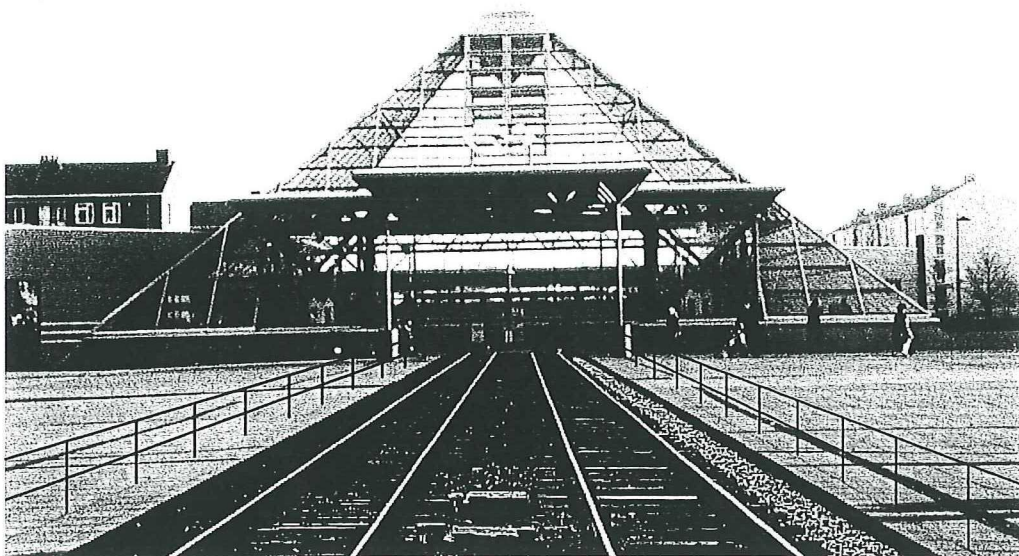


**Stapelen**  
Een alternatieve spooruitbreiding van  
2 naar 4 sporen

**Appendix**



H.K. de Haes

# Stapelen

een alternatieve spooruitbreiding van 2 naar 4 sporen

Afstudeerwerk in het kader van de studie  
Civiele Techniek aan de Technische Universiteit Delft

Appendix

Hugo de Haes

December 1999

Technische Universiteit Delft  
Subfaculteit der Civiele Techniek  
Sectie Infrastructuurplanning  
Stevinweg 1, k. 3.03  
2628 CN Delft  
015-2781422

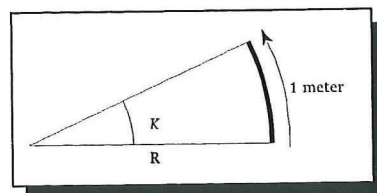
Salomeschouw 11  
2726 JN Zoetermeer  
079-3416082

## Inhoud

Begrippenlijst .....	A.1
<b>Bijlagen</b> .....	A.5
Bijlage I: Verkanting .....	A.7
Bijlage II: Verticale boogstraal .....	A.11
Bijlage III: Lengteprofiel .....	A.13
Bijlage IV: Uitvoeringsprincipes Stapeloplossing .....	A.25
Bijlage V: Kostenschattingen uitbreidingsvarianten Vleuten .....	A.39
Bijlage VI: Globale uitvoeringsplanningen uitbreidingsvarianten Vleuten .....	A.47
Bijlage VII: Tijd-wegdiagrammen maatgevend spitsuur (8 - 9 uur 's ochtends) .....	A.51
Trajecten Utrecht CS - Geldermalsen, Boxtel - Eindhoven	
<b>Tekeningen</b> .....	A.53
Tunneldoorsneden	
Enkelsporige tunnel, ontwerpsnelheid 160 km/u	
Enkelsporige tunnel, ontwerpsnelheid 200 km/u	
Dubbelsporige tunnel, ontwerpsnelheid 160 km/u	
Dubbelsporige tunnel, ontwerpsnelheid 200 km/u	
Basisontwerpen Stapeloplossing	
Richtingbedrijf, snelsporen aan binnenzijde	
- dwarsdoorsneden en lengteprofielen	
- ontwerpsnelheden: 160 km/uur en 200 km/uur	
Richtingbedrijf, snelsporen aan buitenzijde	
- dwarsdoorsneden en lengteprofielen	
- ontwerpsnelheden: 160 km/uur en 200 km/uur	
Lijnbedrijf	
- dwarsdoorsneden (totale lengteprofiel gelijk aan richtingbedrijf)	
- ontwerpsnelheden: 160 km/uur en 200 km/uur	
Case Vleuten	
Randvoorwaarde aansluitend spoor Vleuten	
Dimensies 4-sporige op maaiveld ter plaatse van station	
Dimensies 4-sporige tunnel ter plaatse van station	
Inpassing Vleuten huidige situatie	
Inpassing Vleuten maaivelduitbreiding	
Inpassing Vleuten 4-sporige tunnel	
Inpassing Vleuten Stapeloplossing (standaard)	
Dwarsdoorsnede Stapeloplossing Vleuten richtingbedrijf (smal)	
Inpassing Vleuten Stapeloplossing (versmald)	

