:

$$(6) \quad v_{\max} = \sqrt{\frac{R(h + h_{\text{tekort}})}{11,8}} \quad [\text{km/u}]$$

In tabel I is de relatie weergegeven tussen de snelheid, de verkanting en de boogstraal. Duidelijk is te zien dat de Rotterdamse metro rijdt met drie snelheidstrappen volgens het zogenaamde ATB-systeem.

De minimale lengte van de boog is volgens de normen van de RET de lengte van een wagon. Als richtlijn moet worden aangehouden 25 meter.

1.1.3 Overgangsbogen

Ten behoeve van het rijcomfort worden overgangsbogen toegepast om de verandering in zijdelingse versnelling geleidelijk te laten verlopen. Overgangsbogen worden toegepast tussen:

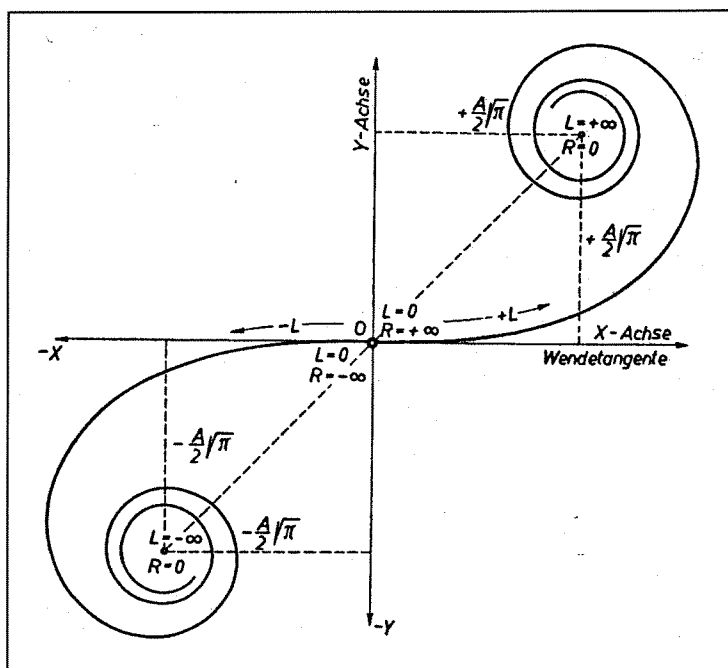
- De rechtstand en de boog;
- Gelijk gerichte bogen;
- Tegengesteld gerichte bogen.

De overgangsboog heeft de vorm van een klotoïde. De boogstraal van de klotoïde neemt dan af van oneindig in de rechtstand tot de straal van de boog. De berekeningsformule van van de klotoïde is:

$$(7) \quad A^2 = RL$$

Waarin:

- A : de parameter van de klotoïde [m]
- R : de boogstraal in een bepaald punt [m]
- L : de ontwikkelde lengte langs de klotoïde vanaf de oorsprong tot het beoogde punt. [m]



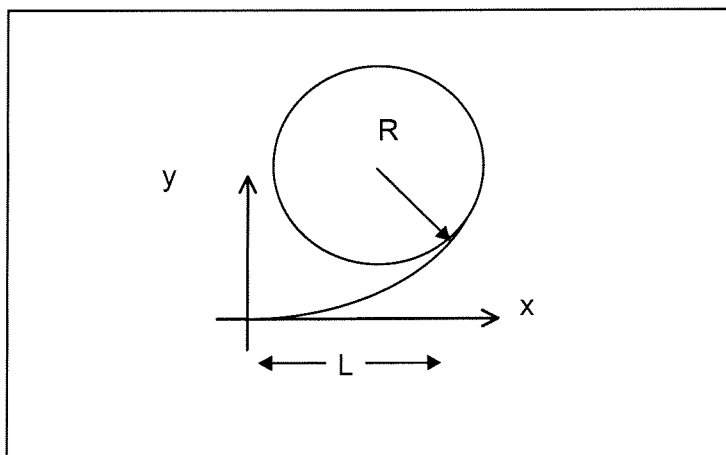
Figuur 2 klotoïde

De klotoïde met parameter 1 wordt de eenheidsklotoïde genoemd. Voor het ontwerp kan een eenvoudiger formule worden gebruikt, namelijk die van de kubische parabool. Wanneer $L \ll R$ is de boogverschuiving te verwaarlozen. In formulevorm:

$$(8) \quad y = \frac{x^3}{6RL} \quad [\text{m}]$$

Waarin:

- y : de afstand van het betreffende punt van de overgangsboog loodrecht op de doorgetrokken rechtstand ter plaatse van dat punt x [m].
- x : de afstand van het begin van de overgangsboog op de doorgetrokken rechtstand [m].
- L : de lengte van de projectie van de overgangsboog op de x -as [m].



Figuur 3 overgangsboog tussen rechtstand en boog

De toegepaste boog moet verschoven liggen ten opzichte van de rechtstand. De hoek van de raaklijn met de rechtstand aan het eind van de overgangsboog wordt gegeven door:

$$(9) \quad \tan \beta = \frac{L}{2R} \quad [\text{rad}]$$

Als er verkanting wordt toegepast in de boog moet er een overgangshelling aangelegd worden om de verkanting in te leiden. Deze lengte kan worden bepaald met de formule:

$$(10) \quad L = 0,01vh \quad [\text{m}]$$

De RET houdt hier echter bij voorkeur een flauwere helling van 1:1000 aan en bij uitzondering een helling van 1:700.

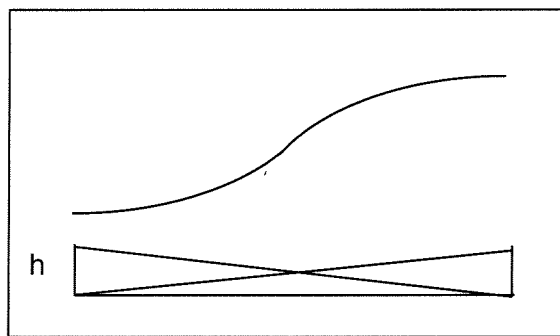
De verandering van de zijdelingse krachten bij het doorrijden van de klotoïde is ook gebonden aan een comforteis (bij 50 of 70 km/u):

$$(11) \quad A_{\min} = 0,146 \sqrt{\frac{v^3}{C_{\max}}}$$

Waarin: $A_{\min}$: de minimale parameter van de klotoiden [m]
 v : de ontwerpsnelheid [km/u]
 $C_{\max}$: de toelaatbare toename van de dwarsversnelling [m/s³]

De verbinding tussen twee tegengesteld gericht bogen wordt uitgevoerd door een s-boog zonder rechtstand of een s-boog met rechtstand, waarbij de s-boog zonder rechtstand de voorkeur heeft. In beide bogen moet gestreefd worden naar een lineair verloop van de verkanting en de kromming.

Om een geleidelijke overgang van de verkanting te krijgen past de RET een af- en oplopende verkanting toe gespreid over beide bogen, zie onderstaande figuur.



Figuur 4 verkantingsbenen in s-bogen

De verbinding tussen twee gelijkgerichte bogen kan worden gerealiseerd met slechts één overgangsbog of één rechtstand en twee overgangsbogen.

Het is ook mogelijk om bij s-bogen of gelijkgerichte bogen geen overgangsbogen toe te passen, mits er geen verkanting is toegepast in de bogen. Hierbij moet wel rekening gehouden worden met zogenaamde rukbegrenzingsen.

1.1.4 wissels

Wissels worden onderscheiden door de hoek die de wissel maakt met de rechtstand en de richting van de wissel; links, rechts of symmetrisch. De RET past doorgaans twee hoeken toe, 1:9 en 1:12. Aan de diverse typen wissels zijn maximumsnelheden gesteld:

1:9	L/R	$v = 30$ km/u
1:9	S	$v = 40$ km/u
1:12	L/R	$v = 60$ km/u
1:12	S	$v = 85$ km/u

Uit het oogpunt van spoorbeveiliging moeten wissels minimaal 21 meter buiten het station liggen. Wissels kunnen in horizontale en verticale bogen aangelegd worden.

1.2 Verticaal alignement

1.2.1 Hellingen

De steilheid van een helling wordt uitgedrukt in een promillage. De maximale helling wordt gesteld op 40 ‰ en de minimale helling op 5 ‰. De helling in een boog is minder steil, omdat ten gevolge van de boogweerstand een kleinere hellingsweerstand resteert. Het maximale hellingspromillage in een boog wordt gegeven door:

$$(12) \quad I = 40 - \frac{400}{R} \quad [\text{‰}]$$

Waarin: R : horizontale boogstraal

1.2.2 Boogstralen

De straal van een topboog van 90 km/u wordt door de RET gesteld op minimaal 3600 m en van een voetboog minimaal 2500 m. Ter plaatse van wissels moet voor beide typen bogen minimaal 5000 m toegepast worden.

Wanneer een lagere snelheid bepalend is kunnen de minimum boogstralen berekend worden met de formule:

$$(13) \quad R_v = \frac{v^2}{a_z}$$

Waarin: R_v : verticale boogstraal [m]
 v : snelheid [m/s]
 a_z : verticale versnelling [m/s²]

De maximale verticale versnelling in een holle boog is 0,5 m/s² en in een bolle boog 0,3 m/s². De RET stelt als uiterste minimum 2500 meter voor een topboog en 2000 meter voor een voetboog.

De lengte van de tangent van de boog tussen twee hellingen wordt gegeven door:

$$(14) \quad T = \frac{R_v}{2} \frac{|I_1 \pm I_2|}{1000}$$

Waarin: T : lengte van de tangent van de boog tussen het begin en het eindpunt van de boog
 I_1 : promillage van de eerste helling
 I_2 : promillage van de tweede helling
(‘+’ als de hellingen tegengesteld gericht zijn en ‘-’ als de hellingen gelijk gericht zijn)

De grootte van de ordinaat van de afrondingsboog wordt gegeven door:

$$(15) \quad y = \frac{x^2}{2R_v}$$

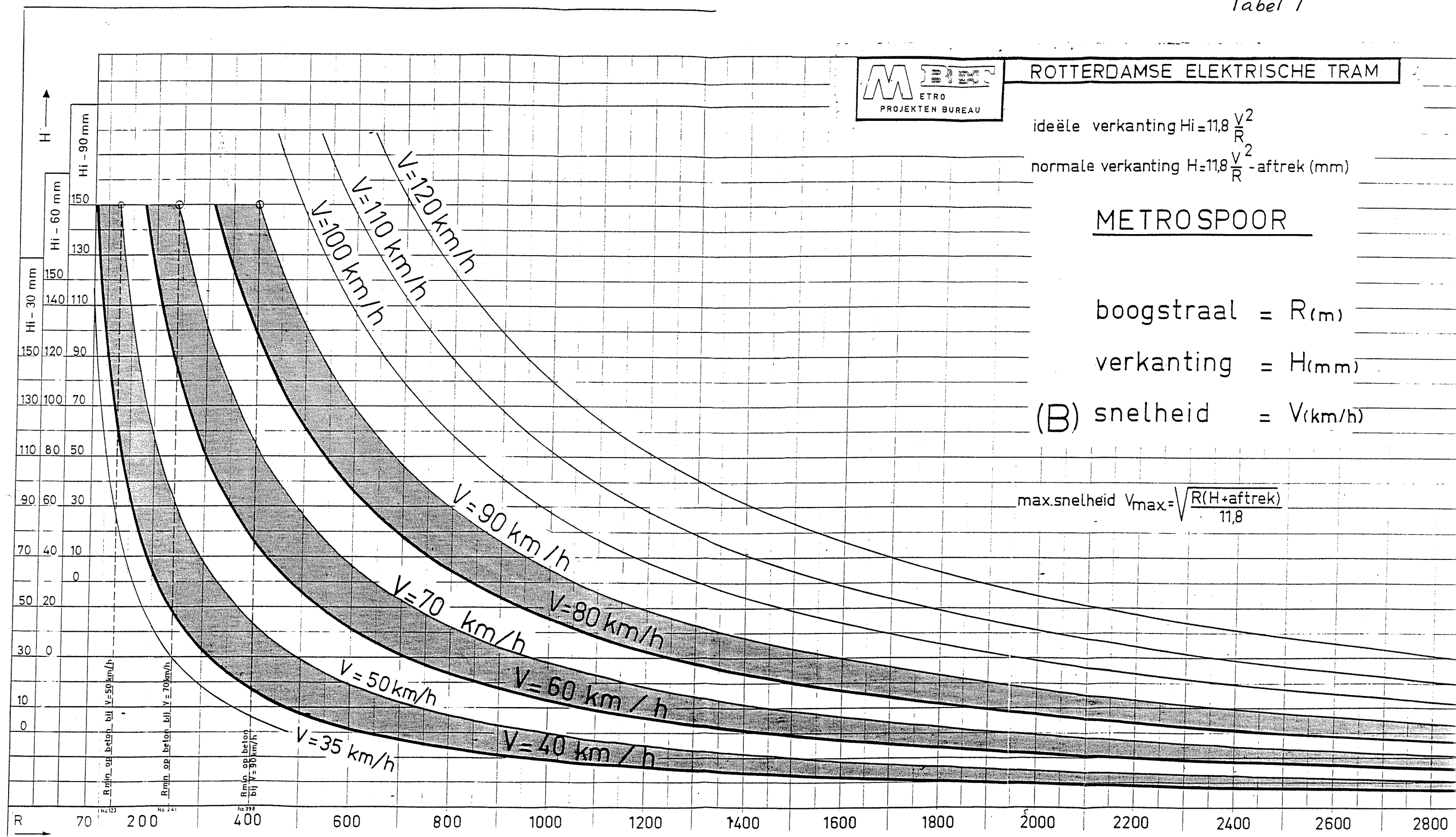
Het is ook vrij eenvoudig om de werkelijke plaats te bepalen van de overgang van een helling in een boog, door de helling gelijk te stellen aan de raaklijn van de boog. De formule van de raaklijn aan een boog wordt gegeven door:

$$(16) \quad \frac{dy}{dx} = \frac{-x}{\sqrt{R^2 - x^2}}$$

1.3 Verwijzingen

- [1] Prof. dr. ing I.A. Hansen, *Ontwerp van wegen en spoorwegen*, TU-Delft september 1996
- [2] Prof. dr. ing. H. Kasper, *Die klotöide als trassierungselement*, Bonn 1954
- [3] Gemeentevervoerbedrijf bouw bureau metro, *Voorschriften metro-tracering*, Amsterdam januari 1976
- [4] Gesprekken met H. van der Mij en B.R. Buitenhok van de RET

Tabel 1



ROTTERDAMSE ELEKTRISCHE TRAM

ideële verkanting $H_i = 11,8 \frac{V^2}{R}$
 normale verkanting $H = 11,8 \frac{V^2}{R} - \text{aftrek (mm)}$

METRO SPOOR

boogstraal = R (m)

verkanting = H (mm)

(B) snelheid = V (km/h)

max.snelheid $V_{max} = \sqrt{\frac{R(H + \text{aftrek})}{11,8}}$

Bijlage XI Overzicht uitvoeringsmethoden bouwkuip

Overzicht uitvoeringsmethoden bouwkuip



Uitvoeringsmethoden

Inleiding

De uitvoeringsmethode van de aansluiting heeft grote invloed op de constructie, door de geringe vrijheden die de omgeving biedt voor de bouw van de aansluiting.

In het verleden is al eens vaker een de bestaande metrotunnel opengebroken om een aansluiting te maken tussen de in aanbouw zijnde Oost-Westlijn en de bestaande Noord-Zuidlijn van de Rotterdamse metro. De methode die hier gebruikt wordt kort beschreven, waaruit verschillende lessen kunnen worden getrokken voor de bouw van de aansluiting onder het Weenahuis.

Verticale begrenzing van de bouwkuip

Taludbegrenzing

De meest eenvoudige verticale begrenzing is grond onder natuurlijk talud. Een nadeel is het grote ruimtebeslag. Bovendien is de constructie niet waterdicht. De bouwkuip die ontstaat bij deze begrenzing wordt ook wel bouwput genoemd. Voor deze situatie komt een helling onder natuurlijk talud niet in aanmerking, gezien het grote ruimtebeslag en het gevaar dat de grond gaat afschuiven en funderingen van gebouwen meeneemt.

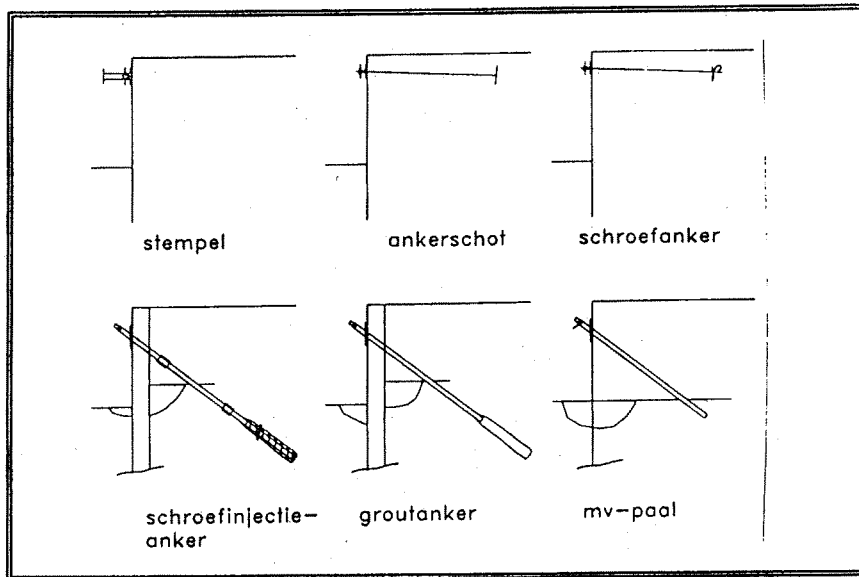
Stalen damwand/ combiwand

Een damwand is een stalen plank met een bepaalde vorm die in de grond wordt geheid, getrild of gedrukt. De planken zijn aan de zijkanten voorzien van een slotconstructie waarmee de planken gekoppeld kunnen worden, zodat een damwand kan worden gevormd die grond- en waterdicht is. Deze planken kunnen na de bouw hergebruikt worden.

