



Technische haalbaarheidsstudie tunnelverbinding A6 / A9

Bijlage rapport



Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Bouwdienst Rijkswaterstaat

BIBLIOTHEEK
Bouwdienst Rijkswaterstaat
Postbus 20.000
3502 LA Utrecht

BIBLIOTHEEK BOUWDIENST RIJKSWATERSTAAT
NR. C0593 BDU bijlage

Technische haalbaarheidsstudie tunnel A6/A9

Bijlage rapport

30 september 2002



Technische haalbaarheidsstudie tunnel A6/A9

Bijlage rapport

30 september 2002

Inhoudsopgave:

Deelrapport 1: Bureauonderzoek Geotechniek, Fugro

Deelrapport 2: Inventarisatie overige omgevingsgegevens

Deelrapport 3a: Dwarsdoorsneden

Deelrapport 3b: Horizontale Alignementen

Deelrapport 3c: Verticale Alignementen

Deelrapport 3d: Vormgeving van knooppunten Muiderberg & Holendrecht

Deelrapport 4: Beoordeling Varianten

Deelrapport 5: Kostennota

Deelrapport 6: Tekeningenlijst



Technische haalbaarheidsstudie tunnel A6/A9

Deelrapport 1

**Bureauonderzoek geotechniek
Fugro
(exclusief bijlagen)**

30 september 2002

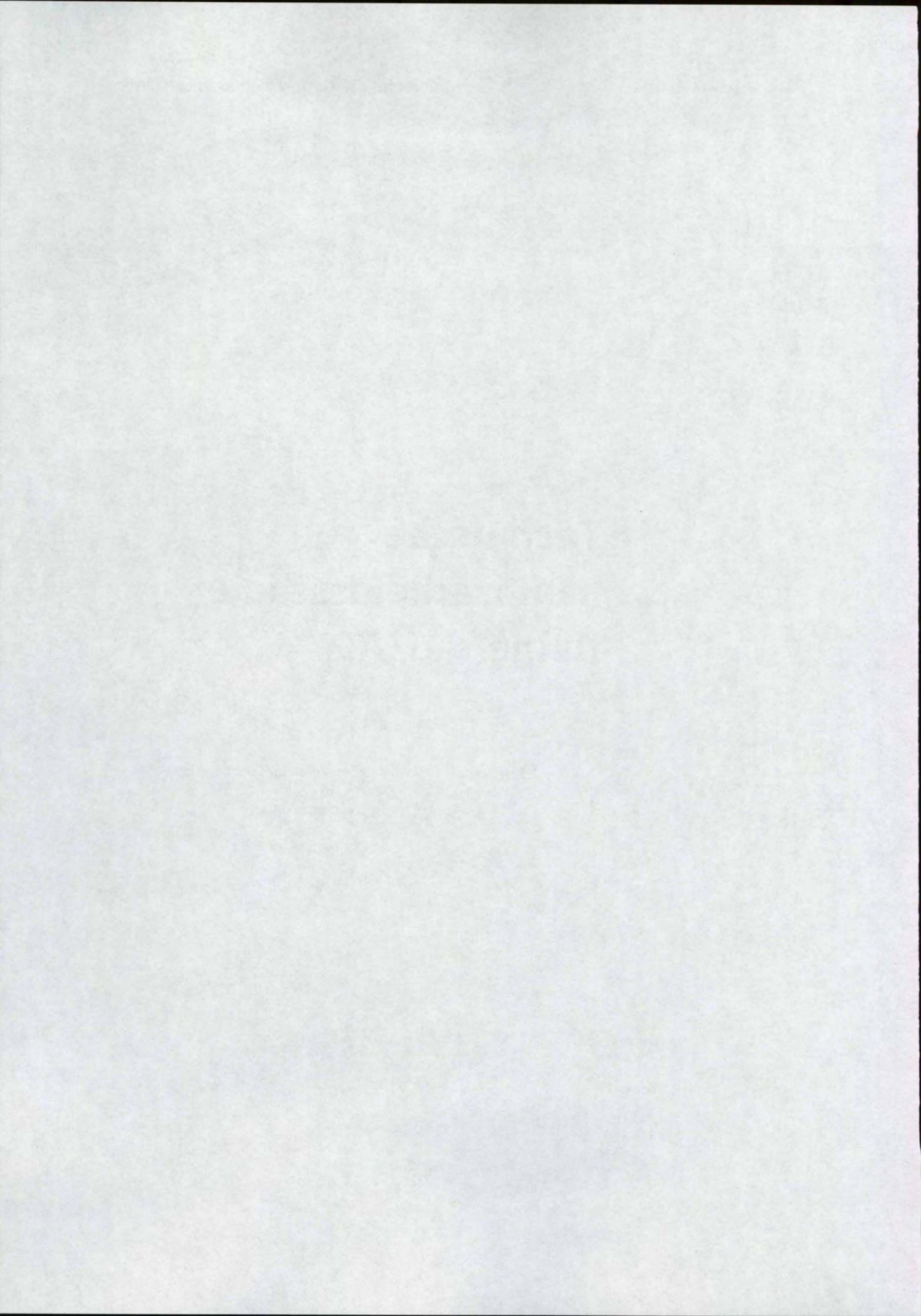


Technische haalbaarheidsstudie tunnel A6/A9

Deelrapport 1

Bureauonderzoek geotechniek
Fugro
(exclusief bijlagen)

30 september 2002



**RAPPORT
BETREFFENDE**

**TECHNISCHE HAALBAARHEIDSTUDIE
VERKEERSTUNNEL VERBINDING RW A6/A9
AMSTERDAM ZUID-OOST
GEOTECHNISCHE EN GEOHYDROLOGISCHE ASPECTEN**

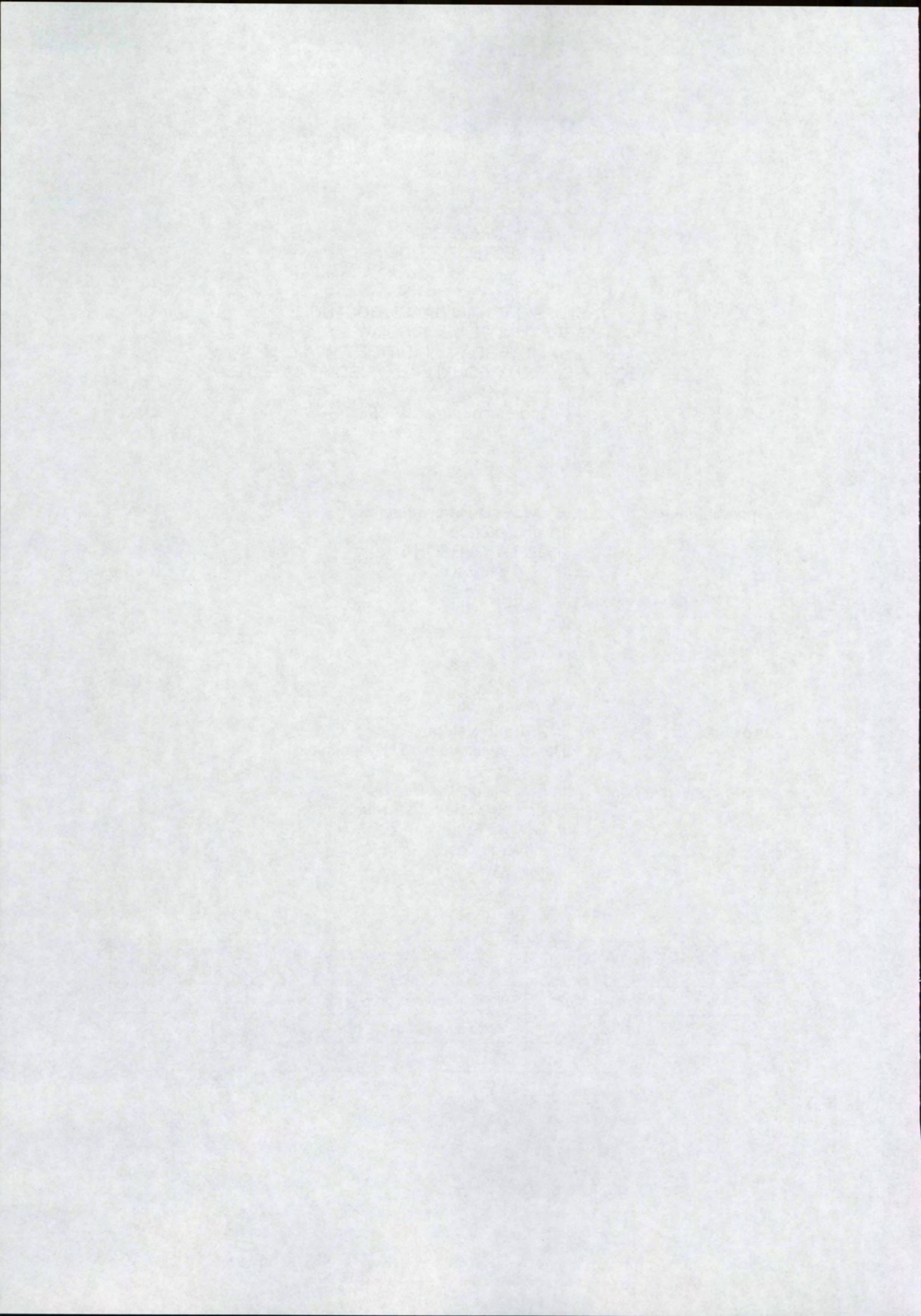
Opdrachtnummer: M-0964

Opdrachtgever : Bouwdienst Rijkswaterstaat
Postbus 20000
3502 LA UTRECHT

Projectleider : ir. A.J. van Seters
Hoofd Adviesafdeling Geotechniek

Mede opgesteld door : ir. F.J.M. Hoefsloot
Senior geotechnisch adviseur
ir. G.A. de Raat
Geohydroloog

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
1	22 maart 2002	Eerste versie, geen wijzigingen	
2	18 mei 2002	Commentaar RWS-BD verwerkt	
3			



1	INLEIDING	9
2	GEOLOGIE VAN HET TRACÉ	11
2.1	Algemeen	11
2.2	Globale indeling	11
2.3	Verbreiding en dikte van de lagen	12
2.3.1	Holocene deklaag	12
2.3.2	Formaties van Twente, Urk en Sterksel (eerste en tweede watervoerend pakket) 12	
2.3.3	Formatie van Kedichem – scheidende laag	13
2.3.4	Formatie van Harderwijk (3 ^e watervoerend pakket) .	13
2.3.5	Formatie van Tegelen (scheidende laag)	13
2.3.6	Formatie van Maassluis	13
2.3.7	Formatie van Oosterhout	13
3	GRONDPARAMETERS	14
4	GEOHYDROLOGISCHE GEGEVENS	16
4.1	Inleiding	16
4.2	Geohydrologische bodemopbouw	16
4.3	Freatische grondwaterstand	17
4.4	Stijghoogte in pleistocene zand	17
4.5	Chloridegehalte	18
5	GEOHYDROLOGISCHE ASPECTEN	20
5.1	Algemeen	20
5.2	Onttrekking van grondwater tijdens de aanleg	20
5.2.1	Mogelijke ontrekkingen van grondwater	20
5.2.2	Gevolgen onttrekken grondwater	21
5.3	Verstoring oppervlakkige afvoer	22
5.3.1	Hinder afstromen freatisch grondwater en regenwater.	22
5.3.2	Hinder afstromen oppervlaktewater	22
5.4	Invloed op stijghoogtepatroon watervoerende laag (barrièrewerking)	22
6	TECHNISCHE HAALBAARHEID VAN BOORTUNNEL: GEOTECHNIEK	24
6.1	Algemeen	24
6.2	Geohydrologie	24
6.3	Geotechnische condities	25
6.4	Diepteligging / opdrijven	26
6.5	Boorfrontstabiliteit	28
6.6	Keuze voor Slurry-schild of EPB-schild	29
6.7	Technieken voor dwarsverbindingen en vlucht/ventilatie-schachten	31
6.8	Indicatieve berekening Momenten en Normaalkrachten .	31
6.9	Liggerwerking	32
6.10	Schachten	33
7	AANBEVELINGEN VOOR VERDER ONDERZOEK	35

BIJLAGEN ZIJN NIET TOEGEVOEGD

SAMENVATTING

In dit rapport is een eerste inventarisatie gemaakt van geotechnische en geohydrologische aspecten voor een mogelijke ondergrondse aanleg van de verbinding tussen de A6 en de A9, tussen de knooppunten Holendrecht (Rijksweg A9) en Muiderberg (Rijksweg A6).

Op basis van een beperkt archiefonderzoek is vastgesteld, dat de bodem ter plaatse weinig bijzondere belemmeringen geeft voor een ondergrondse aanleg. De bovenste 2 à 10 meter bestaat uit klei- en veenlagen. Daaronder worden tot een diepte van ca. 50 meter voornamelijk zandlagen aangetroffen. In het westelijke deel van het tracé, vanaf knooppunt Holendrecht, wordt op 50 meter diepte een ca. 10 meter dikke klei/leemlaag aangetroffen, die in oostelijke richting dunner wordt.

Gezien de aanwezigheid van brak of zout grondwater, in combinatie met de grote diepte waarop een waterafsluitende laag wordt aangetroffen en de grote doorlatendheid van de zandlagen, zullen ontgravingen van enige omvang waarschijnlijk in den natte moeten worden uitgevoerd.

Technische aandachtspunten in geval van een boortunnel zijn de mogelijke aanwezigheid van grindformaties, die een negatieve invloed op de boorfrontstabiliteit kunnen hebben en die ook de funderingstypen bij het ontwerp van de schachten kunnen beïnvloeden. Ook de pakkingsdichtheid van het zand is een aandachtspunt: bij een aantal sonderingen is een losse pakking van het zand aangetroffen, zodat het risico van verweking nader dient te worden onderzocht.

De stromingsrichting van het grondwater is overwegend van oost naar west, dus ongeveer parallel aan het tracé. Gegeven de dikte van het watervoerend pakket zal een eventuele boortunnel geen substantiële beïnvloeding geven van stijghoogten van het grondwater.

In dit rapport is niet gekeken naar de eventuele ruimtelijke belemmeringen voor ondergrondse aanleg, zoals de aanwezigheid van objecten of randvoorwaarden en eisen voortkomend uit de gebruiksfuncties van het te doorsnijden gebied. In een volgende fase zal vooral naar deze randvoorwaarden gekeken dienen te worden, waarna een voorontwerp kan worden gemaakt. In een dergelijk voorontwerp kunnen naast een boortunnel ook andere uitvoeringswijzen op hoofdlijnen worden beschouwd.

1 INLEIDING

Door de Bouwdienst Rijkswaterstaat werd aan Fugro Ingenieursbureau B.V. opdracht verleend voor het in kaart brengen van de geotechnische en geohydrologische aspecten ten behoeve van een haalbaarheidstudie voor een ondergrondse verbinding tussen het Knooppunt Holendrecht (Rijksweg A9) en het knooppunt Muiderberg (Rijksweg A6).

Afbakening

De opdracht beperkt zich tot de hierboven genoemde inventarisatie van geotechnische en geohydrologische aspecten in het kader van een eerste verkenning. Een beschouwing over de algehele haalbaarheid van een ondergrondse verbinding op de onderhavige locatie, gegeven de ruimtelijke beperkingen en de gebruiksfuncties van het gebied, behoorde niet tot de opdracht. Ook een afweging van uitvoeringsvarianten van een ondergrondse verbinding, dus de keuze voor een boortunnel of voor een andersoortige aanlegwijze behoorde niet tot de opdracht. In hoofdstuk 6 is specifiek ingegaan op de technische haalbaarheid van een boortunnel. Maar een vergelijking, bijvoorbeeld op technische uitvoerbaarheid en kosten, met andere uitvoeringstechnieken om een ondergrondse verbinding aan te leggen, is daarom niet uitgevoerd.

Inhoud van het rapport

De volgende activiteiten zijn in de opdracht voorzien en worden in dit rapport gepresenteerd:

1. Inventarisatie van de geologie van het gebied tot een diepte van 50 m beneden maaiveld (hoofdstuk 2)
2. Opstellen van een geotechnisch lengteprofiel (hoofdstuk 2)
3. Inschatting van grondparameters t.b.v. PLAXIS-analysen, damwandberekeningen en zettingsberekeningen (hoofdstuk 3)
4. Inventarisatie van waterstanden en ontwerp-waterstanden (freatische en diepe grondwaterstand, hoofdstuk 4)
5. Aangeven van de invloed van de tunnel op de geohydrologie van het gebied (o.a. afsluiting van het watervoerend pakket, hoofdstuk 5)
6. Advisering betreffende de haalbaarheid van een boortunnel op 40 m minus maaiveld met een diameter van 12 m á 15 m (hoofdstuk 6).
7. Aanbevelingen voor aanvullend onderzoek (hoofdstuk 7)

Overzicht van het tracé

Op bijlage 1 is een overzichtstekening met het tracé weergegeven, hierbij zijn tevens de locaties van boringen en sonderingen aangegeven. Het voorlopige tracé bestaat uit een noordelijke en een zuidelijke variant. Op bijlage 1 is door Fugro tevens een kilometering aangegeven, beginnend voor knooppunt Holendrecht en eindigend na knooppunt Muiderberg.

De volgende objecten worden in het tracé gekruist:

- Km 0,0 – Rijksweg A2
- Km 1,4 – Spoor Amsterdam-Utrecht
- Km 3,9 – Rivier "Gein"
- Km 5,1 – Amsterdam-Rijnkanaal
- Km 6,5 – 7,5 - Bebouwing Weesp (Noordelijk tracé)
- Km 7,5 – Rivier "De Vecht"
- Km 8,0 – Spoorlijn Amsterdam – Bussum – Amersfoort
- Km 9,0 – 9,5 – Spoorlijn Amsterdam/Amersfoort – Almere
- Km 10,8 – Kanaal naar het Naardermeer
- Km 11,3 – Rijksweg A1

Samen met de aansluitingen op rijksweg A9 en op rijksweg A6 bedraagt de lengte van het tracé ca. 13 km.

2 GEOLOGIE VAN HET TRACÉ

2.1 Algemeen

De geologische indeling van het gebied is gebaseerd op de geologische beschrijving uit:

- Geologische kaart van Nederland, 1975 – TNO-NITG
- Geohydrologische kaart van Nederland – TNO, 1980
- Boringen en sonderingen in het gebied – bron: Fugro-archief en TNO-NITG

De beschrijvingen van de boringen en sonderingen zijn weergegeven in Appendix A.

Op basis van bovenstaande informatie is een geotechnisch lengte profiel opgesteld (bijlagen 2, 3 en 4).

Hierna volgen de geologische kenmerken van de formaties (paragraaf 2.2 en 2.3).

2.2 Globale indeling

Globaal is de grond ter plaatse van het project te onderscheiden in de volgende lagen (zie tabel 1). In verband met de geohydrologische omstandigheden is een diepte tot NAP – 280 m beschouwd.

Tabel 1 – Globale beschrijving van formaties

Laag no	Diepte bovenzijde [m NAP]	Formatie	Beschrijving	Geohydrologie
1	- 1 á -4	Zandcunet	ZAND (antropogeen)	Freatisch water
2, 3	- 1 á -4	Holocene deklaag	KLEI en VEEN	Freatisch water
4 – 6	- 2 á - 12	Twente, Urk, Sterksel	ZAND, fijn tot grof,,grindig	1 ^e + 2 ^e watervoerend pakket (scheidingslaag niet aangetroffen)
7	- 50 á - 60	Kedichem (lokaal aanwezig)	KLEI en LEEM	Scheidingslaag
8	- 50 á - 60	Harderwijk	ZAND	3 ^e watervoerend pakket (in verbinding met 2 ^e watervoerend pakket)
9	- 200	Tegelen	KLEI	
10	- 220	Maassluis	Kleih. ZAND + Zandige KLEI	
11	- 280	Oosterhout	KLEI	

Het maaiveld ligt de eerste 1,0 a 1,5 km (gerekend vanaf knooppunt Holendrecht) op ca. NAP – 3,7 m, tussen de spoorlijn Amsterdam-Utrecht op NAP –1,7 m tot –1,9 m (scheiding tussen NAP – 3,7 m en NAP – 1,7 m wordt gevormd door de provinciale weg); in de

Aetveldsche polder tussen de Gein en de Vecht op NAP -1,25 m, en in de Nieuwe Keverdijksche Polder tussen de Vecht en knooppunt Muiderberg op NAP - 1,1 m tot NAP - 1,5 m.

De geologische formaties worden hierna kort besproken.

2.3 Verbreiding en dikte van de lagen

2.3.1 Holocene deklaag

De deklaag wordt gevormd door een Holocene pakket bestaande uit lichte tot zware kleien en veenafzettingen, met inschakelingen van fijne slibhoudende zanden. Dit pakket behoort tot de Westland-formatie en omvat het Hollandveen, in combinatie met de klei-afzettingen van Tiel, Duinkerke en Calais/Gorkum. De dikte van de deklaag varieert in dit deel van Noord-Holland tussen de 1 en 10 meter, de onderkant tussen 2 en 12 meter onder NAP.

2.3.2 Formaties van Twente, Urk en Sterksel (eerste en tweede watervoerend pakket)

Het bovenste gedeelte van het pakket bestaat voornamelijk uit zandige afzettingen van de formatie van Twente (Wechselien, dekzand, eerste watervoerend pakket), het onderste gedeelte uit afzettingen behorende tot de formaties van Urk (Holsteinien, grof zand, soms grindig) en Sterksel (Menapien, grof zand, grindig, soms met kleilenzen). De formaties van Urk en Sterksel vormen samen het 2^e watervoerende pakket.

De bovenzijde van dit pakket bevindt zich tussen NAP - 2 m en - 12 m. Plaatselijk kunnen lagen met een grote hoeveelheid grind gemengd zijn, en zwak tot matig grindige lagen komen op verschillende dieptes voor. De aanwezigheid van stenen (groter dan 63 mm) is niet waarschijnlijk, maar kan niet geheel worden uitgesloten.

In de formatie van Sterksel, die ook in Limburg voorkomt, kunnen in het algemeen stenen aanwezig zijn. Gezien het feit, dat de locatie zich op relatief grotere afstand van de oorsprong van de oer-Rijn en oer-Maas bevindt, is het voorkomen van stenen niet waarschijnlijk.

De sonderingen geven een losse tot matig vaste pakking aan voor de zandlagen boven NAP - 20 m.

Ten noorden van het project wordt een waterscheidende laag aangetroffen tussen NAP - 25 m en NAP - 50 m. Waarschijnlijk is deze laag niet aanwezig ter plaatse van het geplande tracé, waardoor eerste en tweede watervoerend pakket in elkaar overgaan.

De scheidende laag bestaat uit klei en leem met inschakelingen van fijne tot zeer fijne slibhoudende zanden, behorende tot de Eemformatie (mariene klei, Eemien) en de formatie van Drenthe (een glacigene formatie uit het Saalien, die ook stenen kan bevatten).

2.3.3 *Formatie van Kedichem – scheidende laag*

In het westelijke deel van het tracé komt een scheidende laag voor, die behoort tot de formatie van Kedichem (Eburorien – Menapien) en die overwegend bestaat uit klei- en leemafzettingen, met lokaal ook veenlagen. De bovenkant van de laag ligt ter plaatse tussen de 50 en 60 meter onder NAP. De dikte loopt af van ongeveer 10 meter bij knooppunt Holendrecht tot 0 meter (einde laag) ongeveer een kilometer ten westen van het de Gein.

2.3.4 *Formatie van Harderwijk (3^o watervoerend pakket)*

Onder de formatie van Kedichem bevindt zich de formatie van Harderwijk (Tiglien – Waalien). Deze laag bestaat uit fijn tot grof zand, dat soms grindig of siltig is (derde watervoerend pakket). Waar de laag van Kedichem niet aanwezig is, vormen de tweede en derde watervoerende pakketten één geheel. De top van deze laag ligt op ongeveer NAP – 60 m.

2.3.5 *Formatie van Tegelen (scheidende laag)*

Deze scheidende laag, waarvan de bovenkant op ca. NAP – 200 m ligt, bestaat voornamelijk uit kleien van de formatie van Tegelen (Tiglien) en de basale lagen van de formatie van Harderwijk (Tiglien). De laag komt overal in het gebied voor en de dikte ervan bedraagt ongeveer 20 meter.

2.3.6 *Formatie van Maassluis*

Beneden de formatie van Tegelen komt de formatie van Maassluis (mariene zandige kleilagen en schelphoudende zanden, Tiglien-Praetiglien) voor, pakket met matige doorlatendheid. De dikte van deze formatie bedraagt ca. 40 tot 80 m.

2.3.7 *Formatie van Oosterhout*

Een dik kleipakket, met de bovenkant op ongeveer NAP – 280 m markeert de hydrologische basis van dit grondpakket. De laag is onderdeel van de formatie van Oosterhout (mariene klei, Pliocene, Tertiair), en is 20 tot 30 meter dik.

3 GRONDPARAMETERS

Op basis van het grondonderzoek zijn grondparameters vastgesteld voor de verschillende formaties. Hierbij wordt opgemerkt, dat het aanwezige grondonderzoek in het algemeen niet verder reikt dan tot ca. NAP – 25 m. Enkele boringen gaan dieper.

Verder is van de boringen wel een beschrijving van de grond beschikbaar, maar diepe sonderingen ontbreken.

De waarden zijn een grove schatting op basis van grondonderzoek, ervaring en literatuur (met name NEN 6740 Tabel 1). Deze parameters dienen voor oriënterende berekeningen van de schachten, de bouwputten en de tunnel lining.

Representatieve waarden voor de geotechnische parameters zijn geschat en weergegeven in tabel 2. De laagnummers komen overeen met de lagen zoals aangegeven in het geotechnisch lengteprofiel, bijlagen 2 t/m 4.

Tabel 2 – Representatieve waarden voor geotechnische parameters

Laag	Grondsoort	$\gamma / \gamma_{\text{sat}}$ [kN/m ³]	f_{und} [kPa]	φ' [grd]	c' [kPa]	E_{50} [MPa]	ν [-]	E_{50}^{ref} [MPa]	$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$ [MPa]	ν_{ur} [-]
1	Topzandlaag	17/19	--	30	--	15	0,3	nvt	nvt	nvt
2	Klei	/14	15	17,5	2	1	0,4	nvt	nvt	nvt
3	Veen	/ 10,5	10	15	2	0,5	0,4	nvt	nvt	nvt
4 - 6	Zand	/ 20	--	32,5	--	nvt	0,3	40	160	0,2
7	Klei/Leem	/ 20	200	27,5	5	30	0,4	nvt	nvt	nvt
8	Zand	/ 20	nvt	35	--	nvt	0,3	80	320	0,2

In tabel 2 zijn ook parameters gegeven voor tunnel lining berekeningen. Voor de kleilagen en de topzandlagen is ervan uitgegaan, dat het Mohr-Coulomb materiaal model wordt gebruikt. Voor de diepe zandlagen is uitgegaan van het Hardening Soil Model.

Voor de verschillende formaties 4, 5 en 6 zijn geen afzonderlijke parameters gegeven, aangezien op grond van de grondgegevens geen onderscheid tussen deze formaties kon worden gemaakt.

De verklaring voor de symbolen:

$\gamma / \gamma_{\text{sat}}$ = in situ volumiek gewicht / verzadigd volumiek gewicht
 f_{und} = ongedraineerde schuifsterkte
 φ' = effectieve wrijvingshoek
 c' = effectieve cohesie
 E_{50} = elasticiteitsmodulus (Mohr-Coulomb model)
 ν = dwarscontractie coëfficiënt (Mohr-Coulomb model)
 E_{50}^{ref} = elasticiteitsmodulus op spanningsniveau van 100 kPa (Hardening Soil model)

E_{ur}^{ref} = elasticiteitsmodulus bij elastisch ontlasten/herbelasten = 4
* E_{50}^{ref} (Hardening Soil model)

ν_{ur} = dwarscontractie coëfficiënt bij ontlasten/herbelasten
(Hardening Soil model)

Verder wordt bij het Hardening soil model gebruik gemaakt van de parameter E_{oed} , waarbij:

$E_{oed}^{ref} = E_{oed}$ bij spanningsniveau van 100 kPa

$E_{oed} = E_{50} * (1-\nu)/((1+\nu)(1-2\nu)) = 1,34 * E_{50}$ bij waarde van $\nu = 0,3$

De samendrukkingsparameters (methode Koppejan) zijn weergegeven in tabel 3.

Tabel 3 - Samendrukkingsparameters

Laag	Grondsoort	Cp1 [-]	Cp2 [-]	Cs1 [-]	Cs2 [-]	c_v [m ² /s]
1	Topzandlaag	--	150	--	--	nvt
2	Klei	50	10	500	100	10 ⁻⁷
3	Veen	40	8	160	32	3*10 ⁻⁷
4 - 6	Zand	--	500	--	--	nvt
7	Klei/Leem	250	50	2500	500	10 ⁻⁷
8	Zand	--	2000	--	--	nvt

Beddingsconstanten voor damwanden conform CUR-rapport 166 zijn weergegeven in tabel 4.

Tabel 4 – Damwandparameters – Horizontale beddingsconstante

Laag	Grondsoort	Laag gemiddelde			Hoog gemiddelde		
		Kh ₁	Kh ₂	Kh ₃	Kh ₁	Kh ₂	Kh ₃
1	Topzandlaag	12000	6000	3000	27000	13500	6750
2	Klei	1600	800	400	3600	1800	900
3	Veen	1000	500	250	2200	1100	550
4 - 6	Zand	20000	10000	5000	45000	22500	11250
7	Klei/Leem	6000	4000	2000	13500	9000	4500

4 GEOHYDROLOGISCHE GEGEVENS

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de geohydrologische randvoorwaarden voor het project vastgesteld. Hierbij wordt een overzicht gegeven van de volgende gegevens:

- Geohydrologische schematisatie van de bodem
- Freatische grondwaterspiegel
- Stijghoogte in het pleistocene zandpakket
- Dichtheid/zoutgehalte van het water

Tijdens de ontwerp-, aanleg- en gebruiksfase van het project dient vanuit geohydrologisch oogpunt rekening te worden gehouden met de volgende aspecten:

- Onttrekkingen van grondwater;
- Verstoring van oppervlakkige afvoer en freatisch grondwater;
- Verstoring van het stijghoogtepatroon en diep grondwater;
- Chloride gehalte van het diepe grondwater.
- Grondwaterstroming/inzijing/kwel

Deze aspecten worden in de onderstaande paragrafen besproken.

4.2 Geohydrologische bodemopbouw

In tabel 5 is de geohydrologische schematisatie gegeven. De parameters zijn op grond van het beperkte grondonderzoek grof geschat. Geadviseerd wordt om ter plaatse van de relevante bouwwerkzaamheden (met name ter plaatse van grondwateronttrekkingen) deze parameters in het veld nader te bepalen.

Tabel 5 - Geohydrologische schematisatie bodem

Niveau [m NAP]	Laag	Parameter
Van -1,1 à -3,7 tot -2 à -12	Waterremmende Deklaag	c = 100 à 5000 dagen kD = 10 à 50 m ² /dag
van -2 à -12 tot -50 à -200	Watervoerende laag pleistocene zand	kD = 400 a 2000 m ² /dag
daaronder	Waterremmende basis	c = ∞

waarbij:

c = hydraulische weerstand [dagen]

kD = doorlaatvermogen [m²/dag]

k = doorlatendheid [m/dag]

De horizontale waterdoorlatendheid is in zand en klei vrijwel gelijk aan de verticale doorlatendheid. In veen is vanwege de verticale

gelaagdheid de horizontale doorlatendheid een factor 2 a 3 hoger dan de verticale doorlatendheid.

Er is globaal sprake van grondwaterstroming in het 1^e en 2^e watervoerend pakket van oost naar west.

4.3 Freatische grondwaterstand

De freatische grondwaterstand is weergegeven langs het tracé op bijlage 5. De freatische waterstand is bepaald op grond van de "Waterstaatskaart van Nederland, Amsterdam Oost 25", Rijkswaterstaat 1984.

De freatische waterstanden zijn samengevat in tabel 6 (noordelijk tracé) en tabel 7 (zuidelijk tracé).

Tabel 6 – Freatisch niveau – noordelijk tracé

Km	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Zomerpeil [m NAP]	-4,4	-4,4	-2,7	-2,3	-2,2	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,6	-1,35
Winterpeil [m NAP]	-4,5	-4,5	-2,7	-2,3	-2,3	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,6	-1,35

Tabel 7 – Freatisch niveau – zomerpeil (zuidelijk tracé)

Km	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Zomerpeil [m NAP]	-4,4	-4,4	-2,3	-2,3	-2,3	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,6	-1,35
Winterpeil [m NAP]	-4,5	-4,5	-2,3	-2,3	-2,3	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,6	-1,35

Maximale en minimale ontwerpwaterstanden

De maximale waterstand dient gelijk aan maaiveld te worden genomen. De minimale waterstand kan gelijk worden genomen aan het winterpeil.

Waterniveau open water

Het kanaalpeil van het Amsterdam-Rijnkanaal en het rivierpeil van de Vecht liggen op ca. NAP – 0,40 m. Hetzelfde peil wordt gehanteerd voor de Gein.

4.4 Stijghoogte in pleistocene zand

Om het regionaal stromingspatroon op basis van stijghoogten in het eerste watervoerend pakket te bepalen, zijn uit het archief van TNO-NITG vanaf 1990 de relevante peilbuizen opgevraagd. Ondiepe peilbuizen en peilbuizen met een embargo zijn voor dit advies buiten beschouwing gelaten. Ook peilbuizen die in de afgelopen jaren slechts kort zijn waargenomen of op basis van de resultaten niet betrouwbaar worden geacht, zijn niet meegenomen. Uit de

overgebleven peilbuizen is een selectie gemaakt op een zodanige manier dat de geselecteerde peilbuizen de omgeving rond het tunneltracé goed "afdekken".

Vervolgens zijn de stijghoogtegegevens opgevraagd. Deze gegevens zijn omgezet in tijd-stijghoogtelijnen welke staan gepresenteerd in Appendix B. Met behulp van deze tijd-stijghoogtelijnen is per filter de maatgevende maximale en minimale stijghoogte bepaald. Deze maatgevende stijghoogten zijn stijghoogten welke in het verleden vaak zijn voorgekomen waarbij enige subjectiviteit niet is uitgesloten. Extreme pieken zijn buiten beschouwing gelaten. Uit de gegevens kan het volgende geconcludeerd worden:

- De stijghoogte in het 1° en 2° watervoerend pakket gemeten op ca. NAP -20 m varieert tussen ca. NAP -0,45 en -4,1 m.
- De filters laten per locatie een gering verschil in stijghoogte over de diepte zien. Tot op een diepte van NAP -50 m zijn de verschillen maximaal ca. 0,2 m.

De "maximale" en de "minimale" stijghoogte van het grondwater in de peilbuizen met filters op een diepte van ca. NAP -20 m zijn geïnterpoleerd. De resultaten zijn weergegeven op bijlage 6 en 7 en samengevat in tabel 8.

De grondwaterstroming verloopt globaal van oost naar west, min of meer evenwijdig aan het tracé.

Tabel 8 – Stijghoogte Pleistoceen (noordelijk en zuidelijk tracé)

Km	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Maximale stijghoogte (m tov NAP)	-3,65	-3,4	-3,1	-2,8	-2,4	-2,1	-1,9	-1,8	-1,7	-1,6	-1,5	-1,4	-1,1
Minimale stijghoogte (m tov NAP)	-3,9	-3,7	-3,4	-3,0	-2,65	-2,35	-2,2	-2,15	-2,1	-2,05	-2,0	-1,8	-1,4

4.5 Chloridegehalte

Voor bepaling van het chloride gehalte van het diepe grondwater zijn bij TNO-NITG in het gebied locaties geselecteerd waar het chloridegehalte bekend is. Uitgegaan is van de meest recente waarneming. De rond verschillende dieptes (NAP – 10 m, - 35 m en – 45 m) gevonden waarden zijn geïnterpoleerd en weergegeven op bijlage 8.

Op deze bijlage is eveneens een tabel gepresenteerd met de bijbehorende dichtheden van het grondwater.

Het chloride gehalte op NAP – 10 m varieert tussen minder dan 500 mg/l tot ca 1500 mg/l, waarbij op 1 locatie nabij het Gooimeer een hogere concentratie wordt gemeten (orde 2000mg/l).

Op NAP – 35 m is het grondwater aanzienlijk zouter, hier varieert het chloride gehalte tussen 2000 mg/l tot 3000 mg/l, met piek waarden tot 4000 mg/l.

Op NAP – 45 m varieert het chloride gehalte tussen 3000 mg/l in het oosten tot 5000 mg/l lokaal in het westen van het tracé.

Ter informatie worden de globale grenzen tussen zoet en zout water aangegeven:

- zoet water heeft een chloride gehalte kleiner dan 300 mg/l
- brak water heeft een chloride gehalte tussen 300 mg/l en 1000 mg/l
- zout water heeft een chloride gehalte groter dan 1000 mg/l
- zeewater heeft een chloride gehalte in de orde van 20000 mg/l

5 GEOHYDROLOGISCHE ASPECTEN

5.1 Algemeen

In dit hoofdstuk worden de geohydrologische aspecten ten aanzien van de eventuele aanleg van een boortunnel gepresenteerd. Hierbij wordt ingegaan op de volgende aspecten:

- Onttrekkingen van grondwater
- Verstoring van oppervlakkige afvoer en freatisch grondwater
- Verstoring van het stijghoogte patroon en diepe grondwaterstand
- Verstoring van de grondwaterstroming

5.2 Onttrekking van grondwater tijdens de aanleg

5.2.1 Mogelijke onttrekkingen van grondwater

Voor de aanleg van de tunnel zal voor de toeritten en de schachten een ontgraving plaats vinden. Indien dit in den droge wordt gerealiseerd, dient grondwater te worden onttrokken dan wel dient er een onderwater betonvloer of een polderconstructie (zie paragraaf 6.10) te worden toegepast. Bij grondwater onttrekking zijn er 3 situaties denkbaar.

- 1) Ontgraven in de deklaag tot een diepte waarop de stabiliteit van bouwputbodem gewaarborgd blijft, zonder dat in de watervoerende laag eronder een spanningsbemaling dient te worden toegepast.
- 2) Ontgraven in de deklaag tot een diepte waarop de stabiliteit van bouwputbodem alleen gewaarborgd kan worden, indien in de watervoerende laag eronder een spanningsbemaling dient te worden toegepast. Hier geldt, dat het grondwater in het zand waarschijnlijk brak is en mogelijk niet eenvoudig kan worden geloosd.
- 3) Ontgraven tot een niveau in de watervoerende laag. Hierbij moet in de watervoerende laag worden bemalen (indien geen alternatieve bouwwijze wordt gekozen). Tevens moet hierbij de problematiek van het onttrekken van brak grondwater worden beschouwd.

Het te onttrekken water bestaat uit een 3-tal componenten:

- a) Neerslag. De neerslag die in de bouwput valt, dient te worden afgevoerd. Normaal gesproken zou dit in de bodem infiltreren. Om het debiet te bepalen dient gekeken te worden naar de maatgevende neerslag (10 mm/uur of 20 mm/dag);
- b) Zijdelingse toestroming. Door de in de deklaag voorkomende klei en veenlagen zal weinig water toestromen. Zand en grindlagen zijn echter goed waterdoorlatend en zullen een grote toevoer van water leveren. Deze aanvoer van water kan worden verminderd door het plaatsen van damwanden. Door goed in het slot geheide damwanden zal dan nog slechts enige lekkage optreden.

- c) Verticale toestroming van kwel. Indien de onderzijde van de bouwput wordt begrensd door een waterremmende laag (klei, leem), zal indien over deze laag een stijghoogteverschil staat, een kwelstroom optreden. Afhankelijk van de dikte van deze waterremmende laag zal de kwel groter of kleiner zijn.

5.2.2 Gevolgen onttrekken grondwater

Door de onttrekking van grondwater treedt in de omgeving een daling van de grondwaterstand en de stijghoogte op. Afhankelijk van de grootte van het te onttrekken debiet kan dit gevolgen hebben voor bestaande bebouwing en ondergrondse objecten zoals riolering en transportleidingen. Door zettingen en/of het droogvallen van houten palen kunnen gebouwen en andere objecten verzakken. Verder kunnen zettingen en daarmee dalingen van het maaiveld optreden.

Tevens wordt door het onttrekken van grote hoeveelheden water de ligging van de zoet/zout-grens beïnvloed. Daarbij wordt bovendien brak of zout water onttrokken, waarvoor een aparte lozingsvergunning van het Hoogheemraadschap of Waterschap bij lozen op open water of riool noodzakelijk is. Indien op het riool geloosd wordt (alleen bij beperkt debiet), dient contact te worden opgenomen met de betreffende gemeente. Bovendien dient de kwaliteit van het te lozen water te worden onderzocht.

Afhankelijk van de grootte van het te onttrekken debiet dient een grondwateronttrekkings vergunning te worden aangevraagd bij de provincie waarin de onttrekking plaats vindt. Om de vergunning te verkrijgen dient een rapport te worden opgesteld met daarin een berekening van het te onttrekken debiet en de gevolgen van de onttrekking op de omgeving, zoals hierboven staan genoemd. De tunnel loopt door de provincies Noord- Holland en Utrecht. De grenzen voor een vergunningsaanvraag zijn aangegeven in onderstaande tabel 9. Indien een onttrekking niet vergunningsplichtig is, dient te worden nagegaan of de onttrekking meldingsplichtig is.

Tabel 9 - Globale grenzen vergunningsaanvraag (peildatum februari 2002)

Provincie	soort gebied	Vergunningsplichtig bij overschrijding van:
Noord-Holland	kwetsbaar	> 8.000 m ³ /maand of >6 maanden
	overig	> 15.000 m ³ /maand of >6 maanden
Utrecht	natuurgebied	> 10 m ³ /uur of >12.000 m ³ / 3 maanden
	bouwput	> 100 m ³ / uur of > 50.000 m ³ /maand of >6 maanden

Om een indicatie van de orde van grootte van de debieten te geven, is een globale berekening gemaakt voor de water onttrekking in geval dat een bouwput met afmetingen 45 * 70 m² met putbodemp op

NAP – 20 m en NAP – 25 m wordt bemalen (geen afsluitende vloer in de bouwfase). De stijghoogte van het spanningswater is aangenomen op NAP – 1,5 m. Dit voorbeeld zou overeen kunnen komen met de startschacht voor een boortunnel. De debieten zijn weergegeven in tabel 10.