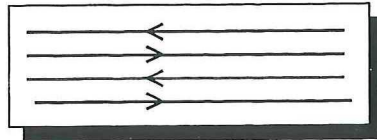
## Begrippenlijst

ADOB:	Automatische Dubbele Overweg Bomen (type spoorwegovergang).
AHOB:	Automatische Halve Overweg Bomen (type spoorwegovergang).
AKI:	Automatische Knipperlicht Installatie (type spoorwegovergang).
AR-trein:	Agglo-regiotrein, stoptrein.
Baanvaksnelheid:	Maximaal toegestane rijsnelheid op een bepaald traject(deel).
Barrièrewerking:	De mate waarin een gebied dat een eenheid vormde door (de komst van) infrastructuur in delen wordt gesplitst.
BB21:	Beheersing en Beveiliging in de 21 <sup>e</sup> eeuw. Een pakket maatregelen waardoor de railinfrastructuur beter kan worden benut. (Ook wel: Beter Benutten).
Bereikbaarheid:	Hoeveel mogelijkheden zijn er om een infrastructuurbundel te kruisen (aantal overwegen/viaducten) en hoeveel moeite moet men ervoor doen (omrijden, hoogteverschillen).
Diepwand:	Betonnen wand die in de grond wordt gemaakt. Er wordt een sleuf gegraven, die later met beton wordt gevuld. Diepwanden worden toegepast in de tunnelbouw en de bouw van grondkerende constructies.
EC-trein:	Eurocity-trein, vormt snelle verbindingen tussen grote Europese steden.
IC-trein:	Intercity-trein, vormt snelle verbinding over lange afstand binnen Nederland en stopt op een beperkt aantal plaatsen (gemiddelde halteafstand 30 tot 50 km, operationele snelheid 100-120 km/u).
IR-trein:	Interregiotrein (sneltrain), vormt verbinding over semi-lange afstand (gemiddelde halteafstand 10 tot 30 km, operationele snelheid 80-100 km/u).
Kromming (K):	$K = 1/R$ . Uitdrukking om bogen te definiëren. Geeft aan hoeveel de hoekverdraaiing (in rad) is van een boog met straal R en een lengte van 1 meter.



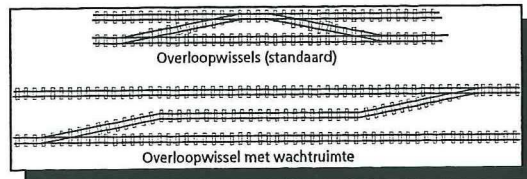
Kromming K

Lijnbedrijf:	Sporen worden op een 4-sporig traject om en om in een bepaalde richting bereiden. De 4 sporen naast elkaar kunnen worden beschouwd als 2 min of meer onafhankelijke dubbelsporige spoorlijnen.
--------------	--



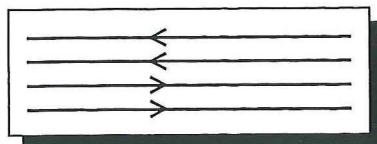
Lijnbedrijf

- Maaiveld: Bovenkant van het terrein dat een bouwwerk omgeeft.
- M.P.Z. kracht: Middelpuntzoekende kracht, een zijdelingse kracht op de trein die voornamelijk in bogen een rol speelt. Passagiers ondervinden dit doordat zij als het ware 'opzij' worden geduwd als een trein in een boog rijdt.
- Overgangsboog: Een overgangsboog vormt de overgang tussen een rechte en een boog (met straal R), of tussen twee bogen. In een overgangsboog neemt de boogstraal geleidelijk toe van  $\infty$  (de 'boogstraal' van een rechte) tot de boogstraal van de boog die door de overgangsboog wordt ingeleid. Overgangsbogen bouwen de dwarsversnelling die wordt ervaren in een voertuig die door een boog rijdt geleidelijk op.
- Overloopwissels: Een serie wissels achter elkaar die het mogelijk maken een trein van het ene spoor naar het andere te laten rijden.