Een damwand is een flexibele constructie die zal vervormen onder belasting. Om het evenwicht van de planken te kunnen waarborgen worden stempels of verankeringsconstructies toegepast.

- Stempels zijn H- of ronde buisprofielen die tussen damwandschermen onderling of tussen de damwand en de constructie worden geplaatst. Deze stempels worden belast op druk. Een nadeel van stempels is dat de bewegingsvrijheid in de bouwkuip beperkt is.

Ankers zijn verankeringselementen in de grond achter de damwand die op trek worden belast. Er zijn diverse typen op de markt. Sommige methoden gaan uit van de schuifweerstand van enkel het stalen anker in de grond, bij andere methoden wordt grout geïnjecteerd om zo een hogere weerstand te krijgen. In de onderstaande figuur wordt een overzicht gegeven van een aantal verankeringsmethoden.



Figuur 1 Diverse verankeringsmethoden

Een nadeel van ankers is dat ze in de grond achter blijven, wat in stedelijk gebied vaak ongewenst is. Ook moet de grond om de bouwkuip vrij zijn van obstakels, wat in dit geval niet overal het geval is.

Een bijdrage aan de stabiliteit van de damwandconstructie wordt ook door de damwand zelf geleverd. Er zijn diverse typen damwandplanken op de markt met elke een bepaalde stijfheid. Een bijzondere vorm van een damwandconstructie is de combiwand, die doorgaans stijver is dan een damwand door de toepassing van stalen buispalen waartussen damwandplanken worden aangebracht.

Een damwand geldt algemeen als goedkoop, mede omdat hergebruik mogelijk is, en wordt dan ook veelvuldig toegepast.

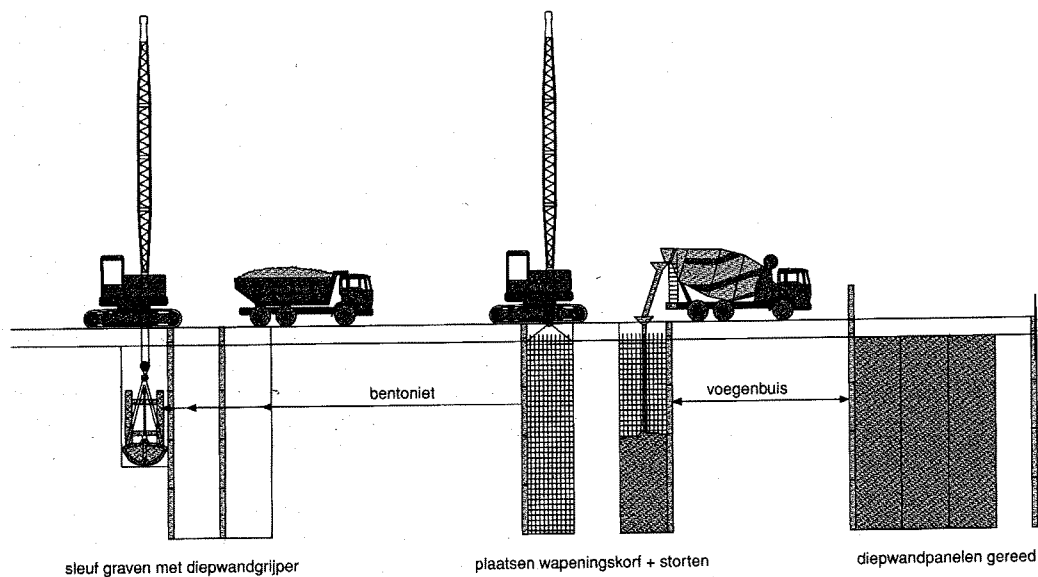
Een damwand is tot een lengte van ongeveer dertig meter leverbaar. Er bestaat een risico dat de planken tijdens het inbrengen uit het slot lopen zodat de waterdichtheid niet gegarandeerd is. De schade is met injectiemiddelen te herstellen. Een ander nadeel is dat het inbrengen van de planken tot trillingen en deformaties in de ondergrond leidt, want nadelig kan zijn voor omliggende bouwconstructies.

Diepwand

Een diepwand is een constructie waarbij eerst een gat in de grond gegraven wordt. Dit gat wordt gevuld met een bentoniet-suspensie zodat de stabiliteit van het gat gewaarborgd blijft. Vervolgens wordt het gat gevuld wapening en beton. Zo ontstaan een aantal panelen die samen een grond- en waterdichte wand vormen, zie figuur 2. De panelen kunnen ook gemaakt worden uit geprefabriceerde betonnen elementen. Diepwanden kunnen een blijvend onderdeel van de constructie gaan vormen.

Het voordeel van een diepwand is dat er nauwelijks een begrenzing in afmeting is zodat de wand een hoog draagvermogen bezit. Ook kunnen de panelen geluids- en trillingsarm vervaardigd worden. Een diepwand bezit een grote buigstijfheid.

Het nadeel is dat de productiesnelheid relatief laag is en dat een hoge organisatiegraad op de bouwplaats vereist is. In het algemeen geldt dat voor Nederlandse omstandigheden diepwanden duurder zijn dan stalen damwanden. De kosten zijn afhankelijk van de afmetingen en het gebruikte materieel.



Figuur 3 Het maken van een diepwand

Palenwand

Een palenwand is eigenlijk de voorloper van de diepwand en is opgebouwd uit gewapende betonnen boor- of schroefpalen die in de grond zijn gevormd en elkaar gedeeltelijk overlappen. Door de vele elementen is deze wand moeilijk waterdicht te maken, waardoor een diepwand meestal de voorkeur heeft.

Grondverbeteringstechnieken

Het is ook mogelijk zonder te boren of te graven een waterdicht scherm aan te brengen. Er zijn diverse technieken hiervoor die de poriën in de grond vullen met een injectievloeistof. De hoeveelheid te injecteren injectiemateriaal is ongeveer gelijk aan het poriënvolume. Men kan hiervoor injectievloeistoffen gebruiken op basis van cement, ook wel grout genoemd, op basis van klei en bentoniet of op basis van chemicaliën. Wanneer grout gebruikt wordt kunnen fijnkorrelige grondsoorten minder goed geïnjecteerd worden. Bij het gebruik van chemicaliën, die een fijnere structuur hebben, kan fijnkorrelige grond wel beter geïnjecteerd worden. Om de vloeistof in de grond aan te brengen worden buizen of slangen gebruikt die de injectievloeistof in de grond persen.

Horizontale begrenzing van de bouwkuip

Natuurlijke begrenzing met bemaling

Grondwater is op twee manieren aanwezig in de grond: als freatisch en als spanningswater. Freatisch grondwater staat in verbinding met lucht zodat het evenwicht met de luchtdruk en de hoeveelheid water het niveau bepaalt van het freatisch grondwater. Spanningswater is water dat onder een afsluitende laag zit en een druk op die laag uitoefent. Deze laag kan voor het opbarsten van de

bouwputbodem zorgen. De bodem moet op evenwicht gecontroleerd worden. Door bemaling toe te passen is het mogelijk om het freatisch vlak te verlagen en/of de spanning van het spanningswater te reduceren. Of de bemaling voldoende is om geen waterafsluitende laag te gebruiken is afhankelijk van eisen uit de omgeving, de capaciteit van de pompen en de kosten. In de Rotterdamse situatie mag doorgaans niet lager worden bemalen dan het niveau wat eerder bemaald is in dat gebied gedurende eenzelfde periode.

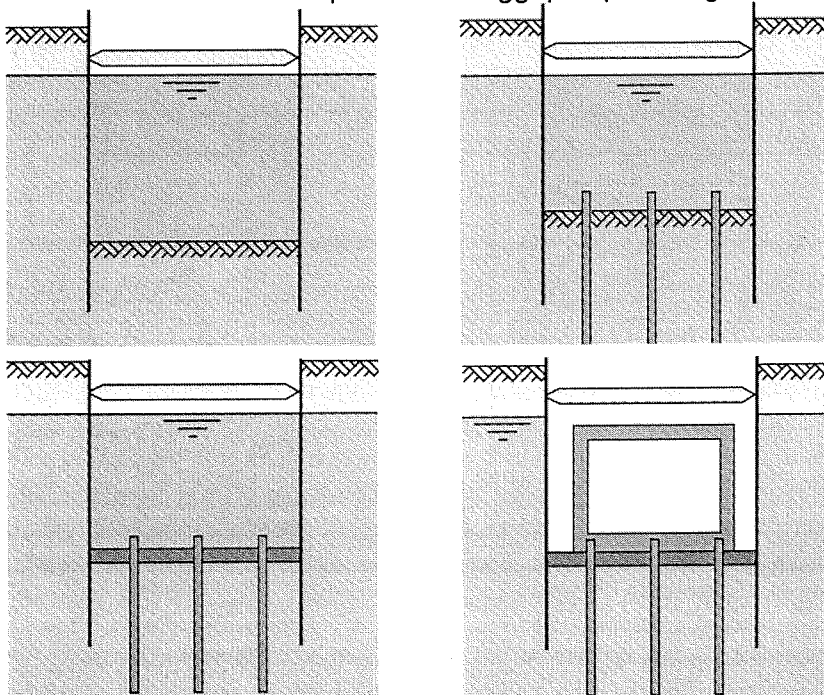
Natuurlijke waterafsluitende of remmende laag

Een eenvoudige manier om een bouwkuip waterdicht te maken is om de verticale wanden tot in een natuurlijke ondoorlatende of slechtdoorlatende laag, zoals een kleilaag, aan te brengen en dan het freatisch water uit de kuip pompen. In Rotterdam is een afsluitende laag aanwezig tussen 4 en 17 m -NAP en een waterremmende laag tussen 40 en 51 m - NAP. Ook hier is het horizontale evenwicht belangrijk en kan spanningsbemaling nodig zijn om het evenwicht te waarborgen. Ook is bemaling nodig wanneer de laag niet geheel waterdicht is en er water in de bouwkuip lekt.

Onderwaterbetonvloer

Wanneer een natuurlijke waterafsluitende - of remmende laag ontbreekt, bemaling niet of beperkt mogelijk is of er opbarstingsgevaar is, is het toepassen van onderwaterbetonvloer een mogelijkheid. Het evenwicht van de constructie wordt verkregen door het gewicht van de vloer, al dan niet in combinatie met trekpalen. Het is ook mogelijk om wapening toe te passen in de onderwaterbetonvloer.

Nadat de verticale wanden zijn geplaatst wordt de bouwkuip in den natte ontgraven. Het water in de kuip moet voldoende neerwaartse druk leveren tegen het opbarsten van de bodem. Als de kuip ontgraven is kunnen de eventueel benodigde palen worden geheid, waarna het onderwaterbeton wordt gestort. Als het beton voldoende verhard is kan de bouwkuip worden leeggepompt, zie figuur 4

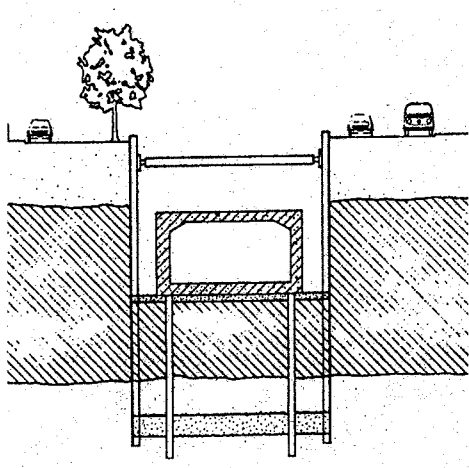


Figuur 5 **Onderwaterbeton**

Grondverbeteringstechnieken

De doorlatendheid van de ondergrond kan ook kunstmatig worden verkleind door het toepassen van chemische injectie, jetgrouting en bevriezing. Door injectie en jetgrouting wordt de sterkte van de grond door verkitting met het verhardende voegmiddel vergroot. Bij bevriezing worden het water rond grondkorrels bevroren zodat er een ijsmassa ontstaat.

Jetgrouting of chemische injectie kan worden toegepast in zandige materiaal. Daarbij is belangrijk dat de grond heterogeen van samenstelling is, zodat de waterremmende werking gegarandeerd is. In de praktijk blijkt dat de grond meestal niet heterogeen van samenstelling is wat de methode nogal risicogevoelig maakt. Deze methoden worden veel gebruikt voor plaatselijke waterdichte isolaties, zoals bijvoorbeeld bij reparaties. Is de waterdichte isolatie tijdelijk van aard dan is bevriezing van de grond ook een mogelijkheid. Een nadeel van bevriezing is dat bij het ontdooien een ontspanning van de grond optreedt. De kosten van deze methoden zijn hoog.



Figuur 6 **Kunstmatig waterafsluitende laag**

Bijlage XII Berekeningen van de bemaling

Berekening spanningsbemaling bouwkuip

Berekening spanningsbemaling omgeving



Berekening spanningsbemaling

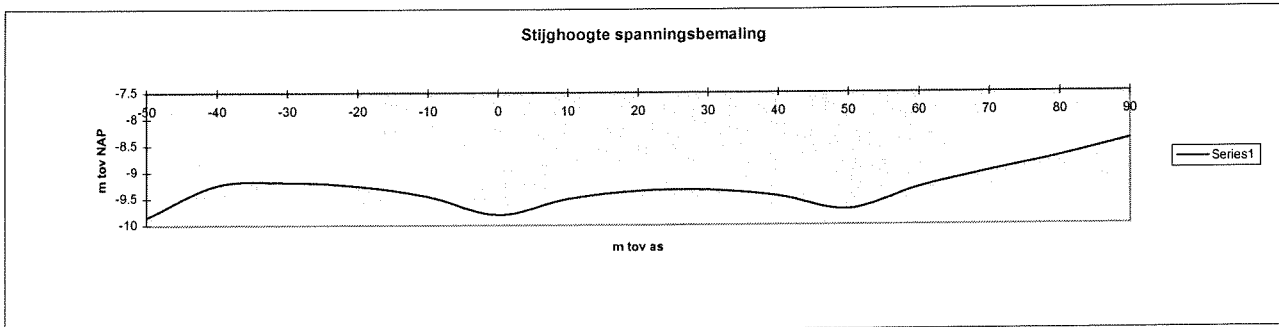
kD [m3/dag] 900
 lekfactor [m] 1500
 1.123*lekfactor 1684.5

putnummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
debiet [m3/uur]	80	80	80	80	80	80	80	80	80	-90	-120	-90
x-coördinaat	-50	0	50	61	50	0	-50	-50	80	175	100	-151
y-coördinaat	40	40	40	0	-35	-35	-40	0	-20	-226	176	250

A 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 -0.38198 -0.50931 -0.38198

x [m]	r t.o.v. lijn y=-39											
-50	79	93.49332	127.4402	117.652	100.08	50.15974	1	39	131.3811	292.5645	262.1545	306.1405
-40	79.6304	88.54942	119.7539	108.2682	90.08885	40.1995	10.04988	40.26164	121.4949	284.9456	256.5638	309.5836
-30	81.49233	84.50444	112.4322	99.00505	80.09994	30.26549	20.02498	43.82921	111.6288	277.4779	251.2469	313.3082
-20	84.50444	81.49233	105.5509	89.89994	70.11419	20.39608	30.01666	49.20366	101.789	270.174	246.2214	317.3043
-10	88.54942	79.6304	99.20181	81.00617	60.13319	10.77033	40.0125	55.86591	91.98369	263.0475	241.5057	321.5618
0	93.49332	79	93.49332	72.40166	50.15974	4	50.01	63.41136	82.2253	256.1133	237.1181	326.0705
10	99.20181	79.6304	88.54942	64.2028	40.1995	10.77033	60.00833	71.56116	72.53275	249.3872	233.0772	330.8202
20	105.5509	81.49233	84.50444	56.58622	30.26549	20.39608	70.00714	80.13114	62.93648	242.8868	229.4014	335.8005
30	112.4322	84.50444	81.49233	49.81967	20.39608	30.26549	80.00625	89	53.48832	236.6305	226.1084	341.0015
40	119.7539	88.54942	79.6304	44.29447	10.77033	40.1995	90.00556	98.0867	44.28318	230.6382	223.2151	346.413
50	127.4402	93.49332	79	40.5216	4	50.15974	100.005	107.3359	35.51056	224.9311	220.7374	352.0256
60	135.4289	99.20181	79.6304	39.01282	10.77033	60.13319	110.0045	116.709	27.58623	219.5313	218.6893	357.8296
70	143.6698	105.5509	81.49233	40.02499	20.39608	70.11419	120.0042	126.1784	21.47091	214.4621	217.0829	363.8159
80	152.1217	112.4322	84.50444	43.38202	30.26549	80.09994	130.0038	135.724	19	209.7475	215.9282	369.9757
90	160.7514	119.7539	88.54942	48.60041	40.1995	90.08885	140.0036	145.3307	21.47091	205.4118	215.2324	376.3004

x [m]	verlaging [m]													totaal
-50	-1.03892	-0.98173	-0.87655	-0.90368	-0.95861	-1.19315	-2.52252	-1.2786	-0.86621	0.668676	0.947466	0.65135	-50	-9.85247
-40	-1.03622	-1.00017	-0.89767	-0.93191	-0.99432	-1.26831	-1.73901	-1.26778	-0.89277	0.678756	0.958445	0.647078	-40	-9.24389
-30	-1.02837	-1.01605	-0.91909	-0.96228	-1.03422	-1.36469	-1.50493	-1.23896	-0.92153	0.6889	0.969111	0.64251	-30	-9.18959
-20	-1.01605	-1.02837	-0.94054	-0.99503	-1.07943	-1.49869	-1.36749	-1.19968	-0.95286	0.699089	0.979401	0.637668	-20	-9.26199
-10	-1.00017	-1.03622	-0.9616	-1.0304	-1.13157	-1.7155	-1.26989	-1.15657	-0.98725	0.7093	0.98925	0.632577	-10	-9.45806
0	-0.98173	-1.03892	-0.98173	-1.06853	-1.19315	-2.05182	-1.19416	-1.11355	-1.02533	0.719505	0.998588	0.627258	0	-9.80356
10	-0.9616	-1.03622	-1.00017	-1.10934	-1.26831	-1.7155	-1.13228	-1.0725	-1.06792	0.729671	1.007343	0.621734	10	-9.50509
20	-0.94054	-1.02837	-1.01605	-1.15222	-1.36469	-1.49869	-1.07995	-1.03409	-1.1161	0.739759	1.015439	0.616027	20	-9.35947
30	-0.91909	-1.01605	-1.02837	-1.19546	-1.49869	-1.36469	-1.03462	-0.99845	-1.17133	0.749728	1.022803	0.610156	30	-9.34407
40	-0.89767	-1.00017	-1.03622	-1.23537	-1.7155	-1.26831	-0.99463	-0.96544	-1.23546	0.759525	1.029362	0.604142	40	-9.45575
50	-0.87655	-0.98173	-1.03892	-1.2656	-2.05182	-1.19315	-0.95886	-0.93484	-1.31042	0.769096	1.035047	0.598002	50	-9.70974
60	-0.85591	-0.9616	-1.03622	-1.27848	-1.7155	-1.13157	-0.92651	-0.90642	-1.39616	0.778378	1.039795	0.591756	60	-9.29844
70	-0.83585	-0.94054	-1.02837	-1.26979	-1.49869	-1.07943	-0.89696	-0.87993	-1.48125	0.787302	1.04355	0.585418	70	-8.99455
80	-0.81644	-0.91909	-1.01605	-1.24244	-1.36469	-1.03422	-0.86979	-0.85517	-1.52277	0.795793	1.046266	0.579005	80	-8.71959
90	-0.7977	-0.89767	-1.00017	-1.20387	-1.26831	-0.99432	-0.84463	-0.83195	-1.48125	0.803772	1.04791	0.57253	90	-8.39567