*Tabel 10 – Debieten [m³/dag] bij bemaling van bouwput met afmetingen 45 * 70 m²*

Doorlatendheid pleistocene zand kD [m ² /dag]	Hydraulische weerstand Holoceen c [dagen]	Debiet [m ³ /dag]	
		Bodem NAP – 20 m	Bodem NAP – 25 m
400	100	26.000	33.000
400	5000	12.500	16.000
2000	100	90.000	114.000
2000	5000	51.000	65.000

Gezien de grote debieten en de zoet/zout problematiek wordt aanbevolen de ontgravingen in de natte uit te voeren, d.w.z. met een afsluitende bouwputbodembodem d.m.v. onderwater beton of injectie en dergelijke.

5.3 Verstoring oppervlakkige afvoer

5.3.1 *Hinder afstromen freatisch grondwater en regenwater.*

De inritten, cut&cover secties en eventuele schachten kunnen de freatische grondwaterstroming en de afvoer van regenwater beïnvloeden. Indien dit bezwaarlijk is, kunnen maatregelen worden getroffen, zoals de aanleg van sloten. Om hierover uitsluitsel te geven is een gebiedsgerichte studie nodig waarin ook de waterhuishoudige staat van het gebied wordt vastgelegd.

5.3.2 *Hinder afstromen oppervlaktewater.*

Indien het ondiepe tunneltracé (inritten en cut&cover-secties) kruist met het oppervlaktewater dienen eveneens maatregelen te worden getroffen. Hier kan gedacht worden aan het omleggen van de waterloop of het aanbrengen van een sifon. Per kruising van zowel kleine als grote waterlopen dient een juiste oplossing te worden gevonden.

5.4 Invloed op stijghoogtepatroon watervoerende laag (barrièrewerking)

Wanneer in een watervoerende laag (zand of grind) een object (tunnel) wordt aangelegd, vormt dit object mogelijk een barrière tegen de stroming van grondwater. Door de barrière kan aan de bovenstroomse zijde opstuwning en aan de benedenstroomse zijde een verlaging van de grondwaterstand optreden. De mate waarin dit gebeurt, is afhankelijk van de volgende punten:

- stromingsrichting van het grondwater ten opzichte van de oriëntatie het object;
- omvang (lengte x breedte x diepte) van het object in verhouding tot de dikte van de watervoerende laag waarin het object is gelegen.

Op bijlagen 6 en 7 zijn de stijghoogten contouren weergegeven, waarbij tevens de tunneltracés en de belangrijkste rij- en waterwegen zijn weergegeven. Tevens zijn de locaties van de gebruikte peilfilters gepresenteerd. Uit de bijlagen kan voorlopig geconcludeerd worden dat het regionaal stromingspatroon loopt van oost naar west. Dit is vrijwel evenwijdig aan de tunneltracé's, waardoor barrièrewerking niet of nauwelijks zal kunnen optreden.

Zoals is beschreven in hoofdstuk 2 en blijkt uit het geotechnisch lengteprofiel, bestaat de watervoerende laag uit het 1^e en 2^e watervoerend pakket. De top van dit pakket heeft een niveau van ca. NAP -2 tot -12 m en de basis ligt op ca. NAP -50 tot -60 m. De totale dikte is derhalve ca. 40 tot 60 m. Uitgaand van een tunneldiameter van 12 à 15 m wordt in het diepe deel van de tunnel slechts 25 tot 40% van de hoogte van het zandpakket afgesloten door de tunnel. Uit studies blijkt dat pas bij een afsluiting van 70% significante verschillen optreden in de stijghoogte voor en achter de barrière^{1,2}.

Conclusie barrièrewerking.

Op basis van de peilbuis resultaten is een iso-hypsen kaart opgesteld voor het tunnel tracé. Hieruit blijkt, dat het regionaal stromingspatroon vrijwel evenwijdig is aan het tunneltracé. Bovendien gezien een verhouding tussen het hoogte van het object en de dikte van het watervoerend pakket van maximaal 40%, kan voorlopig worden aangenomen, dat er nauwelijks sprake zal zijn van barrièrewerking door de tunnel in de watervoerende laag.

¹ Janssen, G. J. M. Barrièrewerking van ondergrondse bouwdelen, Geotechniek, special geotechniekdag, 2001

² Schrauwen, F.M.R. en Streng, J.M.A., Verstoring regionaal stromingsveld, COB/K100-document K100-W-030, CUR/COB Gouda, 1996

6 TECHNISCHE HAALBAARHEID VAN BOORTUNNEL: GEOTECHNIEK

6.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de haalbaarheid van een boortunnel, uitgaande van de geotechnische en geohydrologische randvoorwaarden, zoals ook in de eerdere hoofdstukken beschreven.

Hierbij komen de volgende aspecten aan de orde:

1. Geohydrologie: spanningswater, zout-zoet-grens, waterniveau's open water, mogelijkheid van polder constructie
2. Geotechnische situatie: mogelijke aanwezigheid van grondlagen, die bepalend kunnen zijn voor de uitvoering en de ligging van de boortunnel
3. Kwalitatieve analyse van boorfront stabiliteit
4. Keuze voor EPB-schild of Slurry-schild
5. Mogelijke technieken voor dwarsverbindingen en vlucht/ventilatieschachten
6. Indicatie van momenten en normaalkrachten in de lining
7. Liggerwerking
8. Kwalitatieve analyse van de problematiek bij de schachten

Ligging van de tunnel

Er is uitgegaan van een geboorde tunnel bestaande uit 2 tunnelbuizen met diameter 12 tot 15 m.

De tunnel wordt waarschijnlijk met uitzondering van de zones nabij de schachten geboord met minimaal 1 diameter dekking, d.w.z een dekking van 15 m. Nabij de schachten wordt mogelijk een geringere dekking toegepast, nl $\frac{1}{2}$ * de diameter (orde 7 m) of $\frac{2}{3}$ * diameter (10 m), teneinde de schachten zo ondiep mogelijk te kunnen maken.

6.2 Geohydrologie

Aan de orde komen: spanningswater, zout-zoet-grens, mogelijkheid van polder constructie.

Spanningswater

Uit vergelijking van tabel 6 en 7 met tabel 8 blijkt, dat in het algemeen de stijghoogte in het pleistocene zand beneden het maaiveld ligt. Uitzondering is het tracé van km 0 tot ca. km 1,5 met:

- maaiveld op ca. NAP – 3,7 m
- freatisch water op NAP – 4,4 m
- maximale stijghoogte varieert omstreeks NAP – 3,4 m in het westelijk deel van het tracé

Voor het overige gedeelte ligt de stijghoogte minimaal 0,5 m beneden maaiveld en heerst er een wateroverspanning t.o.v. het freatisch water van maximaal 0,3 m.

Zout-zoet-grens

Het water in het Pleistoceen is waarschijnlijk brak tot ca. NAP –10 m. Daaronder is het water zout. Dit leidt eventueel tot beperkingen bij het lozen.

Ontgraving in de natte of in de droge

Zoals in hoofdstuk 5 voorlopig werd geconcludeerd, leidt ontgraving van een bouwput met bodem in het Pleistoceen in de droge met een spanningsbemaling tot zeer hoge debieten, waarbij tevens sprake is van brak tot zout grondwater. Derhalve wordt ontgraving in de natte aanbevolen.

Polderconstructie

Mogelijkheden voor een polderconstructie is aanwezig nabij Holendrecht. Door diepwanden aan te leggen tot op de laag van Kedichem op ca. NAP – 55 m, wordt een polderconstructie verkregen (zie ook paragraaf 6.10). In dat geval hoeft geen onderwater betonvloer verankerd met trekaplen te worden geïnstalleerd.

6.3 Geotechnische condities

De geologie van het gebied is beschreven in hoofdstuk 2 en weergegeven op de geotechnische lengteprofielen, bijlagen 2 t/m 4. Zoals beschreven onder 6.1 ligt de tunnel in het pleistocene zand (formaties van Twente, Urk en Sterksel):

- De formatie van Twente komt in deze regio voornamelijk voor als dekzand, zijnde overwegend matig fijn zand.
- De formatie van Urk bestaat voornamelijk uit grof zand, soms met grind (Rijnafzettingen) en is vrij algemeen in dit gebied. De dikte van de formatie varieert tussen 10 m en 50 m.
- De formatie van Sterksel bestaat uit grove, grindhoudende zanden.

Op basis van het voorliggende grondonderzoek kan geen exacte stratigrafie van de bovengenoemde formaties worden vastgesteld. Derhalve zijn deze lagen als één formatie (nummer 4 – 6) aangegeven.

Holocene toplaag

De holocene toplaag bestaat uit veen en slappe deels humeuze kleilagen.

In principe zal deze laag nauwelijks van invloed zijn op het boorproces, behalve nabij de schachten, waar met een minimale gronddekking wordt volstaan. Hier dient mogelijk een

grondvervanging of grondverbetering te worden uitgevoerd (zie paragraaf 6.10).

Aanwezigheid van grind

De grindpercentages van de formaties van Urk en Sterksel zijn niet bekend. Uit de boringen blijken echter geen lagen te zijn aangetroffen, die uit grind als hoofdbestanddeel bestaan. Steeds wordt de grondslag als ZAND, grindhoudend geclassificeerd, hetgeen een grindpercentage van minder dan 30 % impliceert.

De aanwezigheid van grind is een belangrijke parameter voor het boorproces en dient nader te worden onderzocht.

Relatieve dichtheid van het zand

De sonderingen geven aan, dat in de pleistocene zandlaag (laag 4-6) boven NAP – 20 m (veelal de einddiepte van de sonderingen) zandlagen met een losse tot matig vaste pakking (conusweerstand 5 – 10 MPa) kunnen voorkomen.

Dit gegeven kan van invloed zijn op de boorfrontstabiliteit.

Aanwezigheid van stijve kleilagen

In de pleistocene zandlagen (laag 4-6, formaties van Twente, Urk en Sterksel) zijn nauwelijks kleilagen van enige extensie aangetroffen. Lokaal zijn kleilagen van minder dan 1 m dikte aangetroffen, alsmede een locale kleilaag van 3 m dikte in boring 25H0452. Vooralsnog lijkt de betekenis van deze locale kleilaag voor de tunnel niet groot.

Vanaf knooppunt Holendrecht tot aan de kruising met de Gein is de laag van Kedichem aangetroffen. Deze laag bestaat uit een vaste leemlaag met bovenzijde op ca. NAP – 55 m.

Gezien de ligging van de tunnel (onderzijde op ca. NAP – 30 m a – 35 m) zal deze laag nauwelijks van invloed zijn op het gedrag van de tunnel tijdens de uitvoerings- en gebruiksfase). Wel zou deze laag geschikt zijn om als onderafdichting van de startschacht toe te passen teneinde een spanningsbemaling of onderwaterbetonvloer te voorkomen. Opgemerkt wordt, dat dan zeer diepe combiwanden of diepwanden zullen moeten worden geïnstalleerd.

6.4 Diepteligging / opdrijven

In verband met opdrijven is een globale evenwichtsbeschouwing opgesteld.

Uitgaande van een Holocene pakket van maximaal 10 m dikte met een gemiddeld effectief gewicht van 2 kN/m^3 , dient er een dekking van ca. 7 m in het zand te worden gerealiseerd. Dat wil zeggen, dat de bovenzijde van de tunnel op minimaal ca. NAP – 18 m dient te worden aangelegd.

Bij de diepteligging van de tunnel worden de volgende doorsneden beschouwd, waar mogelijk een afwijkende diepteligging noodzakelijk is:

- Beëindiging van de tunnel, locatie ter plaatse van de schachten
- Locatie ter plaatse van de paalfundering te Weesp
- Locatie ter plaatse van de paalfundering Gooiboog
- Locatie onder het Amsterdam-Rijnkanaal

Beëindiging van de tunnel (schachten)

Bij de schachten kan worden gestreefd naar een dekking van 10 m of zelfs 7,5 m ($0,5 \times$ diameter, zoals bij de Groene Hart tunnel). Dit is mogelijk door middel van een grondverbetering door middel van kalkcement-kolommen dan wel gronduitwisseling door zand en een zandcement stabilisatielaag om boorfrontinstabiliteit en opdrijven van de tunnel te voorkomen.

Zonder aanvullende maatregelen dient een dekking van minimaal 1 maal de diameter te worden gehandhaafd.

Locatie bebouwing te Weesp

Bij het noordelijke tracé zal de tunnel onder de bebouwing van Weesp worden doorgevoerd. De bebouwing is waarschijnlijk gefundeerd op palen met paalpunt op ca. NAP -15 m à NAP - 20 m. Om de paalfundering zo min mogelijk te beïnvloeden dient een dekking van minimaal 15 m onder de paalfundering te worden aangehouden. Eventueel dient met mitigerende maatregelen rekening te worden gehouden.

Locatie Gooiboog

Nabij km 9 kruist het zuidelijke tracé de Gooiboog in het spoor Amsterdam-Lelystad. Deze boog wordt in een verdiepte bak (enkel spoor) aangelegd met bodem niveau op NAP - 7 m. De bak wordt verankerd tegen opdrijven d.m.v. trekpalen met geschat paalniveau op NAP - 20 m.

Aangezien hier sprake is van trekpalen is de grondslag onder de paalpunt niet van direct belang. Wel moet tijdens de uitvoering worden voorkomen, dat de fundering wordt beïnvloed door zettingen en mogelijk indringen van boorspoeling in de formatie.

Gezien de beperkte breedte van de bak wordt geadviseerd een minimale dekking van 10 m onder het paalpuntniveau aan te houden.

Locatie Amsterdam-Rijnkanaal

De diepte van het Amsterdam-Rijnkanaal wordt geschat op ca. 4 a 5 m met een bodem op NAP - 5,5 m. Mogelijk is er dus een geringe scheiding tussen Pleistoceen en holocene deklaag aanwezig. Dit dient verder te worden onderzocht.

Het kanaal is aan beide zijden voorzien van damwanden, tot een geschatte diepte van ca. NAP – 12 m. Voorgesteld wordt om hier de bovenzijde van de tunnel op minimaal NAP – 20 m te projecteren.

6.5 Boorfrontstabiliteit

De boorfrontstabiliteit zal in het algemeen bij een dekking van 15 a 20 m geen probleem opleveren. Nadere zorg vereisen de volgende aandachtspunten:

- Aansluiting op de schachten, waarbij vaak met een minimale dekking zal worden geboord.
- Voorkomen van losgepakte lagen
- Grindlagen
- Dekking onder kruisende infrastructuur, met name rivieren en kanalen

Aansluiting op de schachten

Bij een dekking van minder dan 1 maal de diameter dient een grondverbetering door middel van kalk-cement kolommen dan wel een gronduitwisseling door zand of een zandcement stabilisatie te worden toegepast.

Losgepakte zandlagen

De sonderingen tonen aan, dat boven NAP – 20 m er losgepakte zandlagen kunnen voorkomen. Door gebrek aan sondeerdata zijn dergelijke lagen ook op grotere diepte niet geheel uit te sluiten. Het gevaar van losgepakte zandlagen is de mogelijkheid van liquefaction, waardoor het boorfront kan instorten. Eveneens is de kans op een blow-out groter bij losgepakt zand en relatief geringe dekking.

Grindlagen

Grindlagen (grindpercentage groter dan 30 %) zijn in de boringen niet aangetroffen. Toch kunnen deze lagen op grond van de geologische beschrijving niet worden uitgesloten in de formaties van Urk en Sterksel.

Het gevaar van grindlagen kan zijn het indringen van boorvloeistof in de formatie op grote schaal bij een slurry-schild, waardoor afpleistering niet meer mogelijk is en het boorfront bezwijkt. Bij een EPB-schild dient een min of meer samenhangende brei van het grond/water-mengsel te worden gecreëerd om de boorfrontstabiliteit te handhaven. Dit geschiedt met schuim of bentoniet. Naarmate de samenstelling van de grond grover is, kunnen hier problemen ontstaan, omdat het water dan niet meer kan worden gebonden.

Dekking onder kruisende infrastructuur – kanalen, rivieren

Zoals uit het geotechnisch lengteprofiel blijkt, varieert het maaiveld langs het tracé van NAP – 3,7 m nabij knooppunt Holendrecht tot ca. NAP – 1,0 m langs de rest van het tracé. Insnijdingen in het

holocene pakket treden alleen op bij de kruisingen van het Amsterdam-Rijnkanaal en de rivieren Gein en Vecht.

De diepte van het Amsterdam-Rijnkanaal wordt geschat op ca. 4 a 5 m met een bodem op NAP – 5,5 m. Mogelijk is er dus een geringe scheiding tussen Pleistoceen en holocene deklaag aanwezig. Dit dient verder te worden onderzocht.

Het kanaal is aan beide zijden voorzien van damwanden. Het waterpeil wordt kunstmatig op NAP – 0,40 m gehouden.

Waarschijnlijk treedt inzinking in de holocene deklagen en in het Pleistoceen op.

Deze doorsnede en de kruisingen met Gein en Vecht, die waarschijnlijk een geringere diepte hebben, dienen te worden geanalyseerd betreffende boorfrontstabiliteit.

6.6 Keuze voor Slurry-schild of EPB-schild

In het algemeen worden boortunnels in zand en klei beneden de waterspiegel geboord door middel van een tunnelboormachine (TBM), waarbij continu een ondersteuning van het graaffront diept plaats te vinden om zettingen en plotseling inzakken van het front te voorkomen.

In principe geschiedt de ondersteuning van het graaffront volgens 2 methoden:

- Slurryschild, waarbij zich aan de voorzijde van de TBM een kamer gevuld met boorvloeistof onder een geringe overdruk t.o.v. de waterdruk bevindt. De druk wordt gehandhaafd door een luchtbel bovenin de kamer. Voor de boorvloeistof wordt meestal bentoniet gebruikt. De afgeboorde gronddeeltjes worden opgenomen in de boorvloeistof en via een centrifugaalpomp hydraulisch afgevoerd.
- EPB-schild (Gronddruk-balans-schild), waarbij zich achter het vrijwel gesloten graaffront een kamer gevuld met losgemaakte grond en water bevindt. In deze kamer wordt een grondbrei gecreëerd, waarmee een waterondoorlatende afdichting wordt verkregen. Deze afdichting kan van nature alleen worden opgebouwd in cohesieve grond, waarvan het percentage klei- en silt-deeltjes meer dan 30 % bedraagt. In de laatste jaren kan onder toevoeging van schuim of bentoniet ook in zand met een klei/silt-percentages van minder dan 10 % een afdichtende grondbrei worden opgebouwd, zoals bewezen in bij o.a. de aanleg van de Botlek-spoortunnel.

Het afvoeren van de grondbrei geschiedt met een avegaar, die het drukverschil tussen de overdruk aan het graaffront en de atmosferische druk in de tunnel moet overbruggen. Hierbij is belangrijk, dat het water gebonden blijft in de homogene grondbrei. De frontdruk, die door de grondbrei in de kamer aan

de grond voor het boorfront wordt afgegeven, wordt gehandhaafd door de voortgangssnelheid van de TBM te koppelen aan de afvoersnelheid van de avegaar.

Van oudsher werd het slurry-schild toegepast in cohesieloze gronden, zoals zand en zandig grind en het EPB-schild in cohesieve grond zoals klei, waarin gemakkelijk een grondbrei kan worden opgebouwd.

De laatste jaren treedt er een verschuiving op, waarbij slurry-schilden (noodgedwongen) in klei worden toegepast en EPB-schilden in zand (o.a. de Botlek spoortunnel).

Een voorlopige evaluatie is gegeven in onderstaande tabel 11, waarbij de belangrijkste vier invloeden zijn meegenomen.

Tabel 11 - Afweging Slurry of EPB-schild

Item	Slurry-schild		EPB-schild	
Grondsoort: zand	++	Uitstekend van oudsher	+	Goed met gebruik van additieven/schuim
Grondsoort: grind	+	Minder goed, wanneer zandfractie gering is	-	Slecht, problemen met homogene grondbrei
Losse pakking	+/-	Matig, liquefaction kan instorten van boorfront veroorzaken	+	Goed, stabiliteitsprobleem kan niet optreden.
Geringe bovenbelasting bij kruising van waterwegen	+/-	Matig, kans op blow-out	+	Goed, Blow-out geen probleem

Het slurry-schild heeft het voordeel van de vele ervaring met boren in zand, maar heeft als zwakke punten: de boorfrontstabiliteit in losgepakt zand en mogelijkheid van een blow-out onder een waterweg. Het EPB-schild voldoet slecht in grind. Bovendien is een EPB-schild met 15 m diameter nog niet toegepast, in tegenstelling tot een slurry schild.

Voor de boortunnel A6-A9 kan nog geen voorkeur voor een slurry-schild of EPB-schild worden uitgesproken. Voor een definitieve conclusie dienen meer gegevens met name betreffende de korrelverdeling (boringen) en de dichtheid van het zand (sonderingen) bekend te zijn.

6.7 Technieken voor dwarsverbindingen en vlucht/ventilatieschachten

Bij de dwarsverbindingen wordt ervan uitgegaan, dat de verbinding vanuit de geboorde tunnels worden gemaakt. Voor de hand ligt om de dwarsverbinding door middel van vriezen of chemische injectie te maken. De techniek d.m.v. vriezen is succesvol bij de Westerschelde tunnel toegepast.

Vriezen is mogelijk in alle typen grond. Injectie is mogelijk in zand, dat moet voldoen aan een bepaalde zeefkromme. Wordt het zand te grof of is er teveel klei aanwezig, dan is injectie niet mogelijk.

Voor het maken van een schacht is uitgegaan van schachtafmetingen zodanig, dat deze tussen de tunnelbuizen in past. De onderzijde van de schacht zal op ca NAP – 30 m uitkomen.

De schacht zal waarschijnlijk worden uitgevoerd in beton. Uitvoering in staal als bv een buispalenwand is wellicht mogelijk, maar is mogelijk minder aantrekkelijk vanwege lekkage en corrosiebescherming in de gebruiksfase.

Bij uitvoering in beton zijn de onderstaande alternatieven mogelijk:

1. Diepwand constructie, waarbij aan de onderzijde een afdichting moet worden gecreëerd door middel van chemische injectie of een onderwater betonvloer.
2. Boorpalenwand met eveneens een onderafdichting
3. Ronde betonnen koker zonder bodem, die door middel van een "under-reamer" (boor, die onder de koker de grond verwijder) op diepte wordt gebracht. Daarna een onderafdichting aanbrengen.
4. Caisson-constructie, bestaande uit een koker met een vloer, die door middel van pneumatisch afzinken op diepte wordt gebracht, vergelijk de fundering van de Erasmusbrug.

Vanuit de schacht en vanuit de tunnel kan dan door bevroren een verbinding tot stand worden gebracht.

6.8 Indicatieve berekening Momenten en Normaalkrachten

In Appendix C is een berekening gerapporteerd van de momenten en normaalkrachten in de tunnelling. De berekening is bedoeld om een indicatie te geven van de optredende krachtsverdeling.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor een diepteligging van de tunnelas op NAP – 25, -30, -35, -40 en -45 m hoofdzakelijk conform de Toetsingsrichtlijn L500. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:
continuümmodel volgens Duddeck (referentie zie appendix C)

- representatieve bodemprofielen voor de west- en oostzijde van het tracé
- tunneldiameter $D = 12,0$ m met wanddikte $d = 0,4$ en $0,5$ m
- tunneldiameter $D = 15,0$ m met wanddikte $d = 0,5$ en $0,6$ m

Uit de berekeningen kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- de resultaten voor beide bodemprofielen verschillen onderling weinig
- de verhouding tussen maximaal moment en minimale normaalkracht varieert voor een 12 m diameter tunnel tussen 3,0 en 6,2, afhankelijk van de dekking en de wanddikte. Voor een 15 m diameter tunnel varieert deze verhouding tussen 2,6 en 5,0.
- deze verhouding wordt zoals verwacht lager (dus ongunstiger) bij grotere wanddikte, en een geringere dekking.

De berekende waarden voor het maximaal moment en de normaalkracht zijn exclusief de modelfactoren conform de Toetsingsrichtlijn.

De berekende waarden voor het maximaal moment kunnen als een bovengrens beschouwd worden zoals in hoofdstuk 1 van appendix C is aangegeven. Berekeningen waarbij rekening wordt gehouden met ontspanning van de grond als gevolg van de ontgraving voor de tunnel geven aanzienlijk geringere maximale momenten. Daarnaast kan een lagere modelfactor voor het berekende moment worden toegepast indien de snedekrachten worden berekend met verfijndere modellen.

6.9 Liggerwerking

Liggerwerking van de tunnel kan zowel in de bouwphase als in de gebruiksfase een rol spelen:

In de bouwphase:

- aansluiting op start- en ontvangtschacht
- door belasting uit TBM en opdrijfkrachten
- door belasting uit het toekomstige wegdek bij de afbouw van de tunnel

In de gebruiksfase:

- aanvulling op maaiveld
- ontgraving op maaiveld
- door verkeersbelasting.

De grootte van de belasting ten gevolge van een ontgraving of aanvulling op maaiveld is afhankelijk van de aanwezigheid van sterk samendrukbare bodemlagen onder tunnelasniveau. Gezien de

aangetroffen bodemgesteldheid zal de invloed ten gevolge van een dergelijke ophoging of ontgraving beperkt zijn.

Indien de belasting of opgelegde vervorming uit bovengenoemde fasen is vastgesteld kunnen liggerberekeningen worden uitgevoerd voor de bepaling van de snedekrachten in de tunnelliger. De grootte van de krachten wordt in sterke mate bepaald door de stijfheid van de bodem onder tunnelasniveau. Gezien de aangetroffen bodemgesteldheid wordt verwacht dat de stijfheid van de grond relatief groot is.

Voorlopig wordt geconcludeerd, dat de aangetroffen bodemcondities relatief gunstig zijn met betrekking tot liggerwerking.

6.10 Schachten

Bij een dekking van 10 m kan worden uitgegaan van een onderkant van de tunnel met 15 m diameter op ca. NAP – 30 m. Uitgaande van een tussenafstand van ca. 10 m a 15 m tussen de buizen, zal de breedte van de bouwput ca. 45 m bedragen.

De schachten bestaan in principe uit 3 elementen:

- Grondkerende wanden
- Betonvloer of afsluitende laag
- Trekverankering onder de afsluitende laag

Bij de schachten wordt meestal gebruik gemaakt van een onderwater betonvloer, waardoor een waterdichte onderafscheiding wordt verkregen. Deze vloer wordt tegen opbarsten ten gevolge van het spanningswater verankerd in de grond door trekelementen. Als alternatief kan bij de schacht nabij knooppunt Holendrecht gebruik gemaakt worden van de aanwezigheid van de laag van Kedichem op NAP – 50 m a – 60 m. Onderzocht moet worden of de grondkerende constructie (i.c. een diepwandconstructie) in de leemlaag kan worden doorgezet, waarbij deze laag als onderafdichting fungeert (polderconstructie). Een zware betonvloer is dan niet noodzakelijk en er kan worden volstaan met een beperkte bemaling voor lek- en regenwater.

Grondkerende wanden

Gezien de relatief grote ontgravingsdiepte komen hiervoor combi-wanden en diepwanden in aanmerking. Afstempeling van de wanden kan geschieden door buisvormige stempels of door meerdere rijen groutankers.

In geval van een polderconstructie dienen de wanden tot in de laag van Kedichem te worden doorgezet, d.w.z. tot ca. NAP – 55 m. In dit geval lijkt het meer voor de hand te liggen om diepwanden te installeren. Buispalen tot 55 m diepte zijn moeilijk te hanteren.

Betonvloer

In principe wordt er in de natte ontgraven, worden voor of na het ontgraven de trekelementen geïnstalleerd en wordt onderwater beton gestort, al dan niet gewapend met staalvezels. Vervolgens wordt bouwput droog gezet en de constructieve betonvloer aangebracht. Deze methode is de laatste jaren algemene praktijk bij diepe bouwputten.

Trekelementen tegen opbarsten van de vloer

Als trekelementen komen onder andere de volgende systemen in aanmerking:

- Vibro-combinatiepalen
- MV-palen
- Gewi-ankers
- Leeuw-ankers
- Barrettes, d.w.z. diepwand-panelen.

De trekelementen dienen een kluit te mobiliseren van ca. 28 m diepte, d.w.z. tot NAP – 50 m a NAP – 55 m.

In geval van grind wordt aanbevolen om een systeem te kiezen met injectie van grout om een betere aanhechting van het trekelement te verkrijgen.

7 AANBEVELINGEN VOOR VERDER ONDERZOEK

Voor verder onderzoek worden de volgende stappen voorzien:

1 Inventarisatie van het tracé

De bebouwing, kruisende infrastructuur, waterwegen en natuurgebieden zullen in kaart moeten worden gebracht. Voor alle gebieden dienen de gebruiksfuncties te worden vastgesteld. Dit leidt tot een overzicht van de randvoorwaarden in het gebied.

2 Aanvullen van archiefgegevens

Door Fugro is een overzicht gemaakt van het beschikbare grondonderzoek bij TNO-NITG en Fugro ter plaatse van de verbinding RW A6-A9. Hieruit bleek, dat het aantal boringen en sonderingen tot grote diepte (NAP – 60 m) beperkt is en soms van grote ouderdom (19^e eeuw). Laboratorium resultaten zijn niet beschikbaar.

Dit onderzoek moet verder worden aangevuld met gegevens uit gemeentearchieven en de archieven van Rijkswaterstaat en NS-RIB, voordat het definitieve onderzoek wordt gepland.

3 Gefaseerd onderzoek

Het grondonderzoek kan in de volgende fasen worden uitgevoerd:

- | | |
|--------|--|
| Fase 1 | – Verkennend t.b.v. voorontwerp, waarbij wordt gefocussed op de dichtheid en samenstelling van het zand, laagscheiding tussen de lagen 4, 5 en 6, samenstelling van de laag van Kedichem, etc. |
| Fase 2 | - Definitieve grondonderzoek t.b.v. het ontwerp |
| Fase 3 | - Aanvullende grondonderzoek t.b.v. specifieke ontwerpaspecten, bv. pompproeven |

De dikte van de deklaag kan in kaart worden gebracht door middel van Electro-magnetisch onderzoek of seismisch/geoëlectrisch onderzoek. Hierdoor kan met groter nauwkeurigheid tussen de onderzoekspunten worden geïnterpoleerd.

Met deze fasering wordt de in het onderzoek verrichte inspanning goed afgestemd op de behoefte in het ontwerp en kan goed worden ingezoomd op specifieke ontwerpaspecten.

Met een verkennend onderzoek wordt ervoor gezorgd, dat grondgegevens tijdig beschikbaar zijn. Dit grondonderzoek zou kunnen bestaan uit:

Tunneltracé

- Sonderingen met meting van plaatselijke kleef en waterspanning met 500 m interval tot NAP – 60 m. Beide tracé's dienen te worden verkend.

- Boringen met 2 km interval tot NAP – 60 m. met 2 peilbuizen per boorgat, 1 voor meting van freatische waterstand, 1 voor meting van stijghoogte diepe zand.

Toeritten

- Sonderingen met meting van plaatselijke kleef en waterspanning met 100 m interval tot NAP – 60 m.
- 3 Boringen per toerit tot NAP – 60 m met 2 peilbuizen per boorgat, 1 voor meting van freatische waterstand, 1 voor meting van stijghoogte diepe zand.

Tenslotte dient voor het definitieve grondonderzoek alle benodigde gegevens te worden bepaald. Te denken valt hierbij aan:

- sonderingen met 50 m interval tot NAP – 60 m (tunnel tracé), met 25 m interval (toeritten)
- conuspressiometer proeven met 500 m interval (horizontaal) in de zandlagen met een verticaal interval van 5 m.
- Boringen om 250 m interval met ongeroerde monsternamen (1/2 m in zand, continu in klei)
- Laboratorium onderzoek, bestaande uit classificatie (volumieke gewichten, Atterbergse grenzen), zevingen, triaxiaalproeven, samendrukkingsproeven
- Milieukundig onderzoek bodem en grondwater (o.a. chloride gehalte bepaling diepe grondwater)



Technische haalbaarheidsstudie tunnel A6/A9

Deelrapport 2

**Inventarisatie overige
omgevingsgegevens**

30 september 2002

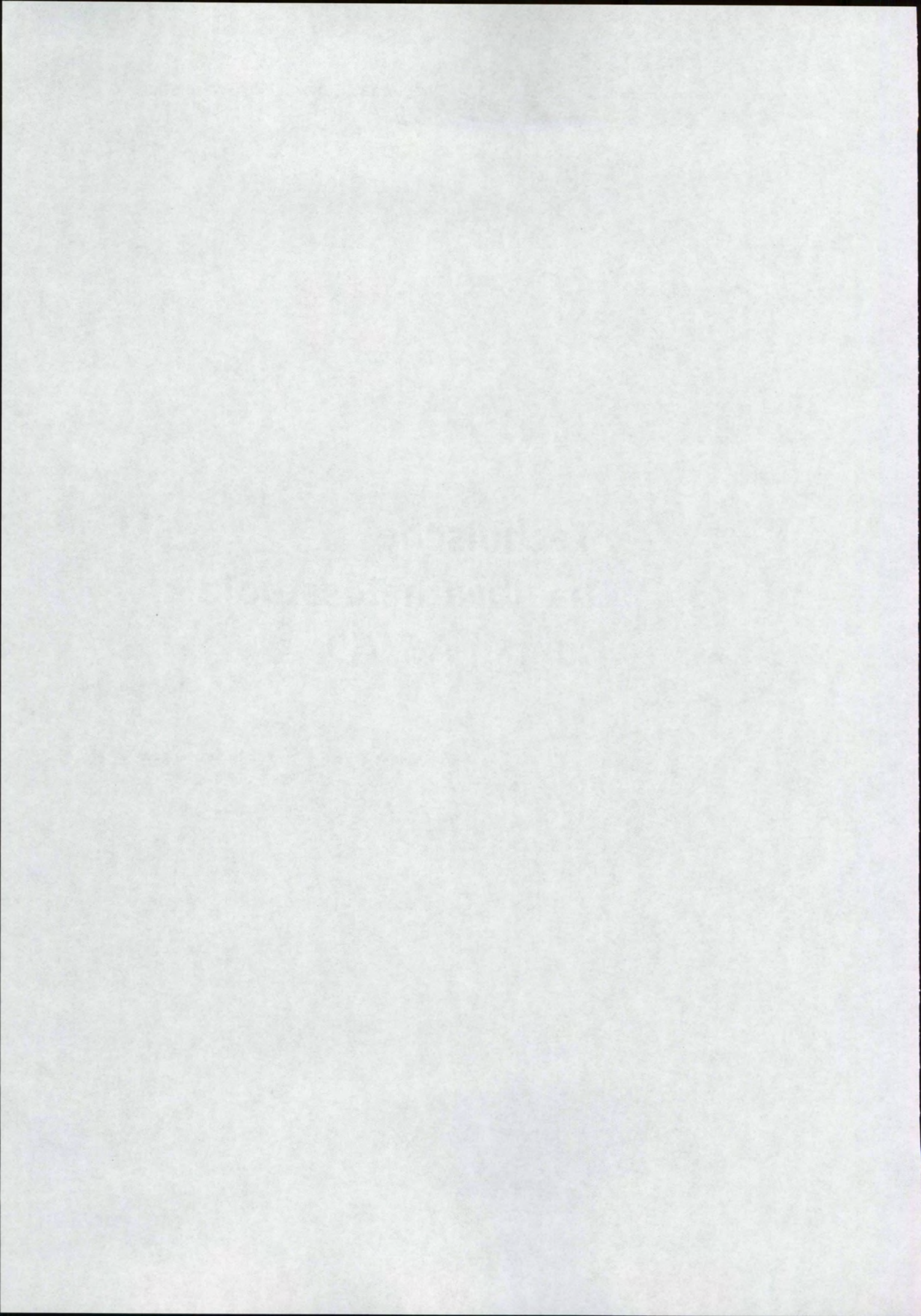


Technische haalbaarheidsstudie tunnel A6/A9

Deelrapport 2

Inventarisatie overige
omgevingsgegevens

30 september 2002



Inhoudsopgave

1	Algemeen	5
1.1	Doel van dit document	5
1.2	Onderliggende documenten	5
1.2.1	Externe Documenten	5
1.2.2	Interne documenten	6
2	Maaiveldhoogten	7
3	Waterstanden/bodemligging waterwegen	8
4	Grondwaterstanden Poldergebieden	10
4.1	Freatische grondwaterstanden	10
4.2	Freatische grondwaterstanden	10
4.3	Stijghoogte in het pleistocene zand	10
4.4	Globale beschrijving van formaties	10
4.5	Geotechnische grondparameters	11
4.6	Geohydrologische schematisatie en geohydrologische parameters	12
5	Gegevens Gooiboog	13
5.1	Paalpuntniveau Gooiboog	13

1 Algemeen

In opdracht van Rijkswaterstaat directie Noord Holland, is aan de Bouwdienst gevraagd een technische haalbaarheidsstudie uit te voeren ten aanzien van een ondertunnelling tussen de knooppunten Holendrecht en Muiderberg. De haalbaarheidsstudie leidt tot een bovenaanzicht en een langsdoorsnede van het horizontaal – en het verticale alignement. De haalbaarheidsstudie wordt uitgevoerd in een samenwerkingsverband tussen Bouwdienst Rijkswaterstaat en de regionale directies IJsselmeergebied en Noord-Holland, onder eindverantwoordelijkheid van het Hoofdkantoor. De directie Noord-Holland voert de regie. Het hoofddoel van de technische haalbaarheidsstudie is het onderzoeken in hoeverre een ondertunnelde autosnelwegverbinding A6/A9 technisch is te realiseren, door het verkrijgen van inzicht in de technische mogelijkheden en onmogelijkheden.

1.1 Doel van dit document

Het doel van dit document is het inventariseren de uitgangspunten en randvoorwaarden t.b.v. het ontwerp van de varianten welke in het hoofdrapport staan vermeld.

In Situ Varianten

De uitgangspunten en randvoorwaarden gelden voor de onderstaande varianten:

1. IST-1: 2x2 rijstroken met vluchtstroken, middentunnelkanaal, afm. 30,735 x 6,951 m
2. IST-2: 3x2 rijstroken met vluchtstroken, twee middentunnelkanalen, afm. 47,303 x 6,881 m.

Geboorde Varianten

- BT-1: 2X2 rijstroken met vluchtstroken, 2 buizen, D = 15,243 m.
BT-2: 2x2 rijstroken zonder vluchtstroken, 2 buizen, D = 13,242 m.
BT-3: 3x2 rijstroken met vluchtstroken, 3 buizen, D= 15,243 m.
BT-4: 4x2 rijstroken zonder vluchtstroken met 2 middentunnelkanalen, D=11,60 m. Tweede buis snijdt door doorsnede van eerste buis. Geen dwarsverbindingen.
BT-5: 2x2 rijstroken met vluchtstroken dubbeldeks, 1 buis, D = 14,904 m. Ontwerpsnelheid 70 km/uur. Geen vrachtverkeer. Geen dwarsverbindingen.

1.2 Onderliggende documenten

T.b.v. het opstellen van de hoofdrapportage is medegebruik gemaakt van de volgende externe en interne documenten.

1.2.1 Externe Documenten

Verkenning, Ondergrondse verbinding A6-A9, deelrapport Randvoorwaarden, d.d. 30 juni 2000, opdrachtnemer: Projectgroep Zuidflank, ambtelijk vertegenwoordigers van de provincies Noord-Holland, Flevoland & Utrecht en de gemeenten Amsterdam en Almere

Verkenning, Ondergrondse verbinding A6-A9, deelrapport Nut en Noodzaak; d.d. 30 juni 2000, opgesteld door de vijf overheden, waarbij voor de economische meerwaarde van de A6-A9 input van de Kamers van Koophandel (Amsterdam, Flevoland, Gooi- en Eemland).

Verkenning, Ondergrondse verbinding A6- A9, deelrapport Uitvoerings- en financieringsmogelijkheden. Rapportagen van een verkennend onderzoek uitgevoerd door Hollandse Werkgevers Vereniging in samenwerking met ABN AMRO, DHV, Dura Vermeer, NMB Amstelland, Rabobank International en de Werkgeversvereniging Midden-Nederland, d.d. juni 2000.

De verbinding van de A6 en de A9. Bijlage bij het afstudeerverslag "Logistiek van de bouw van een boortunnel", deel 1 en II, Afstudeerverslag door Martijn Kwant.