Overloopwissels

- Perronspoor: Een spoor in een station dat langs een perron gesitueerd is en waarbij het voor reizigers mogelijk is van het perron in en uit de trein te komen.
- Perronvrij spoor: Een spoor in een station dat niet langs een perron gesitueerd is of, indien het wel langs een perron is gesitueerd, een spoor waarbij maatregelen op het perron zijn getroffen waardoor het niet mogelijk is van het perron op het betreffende spoor te komen.
- Richtingbedrijf: Sporen worden op een 4-sporig traject 2 aan 2 in een bepaalde richting bereden.



Richtingbedrijf

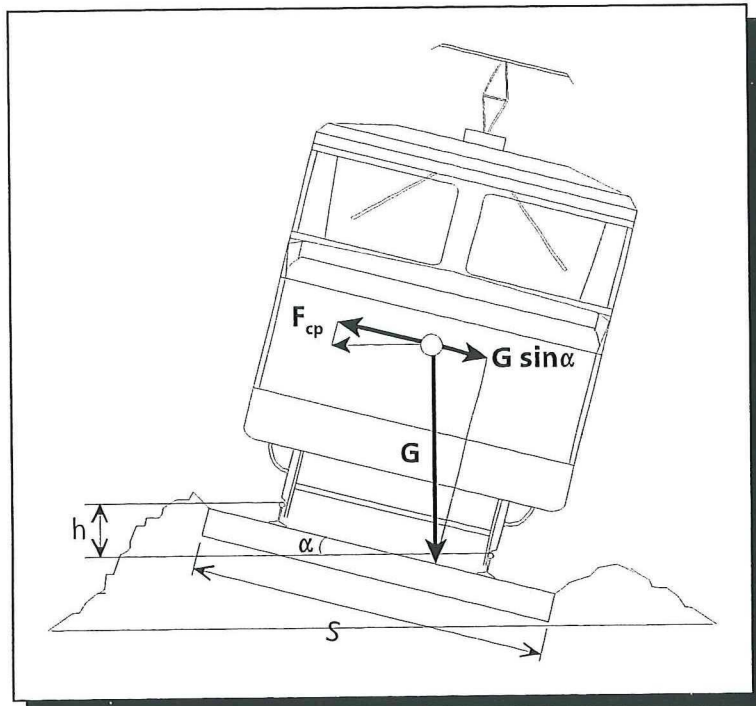
Spoorafstand:	Hart op hartafstand tussen twee sporen.
Spoorfunctionaliteit:	Geeft aan welke treinen over welke sporen rijden. Daarmee staat vast of er sporen gereserveerd zijn voor bepaalde snelheden of bepaalde treinsoorten (zoals hogesnelheidstreinen, goederentreinen, etc.).
Spoor multifunctionaliteit:	Houdt in dat alle sporen door alle soorten treinen kunnen worden bereden en dus ook allemaal aan perrons moeten liggen.
Verkanting:	Is in een boog het hoogteverschil tussen de buitenste en de binnenste spoorstaaf. Hierdoor worden zijdelingse krachten op trein en passagiers beperkt of geheel weggenomen. De verkanting wordt in mm uitgedrukt, en kan tot 150 mm oplopen (10 %). De verkanting wordt bepaald voor een bepaalde ontwerpsnelheid. De zijdelingse krachten op een trein die een boog volgens de ontwerpsnelheid doorloopt worden volledig opgeheven.
Verkantingsoverschot:	Hiervan is sprake indien een trein met een lagere snelheid dan de ontwerpsnelheid een boog doorloopt. De trein heeft dan de neiging 'naar binnen te vallen'.
Verkantingstekort:	Hiervan is sprake indien een trein met een hogere snelheid dan de ontwerpsnelheid een boog doorloopt. De trein heeft dan de neiging 'uit de bocht te vliegen'.
Wanden-dakmethode:	Bouwmethode voor tunnels. Eerst worden de wanden in de grond geplaatst (diepwanden) waarna het dak van de tunnel gemaakt wordt. Vervolgens kan de ruimte boven het tunneldak weer worden benut terwijl ondergronds de tunnel verder wordt (af)gebouwd.