Berekening spanningsbemaling

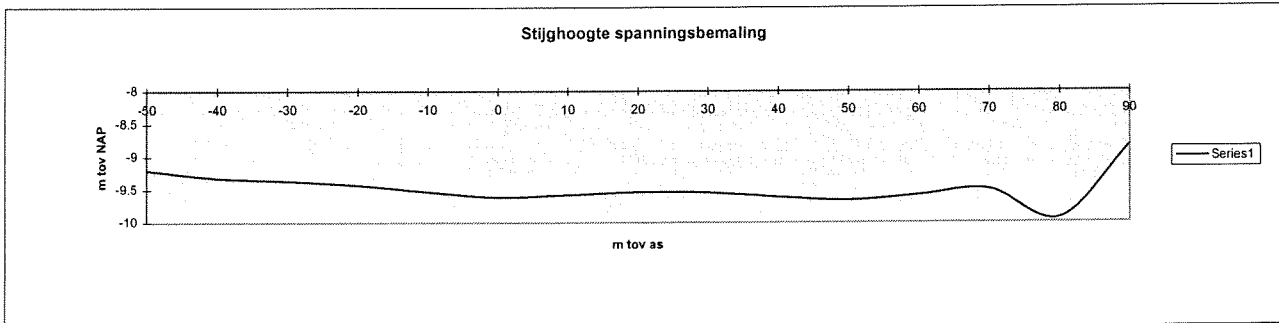
kD [m3/dag] 900
 lekfactor [m] 1500
 1.123*lekfactor 1684.5

putnummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
debiet [m3/uur]	80	80	80	80	80	80	80	80	80	-90	-120	-90
x-coördinaat	-50	0	50	61	50	0	-50	-50	80	175	100	-151
y-coördinaat	40	40	40	0	-35	-35	-40	0	-20	-226	176	250

A 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 -0.38198 -0.50931 -0.38198

x [m]	r t.o.v. lijn y= -21											
-50	61	78.87332	117.1367	112.969	100.9752	51.92302	19	21	130.0038	304.3846	247.6065	289.2093
-40	61.81424	72.94518	108.7244	103.1601	91.08238	42.37924	21.47091	23.25941	120.0042	297.069	241.6795	292.8515
-30	64.19502	67.97794	100.6032	93.39165	81.21576	33.10589	27.58623	29	110.0045	289.9138	236.0275	296.7861
-20	67.97794	64.19502	92.84934	83.67795	71.38627	24.41311	35.51056	36.61967	100.005	282.9311	230.6708	301.0017
-10	72.94518	61.81424	85.56284	74.04053	61.61169	17.20465	44.28318	45.17743	90.00556	276.134	225.6302	305.4865
0	78.87332	61	78.87332	64.51356	51.92302	14	53.48832	54.23099	80.00625	269.5366	220.9276	310.2289
10	85.56284	61.81424	72.94518	55.15433	42.37924	17.20465	62.93648	63.56886	70.00714	263.1539	216.5849	315.2174
20	92.84934	64.19502	67.97794	46.06517	33.10589	24.41311	72.53275	73.08215	60.00833	257.0019	212.6241	320.4403
30	100.6032	67.97794	64.19502	37.44329	24.41311	33.10589	82.2253	82.71034	50.01	251.0976	209.067	325.8865
40	108.7244	72.94518	61.81424	29.69848	17.20465	42.37924	91.98369	92.41753	40.0125	245.4588	205.9345	331.5449
50	117.1367	78.87332	61	23.70654	14	51.92302	101.789	102.1812	30.01666	240.1041	203.2462	337.4048
60	125.7816	85.56284	61.81424	21.0238	17.20465	61.61169	111.6288	111.9866	20.02498	235.0532	201.0199	343.456
70	134.6143	92.84934	64.19502	22.84732	24.41311	71.38627	121.4949	121.8236	10.04988	230.3259	199.2712	349.6884
80	143.6001	100.6032	67.97794	28.3196	33.10589	81.21576	131.3811	131.6852	1	225.9425	198.0126	356.0927
90	152.7121	108.7244	72.94518	35.80503	42.37924	91.08238	141.2834	141.5662	10.04988	221.9234	197.2536	362.6596

x [m]	verlaging [m]													totaal
-50	-1.12671	-1.03946	-0.90518	-0.91748	-0.95559	-1.18142	-1.52277	-1.48878	-0.86979	0.653547	0.976544	0.673082	-50	-9.204
-40	-1.12221	-1.06599	-0.93048	-0.94832	-0.9906	-1.25038	-1.48125	-1.45409	-0.89696	0.66284	0.988884	0.668302	-40	-9.32026
-30	-1.10938	-1.08994	-0.95684	-0.98209	-1.02953	-1.33423	-1.39616	-1.37919	-0.92651	0.672153	1.000936	0.663204	-30	-9.36757
-20	-1.08994	-1.10938	-0.98407	-1.01939	-1.07333	-1.43765	-1.31042	-1.29998	-0.95886	0.681466	1.012628	0.657816	-20	-9.43111
-10	-1.06599	-1.12221	-1.01182	-1.06093	-1.12333	-1.55647	-1.23546	-1.22867	-0.99463	0.690754	1.023881	0.652167	-10	-9.53272
0	-1.03946	-1.12671	-1.03946	-1.1077	-1.18142	-1.62646	-1.17133	-1.16665	-1.03462	0.699992	1.034608	0.646282	0	-9.61294
10	-1.01182	-1.12221	-1.06599	-1.16092	-1.25038	-1.55647	-1.1161	-1.11271	-1.07995	0.709146	1.04472	0.640189	10	-9.5825
20	-0.98407	-1.10938	-1.08994	-1.22206	-1.33423	-1.43765	-1.06792	-1.06536	-1.13228	0.718182	1.05412	0.633912	20	-9.53667
30	-0.95684	-1.08994	-1.10938	-1.29243	-1.43765	-1.33423	-1.02533	-1.02333	-1.19416	0.72706	1.062712	0.627474	30	-9.54605
40	-0.93048	-1.06599	-1.12221	-1.37111	-1.55647	-1.25038	-0.98725	-0.98565	-1.26989	0.735736	1.070401	0.620899	40	-9.61241
50	-0.90518	-1.03946	-1.12671	-1.44762	-1.62646	-1.18142	-0.95286	-0.95155	-1.36749	0.744161	1.077094	0.614206	50	-9.66329
60	-0.881	-1.01182	-1.12221	-1.4884	-1.55647	-1.12333	-0.92153	-0.92044	-1.50493	0.752282	1.082703	0.607416	60	-9.58772
70	-0.85795	-0.98407	-1.10938	-1.46016	-1.43765	-1.07333	-0.89277	-0.89185	-1.73901	0.760043	1.087153	0.600547	70	-9.49844
80	-0.83601	-0.95684	-1.08994	-1.38725	-1.33423	-1.02953	-0.86621	-0.86542	-2.52252	0.767383	1.09038	0.593614	80	-9.93658
90	-0.81512	-0.93048	-1.06599	-1.30762	-1.25038	-0.9906	-0.84154	-0.84086	-1.73901	0.774238	1.092336	0.586634	90	-8.82839



Berekening spanningsbemaling

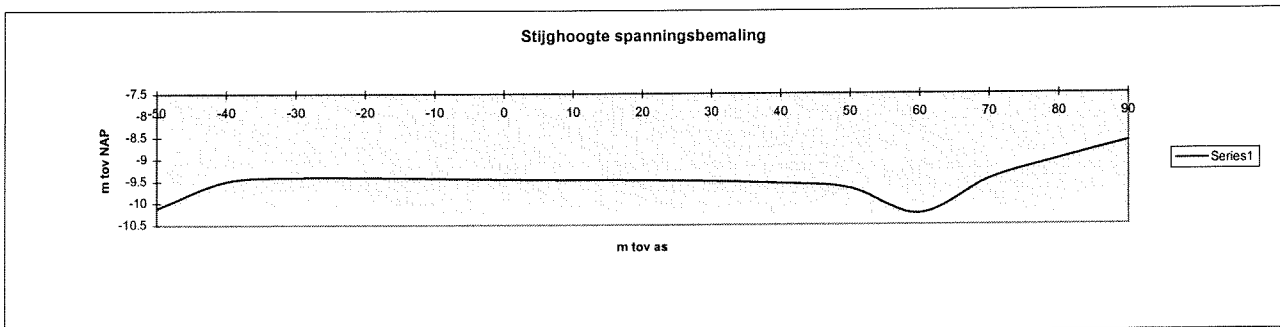
kD [m3/dag] 900
 lekfactor [m] 1500
 1.123*lekfactor 1684.5

putnummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
debiet [m3/uur]	80	80	80	80	80	80	80	80	80	-90	-120	-90
x-coördinaat	-50	0	50	61	50	0	-50	-50	80	175	100	-151
y-coördinaat	40	40	40	0	-35	-35	-40	0	-20	-226	176	250

A 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 -0.38198 -0.50931 -0.38198

x [m]	r t.o.v. lijn y=											
	1											
-50	39	63.41136	107.3359	111.0045	106.2826	61.61169	41	1	131.6852	319.6154	230.4886	268.7043
-40	40.26164	55.86591	98.0867	101.005	96.93297	53.8145	42.2019	10.04988	121.8236	312.6564	224.1093	272.6206
-30	43.82921	49.20366	89	91.00549	87.72685	46.8615	45.61798	20.02498	111.9866	305.866	218.0023	276.8429
-20	49.20366	43.82921	80.13114	81.00617	78.71467	41.18252	50.80354	30.01666	102.1812	299.2557	212.191	281.3574
-10	55.86591	40.26164	71.56116	71.00704	69.97142	37.36308	57.28001	40.0125	92.41753	292.8378	206.7003	286.1503
0	63.41136	39	63.41136	61.0082	61.61169	36	64.66065	50.01	82.71034	286.6252	201.5564	291.2078
10	71.56116	40.26164	55.86591	51.0098	53.8145	37.36308	72.67049	60.00833	73.08215	280.6314	196.7867	296.5164
20	80.13114	43.82921	49.20366	41.01219	46.8615	41.18252	81.12336	70.00714	63.56886	274.8709	192.4188	302.0629
30	89	49.20366	43.82921	31.01612	41.18252	46.8615	89.89438	80.00625	54.23099	269.3585	188.4808	307.8344
40	98.0867	55.86591	40.26164	21.0238	37.36308	53.8145	98.89894	90.00556	45.17743	264.1098	185	313.8184
50	107.3359	63.41136	39	11.04536	36	61.61169	108.0787	100.005	36.61967	259.1409	182.0027	320.0031
60	116.709	71.56116	40.26164	1.414214	37.36308	69.97142	117.3925	110.0045	29	254.4681	179.5132	326.3771
70	126.1784	80.13114	43.82921	9.055385	41.18252	78.71467	126.8109	120.0042	23.25941	250.108	177.5528	332.9294
80	135.724	89	49.20366	19.0263	46.8615	87.72685	136.3121	130.0038	21	246.0772	176.1391	339.6498
90	145.3307	98.0867	55.86591	29.01724	53.8145	96.93297	145.8801	140.0036	23.25941	242.3922	175.2855	346.5285

x [m]	verlaging [m]													totaal
-50	-1.2786	-1.11355	-0.93484	-0.92343	-0.93819	-1.12333	-1.26161	-2.52252	-0.86542	0.634896	1.013031	0.701173	-50	-10.1124
-40	-1.26778	-1.15657	-0.96544	-0.95549	-0.96946	-1.16927	-1.2518	-1.73901	-0.89185	0.643305	1.027326	0.695646	-40	-9.5004
-30	-1.23896	-1.19968	-0.99845	-0.99088	-1.00334	-1.21624	-1.22538	-1.50493	-0.92044	0.651693	1.041397	0.689775	-30	-9.41544
-20	-1.19968	-1.23896	-1.03409	-1.0304	-1.04015	-1.26011	-1.18882	-1.36749	-0.95155	0.660038	1.055158	0.683596	-20	-9.41246
-10	-1.15657	-1.26778	-1.0725	-1.07514	-1.08013	-1.29315	-1.14808	-1.26989	-0.98565	0.66832	1.068511	0.677144	-10	-9.43492
0	-1.11355	-1.2786	-1.11355	-1.12667	-1.12333	-1.30577	-1.10693	-1.19416	-1.02333	0.676511	1.081346	0.670452	0	-9.45758
10	-1.0725	-1.26778	-1.15657	-1.18744	-1.16927	-1.29315	-1.06727	-1.13228	-1.06536	0.684583	1.093543	0.663551	10	-9.46995
20	-1.03409	-1.23896	-1.19968	-1.26151	-1.21624	-1.26011	-1.02991	-1.07995	-1.11271	0.692506	1.104975	0.656472	20	-9.47922
30	-0.99845	-1.19968	-1.23896	-1.35637	-1.26011	-1.21624	-0.99505	-1.03462	-1.16665	0.700244	1.115507	0.649242	30	-9.50114
40	-0.96544	-1.15657	-1.26778	-1.4884	-1.29315	-1.16927	-0.96264	-0.99463	-1.22867	0.707761	1.125001	0.641888	40	-9.55191
50	-0.93484	-1.11355	-1.2786	-1.70694	-1.30577	-1.12333	-0.9325	-0.95886	-1.29998	0.715016	1.13332	0.634433	50	-9.67161
60	-0.90642	-1.0725	-1.26778	-2.40485	-1.29315	-1.08013	-0.90443	-0.92651	-1.37919	0.721967	1.140334	0.6269	60	-10.2458
70	-0.87993	-1.03409	-1.23896	-1.77439	-1.26011	-1.04015	-0.87823	-0.89696	-1.45409	0.728568	1.145927	0.619307	70	-9.4631
80	-0.85517	-0.99845	-1.19968	-1.5223	-1.21624	-1.00334	-0.8537	-0.86979	-1.48878	0.734775	1.149998	0.611673	80	-9.01101
90	-0.83195	-0.96544	-1.15657	-1.37899	-1.16927	-0.96946	-0.83067	-0.84463	-1.45409	0.740538	1.152473	0.604014	90	-8.60402



Berekening spanningsbemaling

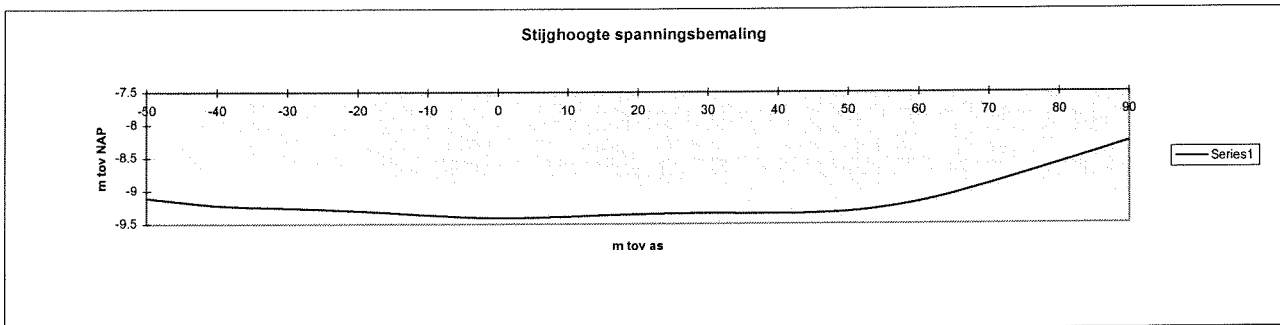
kD [m3/dag] 900
 lekfactor [m] 1500
 1.123*lekfactor 1684.5

putnummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
debiet [m3/uur]	80	80	80	80	80	80	80	80	80	-90	-120	-90
x-coördinaat	-50	0	50	61	50	0	-50	-50	80	175	100	-151
y-coördinaat	40	40	40	0	-35	-35	-40	0	-20	-226	176	250