1.2.2 Interne documenten

Craag Trajectstudie Kruising Vecht, Variantennota, documentnr.: 2747-99-0152, d.d. 10 febr. 2000, auteur H. Kosterman

Craag Trajectstudie Kruising Vecht, Programma van Eisen en Randvoorwaarden Civiele Techniek, documentnr.: 2747-99-0123, d.d. 1 sept 1999, auteur R. Camerik/R. Fritschy

Craag Trajectstudie Kruising Amsterdam-Rijnkanaal, Variantennota, documentnr.: 2747-99-0151, d.d. 10 febr. 2000, auteur H. Kosterman

Craag Trajectstudie Kruising Amsterdam Rijnkanaal, Programma van Eisen en Randvoorwaarden Civiele Techniek, documentnr.: 2747-99-0122, d.d. 1 sept 1999, auteur R. Camerik/E. v.d. Waals

2 Maaiveldhoogten

Volgnr	Omschrijving	Hoogte maaiveld	Bron	Opmerking
1	Binnendijkse Overscheense Berger- en Meent polder	nap-0.60m tot nap -0.80m	Topografische kaart 25H	
2	kaden Naardertrekvaart			
3	knooppunt Muiderberg (aansluiting A6)	nap +7.55m	Afst.opdr. M.Kwant	niet vermeld >>>wegen DNH
4	Zuid polder beoosten Muiden	nap-1.10m	Topografische kaart 25H	
5	boezemkaden ontwateringskanaal Naardermeer	nap +0.10m	Topografische kaart 25H	
6	Nieuwe Keverdijkse polder	nap-1.20m tot nap -1.40m	Topografische kaart 25H	
7	spoorlijn Amsterdam-Almere			
8	toekomstige boog spoorlijn Almere-Bussum			niet aangegeven>>>RIB
9	spoorlijn Amsterdam-Bussum	nap+0.20 m	Topografische kaart 25H	
10	boezemkaden Vecht	nap +1.20m	Topografische kaart 25H	
11	Aetsveldse polder (tpv De Horn)	nap -0.60m	Topografische kaart 25H	noord-oostelijke punt
12	Aetsveldse polder	nap-1.10m tot nap -1.30m	Topografische kaart 25H	
13	bebouwing Weesp-Aetsveld			niet vermeld >>>Weesp/DNH
14	kaden Amsterdam-Rijnkanaal	nap+1.20m	Topografische kaart 25H	
15	boezemkaden Gein	nap +0.30m	Topografische kaart 25G	
16	spoorlijn Amsterdam-Utrecht (incl mogelijke verdiepte ligging)	nap+0.60m	Topografische kaart 25G	verdiepte ligging>>>RIB
17	Broekzijdse polder	nap-0.90m tot nap -1.90m	Topografische kaart 25G	verlopend van zo naar nw
18	recreatiegebied de Hoge Dijk (incl golfterrein en Abcoudermeer)			niet vermeld >>>A'dam/DNH
19	knooppunt Holendrecht (aansluiting A9)	nap+3.00m	Afst.opdr. M.Kwant	niet vermeld >>>wegen DNH
20	Holendrecht-en Bullewijker polder resp. polder Nieuwe Bullewijk	nap-4.00m	Topografische kaart 25G	

3 Waterstanden/bodemligging waterwegen

Amsterdam-Rijnkanaal		Bron
Maximale vaargeulbreedte (m)	130 m	Craagstudie
Huidige vaargeuldiepte (m)	6.40 m-NAP	Craagstudie
Minimale vaargeuldiepte (m)		Craagstudie
Dmax bodemdiepte	0,35 m	CUR 166
Helling bodem	1 : 10	
Hoogwaterkering	1.20	Craagstudie
Maximaal kanaalpeil	0.10 m- NAP	Craagstudie
Gemiddeld kanaalpeil	0.40 m- NAP	Craagstudie
Minimaal kanaalpeil	0.70 m- NAP	Craagstudie
Ontwerppeil	0.40 m- NAP	Craagstudie
Minimale dekking op dak	2.0 m	PVE Craagstudie Blz. 8
Minimale dekking op dak bij sandwichconstructie	1.50 m	Craagstudie PVE

De Gein		Bron
Maximale vaargeulbreedte (m)	10	DWR
Huidige vaargeuldiepte (m)	1,10	DWR
Minimale vaargeuldiepte (m)	1,40	DWR
Baggerdiepte (m)	1,70	DWR
Baggerdiepte (m- NAP)	-2,20	DWR
Dmax bodem	0.35 m	CUR 166
Hoogwaterkering	0.0 m +	DWR
Rivierpeil	0.40 m-	

De Vecht		Bron
Maximale vaargeulbreedte (m)	14 m	DWR Craagstudie
Huidige vaargeuldiepte (m)	2,30-2,50	DWR
Minimale vaargeuldiepte (m)	2,50	DWR
Baggerdiepte (m)	2,80 m	DWR
Baggerdiepte (m- NAP)	-3,30 m NAP -3.40 m NAP	DWR Craagstudie
Huidig maximaal rivierpeil	-0.15 m NAP	Craagstudie
Huidig gemiddeld	-0.40 m	Craagstudie

rivierpeil		
Huidig minimaal rivierpeil	-0.55 m	Craagstudie
Toekomstig rivierpeil	-0.20 (streefpeil na Restauratieplan Vecht)	Craagstudie
Ontwerppeil	-0.20	Craagstudie
Hoogwaterkering	Oostoever: +0,50 Westoever: +0,50	Craagstudie
Waterkering t.p.v. Vecht		
Minimale hoogte Primaire waterkering	0.50 m+ NAP	Craagstudie
Minimale hoogte Secundaire waterkering	0.0 m+ 1.0 NAP	Craagstudie

Naardertrekvaart		
Waterstand	0.40 m- NAP	DWR
Breedte	10-20 m breed	DWR
Hoogwaterkering	0,0 m +NAP	DWR

Uitwateringskanaal		Bron
Waterstand	0.40 m- NAP	(telefonisch contact DWR)
Breedte	Ca. 10 m	(telefonisch contact DWR)
Bodemniveau midden	2 m diept ca. 2.40 m- NAP	(telefonisch contact DWR)
Hoogwaterkering	0,0 m + NAP	
Beschoeiingsgegevens		
Damwanddiepte	Niet aanwezig	(telefonisch contact DWR)
Verankering	Niet aanwezig	(telefonisch contact DWR)

Polderwaterstanden	Zp (m-NAP)	Wp (m-NAP)	Bron
Polder de Nieuwe Bullewijk	-4,45	-4,55	DWR
Zuid Bijlmer	-2,70	-2,70	
Broekzijdsche Polder	-2,40	-2,40	DWR
Aetsveldsche Polder West	-2,10	-2,10	DWR
Aetsveldsche Polder Oost	-1,90	-1,90	DWR
Gein en Gaaspolder			DWR
Nieuwe Keverdijkse Polder	-2,00	-2,10	DWR

4 Grondwaterstanden Poldergebieden

4.1 Freatische grondwaterstanden

Voor de aan te houden freatische (polder)waterstanden wordt verwezen naar onderstaande figuur (bron: Fugro rapportage: Technische Haalbaarheidsstudie verkeerstunnel verbinding RW A6/A9 Amsterdam Zuid-Oost, geotechnische en geohydrologische aspecten, opdracht nummer M0964)

4.2 Freatische grondwaterstanden

De freatische grondwaterstanden verlopen van ca. 4.5 m- NAP t.p.v. het knooppunt Holendrecht naar 1.35 m- NAP t.p.v. knooppunt Muiderberg. Voor meer gedetailleerde informatie wordt verwezen naar de Fugro-rapportage (blz. 12, tabel 6 en tabel 7).

4.3 Stijghoogte in het pleistocene zand

De maximale stijghoogte van van het grondwater in het 1° watervoerend pakket verloopt van ca. 3.65 m- NAP t.p.v. knooppunt Holendrecht tot ca. 1.1 m- NAP t.p.v. knooppunt Muiderberg. Voor meer informatie wordt verwezen naar de Fugro-rapportage (blz. 13, tabel 8) Grondlagen, geotechnische- en geohydrologische parameters.

4.4 Globale beschrijving van formaties

Laag no	Diepte bovenzijde [m NAP]	Formatie	Beschrijving	Geohydrologie
1, 2, 3	- 1,0	Holocene deklaag	KLEI en VEEN	Freatisch water
4 – 6	- 2 á - 12	Twente, Urk, Sterksel	ZAND, fijn tot grof grindig	1° + 2° watervoerend pakket (scheidingslaag niet aangetroffen)
7	- 60	Kedichem (locaal aanwezig)	KLEI en LEEM	scheidingslaag
8	- 60 á - 70	Harderwijk	ZAND	3° watervoerend pakket (in verbinding met 2° watervoerend pakket)
9	- 200	Tegelen	KLEI	
10	- 220	Maassluis	Kleih. ZAND + Zandige KLEI	
11	- 280	Oosterhout	KLEI	

Voor het geotechnische lengte profiel wordt verwezen naar de tekeningen bijlage.

4.5 Geotechnische grondparameters

Representatieve waarden voor geotechnische parameters

Laag	Grondsoort	$\gamma / \gamma_{\text{sat}}$ [kN/m ³]	f_{und} [kPa]	φ' [grd]	c' [kPa]	E_{50} [MPa]	ν [-]	E_{50}^{ref} [MPa]	$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$ [MPa]	ν_{ur} [-]
1	Topzandlaag	17/19	--	30	--	15	0,3	nvt	nvt	nvt
2	Klei	/14	15	17,5	2	1	0,4	nvt	nvt	nvt
3	Veen	/ 0,5	10	15	2	0,5	0,4	nvt	nvt	nvt
4 - 6	Zand	/ 20	--	32,5	--	Nvt	0,3	40	160	0,2
7	Klei/Leem	/ 20	200	27,5	5	30	0,4	nvt	nvt	nvt
8	Zand	/20	nvt	35	--	Nvt	0,3	80	320	0,2

Samendrukkingsparameters

Laag	Grondsoort	C_{p1} [-]	C_{p2} [-]	C_{s1} [-]	C_{s2} [-]	C_v [m ² /s]
1	Topzandlaag	--	150	--	--	Nvt
2	Klei	50	10	500	100	10-7
3	Veen	40	8	160	32	3*10-7
4 - 6	Zand	--	500	--	--	Nvt
7	Klei/Leem	250	50	2500	500	10-7
8	Zand	--	2000	--	--	Nvt

Damwandparameters- Horizontale beddingsconstante

Laag	Grondsoort	Laag gemiddelde			Hoog gemiddelde		
		K_{h1}	K_{h2}	K_{h3}	K_{h1}	K_{h2}	K_{h3}
1	Topzandlaag						
2	Klei	12000	6000	3000	27000	13500	6750
3	Veen	1600	800	400	3600	1800	900
4 - 6	Zand	1000	500	250	2200	1100	550
7	Klei/Leem	20000	10000	5000	45000	22500	11250
8	Zand	6000	4000	2000	13500	9000	450

Voor meer informatie m.b.t. de grondgegevens wordt verwezen naar: de Fugro rapportage: Technische Haalbaarheidsstudie verkeerstunnel verbinding RW A6/A9 Amsterdam Zuid-Oost, geotechnische en geohydrologische aspecten, opdracht nummer M0964)

4.6 Geohydrologische schematisatie en geohydrologische parameters

De Geohydrologische schematisatie staat in onderstaande tabel weergegeven. Voor meer informatie wordt verwezen naar de Fugro-rapportage.

Geohydrologische schematisatie bodem

Niveau [m NAP]	Laag	Parameter
Van -1,1 à -3,7 tot -2 à -12	Waterremmende Deklaag	$c = 100 \text{ à } 5000 \text{ dagen}$ $kD = 10 \text{ à } 50 \text{ m}^2/\text{dag}$
Van -2 à -12 tot – 50 à -200	Watervoerende laag pleistocene zand	$kD = 400 \text{ a } 2000 \text{ m}^2/\text{dag}$
Daaronder	Waterremmende basis	$c = \infty$

5 Gegevens Gooiboog

5.1 Paalpuntniveau Gooiboog

Sectie	Paalpuntniveau in m-NAP	sectie	Paalpuntniveau in m-NAP
Z1	-8	S40	-18,5
Z2	-8	S41	-18,5
Z3	-8	S42	-18,5
S1	-8	S43	-18,25
S2	-8	S44	-18,25
S3	-12	S45	-18,25
S4	-14,25	S46	-18,25
S5	-14,25	S47	-18,25
S6	-14,5	S48	-18,25
S7	-14	S49	-18
S8	-14	S50	-18
S9	-13	S51	-18
S10	-13,75	S52	-18
S11	-17,75	S53	-18
S12	-18,5	S54	-18,25
S13	-19	S55	-18,25
S14	-16,6	S56	-18,5
S15	-17,05	S57	-18,5
S16	-17,8	S58	-18,5
S17	-18,15	S59	-18,5
S18	-22,5	S60	nog niet uitgevoerd
S19	-22,85	S61	nog niet uitgevoerd
S20	-22,5	S62	nog niet uitgevoerd
S21	-22,75	S63	nog niet uitgevoerd
S22	-23	S64	nog niet uitgevoerd
S23	-21,5	S65	-10,5
S24	-21,5	S66	-11
S25	-19	S67	-11
S26	-19	S68	-11,5
S27	-19	S69	-10
S28	-19	S70	-10
S29	-19	S71	-9
S30	-19	S72	-8,5
S31	-18,75	S73	-8,5
S32	-18,75	S74	-10
S33	-18,75	Z4	-10,5
S34	-18,75		
S35	-18,75		
S36	-18,75		
S37	-18,5		
S38	-18,5		
S39	-18,5		

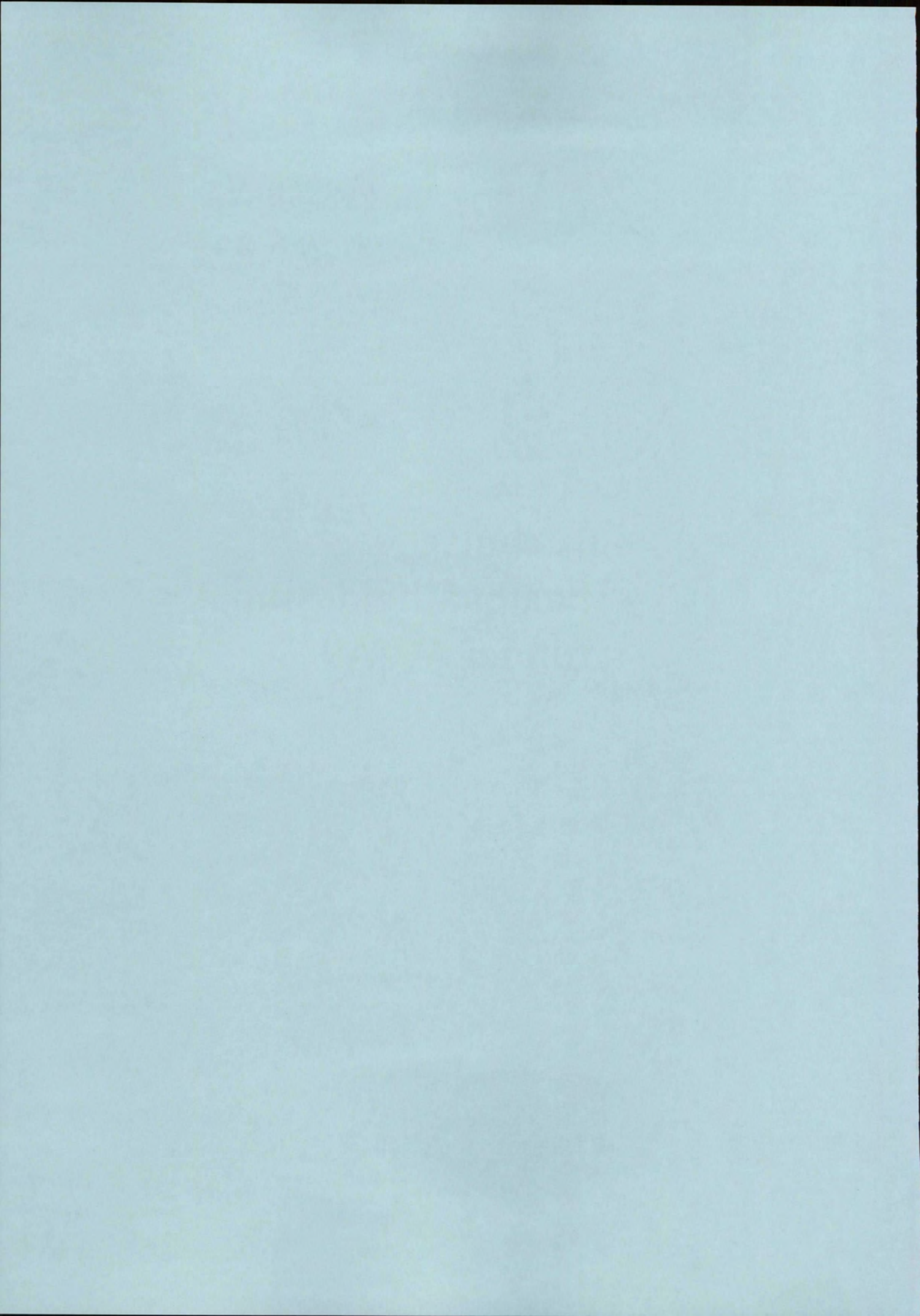


Technische haalbaarheidsstudie tunnel A6/A9

Deelrapport 3a

Dwarsdoorsneden

30 september 2002



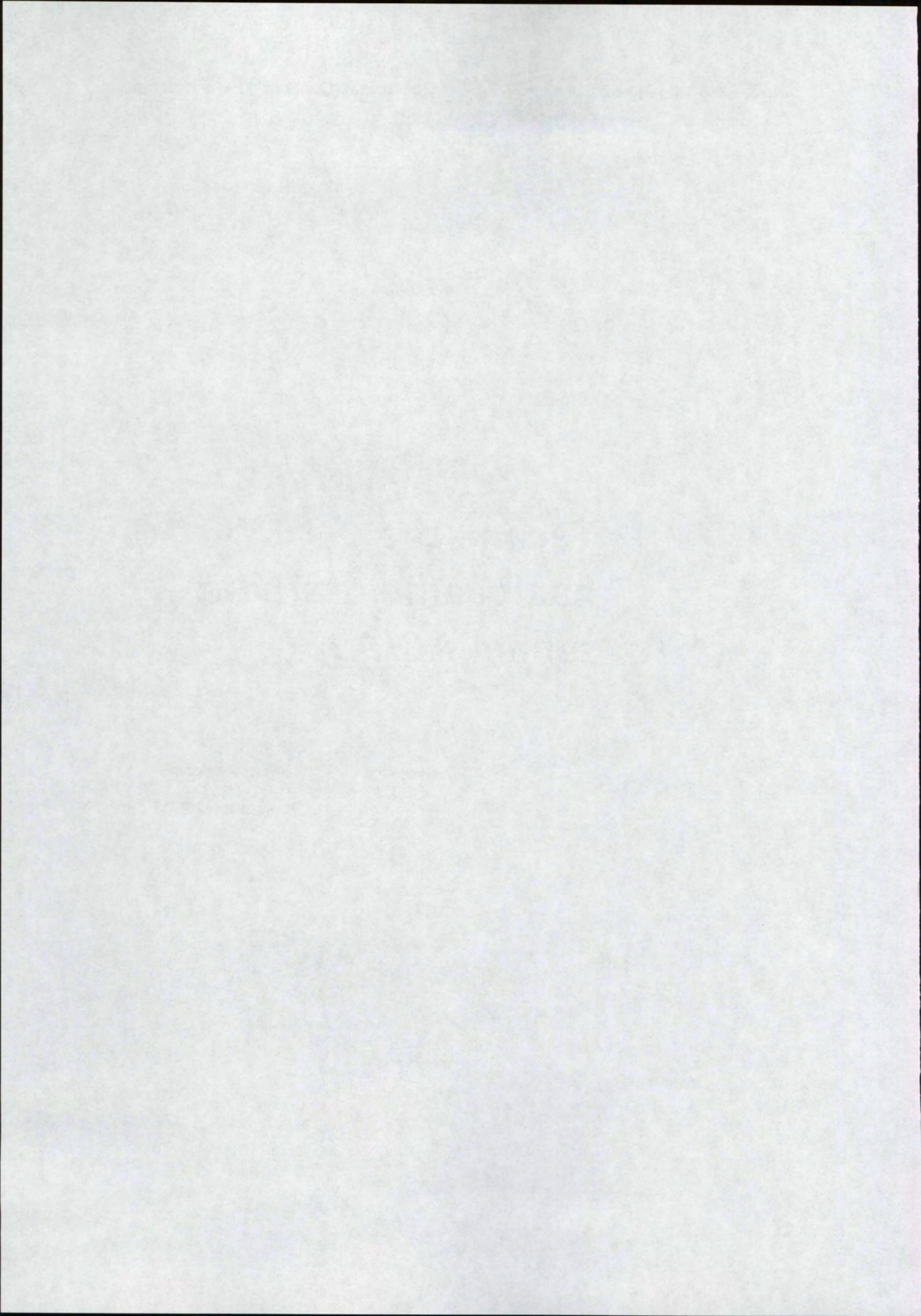


Technische haalbaarheidsstudie tunnel A6/A9

Deelrapport 3a

Dwarsdoorsneden

30 september 2002



Inhoudsopgave

1	Documentinhoud	5
1.1	Doelstelling document	5
1.2	Doelstelling	5
1.3	Afbakening	5
1.4	Resultaat	6
1.5	Relatie met andere projectonderdelen	6
2	Bouwmethoden	7
2.1	Inventarisatie bouwmethoden	7
2.2	Keuze uit te werken bouwmethoden	9
2.3	Overige haalbare bouwmethoden	9
3	Dwarsprofielen	11
3.1	Algemeen	11
3.2	Uitgangspunten	11
3.3	Ontwerpmatrixen	12
3.4	Keuze uit te werken varianten	15
3.5	Nadere uitwerking dwarsprofielen	17
4	Bijzondere voorzieningen	19
4.1	Algemeen	19
4.2	Toeritten	19
4.3	Start-en ontvangtschachten (boortunnel)	19
4.4	Ventilatie- c.q. vluchtschachten	20
4.5	Dwarsverbindingen Boortunnel varianten (BT-1 t.m. 3)	23
4.6	Kruisingen spoor- en waterwegen	23

Bijlage 1 schema varianten	25
Bijlage 2 memo Aandachts- en discussiepunten betreffende weging, zelfredzaamheid en hulpverlening	31
Bijlage 3 overzicht uitgewerkte dwarsprofielen	39

1 Documentinhoud

1.1 Doelstelling document

Dit document beschrijft de overwegingen die geleid hebben tot een aantal voorgestelde dwarsprofielen. Dit vormt de uitwerking van een door de Bouwdienst afdeling Tunnelbouw uitgevoerde activiteit binnen de technische haalbaarheidsstudie A6/A9, zoals omschreven in het plan van aanpak:

2. *Bepalen te onderzoeken tunnelvarianten*
Vastgesteld dient te worden welke tunnelvarianten worden onderzocht¹. Deze varianten kunnen variëren in (1) tracé, (2) bouwmethode en (3) aantallen rijstroken en tunnelbuizen, toegestane type verkeer in tunnel, etc. De keuze voor een combinatie van (2) en (3) leidt tot een dwarsdoorsnede van de tunnel. Daarbij is aandacht voor interne veiligheid (vluchtvoorzieningen).
In matrixvorm worden alle zinvolle denkbare varianten op een rij gezet (combinatie van keuzes).
De keuze voor de te onderzoeken varianten wordt gemaakt op basis van de te verwachte mate van realiseerbaarheid en oplossend vermogen (expert judgement). Naar schatting worden maximaal zes verschillende tunnelvarianten nader onderzocht.
Deze keuze wordt (onderbouwd) ter goedkeuring voorgelegd aan het Hoofdkantoor (beslismoment 2).

1.2 Doelstelling

Hoofddoelstellingen van dit document:

- *Inventariseren en onderzoeken van mogelijke bouwmethoden; vaststellen van de meest geschikte bouwmethoden;*
- *Genereren van dwarsprofielen i.r.t. de geselecteerde bouwmethoden,*
- *Uitwerken van de geselecteerde dwarsprofielen*
- *Verzamelen respectievelijk onderzoeken van aandachtspunten binnen het studiegebied:*

Daarbij worden alleen die aspecten onderzocht die relevant zijn voor de technische haalbaarheid van een tunnel, of de raming van de kosten.

1.3 Afbakening

Dit document beperkt zich tot:

1. Inventariseren en onderzoeken van mogelijke bouwmethoden vaststellen van de bouwmethoden op basis waarvan de dwarsprofielen worden gegenereerd.
2. Het in matrixvorm vastleggen van mogelijke dwarsprofielen.
3. Het uitwerken van de geselecteerde dwarsprofielen.

¹ Deze keuze is enkel en alleen bedoeld om antwoord te kunnen geven op de vraag naar de technische haalbaarheid van een tunnel A6/A9; met deze keuze wordt expliciet niet vooruitgelopen op eventuele latere studies.

1.4 Resultaat

De dwarsprofielen zijn opgesteld voor een zevental varianten, deze staan weergegeven op elk een afzonderlijke tekening met de nummers TMH-DA-001tm 007, met daarop de volgende dwarsprofielen:

1. IST1 in-situ tunnel 2 rijkokers met 2 rijstroken +vluchtstrook
+ afgescheiden langsvluchtgang
2. IST2 in-situ tunnel 3 rijkokers met 2 rijstroken +vluchtstrook
+ afgescheiden langsvluchtgang
3. BT1 boortunnel 2 buizen met 2rijstroken +vluchtstrook
4. BT2 boortunnel 2 buizen met 2rijstroken +afgescheiden langsvluchtgang
5. BT3 boortunnel 3 buizen met 2rijstroken +vluchtstrook
6. BT4 boortunnel 4 buizen met 2rijstroken +afgescheiden langsvluchtgang
(Double-O tunnel)
7. BT5 boortunnel 1 buis met 2*2rijstroken +vluchtstrook
+afgescheiden langsvluchtgang
(alleen personenauto's)

In dit document worden de overwegingen beschreven die hebben geleid tot de keuzes van bouwmethoden en dwarsprofielen.

1.5 Relatie met andere projectonderdelen

Dit document vormt de basis voor de bepaling en uitwerking van de horizontale en verticale alignementen.

Nadat de bouwmethode is bepaald kunnen de mogelijke tracés worden bepaald en beoordeeld worden op hun haalbaarheid. Tevens vormen de dwarsprofielen het uitgangspunt bij het ontwerpen van de horizontale en verticale alignementen. Indien vervolgens een koppeling gelegd wordt met de te ontwikkelen alignementen kunnen kosten geraamd gaan worden.

2 Bouwmethoden

2.1 Inventarisatie bouwmethoden

2.1.1 Gebruikelijke bouwmethoden

De min of meer gebruikelijke bouwmethoden voor het maken van een (land)tunnel zijn:

- 1) in-situ constructie in open bouwput met bemaling;
- 2) in-situ constructie in onbemalen bouwkuip m.b.v. damwanden onderwaterbeton en trekpalen;
- 3) traditioneel afgezonken tunnel;
- 4) traditionele boortunnels, gesegmenteerde tunnels m.b.v. slurry- of epb machines.

Ad 1)

Gezien het uitgangspunt dat de omgeving (ook in de bouwfase) zo min mogelijk beïnvloed mag worden en de huidige regelgeving tav grondwateronttrekking moet er vanuit gegaan worden dat bemalingen van enige omvang niet toegestaan zijn. Deze bouwmethode komt daarom niet in aanmerking.

Ad 2)

Deze bouwmethode is een beproefde methode welke door compartimentering in langsrichting gefaseerd uitgevoerd kan worden.

Hierdoor kan de in de bouwfase noodzakelijke doorsnijding van het maaiveld na relatief korte tijd weer hersteld worden (m.u.v. de noodzakelijke werkwegen).

Vanwege het niet aanwezig zijn van een waterondoorlatende grondlaag is een bodemafsluiting d.m.v. onderwaterbeton noodzakelijk.

Ad 3)

Deze methode is gebruikelijk bij vaarwegkruisende tunnels.

Hierbij wordt een beperkt aantal tunnelementen in een (reeds beschikbaar) bouwput of in de toerit van de tunnel gemaakt.

Vervolgens worden deze elementen in drijvende situatie naar de definitieve locatie getransporteerd en op de bodem van de vaarweg afgezonken.

(Voor het Amsterdam-Rijnkanaal kruisend deel van de tunnel A6-A9 moet deze bouwmethode ook bij een mogelijke in-situ variant worden toegepast.)

Voor het overige deel kan gedacht worden aan een industriële variant van deze bouwmethode.

Hierbij worden de tunnelementen een voor een in een op de kop van het tracé staande fabriek vervaardigd.

Na gereed komen moeten zij door een over de volle lengte van het tracé gegraven sleuf getransporteerd worden.

Naarmate het bouwproces vordert kan deze sleuf aangevuld en het maaiveld hersteld worden.

Nadeel van deze methode is dat de nodige zinksleuf bij aanvang volledig ter beschikking moet zijn en dus:

- de benodigde damwand niet hergebruikt kan worden;
- het maaiveld lange tijd doorsneden blijft.

Ad 4)

Deze methoden zijn in principe uitstekend geschikt om zonder maaiveldverstoring een tunnel aan te leggen.

Welke methode, slurry- of epb schild toepasbaar is, is o.a. afhankelijk van de grondgesteldheid.

Behoudens het relatief grote benodigde werkterrein nabij de start- en eindschacht, de aan- en afvoer van materieel en materiaal en een geringe maaiveldzetting van enkele tientallen millimeters is er geen beïnvloeding van het maaiveld.

Bij kruisende infrastructuur, zoals spoorwegen dienen echter mitigerende maatregelen genomen te worden om de zettingen verder te beperken.

De vereiste afmetingen zijn zeker met een slurry-schild realiseerbaar.

2.1.2 Innovatieve bouwmethoden

Naast deze gebruikelijke methoden kunnen ook bouwmethoden zoals aangegeven in CUR-COB rapport M201-01 Inventarisatie nieuwe tunnel- en sleuftechnieken in beschouwing worden genomen.

In het kader van deze notitie gaat het te ver om de kenmerken van de hierin opgenomen bouwmethoden hier te vermelden, derhalve wordt verwezen naar het betreffende rapport.

Wel wordt hier een globale evaluatie tav de geschiktheid van deze bouwmethoden opgenomen.

De meeste van de hierin vermelde bouwmethoden komen niet in aanmerking omdat:

- het een open bak constructie betreft, welke moeilijk te overkappen is b.v.:
 - V-polder,
 - Boogpolder;
- het constructies zijn welke gedeeltelijk boven maaiveld liggen b.v.;
 - Dijk tunnel,
 - Prefab tunnelbouw;
- het constructie zijn met een beperkte breedte c.q. diameter b.v.:
 - THOMAS,
 - Tunnellegger;
- de constructie gebruikt maakt van een kunstmatige bodemafdichting welke in de praktijk zeer onbetrouwbaar blijkt b.v.;
 - Horizontale diepwandfrees,
- tijdelijke of permanente bemaling nodig is b.v.:
 - Speed tunneling method,
 - Waterspanningsverlaging.

De belangrijkste mogelijk in aanmerking komende bouwmethoden hieruit zijn:

- 5) U-polder;
- 6) IGB tunnel oplossing;
- 7) Industriële Tunnelbouwmethode (ITM)

Ad 5)

Bij deze methode wordt binnen een kunststoffolie een sleuf gerealiseerd.

De zijdelingse begrenzing van de sleuf is een verticale folie bevestigd aan een steundamwand

T.b.v. de ontgraving wordt een zware hulpdamwand gebruikt wier functie in de eindfase overgenomen wordt door grondkerende steunbermen.

Deze oplossing is in principe ontwikkeld voor bakconstructies (en reeds uitgevoerd als proefproject) maar kan eventueel ook overkapt worden.

Bij de hier benodigde tunnelbreedte zullen een of meerdere tussensteunpunten noodzakelijk zijn, welke binnen de folieconstructie gefundeerd moeten worden.

Deze bouwmethode lijkt in principe toepasbaar.

Ad 6)

Deze methode is een industriële afzinkmethode welke in aangepaste vorm beschreven is onder Ad 3.

Ad 7)

Deze boormethode gaat niet uit van een geprefabriceerde gesegmenteerde tunnel maar van een ter plaatse continue gestorte tunnelwand (ecl = extruded concrete lining).

Hiermee is een continue boorproces en in principe dus hogere boorsnelheden mogelijk

De verdere boortechniek is gelijk slurry- of epb-schild en kan dus als een variant op de traditionele boormethoden beschouwd worden.

Mogelijk is de toepasbare tunneldiameter beperkt.

Momenteel wordt voor de Hubertustunnel deze bouwmethode in overweging genomen, de tunneldiameter is hier 10.20m.

Deze methode lijkt in principe ook hier toepasbaar, echter door het aanwezig zijn van grindige lagen in het boortrace is het risico van lokale onvolkomenheden (b.v. lekkage) in de tunnelwand aanwezig.

2.2 Keuze uit te werken bouwmethoden

Op basis van bovenstaande inventarisatie worden de volgende 2 bouwmethoden uitgewerkt:

a) In-situ bouwmethode.

Hierbij wordt de bouwkuip gevormd door:

- gestempelde of verankerde (tijdelijke) damwanden (grondkerende constructie);
- onderwaterbeton met trekpalen (bodemafluiting).

Hierbinnen wordt ter plaatse de betonnen tunnel gebouwd en gefundeerd op de reeds aangebrachte palen, waarna de bouwkuip aangevuld en de damwand getrokken kan worden

b) Boormethode

De tunnel wordt ontgraven dmv een zogeheten boorschild.

Op basis van de benodigde tunneldiameter en de aanwezigheid van grindige lagen wordt uitgegaan van een slurry-schild, waarbij dmv steunvloeistof (bentoniet) het boorfront stabiel gehouden wordt en de ontgraven grond getransporteerd wordt.

Aan het achtereinde van het schild wordt de ronde tunnelwand met geprefabriceerde segmenten ingebouwd.

In principe wordt per rijkoker een tunnelbuis aangelegd.

2.3 Overige haalbare bouwmethoden

Als overige haalbare bouwmethoden worden aangemerkt:

- c) U-polder (met overkapping);
- d) geïndustrialiseerde afzinkmethode;
- e) Industriële Tunnel bouwmethode (ITM)

Deze zullen echter niet verder worden uitgewerkt.

De motivatie hiervoor is:

- het Plan van Aanpak geeft aan dat minimaal 2 bouwmethoden bij de te onderzoeken varianten zullen worden betrokken;
- de in-situ bouwmethode en de boormethode bewezen bouwmethoden zijn, waarbij de extra risico's beperkt zijn;
- voor de overige haalbare bouwmethoden geldt:
 - constructief lijkt de overkapte U-polder moeilijk in te passen bij het uitgangspunt de tunnel op een zodanige diepte te leggen dat de

normale infrastructuur (wegen, watergangen etc.) hersteld kan worden;

- de geïndustrialiseerde afzinkmethode verstoort tijdens de bouwfase het maaiveld over een grote lengte gedurende een lange tijd;
- de Industriële Tunnelbouwmetode verschilt niet zo veel van de traditionele boormethode en is mogelijk in de te onderzoeken situatie minder geschikt .

3 Dwarsprofielen

3.1 Algemeen

Nadat de uit te werken bouwmethoden:

- boortunnel;
 - in-situ tunnel in bouwkuip (damwanden, onderwaterbeton met trekpalen),
- zijn bepaald, zijn op basis van deze bouwmethoden een aantal dwarsprofielen gegenereerd en vastgelegd in een tweetal ontwerpmatrices.

Voor de boortunnelvarianten zijn naast de meer conventionele oplossingen een drietal innovatieve varianten gegenereerd:

- een tweetal varianten waarin opgenomen twee, boven elkaar gelegen rijkokers, geschikt voor personenauto's, binnen een tunnelbuis.
(De zgn. "Parijse variant", vernoemd naar de in aanleg zijnde Tunnel A86 nabij Parijs);
- een variant met 2 tunnels, elk bestaande uit 2 brilvormige tunnelbuizen, waarbinnen 2 afgescheiden rijkokers zijn opgenomen.
(De zgn. Double-O tunnel.)

Aan de hand van deze matrices zijn de dwarsprofielen gekozen welke nader zijn uitgewerkt.

3.2 Uitgangspunten

In deze paragraaf zijn de algemene uitgangspunten aangegeven, welke gehanteerd zijn bij het genereren van de dwarsprofielen.

Algemeen

Gezien het feit dat:

- de te verwachten verkeersintensiteit door de tunnel ten tijde van het genereren van de dwarsdoorsneden nog niet geheel duidelijk was (de door DNH uit te voeren quick-scan was nog niet afgerond);
- de verkeersintensiteit mede afhankelijk is van de wijze van realisatie van de tunnel (b.v. deeloplossing, toltunnel),

is in eerste instantie een relatief brede range van oplossingen bekeken met een bijpassende range aan capaciteit variërend van 4650 vtg/h tot 9300 (eventueel uit te breiden naar 14800 vtg/h per rijrichting).

Voor de maximaal toelaatbare verkeersintensiteit moet hierbij uitgegaan worden van een I/C-waarde van 0.85, dus een maximaal toelaatbare verkeersintensiteit variërend van 3950 vtg/h tot 7900 (eventueel door gebruik van de vluchtstrook uit te breiden naar 12600 vtg/h per rijrichting).

Dit houdt in tunnels met: 2 tot 4 rijkokers en 2 tot 3 rijstroken per koker.

Tot nu toe is het gebruikelijk om (bewaakte) tunnels te ontwerpen zonder vluchtstrook, tenzij verwacht wordt dat, t.g.v. de verwachte verkeerstoename, deze vluchtstrook t.z.t. moet worden omgebouwd tot rijstrook.

Gezien:

- de grote lengte van de tunnel;
 - de te verwachten verkeersintensiteiten en
 - de hoge aandacht voor tunnelveiligheid,
- zijn zowel dwarsprofielen met vluchtstrook als zonder vluchtstrook als variant meegenomen.

Tav de ontwerpsnelheid is 120km/h aangehouden met de bijbehorende weg- c.q. rijstrookbreedte, conform de ROA.

Voor de zgn. "Parijse variant" is echter een afwijkende ontwerpsnelheid van 70km/h en de hierbij behorende weg- c.q. rijstrookbreedte aangehouden.

Ook voor het PvR (profiel van vrije ruimte) is een afwijkende hoogte aangehouden.

Uitgangspunten boortunnel

Gezien de "state of the art" in de boortunneltechniek, waarbij de maximaal gerealiseerde tunneldiameter 14.90m (Groene hart tunnel) bedraagt, is als technisch en economisch maximaal haalbare tunneldiameter ca 17.00m aangehouden.

Het wel of niet aanwezig zijn van een afgescheiden langsvluchtgang is mede als variant meegenomen.

Het aanwezig zijn van deze afgescheiden langsvluchtgang, met vluchtdeuren h.o.h. 60 à 100m (deze zijn relatief goedkoop te realiseren) heeft tot gevolg dat de benodigde dwarsverbindingen tussen de tunnelbuizen in principe geen vluchtfunctie meer behoeven te vervullen.

De functie van de dwarsverbindingen is dan alleen als toegangsroute naar de calamiteit voor de hulpverlenende diensten vanuit de veilige niet-calamiteitenbuis.

De h.o.h. afstand kan dan 250 à 500m bedragen.

Bij het niet aanwezig zijn van een afgescheiden langsvluchtgang is de h.o.h. afstand van de vluchtdeuren tevens die van de dwarsverbindingen, welke dan wel een vluchtfunctie naar de veilige niet calamiteitenbuis hebben.

Gezien de situatie en de verkeersintensiteit wordt de h.o.h. afstand op 100 à 150m ingeschat.

Gezien de State of the art van de zgn. Double-O tunnel, met een maximaal gerealiseerde afmeting van 9.36*15.68m is hierin getracht om bij 2*2 rijstroken zonder vluchtstrook en een (gezamenlijke) afgescheiden langsvluchtgang een zo klein mogelijke afmeting te realiseren.

Uitgangspunten in-situ tunnels

Bij de in-situ tunnels is als maximaal realiseerbaar uitgegaan van een rijkoker met 3 rijstroken met een vluchtstrook.

De overspanning van de rijkoker bedraagt dan ca 16.00m, waarbij de buigende momenten in het tunneldak zodanig groot worden dat mogelijk dwarsvoorspanning noodzakelijk is.

De overige varianten zijn m.b.t. de rijkokerindeling in feite afgeleiden van de boortunnelvarianten, waarbij alle varianten voorzien zijn van een of meerdere afgescheiden langsvluchtwegen, welke eenvoudig bij deze bouwmethode zijn in te passen.

3.3 Ontwerpmatrixen

Zowel voor de boortunnel varianten als voor de in-situ tunnel varianten is een ontwerpmatrix gemaakt.

Hierin zijn de belangrijkste kenmerken aan gegeven, terwijl ook de hoofdafmetingen zijn ingeschat.

De matrices zijn weergegeven in tabel 1 en tabel 2 en geschematiseerd in bijlage 1

Tabel 1

VARIANTENMATRIX BOORTUNNEL				
Volgnr variant	Dwarsprofiel wegingdeling	aantal tunnelbuizen	dwars-verbindingen	Opmerkingen
1	2*3 rijstroken, zonder vluchtstrook met afgescheiden langsvluchtgang in tunnelbuis	2 dia ca 16.75m	hoh afstand 500-250m	bij stilstand/calamiteit 2 rijstroken beschikbaar geen vluchtstrook nodig
2	2*3 rijstroken, zonder vluchtstrook zonder afgescheiden langsvluchtgang in tunnelbuis	2 dia ca 15.50m	hoh afstand 150-100m	idem variant 1
3	2*2 rijstroken, met vluchtstrook met afgescheiden langsvluchtgang in tunnelbuis	2 dia ca 16.25m	hoh afstand 500-250m	bij vluchten: verdrijven linker rijstrook niet calamiteitenbuis breedteverschil tov variant 1 ca 0.50m/buis mogelijk uitvoeren als variant 1
4	2*2 rijstroken, met vluchtstrook zonder afgescheiden langsvluchtgang in tunnelbuis	2 dia ca 15.25m	hoh afstand 150-100m	bij vluchten verdrijven li rijstrook niet cal buis breedteverschil tov variant 1 ca 0.50m/buis mogelijk uitvoeren als variant 2
5	2*2 rijstroken, zonder vluchtstrook met afgescheiden langsvluchtgang in tunnelbuis	2 dia ca 13.05m	hoh afstand 500-250m	
6	2*2 rijstroken, zonder vluchtstrook zonder afgescheiden langsvluchtgang in tunnelbuis	2	hoh afstand 150-100m	bij vluchten: verdrijven linker rijstrook niet calamiteitenbuis
7	3*2 rijstroken, zonder vluchtstrook middelste koker wisselstroken met afgescheiden langsvluchtgang in tunnelbuis	3 dia ca 13.05m	hoh afstand 500-250m	voor middelste tunnel: - positie (afgescheiden) vluchtgang onduidelijk mogelijk gecompliceerde toeritten
8	3*2 rijstroken, met vluchtstrook middelste koker wisselstroken zonder afgescheiden langsvluchtgang in tunnelbuis	3 dia ca 15.25m	hoh afstand 150-100m	voor middelste tunnel: - positie (afgescheiden) vluchtgang onduidelijk - positie vluchtstrook onduidelijk mogelijk gecompliceerde toeritten
9	2*(2*2) rijstroken, zonder vluchtstrook middelste koker dubbeldeks personen auto vluchtgang nog nader te bepalen	3 dia ca 13.05m	nog te bepalen	realisatie binnen een tunnel diameter ivm dwarsverbindingen ongelijke hoogteligging mogelijk zeer gecompliceerde toeritten
10	4*2 rijstroken, zonder vluchtstrook gezamenlijke vluchtgang tussen 2 rijkokers	2 (double-O tunnel) dia ca 11.65*20.90	geen	grote extrapolatie tav gerealiseerde afmetingen met dubbele tussenwand nog nooit gerealiseerd geen verbinding tussen de beide tunnels
11	2*2 rijstroken, met vluchtstrook dubbeldeks met afgescheiden langsvluchtgang	1 dia ca 14.90m	geen	alleen personenauto's, snelheidsbeperking ca 70km/h mogelijkheid afgescheiden langsvluchtgang onderzoeken gecompliceerde toeritten

Tabel 2

VARIANTENMATRIX IN-SITU TUNNELS				
Volgnr variant	Dwarsprofiel wegindeling	aantal buizen/rijkokers tunnelfmeting (b*h)	aantal langsvluchtgangen	Opmerkingen
1	2*3 rijstroken, met vluchtstrook met gezamenlijke langsvluchtgang tussen de rijkokers	2 36.75*6.93m	1	standaardbreedte vluchtgang verbreed ivm verbinding naar maaiveld (trap) mogelijk dwarsvoorspanning in dak
2	2*3 rijstroken, zonder vluchtstrook met gezamenlijke langsvluchtgang tussen de rijkokers	2 30.75*6.85m	1	standaardbreedte vluchtgang verbreed ivm verbinding naar maaiveld (trap)
3	2*2 rijstroken, met vluchtstrook met gezamenlijke langsvluchtgang tussen de rijkokers	2 29.75*6.84m	1	standaardbreedte vluchtgang verbreed ivm verbinding naar maaiveld (trap) breedteverschil tov variant 1 ca 0.50m/buis mogelijk uitvoeren als variant 2
4	2*2 rijstroken, zonder vluchtstrook met gezamenlijke langsvluchtgang tussen de rijkokers	2 23.75*6.79m	1	standaardbreedte vluchtgang verbreed ivm verbinding naar maaiveld (trap)
5	3*2 rijstroken, met vluchtstrook met gezamenlijke langsvluchtgang tussen de rijkokers	3 45.80*6.87m	2	middelste rijkokers wisselstroken standaardbreedte vluchtgang verbreed ivm verbinding naar maaiveld (trap)
6	3*2 rijstroken, zonder vluchtstrook met gezamenlijke langsvluchtgang tussen de rijkokers	3 36.30*6.80m	2	middelste rijkokers wisselstroken standaardbreedte vluchtgang verbreed ivm verbinding naar maaiveld (trap) voor middelste rijkoker - positie vluchtstrook onduidelijk
7	4*2 rijstroken, zonder vluchtstrook met gezamenlijke langsvluchtgang tussen de rijkokers	4 46.60*6.80m	2	standaardbreedte vluchtgang verbreed ivm verbinding naar maaiveld (trap)
8	2*2 rijstroken, met vluchtstrook dubbeldeks met afgescheiden langsvluchtgang	2 17.75*8.50m	2	Alleen personenauto's, snelheidsbeperking ca 70km/h gecompliceerde toeritten vanwege grotere aanlegdiepte minder aantrekkelijk

3.4 Keuze uit te werken varianten

Aan de hand van de in de ontwerpmatrix vastgestelde:

- 11 boortunnelvarianten;
- 8 in-situ tunnelvarianten,

is een keuze gemaakt welke varianten verder uitgewerkt zullen worden.