## Bijlagen

- I. Verkanting
- II. Verticale boogstraal
- III. Lengteprofiel
- IV. Uitvoeringsprincipes Stapeloplossing
- V. Kostenschatting uitbreidingsvarianten Vleuten
- VI. Uitvoeringsplanningen
- VII. Tijd-wegdiagrammen maatgevend spitsuur (8-9 uur 's ochtends)  
trajecten: Utrecht - Geldermalsen, Boxtel - Eindhoven

## Bijlage I: Verkanting

Als een trein door een boog rijdt, dan krijgen reizigers het gevoel 'uit de bocht' geduwd te worden. Er wordt een zijwaartse kracht op de reizigers uitgeoefend. Om de krachten te beperken worden bogen in spoorlijnen onder een *verkanting* gelegd. Dit houdt in dat de spoorstaaf aan de buitenzijde van de boog hoger wordt gelegd dan de spoorstaaf aan de binnenzijde. Als gevolg daarvan heeft de trein (en reiziger) de neiging 'de bocht in' te vallen. De krachten als gevolg van de verkanting heeft de kracht als gevolg van het doorrijden van een



I.1 Krachtenspel trein in boog

boog (gedeeltelijk) op. Dit is in onderstaand figuur weergegeven.

In dat figuur is:

- h: de verkanting (hoogteverschil tussen buitenste en binnenste spoorstaaf in mm).
- S: de spoormaat (de afstand tussen de spoorstaven, 1,5 meter).
- $F_{cp}$ : de kracht naar buiten als gevolg van het doorrijden van een boog. Deze is afhankelijk van de massa van het object dat de kracht ondervindt, van de snelheid waarmee een boog doorlopen wordt en de straal van de boog die doorlopen wordt.
- G: zwaartekracht van het object dat de kracht ondervindt.
- $G \sin \alpha$ : deel van zwaartekracht dat de  $F_{cp}$  (deels) opheft.

### Bepaling verkanting h

Maatgevend voor de bepaling van de verkanting  $h$  zijn bij reizigerstreinen de comforteisen voor de reizigers. Bij goederentreinen is het stilstaan in een boog maatgevend. Enerzijds omdat bij een grote verkanting  $h$  het mogelijk is dat lading gaat schuiven (met kantelen als mogelijk gevolg), anderzijds omdat de kracht op het binnenste spoor erg groot wordt. Door de verkanting wordt de trein tegen het binnenste spoor gedrukt. Hierdoor kan slijtage ontstaan,



maar kan een goederentrein (vanwege de grote massa) grote problemen ondervinden als deze vanuit stilstand in een boog weer op gang moet komen. De wielen ondervinden namelijk een grotere weerstand.

De theoretische verkanting ( $h_t$ ) is die verkanting waarbij de  $F_{cp}$  volledig wordt opgeheven (in andere woorden:  $G\sin\alpha$  is gelijk aan  $F_{cp}$ ).

Er geldt in dat geval:

$$F_{res} = F_{cp} - G\sin\alpha$$

$$F_{cp} = mv^2/R$$

$$G = mg$$

$$\sin\alpha = h/S$$

$$\frac{mv^2}{R} - mg \frac{h}{S} = 0 \qquad \frac{v^2}{R} = g \frac{h_t}{S}$$

Theoretische  $h_t$  indien  $F_{res} = 0$

(I.1)

$$F_{res} = \frac{mv^2}{R} - mg \frac{h}{S}$$

(I.2)

$$h_t = \frac{v^2 S}{gR}$$

met  $S=1,5$  m en  $g = 9,81$  m/s<sup>2</sup>,  $h_t$  in mm en  $v$  in km/u volgt:

(I.3)

$$h_t = \frac{1,5v^2}{9,81R} * \frac{1.000}{3,6^2} = \frac{11,8v^2}{R}$$

### Verkantingstekort en verkantingsoverschot

De verkanting wordt berekend voor een bepaalde passeersnelheid. Omdat verschillende treinen met verschillende snelheden door dezelfde bocht rijden (een goederentrein zal bijvoorbeeld minder hard rijden dan een reizigerstrein), is het mogelijk dat de toegepaste verkanting voor een bepaalde trein te beperkt is (de trein rijdt sneller dan waarvoor de verkanting ontworpen is), of juist te groot (de trein rijdt langzamer dan waarvoor de trein ontworpen is). Indien van de ontwerpsnelheid wordt afgeweken, dan is er sprake van *verkantingstekort* indien de passeersnelheid hoger is dan de ontwerpsnelheid, en is er sprake van een *verkantingsoverschot* indien de passeersnelheid lager is dan de ontwerpsnelheid.