A 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 -0.38198 -0.50931 -0.38198

x [m]	r t.o.v. lijn y= 21											
-50	19	53.48832	101.789	112.969	114.6124	75.0733	61	21	136.3121	334.1167	215.6965	250.2838
-40	21.47091	44.28318	91.98369	103.1601	106	68.8186	61.81424	23.25941	126.8109	327.466	208.866	254.4838
-30	27.58623	35.51056	82.2253	93.39165	97.65244	63.52952	64.19502	29	117.3925	320.9891	202.2993	259.0019
-20	35.51056	27.58623	72.53275	83.67795	89.64374	59.46427	67.97794	36.61967	108.0787	314.6967	196.023	263.8219
-10	44.28318	21.47091	62.93648	74.04053	82.07314	56.88585	72.94518	45.17743	98.89894	308.6001	190.0658	268.9275
0	53.48832	19	53.48832	64.51356	75.0733	56	78.87332	54.23099	89.89438	302.7111	184.4587	274.3028
10	62.93648	21.47091	44.28318	55.15433	68.8186	56.88585	85.56284	63.56886	81.12336	297.0421	179.2345	279.9321
20	72.53275	27.58623	35.51056	46.06517	63.52952	59.46427	92.84934	73.08215	72.67049	291.6059	174.4276	285.8006
30	82.2253	35.51056	27.58623	37.44329	59.46427	63.52952	100.6032	82.71034	64.66065	286.4158	170.0735	291.8938
40	91.98369	44.28318	21.47091	29.69848	56.88585	68.8186	108.7244	92.41753	57.28001	281.4853	166.2077	298.1979
50	101.789	53.48832	19	23.70654	56	75.0733	117.1367	102.1812	50.80354	276.8285	162.865	304.6999
60	111.6288	62.93648	21.47091	21.0238	56.88585	82.07314	125.7816	111.9866	45.61798	272.4592	160.0781	311.3872
70	121.4949	72.53275	27.58623	22.84732	59.46427	89.64374	134.6143	121.8236	42.2019	268.3915	157.8765	318.2483
80	131.3811	82.2253	35.51056	28.3196	63.52952	97.65244	143.6001	131.6852	41	264.6394	156.285	325.2722
90	141.2834	91.98369	44.28318	35.80503	68.8186	106	152.7121	141.5662	42.2019	261.2164	155.3222	332.4485

x [m]	verlaging [m]													totaal
-50	-1.52277	-1.17133	-0.95286	-0.91748	-0.91257	-1.05623	-1.12671	-1.48878	-0.8537	0.617947	1.046813	0.7283	-50	-9.10938
-40	-1.48125	-1.23546	-0.98725	-0.94832	-0.9391	-1.08577	-1.12221	-1.45409	-0.87823	0.625627	1.063202	0.721943	-40	-9.2209
-30	-1.39616	-1.31042	-1.02533	-0.98209	-0.96695	-1.11292	-1.10938	-1.37919	-0.90443	0.633258	1.079472	0.715221	-30	-9.25892
-20	-1.31042	-1.39616	-1.06792	-1.01939	-0.996	-1.13537	-1.08994	-1.29998	-0.9325	0.640821	1.095524	0.708178	-20	-9.30315
-10	-1.23546	-1.48125	-1.1161	-1.06093	-1.02596	-1.15042	-1.06599	-1.22867	-0.96264	0.648293	1.111242	0.700856	-10	-9.36704
0	-1.17133	-1.52277	-1.17133	-1.1077	-1.05623	-1.15575	-1.03946	-1.16665	-0.99505	0.655653	1.126493	0.693296	0	-9.41084
10	-1.1161	-1.48125	-1.23546	-1.16092	-1.08577	-1.15042	-1.01182	-1.11271	-1.02991	0.662875	1.141126	0.685536	10	-9.39483
20	-1.06792	-1.39616	-1.31042	-1.22206	-1.11292	-1.13537	-0.98407	-1.06536	-1.06727	0.66993	1.154971	0.677611	20	-9.35904
30	-1.02533	-1.31042	-1.39616	-1.29243	-1.13537	-1.11292	-0.95684	-1.02333	-1.10693	0.67679	1.167846	0.669553	30	-9.34554
40	-0.98725	-1.23546	-1.48125	-1.37111	-1.15042	-1.08577	-0.93048	-0.98565	-1.14808	0.683423	1.179557	0.661391	40	-9.35111
50	-0.95286	-1.17133	-1.52277	-1.44762	-1.15575	-1.05623	-0.90518	-0.95155	-1.18882	0.689795	1.189904	0.653152	50	-9.31926
60	-0.92153	-1.1161	-1.48125	-1.4884	-1.15042	-1.02596	-0.881	-0.92044	-1.22538	0.695872	1.198695	0.644859	60	-9.17106
70	-0.89277	-1.06792	-1.39616	-1.46016	-1.13537	-0.996	-0.85795	-0.89185	-1.2518	0.701618	1.205748	0.636534	70	-8.90609
80	-0.86621	-1.02533	-1.31042	-1.38725	-1.11292	-0.96695	-0.83601	-0.86542	-1.26161	0.706996	1.210908	0.628195	80	-8.58603
90	-0.84154	-0.98725	-1.23546	-1.30762	-1.08577	-0.9391	-0.81512	-0.84086	-1.2518	0.711969	1.214056	0.619859	90	-8.25863



Berekening spanningsbemaling

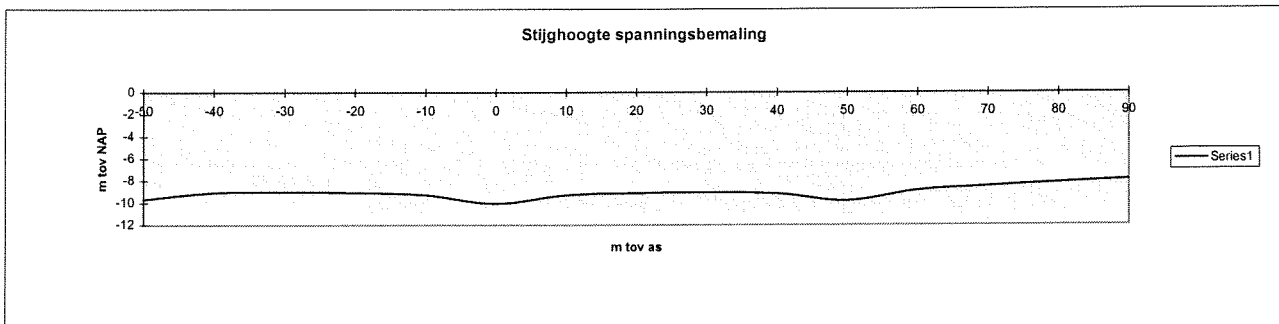
kD (m3/dag) 900
 lekfactor [m] 1500
 1.123*lekfactor 1684.5

pulnummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
debiet (m3/uur)	80	80	80	80	80	80	80	80	80	-90	-120	-90
x-coördinaat	-50	0	50	61	50	0	-50	-50	80	175	100	-151
y-coördinaat	40	40	40	0	-35	-35	-40	0	-20	-226	176	250

A 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 0.339541 -0.38198 -0.50931 -0.38198

x [m]	r t.o.v. lijn y= 39											
-50	1	50.01	100.005	117.652	124.4026	89.30845	79	39	142.762	347.6349	203.1477	233.9273
-40	10.04988	40.0125	90.00556	108.2682	116.5161	84.11896	79.6304	40.26164	133.7199	341.2477	195.8801	238.4156
-30	20.02498	30.01666	80.00625	99.00505	108.9771	79.84986	81.49233	43.82921	124.8239	335.0373	188.8624	243.2324
-20	30.01666	20.02498	70.00714	89.89994	101.8627	76.65507	84.50444	49.20366	116.1077	329.0137	182.1236	248.3586
-10	40.0125	10.04988	60.00833	81.00617	95.26804	74.67262	88.54942	55.86591	107.6151	323.1873	175.6958	253.7755
0	50.01	1	50.01	72.40166	89.30845	74	93.49332	63.41136	99.40322	317.5689	169.6143	259.4648
10	60.00833	10.04988	40.0125	64.2028	84.11896	74.67262	99.20181	71.56116	91.5478	312.1698	163.9177	265.4091
20	70.00714	20.02498	30.01666	56.58622	79.84986	76.65507	105.5509	80.13114	84.14868	307.0016	158.6474	271.5916
30	80.00625	30.01666	20.02498	49.81967	76.65507	79.84986	112.4322	89	77.33693	302.0761	153.8473	277.9964
40	90.00556	40.0125	10.04988	44.29447	74.67262	84.11896	119.7539	98.0867	71.28113	297.4054	149.5627	284.6085
50	100.005	50.01	1	40.5216	74	89.30845	127.4402	107.3359	66.18912	293.0017	145.839	291.4138
60	110.0045	60.00833	10.04988	39.01282	74.67262	95.26804	135.4289	116.709	62.29767	288.8771	142.72	298.3991
70	120.0042	70.00714	20.02498	40.02499	76.65507	101.8627	143.6698	126.1784	59.84146	285.0439	140.2462	305.552
80	130.0038	80.00625	30.01666	43.38202	79.84986	108.9771	152.1217	135.724	59	281.5138	138.4522	312.861
90	140.0036	90.00556	40.0125	48.60041	84.11896	116.5161	160.7514	145.3307	59.84146	278.2984	137.3645	320.3155

x [m]	verlaging [m]													totaal
-50	-2.52252	-1.19416	-0.95886	-0.90368	-0.88474	-0.99727	-1.03892	-1.2786	-0.838	0.602797	1.07734	0.754116	-50	-9.68251
-40	-1.73901	-1.26989	-0.99463	-0.93191	-0.90698	-1.0176	-1.03622	-1.26778	-0.86022	0.60988	1.095895	0.746857	-40	-9.07162
-30	-1.50493	-1.36749	-1.03462	-0.96228	-0.92969	-1.03528	-1.02837	-1.23896	-0.88359	0.616896	1.114477	0.739216	-30	-9.01462
-20	-1.36749	-1.50493	-1.07995	-0.99503	-0.95261	-1.04915	-1.01605	-1.19968	-0.90817	0.623826	1.132982	0.73125	-20	-9.08501
-10	-1.26989	-1.73901	-1.13228	-1.0304	-0.97534	-1.05805	-1.00017	-1.15657	-0.93396	0.630651	1.151282	0.723008	-10	-9.29073
0	-1.19416	-2.52252	-1.19416	-1.06853	-0.99727	-1.06112	-0.98173	-1.11355	-0.96091	0.63735	1.169223	0.714539	0	-10.0729
10	-1.13228	-1.73901	-1.26989	-1.10934	-1.0176	-1.05805	-0.9616	-1.0725	-0.98887	0.6439	1.186623	0.705886	10	-9.31273
20	-1.07995	-1.50493	-1.36749	-1.15222	-1.03528	-1.04915	-0.94054	-1.03409	-1.01748	0.650277	1.203267	0.69709	20	-9.13049
30	-1.03462	-1.36749	-1.50493	-1.19546	-1.04915	-1.03528	-0.91909	-0.99845	-1.04614	0.656455	1.218915	0.688187	30	-9.08706
40	-0.99463	-1.26989	-1.73901	-1.23537	-1.05805	-1.0176	-0.89767	-0.96544	-1.07383	0.662408	1.2333	0.679208	40	-9.17658
50	-0.95886	-1.19416	-2.52252	-1.2656	-1.06112	-0.99727	-0.87655	-0.93484	-1.09899	0.668106	1.246142	0.670182	50	-9.8255
60	-0.92651	-1.13228	-1.73901	-1.27848	-1.05805	-0.97534	-0.85591	-0.90642	-1.11957	0.673521	1.257152	0.661133	60	-8.89975
70	-0.89696	-1.07995	-1.50493	-1.26979	-1.04915	-0.95261	-0.83585	-0.87993	-1.13323	0.678624	1.266057	0.652085	70	-8.50563
80	-0.86979	-1.03462	-1.36749	-1.24244	-1.03528	-0.92969	-0.81644	-0.85517	-1.13803	0.683384	1.272615	0.643055	80	-8.1899
90	-0.84463	-0.99463	-1.26989	-1.20387	-1.0176	-0.90698	-0.7977	-0.83195	-1.13323	0.687772	1.276632	0.634061	90	-7.90202



spanningsbem6

			bron			1			2			3			4		
			Q			80			80			80			80		
			x-bron			-50			0			50			61		
			y-bron			40			40			40			0		
x	y	z	r	r/l	dz	r	r/l	dz	r	r/l	dz	r	r/l	dz	r	r/l	dz
-600.00	600.00	-2.89	784.92	0.52	-0.31	820.73	0.55	-0.31	857.96	0.57	-0.31	892.70	0.60	-0.31			
-540.00	600.00	-3.05	744.11	0.50	-0.38	777.95	0.52	-0.31	813.45	0.54	-0.31	849.24	0.57	-0.31			
-480.00	600.00	-2.95	706.05	0.47	-0.38	737.56	0.49	-0.38	771.04	0.51	-0.31	807.89	0.54	-0.31			
-420.00	600.00	-3.06	671.19	0.45	-0.38	700.00	0.47	-0.38	731.10	0.49	-0.38	769.00	0.51	-0.31			
-360.00	600.00	-3.17	640.08	0.43	-0.38	665.73	0.44	-0.38	694.05	0.46	-0.38	732.97	0.49	-0.38			
-300.00	600.00	-3.17	613.27	0.41	-0.38	635.30	0.42	-0.38	660.38	0.44	-0.38	700.23	0.47	-0.38			
-240.00	600.00	-3.16	591.35	0.39	-0.47	609.26	0.41	-0.38	630.63	0.42	-0.38	671.27	0.45	-0.38			
-180.00	600.00	-3.24	574.89	0.38	-0.47	588.22	0.39	-0.47	605.39	0.40	-0.38	646.59	0.43	-0.38			
-120.00	600.00	-3.32	564.36	0.38	-0.47	572.71	0.38	-0.47	585.23	0.39	-0.47	626.71	0.42	-0.38			
-60.00	600.00	-3.31	560.09	0.37	-0.47	563.21	0.38	-0.47	570.70	0.38	-0.47	612.08	0.41	-0.38			
0.00	600.00	-3.13	562.23	0.37	-0.47	560.00	0.37	-0.47	562.23	0.37	-0.47	603.09	0.40	-0.38			
60.00	600.00	-3.13	570.70	0.38	-0.47	563.21	0.38	-0.47	560.09	0.37	-0.47	600.00	0.40	-0.38			
120.00	600.00	-3.23	585.23	0.39	-0.47	572.71	0.38	-0.47	564.36	0.38	-0.47	602.89	0.40	-0.38			
180.00	600.00	-3.24	605.39	0.40	-0.38	588.22	0.39	-0.47	574.89	0.38	-0.47	611.69	0.41	-0.38			
240.00	600.00	-3.15	630.63	0.42	-0.38	609.26	0.41	-0.38	591.35	0.39	-0.47	626.13	0.42	-0.38			
300.00	600.00	-3.27	660.38	0.44	-0.38	635.30	0.42	-0.38	613.27	0.41	-0.38	645.85	0.43	-0.38			
360.00	600.00	-3.21	694.05	0.46	-0.38	665.73	0.44	-0.38	640.08	0.43	-0.38	670.37	0.45	-0.38			
420.00	600.00	-3.16	731.10	0.49	-0.38	700.00	0.47	-0.38	671.19	0.45	-0.38	699.20	0.47	-0.38			
480.00	600.00	-3.08	771.04	0.51	-0.31	737.56	0.49	-0.38	706.05	0.47	-0.38	731.82	0.49	-0.38			
540.00	600.00	-3.00	813.45	0.54	-0.31	777.95	0.52	-0.31	744.11	0.50	-0.38	767.75	0.51	-0.31			
600.00	600.00	-2.95	857.96	0.57	-0.31	820.73	0.55	-0.31	784.92	0.52	-0.31	806.55	0.54	-0.31			
-600.00	540.00	-3.05	743.30	0.50	-0.38	781.02	0.52	-0.31	820.06	0.55	-0.31	853.53	0.57	-0.31			
-540.00	540.00	-2.93	700.07	0.47	-0.38	735.93	0.49	-0.38	773.37	0.52	-0.31	807.96	0.54	-0.31			
-480.00	540.00	-3.10	659.47	0.44	-0.38	693.11	0.46	-0.38	728.63	0.49	-0.38	764.38	0.51	-0.31			
-420.00	540.00	-3.23	622.01	0.41	-0.38	652.99	0.44	-0.38	686.22	0.46	-0.38	723.16	0.48	-0.38			
-360.00	540.00	-3.26	588.30	0.39	-0.47	616.12	0.41	-0.38	646.61	0.43	-0.38	684.72	0.46	-0.38			
-300.00	540.00	-3.34	559.02	0.37	-0.47	583.10	0.39	-0.47	610.33	0.41	-0.38	649.55	0.43	-0.38			
-240.00	540.00	-3.40	534.88	0.36	-0.47	554.62	0.37	-0.47	578.01	0.39	-0.47	618.22	0.41	-0.38			
-180.00	540.00	-3.54	516.62	0.34	-0.47	531.41	0.35	-0.47	550.36	0.37	-0.47	591.34	0.39	-0.47			
-120.00	540.00	-3.66	504.88	0.34	-0.47	514.20	0.34	-0.47	528.11	0.35	-0.47	569.53	0.38	-0.47			
-60.00	540.00	-3.64	500.10	0.33	-0.47	503.59	0.34	-0.47	511.96	0.34	-0.47	553.39	0.37	-0.47			
0.00	540.00	-3.64	502.49	0.33	-0.47	500.00	0.33	-0.47	502.49	0.33	-0.47	543.43	0.36	-0.47			
60.00	540.00	-3.64	511.96	0.34	-0.47	503.59	0.34	-0.47	500.10	0.33	-0.47	540.00	0.36	-0.47			
120.00	540.00	-3.55	528.11	0.35	-0.47	514.20	0.34	-0.47	504.88	0.34	-0.47	543.21	0.36	-0.47			
180.00	540.00	-3.56	550.36	0.37	-0.47	531.41	0.35	-0.47	516.62	0.34	-0.47	552.96	0.37	-0.47			
240.00	540.00	-3.39	578.01	0.39	-0.47	554.62	0.37	-0.47	534.88	0.36	-0.47	568.89	0.38	-0.47			
300.00	540.00	-3.31	610.33	0.41	-0.38	583.10	0.39	-0.47	559.02	0.37	-0.47	590.53	0.39	-0.47			
360.00	540.00	-3.20	646.61	0.43	-0.38	616.12	0.41	-0.38	588.30	0.39	-0.47	617.25	0.41	-0.38			
420.00	540.00	-3.26	686.22	0.46	-0.38	652.99	0.44	-0.38	622.01	0.41	-0.38	648.45	0.43	-0.38			
480.00	540.00	-3.21	728.63	0.49	-0.38	693.11	0.46	-0.38	659.47	0.44	-0.38	683.49	0.46	-0.38			
540.00	540.00	-3.06	773.37	0.52	-0.31	735.93	0.49	-0.38	700.07	0.47	-0.38	721.83	0.48	-0.38			
600.00	540.00	-2.99	820.06	0.55	-0.31	781.02	0.52	-0.31	743.30	0.50	-0.38	762.97	0.51	-0.31			