In het Plan van Aanpak, hfdst. 3 Projectrealisatie is aangegeven dat op basis van de te verwachte mate van realiseerbaarheid en oplossend vermogen (expert judgement) naar schatting maximaal 6 varianten nader onderzocht zullen worden.

Gestreefd is naar een selectie waaruit zoveel mogelijk technische informatie valt af te leiden.

3.4.1 Overwegingen bij de keuze boortunnelvarianten

Bij de keuze van de boortunnel varianten op bovenstaande gronden hebben tevens de volgende argumenten een rol gespeeld:

- 1) wenselijkheid voor het toepassen van vluchtstroken;
- 2) overwegingen m.b.t. het vluchtregime;
- 3) maximale boordiameter;
- 4) onderzoek (qua geometrie) innovatieve ontwerpen

Ad 1)

De in de matrix aangegeven varianten zijn zowel door experts van het Steunpunt Tunnelveiligheid als van de Afdeling Wegontwerp beoordeeld. Deze beoordeling is vastgelegd in memo Aandachts- en discussiepunten betreffende wegingdeling, zelfredzaamheid en hulpverlening, toegevoegd als Bijlage 2.

Hierin wordt gesteld dat uit oogpunt van:

- beperken van congestie;
- het verminderen van mn. letselongevallen;
- effectief incidentmanagement (zie ook ad 2),

in deze lange, verkeersintensieve tunnel het wenselijk is om een vluchtstrook toe te passen.

In de keuze is er rekening mee gehouden dat voldoende varianten aan dit criterium voldoen.

Ad 2

Op basis van de filosofie m.b.t. het vluchtregime gehanteerd bij de Westerscheldetunnel en rekening houdende met de verwachte verkeersintensiteit wordt van het volgende uitgegaan:

Bij tunnels waar per rijrichting 3 stroken (rijstroken dan wel een vluchtstrook) aanwezig zijn, kan het verkeer in de niet-calamiteitenbuis binnen redelijke tijd naar de 2 rechter (rij- dan wel vlucht-) stroken verdreven worden, zodat de linker(rij)strook dienst kan doen als opvang voor vluchtende automobilisten.

Derhalve is in deze situatie geen afgescheiden langsvluchtgang noodzakelijk.

Bij tunnels waar per rijrichting slechts 2 (rij)stroken aanwezig zijn wordt het gezien de hoge verkeersintensiteit niet mogelijk geacht het verkeer in de niet-calamiteitenbuis van de linkerrijstrook binnen redelijke tijd en op verantwoorde wijze naar de rechter rijstrook te verdrijven, zodat hier de linkerrijstrook geen dienst kan doen als opvang voor vluchtende automobilisten.

Derhalve is in deze situatie wel een afgescheiden langsvluchtgang noodzakelijk. Bij de keuze zijn varianten welke niet aan dit criterium voldoen afgevalen.

Ad 3

Hoewel voor de in de nabije toekomst maximaal te realiseren boordiameter uitgegaan kan worden van ca 17.00m, is bij de keuze de grens gelegd op ca 15.50m hetgeen beter aansluit op de huidige gerealiseerde boordiameters.

(Als bijkomend argument geldt dat op basis van het in ad 2 gestelde de variant met de grootste boordiameter komt te vervallen.)

Ad 4)

Op basis van het criterium realiseerbaarheid zou de variant 10, Double-O tunnel, mede gezien de grote afmetingen, niet in aanmerking komen voor nader onderzoek.

Gezien het innovatieve karakter van dit ontwerp in het algemeen en het realiseren van de afgescheiden langsvluchtgang in het bijzonder, terwijl tevens geen dwarsverbindingen noodzakelijk zijn, is besloten om vooralsnog deze variant nader te onderzoeken.

Op basis van o.a. de ontwerpsnelheid 120km/h zou variant 11, Dubbeldeks personenauto tunnel niet in aanmerking komen voor nader onderzoek.

Verder zijn bij deze variant de toeritten, waarin de boven elkaar gelegen rijdekken op een niveau gebracht moeten worden, gecompliceerd.

Een tunnel met een soortgelijk concept is echter momenteel in de A86 nabij Parijs in aanbouw.

Gezien het te verwachten oplossende vermogen i.r.t. de te geschatte geringe investering en het innovatieve karakter van dit ontwerp is besloten om vooralsnog deze variant nader te onderzoeken.

Op basis van bovenstaande afwegingen is gekozen de volgende 5 varianten nader te onderzoeken:

Tabel 3

Matrix variant	nieuwe benaming	aantal rijstroken	vluchtstrook	aantal rijkokers	langs-vluchtgang
4	BT-1	2*2	Ja	2 ¹⁾	Nee
5	BT-2	2*2	Nee	2 ¹⁾	Ja
8	BT-3	3*2	Ja	3 ¹⁾	Nee
10	BT-4	4*2	Nee	4 ²⁾	Ja
11	BT-5	2*2	Ja	2 ³⁾	Ja

¹⁾ 1 rijkoker binnen 1 tunnelbuis

²⁾ 2 rijkokers horizontaal binnen 1 dubbele tunnelbuis

³⁾ 2 rijkokers verticaal binnen 1 tunnelbuis

Opgemerkt kan worden dat variant BT-4 ook als enkele Double-O tunnel uitgevoerd kan worden en dan vergelijkbaar is met variant BT-2.

3.4.2 Overwegingen bij de keuze in-situ tunnelvarianten

Bij de keuze van de in-situ tunnel varianten op bovenstaande gronden hebben tevens de volgende argumenten een rol gespeeld:

- 1) wenselijkheid voor het toepassen van vluchtstroken;
- 2) maximale breedte.

Tevens is gestreefd naar een keuze waarbij een kostenvergelijking tussen gelijkwaardige boortunnel en in-situ tunnel varianten mogelijk is.

Ad 1

Zie hiervoor de toelichting bij de boortunnels.

Ad 2

De maximaal gerealiseerde breedte bij het vergelijkbaar ontwerp van de open resp. gesloten toeritten van de 2^e Beneluxtunnel bedraagt ca. 45 resp. 56m.

Ook daar is sprake van een betonconstructie op onderwaterbeton.

De maximale breedte van de doorsnede bedraagt ca 47.00m wordt op basis van bovenstaande zonder aanvullende maatregelen realiseerbaar geacht.

In principe zijn alle in-situ tunnel varianten te realiseren, waarbij de volgend kanttekeningen geplaatst kunnen worden:

- variant 1, 2*3 rijstroken met vluchtstrook, heeft relatief grote overspanningen waardoor dwarsvoorspanning in het dak nodig is;
- variant 8, dubbeldeks personenauto tunnel, is vanwege de relatief diepe ligging, welke niet opweegt tegen de voordelen van de versmalling, onaantrekkelijk.

Vanwege de relatief eenvoudige realiseerbaarheid is om het aantal varianten te beperken is gekozen om de volgende 2 varianten nader te onderzoeken:

Tabel 4

matrix-variant	nieuwe benaming	aantal rijstroken	vluchtstrook	aantal rijkokers	langs-vluchtgang
3	IST-1	2*2	Ja	2	Ja
5	IST-2	3*2	Ja	3	Ja

Hiermee is tevens de kostenvergelijking tussen de meest waarschijnlijke boortunnelvarianten en de in-situ tunnelvarianten voldoende afgedekt.

3.5 Nadere uitwerking dwarsprofielen

De geselecteerde dwarsprofielen zijn uitgewerkt op de volgende aspecten:

- geometrie
- globale constructieve afmetingen.

3.5.1 Geometrie

De uiteindelijke dwarsprofielen zijn vastgelegd in de in §1.4 vermelde tekeningen.

Een overzicht is toegevoegd als bijlage 3.

Voor alle uitgewerkte dwarsprofielen kan het volgende opgemerkt worden:

- De vluchtstroken incl. uitstapruimte is zodanig gedimensioneerd dat ombouw tot volledige rijstrook incl. objectafstand mogelijk is. Dit betekent een extra breedte van 0.75m per rijkoker (m.u.v. BT-5);
- De objectafstand (m.u.v. BT-5) wijkt af van het gestelde in de ROA, 1.50m, hiervoor is de voor tunnels gebruikelijke maat van 1.00m, conform SATO (Specifieke Aspecten Tunnel Ontwerp) aangehouden;
- Bij de uiteindelijk gehanteerde minimum horizontale boogstraal $R_h=2500m$ is geen verbreding t.b.v. de zichtlengte nodig. (Voor de boortunnelvarianten zou een verbreding over een deel van het tracé moeilijk zijn te realiseren.) ;

Voor de boortunnelvarianten met een afgescheiden langsvluchtgang kan worden uitgegaan van een h.o.h. afstand van de dwarsverbindingen van 500m.

Dit is gebaseerd op de aanname dat voor de hulpverlenende diensten een maximale loopafstand van 300m acceptabel is en dat via de vluchtgang de brand (calamiteit) gepasseerd kan worden.

Voor de boortunnelvarianten zonder een afgescheiden langsvluchtgang moet worden uitgegaan van een h.o.h. afstand van de dwarsverbindingen van 100m.

Dit is gebaseerd op de uitgevoerde oriënterende berekeningen m.b.t. de interne veiligheid.

NB.

Voor alle tunnels met een afgescheiden langsvluchtgang geldt dat de afstand tussen de hierin opgenomen vluchtdeuren uiteraard ook 100m bedraagt.

Voor de boortunnelvariant BT-4, Double-O tunnel is getracht de afmetingen zoveel mogelijk te beperken.
Hiervoor is gevarieerd in de overlap van de twee cirkels met een factor 0.16D, 0.19D en 0.25D.
De kleinste afmetingen worden verkregen bij een overlap van 0.16D, waarbij het kabelkanaal onder het wegdek wordt gesitueerd.
De afmetingen 11.60*22.45m overschrijden echter nog steeds ruim (25 resp. 45%) die welke tot nu toe gerealiseerd zijn.
Tevens valt de afgescheiden langsvluchtgang tussen de beide rijkokers geometrisch moeilijk in te passen.
Op basis van bovenvermelde bevindingen moet getwijfeld worden aan de technische haalbaarheid van de Double-O variant.

Voor boortunnelvariant BT-5, "Parijse variant" is, gezien de grondgesteldheid, de vluchtweg binnen de tunnelbuis te houden, hierbij is het dan ook mogelijk om een afgescheiden langsvluchtgang op te nemen.
Opgemerkt kan worden dat e.e.a. afwijkt van de tunnel in de A86, waarbij een verbinding tussen de twee rijkokers d.m.v. een uitbouw is gerealiseerd.
De tunneldiameter wordt hierdoor relatief groot, om deze te beperken is ook hier het kabelkanaal onder het (onderste) wegdek gesitueerd.
M.b.t. de rijwegindeling is de hoogte van het PvR (profiel van vrije ruimte) een discussiepunt.
Voor het ontwerpvoertuig categorie personen auto's geldt dat de afmetingen breedte 1.75m en hoogte 2.06m door 95% niet wordt overschreden.
De vigerende normen geven voor deze specifieke categorie geen maten voor de rijstrookbreedte etc.
Ook de aanbevelingen welke in Frankrijk is ontwikkeld (RECTUR, Recommendations for narrow-gauche urban tunnels) geven maten die discutabel zijn.
Als uitgangspunt is voorlopig aangehouden:
- rijstrookbreedte : 2.75m;
- objectafstand : 0.70m;
- Hoogte PvR : 2.50m.
Deze uitgangspunten moeten bij een eventuele verdere uitwerking nader onderbouwd worden.

3.5.2 Constructieve afmetingen

Voor de boortunnelvarianten, m.u.v. BT4, Double-O tunnel, is aan de hand van de geotechnische gegevens een globale afschatting gemaakt van de optredende momenten en normaalkrachten bij de met ontwerpvuistregels bepaalde tunnelwanddikten.
Hoewel de verhouding moment/normaalkracht relatief hoog is worden hierdoor geen specifieke problemen, waardoor ontwerpaanpassingen noodzakelijk zijn, verwacht.
Voor de boortunnelvariant BT-4, Double-O tunnel, is geen afschatting gemaakt in dit stadium, gezien de twijfelachtige technische haalbaarheid alsmede de complexiteit van de benodigde berekening.

Voor de in-situ tunnelvarianten zijn de gebruikelijke doorsnede afmetingen gehanteerd.
Tevens zijn a.h.v de geotechnische gegevens de globale dimensies van damwanden, onderwaterbeton en paalfunderingen bepaald.

4 Bijzondere voorzieningen

4.1 Algemeen

Naast het algemene profiel van de tunnel, de dwarsdoorsneden, zijn een aantal bijzondere voorzieningen noodzakelijk, welke mede kostenbepalend zijn.

De volgende voorzieningen:

- toeritten;
 - start-en ontvangtschachten (boortunnel);
 - ventilatie- c.q. vluchtschachten;
 - dwarsverbindingen;
 - kruisingen spoor-en vaarwegen
- worden in deze paragraaf besproken.

4.2 Toeritten

Voor de lengte en diepteligging van de toeritten zie ook rapport verticale alignementen d.d. 4 juli 2002, § 3.4 en § 4.4 t.m. 4.6.

Zowel voor de boortunnelvarianten als voor de in-situ tunnelvarianten worden toeritten uitgevoerd als een betonnen trogconstructie (open bak) binnen een bouwkuip van damwanden, onderwaterbeton en trekpalen (conform de in-situ bouwmethode).

Gezien het verticale alignement en de grote lengte van de toerit wordt voorzien in een drietal waterkelders, t.b.v. de opvang en afvoer van lek- en hemelwater, t.w.:

- t.p.v de overgang gesloten gedeelte en toerit;
- t.p.v. het middelste horizontale gedeelte.
I.v.m. de benodigde helling voor de afwatering zal het onderwaterbeton en de waterkelder hier verdiept aangelegd moeten worden;
- t.p.v de voetboog naar maaiveld c.q. de knooppunten.

I.v.m. de benodigde invoegingen vanuit het knooppunt en de relatief grote breedte van de varianten en m.n. de boortunnels is ook de breedte van de toeritten relatief groot.

4.3 Start-en ontvangtschachten (boortunnel)

Tussen de open toeritten en het geboorde gedeelte van de tunnel zijn zgn. start- en ontvangtschachten nodig om de tunnelboormachine (tbn) op te stellen en het boorproces aan te kunnen vangen c.q. de tbn te ontvangen en te demonteren.

Om de breedte en de aanlegdiepte van deze constructies te beperken worden in de volgende maatregelen voorzien:

De gebruikelijke onderlinge afstand tussen de boortunnels is ca. $1 \cdot D$, dit om te voorkomen dat t.g.v. mogelijke ongeregelde hellingen tijdens het boorproces (boorfrontinstabiliteit) de stabiliteit van de reeds aanwezige parallelbuis wordt beïnvloed.

Deze wordt t.p.v de start- en ontvangtschachten teruggebracht tot ca $0.5D$; De gebruikelijke minimale gronddekking op de boortunnel bedraagt eveneens ca. $1 \cdot D$, om tijdens het boorproces:

- het verticale evenwicht van de tunnelbuis te waarborgen;
- voldoende steundruk op te kunnen bouwen ter beheersing van de stabiliteit

van het boorfront (zowel t.b.v. het boren als tijdens eventuele onderhoudssituaties).
Deze wordt t.p.v. de toeritten teruggebracht tot ca. 4m.
Hiervoor moet de aanwezige grond aansluitend aan de start- en ontvangtschachten over de benodigde lengte en diepte vervangen worden door zgn. cohesief zand (met cement gestabiliseerd zand).

De afzetkrachten van de tbm t.p.v. de startschachten worden op basis van grondwrijving d.m.v. diepwandpanelen over gebracht naar de ondergrond. Deze diepwandpanelen vormen de bouwkuip van de startschachten.

4.4 Ventilatie- c.q. vluchtschachten

Gezien de grote lengte van de tunnel (minimaal ca. 7000m), de grote verkeersintensiteit, zullen uit oogpunt van beperking van:

- de emissies, zowel in de tunnel als naar de omgeving;
 - de effecten van brand in de tunnel,
- ventilatieschachten nodig zijn.

Deze schachten kunnen eventueel dan tevens dienen als:

- vluchtweg vanuit de tunnel naar het maaiveld;
 - verbinding tussen de tunnelbuizen t.b.v. voertuigen
 - onderbrengen van technische installaties, pompkelders etc.;
 - onderhoud tijdens het boorproces;
- aan- en afvoer tijdens het boorproces.

In deze paragraaf worden de aan te houden afstanden tussen de schachten ingeschat, alsmede de globale afmetingen.

4.4.1 Emissie

De randvoorwaarden voor de toelaatbare emissies zijn:

- t.b.v. weggebruikers 1ppm ofwel 1880microgram/m³;
- t.b.v. de omgeving (dus t.p.v. de tunnelopeningen) 500microgram/m³ bij bebouwing op minimaal 100m afstand.

De laatste randvoorwaarde is maatgevend.

De maximale tunnellengete c.q. de minimale lengte tussen ventilatieopeningen c.q. -schachten bedraagt ca 2000 à 2500m.

Indien de concentraties hoog worden uitgestoten dmv een schoorsteen kan deze afstand vergroot worden naar b.v. ca. 4000m bij een schoorsteenhoogte van ca. 30m

Deze waarden zijn nauwelijks afhankelijk van het aantal rijstroken in de tunnel en de vorm van de tunnel (recht of rond), dwz de oppervlakte van de tunnelbuis.

Voor de aanvoer van verse lucht is een snelheid van $v=5\text{m/sec}$ in de rijkoker benodigd, terwijl een maximale snelheid van $v=15\text{m/sec}$ in de in- en uitlaatopening toelaatbaar is.

Afhankelijk van de rijkokerdoorsnede is voor emissie een inlaat- c.q. uitlaatopening nodig van ca.:

- 35m² voor BT-1 en BT-3;
- 25m² voor BT-2 en BT-4;
- 20m² (bovenste rijkoker) resp. 12m² (onderste rijkoker) voor BT-5;
- 22m² voor IST-1 en IST-2.

4.4.2 Brand

Hiervoor wordt als randvoorwaarde gesteld een beperking van het aantal personen dat kans loopt in de rook te staan.

Als afgeleide hiervan wordt een relatie gelegd tussen h.o.h. afstand van de vluchtdeuren en de h.o.h. afstand van de ventilatieopeningen.

Een relatie tussen het aantal rijstroken in de tunnelbuis wordt niet aangegeven,

hoewel dit ook bepalend is voor het aantal personen.

De volgende globale relaties worden hierbij gehanteerd:

- bij een afstand tussen de vluchtdeuren van 250m (gebaseerd op een boortunnel zonder afgescheiden langsvluchtgang) bedraagt de maximale afstand tussen de ventilatieschachten 1000m;
- bij een afstand tussen de vluchtdeuren van 60 à 100m (gebaseerd op een afgezonken tunnel of een boortunnel met een afgescheiden langsvluchtgang) bedraagt de maximale afstand tussen de ventilatieschachten 2000m;

In feite moet de relatie h.o.h. afstand ventilatieschachten en vluchtdeuren schacht afgetast worden met de rekenprogrammatuur ter bepaling van de FN curve aangezien hierin de volgende parameters kunnen worden ingevoerd:

- aantal rijstroken per tunnelbuis (dit bepaald het aantal aanwezige mensen per m¹ tunnel);
- h.o.h. afstand vluchtdeuren;
- maximale effectafstand in tunnel met/zonder ventilatie brand in bus/vrachtauto met/zonder brandbare lading (de effectafstand is in feite de h.o.h. afstand van de ventilatieschachten);

NB.

Bij de effecten van de tunnel i.r.t. de interne veiligheid wordt dit ook gedaan.

Voor het afvoeren van de rookgassen is een hoeveelheid lucht van 200m³/sec per rijkoker benodigd, terwijl een maximale snelheid van v=15m/sec in de in- en uitlaatopening toelaatbaar is.

Dit betekent dat voor brand een inlaat- c.q. uitlaatopening van ca. 15m² per rijkoker nodig is voor alle varianten.

M.u.v. de onderste rijkoker van variant BT-5 is brand niet maatgevend, maar emissie, echter de grootte van de openingen in deze variant kunnen waarschijnlijk kleiner zijn i.v.m. het ontbreken van vrachtautobranden.

Verder kan opgemerkt worden dat aan-en afvoer van lucht in de onderste rijkoker van variant BT-5 binnen de uitgewerkte geometrie mogelijk alleen via sparingen in de zijwanden kan plaatsvinden.

4.4.3 Overige functies

Tav de overige mogelijke functies geldt:

- verbinding van de vluchtweg naar het maaiveld:
 - hierover is in de buitenlandse voorschriften (Classifications of Tunnels PIARC 1995) nauwelijks enig aanknopingspunt te vinden. Alleen uit de Oostenrijkse richtlijnen zou afgeleid kunnen worden dat een afstand van ca 2000m gewenst is. Aangegeven wordt dat dit alleen gerealiseerd hoeft te worden als de situatie dit toelaat (bv. de diepteligging van de tunnel is relatief gering);
 - voor de tunnel A86 rond Parijs word een afstand van ca. 1250m aangegeven;
 - voor de Groeneharttunnel (spoortunnel HSL) is een afstand van ca. 2000m aangehouden, terwijl voor b.v. metrotunnels er vanuit wordt gegaan dat de stations niet verder dan ca. 1500m van elkaar zijn gelegen en er dus geen aparte verbindingen met het maaiveld nodig zijn.

Vooralsnog is hier een h.o.h. afstand van 1500m voor aangehouden;

- Verbinding tussen de tunnelbuizen t.b.v. voertuigen

Voorshands wordt hier nog niet vanuit gegaan.

Aangenomen wordt dat hiervoor de h.o.h. afstanden relatief groot zullen zijn ca. 3000 à 4000m.

Voor de boortunnelvarianten zijn deze voorzieningen echter niet eenvoudig in de schachten te realiseren en zullen aanvullende maatregelen van grote omvang noodzakelijk zijn.

Voor de in-situ tunnelvarianten kunnen deze eventueel wel ingepast worden binnen de (verlengde) schachten.

- onderbrengen electro-ruimten
De tunnel is dusdanig lang dat het voeden met hoogspanning vanaf de beide uiteinden niet economisch is.
Beter is om de hoogspanning naar tussengelegen punten te brengen om vandaar uit de tunnelinstallaties te voeden.
De hiervoor benodigde voorzieningen kunnen tevens in of op deze schachten onder gebracht worden.
Een afstand van 1000 à 1500m kan hiervoor worden aangehouden;
- onderbrengen waterkelders (in-situ tunnel)
T.b.v. de afvoer van gevaarlijke stoffen bij een calamiteit met een benzinetankauto is een rioleringsstelsel en een water- pompkelder met een bepaalde capaciteit nodig.
Om het hoogteverschil bij het benodigde verhang en afmetingen van het rioleringsstelsel (ca 1:600 bij buis Ø 300mm) te beperken is een maximale afstand tussen de pompkelders vereist van ca. 1500m.
Mn voor de in-situ tunnel moet deze waterkelder ook in deze schachten worden onder gebracht om geen aparte voorziening te moeten aanleggen;
- onderhoud tijdens het boorproces (boortunnel)
Dit is erg afhankelijk van het ontwerp van de tbm en de aanwezige grondgesteldheid.
Gezien de aanwezigheid van grindige lagen mag in ieder geval verwacht worden dat relatief groot onderhoud niet uitgesloten mag worden.
De schachten zouden gebruikt kunnen worden om onder gunstige (grondwatervrij en atmosferische) omstandigheden dit onderhoud ed. te kunnen plegen.
Het is moeilijk hiervoor een afstand aan te geven, maar b.v. 3000m lijkt realistisch;
- aan- en afvoer t.b.v. boorproces (boortunnel)
Er vanuit gaande dat vanaf 1 zijde gestart wordt met boren wordt de maximale boorafstand geschat op ca 7000 à 8000m.
Gezien de ervaringen met o.a. de Westerschelde- en Groenharttunnel moet dit logistiek mogelijk zijn.
Gezien de belangrijkste randvoorwaarde is om het landschap zo veel mogelijk ongemoeid te laten lijkt het gebruik van deze tussenschachten voor logistieke doeleinden niet wenselijk.

4.4.4 Aan te houden afstand tussen de schachten

Al deze randvoorwaarden beschouwend lijkt een aan te houden afstand van de ventilatieschachten van ca 1500m aannemelijk.

Voor de boortunnels zonder afgescheiden langsvluchtgang is voorshands een h.o.h. afstand van de dwarsverbindingen aangehouden van 125m, hierbij zou uitgaande van de in § 4.4.2 aangegeven globale relatie tussen de h.o.h. afstanden van de vluchtdeuren en ventilatieschachten een afstand tussen de ventilatieschachten horen van:

$$1000 + (2000 - 1000) * (250 - 125) / (250 - 60) = 1658 \text{ m, resp.}$$

$$1000 + (2000 - 1000) * (250 - 125) / (250 - 100) = 1834 \text{ m}$$

De aangehouden afstand van 1500m heeft dus nog enige marge.

Voor de varianten met een afgescheiden langsvluchtgang en dus vluchtdeuren h.o.h. 60 à 100m kan eventueel een afstand van 2000m aangehouden worden echter i.v.m. de noodzakelijke verbindingen naar het maaiveld is dit niet op voorhand aan te bevelen.

NB.

Uit de gemaakte berekeningen ter bepaling van de interne veiligheid blijkt dat bij de h.o.h. afstand van vlucht- en ventilatieschachten van 1500m een h.o.h. afstand van de vluchtdeuren van 100m noodzakelijk is.

4.4.5 Afmetingen vlucht- c.q. ventilatieschachten

Boortunnelvarianten

Voor de boortunnelvarianten is een conventioneel uitgevoerde rechthoekige schacht, conform de in-situ bouwmethode, vanwege de grote diepte (tot maximaal ca. nap -43m) technisch niet haalbaar.

Om deze reden worden de schachten per geboorde tunnelbuis uitgevoerd als cirkelvormige, gewapende, diepwanden, $d=1.20\text{m}$.

De panelen, waar de tbm doorheen boort, zijn ongewapend, $d=1.80\text{m}$

De diameter van deze schachten bedraagt:

Voor BT-1, BT-3, BT-4 en BT-5 : ca 30m;

Voor BT-2 : ca.26m;

Binnen deze schachten is dan voldoende ruimte om de in § 4.4.1, § 4.4.2 en § 4.4.3 vermelde functies onder te brengen.

Gezien de grote schachtdiameter i.r.t. de h.o.h. afstand van de tunnelbuizen moeten de schachten in langsrichting verspringend gesitueerd worden.

(M.u.v. variant BT-5 welke uit slechts één tunnelbuis bestaat.)

In-situ tunnelvarianten

Voor de in-situ tunnelvarianten is de uitvoering van de schachten betrekkelijk eenvoudig en bestaat uit een aangepaste stortsectie van ca 20m lengte, welke ca.2.50m verdiept wordt aangelegd t.b.v. het onderbrengen van de middenpompkelder, terwijl de relatief korte schachten t.b.v. de ventilatie en de vluchtweg etc. direct op het tunneldak worden gebouwd.

4.5 Dwarsverbindingen Boortunnel varianten (BT-1 t.m. 3)

De dwarsverbindingen hebben een PvR (profiel van vrije ruimte) van $1.50 \times 2.10\text{m}$. Dit kan het beste gerealiseerd worden binnen ovaalvormige constructie.

Gezien:

- de relatief grote lengte van de dwarsverbindingen, ca 13 à 15m;
 - de relatief grote aanlegdiepte, maximaal ca 30m onder maaiveld,
 - het reeds aanwezig zijn van vluchtschachten,
- wordt er vanuit gegaan dat de dwarsverbindingen niet vanaf maaiveld worden aangelegd.

Deze bouwmethode zou ook afbreuk doen aan de geringe verstoring van het maaiveld bij de boormethode.

Voor de dwarsverbindingen wordt uitgegaan van de volgende bouwmethode:

- vanuit een der tunnelbuizen worden horizontaal lansen geboord;
 - d.m.v. deze lansen wordt een ringvormig grondlichaam bevroren of geïnjecteerd.
- Hierbij moet het effect van de grindige lagen nader onderzocht worden;
- nadat deze grond voldoende sterk en waterdicht is kan de grond binnen deze ring ontgraven worden onder verzegeling m.b.v. spuitbeton;
 - hierbinnen kan dan weer de definitieve constructie in gewapend beton worden aangebracht.

4.6 Kruisingen spoor- en waterwegen

Boortunnelvarianten

Voor de kruisingen met de waterwegen wordt voor de boortunnel de normale gronddekking van ca. $1 \times D$ aangehouden. Verder zijn hier geen voorzieningen noodzakelijk, behalve een goede monitoring van de (boezem)kaden.

T.p.v. de kruisingen met de spoorwegen zowel gelegen op het maaiveld als de kruising van de tunnelbak in de Gooiboog worden grondlichamen over een voldoende lengte, breedte en hoogte d.m.v. grouten gestabiliseerd teneinde de

zettingen zoveel mogelijk te beperken.

Ook hier is monitoring noodzakelijk.

De kruising met de hooggelegen spoorlijn Amsterdam-Utrecht bevindt zich t.p.v. de westelijke toerit.

De 4-baans spoorlijn wordt hier vervangen door in te schuiven trogliggers, welke als definitieve constructie wordt uitgevoerd.

Na gereedkomen kan hieronder de toerit worden aangelegd.

In-situ tunnelvarianten

Voor de kruising met de Vecht en Gein wordt uitgegaan van een gefaseerde bouw, waarbij tijdelijk de helft van de vaarweg geblokkeerd wordt.

Hiervoor is een relatief eenvoudige steigerconstructie benodigd om de bouwkuip tegen aanvaring te beschermen.

De bouwmethode t.p.v. het Amsterdam-Rijnkanaal mag niet leiden tot scheepvaartbeperkingen gedurende een lange periode.

Hiervoor wordt uitgegaan van de zgn. afzinkmethode.

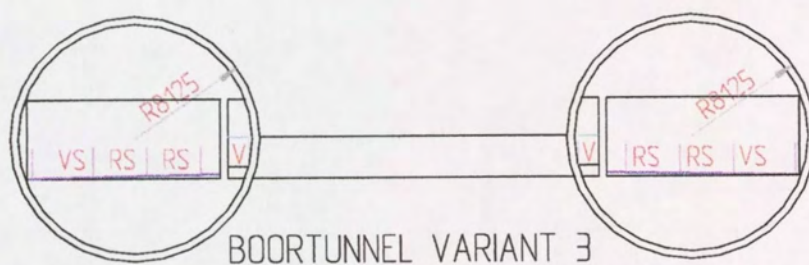
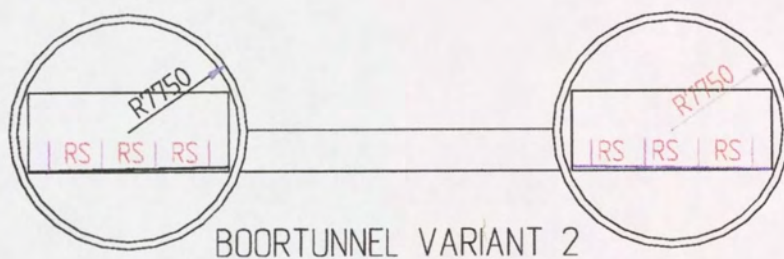
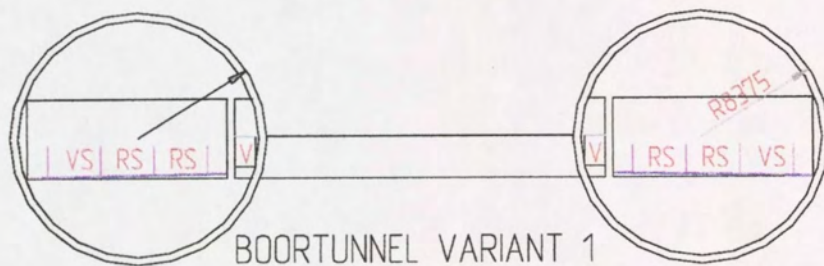
Een tunnelement met een lengte van ca. 150m lengte wordt in de bouwkuip van de aansluitende in-situ tunnel gebouwd en na gereedkomen uitgevaren en afgezonken in de van tevoren gebaggerde zinksleuf.

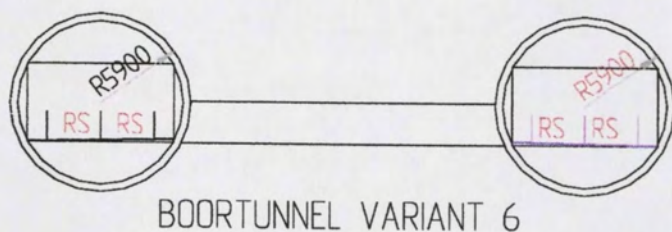
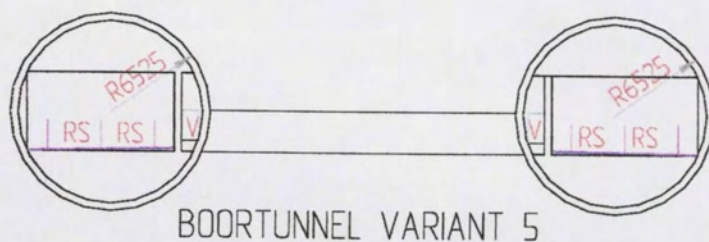
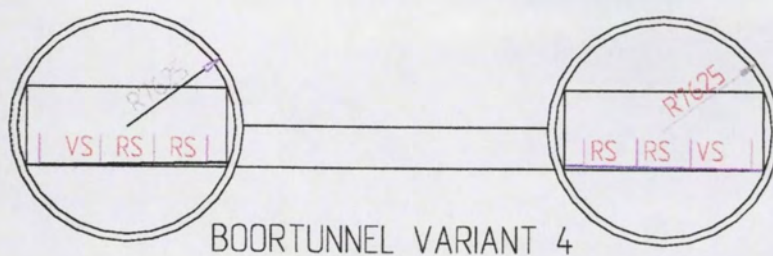
T.p.v de kruisingen met de op maaiveld gelegen spoorbanen wordt gebruik gemaakt van zgn.tijdelijke hulpbruggen, waaronder de in-situ tunnel kan worden gebouwd.

Na gereedkomen kunnen de spoorbanen gefundeerd worden op het tunneldak waarna de hulpbruggen verwijderd kunnen worden.

De kruising met de hooggelegen spoorbaan Amsterdam-Utrecht is identiek aan die bij de boortunnelvarianten.

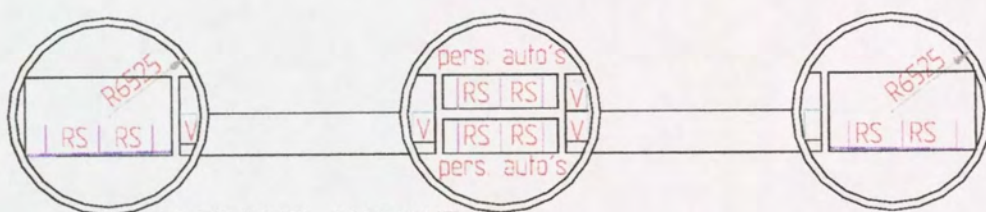
Bijlage 1 schema varianten



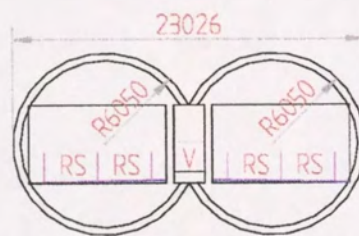
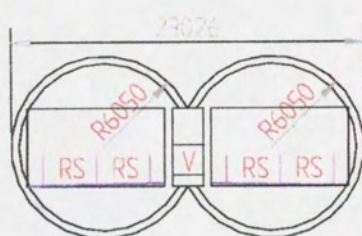




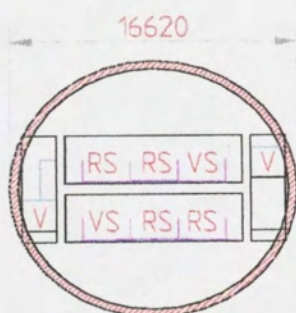
BOORTUNNEL VARIANT 8



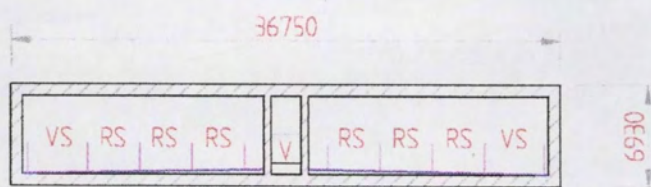
BOORTUNNEL VARIANT 9



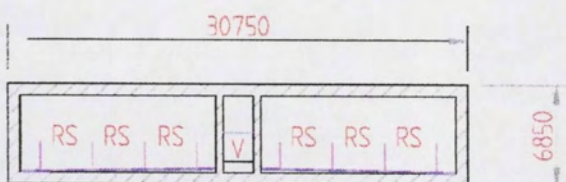
BOORTUNNEL VARIANT 10



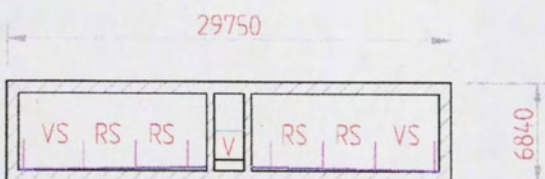
BOORTUNNEL VARIANT 11



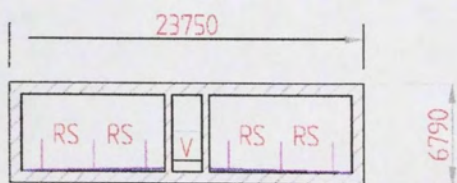
IN-SITU TUNNEL VARIANT 1



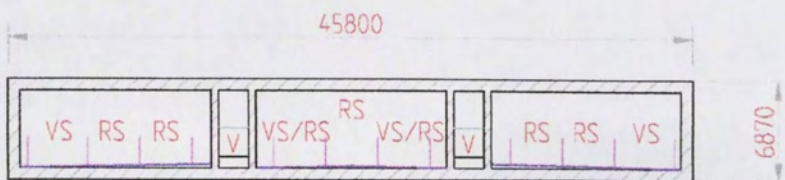
IN-SITU TUNNEL VARIANT 2



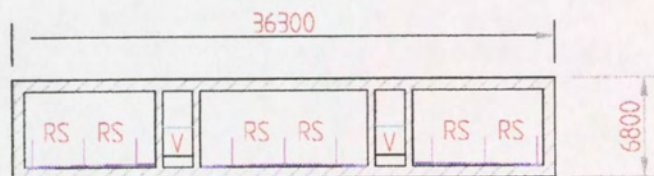
IN-SITU TUNNEL VARIANT 3



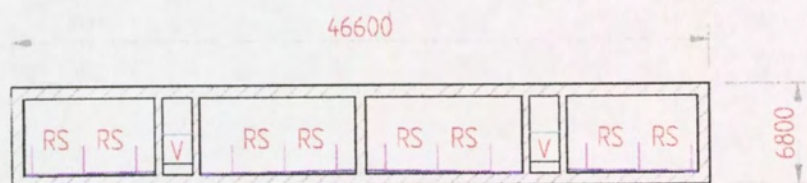
IN-SITU TUNNEL VARIANT 4



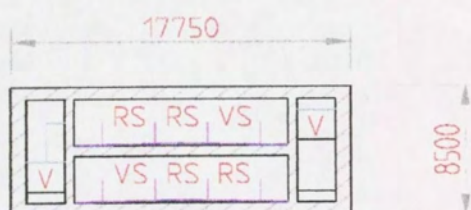
IN-SITU TUNNEL VARIANT 5



IN-SITU TUNNEL VARIANT 6



IN-SITU TUNNEL VARIANT 7



IN-SITU TUNNEL VARIANT 8

Bijlage 2 memo Aandachts- en discussiepunten betreffende weging, zelfredzaamheid en hulpverlening

.....

Ondergrondse verbinding A6-A9

Aandachts-en discussiepunten betreffende wegingdeling, zelfredzaamheid en hulpverlening

Opsteller: B.P. Rigter
Status: Definitief
Versie: 6
Datum: 31-7-02

Wegindeling

Functie van de verbinding

De ondergrondse verbinding A6-A9 zal deel uitmaken van het Rijkswegennet. De verbinding krijgt vooral een doorstroombaanfunctie voor verkeer tussen Almere (Flevoland) en Schiphol en daarmee tussen Noordoost en West Nederland. In overeenstemming daarmee komen er geen aansluitingen op het 13 km lange wegvak tussen de knooppunten Muiderberg en Holendrecht.