In het geval van verkantingstekort ontstaat er een resterende kracht, dwars op de spoorbaan, die de trein als het ware uit de bocht wil duwen. Uit comfortoverwegingen voor passagiers in de trein wordt deze *dwarsversnelling* aan grenzen onderworpen.

In de spoorwegbouw wordt een minimaal verkantingstekort van 30 mm aangehouden. De achtergrond hiervan is dat een trein in dat geval een lichte geleiding langs de buitenste spoorstaaf van het spoor heeft, waardoor de trein rustiger de boog doorloopt.

Indien de toelaatbare dwarsversnelling  $a_{acc}$  ( $m/s^2$ ) bedraagt, dan volgt uit (I.1), (I.2) en (I.3):

$$(I.4) \quad F_{res} = \frac{mv^2}{R} - mg \frac{h}{S} = ma_{acc}$$

Uit deze vergelijking (I.4) kan de verkanting worden bepaald die minimaal nodig is om de resterende dwarskracht ( $ma_{acc}$ ) binnen de comforteisen te houden. Er volgt via:

$$\frac{v^2}{R} - \frac{hg}{S} - a_{acc} = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{v^2 - a_{acc}R}{R} = \frac{hg}{S} \quad \Rightarrow \quad h = \frac{S(v^2 - a_{acc}R)}{gR}$$

Met  $S = 1,5$  meter en  $g = 9,81$   $m/s^2$  volgt:

$$(I.5) \quad h = \frac{v^2 - a_{acc}R}{6,54R}$$

Uit (I.5) kan volgt de verkanting die minimaal benodigd is om aan de comforteisen voor treinreizigers te voldoen. Het verkantingstekort kan nu worden bepaald. Het verkantingstekort is het verschil tussen de theoretische verkanting (de verkanting waarbij de resterende kracht gelijk is aan 0) en de verkanting die minimaal nodig is.

Het verkantingstekort  $h_{tek}$  volgt uit:

$$h_{tek} = h - h_t = \frac{v^2 - a_{acc}R}{6,54R} - \frac{v^2}{6,54R} = \frac{v^2}{6,54R} - \frac{a_{acc}R}{6,54R} - \frac{v^2}{6,54R}$$

$$(I.6) \quad h_{tek} = -\frac{a_{acc}}{6,54}$$

Indien  $h$  in mm dan volgt:

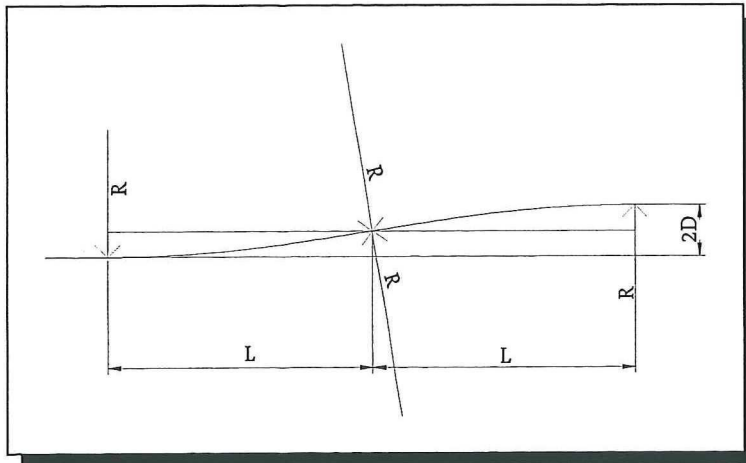
$$(I.7) \quad h_{tek} = -153a_{acc}$$

Uit (I.7) blijkt dat het verkantingstekort alleen afhankelijk is van de toegestane dwarsversnelling, en dus niet van de rijsnelheid van een trein. Echter, in de ontwerpisen voor spoorlijnen (bijvoorbeeld OVS) worden toch voor verschillende rijsnelheden verschillende

grenswaarden voor de verkanting, voor het verkantingstekort en voor het verkantingsoverschot gegeven. De achtergrond daarvan is het feit dat voor hogere snelheden lagere dwarsversnellingen ( $a_{acc}$ ) worden toegestaan dan bij lagere rijksnelheden. Ook dit komt voort uit comfortoverwegingen voor reizigers.