spanningsbem6

5			6			7			8			9			10		
80			80			80			80			80			25		
50			0			-50			-50			80			175		
-35			-35			-40			0			-20			-326		
r	r/l	dz	r	r/l	dz	r	r/l	dz	r	r/l	dz	r	r/l	dz	r	r/l	dz
908.69	0.61	-0.26	873.63	0.58	-0.31	843.86	0.56	-0.31	813.94	0.54	-0.31	920.22	0.61	-0.26	1207.52		
866.79	0.58	-0.31	833.56	0.56	-0.31	806.04	0.54	-0.31	774.66	0.52	-0.31	876.81	0.58	-0.31	1169.91		
827.12	0.55	-0.31	796.01	0.53	-0.31	771.04	0.51	-0.31	738.17	0.49	-0.38	835.46	0.56	-0.31	1134.24		
790.02	0.53	-0.31	761.33	0.51	-0.31	739.26	0.49	-0.38	704.91	0.47	-0.38	796.49	0.53	-0.31	1100.68		
755.86	0.50	-0.31	729.95	0.49	-0.38	711.13	0.47	-0.38	675.35	0.45	-0.38	760.26	0.51	-0.31	1069.44		
725.07	0.48	-0.38	702.30	0.47	-0.38	687.10	0.46	-0.38	650.00	0.43	-0.38	727.19	0.48	-0.38	1040.72		
698.09	0.47	-0.38	678.84	0.45	-0.38	667.61	0.45	-0.38	629.36	0.42	-0.38	697.71	0.47	-0.38	1014.74		
675.37	0.45	-0.38	660.02	0.44	-0.38	653.07	0.44	-0.38	613.92	0.41	-0.38	672.31	0.45	-0.38	991.72		
657.36	0.44	-0.38	646.24	0.43	-0.38	643.82	0.43	-0.38	604.07	0.40	-0.38	651.46	0.43	-0.38	971.85		
644.46	0.43	-0.38	637.83	0.43	-0.38	640.08	0.43	-0.38	600.08	0.40	-0.38	635.61	0.42	-0.38	955.35		
636.97	0.42	-0.38	635.00	0.42	-0.38	641.95	0.43	-0.38	602.08	0.40	-0.38	625.14	0.42	-0.38	942.39		
635.08	0.42	-0.38	637.83	0.43	-0.38	649.38	0.43	-0.38	610.00	0.41	-0.38	620.32	0.41	-0.38	933.11		
638.85	0.43	-0.38	646.24	0.43	-0.38	662.19	0.44	-0.38	623.62	0.42	-0.38	621.29	0.41	-0.38	927.63		
648.17	0.43	-0.38	660.02	0.44	-0.38	680.07	0.45	-0.38	642.57	0.43	-0.38	628.01	0.42	-0.38	926.01		
662.82	0.44	-0.38	678.84	0.45	-0.38	702.64	0.47	-0.38	666.41	0.44	-0.38	640.31	0.43	-0.38	928.28		
682.44	0.45	-0.38	702.30	0.47	-0.38	729.45	0.49	-0.38	694.62	0.46	-0.38	657.88	0.44	-0.38	934.40		
706.63	0.47	-0.38	729.95	0.49	-0.38	760.07	0.51	-0.31	726.70	0.48	-0.38	680.29	0.45	-0.38	944.30		
734.93	0.49	-0.38	761.33	0.51	-0.31	794.04	0.53	-0.31	762.17	0.51	-0.31	707.11	0.47	-0.38	957.86		
766.89	0.51	-0.31	796.01	0.53	-0.31	830.96	0.55	-0.31	800.56	0.53	-0.31	737.83	0.49	-0.38	974.94		
802.08	0.53	-0.31	833.56	0.56	-0.31	870.46	0.58	-0.31	841.49	0.56	-0.31	772.01	0.51	-0.31	995.34		
840.07	0.56	-0.31	873.63	0.58	-0.31	912.20	0.61	-0.26	884.59	0.59	-0.31	809.20	0.54	-0.31	1018.87		
867.83	0.58	-0.31	831.04	0.55	-0.31	799.31	0.53	-0.31	770.78	0.51	-0.31	880.91	0.59	-0.31	1162.14		
823.85	0.55	-0.31	788.81	0.53	-0.31	759.28	0.51	-0.31	729.18	0.49	-0.38	835.46	0.56	-0.31	1123.02		
782.00	0.52	-0.31	749.02	0.50	-0.38	722.01	0.48	-0.38	690.29	0.46	-0.38	791.96	0.53	-0.31	1085.81		
742.65	0.50	-0.38	712.06	0.47	-0.38	687.97	0.46	-0.38	654.60	0.44	-0.38	750.73	0.50	-0.31	1050.71		
706.20	0.47	-0.38	678.40	0.45	-0.38	657.65	0.44	-0.38	622.66	0.42	-0.38	712.18	0.47	-0.38	1017.93		
673.15	0.45	-0.38	648.56	0.43	-0.38	631.59	0.42	-0.38	595.06	0.40	-0.47	676.76	0.45	-0.38	987.72		
643.99	0.43	-0.38	623.08	0.42	-0.38	610.33	0.41	-0.38	572.45	0.38	-0.47	644.98	0.43	-0.38	960.30		
619.29	0.41	-0.38	602.52	0.40	-0.38	594.39	0.40	-0.47	555.43	0.37	-0.47	617.41	0.41	-0.38	935.94		
599.60	0.40	-0.47	587.39	0.39	-0.47	584.21	0.39	-0.47	544.52	0.36	-0.47	594.64	0.40	-0.47	914.87		
585.43	0.39	-0.47	578.12	0.39	-0.47	580.09	0.39	-0.47	540.09	0.36	-0.47	577.23	0.38	-0.47	897.32		
577.17	0.38	-0.47	575.00	0.38	-0.47	582.15	0.39	-0.47	542.31	0.36	-0.47	565.69	0.38	-0.47	883.50		
575.09	0.38	-0.47	578.12	0.39	-0.47	590.34	0.39	-0.47	551.09	0.37	-0.47	560.36	0.37	-0.47	873.60		
579.25	0.39	-0.47	587.39	0.39	-0.47	604.40	0.40	-0.38	566.13	0.38	-0.47	561.43	0.37	-0.47	867.74		
589.51	0.39	-0.47	602.52	0.40	-0.38	623.94	0.42	-0.38	586.94	0.39	-0.47	568.86	0.38	-0.47	866.01		
605.58	0.40	-0.38	623.08	0.42	-0.38	648.46	0.43	-0.38	612.94	0.41	-0.38	582.41	0.39	-0.47	868.44		
627.00	0.42	-0.38	648.56	0.43	-0.38	677.42	0.45	-0.38	643.51	0.43	-0.38	601.66	0.40	-0.38	874.97		
653.24	0.44	-0.38	678.40	0.45	-0.38	710.28	0.47	-0.38	678.01	0.45	-0.38	626.10	0.42	-0.38	885.54		
683.76	0.46	-0.38	712.06	0.47	-0.38	746.53	0.50	-0.38	715.89	0.48	-0.38	655.13	0.44	-0.38	899.99		
718.00	0.48	-0.38	749.02	0.50	-0.38	785.68	0.52	-0.31	756.64	0.50	-0.31	688.19	0.46	-0.38	918.14		
755.46	0.50	-0.31	788.81	0.53	-0.31	827.35	0.55	-0.31	799.81	0.53	-0.31	724.71	0.48	-0.38	939.78		
795.69	0.53	-0.31	831.04	0.55	-0.31	871.15	0.58	-0.31	845.04	0.56	-0.31	764.20	0.51	-0.31	964.67		

spanningsbem6

0.1061 1		11 25 0.1061 175 1 -276		12 25 0.1061 175 1 -226		13 25 0.1061 238 1 -226		14 25 0.1061 300 1 -226		15 90 0.38196 100 1 176					
r/l	dz	r	r/l	dz	r	r/l	dz	r	r/l	dz	r	r/l			
0.81	0.07	1169.62	0.78	0.07	1132.65	0.76	0.07	1176.66	0.78	0.07	1221.59	0.81	0.07	818.40	0.55
0.78	0.07	1130.75	0.75	0.07	1092.47	0.73	0.07	1134.71	0.76	0.07	1178.08	0.79	0.07	767.71	0.51
0.76	0.07	1093.80	0.73	0.07	1054.18	0.70	0.07	1094.44	0.73	0.07	1136.08	0.76	0.07	718.45	0.48
0.73	0.07	1058.96	0.71	0.07	1017.99	0.68	0.08	1056.05	0.70	0.07	1095.75	0.73	0.07	670.95	0.45
0.71	0.07	1026.45	0.68	0.08	984.12	0.66	0.08	1019.75	0.68	0.08	1057.30	0.70	0.07	625.60	0.42
0.69	0.08	996.49	0.66	0.08	952.84	0.64	0.08	985.76	0.66	0.08	1020.92	0.68	0.08	582.90	0.39
0.68	0.08	969.33	0.65	0.08	924.39	0.62	0.08	954.34	0.64	0.08	986.85	0.66	0.08	543.49	0.36
0.66	0.08	945.20	0.63	0.08	899.06	0.60	0.10	925.74	0.62	0.08	955.34	0.64	0.08	508.11	0.34
0.65	0.08	924.34	0.62	0.08	877.10	0.58	0.10	900.24	0.60	0.08	926.65	0.62	0.08	477.68	0.32
0.64	0.08	906.97	0.60	0.08	858.78	0.57	0.10	878.11	0.59	0.10	901.04	0.60	0.08	453.18	0.30
0.63	0.08	893.31	0.60	0.10	844.33	0.56	0.10	859.60	0.57	0.10	878.79	0.59	0.10	435.63	0.29
0.62	0.08	883.52	0.59	0.10	833.97	0.56	0.10	844.96	0.56	0.10	860.16	0.57	0.10	425.88	0.28
0.62	0.08	877.72	0.59	0.10	827.83	0.55	0.10	834.39	0.56	0.10	845.39	0.56	0.10	424.47	0.28
0.62	0.08	876.01	0.58	0.10	826.02	0.55	0.10	828.03	0.55	0.10	834.67	0.56	0.10	431.48	0.29
0.62	0.08	878.41	0.59	0.10	828.55	0.55	0.10	826.00	0.55	0.10	828.18	0.55	0.10	446.52	0.30
0.62	0.08	884.87	0.59	0.10	835.40	0.56	0.10	828.32	0.55	0.10	826.00	0.55	0.10	468.80	0.31
0.63	0.08	895.32	0.60	0.10	846.46	0.56	0.10	834.96	0.56	0.10	828.18	0.55	0.10	497.37	0.33
0.64	0.08	909.62	0.61	0.08	861.57	0.57	0.10	845.81	0.56	0.10	834.67	0.56	0.10	531.20	0.35
0.65	0.08	927.58	0.62	0.08	880.51	0.59	0.10	860.72	0.57	0.10	845.39	0.56	0.10	569.36	0.38
0.66	0.08	949.00	0.63	0.08	903.05	0.60	0.08	879.48	0.59	0.10	860.16	0.57	0.10	611.05	0.41
0.68	0.08	973.65	0.65	0.08	928.92	0.62	0.08	901.84	0.60	0.08	878.79	0.59	0.10	655.57	0.44
0.77	0.07	1125.38	0.75	0.07	1089.67	0.73	0.07	1135.34	0.76	0.07	1181.84	0.79	0.07	788.98	0.53
0.75	0.07	1084.93	0.72	0.07	1047.85	0.70	0.08	1091.81	0.73	0.07	1136.82	0.76	0.07	736.27	0.49
0.72	0.07	1046.37	0.70	0.08	1007.86	0.67	0.08	1049.90	0.70	0.08	1093.23	0.73	0.07	684.76	0.46
0.70	0.07	1009.89	0.67	0.08	969.94	0.65	0.08	1009.81	0.67	0.08	1051.26	0.70	0.07	634.74	0.42
0.68	0.08	975.75	0.65	0.08	934.33	0.62	0.08	971.78	0.65	0.08	1011.12	0.67	0.08	586.60	0.39
0.66	0.08	944.18	0.63	0.08	901.32	0.60	0.08	936.06	0.62	0.08	973.01	0.65	0.08	540.83	0.36
0.64	0.08	915.47	0.61	0.08	871.20	0.58	0.10	902.91	0.60	0.08	937.21	0.62	0.08	498.09	0.33
0.62	0.08	889.88	0.59	0.10	844.26	0.56	0.10	872.63	0.58	0.10	903.97	0.60	0.08	459.23	0.31
0.61	0.08	867.69	0.58	0.10	820.84	0.55	0.10	845.53	0.56	0.10	873.59	0.58	0.10	425.32	0.28
0.60	0.10	849.16	0.57	0.10	801.24	0.53	0.10	821.92	0.55	0.10	846.38	0.56	0.10	397.61	0.27
0.59	0.10	834.55	0.56	0.10	785.74	0.52	0.10	802.12	0.53	0.10	822.65	0.55	0.10	377.49	0.25
0.58	0.10	824.06	0.55	0.10	774.58	0.52	0.10	786.41	0.52	0.10	802.72	0.54	0.10	366.19	0.24
0.58	0.10	817.85	0.55	0.10	767.97	0.51	0.10	775.04	0.52	0.10	786.86	0.52	0.10	364.55	0.24
0.58	0.10	816.02	0.54	0.10	766.02	0.51	0.10	768.19	0.51	0.10	775.34	0.52	0.10	372.69	0.25
0.58	0.10	818.58	0.55	0.10	768.75	0.51	0.10	766.00	0.51	0.10	768.35	0.51	0.10	389.99	0.26
0.58	0.10	825.52	0.55	0.10	776.13	0.52	0.10	768.51	0.51	0.10	766.00	0.51	0.10	415.33	0.28
0.59	0.10	836.71	0.56	0.10	788.02	0.53	0.10	775.65	0.52	0.10	768.35	0.51	0.10	447.32	0.30
0.60	0.10	851.99	0.57	0.10	804.23	0.54	0.10	787.32	0.52	0.10	775.34	0.52	0.10	484.66	0.32
0.61	0.08	871.14	0.58	0.10	824.49	0.55	0.10	803.32	0.54	0.10	786.86	0.52	0.10	526.21	0.35
0.63	0.08	893.91	0.60	0.10	848.52	0.57	0.10	823.38	0.55	0.10	802.72	0.54	0.10	571.05	0.38
0.64	0.08	920.04	0.61	0.08	876.00	0.58	0.10	847.23	0.56	0.10	822.65	0.55	0.10	618.46	0.41

16			17			
60 0.25464			60 0.25464			
-50 1			-200 1			
201			261			
dz	r	r/l	dz	r	r/l	dz
0.35	679.49	0.45	0.28	524.33	0.35	0.35
0.35	631.90	0.42	0.28	480.13	0.32	0.35
0.43	586.60	0.39	0.35	439.68	0.29	0.45
0.43	544.15	0.36	0.35	404.13	0.27	0.45
0.43	505.27	0.34	0.35	374.86	0.25	0.45
0.52	470.85	0.31	0.35	353.44	0.24	0.45
0.52	441.93	0.29	0.45	341.35	0.23	0.45
0.52	419.64	0.28	0.45	339.59	0.23	0.45
0.52	405.09	0.27	0.45	348.31	0.23	0.45
0.52	399.13	0.27	0.45	366.77	0.24	0.45
0.67	402.12	0.27	0.45	393.60	0.26	0.45
0.67	413.89	0.28	0.45	427.22	0.28	0.45
0.67	433.71	0.29	0.45	466.18	0.31	0.35
0.67	460.54	0.31	0.35	509.24	0.34	0.35
0.67	493.26	0.33	0.35	555.45	0.37	0.35
0.52	530.76	0.35	0.35	604.09	0.40	0.28
0.52	572.10	0.38	0.35	654.62	0.44	0.28
0.52	616.52	0.41	0.28	706.63	0.47	0.28
0.52	663.40	0.44	0.28	759.82	0.51	0.24
0.43	712.25	0.47	0.28	813.95	0.54	0.24
0.43	762.69	0.51	0.24	868.86	0.58	0.24
0.35	646.08	0.43	0.28	487.69	0.33	0.35
0.43	595.84	0.40	0.35	439.82	0.29	0.45
0.43	547.56	0.37	0.35	395.27	0.26	0.45
0.43	501.82	0.33	0.35	355.30	0.24	0.45
0.52	459.37	0.31	0.35	321.62	0.21	0.45
0.52	421.21	0.28	0.45	296.38	0.20	0.44
0.52	388.61	0.26	0.45	281.85	0.19	0.46
0.52	363.07	0.24	0.45	279.72	0.19	0.46
0.67	346.15	0.23	0.45	290.24	0.19	0.45
0.67	339.15	0.23	0.45	312.16	0.21	0.45
0.67	342.67	0.23	0.45	343.28	0.23	0.45
0.67	356.40	0.24	0.45	381.37	0.25	0.45
0.67	379.24	0.25	0.45	424.55	0.28	0.45
0.67	409.66	0.27	0.45	471.42	0.31	0.35
0.67	446.12	0.30	0.45	521.00	0.35	0.35
0.67	487.26	0.32	0.35	572.57	0.38	0.35
0.67	532.00	0.35	0.35	625.65	0.42	0.28
0.52	579.50	0.39	0.35	679.88	0.45	0.28
0.52	629.14	0.42	0.28	735.01	0.49	0.28
0.52	680.46	0.45	0.28	790.85	0.53	0.24
0.43	733.09	0.49	0.28	847.25	0.56	0.24

Bijlage XIII Berekeningen van het uiteindelijke ontwerp

Berekeningen van het uiteindelijk ontwerp

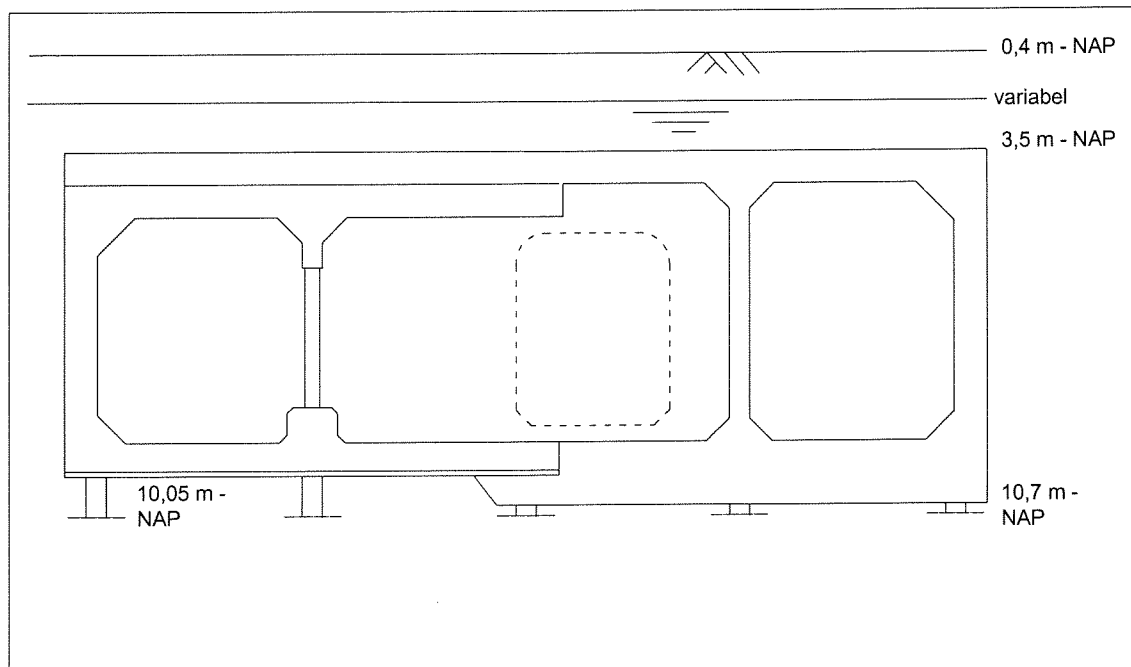


**Ballast Nedam
Engineering**

Berekeningen van de uiteindelijke constructies

Uiteindelijke constructie gebied 1

De uiteindelijke constructie heeft de onderstaande afmetingen: De linker vloer is 0,65 meter dik, de rechter 1,3 meter. De wanden zijn 0,65 meter dik. Het nieuwe dak is geschat op een dikte van 0,8 meter en het bestaande dak op 0,65 meter. De breedte van de maximale doorsnede wordt geschat op 20 meter. In het rekenprogramma STAAD zijn de diktes ingevoerd in een constructie van 5,85 bij 18,3 meter. Het rechterdak van de oude constructie hangt vrij als een uitkragende ligger. Dit is gedimensioneerd door een kracht op de middenkolom van 80 kN en een moment van 200 kNm in de b.g.t.