Daarmee zal de verbinding in eerste instantie het karakter van een autosnelweg moeten hebben. Dit wil zeggen rijstroken van 3,50 m breed en vluchtstroken voor een ontwerpssnelheid van 120 km/uur. Kosten- en veiligheidsoverwegingen kunnen afwijkingen rechtvaardigen.

Aantal rijstroken

Het aantal rijstroken wordt bepaald door het gewenste afwikkelingsniveau en de I/C verhouding. De I/C-verhouding is het quotiënt van de maatgevende intensiteit I en de capaciteit C. Voor een ongestoord afwikkelingsniveau in de spitsuren (d.w.z. snelheden van 120 km/uur) is een I/C verhouding van 0,4 gewenst. Bij hogere I/C-verhouding neemt de gemiddelde snelheid af. Voor ontwerpen is een maximale waarde van 0,85 acceptabel (laag afwikkelingsniveau).

De capaciteit C voor ongestoorde situaties op doorgaande wegvakken is afhankelijk van het aantal rijstroken:

Aantal rijstroken	Capaciteit in pae/uur
1	2.200
2	4.650
3	7.400
4	10.300

Volgens een in opdracht van directie Noord-Holland uitgevoerde quick-scan is de gemiddelde intensiteit van het ochtendspitsuur in 2020 7608 pae/uur in de spitsrichting (en 3987 in de andere richting). Bij een I/C-verhouding van 0,85 zijn dan **4 rijstroken in de spitsrichting en 2 in de andere richting** nodig. De I/C-verhouding in de tegenspitsrichting is dan 0,86, waardoor in feite de maximale I/C-verhouding wordt overschreden.

Factoren die de capaciteit beïnvloeden zijn hellingen, objectafstanden (vrije ruimte naast de rijweg) en percentage vrachtverkeer. Er is weinig bekend over de invloed van de kenmerken van (lange) tunnels op de

capaciteit. Het gaat hier met name om de beperkte zichtruimte naast de weg gedurende lange tijd. Er kunnen dus alleen 2 rijstroken in de tegenspitsrichting worden toegepast als het ontwerp bestaat uit flauwe hellingen, ruime boogstralen, een vluchtstrook en ruime objectafstanden. Indien de snelheidsterugval van vrachtauto's ten gevolge van steile opgaande hellingen groter is dan 20 km/h dienen maatregelen genomen te worden. Bij de uitrit zou dan een inhaalstrook moeten worden aangebracht.

Bezien vanuit het oogpunt van **tunnelveiligheid** moet vooral voorkomen worden dat er filevorming in de tunnel ontstaat en als die al ontstaat dat de files zo kort mogelijk zijn en dat er zo min mogelijk weggebruikers bij betrokken zijn. Dit kan bereikt worden door:

- Scheiding van de rijbaan
(dus bijvoorbeeld 3 buizen met elk 2 rijstroken, waarvan een buis gebruikt wordt als wisselkoker)
- Hoog afwikkelingsniveau.
Om het afwikkelingsniveau in de spitsuren te verhogen zou kunnen worden overwogen spitsstroken in te voeren.
- Verkeersbeheersingsmaatregelen (bevordering van eenparige snelheid door signalering en eventueel afsluiten van de tunnel in geval van incidenten)
Nagegaan zal moeten worden welke snel in te stellen omleidingsmogelijkheden voor het verkeer er zijn als de tunnel snel afgesloten moet worden.

N.B. Zowel de optredende intensiteiten als de kans op filevorming in de tunnel worden in eerste instantie bepaald door de aan- en afvoercapaciteit van de knooppunten Muiderberg en Holendrecht. Hieraan zal dan ook de nodige aandacht geschonken moeten worden.

Vluchtstroken

Vluchtstroken hebben meerdere functies, waarvan de belangrijkste zijn:

1. Opstelruimte voor auto's met pech
2. Rijstrook voor hulpverlenende diensten bij pech en verkeersongelukken
3. Verhogen verkeersveiligheid

In het kader van de benuttingsfilosofie kunnen rijstroken ook worden aangelegd om in de toekomst te dienen als spitsstrook dan wel als extra rijstrook.

Ad 1:

In bestaande tunnels is vaak geen vluchtstrook aanwezig. Omdat deze tunnels over het algemeen kort zijn zal het met de frequentie van pech wel meevallen. Vaak kan een auto met pech nog wel even doorrijden. Toch blijkt dat ook in korte tunnels vaak pechgevallen optreden (in de Wijkertunnel bijvoorbeeld 50 maal per jaar). Op het 8 km lange wegvak A4/A10 Badhoevedorp-Amstel (2x2 en 2x3) worden ongeveer 7 pechgevallen en 4 ongevallen per dag geregistreerd.

Op basis van pech- en ongevalstatistieken zullen ongeveer 10 pechgevallen en 1 ongeval per etmaal in de verbinding A6-A9 verwacht mogen worden. (dus per richting elke dag 5 pechgevallen en elke 2 dagen een ongeval).

De tunnel moet op zijn minst zodanig ontworpen worden dat er nog twee rijen verkeer met lage snelheid naast de auto met pech mogelijk zijn. In principe wordt hieraan voldaan bij ontwerpen met twee rijstroken van 3,50 m en een objectafstand aan weerszijden van 1,00 m.

In de praktijk wordt echter meestal een rijstrook afgesloten, wat zal leiden tot files.

Voor een tunnel van 12 km lengte met een doorgaande functie en hoge intensiteit is een vluchtstrook daarom zeer gewenst.

Ad 2:

Om bij ongelukken de wachttijd in files in de tunnel zo kort mogelijk te houden is een snelle bereikbaarheid van de plaats van het incident door de hulpdiensten over een vluchtstrook belangrijk.

Ad 3:

Uit uitgebreid Duits onderzoek² blijkt dat de aanwezigheid van vluchtstroken in tunnels het aantal ongelukken vermindert. Vooral de frequentie van letselongelukken in tunnels met vluchtstroken is aanzienlijk (bijna de helft) minder.

² Strassenquerschnitte in Tunneln, Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Bonn, april 2000

Kentallen van tunneldoorsneden

tunneldoorsnede	ongevallen met uitsluitend materiële schade (UMS) (per miljoen voertuigkilometers)	letselgevallen (per miljoen voertuigkilometers)
2x2 en 2x3 met vluchtstrook	0,326	0,074
2x2 en 2x3 zonder vluchtstrook	0,354	0,130

Ander Duits onderzoek³ naar de invloed van vluchtstroken op de veiligheid van autosnelwegen toont aan dat het aantal zware letselgevallen bij afwezigheid van een vluchtstrook kan stijgen met meer dan 30%.

N.B.1

Er kan niet zonder meer van uit worden gegaan dat vluchtstroken in tunnels niet nodig zijn als er continue bediening is. Bediening (dwz. het ingrijpen door de tunneloperator) heeft geen invloed op de verkeersafwikkeling (die wordt geregeld door verkeerssignalering) en heeft in beperkte mate invloed op de verkeersveiligheid. Incidenten kunnen sneller opgemerkt worden, de snelheid kan worden aangepast en eventueel kan een rijstrook worden afgekruid. Ook kunnen de hulpdiensten snel gealarmeerd worden. Die moeten wel snel naar de plaats van het incident kunnen gaan, en dat wordt moeilijk als er een file staat achter het incident en er geen vluchtstrook is.

N.B.2

Ondanks de hogere ongevalskans in tunnels zonder vluchtstroken is de Duitse richtlijn op het ogenblik dat tunnels in principe zonder vluchtstroken moeten worden ontworpen en dat daarna moet worden aangetoond dat vluchtstroken kosteneffectief zijn. Deze richtlijn is gebaseerd op eerder genoemd onderzoek waarbij louter naar de economische consequenties is gekeken en ook aan de UMS en letselgevallen kostenfactoren zijn toebedeeld.

N.B.3

Overwogen is nog of het aanbrengen van vluchthavens om de ca. 1500 m een alternatief zou kunnen zijn voor vluchtstroken. In het reeds eerder vermelde Duitse onderzoek (voetnoot 1) wordt melding gemaakt van de ervaring in twee tunnels (overkappingen) in de weg tussen Berlijn en het vliegveld Tegel. De tunnels zijn elk ongeveer een kilometer lang en hebben twee buizen met twee rijstroken zonder vluchtstrook. Er zijn in totaal 8 vluchthavens (dus om de ca 300 m) In 5 weken tijd werden totaal 56 pechgevallen geteld, waarvan slechts in 11 gevallen gebruik werd gemaakt van de vluchthavens.

Conclusie:

Het achterwege laten van vluchtstroken zal het karakter en de functie van de verbinding geweldig aandoen en de kans op congestie doen toenemen. De frequentie van met name letselgevallen zal zonder aanvullende maatregelen aanzienlijk hoger zijn.

Bij tunnelbuizen met 2 of 3 rijstroken is een vluchtstrook aan de rechterzijde zeer gewenst. Ideaal is 2x2 rijstroken per richting met in elke buis een vluchtstrook. Dit beperkt het aantal weggebruikers dat bij een calamiteit kan worden betrokken en biedt goede mogelijkheden voor incidentmanagement bij pech en ongevallen alsmede voor de brandweer in geval van brand.

Een nadeel van 2x2 rijstroken per richting is dat de capaciteit minder is dan bij 4 rijstroken per richting en dat bij de knooppunten meer lengte nodig is om een goede scheiding te bewerkstelligen. Tenslotte is de verdeling over de buizen waarschijnlijk geen 50-50.

De discussie wel of geen vluchtstroken in tunnels is uiterst actueel. Gepleit wordt voor het ontwikkelen van een beslissingsmodel en eventuele compenserende maatregelen zoals een verkeersmanagementsysteem waarmee de snelheid van en afstand tussen de voertuigen kan worden gereguleerd.

³ M.Rohloff, 2000

Objectafstanden

Voor een goede verkeersafwikkeling en een goede beleving van de veiligheid dienen objecten zoals barriers of geleiderails een zekere afstand vanaf de binnenkant van de kantstrepen te hebben. Een gedeelte van deze afstand dient om bij overschrijding van de kantstreep nog bij te kunnen sturen (redresseerruimte). Deze ruimte dient in hetzelfde vlak te liggen als het wegdek. De objectafstand zelf dient vooral het comfort van de bestuurder. Om geen enkele invloed op de capaciteit te hebben is een afstand van 1,80 m gewenst. De ROA schrijft voor autosnelwegen een minimum van 1,50 m voor. In de praktijk worden in moderne tunnels in Nederland objectafstanden van 1,00 m toegepast. Eén van de redenen is dat in tunnels minder last is van vetergang ten gevolge van windinvloeden.

In het buitenland worden vaak redresseerstroken van 0,25 tot 0,75 m toegepast met daarnaast voetpaden van 0,75 tot 1,00 m. Ook internationaal gezien is een objectafstand van 1.00 m dus minimaal gewenst.

Voetpaden

In het buitenland worden vaak aan weerszijden van de rijweg voetpaden aangebracht. Belangrijkste doelen hiervan zijn het bieden van een veilige weg voor weggebruikers naar een hulppost in geval van panne en een veilige weg voor tunnelpersoneel om weggebruikers te helpen of naar een plek te gaan voor werkzaamheden. In Nederland is gebleken dat voetpaden kunnen leiden tot ernstige ongelukken. Hulpposten worden om de 50 m geplaatst, zodat weggebruikers met panne "rugdekking" krijgen van hun auto. Bovendien zal zoveel mogelijk moeten worden voorkomen dat personeel in de tunnel is tijdens rijdend verkeer. Daarom worden tunnels in Nederland niet voorzien van voetpaden.

Geleideconstructies

Om de gevolgen van aanrijdingen met de tunnelwanden te beperken dienen geleideconstructies te worden aangebracht. Gezien de noodzaak op ruimte te besparen en het onderhoudsarme karakter zijn betonnen step-barriers de voor de hand liggende keuze.

Aan het toepassen van geleiderailconstructies kleven een aantal nadelen vanuit het gezichtspunt van zelfredzaamheid en hulpverlening: Bij het openen van hulpposten zou over de geleiderail gestapt moeten worden, bij vluchten via een vluchtdeur idem. Brandweer en ambulance die via een veilige buis de plaats van het ongeval moeten bereiken zouden ook over de rail moeten stappen. Dit nadeel kleeft in veel mindere mate aan de toepassing van step-barriers. Daarin kunnen uitsparingen gemaakt worden.

Conclusie:

Geadviseerd wordt stepbarriers te gebruiken als geleideconstructie.

Detallering

In dit onderdeel wordt alleen het geval van doorsneden in een recht wegvak behandeld. Er is dus geen rekening gehouden met eventueel noodzakelijke verbredingen ten behoeve van voldoende zichtlengte e.d.

Er is discussie of de rijstrookmarkering tussen de rijstroken wel of niet bij de rijstrookbreedte betrokken moet worden. Internationaal gaat de voorkeur uit naar de definitie van de rijstrook vanuit het midden van de markering.

De rijstroken zijn in autosnelwegen 3,50 m breed. In bijzondere gevallen kunnen ze ook smaller (3,25 m) worden uitgevoerd. Over het algemeen is de ontwerpsnelheid dan 90 km/uur.

Over de breedte van de vluchtstrook (naast de kantstrepen van 0,20 m) is ook discussie mogelijk. Voor de primaire functie (opvang auto's met pech) is een breedte nodig van 1,75 m voor personenauto's en 2,50 m voor vrachtwagens. Daarnaast kan rekening gehouden worden met een uitstapruimte van 0,50 m. Inclusief kantstreep is dus minimaal nodig 3,20 m.

Voor een goede berijdbaarheid van de vluchtstrook door hulpverleners is een breedte, inclusief kantstreep, nodig van 3,45 m (3,25 + 0,20).

Frankrijk hanteert een minimum maat (inclusief kantstreep) van 2.00 m dit mede ter voorkoming van onduidelijkheid of er nu wel of niet sprake is van een vluchtstrook, Duitsland en Spanje hanteren een minimum maat (inclusief kantstreep) van 2,50 m. Duitsland en Spanje eisen daarnaast nog een voetpad.

In Nederland wordt voor de benuttingsmaatregel plusstrook geadviseerd een vluchtstrook van 3 m aan te houden alsmede pechhavens om de 500 m. Ook is het verstandig in geval van een gestrand voertuig de rechterrijstrook af te kruisen. Geconcludeerd⁴ wordt dat vluchtstroken met een breedte van 2,50 m een schijnveiligheid bieden.

⁴ Beslisdocument 2 BOR-benutting A4/A10 Badhoevedorp-Amstel, directie Noord-Holland, 28 maart 2001

Indien in tunnelbuizen met twee rijstroken een vluchtstrook van 3,45 m wordt aangebracht biedt dat de mogelijkheid om in geval van groter wordende intensiteiten over te gaan tot herindeling (3 rijstroken van 3,25 m met snelheidsbeperking tot 100 km/u) dan wel tot de benuttingsmaatregel spitsstroken.

Bij het ontwerp van een buis voor wisselend verkeer (tidal flow) moet bepaald worden hoe de vluchtstrook wordt opgenomen in het dwarsprofiel:

- als afgekruste derde rijstrook (of met eventueel dynamische markering)
- Twee smalle stroken van 2,25 m aan weerszijden van de rijstroken (ervan uitgaande dat alleen personenwagens van deze buis gebruik maken).

Conclusie:

De breedte van de vluchtstrook inclusief de kantstreep moet 3,45 m zijn.

Verkeer tijdens onderhoudswerkzaamheden

Vanuit ARBO-overwegingen geniet het de voorkeur om onderhoudswerkzaamheden (meestal in de nachtelijke uren) zoveel mogelijk buiten het verkeer uit te voeren. Een uitvoering van twee kokers per richting biedt hier ideale mogelijkheden.

Als slechts totaal twee kokers worden gemaakt zal het verkeer tijdens onderhoudswerkzaamheden in tegengestelde richting moeten rijden. Dit is niet gewenst. Een oplossing kan zijn het verkeer via een omleidingsroute (de huidige routes) te sturen.

Toeritten

Naarmate de dwarsdoorsnede dan wel wegingdeling van de tunnel complexer wordt, zullen ook de toeritten complexer worden qua verkeersbeheersing. Bovendien geldt voor boortunnels dat de grotere diepte een langere helling / toerit noodzakelijk maakt. Voor de hand liggend: hoe complexer de verkeerssituatie is, des te groter zal de kans zijn op het zich voordoen van een incident. Dus: des te groter de aandacht voor (en de benodigde investering in) maatregelen voor een veilige verkeersafwikkeling naar en van de tunnel. Het is niet gewenst om de aansluiting op de knooppunten, waar veel weefbewegingen plaats vinden in een tunnelconstructie op te nemen. Ideaal is dat de wegingdeling ca. 150 m vóór de tunnel gelijk is aan die in de tunnel.

Zelfredzaamheid

In gevallen van brand of giftige stoffen in de tunnel zullen weggebruikers zich zo snel mogelijk naar een veilige plek moeten begeven via een veilige vluchtweg. Een brand zal zich naar verwachting enkele malen per jaar voordoen.

Om de vluchtweg te bereiken moet gebruik worden gemaakt van vluchtdeuren. Hoe meer rijstroken des te meer mensen per vluchtdeur.

Daarom bij voorkeur: rijbanen van niet meer dan twee rijstroken.

Vluchtwegen in boortunnels:

Er zijn twee mogelijkheden om te voorzien in vluchtwegen in boortunnels:

1. Directe dwarsverbindingen: via de vluchtdeur komen de weggebruikers direct in dwarsverbindingen tussen de buizen. Voorwaarde hiervoor is dat het verkeer op de linkerrijstrook in beide buizen wordt verdreven naar de rechterrijstrook. Hierdoor wordt voorkomen dat vluchtenden door auto's op de linkerrijstrook in de veilige buis worden aangereden.
2. Combinatie van dwarsverbindingen en vluchtgangen: via de vluchtdeur komt de weggebruiker eerst in een vluchtgang die onderdeel uitmaakt van de tunnelbuis en vervolgens via een van de dwarsverbindingen in de vluchtgang in de andere buis

In buizen met 2 rijstroken is mogelijkheid 1 alleen veilig en acceptabel bij een zeer beperkte capaciteit (zoals b.v. in de Westerscheldetunnel (ca. 1000 mvt/rijkoer/h)). Daarom komt voor de variant 2x2 alleen mogelijkheid 2 in aanmerking. Voor de variant 2x3 lijkt mogelijkheid 1 acceptabel.

Om te kunnen voldoen aan de gestelde normlijn voor het intern groepsrisico zullen vluchtdeuren in ieder geval minder dan 250 meter uit elkaar moeten worden aangebracht. Uit een eerste inschatting volgt een afstand van 125 m. Als voor een geboorde tunnel dwarsverbindingen op deze afstanden te duur zijn moet gedacht worden aan in de buizen aan te brengen van de rijbaan afgescheiden vluchtwegen. Bij zo'n afgescheiden vluchtweg kan voorshands uitgegaan worden van afstanden van 500 m tussen de dwarsverbindingen (voor een toelichting hierop wordt verwezen naar de paragraaf hulpverlening). In dat geval kan de voor zinktunnels gebruikelijke vluchtdeurafstand van 100 m worden aangehouden (eventueel minder (ALARA)).

Vluchtwegen in cut- and covertunnels

In principe moet voorzien worden in vluchtkanalen zoals gebruikelijk in zinktunnels.

Vanuit de vluchtweg moet een veilige omgeving worden bereikt. Voor een boortunnel kan dit de niet-incident buis zijn. Trappenhuizen naar boven zijn ook te overwegen. Voor de boortunnel in de rondweg A86 bij Parijs worden deze om de 1250 m geprojecteerd.

Nadelen zijn de hoge kosten en de moeilijke inpassing in het landschap.

Voor landtunnels zijn trappen naar het maaiveld minder kostbaar.

Bij het ontwerp van de vluchtweg rekening houden met verbredingen ter plaatse van de trappenhuizen.

Vluchtmogelijkheden met de auto?

De vraag is of er ook mogelijkheden moeten zijn om met auto's in een andere buis te komen. Bij ernstige verkeersopstoppingen kunnen lange files ontstaan. Ten eerste moet geprobeerd worden die zo veel mogelijk te voorkomen door verkeersmaatregelen. Dit kan door bij een incident de tunnel af te sluiten en het verkeer in de tunnel stil te zetten (bijvoorbeeld met rode lichten en slag- of draaibomen). Men kan nu kiezen: iedereen uit de auto te voet naar een veilige plek en wachten tot de weg weer vrij is of de mogelijkheid bieden met de auto de weg te vervolgen via een andere buis. In het laatste geval zullen mogelijk veel kosten gemaakt moeten worden bij boortunnels.

Bij landtunnels zijn er meer (minder kostbare) mogelijkheden. In het buitenland worden dergelijke mogelijkheden soms wel aangebracht.

Conclusie

In principe kan iedereen een veilig heenkomen vinden en lijkt het niet nodig voorzieningen te treffen voor doorsteken ten behoeve van de auto. Als deze kosten echter beperkt zijn (bijvoorbeeld door situering in de schachten) is de mogelijkheid zeker te overwegen. Aandachtspunten zijn brandbestendigheid en rookdoorlatendheid.

Hulpverlening

In deze paragraaf gaat het om de mogelijkheden voor de brandweer en ambulances om snel ter plaatse te zijn in geval van (letsel)ongevallen en brand.

Indien een vluchtstrook aanwezig is zullen de hulpdiensten de plek van het ongeval of de brand in de meeste gevallen hetzij over de normale weg, hetzij (in geval van files) over de vluchtstrook kunnen benaderen. Bij brand wordt de langsventilatie aangezet zodat het veilig is voor de hulpdiensten. Als de vluchtstrook geblokkeerd is of als benedenstrooms van een brand mensen bekneld zitten zullen de hulpdiensten hetzij vanuit de ongevalsbuis via de vluchtweg, hetzij vanuit een niet-ongevalsbuis de plek van het incident moeten bereiken. Als er geen vluchtstrook aanwezig is, is de kans op rechtstreekse bereikbaarheid van het ongeval via de ongevalsbuis minder en moet zeker rekening gehouden worden met bereikbaarheid vanuit de andere buis. Overigens zal, gezien de lengte van de buis, in een later stadium nagegaan moeten worden of de plaats van het ongeval niet standaard vanuit twee richtingen moet worden benaderd.

In het geval van een boortunnel zal de benadering vanuit een andere buis via dwarsverbindingen moeten plaatsvinden.

Dit kan het eenvoudigst als er per richting twee buizen zijn. Als er slechts één buis per richting is zal de andere buis eerst verkeersvrij gemaakt moeten worden.

Als in de buizen een afgescheiden vluchtweg wordt gemaakt met vluchtdeurafstanden van 100 m volgt uit de eis van een maximale loopafstand tussen de dwarsverbindingen en de plaats van het incident een maximale afstand tussen de dwarsverbindingen van 500 m..

Voorlopige algemene conclusies op basis van maximum prognose

In het voorgaande is uitgegaan van een prognose van 7608 pae's in het ochtendspitsuur. Er zijn dan zeker 4 rijstroken per richting nodig. Bij toepassing van een wisselkoker wordt dit bereikt met 3 buizen met elk twee rijstroken.

Vluchtstroken met een breedte van 3,45 m zijn zeer gewenst voor een tunnel met deze lengte en deze intensiteit.

Vanuit een oogpunt van interne veiligheid, verkeersmanagement bij incidenten, onderhoud, zelfredzaamheid en hulpverlening zijn buizen of kokers voor 4 rijstroken ongewenst. Afstanden tussen vluchtdeuren zullen in de grootte-orde van 125 m moeten zijn. Om de 1 à 1,5 kilometer is een trappenhuis naar maaiveld gewenst.

Volgens het rapport Nut en Noodzaak zal met een tolheffing van 5 euro de intensiteit gehalveerd kunnen worden. Omdat er veel alternatieve routes beschikbaar zijn is dit zeer reëel. Het project lijkt dan veel beter haalbaar omdat dan volstaan kan worden met 2 rijstroken per richting.

Randvoorwaarden bij 2x2

Voor rij- en vluchtstroken en voor objectafstanden gelden dezelfde eisen als gesteld hierboven.

Bij onderhoudswerkzaamheden zal een alternatieve route moeten worden gebruikt.

Ten behoeve van zelfredzaamheid zal ook hier de afstand tussen de vluchtdeuren in de grootte-orde 125 m moeten zijn.

Alternatieve tunneldoorsneden

A86 variant

Er zou nog aanzienlijk bespaard kunnen worden op bouwkosten door een tunnel te ontwerpen zoals die momenteel gebouwd wordt in de rondweg A86 van Parijs ter hoogte van Versailles. Deze variant is ook beschreven in het deelrapport Uitvoerings- en financieringsmogelijkheden uit de verkenning. Deze constructie lijkt aantrekkelijker voor de milieugroepen omdat de verstoringen van de grond- en waterlagen minimaal zijn. Ook zijn steilere hellingen mogelijk wat voordelen kan bieden bij de knooppunten en de verstoring van het landschap nog meer kan beperken (grotere tunnellenlengte?)

Een dergelijke tunnel is alleen toegankelijk voor personenauto's. Daardoor wordt de mogelijkheid geschapen om in één tunnelbuis twee verdiepingen aan te brengen voor 2x2 versmalde rijstroken met vluchtstrook. De ontwerpsnelheid is 70 km/uur. Het plafond is slechts 2.50 m hoog. Het is nog onbekend welke effecten een dergelijk ontwerp heeft op het weggedrag en de beleving van de automobilist (hoewel men al wel het nodige onderzoek heeft gedaan). (Uit ervaring in Nederland met werk in uitvoeringssituaties met versmalde rijstroken blijkt dat na 8 km lengte de concentratie gaat afnemen. De ongevalskans neemt dan dus toe. In de A86-variant is ook nog sprake van zeer lage plafonds wat extra nadelige effecten zou kunnen hebben)

Bezien vanuit een oogpunt van tunnelveiligheid zijn er ook voordelen: Personenautobranden zijn veel minder gevaarlijk dan vrachtautobranden. Ze produceren minder hitte en rook.

Voor de integriteit van de tunnel zijn er daardoor ook minder bedreigingen. Weggebruikers kunnen in geval van nood via trapportalen van de ene (ongevals) naar de andere (veilige) halve buis komen.

Voor de hulpverlening zullen waarschijnlijk speciale transportmiddelen ontworpen moeten worden.

Tenslotte geeft deze oplossing veel meer mogelijkheden voor het ventilatieprobleem. Het lijkt zeer goed mogelijk een dergelijke constructie te maken zonder onderbreking van het tunnelkarakter ten behoeve van de ventilatie.

Enige gegevens betreffende het ontwerp van de tunnel in de A86 uitsluitend bestemd voor personenwagens: Vanwege de homogene verkeerssamenstelling wordt een soepele en veilige verkeersafwikkeling verwacht.

Vanwege de lengte en intensiteit wordt een vluchtstrook van minimaal 2 m breed noodzakelijk geacht.

De wegdekken worden gedimensioneerd op 3 rijstroken. Twee rijstroken zijn over de gehele lengte in gebruik. Bij de aansluitingen wordt de vluchtstrook gebruikt als invoeg- en uitrijstrook. In de toekomst zou de vluchtstrook als derde rijstrook gebruikt kunnen worden.

Voor de afmetingen van de inwendige tunneldiameter zijn maatgevend:

de hoogte: uitgegaan is van een maximale hoogte van de personenauto's van 2,00 m en een speling van 0,15 m tot onderkant signalering. De signalering zelf heeft een hoogte van 0,40 m, totale benodigde hoogte dus 2,55 m.

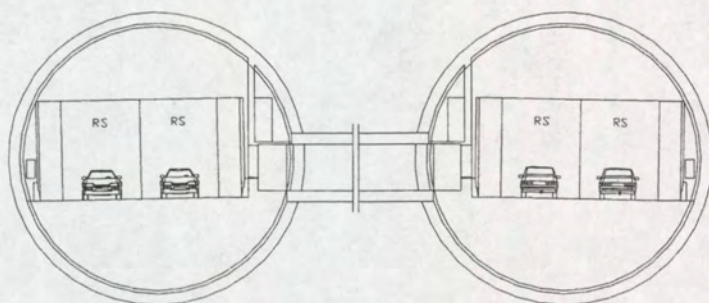
Voor de breedte is uitgegaan van een breedte van personenauto's van 1,80 m. Op basis van verschillende studies is uitgegaan van een onderlinge zijdelingse afstand tussen de personenauto's van 1 m bij een snelheid van 70 km/uur op basis van een zeer goed incidentmanagement systeem. Voor de "objectafstand" is gekozen voor een maat van 1,20 m op 1 m hoogte bij een snelheid van 60-80 km/uur!!! Aldus is op 1.00 m hoogte een breedte nodig van 9,60 m. Het is duidelijk dat hier tot de onderste grens is gegaan.

De Franse richtlijnen voor tunnels met beperkte hoogte differentiëren naar de toelaatbare hoogten van de voertuigen en het service-niveau.

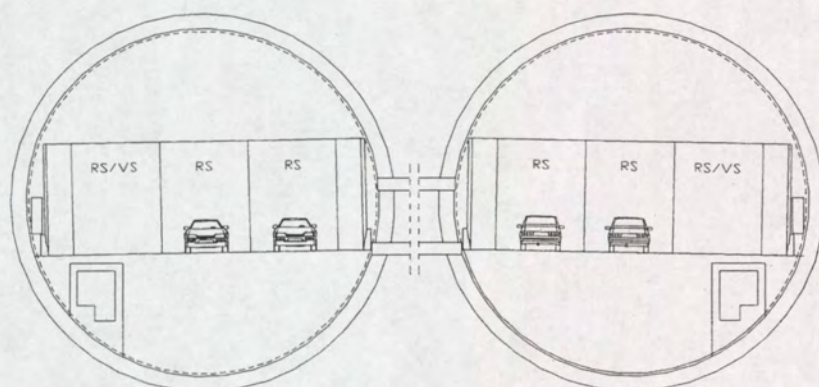
Men dient zich te realiseren dat deze variant voor de Nederlandse situatie volledig nieuw is. Er bestaat geen enkele ervaring mee en een intensieve nadere studie is nodig indien een dergelijke tunnel overwogen wordt.

Bijlage 3 overzicht uitgewerkte dwarsprofielen

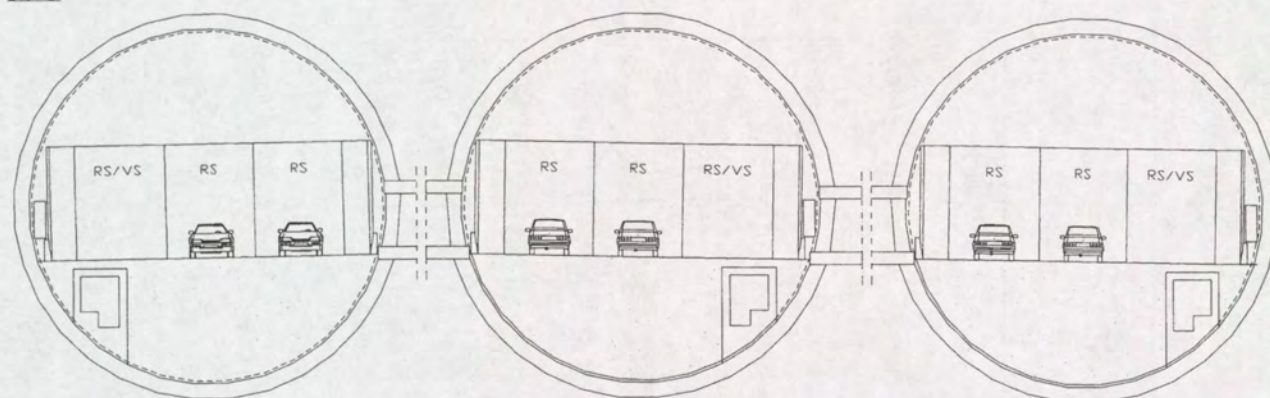
BT-1



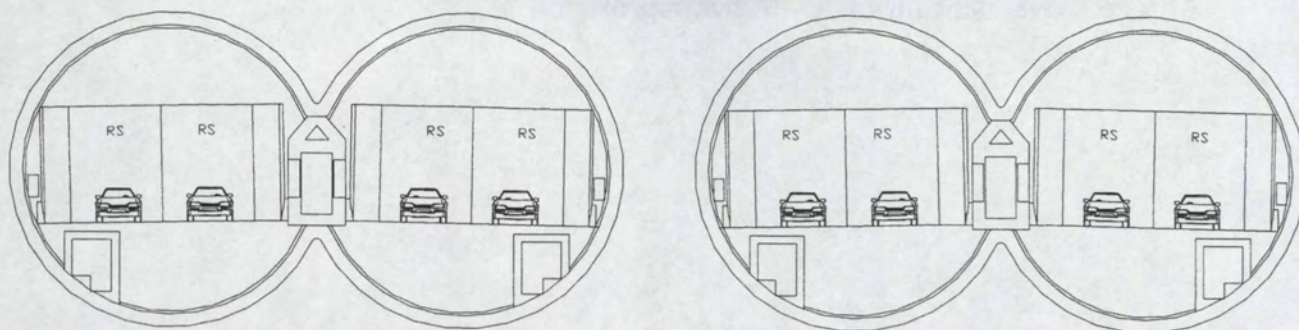
BT-2



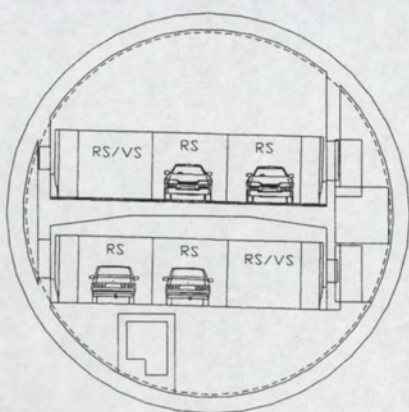
BT-3



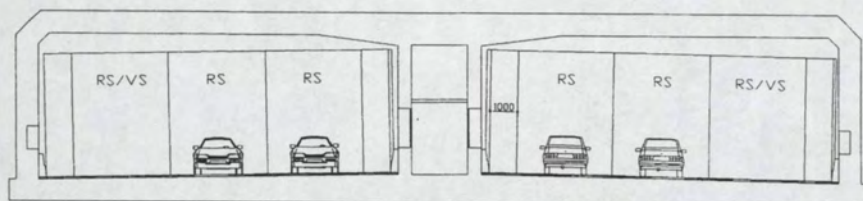
BT-4



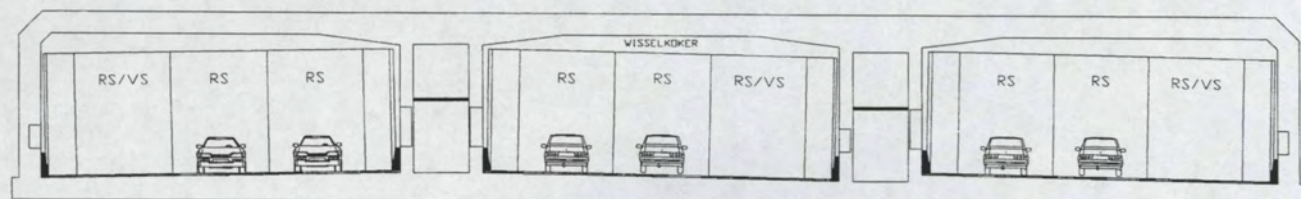
BT-5



IST-1



IST-2



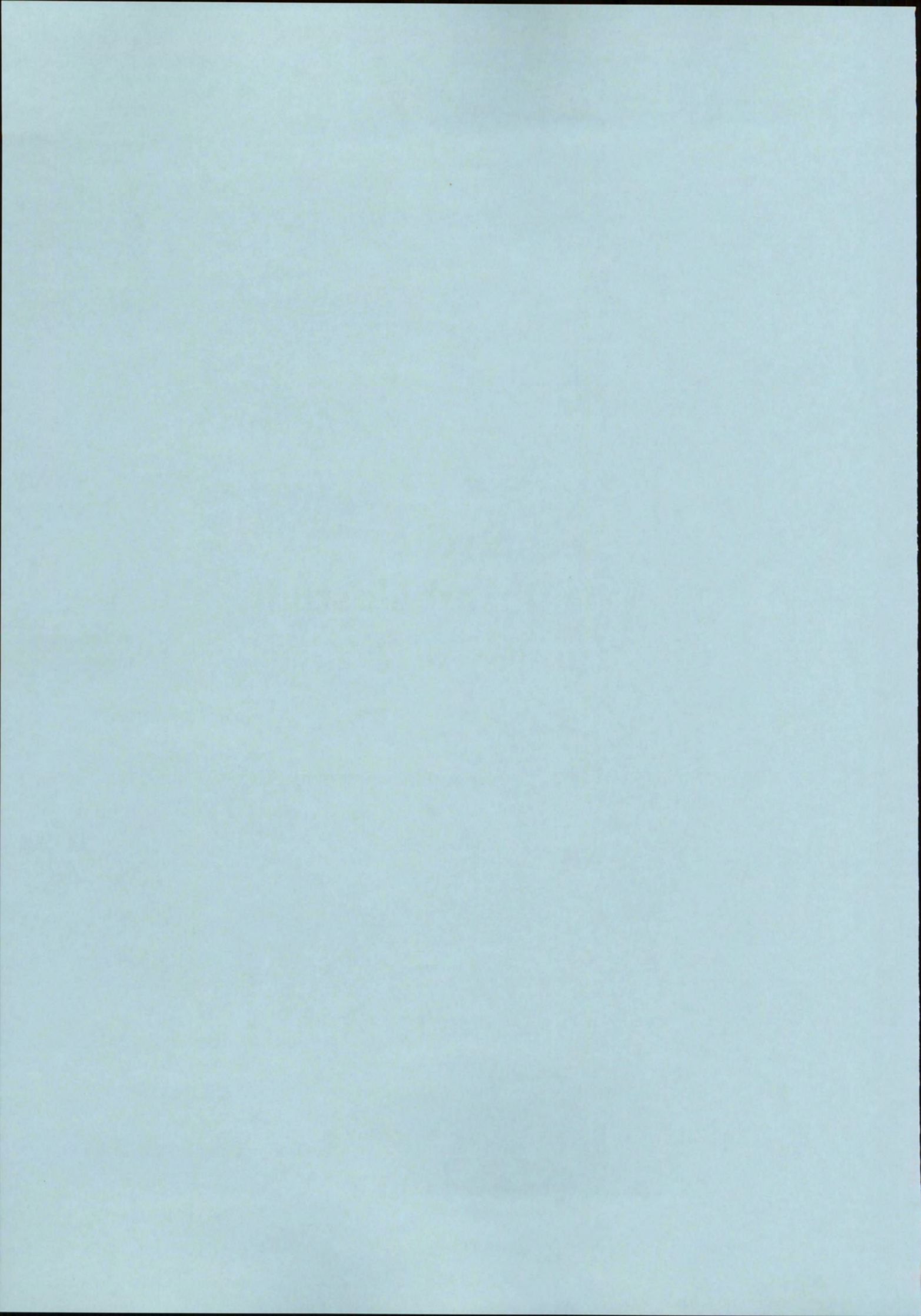


Technische haalbaarheidstudie tunnel A6/A9

Deelrapport 3b

Horizontale alignementen

30 september 2002



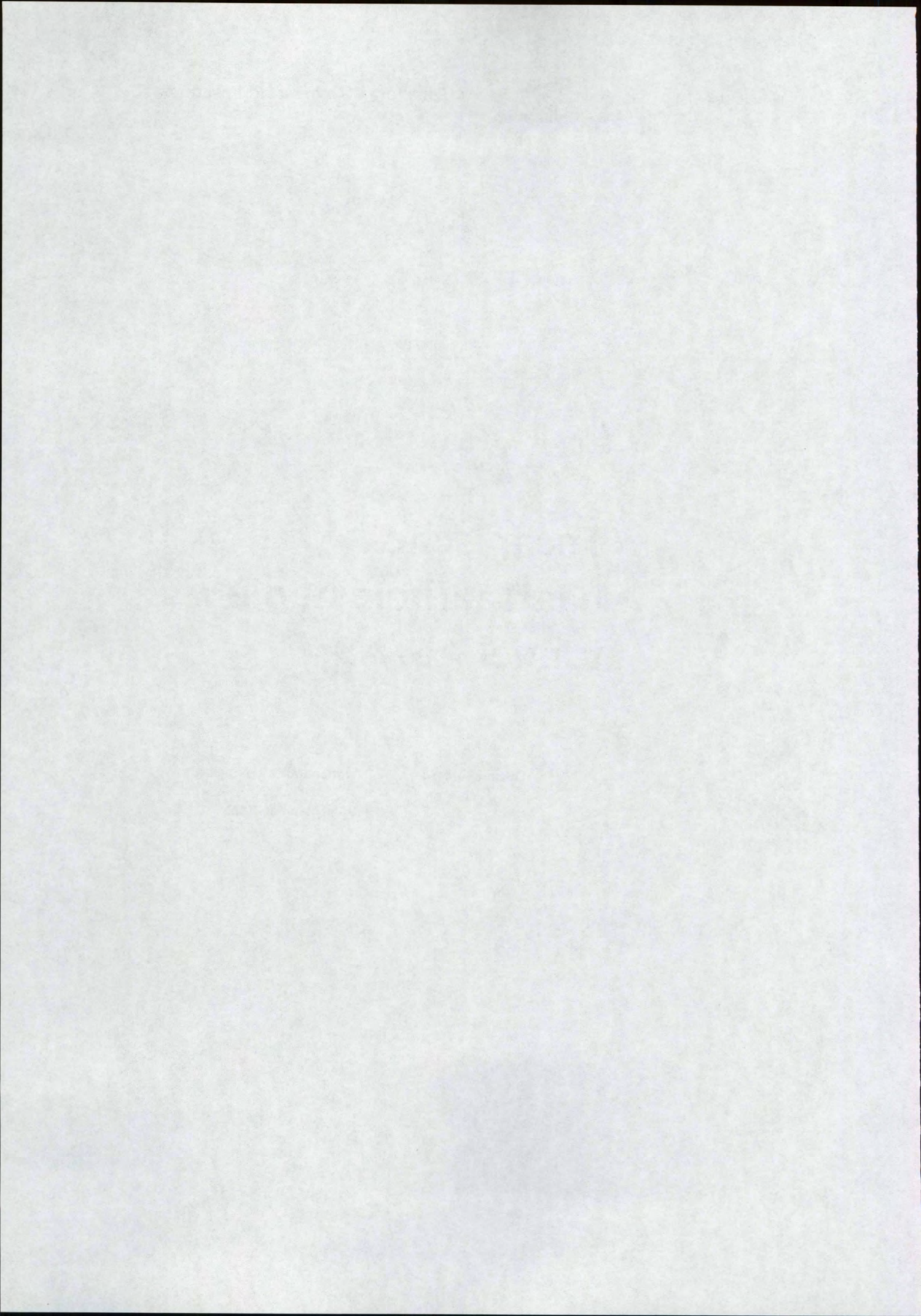


Technische haalbaarheidstudie tunnel A6/A9

Deelrapport 3b

Horizontale alignementen

30 september 2002



Inhoudsopgave

1	Documentinhoud	5
1.1	Inhoud document	5
1.2	Probleemstelling	5
1.3	Doelstelling	5
1.4	Afbakening	5
1.5	Resultaat	6
1.6	Relatie met andere projectonderdelen	6
2	Voorgestelde en keuze van tracés	7
2.1	Algemeen	7
2.2	tracé onder bebouwd gebied (boortunnel)	8
2.3	Tracé door onbebouwd gebied met midden-ligging (in-situ)	8
2.4	Tracé door onbebouwd gebied (boortunnel)	9
2.5	Tracé door onbebouwd gebied met zuidelijke ligging, kortste (in-situ)	10
2.6	Tracé door onbebouwd gebied met zuidelijke ligging, haaks Vecht (in-situ)	10
2.7	Tracé door onbebouwd gebied met zuidelijke ligging, ruim (in-situ)	11
2.8	Samenvatting van alle en de geselecteerde tracés	12
3	Aanpassing van de drie tracés	14
3.1	Ontwikkeling knooppunten	14
3.2	Uitwerken horizontale tracés	14

Bijlage 1 Boortunnel Weesp

Lijst van bijbehorende tekeningen:

- Overzichtstekening alle tracés, nummer TMH-DA-021 schaal 1 : 10.000 ,
- Geselecteerde drie tracés aansluitend op het uitgebreid knooppunt Muiderberg, nummer TMH-DA-022 schaal 1 : 10.000 ,
- Uitgewerkte twee tracés aansluitend op gereconstrueerd knooppunt Muiderberg, nummer TMH-DA-024 schaal 1 : 10.000,

1 Documentinhoud

1.1 Inhoud document

Dit document maakt onderdeel uit van de technische haalbaarheidsstudie A6/A9. Binnen het plan van aanpak voor dit project is sprake van een aantal uit te voeren activiteiten, waaronder:

3. *Ontwerpen horizontaal alignement*
Tekenen van het horizontaal alignement, voor minimaal 2 varianten (lengteprofiel van 1:10.000)

De inhoud van dit document vormt de rapportage door de Bouwdienst omtrent deze activiteit.