Figuur 1 **Uiteindelijke constructie in gebied 1**

Hieronder zijn de krachten in de constructie berekend, weer voor drie situaties:

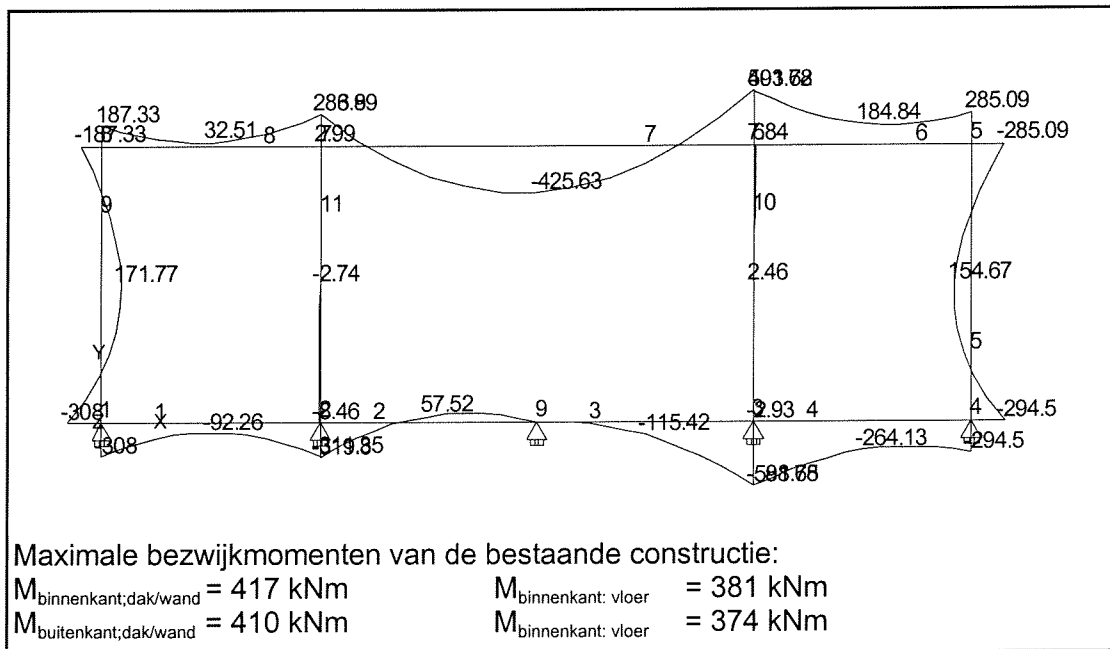
1. Uiterste grens toestand, met maximale grondwaterstand, zonder metrobelasting. Dit is maatgevend voor de momenten. De metrobelasting werkt daar ongunstig in mee en wordt daarom helemaal niet meegenomen.
De bovenbelasting bedraagt $54,2 \text{ kN/m}^2$. De horizontale belasting verloopt van $39,1 \text{ kN/m}^2$ naar $157,0 \text{ kN/m}^2$ links en rechts naar $168,7 \text{ kN/m}^2$. De belasting aan onderkant bedraagt links $102,6 \text{ kN/m}^2$ en rechts $110,4 \text{ kN/m}^2$. De kleefbelasting op de wand bedraagt links $18,6 \text{ kN/m}^2$ en rechts $21,2 \text{ kN/m}^2$.
2. Uiterste grens toestand, met minimale waterstand op 3 m - NAP, met metrobelasting. Dit is maatgevend voor de paalbelasting.
De bovenbelasting bedraagt $50,6 \text{ kN/m}^2$. De horizontale belasting verloopt van $4,5 \text{ kN/m}^2$ naar $146,2 \text{ kN/m}^2$ links en $157,9 \text{ kN/m}^2$ rechts. De belasting aan onderkant

bedraagt links 63,5 kN/m² en rechts 69,3 kN/m². De kleefbelasting op de wand bedraagt 21,0 kN/m² links en 23,9 kN/m² rechts.

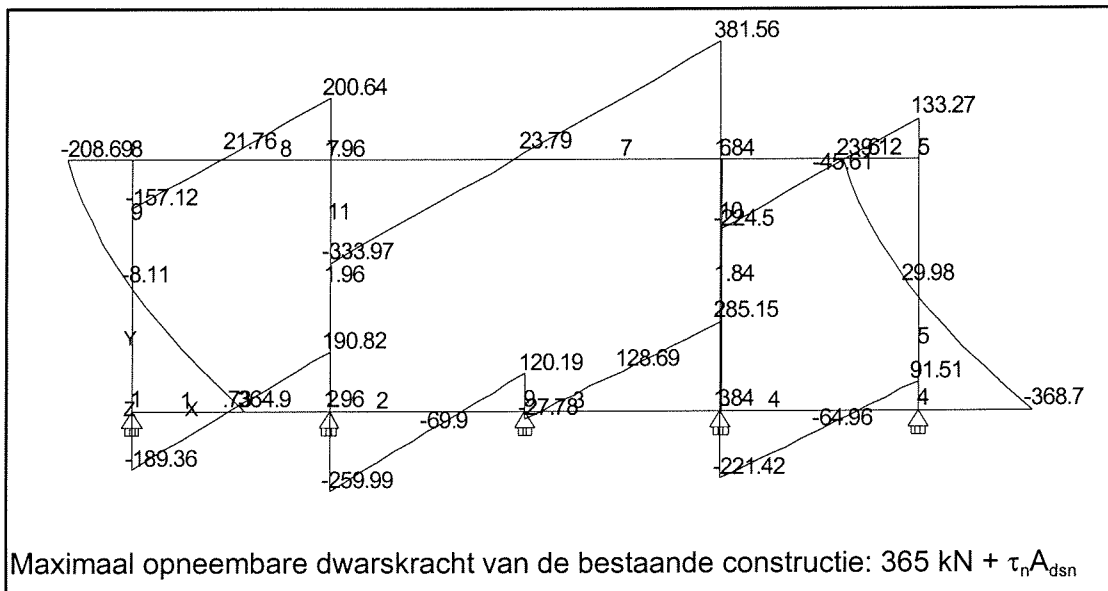
3. Bruikbaarheid grens toestand, met een maximale grondwaterstand, zonder metrobelasting zodat de maximale momenten optreden in de constructie. Deze situatie is maatgevend voor de scheurvorming.

De bovenbelasting bedraagt 44,5 kN/m². De horizontale belasting verloopt van 32,3 kN/m² naar 130,5 kN/m² links en 140,3 kN/m² rechts. De belasting aan onderkant bedraagt links 85,5 kN/m² en rechts 92,0 kN/m². De kleefbelasting op de wand bedraagt 15,4 kN/m² links en 17,6 kN/m² rechts.

Hieronder zijn de uitkomsten weergegeven:

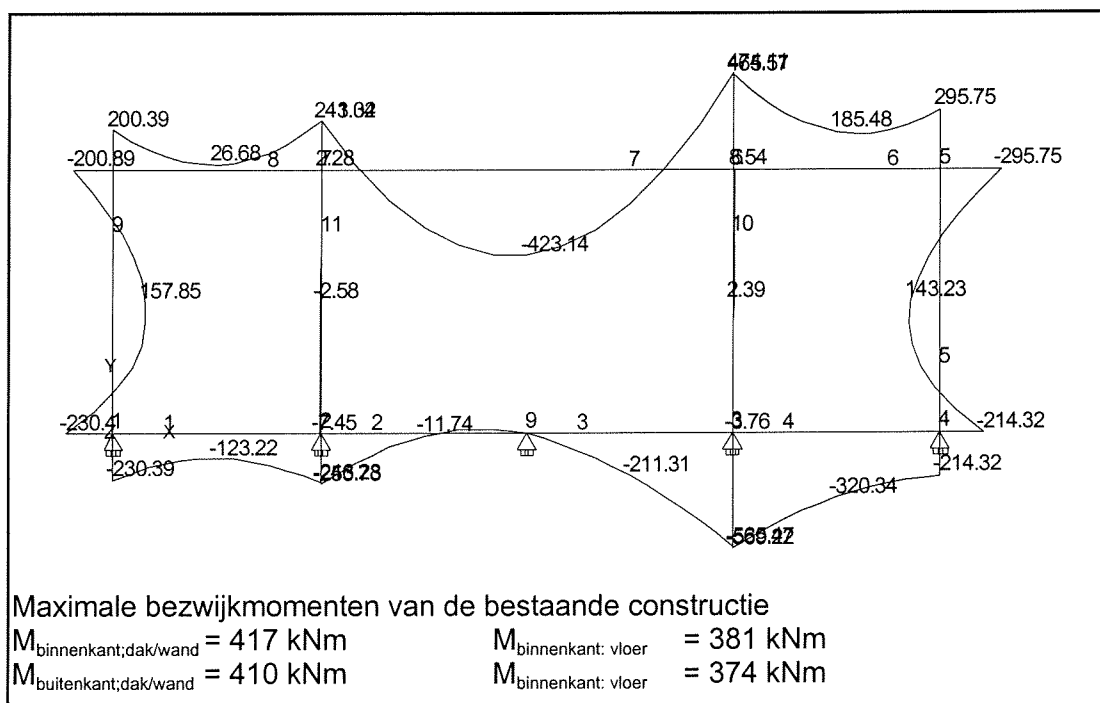


Figuur 2 Momentenlijn gebied 1, uiterste grenstoestand, belastingsgeval 1

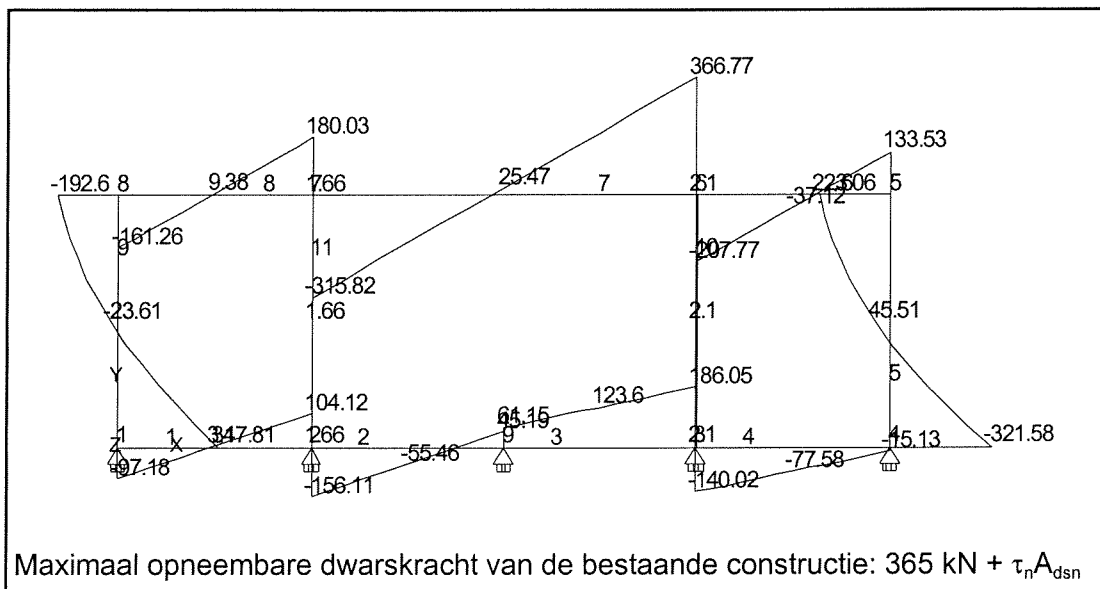


Figuur 3 Dwarskrachtenlijn gebied 1, uiterste grens toestand, belastingsgeval 1

De oplegreacties zijn van links naar rechts per paal bij een h.o.h. afstand van 3,2 meter: 610 kN; 560 kN; -475 kN; 350 kN; 900 kN.

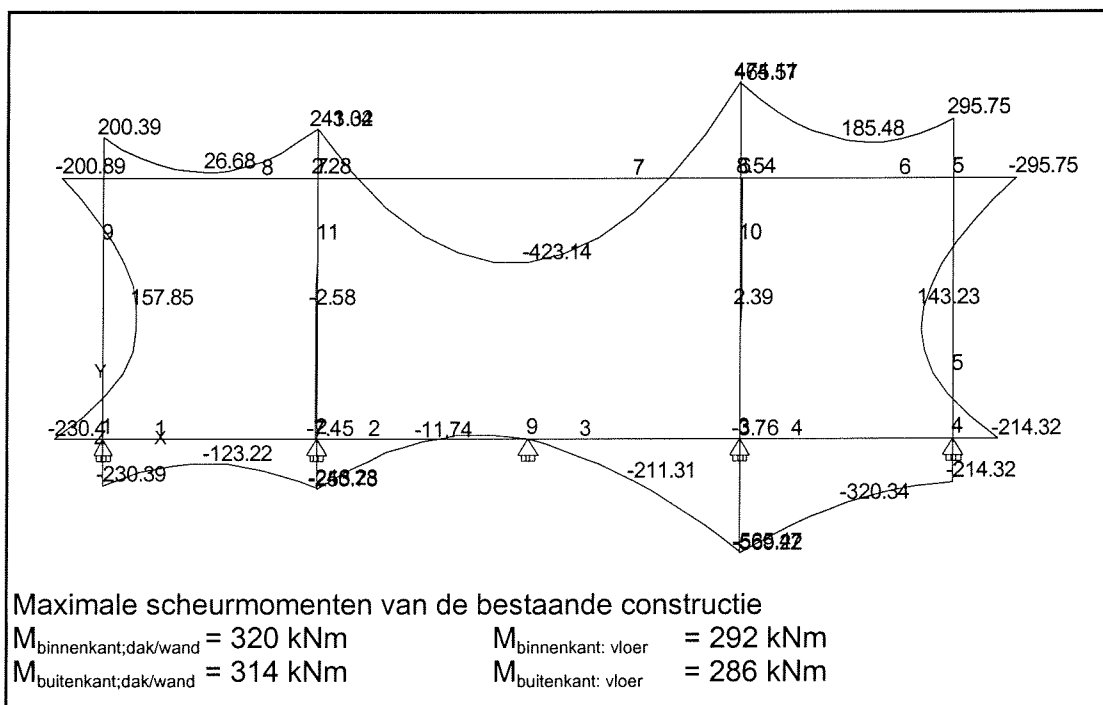


Figuur 4 Momentenlijn gebied 1, uiterste grenstoestand, belastingsgeval 2



Figuur 5 Dwarskrachtenlijn eind gebied 1, uiterste grens toestand, belastingsgeval 2

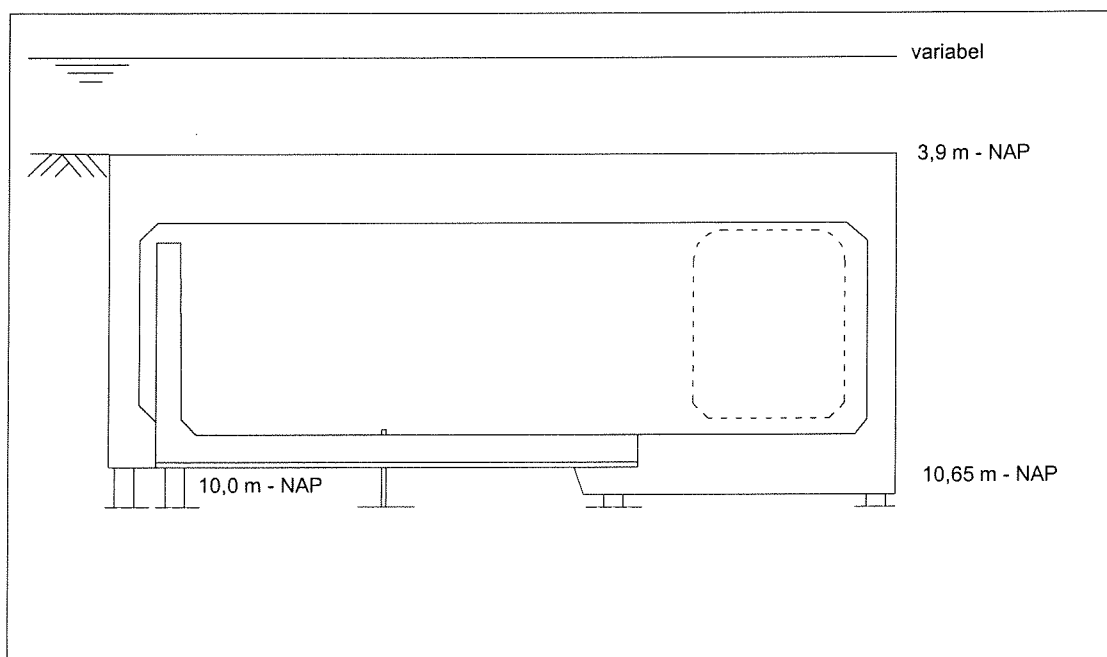
De oplegreacties zijn van links naar rechts per paal bij een h.o.h. afstand van 3,2 meter: 965 kN; 1045 kN; 50 kN; 830 kN; 1290 kN.