1.2 Probleemstelling

Bij het bepalen van een horizontaal tracé van een tunnel spelen vele uitgangspunten een rol. Door steeds één van die uitgangspunten als basis te nemen zijn diverse tracés te ontwikkelen. Door deze verschillende tracés vervolgens onderling te vergelijken kan een voorkeur voor een beperkt aantal (één of twee) verder uit te werken tracés worden uitgesproken.

1.3 Doelstelling

Hoofddoelstellingen van dit document:

- *Genereren van tracés respectievelijk horizontale tunnelalignementen*
- *Verzamelen respectievelijk onderzoeken van aandachtspunten binnen het studiegebied:*

Daarbij worden alleen die aspecten onderzocht die relevant zijn voor de technische haalbaarheid van een tunnel, of de raming van de kosten.

Dit document beschrijft de overwegingen die geleid hebben tot de voorgestelde ligging van de tunnel tracés in het horizontale vlak.

1.4 Afbakening

Dit document beperkt zich tot:

1. het ontwikkelen van horizontale tracés van een tunnelverbinding tussen de knooppunten Holendrecht en Muiderberg,
2. de selectie van drie horizontale tracés van een tunnelverbinding tussen de knooppunten Holendrecht en Muiderberg,
3. vanuit wegontwerp optimaliseren van twee geselecteerde horizontale tracés.

1.5 Resultaat

Het resultaat van het genereren van horizontale tracés bestaat uit een overzichtstekening met nummer TMH-DA-021 schaal 1 : 10.000 met daarop zes voorgestelde tracés in volgorde van noordelijke naar zuidelijke ligging:

1. tracé onder bebouwd gebied (boortunnel),
2. tracé door onbebouwd gebied met midden-ligging (in-situ),
3. tracé door onbebouwd gebied (boortunnel),
4. tracé door onbebouwd gebied met zuidelijke ligging, kortste (in-situ),
5. tracé door onbebouwd gebied met zuidelijke ligging, haaks Vecht (in-situ),
6. tracé door onbebouwd gebied met zuidelijke ligging, ruim (in-situ).

In dit document worden de overwegingen beschreven die hebben geleid tot de totstandkoming van deze zes tracés. Tevens worden in dit document de overwegingen beschreven die hebben geleid tot de keuze voor drie tracés aansluitend op het bestaande, uitgebreide knooppunt Muiderberg en twee tracés aansluitend op het gereconstrueerde knooppunt Muiderberg.

Het resultaat van de selectie van de drie horizontale tracés aansluitend op het bestaand, uitgebreid knooppunt Muiderberg bestaat uit een overzichtstekening met nummer TMH-DA-022 schaal 1 : 10.000 met daarop de drie geselecteerde tracés:

1. tracé door onbebouwd gebied met midden-ligging (in-situ),
2. tracé door onbebouwd gebied (boortunnel),
3. tracé door onbebouwd gebied met zuidelijke ligging, haaks Vecht (in situ).

Het tracé door onbebouwd (nr. 2, boortunnel) en dat met zuidelijke ligging, haaks Vecht (nr. 3, in-situ), zijn aangepast voor aansluiting op een volledig gereconstrueerd (en daardoor van plaats verschoven) knooppunt Muiderberg, het meest waarschijnlijke ontwerp voor dit knooppunt. Het resultaat van deze twee geoptimaliseerde tracés is weergegeven op een overzichtstekening met nummer TMH-DA-024 schaal 1 : 10.000.

1.6 Relatie met andere projectonderdelen

De tracés voor de tunnel hebben een relatie op de aanpassingen en reconstructies die voor de knooppunten Holendrecht en met name Muiderberg voorgesteld worden. Voor de twee geselecteerde tracé-varianten, aangepast op het meest waarschijnlijke toekomstige knooppunt Muiderberg, kunnen vervolgens de verticale alignementen worden bepaald en kunnen de aansluitingen van de tunnel (toeritten) op de (verbindingswegen behorend tot de) knooppunten Muiderberg (A6) en Holendrecht (A9) uitgewerkt worden. Tevens kan dan een koppeling gelegd worden met de te ontwikkelen dwarsprofielen.

2 Voorgestelde en keuze van tracés

2.1 Algemeen

Voor het ondergronds verbinden van de knooppunten Muiderberg en Holendrecht zijn in het totaal zes tracés voorgesteld. In de volgende paragrafen worden per tracé de overwegingen beschreven die hebben geleid tot de totstandkoming van deze tracés en de selectie van twee tracés voor verdere uitwerking.

In zijn algemeenheid geldt dat voor alle tracés een ontwerpsnelheid van 120 km/uur is gehanteerd. Voor het aansluiten van de tunneltracés op het hoofdwegennet zijn de bestaande (uitgebreide) knooppunten Muiderberg (A6/A1) en Holendrecht (A9/A2) aangehouden. Op de bijbehorende tekening TMH-DA-021 zijn van de tracés voor de in-situ tunnels alleen (op de middens van de bogen) de boogstralen aangegeven.

Van de tunnels in de verbindingbogen tussen de spoorlijn Weesp – Hilversum en de aftakking naar Almere zijn de volgende zaken bekend en in de bepaling van de tracés meegenomen:

1. Flevoboog (Weesp – Almere):
 - booglengte: circa 990m,
 - boogstraal: 900m,
 - buitenwerkse bakbreedte: 9,0m (bodemplaat),
 - diepte onderzijde tunnelbak: circa 7,5 m- NAP (ex. pompkelder),
 - heipaallengte onder onderzijde tunnelbak: maximaal 12,5m,
 - einde van de tunnelbak aan Almere-zijde in xy-coördinaten bekend.
2. Gooiboog (Hilversum – Almere):
 - begin en einde van de tunnelbak in xy-coördinaten bekend,
 - boogstraal: 503m,
 - diepste punt heipalen: circa 18,50m- NAP

Tracés 2, 4, 5 en 6, die voor in-situ te bouwen tunnels zijn ontwikkeld zijn in principe ook geschikt voor boortunnels. Aandachtspunten zijn dan wel de zichtlengte in krappe bogen en de aan te houden marge tot de spoorwegonderdoorgangen. Omgekeerd geldt dat de tracés 1 en 3 die voor boortunnels zijn ontwikkeld per definitie niet geschikt zijn voor in-situ tunnels. Als uitgangspunt is voor de in-situ tunnels een afstand van circa 50m aangehouden tussen buitenkant beton van de spoorwegonderdoorgang van de Gooiboog en de as van het tracé van de wegverkeerstunnel.

Van alle tracés is de lengte bepaald. Omdat in het betreffende stadium van het ontwerpproces niet precies bekend was waar de toe- en uitritten en de gesloten tunneldelen zelf zullen beginnen zijn als begin en eindpunten van alle tracés arbitrair ongeveer de middens van de bestaande knooppunten Muiderberg (A6/A1) en Holendrecht (A9/A2) aangehouden, zie ook het onderdeel "Vormgeving van de knooppunten Muiderberg & Holendrecht".

2.2 tracé onder bebouwd gebied (boortunnel)

Het tracé onder bebouwd gebied is gebaseerd op het uitgangspunt dat met een geboorde tunnel de kortste verbinding tussen de bestaande knooppunten Muiderberg (A6) en Holendrecht (A9) is te realiseren.

In vergelijking met de overige vijf voorgestelde tracés valt op dat:

- het tracé over een lengte van circa 900m onder bebouwd gebied loopt, waardoor een uitvoering als boortunnel met een zeer diepe ligging, of een minder diepe ligging met aanvullende preventieve maatregelen, noodzakelijk lijkt. Tevens zijn mogelijk correctieve maatregelen niet uit te sluiten.
- een ligging onder de vestinggracht van Weesp en het tracé van de N236 Gooilandseweg mogelijk lijkt, waardoor risico's (en dus kosten) met betrekking tot schade aan bestaande bebouwing mogelijk beperkt kunnen worden (zie Figuur 1 in Bijlage 1),
- dit het kortste tracé tussen de knooppunten is met een lengte van circa 11.334m.

Bij de beoordeling van dit tracé zijn de volgende zaken aan de orde gekomen:

1. het risico vanwege de ligging onder of in de nabijheid van bebouwing met mogelijk historische waarde weegt zeer waarschijnlijk niet op tegen de kortere lengte van de tunnel,
2. de optimalisatie van de ligging van de tunnel onder de vestinggracht van Weesp en het tracé van de N360 lijkt vanwege de benodigde boogstralen en de breedte van het tunneltracé onvoldoende mogelijkheden te bieden om de bebouwing te omzeilen
3. de boogstralen in dit tracé zijn zo ruim dat ruimschoots voldaan wordt aan de minimum eis bij 120km/uur en ook geen bochtverbreding hoeft te worden toegepast.

De eerste twee aspecten hebben er toe geleid dat dit tracé niet verder uitgewerkt gaat worden.

2.3 Tracé door onbebouwd gebied met midden-ligging (in-situ)

Het tracé door onbebouwd gebied met ligging midden door het spoorwegknooppunt is ontwikkeld voor een in-situ te bouwen tunnel. Als uitgangspunt is genomen dat de verkeerstunnel tussen de tunnelbakken van de Flevoboog en de Gooiboog wordt geprojecteerd.

Haaks op de Gooiboog gemeten is tussen beide spoorwegonderdoorgangen een ruimte van circa 178m beschikbaar. Het weergegeven tracé is geoptimaliseerd op de afspraak de afstand tussen "raakpunt" aan de bakconstructie van de Gooiboog en de as van het tracé 50m te laten bedragen.

In dit alignement is een minimale boogstraal van 1.800m aangehouden, in aansluiting met rechtstanden en opeenvolgende bogen zijn overgangsbogen toegepast. Tussen de as van dit tracé en de meest nabij gelegen hoek van de bakconstructie van de Flevo-spoorboog resteert dan een ruimte van 55m. In relatie tot de aan te houden ruimte naar de spoorbakken blijven er voor het verruimen van de boogstralen of andere aanpassingen van het tracé (vanwege bijvoorbeeld verplaatsing van knooppunt Muiderberg) weinig mogelijkheden over. Vanwege de benodigde zichtlengte is bij een horizontale boogstraal van 1.800m bij een ontwerpsnelheid van 120 km/uur en de in de dwarsprofielen aangehouden objectafstand van 1,0m over de lengte van de boog een verbreding nodig van 1,7m per tunnelkoker.

In vergelijking met de overige vijf voorgestelde tracés valt op dat:

- het tracé van de Flevo-spoorlijn onder een geringe hoek gekruist wordt, wat tijdens de bouw hulpbruggen met grote overspanningslengte en eventueel tussensteunpunten noodzakelijk maakt,
- dit qua lengte het vierde tracé tussen de knooppunten is met een lengte van circa 11.750m, circa 416m langer dan het kortste tracé van circa 11.334m.

Bij de beoordeling van dit tracé is het volgende aan de orde gekomen dat:

1. de geografische ligging van dit tracé ten opzicht van de tracés met zuidelijke ligging gunstig is ten opzichte van het te ontzien gebied rond het Naardermeer,
2. het lengteverschil met de kortste in-situ te bouwen variant nihil is,
3. de passage van de spoorwegkunstwerken in Gooi-en Flevoboog mogelijk kritisch is.

Op basis van het eerste aspect is besloten om dit tracé in het verdere onderzoek mee te nemen.

2.4 Tracé door onbebouwd gebied (boortunnel)

Het tracé door onbebouwd gebied is gebaseerd op het uitgangspunt van de kortste mogelijke verbinding tussen de bestaande knooppunten Muiderberg (A6) en Holendrecht (A9) met een door onbebouwd gebied geprojecteerde tunnel.

In vergelijking met de overige vijf voorgestelde tracés valt op dat:

- het tracé de tunnelbak van de Gooiboog op het diepste punt kruist;
 - omdat dit een tunnelbak op palen betreft (in de gebruiksfase worden de palen alleen op druk belast) lijkt de aanleg van een in-situ tunnel uitvoeringstechnisch gezien risicovol te zijn.
 - een uitvoering als boortunnel met een zo ondiep mogelijke ligging (*in verband met de aansluiting op knooppunt Muiderberg*) met aanvullende preventieve maatregelen noodzakelijk lijkt.
- dit qua lengte het tweede tracé tussen de knooppunten is met een lengte van circa 11.419m, circa 85m langer dan het kortste tracé van circa 11.334m.

Bij de beoordeling van dit tracé is het volgende aan de orde gekomen:

1. dit tracé is na het afvallen van het tracé voor een tunnel onder het bebouwde gebied (van Weesp) de kortste verbinding tussen de bestaande knooppunten Muiderberg en Holendrecht,
2. de kruising met de spoorwegonderdoorgang in de Gooiboog wordt als boortunnel uitvoerbaar geacht, naar aanleiding van een gesprek met Holland Rail Consult wordt kruising middels een in-situ tunnel technisch niet onmogelijk geacht, de risico's en aanvullende maatregelen zijn groot,
3. de boogstralen in dit tracé zijn zo ruim dat ruimschoots voldaan wordt aan de minimum eis bij 120km/uur en ook geen bochtverbreding hoeft te worden toegepast.

Vanwege deze risico's en bijbehorende kosten wordt dit tracé niet geselecteerd als in-situ tunnel tracé. Dit tracé wordt wel geselecteerd voor verdere uitwerking als tracé voor een boortunnel. Vanwege de aansluiting op het hooggelegen knooppunt Muiderberg wordt dit tracé met een diepe ligging onder de Gooiboog in verticaal opzicht het meest kritische geacht.

2.5 Tracé door onbebouwd gebied met zuidelijke ligging, kortste (in-situ)

Het tracé door onbebouwd gebied met zuidelijke ligging is ontwikkeld voor een in situ te bouwen tunnel. Van dit type bestaan drie sub-varianten: een kortste (§ 2.5), één waarbij de Vecht haaks wordt gekruist (§ 2.6), en één met ruime boogstralen (§ 2.7). Deze paragraaf betreft de eerste (kortste) sub-variant.

Als uitgangspunt is genomen dat, gezien de te verwachten problemen, de tunnelbakken van de Flevoboog en de Gooiboog worden gemeden. Hierbij is een minimaal in acht te nemen afstand van 50m aangehouden. In dit alignement is een minimale boogstraal van 1.800m aangehouden, in aansluiting met rechtstanden en opeenvolgende bogen zijn overgangsbogen toegepast.

Vanwege de benodigde zichtlengte bij een ontwerpsnelheid van 120 km/uur is bij een horizontale boogstraal van 1.800m en de in de dwarsprofielen aangehouden objectafstand van 1,0m over de lengte van de boog een verbreding nodig van 1,7m per tunnelkoker.

In vergelijking met de overige vijf voorgestelde tracés valt op dat:

- dit tracé (toevallig) over een lengte van circa 900m samenvalt met de rivier De Vecht, dit maakt een bouwwijze met een gefaseerd uitbouwen in de Vecht onmogelijk, een bouwwijze als afgezonken tunnel met de daarbij behorende voorzieningen (bouwdok) lijkt hier noodzakelijk,
- dit tracé geen scheve kruisingen met spoorlijnen bevat,
- dit qua lengte het derde tracé tussen de knooppunten is met een lengte van circa 11.714m, circa 380m langer dan het kortste tracé van circa 11.334m.

Bij de beoordeling van dit tracé is het volgende aan de orde gekomen:

1. dat het voor de hand ligt om de Vecht haaks te kruisen, omdat de (tijdelijke) impact op de omgeving van de afgezonken bouwmethode bij de benodigde lengte relatief groot is.
2. dat het nadeel van het relatief lange afgezonken gedeelte niet opweegt tegen de kortere lengte van de tunnel.

Deze twee aspecten hebben er toe geleid dat dit tracé niet is geselecteerd voor verdere uitwerking.

2.6 Tracé door onbebouwd gebied met zuidelijke ligging, haaks Vecht (in-situ)

Dit betreft de tweede sub-variant van het tracé door onbebouwd gebied met zuidelijke ligging; met haakse kruising van De Vecht. Verder worden dezelfde uitgangspunten gehanteerd ten aanzien van boogstralen, bochtverbreding en afstand tot de Gooiboog.

In vergelijking met de overige vijf voorgestelde tracés valt op dat:

- dit tracé over een lengte van circa 80m samenvalt met de rivier De Vecht, dit maakt een bouwwijze met een gefaseerd uitbouwen in de Vecht mogelijk,
- dit tracé geen scheve kruisingen met spoorlijnen bevat,
- dit tracé het verst afbuigt van het kortste tracé (met de boortunnel onder bebouwing),
- dit qua lengte dan ook het langste tracé tussen de knooppunten is met een lengte van circa 11.952m, circa 618m langer dan het kortste tracé van circa 11.334m.

Bij de beoordeling van dit tracé is het volgende aan de orde gekomen:

1. dat het is logisch om de Vecht haaks te kruisen, omdat de (tijdelijke) impact op de omgeving van de afgezonken bouwmethode bij de benodigde lengte relatief groot is.

Dit aspect heeft er toe geleid dat dit tracé is geselecteerd voor verdere uitwerking.

2.7 Tracé door onbebouwd gebied met zuidelijke ligging, ruim (in-situ)

Dit betreft de derde sub-variant van het tracé door onbebouwd gebied met zuidelijke ligging; met ruime boogstralen.

Als uitgangspunt is genomen dat de tunnelbakken van de Flevoboog en de Gooiboog weer worden gemeden. Hierbij is ook de minimaal in acht te nemen afstand van 50m aangehouden. De rivier De Vecht wordt echter niet meer haaks gekruist. In dit alignement is een minimale boogstraal van 2.500m aangehouden, in aansluiting met rechtstanden en opeenvolgende bogen zijn overgangsbogen toegepast.

De boogstraal van 2.500m voldoet ruimschoots aan de minimale eisen bij een ontwerpsnelheid van 120 km/uur. Tevens heeft deze boogstraal het voordeel dat vanwege zichtlengte geen noodzaak tot plaatselijke aanpassingen van het dwarsprofiel nodig is. Dit is met name een voordeel indien op dit tracé een boortunnel wordt geprojecteerd.

In vergelijking met de overige vijf voorgestelde tracés valt op dat:

- dit tracé ook over de relatief grote lengte van 450m samenvalt met de ligging van de rivier De Vecht, dit maakt een bouwwijze met een gefaseerd uitbouwen in de Vecht onmogelijk, een bouwwijze als afgezonken tunnel, met de daarbij behorende voorzieningen (bouwdok) lijkt ook hier noodzakelijk,
- het tracé geen scheve kruisingen met spoorlijnen bevat,
- dit qua lengte het op één na langste tracé tussen de knooppunten is met een lengte van circa 11.827m, circa 493m langer dan het kortste tracé van circa 11.334m.

Bij de beoordeling van dit tracé is het volgende aan de orde gekomen:

1. dat het is logisch om de Vecht haaks te kruisen, omdat de (tijdelijke) impact op de omgeving van de afgezonken bouwmethode bij de benodigde lengte relatief groot is.
2. dat het nadeel van het relatief lange afgezonken gedeelte niet opweegt tegen de kortere lengte van de tunnel.

Deze twee aspecten hebben er toe geleid dat dit tracé niet is geselecteerd voor verdere uitwerking.

2.8 Samenvatting van alle en de geselecteerde tracés

Tabel 1 Overzicht kenmerken van de voorgestelde tracés, aansluitend op bestaand uitgebreid knooppunt Muiderberg

Tracévariant	Totale lengte tussen de knooppunten [m.]	Kruising met bebouwing 1)	Kruising met spoorweg onderdoorgangen 2)	Kruising met spoorbanen	Lengte kruising Vecht [m.] 3)	Bouwwijze.
bebouwd gebied	11.334	ja	0	2	150	boor
onbebouwd gebied met middenligging,	11.750	nee	0	3	100	in-situ 4)
onbebouwd gebied	11.419	nee	1	2	100	boor
onbebouwd gebied met zuidelijke ligging, kortste	11.714	nee	0	2	900	in-situ 4)
onbebouwd gebied met zuidelijke ligging, haaks Vecht	11.952	nee	0	2	80	in-situ 4)
onbebouwd gebied met zuidelijke ligging, ruim	11.827	nee	0	2	450	In-situ 4)

- 1) Alleen kruising met structurele bebouwing (van Weesp) is aangegeven. Incidentele bebouwing t.p.v. Vecht en Gein is niet aangegeven.
- 2) Diepe kruising onderdoorgang Gooiboog
- 3) Voor de boortunnel varianten niet relevant
- 4) Boortunnel ook mogelijk

Tabel 2 Overzicht kenmerken van de drie geselecteerde tracé varianten, aansluitend op bestaand uitgebreid knooppunt Muiderberg

Tracévariant	Totale lengte tussen de knooppunten [m.]	Kruising met bebouwing	Kruising met spoorweg onderdoorgangen	Kruising met spoorbanen	Lengte kruising Vecht [m.]	Bouwwijze.
onbebouwd gebied met middenligging,	11.750	nee	1	3	100	in-situ
onbebouwd gebied	11.419	nee	1	2	(100)	boor
onbebouwd gebied met zuidelijke ligging, haaks Vecht	11.952	nee	0	2	80	in-situ

3 Aanpassing van de drie tracés

3.1 Ontwikkeling knooppunten

Bij een verdere uitwerking van de knooppunten is gebleken dat door een verdere verschuiving van het zwaartepunt van het verkeersaanbod richting de verbinding Amsterdam – Almere, de bestaande vormgeving van het knooppunt Muiderberg achterhaald is. Een totale reconstructie van het knooppunt om zodoende in te spelen op deze ontwikkelingen, zijn verwoord in de oplossingen zoals genoemd in §4.2.2 en §4.2.3 van de notitie omtrent dit onderwerp¹ en de hieraan gerelateerde oplossingen met een derde wisseltunnelbuis, zie §4.2.4¹. Deze varianten hebben, vanwege de ligging van de Flevolijn, er toe geleid dat de as van de verlengde A6 (westelijk van de A1) een bocht in zuidelijke richting heeft gekregen. Hierdoor is met name het voorgestelde tracé met de ligging midden door het spoorwegknooppunt moeilijker op knooppunt Muiderberg aan te sluiten.

Aangezien deze totale reconstructie van knooppunt Muiderberg een aanzienlijke ingreep is op het bestaande knooppunt en de aanlegkosten navenant zijn, is ook gekeken naar een oplossing welke uitgaat van het uitbreiden van het bestaande knooppunt Muiderberg met een aansluiting op de tunnel en capaciteitsuitbreiding binnen het knooppunt, middels extra rijstroken, zie §4.2.1¹.

3.2 Uitwerken horizontale tracés

Bij de aanpassing van het tracé voor de in-situ tunnel met de midden-ligging is het volgende aan de orde gekomen:

- 1) de afbuiging van de as van de verlengde A6 in zuidelijke richting heeft een zeer ongunstige uitwerking op de aansluitmogelijkheden van de tunnel op knooppunt Muiderberg, deze aanpassing van de as is nodig omdat anders de verbinding Almere-Bussum niet op de gebruikelijke wijze te realiseren lijkt.

Op basis van dit aspect is besloten om dit tracé niet verder uit te werken voor aansluiting op dit gereconstrueerde knooppunt Muiderberg. Opgemerkt kan worden dat dit aspect ook, zelfs in hogere mate, speelt voor het niet geselecteerde tracé van een boortunnel onder het bebouwde gebied (van Weesp).

Voor de twee overgebleven tracés zijn de horizontale alignementen op de ontworpen as van het gereconstrueerde knooppunt Muiderberg aangesloten. Met name bij knooppunt Muiderberg vallen de einden van de uitgewerkte tracés hierdoor niet meer strikt samen met de middens van de knooppunten. In knooppunt Muiderberg is er voor gekozen het begin van de bocht in de wisselbaan met de straal van 1.000m als beginpunt voor de nader uitgewerkte tracés te nemen. Het beginpunt van de tracés ligt daarmee 200m

¹ Het deelrapport 3d "Vormgeving van de knooppunten Muiderberg en Holendrecht," dd 300902

noordoostelijk (Almere zijde) van de as van de A1 (onder de verbindingsboog van Hilversum naar de tunnel).

Door de reconstructie van knooppunt Muiderberg verschuiven de tracés van de tunnels tussen het knooppunt Muiderberg en het Amsterdam-Rijnkanaal enigszins naar het zuidoosten, richting het Naardermeer. Tezamen met de herdefiniëring van het beginpunt van de tracés heeft dit als invloed dat het uitgewerkte tracé van de boortunnel door onbebouwd gebied 191m langer wordt.

Tevens komt het tracé van deze boortunnel meer in de nabijheid van het maatgevende gedeelte van de Gooiboog te liggen; het deel onder de spoorlijn Weesp – Hilversum. Om vanwege de heipalen onder dit deel van de Gooiboog een 5m diepere ligging van de boortunnel te vermijden moet de as van dit tracé horizontaal tenminste 50m afstand houden tot het deel van de Gooiboog (139m lang) met deze diepe ligging. Het hart van dit tracé moet daarom de Gooiboog bij voorkeur niet tussen 286 en 525m vanaf het begin aan de Hilversumse zijde kruisen ($286 + 50 + 139 + 50 = 525$).

Door de verschuiving richting het Naardermeer is er ruimte om het tracé voor de in-situ tunnel zuidelijk om het spoorwegknooppunt en haaks op de Vecht te optimaliseren. Het zicht voor de automobilisten verbetert door de boogstralen van 1.800m te verruimen naar 2.500m. Bij de voor tunnels gebruikelijke object afstand van 1,0m in de tunneldwarsdoorsneden is het bij een ontwerpsnelheid van 120 km/uur vanwege zicht wenselijk om boogstralen van tenminste circa 2.500m toe te passen. De boortunnel voldoet daar ruimschoots aan. De lengte van het uitgewerkte tracé voor de in-situ tunnel neemt in het totaal met 120m toe, waarvan 85m is toe te schrijven aan de bocht-verruiming, de rest komt voor rekening van het verschuiven van de tracés (voor deze variant in gunstige richting) en de herdefiniëring van het beginpunt.

Om bij een boogstraal van 1.800m toch een veilige tunnel te verkrijgen is het ook mogelijk over de gehele lengte van de boogstraal van 1.800 m (in het uitgewerkte tracé voor de in-situ variant toevallig een lengte van ook 1.800m) een tunnelbuis-verbreding van 1,70m toe te passen. Een globale kostenafweging geeft aan dat bij het aantal extra benodigde m² tunnel bij een verlenging circa 60% minder bedraagt dan dat bij een vergroting van de objectafstand; ($85 \times 30,75 = 2.614 \text{ m}^2$) versus ($1.800 \times 2 \times 1,70 = 6.120 \text{ m}^2$). De voorkeur gaat dan ook uit naar het toepassen van ruimere boogstralen.

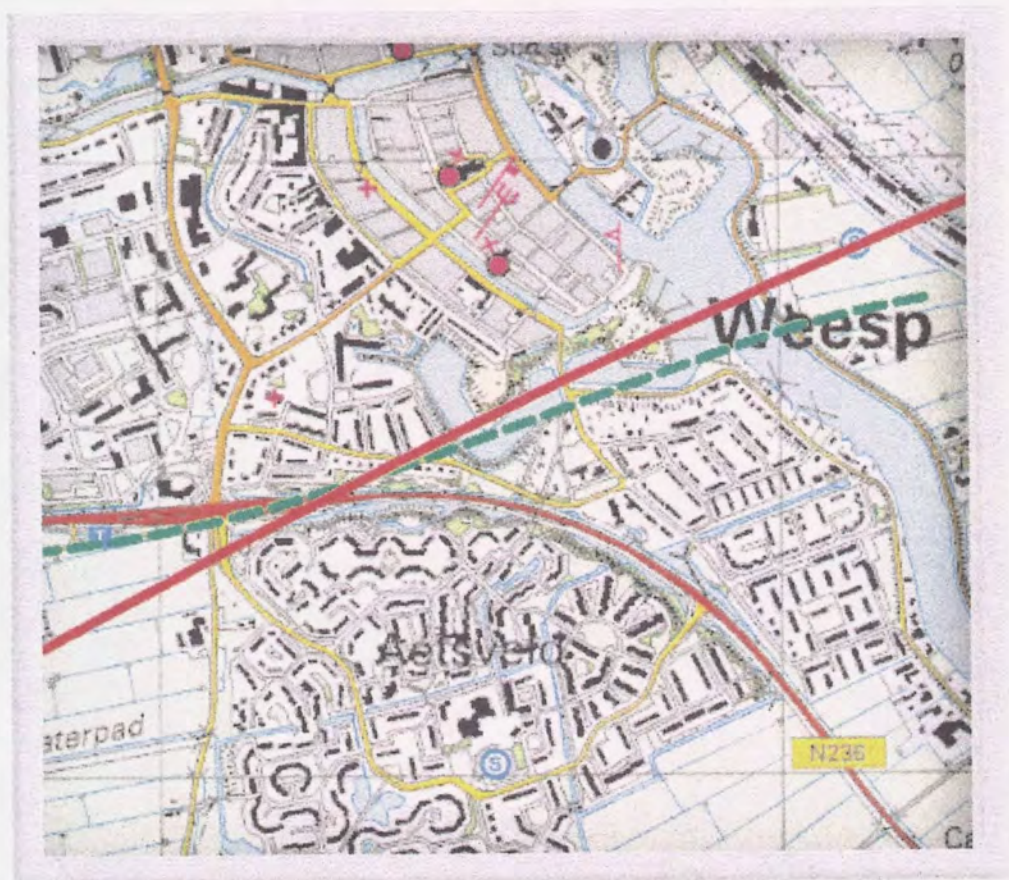
De volgens deze uitgangspunten bijgestelde tracés zijn weergegeven in tekening met nummer TMH-DA-024. De kenmerken van deze twee tracés staan weergegeven in

Tabel 3, waarbij de lengtes van de uitgewerkte tracés van ondergeschikt belang zijn ten opzichte van de lengtes van de gesloten delen van de tunnels. Deze tracékenmerken zijn de basis voor de verticale alignementen.

Tabel 3 Overzicht kenmerken van de twee tracé varianten, aansluitend op het gereconstrueerde knooppunt Muiderberg

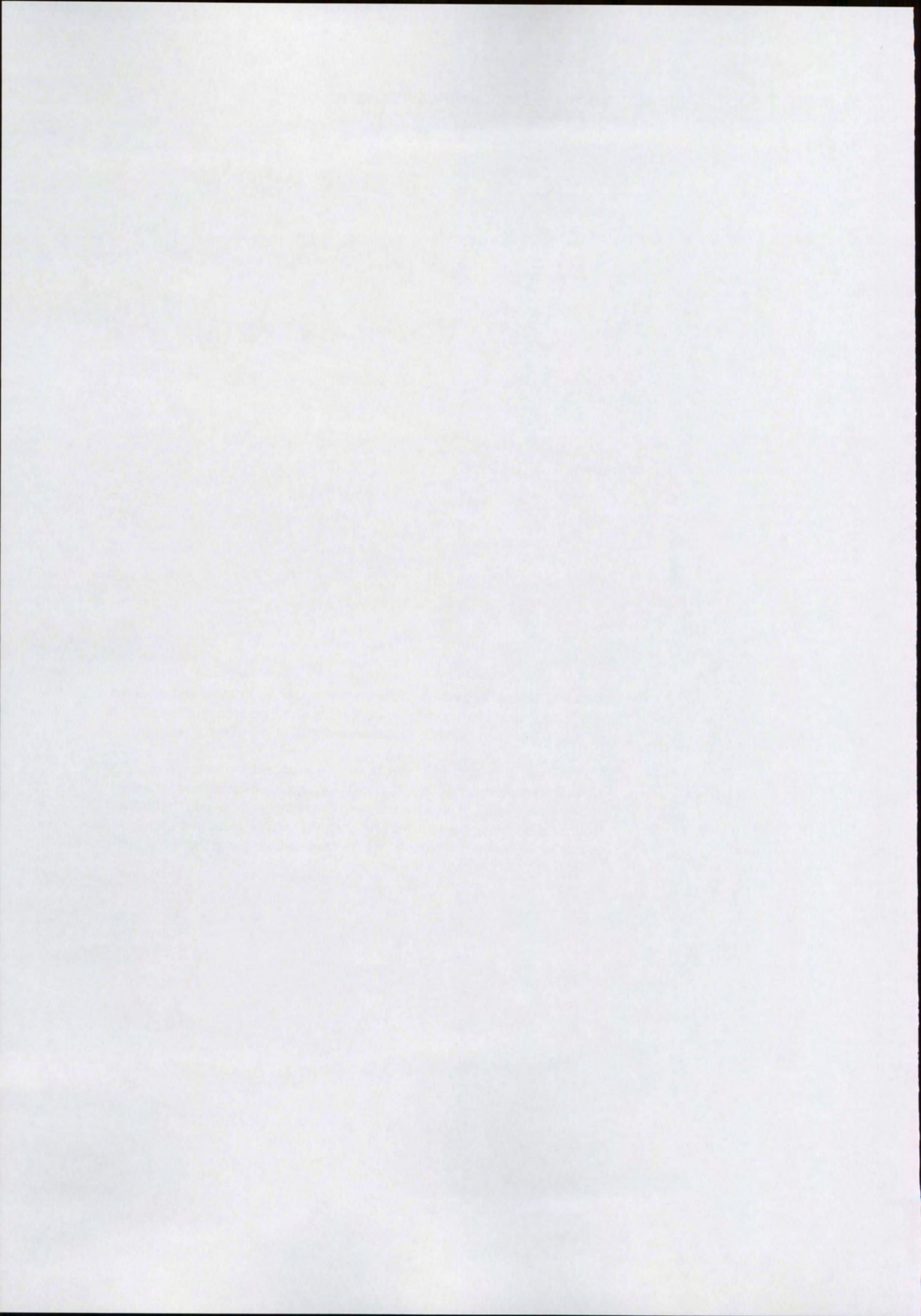
Tracé-variant	Lengte uitge- werkt tracé [m]	Lengte dicht tunnel- deel [m.]	Kruising met bebou- wing	Kruising spoorweg onderdoor- gangen	Kruising met spoor- banen	Lengte kruising Vecht [m.]	Bouw- wijze
onbebouwd gebied	11.592	6.914	nee	1	2	(100)	boor
onbebouwd gebied met zuidelijke ligging, haaks Vecht	12.072	7.365	nee	0	2	80	in-situ

Bijlage 1 Optimalisatie voor de boortunnel Weesp



Figuur 1 In rood het voorgestelde tracé voor een boortunnel onder bebouwd gebied ten opzichte ligging van de vestinggracht van Weesp en het tracé van de N236 Gooilandseweg en in groen de optimalisatie.

Op basis van deze figuur lijkt een ligging meer geconcentreerd op ligging onder de vestinggracht en onder het tracé van de N236 Gooilandseweg mogelijk waardoor risico op schade en hinder voor bovenliggende (woon) bebouwing afneemt. Consequenties vanwege de breedtes van totale tunneltracés (van de diverse varianten) en met betrekking tot realiseerbare boogstralen zijn niet nader onderzocht.