Figuur 6 Momentenlijn gebied 1, bruikbaarheid grens toestand, belastingsgeval 3

Uiteindelijke constructie gebied 3

De nieuwe wanden hebben een geschatte dikte van 0,7 meter. De dikte van het dak is 1,05 meter. De dikte van de nieuwe vloer is 1,3 meter. Er wordt dus uitgegaan van trekpalen in dit gedeelte. De ingevoerde afmetingen van de constructie zijn 13,5 bij 5,35 meter. Het GEWI-anker heeft een kracht van 300 kN/m in de u.g.t. en 200 kN/m in de b.g.t.

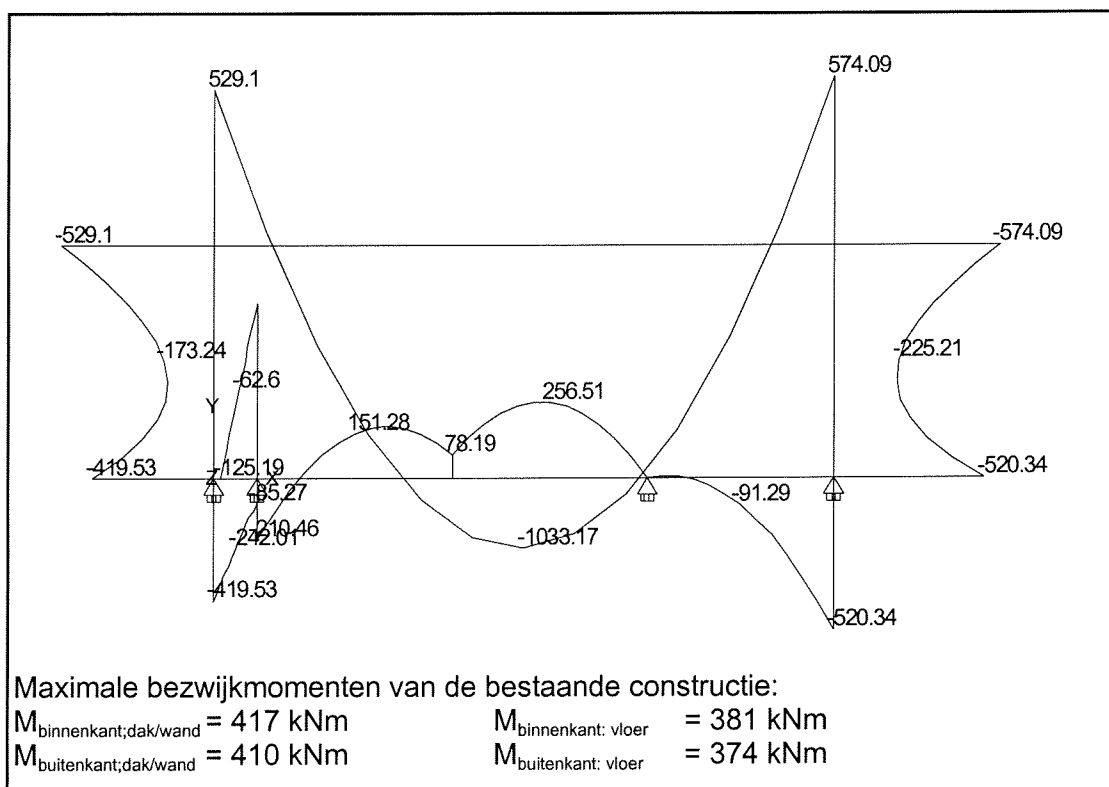


Figuur 7 Uiteindelijke constructie gebied 3

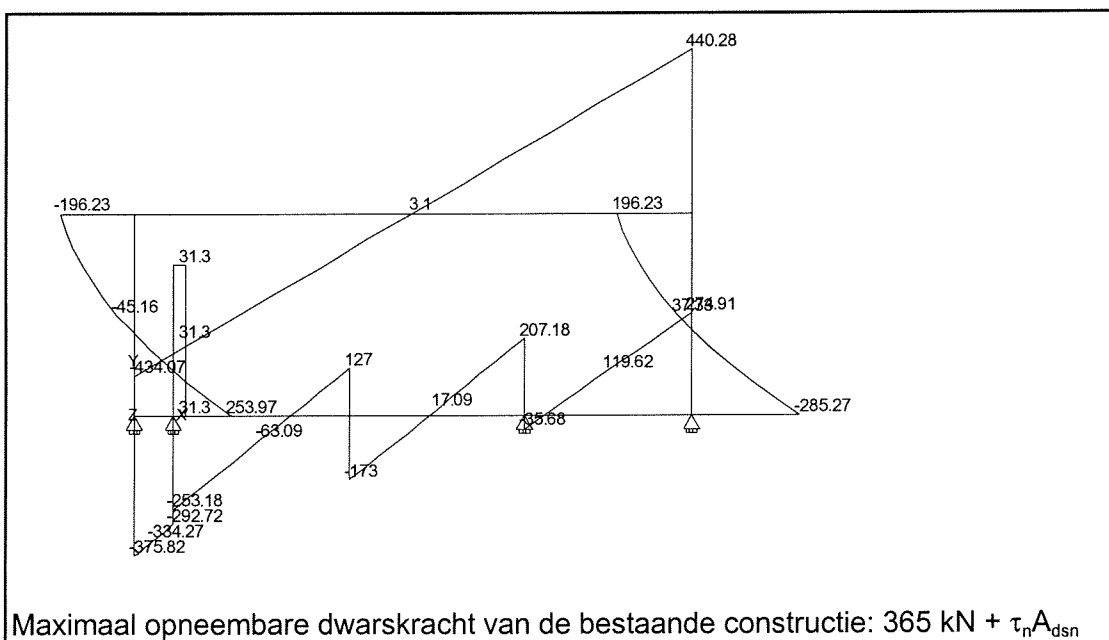
Hieronder zijn de krachten in de constructie berekend, weer voor drie situaties:

1. Uiterste grens toestand, met maximale grondwaterstand, zonder metrobelasting. Dit is maatgevend voor de momenten. De metrobelasting werkt daar ongunstig in mee en wordt daarom helemaal niet meegenomen.
De bovenbelasting bedraagt $28,8 \text{ kN/m}^2$. De horizontale belasting verloopt van $28,8 \text{ kN/m}^2$ naar $139,5 \text{ kN/m}^2$ links en rechts naar $151,2 \text{ kN/m}^2$. De belasting aan onderkant bedraagt links $102,6 \text{ kN/m}^2$ en rechts $110,4 \text{ kN/m}^2$. De kleefbelasting op de wand bedraagt links $8,8 \text{ kN/m}^2$ en rechts $10,7 \text{ kN/m}^2$.
2. Uiterste grens toestand, met minimale waterstand op 3 m - NAP, met metrobelasting. Dit is maatgevend voor de paalbelasting.
De bovenbelasting bedraagt $10,8 \text{ kN/m}^2$. De horizontale belasting verloopt van $10,8 \text{ kN/m}^2$ naar $111,0 \text{ kN/m}^2$ links en $121,7 \text{ kN/m}^2$ rechts. De belasting aan onderkant bedraagt links $63,5 \text{ kN/m}^2$ en rechts $69,3 \text{ kN/m}^2$. De kleefbelasting op de wand bedraagt $11,3 \text{ kN/m}^2$ links en $13,8 \text{ kN/m}^2$ rechts.
3. Bruikbaarheid grens toestand, met een maximale grondwaterstand, zonder metrobelasting zodat de maximale momenten optreden in de constructie. Deze situatie is maatgevend voor de scheurvorming.
De bovenbelasting bedraagt $24,0 \text{ kN/m}^2$. De horizontale belasting verloopt van $24,0 \text{ kN/m}^2$ naar $115,8 \text{ kN/m}^2$ links en $126,0 \text{ kN/m}^2$ rechts. De belasting aan onderkant bedraagt links $84,6 \text{ kN/m}^2$ en rechts $92,0 \text{ kN/m}^2$. De kleefbelasting op de wand bedraagt $7,4 \text{ kN/m}^2$ links en $8,9 \text{ kN/m}^2$ rechts.

Hieronder zijn de uitkomsten weergegeven:

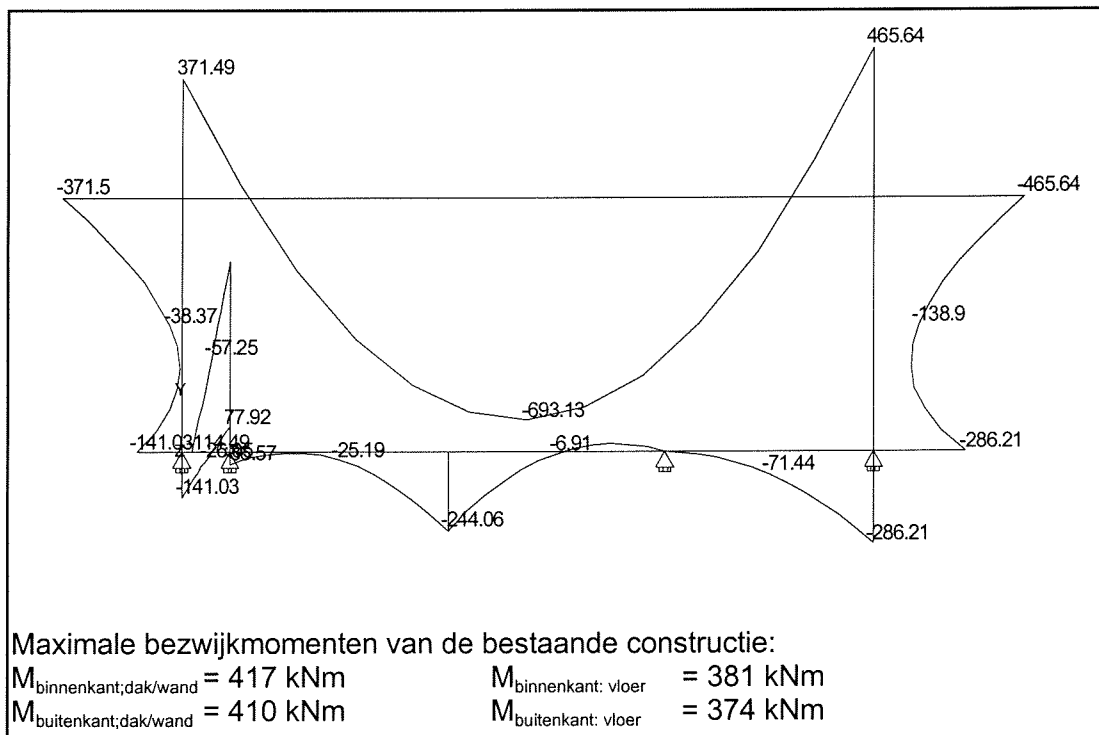


Figuur 8 Momentenlijn gebied 3, uiterste grenstoestand, belastingsgeval 1

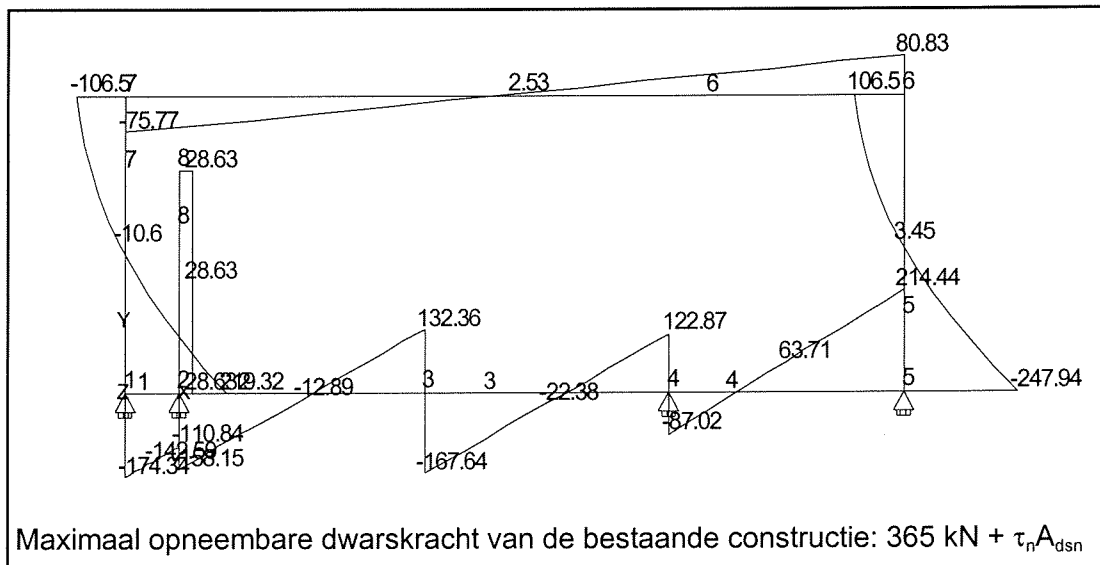


Figuur 9 Dwarskrachtenlijn gebied 3, uiterste grens toestand, belastingsgeval 1

De oplegreacties zijn van links naar rechts per paal bij een h.o.h. afstand van 3,2 meter:
670 kN; 395 kN; -775 kN; 1050 kN.

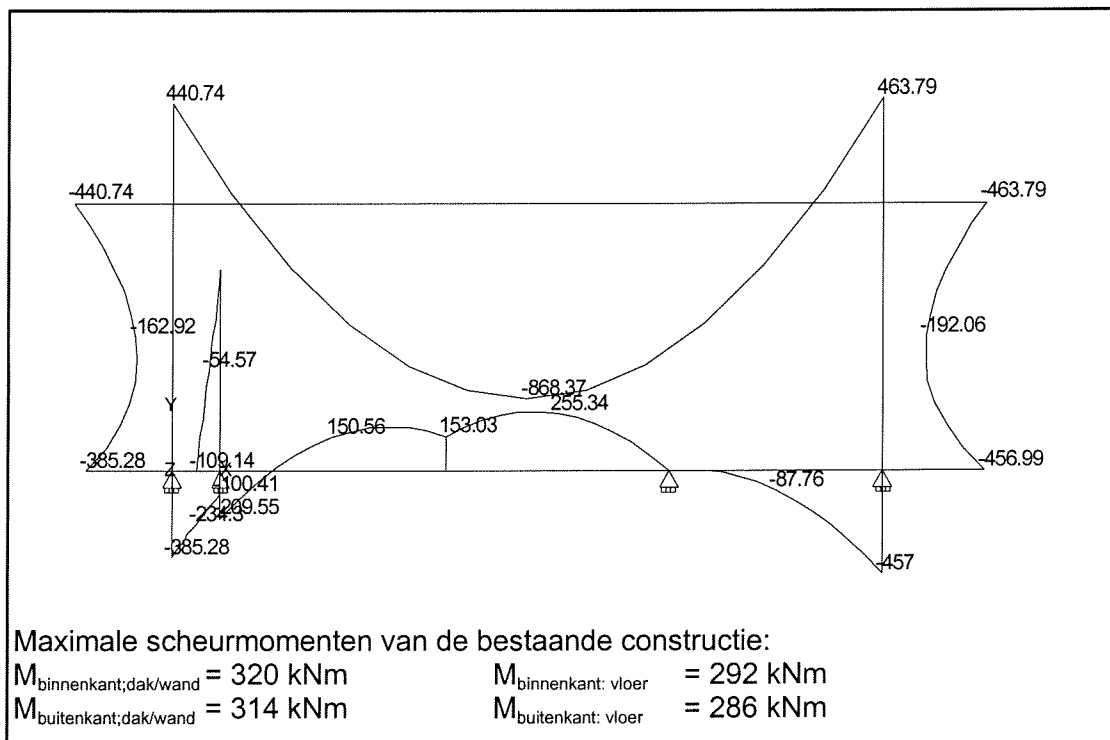


Figuur 10 Momentenlijn gebied 3, uiterste grenstoestand, belastingsgeval 2



Figuur 11 Dwarskrachtenlijn gebied 3, uiterste grens toestand, belastingsgeval 2

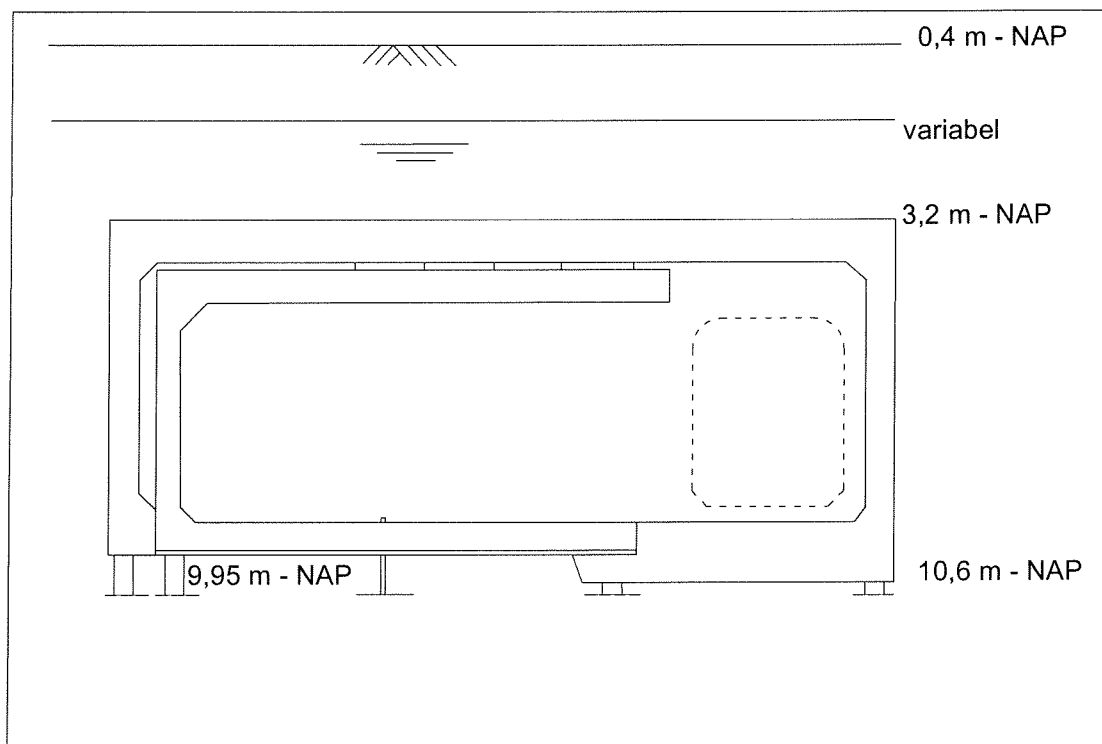
De oplegreacties zijn van links naar rechts per paal bij een h.o.h. afstand van 3,2 meter: 720 kN; 720 kN; 150 kN; kN; 1150 kN.