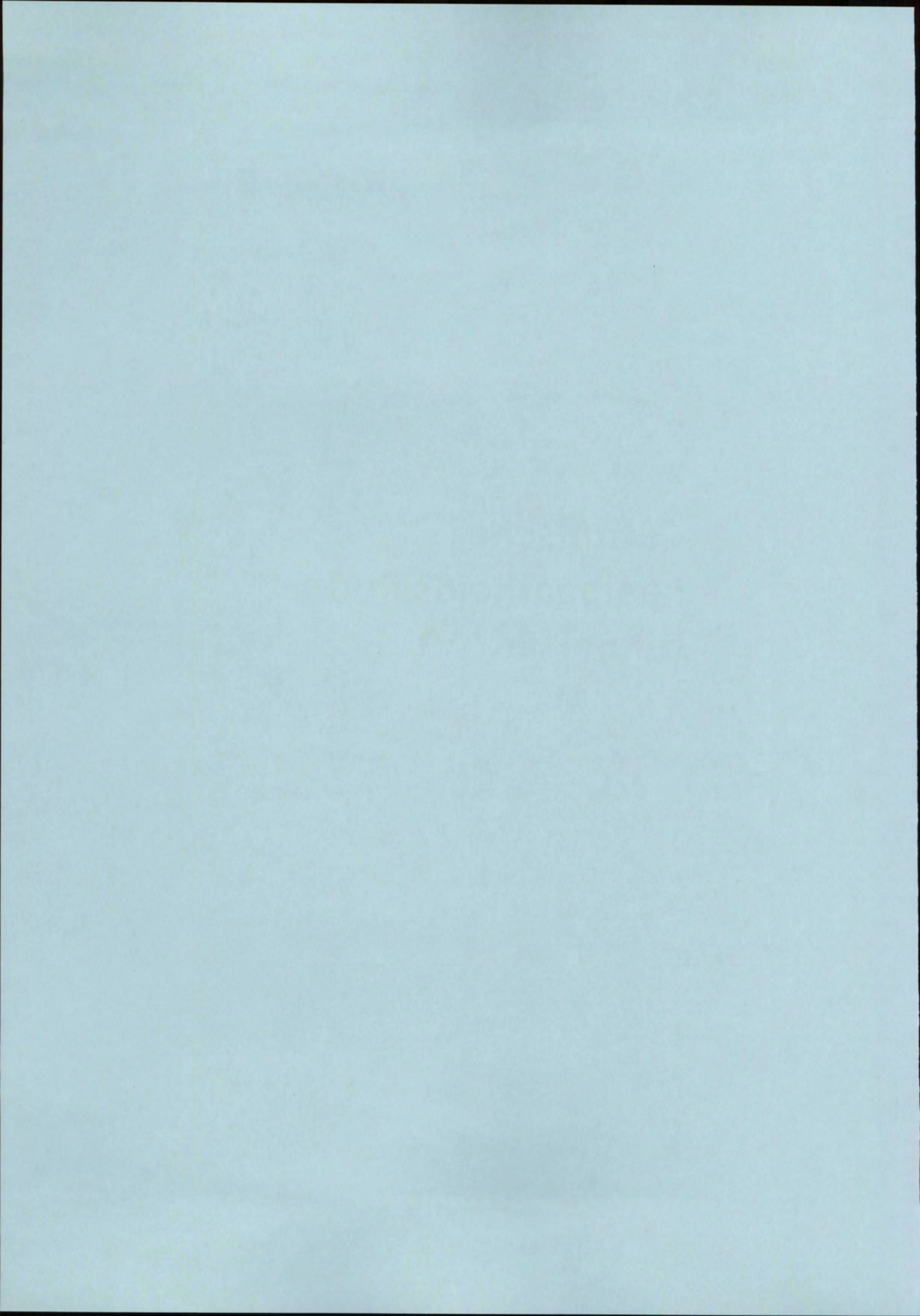


Technische haalbaarheidsstudie tunnel A6/A9

Deelrapport 3c

Verticale alignementen

30 september 2002



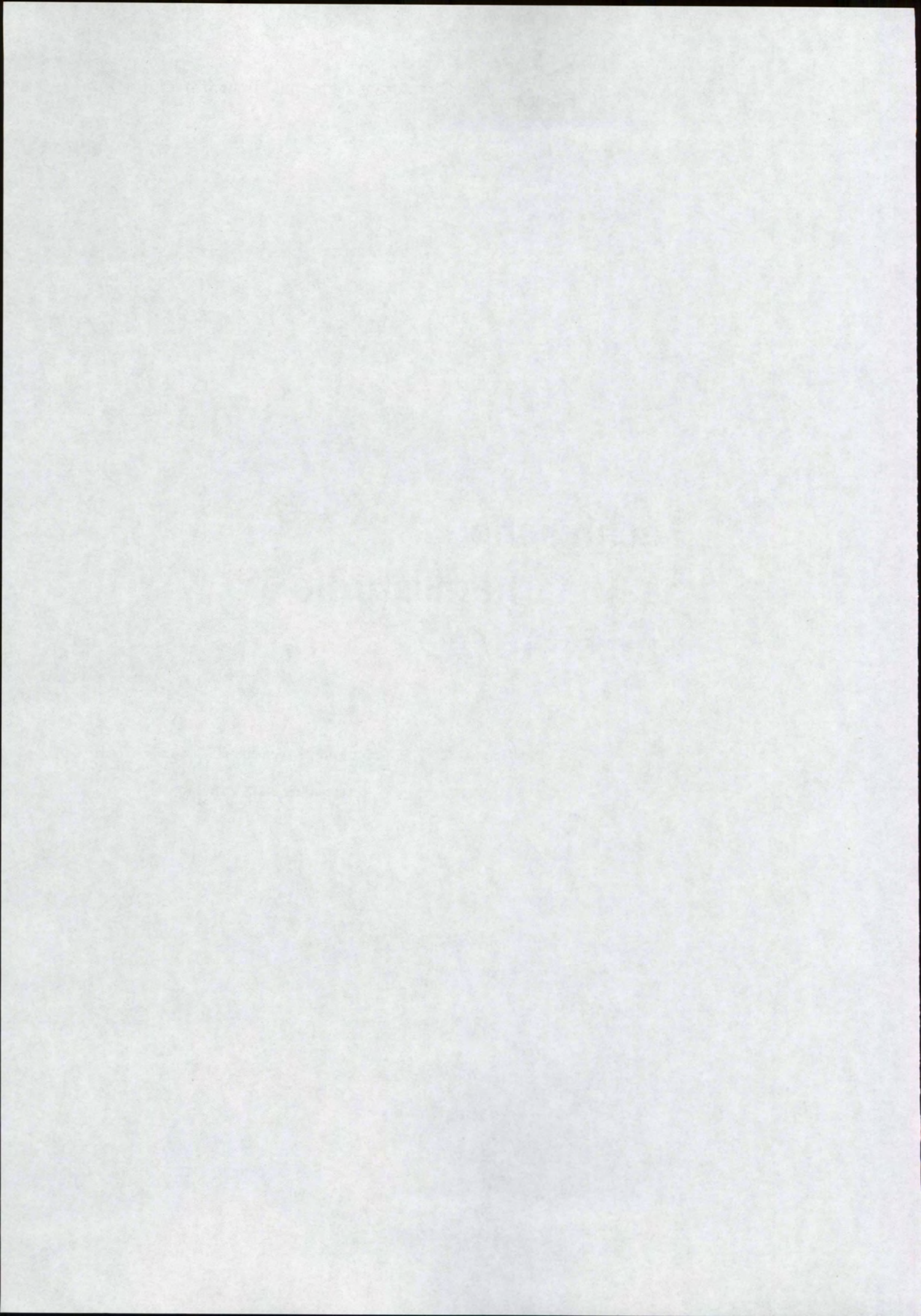


Technische haalbaarheidsstudie tunnel A6/A9

Deelrapport 3c

Verticale alignementen

30 september 2002



Inhoudsopgave

1	Documentinhoud	5
1.1	Inhoud document	5
1.2	Doelstelling	5
1.3	Afbakening	5
1.4	Resultaat	6
1.5	Relatie met andere projectonderdelen	6
2	Verticale alignementen van de twee tracés	7
2.1	Tunnelvarianten	7
2.2	Algemene uitgangspunten	8
2.3	Verticaal alignement in situ tunnel	9
2.4	Verticaal alignement boortunnel	10
3	Optimalisatie verticale alignementen	12
3.1	Verticaal alignement in situ tunnel	12
3.2	Verticaal alignement boortunnel	13
3.3	Verticaal alignement Parijse boortunnel	15
3.4	Aansluiting op de knooppunten	15
4	Aansluiting op de knooppunten	17
4.1	Verkeersintensiteit	17
4.2	Aansluitvarianten	18
4.3	Keuze aansluitvariant	19
4.4	Hoogteligging aansluiting	19
4.4.1	de samenvoeging buiten het gesloten gedeelte van de tunnel houden	20
4.4.2	de samenvoeging "buiten het zicht" laten plaatsvinden	20
4.4.3	binnen de tunnelbak geen "broekstuk".	21
4.5	Maatvoering bij 120 km/uur	21
4.6	Maatvoering 90 km/uur "Parijse" variant	24
4.6.1	aansluiting en snelheidsregiem	24
4.6.2	verticale baanverlegging	24
4.6.3	horizontale baanverlegging	24
4.6.4	maatvoering in langsrichting	24
4.6.5	in-situ te bouwen overkapping	25
4.6.6	totale lengte van de inritten	25
4.6.7	maatvoering in dwarsrichting	25
4.7	Kenmerken uiteindelijke tracés en alignementen drie hoofdvarianten	28

Bijlage 1 Vormgeving taper samenvoeging met afstreping
Bijlage 2 Capaciteit taper samenvoeging met afstreping

Lijst van bijbehorende tekeningen:

- Uitgewerkte twee tracés aansluitend op gereconstrueerd knooppunt Muiderberg, nummer TMH-DA-024 schaal 1 : 10.000
- Verticaal alignement in situ tunnel met zuidelijke ligging, haaks Vecht, nummer TMH-DA-026 schaal 1 : 5.000
- Verticaal alignement in situ tunnel met zuidelijke ligging, haaks Vecht, gestrekt, nummer TMH-DA-027 schaal 1 : 5.000
- Verticaal alignement boortunnel onder Gooiboog, nummer TMH-DA-028 schaal 1 : 5.000
- Verticaal alignement boortunnel onder Gooiboog, Parijse variant, nummer TMH-DA-029 schaal 1 : 5.000

1 Documentinhoud

1.1 Inhoud document

Dit Bouwdienst document beschrijft de overwegingen die geleid hebben tot een aantal voorgestelde verticale alignementen. Dit vormt de uitwerking van de tweede door de Bouwdienst afdeling Wegontwerp uitgevoerde activiteit binnen de technische haalbaarheidsstudie A6/A9, zoals omschreven in het plan van aanpak:

4. *Ontwerpen verticaal alignement*
Van de in stap 2 vastgestelde tunnelvarianten wordt een verticaal alignement opgesteld, waarbij speciale aandacht wordt geschonken aan de obstakels in de vorm van kruisende spoor-, water- en landwegen (lengteprofiel 1:10.000), en aan de interne en externe veiligheid (verbindingen naar maaiveld, kruising waterkeringen).

Daarnaast beschrijft dit document de overwegingen die geleid hebben tot een eerste uitwerking van de aansluiting van de tunnel op de aanliggende knooppunten. Dit betreft de aansluiting op de varianten van de hooggelegen knooppunten, feitelijk een onderwerp voor uitwerking door de Directie Noord-Holland, zie de onderscheiden activiteiten binnen de technische haalbaarheidsstudie A6/A9, zoals omschreven in het plan van aanpak:

5. *Ontwerpen knooppunten Muiderberg en Holendrecht*
De aansluiting van de tunnelverbinding op de knooppunten Holendrecht (A9) en Muiderberg (A6) worden onderzocht en op basis van het horizontaal en verticaal alignement ontworpen (1:5.000). Ook hier zijn verschillende varianten denkbaar. Uitgegaan wordt van minimaal 2 (hoog en laag) en max. 4 varianten per knooppunt.

1.2 Doelstelling

Hoofddoelstellingen van dit document:

- *Genereren van verticale tunnel-alignementen voor de twee geoptimaliseerde tracés,*
- *Genereren van aansluitingen op de knooppunten,*
- *Verzamelen respectievelijk onderzoeken van aandachtspunten binnen het studiegebied:*

Daarbij worden alleen die aspecten onderzocht die relevant zijn voor de technische haalbaarheid van een tunnel, of de raming van de kosten.

1.3 Afbakening

Dit document beperkt zich tot:

1. uitwerking van verticale alignementen van de twee geoptimaliseerde horizontale alignementen (=tracés),
2. vanuit wegontwerp optimaliseren van deze twee verticale alignementen,
3. leveren van een aanzet voor de aansluiting van deze verticale alignementen op hooggelegen knooppunten.

1.4 Resultaat

De verticale alignementen zijn opgesteld voor de twee op de reconstructie van het knooppunt Muiderberg aangepaste tracés, weergegeven op de overzichtstekening met nummer TMH-DA-024 schaal 1 : 10.000:

3. tracé door onbebouwd gebied, (boortunnel),
5. tracé door onbebouwd gebied met zuidelijke ligging, haaks Vecht (in situ).

In dit document worden de overwegingen beschreven die hebben geleid tot de ontwikkeling van verticale alignementen voor deze twee tracés. Voor het tracé van de boortunnel zijn twee varianten bepaald, dus in het totaal drie verticale alignementen.

Het resultaat van de uitwerking voor de twee tracés van vier verticale alignementen, de optimalisatie vanuit wegontwerp, en de aanzet voor de aansluiting van deze tracés op hooggelegen knooppunten is weergegeven in vier overzichtstekeningen schaal 1 : 5.000 met de nummers:

1. TMH-DA-026 in situ tunnel met zuidelijke ligging, haaks Vecht,
2. TMH-DA-027 in situ tunnel met zuidelijke ligging, haaks Vecht, gestrekt
3. TMH-DA-028 boortunnel onder Gooiboog en
4. TMH-DA-029 boortunnel onder Gooiboog, Parijse variant.

1.5 Relatie met andere projectonderdelen

Dit document sluit aan bij het document waarin de totstandkoming van zes tracés zijn beschreven, de keuze voor drie tracés en de optimalisatie van het boortunneltracé en het tracé door onbebouwd gebied met zuidelijke ligging en haakse kruising van de Vecht.

Nadat de verticale alignementen voor de geoptimaliseerde tracés zijn bepaald kunnen de aansluitingen van de tunnel (toeritten) op de (verbindingswegen behorend tot de meest waarschijnlijke liggingen van de) knooppunten Muiderberg (A6) en Holendrecht (A9) uitgewerkt worden. Indien vervolgens een koppeling gelegd wordt met de te ontwikkelen dwarsprofielen kunnen kosten geraamd gaan worden.

2 Verticale alignementen van de twee tracés

2.1 Tunnelvarianten

Er worden drie verschillende verticale alignementen uitgewerkt:

1. in-situ tunnelvarianten IST1-2
(de IST-2 wisselkokervariant is als uitgangspunt genomen omdat dit aansluit bij de uitgangspunten ten aanzien van de aansluitingen met de knooppunten),
2. boortunnelvarianten BT-1 tot en met BT-4
(de BT-3 wisselkokervariant is als uitgangspunt genomen omdat de diepteligging voor deze variant met de grootste diameter maatgevend is)
3. boortunnelvariant BT-5.

In dit hoofdstuk worden er voor de in-situ en de boortunnelvarianten elk één verticaal alignement uitgewerkt, waarbij de uitgangspunten zoals opgegeven voor de afdeling Tunnelbouw van de Bouwdienst als maatgevende uitgangspunten zijn aangehouden. Na evaluatie van deze eerste aanzet is in hoofdstuk 3:

- een optimalisatie van deze verticale alignementen uitgevoerd,
- verkeersveiligheid betrokken en
- de afwijkende boortunnel, variant BT-5, "Parijse variant" uitgewerkt.

Binnen de twee hoofdvarianten worden voor de boortunnel twee varianten nader beschouwd:

- op het onbebouwde tracé de boortunnel variant BT-1 tot en met BT-3 (de grootste boortunneldiameter \varnothing 15,25m, de varianten BT-2 en BT-4 met een kleinere diameter worden niet beschouwd omdat deze niet maatgevend zijn met betrekking tot de haalbaarheid),
- op het onbebouwde tracé de boortunnel variant BT-5 (de zogenaamde Parijse variant \varnothing 14,90m, dit zijn in feite verticaal 2 parallelle alignementen).

Voor de Parijse variant geldt dat deze twee parallelle alignementen uiteindelijk weer op hetzelfde niveau uit moeten komen. De positie in het horizontaal alignement waarop dit kan gebeuren wordt bepaald door het punt waarop de beide assen weer volledig naast elkaar liggen.

In hoofdstuk 4 wordt nader ingegaan op de vorm en de maatvoering van de aansluiting van de tunnels op de knooppunten.

2.2 Algemene uitgangspunten

Voor de boogstralen van het verticale alignement is de ROA (Richtlijnen Ontwerp Autosnelwegen 1991) aangehouden, waarbij voor ontwerpsnelheden van:

- 120 km/uur voor topbogen een boogstraal van 12.400 m wordt aangehouden en voor voetbogen 24.800m,
- 90 km/uur voor topbogen een boogstraal van 6.500 m wordt aangehouden en voor voetbogen 13.000m,
- 70 km/uur voor topbogen een boogstraal van 3.700 m wordt aangehouden en voor voetbogen 7.400m.

Tussen de plaats waar de verbindingswegen vanaf de knooppunten samenkomen en de ingang van de tunnel komt een samenvoeging. Het begin van deze samenvoeging wordt gevormd door ligging van de puntstukken op de plaats waar de verbindingswegen van de knooppunten samenkomen met de doorgaande rijbanen. In overleg met de Directie Noord-Holland is afgesproken dat:

- bij knooppunt Holendrecht het maatgevende puntstuk op circa 900m uit het hart van de A2 is gelegen,
- bij knooppunt Muiderberg op basis van gegevens omtrent het gereconstrueerde knooppunt het maatgevende puntstuk hier op circa 670m uit het hart van de A1 is gelegen
- het verticale alignement vanuit beide puntstukken met een gebruikelijk topboog naar een horizontaal verloop op 5,0m boven maaiveld gebracht gaat worden, hierbij is niet in detail ingegaan op:
 - de hoogteligging van A1 en A2 ten opzichte van het maaiveld,
 - de verkantingen van de te kruisen en de kruisende rijbanen en
 - de constructiehoogte van de kruisende kunstwerken.

De ligging qua plaats, hoogte en langshelling van de puntstukken die op basis van de voor genoemde uitgangspunten bij deze samenvoegingen horen is voor alle tunnelvarianten gelijk gehouden en bieden bij toekomstige uitwerking van de knooppunten voldoende mogelijkheden voor aansluiting.

Essentieel is dat deze samenvoeging mede vanuit verkeersveiligheid respectievelijk het gewenste wegbeeld buiten het gesloten gedeelte van de tunnel dus in de toeritten moet plaats vinden. Voor deze samenvoeging is voor alle tunnelvarianten een lengte van 1.475m aangehouden, waarbinnen het verkeer in een open tunnelbak zoveel mogelijk aan het zicht onttrokken blijft. Voor de onderbouwing van de lengte van 1.475m wordt verwezen naar hoofdstuk 4.

Het is zeer aannemelijk dat voor de Parijse boortunnel-variant voor de knooppunten een andere ontwerpsnelheid en mogelijk andere knooppuntvorm gekozen zal worden, dit heeft vervolgens invloed op de ligging van de puntstukken (voor de toeritten) en de lengtes van de toeritten zelf. Deze invloed is in dit stadium van studie niet in de alignementen te betrekken.

2.3 Verticaal alignement in situ tunnel

Voor het opstellen van het verticale alignement voor de in-situ tunnel zijn een aantal uitgangspunten opgesteld die in deze paragraaf achtereenvolgens behandeld worden.

Over de tunnallengte zijn hart op hart circa 1.500m ondiepe verticale ventilatie - respectievelijk vluchtschachten noodzakelijk (zie hiervoor Rapport Dwarsprofielen, hoofdstuk 4, Bijzondere voorzieningen), situering zoveel mogelijk bij bestaande infrastructuur.

Voor de minimale langshelling tussen de schachten wordt 1:600 aangehouden (in verband met afvoer lekwater en gevaarlijke stoffen). In principe vormen de schachten het diepste punt, de pompkelders worden in de schachten ondergebracht.

Als normale minimale gronddekking ten opzichte van bestaand maaiveld (bovenzijde tunnelbuis) is circa 2m aangehouden. Hiermee wordt gedacht dat de normale infrastructuur (wegen, watergangen etc etera) boven de tunnel weer in de oude staat teruggebracht kan worden. De noodzakelijke verhogingen in het dak ten behoeve van het onderbrengen van de ventilatoren (de zogenaamde kameelbulten) worden in de gronddekking opgenomen.

De benodigde gronddekking ter plaatse van kruisingen bedraagt:

- A'dam-Rijnkanaal bodemdiepte 6,75m- NAP,
1,15m gronddekking;
- Vecht bodemdiepte 3,75m- NAP,
0,20m bescherm beton op tunneldak
- Gein bodemdiepte 2,55m- NAP,
0,20m bescherm beton op tunneldak

Het niveau van het wegdek onder bovenkant tunnel bedraagt bij beide varianten IST 1 / 2 : 5,85m.

Op basis van deze uitgangspunten is een verticaal tunnel alignement mogelijk waarbij de pompkelders (om deze circa 1.500m) zich steeds op het diepste punt bevinden. Ter plaatse van de tunnelingangen worden ook pompkelders geprojecteerd. Hierbij ligt de tunnel midden tussen de pompkelders met de geringst toelaatbare gronddekking onder maaiveld.

Tussen deze punten en de pompkelders heeft de tunnel vanwege de afvoer van brandgevaarlijke vloeistoffen naar de pompkelders gemiddeld een langshelling van 1:600. Bij een afstand tussen hoogste punt en pompkelder van 750m resulteert dit in een hoogteverschil van 1,25m. De hoogte van het wegdek wisselt hierbij dus steeds van circa 9,25 m- NAP en 10,50m- NAP. Alleen ter plaatse van de kruising met het Amsterdam-Rijnkanaal bevindt het wegdek zich op een diepte van 13,75m- NAP. Tussen de top- en voetbogen van de (ROA) uitgangspunten bevinden zich rechtstanden met constante langshelling.

2.4 Verticaal alignement boortunnel

Voor het opstellen van de eerste aanzet voor het verticale alignement voor de boortunnel zijn een aantal uitgangspunten opgesteld die in deze paragraaf achtereenvolgens behandeld worden.

Over de tunnallengte zijn ook hart op hart circa 1.500m diepe verticale ventilatie- respectievelijk vluchtschachten noodzakelijk, situering bij voorkeur zo dicht mogelijk bij bestaande infrastructuur. Minimale langshelling tussen de schachten ook 1:600 (in verband met afvoer lekwater en gevaarlijke stoffen). In principe vormen de schachten het hoogste punt, met de pompkelders halverwege de schachten in tunnelbuis.

Als normale minimale gronddekking ten opzichte van bestaand maaiveld (bovenzijde tunnelbuis) is circa één maal de boordiameter van 15m aangehouden. Deze dekking is voornamelijk tijdens de bouwfase nodig ter voorkoming van boorfrontinstabiliteit en om inspectie en onderhoud aan het boorfront mogelijk te maken. Voor kruisingen met de vaarwegen wordt een gelijke gronddekking aangehouden ten opzichte van de bodemdiepte:

- A'dam-Rijnkanaal bodemdiepte 6,75m- NAP;
- Vecht bodemdiepte 3,75m- NAP
- Gein bodemdiepte 2,55m- NAP

Bij de passage van de spoorwegonderdoorgang Gooiboog wordt een gronddekking van 5m op inheinniveau palen 18,50m-NAP aangehouden; het algemene inheinniveau. Ter plaatse van de kruising met de spoorlijn Weesp – Hilversum geldt over een lengte van 139m een circa 5m dieper inheinniveau. Op basis van het algemene inheinniveau van 18,50m- NAP volgt voor de ligging van bovenzijde tunnelbuis 23,50m-NAP en voor het wegdek in de tunnel 33,16m-NAP.

Het niveau van de boortunnel ter plaatse van de schachten naast verdiepingen (kruisingen Gooiboog en vaarwegen) wordt bij voorkeur zo hoog mogelijk gehouden (indien mogelijk 15m gronddekking). De benodigde gronddekking (ten opzichte van bestaande maaiveld) aan het einde van de boortunnel bedraagt 4m, bestaande uit 3m cohesief zand (grondverbetering) en 1m afdeklaag. Ter beperking van deze maatregel zou hier het verticaal alignement zo steil mogelijk, 4,5% genomen moeten worden.

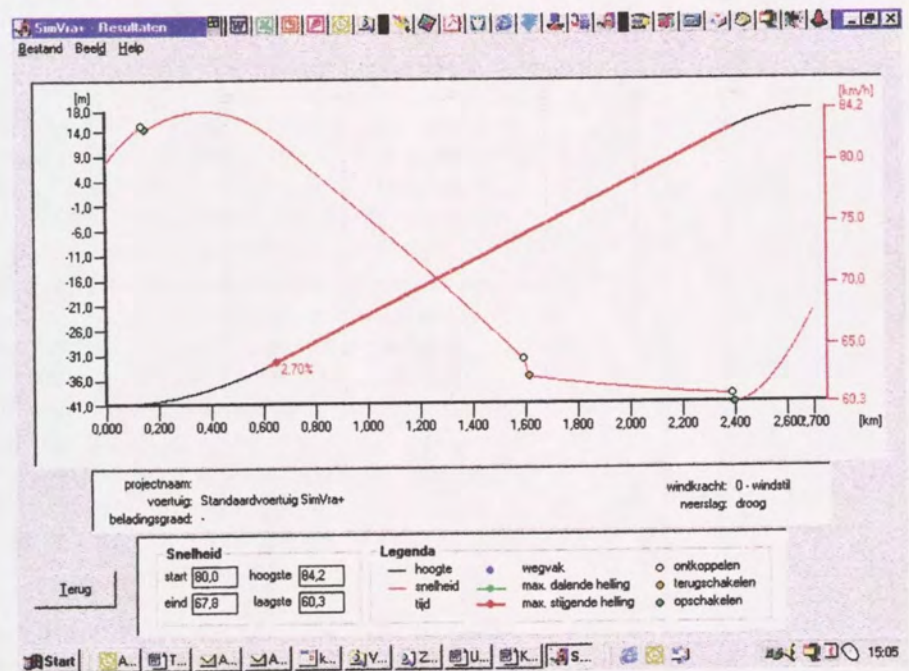
Het niveau van het wegdek onder bovenkant tunnel bedraagt bij;

- BT 3: 9,66m
- BT 5 : 6,97m (bovenste rijdek) respectievelijk
10,88m (onderste rijdek)

Voor de boortunnel onder de Gooiboog (en Amsterdam-Rijn kanaal) is vanwege de diepe passage van de Gooiboog de langshelling aan de oostzijde voor het vrachtverkeer maatgevend. Voor dit tracé blijkt op basis van de hiervoor weergegeven uitgangspunten een verticaal alignement mogelijk waarmee met in acht neming van de lengte van de inrit van 1.475m, voor de varianten BT-1 tot en met BT-4 minder dan 15% van het vrachtverkeer een terugval van 20 km/uur of meer te zien zal geven. Dit is voor de boortunnel het belangrijkste criterium met betrekking tot de haalbaarheid. Voor de resultaten van deze SIMVRA simulatie zie Figuur 1 Resultaten 85% vrachtverkeer boortunnel onder de Gooiboog.

Er is in deze simulatie uitgegaan van de eerste aanzet van het alignement, waarbij voor knooppunt Muiderberg een niveau "+3" ofwel 18m+ NAP is aangehouden. Het diepste punt van (het wegdek van) dit alignement komt op 41 m- NAP te liggen. In deze simulatie is het lengte profiel vereenvoudigd tot over de betreffende lengte alleen het overwinnen van het totale hoogteverschil, zonder rekening te houden met de (nagenoeg) horizontale ligging van het gedeelte van de samenvoeging, dit heeft maar zeer beperkte invloed op de resultaten.

Met de gehanteerde uitgangspunten is met deze eerste aanzet van het verticale alignement mogelijk met een zo gunstig mogelijke langshelling (laag hellingspercentage) het hoogteverschil naar knooppunt Muiderberg te overwinnen, waardoor de snelheidsterugval, ondanks de lange(re) helling, gering blijft.



Figuur 1 Resultaten 85% vrachtverkeer boortunnel onder de Gooiboog.

3 Optimalisatie verticale alignementen

3.1 Verticaal alignement in situ tunnel

In dit tracé passen vier ventilatie/vluchtschachten, waarbij de tunneluitgangen ook als ventilatie/vluchtschachten gelden. Deze punten zijn zoveel mogelijk gelijkmatig over de lengte van het tracé verdeeld. In het uitgewerkte tracé met voor het dichte tunnel deel de lengte van 7.365m krijgen de vijf gelijke delen dan een lengte van elk 1.473m. De tunnel in- en uitgangen worden, wat verticaal alignement betreft, volgens dezelfde uitgangspunten uitgewerkt.

Op basis van de gewenste gemiddelde langshelling van 1:600 krijgen de hoogste en de laagste delen van de tunnel (tussen de schachten) daardoor een onderling hoogteverschil van 1,25m. Uitzondering hierop vormt de passage onder het Amsterdam-Rijnkanaal. Door de hier benodigde diepteligging komt hier het diepstepunt met een hoogteverschil van circa 5m midden onder de vaarweg te liggen. In de hier te bouwen afgezonken tunnel is echter wel eenvoudig een extra middenpompkelder te realiseren. De vlucht-/ventilatieschacht wordt hier zo kort mogelijk na het Amsterdam-Rijnkanaal gesitueerd, waardoor de onderlinge afstanden tussen de hoogste en de laagste delen van de tunnel (tussen de schachten) richting Muiderberg enigszins vergroot wordt. Vanwege de 1:600 langshelling wordt het verschil tussen hoogste en laagste punt van de tunnel (tussen de schachten) daardoor 1,30m. Tussen de wenselijke voet- en topbogen vanuit het wegontwerp (comfort) zijn rechtstanden gelegd, zodanig dat er een gemiddelde langshelling resulteert van 1:600, behalve dus bij de kruising van het Amsterdam-Rijn-kanaal.

Het volgens deze uitgangspunten samengesteld alignement is weergegeven in de tekening met nummer TMH-DA-026. De lengte van het gesloten deel van deze tunnel bedraagt 7.365m.

Aan dit alignement is als nadeel verbonden steeds om de circa 1.500m een verhoging in het wegbeeld van circa 1,30m opduikt. Deze verhoging onttrekt het verloop van de belijning aan het zicht van de automobilist. Deze situatie wordt vanuit het wegontwerp als gevaarlijk en daarom ongewenst beschouwd. Vanuit het wegontwerp heeft het daarom de voorkeur dat het verticaal alignement vanaf de ingangen van de tunnels in verticale richting gestrekt naar het diepste punt onder het Amsterdam-Rijn-kanaal wordt uitgevoerd. De gemiddelde diepteligging van de tunnel hiermee vergroot met circa 1,50m.

De toestroomlengte naar de pompkelders wordt hiermee vergroot tot dubbele lengte (van tweezijdige toestrooming van twee maal circa 750m naar enkelzijdige toestrooming van circa 1.500m). Aangezien uit wordt gegaan van een "constante puntbelasting" is deze vergroting van de toestroomlengte geen probleem. De gewijzigde langshelling van 1:600 (0,17%) naar 1:1070 (0,09%) heeft wel gevolgen voor de hydraulische voorzieningen (riolering).

Het volgens deze uitgangspunten samengesteld alignement is weergegeven in de tekening met nummer TMH-DA-027. De lengte van het gesloten deel van deze tunnel bedraagt 7.365m.

3.2 Verticaal alignement boortunnel

Vanuit de Gooiboog is het voortdurend oplopend met 1:600 naar de uit/ingang bij knooppunt Holendrecht. Het Amsterdam-Rijn-kanaal is hierbij de maatgevende randvoorwaarde. Vanwege de diepte van de bodem van dit kanaal van 6,75m - NAP, de gewenste ruimte tussen kanaalbodem en boortunnel van 15,00m en de ligging van het wegdek op 9,66m beneden de tunnelbovenzijde komt dit wegdek op 31,41m - NAP te liggen. Van uit dit punt met een helling van 1:600 naar de Gooiboog komt het diepste punt van het wegdek-oppervlak in de tunnel (circa 400m "naast") de Gooiboog op 37,1m - NAP.

Vanaf het Amsterdam-Rijn-kanaal naar de uitgang aan de Holendrecht zijde zou een iets steiler verloop (naar "boven") dan 1:600 mogelijk zijn omdat het "Gein" niet zo diep is. Ter hoogte van (net voor) de uitgang zou dit een "besparing" op de diepteligging van circa 2m kunnen betekenen. Dit geeft echter alleen "winst" bij de aanleg van de laatste vlucht/ventilatie-schacht aan die zijde van de tunnel. Aldaar (omdat dat ongeveer halverwege Amsterdam-Rijn-kanaal en uitgang is) is die besparing "slechts" 1m. Er is gekozen voor het "simpel" houden van het alignement (hoeven de automobilisten zich in een tunnel, waar het lastig oriënteren is, zich maar 1x op een helling "in te stellen"). Vanuit bovenstaande argumentatie en de relatief geringe gevolgen is het oorspronkelijke uitgangspunt, het alignement t.p.v. de schachten zo hoog mogelijk te houden, verlaten. Hierdoor is er tevens geen directe relatie meer tussen de positie van de schachten en pompkelders en het verticaal alignement.

Het volgens deze uitgangspunten samengestelde verticale alignement is weergegeven in tekening met nummer TMA-DA-028. De lengte van het gesloten deel van deze tunnel bedraagt 6.914m.

Door de gestrekte ligging van dit tracé tussen de aansluitende knooppunten (ruime boogstralen) is het zijdelingse zicht van bestuurders in de tunnel geen probleem, zie de optimalisatie van het tracé in het document omtrent de horizontale alignementen.

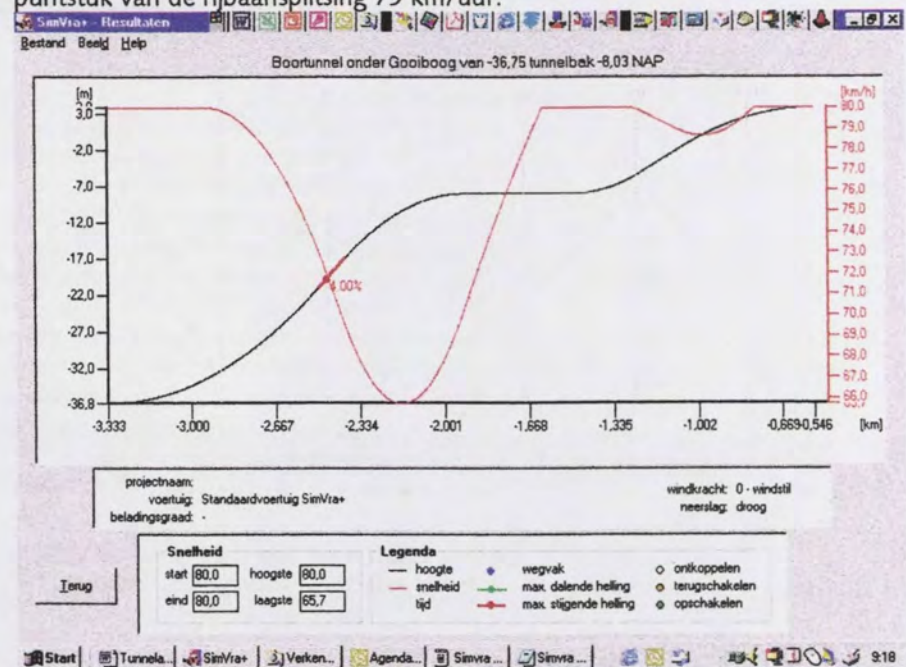
Het snelheidsverloop dat voor ten minste 85% van het vrachtverkeer haalbaar moet zijn bij strikte handhaving van de maximaal toelaatbare snelheid voor vrachtverkeer van 80km/uur is weergegeven in Figuur 2 Snelheidsverloop vrachtverkeer bij maximaal 80km/uur. Indien de chauffeurs net voor de steile trajectdelen kunnen anticiperen op de komende helling (door de snelheid te vermeerderen tot die in de praktijk door vrachtwagens op inhaalstroken gerealiseerd wordt) is voor 85% van het vrachtverkeer ten minste een snelheidsverloop mogelijk als weergegeven in Figuur 3 Snelheidsverloop vrachtverkeer bij anticiperen op de komende helling.

In Figuur 2 en Figuur 3 is als hoogste punt van het alignement de zuidelijke rijbaan naar de A6 richting Almere aangehouden, ter plaatse van de kruising over de A1. Hierbij is de vormgeving (in verticale zin) aangehouden van de oplossing voor knooppunt Muiderberg als beschreven in §4.2.4 van de notitie omtrent de vormgeving van de knooppunten¹. Als hoogte van het wegdek op dit punt is 3,87m+ NAP aangehouden, wat tezamen met de maaiveldsligging van 1,40m- NAP leidt tot een aanname voor de hoogteligging van 5,27m boven maaiveld. Het horizontale gedeelte in dit verloop is de splitsing van rijbanen buiten de tunnel en buiten het zicht (in het landschap); tunnelbakken

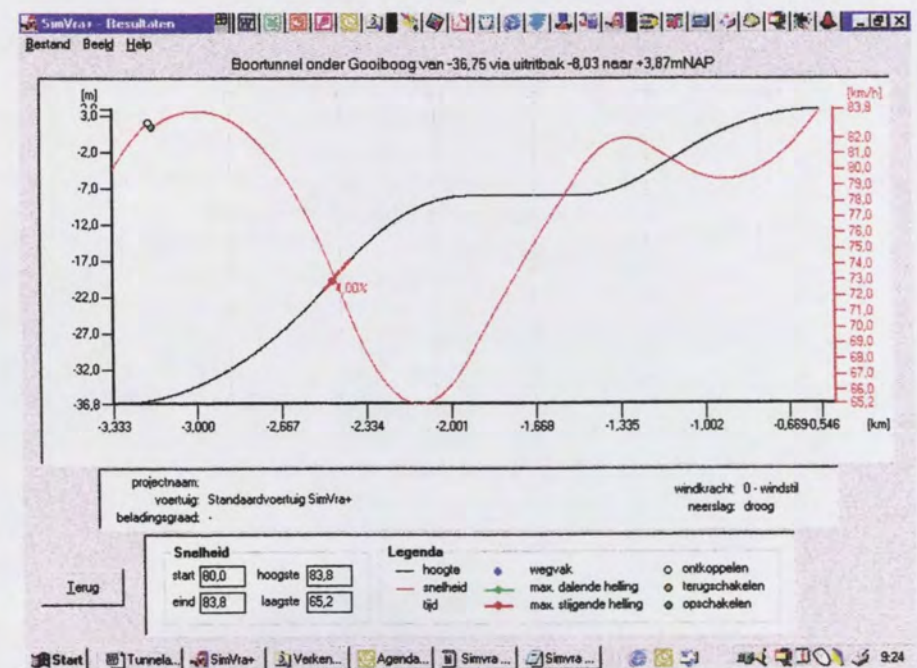
¹ De notitie Vormgeving van de knooppunten Muiderberg en Holendrecht, DNH dd 220702

op 6,00 m beneden maaiveld, in deze simulatie benaderd met 8,03m- NAP, zie § 4.4.2.

De sterkste terugval tot een snelheid van circa 65 km/uur voor maximaal 85% van het vrachtverkeer voldoet voor dit alignement ruimschoots aan de (ROA) richtlijnen die zonder toepassing van kruipstroken een terugval tot 60km/uur toelaatbaar achten. Ter plaatse van de het einde van het gesloten deel van de tunnel (begin uitritbak, 2.345m vanaf hart Muiderberg) bedraagt de snelheid van 85% van het vrachtverkeer ten minste 67 km/uur, ter plaatse van het puntstuk van de rijbaansplitsing 79 km/uur.



Figuur 2 Snelheidsverloop vrachtverkeer bij maximaal 80km/uur. (hoogte ten opzicht van NAP, lengte negatief vanaf hart Muiderberg)



Figuur 3 Snelheidsverloop vrachtverkeer bij anticiperen op de komende helling.
(hoogte ten opzicht van NAP, lengte negatief vanaf hart Muiderberg)

3.3 Verticaal alignement Parijse boortunnel

Bij de Parijse variant van de boortunnel bevinden zich binnen het profiel van één tunnelbuis de twee rijdekken voor de beide verschillende rijrichtingen boven elkaar. Voor het opstellen van het verticale alignement voor deze variant is het onderste rijdek als uitgangspunt genomen. Het "bovenste" rijdek van de Parijse boortunnel bevindt zich vervolgens 3,92m boven het andere.

Het volgens deze uitgangspunten samengestelde verticale alignement is weergegeven in tekening met nummer TMH-DA-029. De lengte van het gesloten deel van deze tunnel is afhankelijk van de rijrichting, zie Figuur 11 Kenmerkende metreringsen twee varianten Parijse boortunnel,. Tot deze tunnel behoren ook de in-situ te bouwen gesloten delen van de inritten. Door de lagere ontwerpsnelheden en daardoor kortere lengte van de samenvoegingen is zijn er in vergelijking met de boortunnel voor al het verkeer mogelijkheden het landschap door verdere ondertunneling over een grotere lengte te ontzien, zie §4.6. Een lengte van het geboorde gedeelte tot 7.470m lijkt haalbaar. De volledige lengte van de tunnel bedraagt voor de op het onderste wegdek gelegen rijrichting (inclusief de overdekte delen van de inritten) 8.100m.

Voor het verticale zicht bestaat in de opgaande boog "onder" de Gooiboog voor het onderste rijdek kans op zichtbelemmering door het lage plafond. Uitgaande van de meest extreme situatie van een ooghoogte (van een bestuurder van een bestelbus) op plafondhoogte (van 2,5m) is bij een ontwerpsnelheid van 70 km/uur een verticale boogstraal van 3.000m vereist (ROA). Voor een duidelijk wegbeeld is een verticale boogstraal van twee maal de topboog (in de toeritten), ofwel 13.000m wenselijk (ROA), in dit geval dus afgestemd op de ontwerpsnelheid van 90 km/uur in de toeritten, zie §2.2.

Door meteen na passage van de Gooiboog de opgaande boog naar knooppunt Muiderberg te beginnen, wordt de diepte van de eerste (en diepste) ventilatie-respectievelijk vluchtschacht en de opgaande helling in deze uitrit beperkt. Deze uitgangspunten maken aan de zijde van knooppunt Muiderberg een voetboog met een straal van 20.000m mogelijk.

Met één helling van 1:600 (0,17%) onder het maatgevende Amsterdam - Rijnkanaal wordt de passage van de Gooiboog met de gekozen boogstralen zodanig diep dat ook het diepst gefundeerde deel daarvan (onder de spoorlijn Hilversum - Weesp) niet meer maatgevend is (ligging onderste rijdek boortunnel op 38,8m- NAP tegen een vereiste 38,9m- NAP voor passage van de diepst gefundeerde 139m' van de Gooiboog, zie §2.4).

3.4 Aansluiting op de knooppunten

Omdat de toeritten in open bakken onder het maaiveld liggen zal er over een lengte van circa 1.475m riolering nodig zijn en in ieder geval ter hoogte van de tunnelingangen pompkelders. De buizen van deze riolering komen in principe evenwijdig aan het wegdek te liggen.

Afhankelijk van het afwaterend oppervlak moet een combinatie van buisdiameter en langshelling bepaald worden om aan de benodigde afvoercapaciteit te kunnen voldoen. In tegenstelling tot bij een weg (in bijvoorbeeld een ingraving) zijn bij een tunnelbak in principe helling en

diameter van de riolering vanwege de constructiehoogte van de vloer beperkt. Bij gangbare tunnels met een toeritlengte van bijvoorbeeld 200 á 400m en een langshelling van 4,5% is dit geen probleem. Bij grotere lengtes (groter afwaterend oppervlak) en geringere langshellingen zijn speciale voorzieningen (bijvoorbeeld riolering buiten de constructievloer) noodzakelijk.

Bij de optimalisatie van de verticale alignementen is ter plaatse van de lange toeritten geen rekening gehouden met de eisen ten aanzien van afvoer hemelwater (riolering). De langshellingen op de rechtstanden (verticaal gezien) binnen de toeritten bedragen:

- bij de in situ varianten tussen circa 1:600 (0,17%) en circa 1:280 (0,36%),
- bij de boortunnel varianten beide zijden 1:oneindig (0,00%) gemiddeld over de hele toerit aan beide zijden van de boortunnel 1:99 (1,01%).

De langshelling voor het middelste "horizontale" gedeelte van de toeritten (met een lengte van circa 400 á 500m en een relatief grote rijbaanbreedte ter plaatse van de invoegingen) lijken met de realiseerbare helling en diameter van de riolering binnen de vloerconstructie geen soelaas te kunnen bieden.

Het vlakke gedeelte in de toerit (en uitrit) bij de boortunnel vindt zijn oorsprong in:

1. de wens om ter hoogte van de toegang tot de boortunnel een zo stijl mogelijk verloop te hebben om de voorzieningen die nodig zijn bij het zo hoog mogelijk beëindigen van de tunnel te beperken.
2. en na de puntstukken het verkeer zo snel mogelijk "uit het zicht" (= beneden maaiveld) te krijgen.

Voorlopig moet worden uitgegaan van het ontworpen alignement waarbij het een mogelijke oplossingsrichting voor de afvoer van het hemelwater is in de toerit een drietal waterkelders te projecteren ter plaatse van:

1. de ingang van het gesloten tunnelgedeelte,
2. de helling naar het maaiveld,
3. in het midden van het horizontale gedeelte.

Hierbij moeten de rioleringsbuizen vanaf weerszijden verdiept onder de tunnelvloer komen te lopen om voldoende afschot te krijgen. Voor de in-situ tunnel met geringe hellingen in de toeritten moet een soortgelijke oplossing worden bedacht. Dit blijft een aandachtspunt bij een eventuele verdere uitwerking.

Daarnaast is er aangegeven dat vanwege de gewenste veiligheid tegen instromen van water in de tunnel bij calamiteiten met betrekking tot de polderpeilen de randen van de tunnelbakken ten opzichte van het omringende terrein een verhoogde ligging krijgen. Door deze verhoogde ligging wordt het verkeer in de tunnelbakken ook aan het zicht onttrokken waardoor de tunnelbak een gelijk geringere diepte kan krijgen. Eventueel is deze "overhoogte" ook te reserveren voor het aan het oog onttrekken van de bewegwijzering die bij de uitgangen van de tunnel nodig zal zijn. Deze optimalisatie is niet in het ontwerp van de tunnelbakken doorgevoerd.

4 Aansluiting op de knooppunten

4.1 Verkeersintensiteit

De maatgevende situatie voor het ontwerpen van de aansluitingen van de knooppunten op de tunnel is de situatie met de wisselkoker omdat in die situatie de sterkste wisseling bestaat in de verkeersstromen per samen te voegen richting, de samenvoeging dus complex is en daardoor een grote lengte vraagt.

De opstellers van dit document hebben de aantallen van de verkeersstromen in de diverse richtingen en de variatie daarin over het etmaal in de beoordeling van één variant betrokken, zie bijlage 2.

Als uitgangspunt is genomen dat het verkeer in de (ochtend)spits (uit Almere) zich voor het knooppunt verdeelt over hoofd- en parallelbaan. De hoofdrijbaan is hierbij de in deze spits open gestelde wisselkoker, de parallelbaan is hierbij de "vaste" koker voor verkeer in die richting, zie de vormgeving (in horizontale zin) van de oplossing voor knooppunt Muiderberg als weergegeven in Figuur 8 in §4.2.4 van de notitie omtrent de vormgeving van de knooppunten ².

In en na het knooppunt (maar voor de tunnel) zijn er geen mogelijkheden meer tot herverdeling. In de spits krijgt de samenvoeging de zwaarste verkeersstroom dus uit de herkomst Bussum. Buiten deze (ochtend)spits heeft het verkeer uit Almere geen keuze; er is dan maar één (dus hoofd-)rijbaan beschikbaar. Buiten deze (ochtend)spits komt de zwaarste verkeersstroom voor de samenvoeging dus uit de herkomst Almere. De samenvoeging dient deze wisseling in zwaarte van de samen te voegen verkeersstromen op te kunnen vangen.

Doordat zowel uit de richting Hilversum als uit de richting Almere elk twee rijstroken met verkeer samenvoegen tot twee rijstroken in de tunnel zal eventuele congestie dus voor de tunnelingang plaatsvinden. Door een andere "afstreping" (en plaats daarvan) te kiezen is het punt waar de eventueel congestie zich zal manifesteren te beïnvloeden; tot bij/voor het splitsingspunt in hoofd-/parallelbaan. Dit geldt ook voor de "Holendrecht-zijde".

Deze verdeling van het verkeer over hoofd- en parallelbanen en de plaats daarvan heeft invloed op de verdeling van het verkeer over het totale netwerk. Dit heeft tevens invloed op de uiteindelijk te kiezen vormgeving van de samenvoeging.

² De notitie Vormgeving van de knooppunten Muiderberg en Holendrecht, DNH dd 220702

4.2 Aansluitvarianten

Bij de aansluiting van de tunnel op de knooppunten is uitgegaan van de variant "3x2" rijstroken (met wisselkoker) en hooggelegen ligging van de knooppunten. In de toerit naar de "3x2" tunnel zullen bij de inritten twee twee-strooks verbindingswegen samenvoegen, beiden met vluchtstroken. In de tunnel zullen deze samen dus de vorm hebben van een twee-strooks rijbaan met vluchtstrook.

In het ontwerp van de dwarsprofielen in de tunnel is als uitgangspunt aangehouden dat de vluchtstroken in de toekomst als rijstrook gebruikt kunnen worden. Dit uitgangspunt is ook bij de uitwerking van de inritten aangehouden.

Voor deze samenkomst zijn er in principe zes mogelijkheden denkbaar (al dan niet ROA conform), op volgorde van weglengte bij een ontwerpssnelheid van 120 km/uur:

1. beide banen voor samenkomst afstrepen tot elk 1 strook en samenvoegen: benodigde lengte na puntstuk 0m,
2. op verbindingsweg 1 strook afstrepen en traditioneel samenvoegen: benodigde lengte na puntstuk 350m,
3. (niet ROA) taper³ invoeging*: benodigde lengte na puntstuk ca. 600m,
4. (niet ROA) taper invoeging, met dynamische afstropping op parallelbaan*: benodigde lengte na puntstuk ca. 600m,
5. (niet ROA) dynamische taper invoeging met dynamische afstropping op parallelbaan*: benodigde lengte na puntstuk ca. 600m,
6. taper samenvoeging tot drie rijstroken met afstropping v/d linker rijstrook voor de tunnel: benodigde lengte na puntstuk ca. 1.000m,

*: In de maatgevende spitsituatie is er sprake van hoofd- en parallelbaan, (wisselkoker en "vaste" koker) doorgaand verkeer vanuit Almere kan in de ochtend-spits kiezen voor de hoofdrijbaan, dit "keuzegedrag" op basis van congestiekans is in min of meerdere mate te ondersteunen met dynamisch afstrepen (en dynamische belijning en DRIPS; Dynamische Route Informatie Panelen). De mate van "keuze" hangt mede af van de vormgeving van aansluitingen en wegvakken op grotere afstand van de tunnel (en de verkeersintensiteiten aldaar).

Voor de uitrit gelden andere overwegingen, de maatvoering daarvoor is niet maatgevend en is daarom ook niet uitgewerkt en slechts summier in dit document behandeld.

³ Taper: wigvormig begin of einde van een verharde (rij)strook, het begrip taper wordt vooral gebruikt in samenstellingen zoals taper-uitvoeringen en taper-samenvoeringen (uit CROW publicatie 91 "Van A-nummer tot Zweepmast" 1995)

4.3 Keuze aansluitvariant

Tot "vorm" van de samenvoegingen is op dit moment niet besloten. In dit stadium van de studie wordt oplossing 6) "- taper samenvoeging tot drie rijstroken met afstreping v/d linker rijstrook voor de ingang van de tunnel", met een totale lengte van 1.475m aangehouden, zie bijlage 1.

Motivatie voor deze keuze is:

- a. "goed ontwerp" (conform ROA),
- b. niet afhankelijk van ondersteunende elektronica (risico op functioneren en begrepen/opgevolgd worden door het verkeer),
- c. biedt ook bij wisselingen in herkomst van de zwaarste verkeersintensiteiten voldoende oplossend vermogen (flexibiliteit tussen mee- en tegen-spits),
- d. reserveert de mogelijkheid om in een later stadium van studie andere (kortere) mogelijkheden in te passen,
- e. biedt goede mogelijkheden voor aansluiting op het toekomstig gebruik van de vluchtstroken in de tunnel.

Deze vorm is in principe ook goed bruikbaar voor de uitrit, met dezelfde motivatie.

Voor alle varianten (in-situ tunnel, boortunnel en Parijse variant) wordt dezelfde aansluitvariant gehanteerd en dezelfde ligging van de puntstukken (waar aangesloten wordt op de verbindingswegen en rijbanen van de knooppunten). Er wordt hierbij aangenomen dat de vorm van de aansluitende knooppunten hooguit in zoverre wijzigt dat de puntstukken waar bij de aansluiting op moet worden aangesloten wat ligging in hoogte, plaats en richting gelijk blijft.

Het is zeer aannemelijk dat voor de Parijse boortunnel-variant voor de knooppunten een andere ontwerpsnelheid en mogelijk andere knooppuntvorm gekozen zal worden, dit heeft vervolgens invloed op de ligging van de puntstukken (voor de toeritten) en de lengtes van de toeritten zelf. Deze invloed is in dit stadium van studie niet in de alignementen te betrekken.

Voor de Parijse variant wordt voor de aansluitingen een ontwerpsnelheid van 90 km/uur aangehouden, voor de overige varianten 120km/uur. Deze lagere ontwerpsnelheid voor de Parijse variant draagt bij aan een geleidelijker afbouw van de snelheid van het verkeer, komende vanuit het knooppunt en gaand naar een tunnel voor 70 km/uur en biedt tevens ruimte voor de baanverlegging die voor de Parijse variant in dit weggedeelte ingepast moet worden.

4.4 Hoogteligging aansluiting

De hoogteligging van de aansluiting wordt door drie overwegingen bepaald, achtereenvolgens zal binnen deze paragraaf worden ingegaan op:

1. de samenvoeging buiten het gesloten gedeelte van de tunnel houden,
 2. de samenvoeging "buiten het zicht" laten plaatsvinden,
 3. binnen de tunnelbak geen "broekstuk".
- Deze overwegingen gelden ook voor de splitsing in de uitritten van de tunnel.

4.4.1 de samenvoeging buiten het gesloten gedeelte van de tunnel houden

Eerste uitgangspunt is dat samenvoegingen en splitsingen van rijbanen buiten de tunnel worden gehouden. Redenen hiervoor zijn dat voor de samenvoeging meer ruimte nodig is dan er (in ieder geval bij de boor-) tunnel in het dwarsprofiel aanwezig is. Tevens houdt de samenvoeging voor het verkeer een extra risico in wat bij voorkeur buiten het gesloten deel van de tunnel wordt gehouden.

4.4.2 de samenvoeging "buiten het zicht" laten plaatsvinden

Tweede uitgangspunt is dat samenvoegingen en splitsingen van rijbanen buiten het zicht (in het landschap) plaats zullen vinden. Reden hiervoor is de dat daarmee de aantasting van het landschap beperkt kan worden. Dit houdt in dat hiervoor in tunnelbakken wordt voorzien waarbij de diepte van het wegdek voor de tunnelvarianten die voor alle verkeer opengesteld worden zo snel mogelijk op 6,00m beneden maaiveld wordt gebracht.

Deze 6,00m doorrijhoogte is samengesteld uit:

- 4,0m voertuig,
- 0,2m bewegingsmarge,
- 0,1m overlappingsmarge,
- 0,7m veiligheidsmarge voor solitaire constructies als portalen en
- 1,0m matrixborden hangend aan die portalen.

Bij de tunnelvariant die alleen voor personenautoverkeer wordt opengesteld (Parijse boortunnel) zo snel mogelijk op 3,70m beneden het maaiveld wordt gebracht. Deze 3,70m doorrijhoogte is samengesteld uit:

- 6,0m doorrijhoogte vrachtvoertuig, minus
- 2,3m; het hoogteverschil tussen een 99% vrachtauto (4,05m) en een 99% personenauto⁴ (1,75m) en minus
- 1,0m matrixborden hangend aan de solitaire portalen.

Als resultaat geeft dit 2,70m "vrije" ruimte voor de personenauto. De in deze hoogte opgenomen veiligheidsmarge is voor personenauto's niet strikt noodzakelijk. Komend vanaf een profiel met doorrijhoogtes voor gemengd verkeer (dus 5,0m) en gaand naar het dwarsprofiel van de Parijse boortunnel (doorrijhoogte 2,5m) is een overgangssituatie echter wenselijk.

Op basis van dit uitgangspunt is voor de eerste in-situ tunnelvariant en bij aanneming van de maaiveldhoogte ter plaatse van de knooppunten de langshelling van de puntstukken bepaald, zie § 2.2. Deze langshelling van de puntstukken in de samenvoegingen is voor alle tunnelvarianten gelijk gehouden. Doordat in de toeritten naar de in-situ tunnelvarianten hellingen aanwezig zijn, is de gemiddelde diepte van de vloer in deze toeritten groter dan de aldus bepaalde maat. Daarnaast geldt voor de toeritten van de boortunnels dat naar de ingang van de gesloten tunneldelen juist geen helling aanwezig is waardoor de vloer van deze toeritten circa 0,5m dieper is komen te liggen dan de berekende waarden.

Binnen de tunnels worden andere doorrijhoogtes aangehouden, zie het deelrapport "Dwarsdoorsneden", reden hiervoor is dat binnen tunnels sprake is van een continue constructie.

⁴ "Voertuigkarakteristieken van het Nederlandse autopark", AVV, Rotterdam, 1998 & 1999, gelijk aan "Handboek Wegontwerp, deel Basiscriteria", Publicatie 164a, CROW, Ede, 2002

4.4.3 binnen de tunnelbak geen "broekstuk".

Derde uitgangspunt is dat er zich binnen deze tunnelbakken geen "broekstukken" zullen bevinden; meerdere toe leidende rijbanen die binnen de tunnelbak samengevoegd worden. Reden hiervoor is dat daarmee de constructie van de tunnelbak eenvoudig (rechthoekig) wordt gehouden. Als gevolg van dit uitgangspunt zullen de puntstukken behorende bij de samenvoegingen zich (ten opzichte van het polderpeil op vorstvrije hoogte) boven het maaiveld van de polders bevinden. Hierbij is aangenomen dat het grondwater zich circa 0,50m beneden het maaiveld bevindt en de ontwerp-as daar 1,80m boven wordt gehouden (maaiveldhoogte: die behorend bij het desbetreffende knooppunt).

4.5 Maatvoering bij 120 km/uur

Als maatvoering voor de taper samenvoeging tot drie rijstroken met afstreping v/d linker rijstrook voor de ingang van de tunnel wordt in de lengterichting aangehouden (vanaf puntstuk achtereenvolgens bij een ontwerpsnelheid van 120 km/uur):

- 250m taper na puntstuk,
 - 375m turbulentielengte na einde taper,
 - 375m turbulentielengte voor afstreping,
 - 325m afstreping opgebouwd uit: 50m 1:14 + 25m sergeant + 250m S-slinger $R=4.000\text{m}$ t.b.v. baanverschuiving één rijstrook,
 - 150m "constant" wegbeeld tussen afstreping en tunnelingang.
- Totaal 1.475m tussen puntstuk en ingang van de tunnel, zie bijlage 1.

Voor maatvoering in lengterichting voor de taper uitvoeging vanaf twee rijstroken in de tunnel naar twee maal twee rijstroken is de bewegwijzering maatgevend. Voor de bewegwijzering is het ook wat beslag op ruimte betreft efficiënt uit te gaan van het systeem behorende bij een splitsing vanaf drie rijstroken in de tunnel naar twee maal twee rijstroken, de turbulentielengte wordt dan maatgevend. Indien de turbulentie van de taper uitvoeging buiten het gesloten deel van de tunnel wordt gehouden wordt als maatvoering in de lengterichting aangehouden (vanaf einde tunnel achtereenvolgens bij een ontwerpsnelheid van 120 km/uur):

- 25m resterend deel turbulentielengte taper uitvoeging,
- 300m eerste portaal splitsing 3-strooks rijbaan,
- 175m begin verbreding naar uitrijstrook taper uitvoeging,
- 100m uitrijstrook taper uitvoeging op volle breedte,
- 25m tweede portaal splitsing 3-strooks rijbaan,
- 125m begin taper,
- 175m derde portaal splitsing 3-strooks rijbaan,
- 25m puntstuk.

Totaal 950m tussen uitgang van de tunnel en puntstuk.

Voor de betonnen geleide barrières is de huidige richtlijn aangehouden om uit te gaan van het Step-barriër profiel. De afgeleide breedte-maat hiervan is (bij een voor de tunnel noodzakelijke reductie van de hoogte (0,80m in plaats van 0,90m) $0,160+0,125=0,285\text{m}$). Deze maat is in alle dwarsprofielen aangehouden

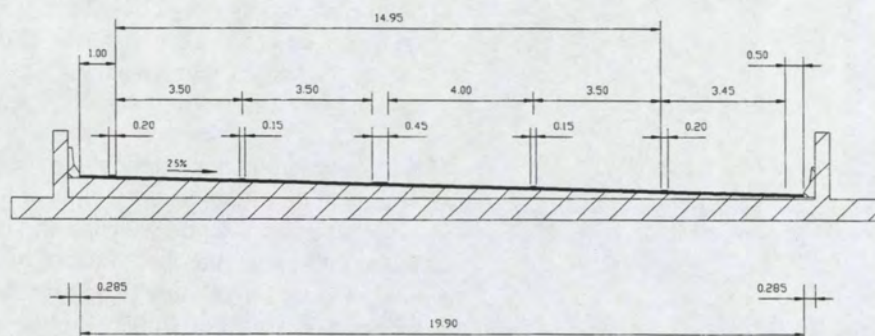
In de dwarsprofielen van de samenvoeging is aangehouden dat aangesloten wordt op een mogelijke toekomstige gebruik van de vluchtstrook in de tunnel als rijstrook. Dit uitgangspunt houdt in dat:

1. Daar waar in het voorgestelde dwarsprofiel voor de samenvoeging twee rijstroken aanwezig zijn de vluchtstrook een breedte krijgt die ook hier toekomstig gebruik als rijstrook mogelijk maakt.
2. Daar waar in het dwarsprofiel van de samenvoeging drie of vier rijstroken aanwezig zijn, is dit toekomstig gebruik als rijstrook niet nodig en is de standaard breedte voor vluchtstroken aangehouden.

De weergegeven dwarsprofielen zijn in principe ook bruikbaar voor de splitsing, na het einde van de tunnel, er gelden dan echter afwijkende onderlinge afstanden tussen de verschillende dwarsprofielen.

Als maatvoering wordt bij een ontwerpsnelheid van 120 km/uur in de breedterichting aangehouden:

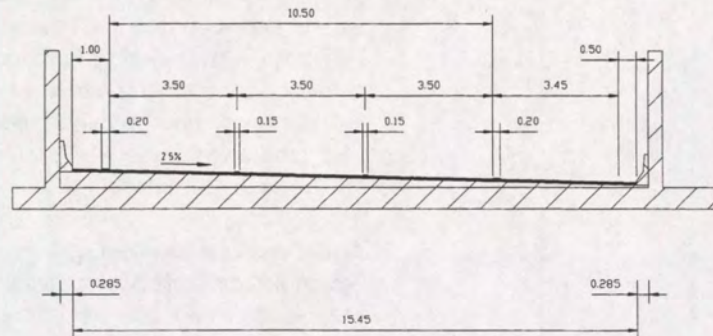
- Ter plaatse van het puntstuk:
totale breedte tussen de wanden van de tunnelbak: 20,47m.



Figuur 4 Maatvoering ter plaatse van het puntstuk, voor 120 km/uur

Verloopt bij de taper samenvoeging tot drie rijstroken over 250m lineair van deze breedte tot de volgende breedte.

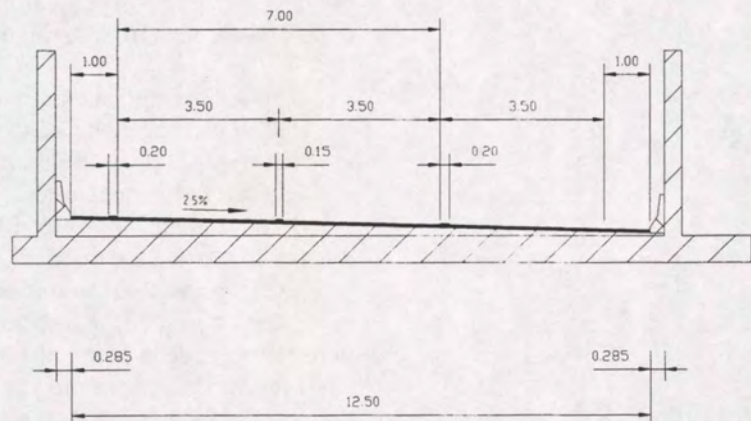
- Waar de rijbaan drie rijstroken breed is:
totale breedte tussen de wanden van de tunnelbak: 16,02m.



Figuur 5 Maatvoering waar de rijbaan drie rijstroken breed is, voor 120 km/uur

Blijft bij de taper samenvoeging tot drie rijstroken over een lengte van 825m op deze breedte en verloopt dan vanwege de afstreping van de linker rijstrook voor de ingang van de tunnel over een lengte van 250m via een S-slinger tot de volgende breedte.

- Constante wegbeeld voor de tunnelingang:
totale breedte tussen de wanden van de tunnelbak: 13,07m.



Figuur 6 Maatvoering na de afstreping van de linker rijstrook voor de ingang van de tunnel, voor 120 km/uur

Blijft bij de taper samenvoeging tot drie rijstroken na de afstreping van de linker rijstrook voor de ingang van de tunnel over de lengte van 150m tot de tunnelingang constant op deze breedte.

Zowel binnen de in-situ te bouwen tunnel als de boortunnel worden binnen de tunnelbuizen in dwarsrichting dezelfde maatvoering aangehouden.

4.6 Maatvoering 90 km/uur "Parijse" variant

4.6.1 aansluiting en snelheidsregiem

Bij de aansluiting van de boortunnel volgens de Parijse variant op de knooppunten is uitgegaan van de variant "2x2" rijstroken (met boven elkaar gelegen wegdekken en alleen personenauto-verkeer) en hooggelegen ligging van de knooppunten (met name Muiderberg, daarvoor zijn ook andere varianten in overweging). Binnen het geboorde gedeelte van de Parijse tunnel geldt een (ontwerp) snelheid van 70 km/uur. Omdat naar de snelheid van 120 km/uur op de hoofdrijbanen binnen de knooppunten een stapsgewijze overgang wenselijk is, is binnen de toeritten een ontwerpsnelheid van 90 km/uur aangehouden.

4.6.2 verticale baanverlegging

Om in de toerit tot boven elkaar gelegen rijbanen te komen moeten de in de toerit-bak naast elkaar gelegen rijbanen voor de ingang van de tunnel met een verticale slinger op het hoogteverschil van 3,91m binnen de tunnel gebracht worden, zie § 2.4 met de uitgangspunten voor het verticale alignement van de boortunnel. Voor de uitrit geldt dit net andersom; daar moet dit in de tunnel aanwezige hoogteverschil tussen de rijbanen weer teruggebracht worden naar gelijk ligging. Het hoogteverschil van 3,91m kan bij een ontwerpsnelheid van 90km/uur in de toeritten met boogstralen van 6.500m (voetboog) respectievelijk 13.000m (topboog) over een lengte van circa 390m overwonnen worden, de laatste 240m daarvan is voetboog. Voor het zicht op de bewegwijzering in de uitritten worden geen problemen verwacht. Het hellingpercentage binnen de toerit (en uitrit) neemt met maximaal 1,90% toe.

4.6.3 horizontale baanverlegging

De horizontale slinger om vervolgens tot boven elkaar gelegen rijbanen te komen wordt in de toeleidende weg geprojecteerd zodat daarmee tevens voor het naderende verkeer een afrembocht gecreëerd kan worden. De verschuiving in de breedte van 16,35m die de as van deze rijbaan hierbij doormaakt bestaat uit:

- 6,50m twee rijstroken,
- 3,75m vluchtstrook (toekomstig berijdbaar),
- 0,50m obstakelafstand naast vluchtstrook,
- 0,285m halve stepbarrier,
- 0,78m tussenwand tussen tunnelbakken,
- 0,285m halve stepbarrier,
- 1,00m obstakelafstand naast (afgestreepte) rijstrook,
- 3,25m afgestreepte rijstrook

In het weggedeelte met constant wegbeeld tussen slinger en tunnelingang vindt tevens de versmalling van de rijstroken van behorend tot een ontwerpsnelheid van 90 km/uur naar behorend bij een ontwerpsnelheid van 70 km/uur.

4.6.4 maatvoering in langsrichting

Als lengtemaatvoering voor de taper samenvoeging tot drie rijstroken met afstreping van de linker rijstrook voor de ingang van de tunnel wordt in de ene rijrichting in de lengterichting aangehouden (vanaf puntstuk achtereenvolgens bij een ontwerpsnelheid van 90 km/uur). Onderstaande maatvoering geldt als samenvoeging en de tunnelingang zich op het bovenste niveau bevindt :

- 190m taper na puntstuk,
- 275m turbulentielengte na einde taper,
- 275m turbulentielengte voor afstreping,
- 60m afstreping opgebouwd uit: 35m 1:10 + 25m sergeant

- 165m S-slinger R=350m & R=185m t.b.v. baanverschuiving met 16,35m,
- 150m "constant" wegbeeld inclusief rijstrookversmalling tussen baanverschuiving en tunnelingang.

In de andere rijrichting, waarbij de samenvoeging naar de onderste rijbaan leidt, bevindt er zich tevens een 150m "constant" wegbeeld zich tussen afstreping en S-slinger omdat deze S-slinger overkapt is. Als lengtemaatvoering voor de taper samenvoeging tot drie rijstroken met afstreping van de linker rijstrook voor de ingang van de tunnel wordt dan in de lengterichting aangehouden (vanaf puntstuk achtereenvolgens bij een ontwerpsnelheid van 90 km/uur):

- 190m taper na puntstuk,
- 275m turbulentielengte na einde taper,
- 275m turbulentielengte voor afstreping,
- 60m afstreping opgebouwd uit: 35m 1:10 + 25m sergeant
- 150m "constant" wegbeeld tussen afstreping en baanverschuiving,
- 165m S-slinger R=350m & R=185m t.b.v. baanverschuiving met 16,35m,
- 150m rijstrookversmalling tussen baanverschuiving en tunnelingang.

4.6.5 in-situ te bouwen overkapping

Omdat op het bovenste niveau de baanverschuiving ook op 165 en 150m voor de tunnelingang begint vormen de laatste 165m en 150m een gesloten tunneldeel. De betreffende delen van de toerit van 315m lengte, waarvan het onderste gedeelte tunnel is, moeten in-situ gebouwd worden. De krappe (afrem) boogstralen in een gesloten tunnel zijn niet erg wenselijk, oplossingen die hiervoor soulaas kunnen bieden:

1. het doorzetten van de breedte van de toerit tot het begin van de boortunnel tot maximaal circa 15,0m (vergroting van de obstakel-afstand in de buitenbocht, met mogelijkheid tot uitloop),
2. die toerit waarbij de afrembocht overdekt moet worden toch gestrekt uitvoeren en de ook daar noodzakelijke baanverlegging in de (boven, dus niet overdekte) uitrit opnemen, deze toerit kan daarmee 150m korter worden.

Dit aspect moet in een volgende fase van de studie nader onderzocht worden.

4.6.6 totale lengte van de inritten

De totale lengte van deze toeritten bedraagt 1.115m respectievelijk 1.265m tussen puntstuk en ingang van de tunnel, ten opzichte van de 1.475m van de oplossingen bij 120 km/uur (en zonder baanverschuiving) is dit korter. Dit heeft als gevolg dat het geboorde deel van de tunnel hierdoor in het totaal 570m langer kan zijn. Deze lengtevermeerdering is verwerkt in de tekening van het verticaal alignement van de Parijse boortunnel onder de Gooiboog, tekening nummer TMH-DA-029. Daarnaast is het zeer aannemelijk dat voor deze tunnelvariant voor de knooppunten een andere ontwerpsnelheid en mogelijk andere knooppuntvorm gekozen zal worden, dit heeft vervolgens invloed op de ligging van de puntstukken (voor de toeritten) en de lengtes van de toeritten zelf. Deze invloed is in dit stadium van studie niet in de alignementen te betrekken.

4.6.7 maatvoering in dwarsrichting

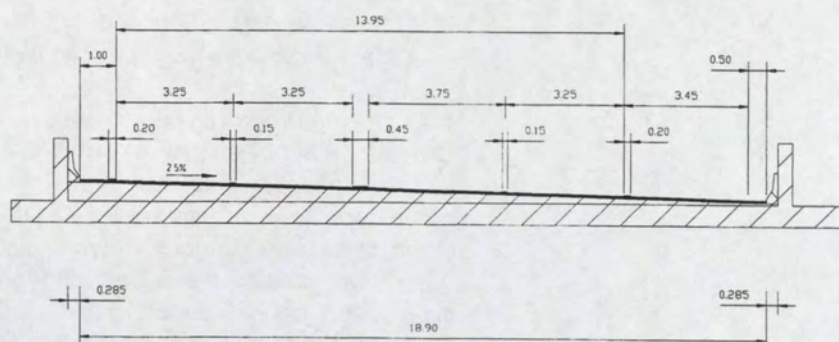
In de dwarsprofielen van de samenvoeging is aangehouden dat aangesloten wordt op een mogelijke toekomstig gebruik van de vluchtstrook in de tunnel als rijstrook, ook al wordt deze situatie vanuit oogpunt van verkeersveiligheid en beheer voor onwenselijk gehouden. Dit uitgangspunt van mogelijke toekomstig gebruik van de vluchtstrook in de tunnel houdt in dat:

1. Daar waar in het voorgestelde dwarsprofiel voor de samenvoeging twee rijstroken aanwezig zijn, de vluchtstrook een breedte krijgt die ook hier toekomstig gebruik als rijstrook mogelijk maakt.

2. Daar waar in het dwarsprofiel van de samenvoeging drie of vier rijstroken aanwezig zijn, is dit toekomstig gebruik als rijstrook niet nodig en is de standaard breedte voor vluchtstroken aangehouden.

Enigszins afhankelijk vanaf welk knooppunt men de tunnel nadert, zie Figuur 11 Kenmerkende meteringen twee varianten Parijse boortunnel, wordt als maatvoering voor de taper samenvoeging tot drie rijstroken met afstreping van de linker rijstrook voor de ingang van de tunnel bij een ontwerpsnelheid van 90 km/uur in de breedterichting aangehouden:

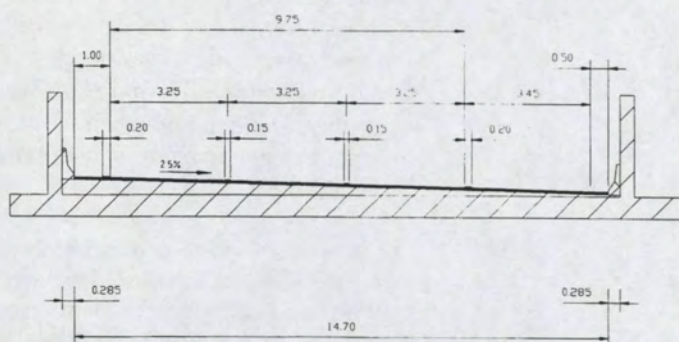
- Ter plaatse van het puntstuk:
totale breedte tussen de wanden van de tunnelbak: 19,47m.



Figuur 7 Maatvoering ter plaatse van het puntstuk, voor 90 km/uur

Verloopt bij de taper samenvoeging tot drie rijstroken over 190m lineair van deze breedte tot de volgende breedte.

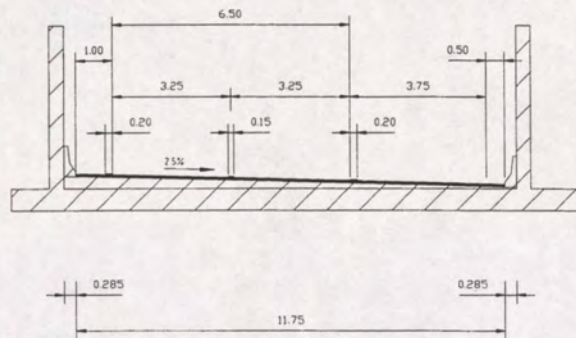
- Waar de rijbaan drie rijstroken breed is:
totale breedte tussen de wanden van de tunnelbak: 15,27m.



Figuur 8 Maatvoering waar de rijbaan drie rijstroken breed is, voor 90 km/uur

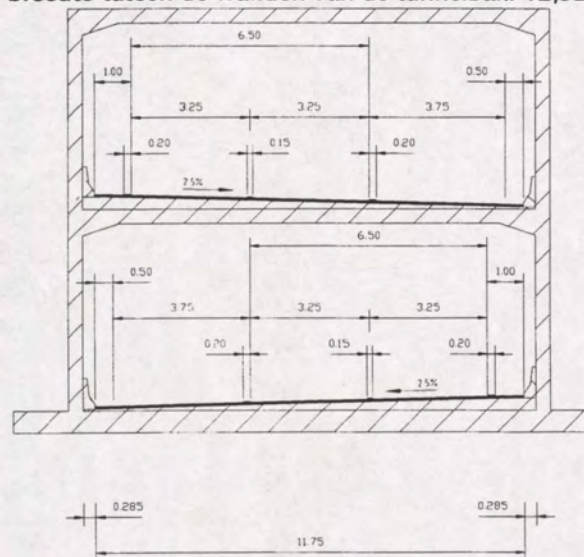
Blijft bij de taper samenvoeging tot drie rijstroken over een lengte van 610m op deze breedte en verloopt dan vanwege de afstreping van de linker rijstrook voor de ingang van de tunnel of

- over een lengte van 165m via de S-slinger of
- over een lengte van 315m via het "constante wegbeeld" en de S-slinger tot de volgende breedte van 12,32m.



Figuur 9 Maatvoering na de afstreping van de linker rijstrook, voor 90 km/uur

- Constante wegbeeld voor de tunnelingang:
totale breedte tussen de wanden van de tunnelbak: 12,32m.



Figuur 10 Maatvoering na de baanverlegging, voor 90 km/uur

Verloopt over de lengte van 150m tot de tunnelingang naar de breedte volgens het bij deze variant behorende dwarsprofiel van de tunnel (met kleinere rijstroken, á 2,75m); totaal 9,65m tussen de halve step-barrières.

De weergegeven dwarsprofielen zijn in principe ook bruikbaar voor de splitsing na de uitgang van de tunnel, er gelden dan echter afwijkende onderlinge afstanden tussen de verschillende dwarsprofielen.

4.7 Kenmerken uiteindelijke tracés en alignementen drie hoofdvarianten

Overzicht van kenmerken van de twee tracés voor aansluiting op het gereconstrueerde knooppunt Muiderberg (variant met wisselbaan, hooggelegen en 120 km/uur ontwerpsnelheid voor de hoofdrijbanen) en de verticale alignementen van de drie tunnelvarianten; in-situ, boortunnel en de Parijse-boortunnel.

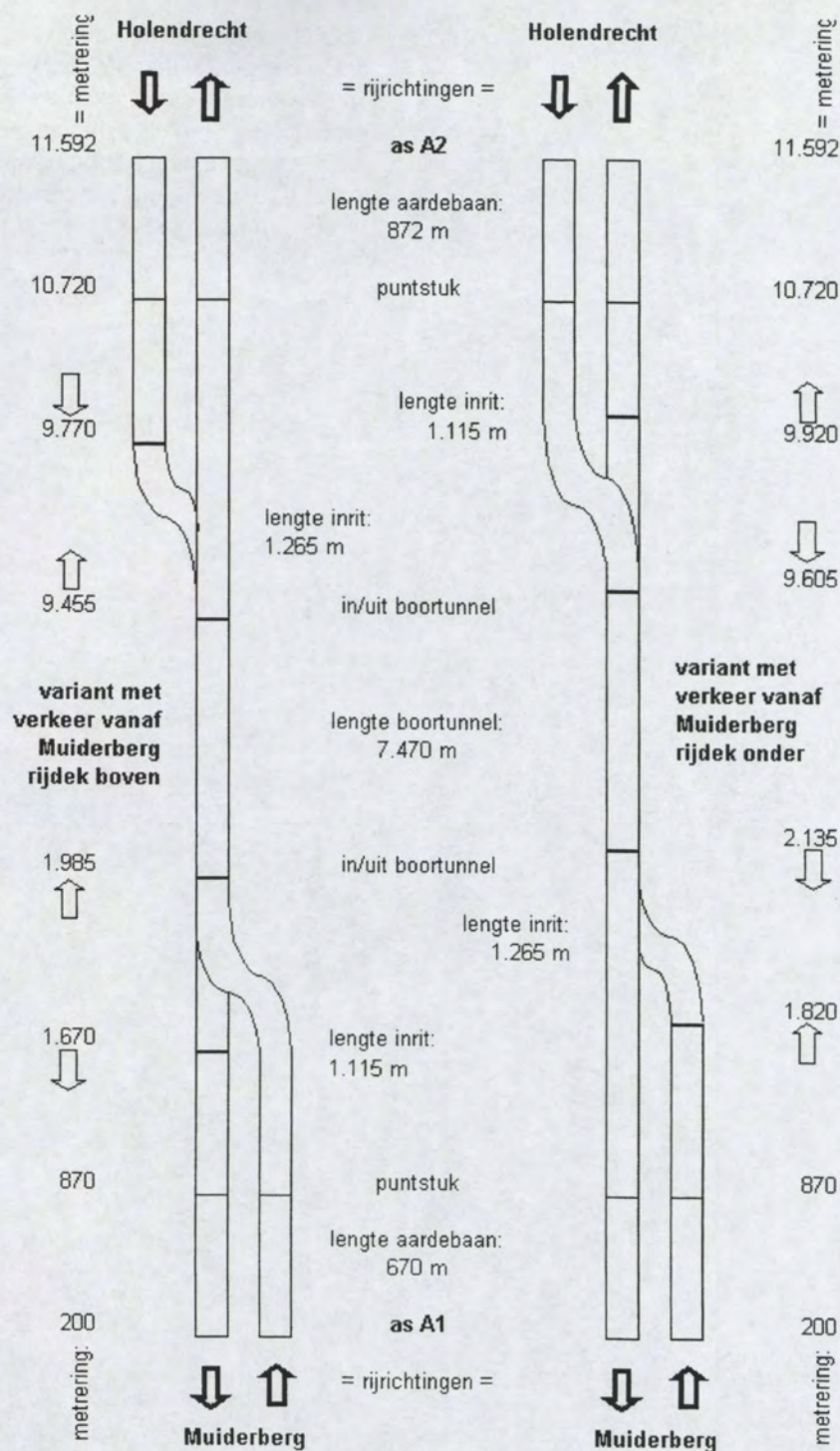
Tabel 1 Overzicht kenmerken van de twee tracés en de drie tunnelvarianten

	In-situ		boortunnel		Parijse boortunnel	
	Lengte van element of metrerings [m]	Hoogte ten opzichte van N.A.P. [m]	Lengte van het element of de metrerings [m]	Hoogte ten opzichte van N.A.P. [m]	Lengte van het element of de metrerings [m]	Hoogte ten opzichte van N.A.P. [m]
Lengte uitgewerkt tracé	12.072	-	11.592	-	11.592	-
Ligging ter plaatse as A1	200	3,61+	200	3,82+	200	3,82+
Lengte aardebaan	670	-	670	-	670	-
Ligging puntstuk	870	0,10-	870	0,10-	870	0,10-
Lengte toerit	1.475	-	1.475	-	1.115 of ⁴⁾ 1.265	-
In-/uitgang tunnel	2.345	10,65- ¹⁾ 9,35- ²⁾	2.345	15,06-	1.985 / ⁵⁾ 1.820	15,06-
Lengte gesloten deel tunnel	7.365	max. 13,81-AdamRijn kanaal	6.914	max. 37,13-Gooi-boog	7.470 ³⁾ of 8.100 ³⁾	max. 38,83-Gooi-boog
In-/uitgang tunnel	9.710	10,65- ¹⁾ 9,51- ²⁾	9.259	15,09-	9.770 / ⁵⁾ 9.455	15,09-
Lengte toerit	1.475	-	1.475	-	1.265 of ⁴⁾ 1.115	-
Ligging puntstuk	11.185	0,60-	10.734	0,60-	10.720	0,60-
Lengte aardebaan	886	-	858	-	872	-
Ligging ter plaatse as A2	12.072	3,11+	11.592	3,37+	11.592	3,37+
Lengte tussen as A1 <-> A2	11.872	-	11.392	-	11.392	-

1) Variant waarbij zich tussen de ventilatieschachten hellingen van gemiddeld 1 op 600 bevinden (inclusief de tunneldelen met top- en voetbogen).

2) Gestrekte variant waarbij de hellingen binnen de tunnel tussen ingangen en het diepste punt constant worden gehouden.

-
- 3) Lengte van de gesloten delen per rijrichting, (7.470m boor), zie Figuur 11.
 - 4) Indien de toerit vanaf Muiderberg zich op het bovenste niveau van de Parijse variant bevindt geldt de eerste, anders de tweede, zie Figuur 11.
 - 5) Het betreft de in-/uitgang van het gesloten gedeelte indien de toerit (vanaf Muiderberg) zich op het bovenste niveau van de Parijse variant bevindt en er zich voor de ingang een afrembocht bevindt (vanaf Muiderberg open tot boortunnel), zie Figuur 11, ook de variant met vanaf Muiderberg onder.

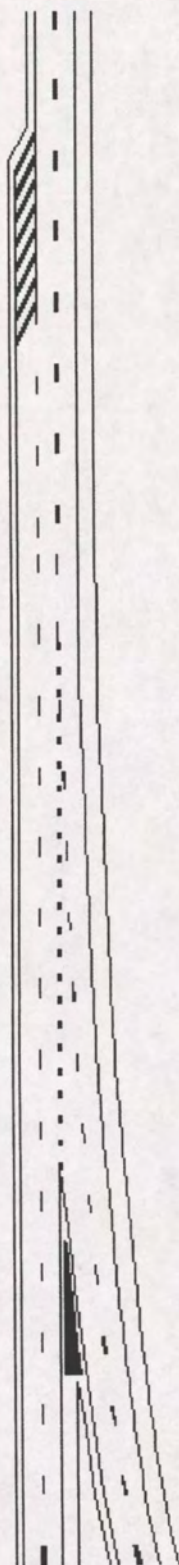


↓ 0.000	&	↑ 0.000	=	metreering begin gesloten tunneldeel voor de desbetreffende rijrichting
↓ 0.000	&	↑ 0.000	=	metreering einde gesloten tunneldeel voor de desbetreffende rijrichting

Figuur 11 Kenmerkende metreeringen twee varianten Parijse boortunnel, verkeer vanaf Muiderberg boven of onder (figuur niet op schaal).

Bijlage 1 Taper samenvoeging tot drie rijstroken met afstreping

Als maatvoering voor de taper samenvoeging tot drie rijstroken met afstreping v/d linker rijstrook voor de ingang van de tunnel wordt bij een ontwerpsnelheid van 120 km/uur in de lengterichting aangehouden (niet op schaal!):



150m "constant" wegbeeld
tussen afstreping en tunnelingang

325m afstreping bestaand uit:
- 250m S-slinger $R=4.000m$
ten behoeve van baan-
verschuiving één rijstrook
- 25m sergeant
- 50m 1:14

375m turbulentielengte voor
afstreping,

375m turbulentielengte na einde
taper,

250m taper na puntstuk,

Totaal 1.475m tussen puntstuk en ingang van de tunnel.

Bijlage 2 Intentsiteiten en capaciteiten samenvoeging

	opgegeven:		afgeleid:					
	mee-spits	tegen-spits	mee-spits		tegen-spits			
almere <-> haarlem	4.266	2.949	hoofdbaan: 504	314	2.235	2.949	2 rijstroken	
			wisselbaan: 3.762	3.953			2 rijstroken	
bussum <-> utrecht	3.343	1.038	hoofdbaan: 3.343	3.343	1.752	1.038	2 rijstroken	
totaal:	7.609	3.987	4 rijstroken	7.609	7.609	3.987	3.987	2 rijstroken

benodigd rijstroken	4,1	AVV handboek capaciteitswaarden
aantal spits rijstroken	4	
aantal dal rijstroken	2	
2 rijstroken totaal	3.953	AVV handboek capaciteitswaarden
ontwerpfactor:	0,85	aanvaardbare congestiekans
mee- / tegen-spits	0,52	
verhouding taper-sam	0,97	mee-spits situatie
verhouding taper-sam	1,05	tegen-spits situatie

De gekozen voor oplossing taper samenvoeging tot drie rijstroken met afstreping van de linker rijstrook voor de ingang van de tunnel is tezamen met de gekozen maatvoering met Fosim 4.2 geëvalueerd voor de verkeersprognoses uit de Quick scan van Directie Noord-Holland. Hierbij is in het verkeer 5% vrachtverkeer aangenomen (personen auto eenheden waarde: 1,5). In de praktijk kan een ander percentage gelden. Voor de tegen-spits-situatie voldoet deze samenvoeging ruimschoots, in de mee-spits-situatie (maatgevende spits; ochtend-spits uit de richting Almere) dient het verkeer wel sterk naar de wisselbaan te worden geleid.