Figuur 12 Momentenlijn gebied 3, bruikbaarheid grens toestand, belastingsgeval 3

Uiteindelijke constructie gebied 5

De dikte van de nieuwe wand is geschat op 0,7 meter, en de dikte van het dak op 1 meter. De ingevoerde afmetingen van de constructie zijn 12 meter bij 5,95 meter. Het oude dak is opgehangen aan het nieuwe dak. Dit is gedimensioneerd door een groter dikte voor het nieuwe dak te nemen. Het GEWI-anker heeft een kracht van 300 kN/m in de u.g.t. en 200 in de b.g.t.



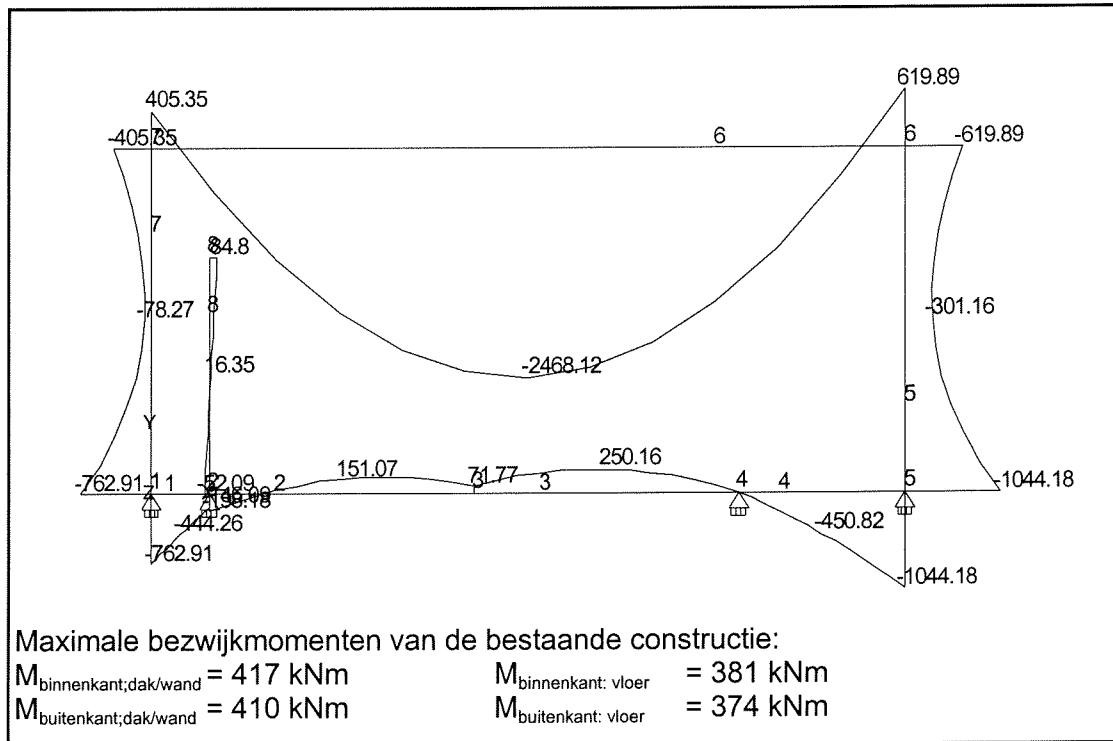
Figuur 13 Uiteindelijke constructie in gebied 5

Hieronder zijn de krachten in de constructie berekend, weer voor drie situaties:

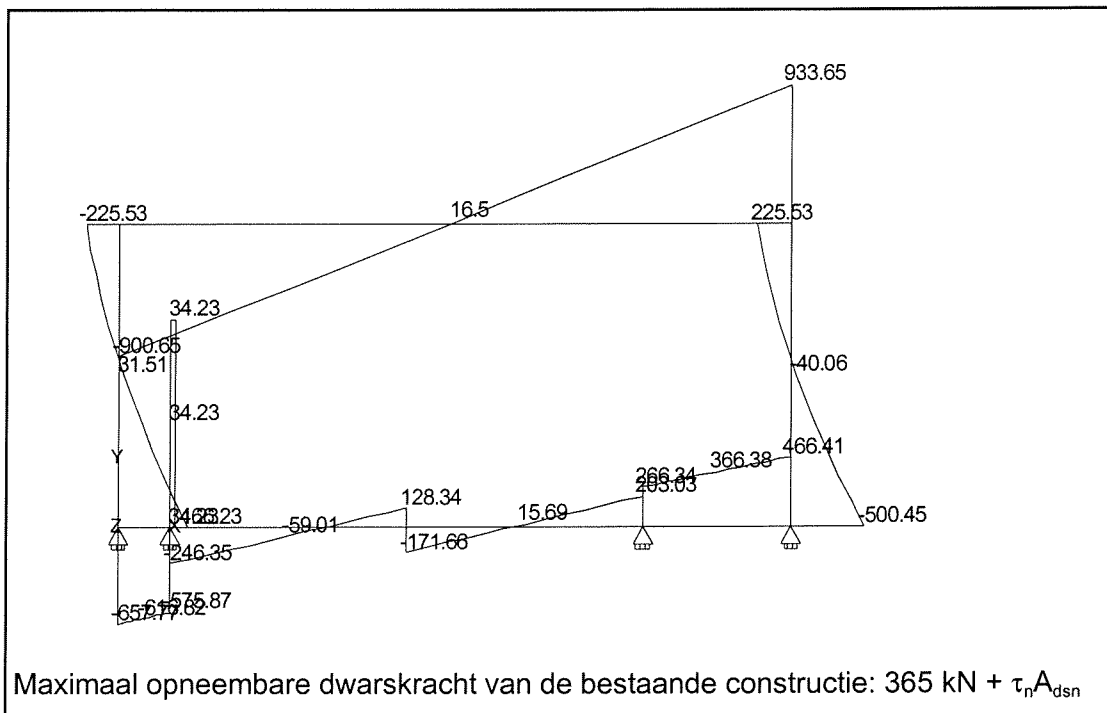
1. Uiterste grens toestand, met maximale grondwaterstand, zonder metrobelasting. Dit is maatgevend voor de momenten. De metrobelasting werkt daar ongunstig in mee en wordt daarom helemaal niet meegenomen.
De bovenbelasting bedraagt $94,6 \text{ kN/m}^2$. De horizontale belasting verloopt van $57,5 \text{ kN/m}^2$ naar $179,0 \text{ kN/m}^2$ links en rechts naar $190,7 \text{ kN/m}^2$. De belasting aan onderkant bedraagt links $101,4 \text{ kN/m}^2$ en rechts $109,2 \text{ kN/m}^2$. De kleefbelasting op de wand bedraagt links $22,7 \text{ kN/m}^2$ en rechts $23,3 \text{ kN/m}^2$.
2. Uiterste grens toestand, met minimale waterstand op 3 m - NAP, met metrobelasting. Dit is maatgevend voor de paalbelasting.
De bovenbelasting bedraagt $91,0 \text{ kN/m}^2$. De horizontale belasting verloopt van $47,5 \text{ kN/m}^2$ naar $168,2 \text{ kN/m}^2$ links en $179,9 \text{ kN/m}^2$ rechts. De belasting aan onderkant bedraagt links $62,5 \text{ kN/m}^2$ en rechts $68,4 \text{ kN/m}^2$. De kleefbelasting op de wand bedraagt $24,8 \text{ kN/m}^2$ links en $25,3 \text{ kN/m}^2$ rechts.

3. Bruikbaarheid grens toestand, met een maximale grondwaterstand, zonder metrobelasting zodat de maximale momenten optreden in de constructie. Deze situatie is maatgevend voor de scheurvorming. De bovenbelasting bedraagt $73,8 \text{ kN/m}^2$. De horizontale belasting verloopt van $45,4 \text{ kN/m}^2$ naar $146,7 \text{ kN/m}^2$ links en $156,4 \text{ kN/m}^2$ rechts. De belasting aan onderkant bedraagt links $84,5 \text{ kN/m}^2$ en rechts $91,0 \text{ kN/m}^2$. De kleeftbelasting op de wand bedraagt $18,2 \text{ kN/m}^2$ links en $18,6 \text{ kN/m}^2$ rechts.

Hieronder zijn de uitkomsten weergegeven:

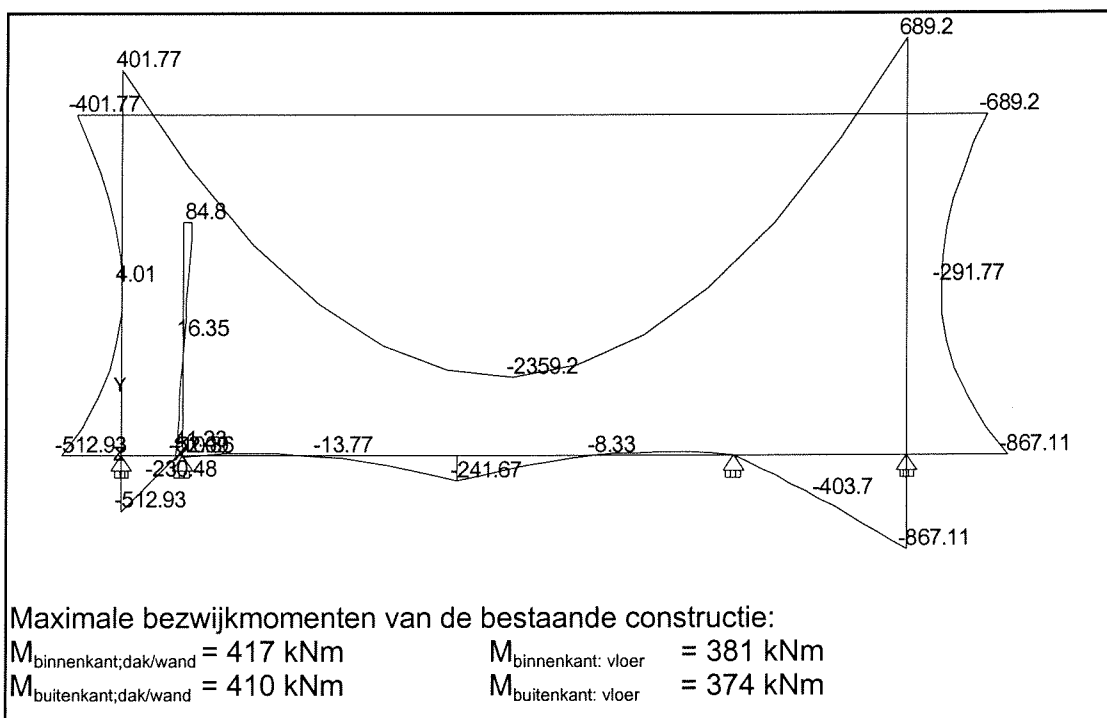


Figuur 14 Momentenlijn gebied 5, uiterste grenstoestand, belastingsgeval 1

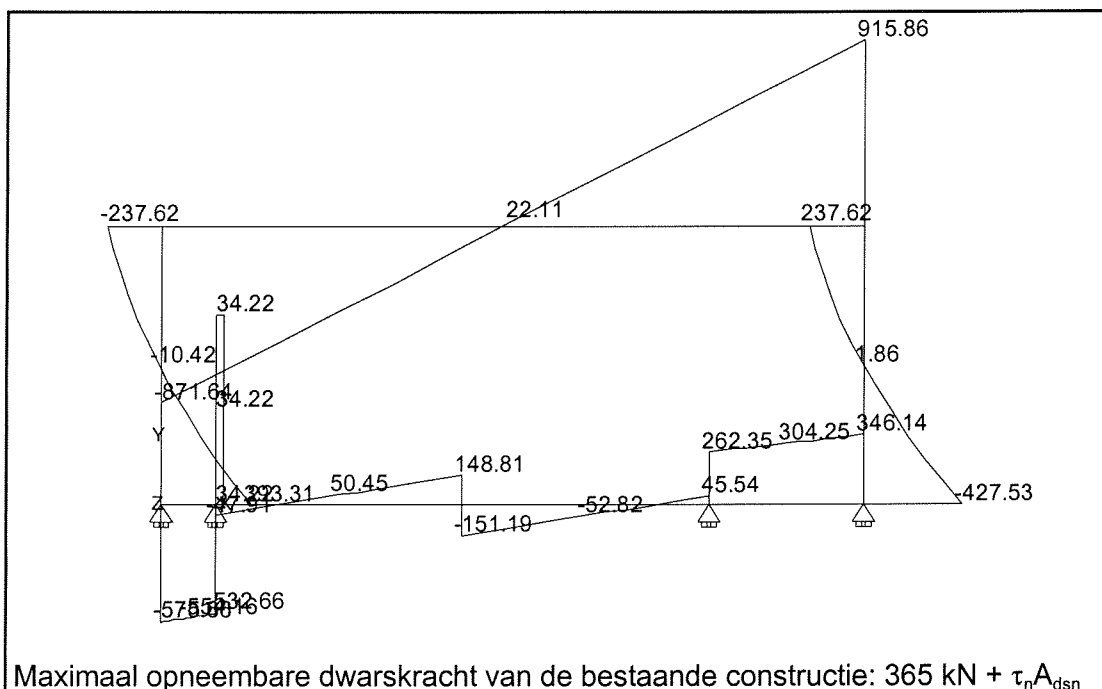


Figuur 15 Dwarskrachtenlijn gebied 5, uiterste grens toestand, belastingsgeval 1

De oplegreacties zijn van links naar rechts per paal bij een h.o.h. afstand van 3,2 meter: 1530 kN; 1290 kN; 200 kN; 2260 kN.

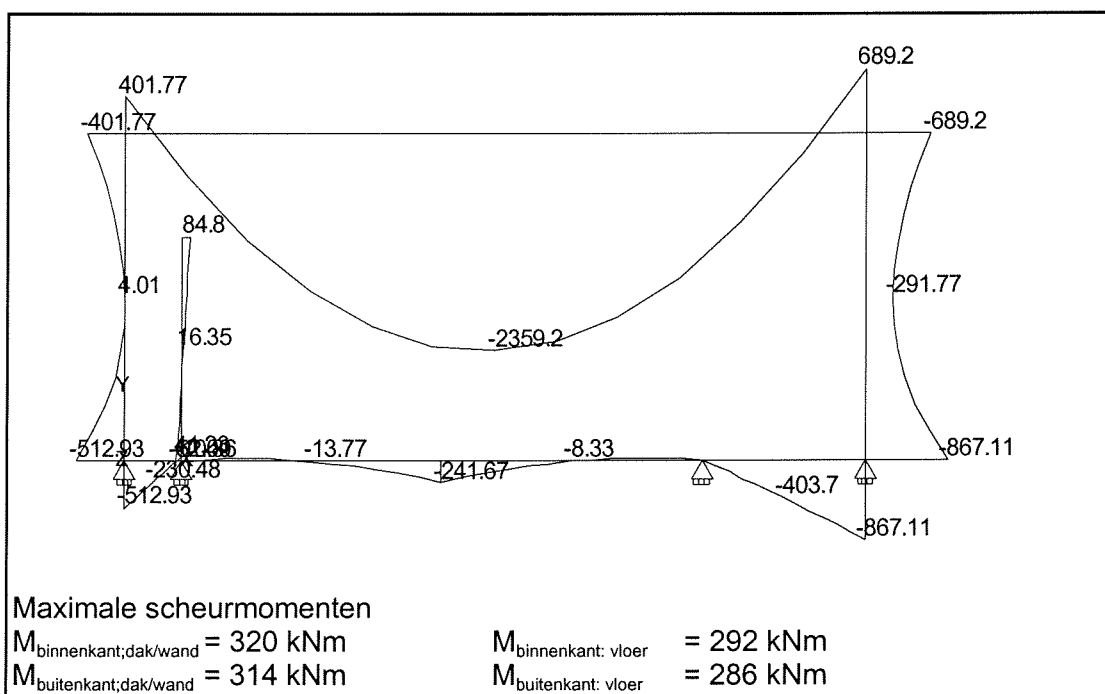


Figuur 16 Momentenlijn gebied 5, uiterste grenstoestand, belastingsgeval 2



Figuur 17 Dwarskrachtenlijn eind gebied 5, uiterste grens toestand, belastingsgeval 2

De oplegreacties zijn van links naar rechts per paal bij een h.o.h. afstand van 3,2 meter: 1805 kN; 1786 kN; 695 kN; 2690 kN.



Figuur 18 Momentenlijn gebied 5, bruikbaarheid grens toestand, belastingsgeval 3