### S-bogen

Het kan voorkomen dat de as van een spoor over een bepaalde afstand verlegd moet worden. Om dit te realiseren worden S-bogen toegepast. Hierbij worden over het algemeen geen



I.2 S-boog waarbij de bogen gelijke stralen R hebben

overgangsbogen en verkanting gebruikt omdat de afstand waarover een spoor verlegd wordt meestal zeer beperkt is. Er komen dus twee tegengestelde bogen tegen elkaar te liggen zonder overgangsbogen ertussen. Uit comfortoverwegingen is gesteld dat de som van de verkantingstekorten van de tegengestelde bogen niet meer dan 48 mm mag bedragen. Uit (I.7) volgt dat het verkantingstekort gelijk is aan  $-153 a_{acc}$ . Aangezien een S-boog uit twee tegengestelde bogen met gelijke boogstraal bestaat geldt:

$$(I.8) \quad -153a_{acc} - 153a_{acc} \leq 48 \text{ mm}$$

Hieruit volgt dat  $a_{acc}$  in S-bogen gelijk is aan  $0,157 \text{ m/s}^2$ .

Tevens geldt dat  $a_{acc} = v^2/R$  en dus:  $R = v^2/a_{acc}$ . Hieruit volgt dat de boogstraal die toegepast moet worden in S-bogen minimaal gelijk moet zijn aan (met  $v$  in km/u):

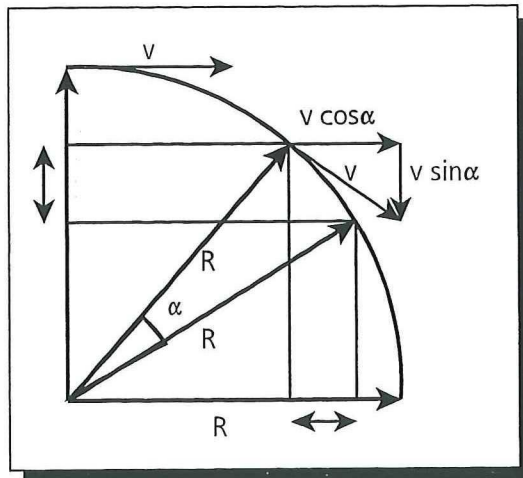
$$(I.9) \quad R = \frac{1}{2}v^2$$

Voor de dimensionering geldt (zie figuur I.2)

$(R-D)^2 + L^2 = R^2$  en dus dat:

$$(I.10) \quad L = \sqrt{D(2R - D)}$$

## Bijlage II: Verticale boogstraal



II.1 Verticale boog

Beschouw verticale boog met straal  $R$  (zie figuur)

Een trein rijdt met een bepaalde snelheid  $v$ . Onder een hoek  $\alpha$  is deze snelheid verdeelbaar in een horizontale en een verticale snelheid. De verticale versnelling is gegeven, en is gelijk aan  $a$ . Indien de verticale verplaatsing wordt beschouwd als een valbeweging met een gegeven valversnelling  $a$ , dan geldt onder een bepaalde hoek  $\alpha$  met als tijdsinterval  $dt$ :

$$(II.1) \quad \text{Hor. verpl. } X = v \cos \alpha \, dt$$

$$(II.2) \quad \text{Vert. verpl. } Y = v \sin \alpha \, dt = \frac{1}{2} a \, dt^2$$

Hierbij is  $dt$  zodanig klein gemaakt dat snelheidswijzigingen als gevolg van een andere hellingshoek buiten beschouwing kunnen worden gelaten.

Deze verplaatsingen moeten overeenkomen met de minimale verticale boogstraal  $R$ , volgens welke de trein zich verplaatst. Er geldt:

$$(II.3) \quad (R - v \sin \alpha \, dt)^2 + v^2 \cos^2 \alpha \, dt^2 = R^2$$

$$(II.4) \quad R^2 - 2Rv \sin \alpha \, dt + v^2 \sin^2 \alpha \, dt^2 + v^2 \cos^2 \alpha \, dt^2 = R^2$$

$$(II.5) \quad -2Rv \sin \alpha \, dt + v^2 dt^2 (\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha) = 0$$

Met  $(\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1)$  en (II.2) volgt uit (II.5):

$$(II.6) \quad R a \, dt^2 = v^2 \, dt^2$$

En dus geldt voor de minimale verticale boogstraal:

$$(II.7) \quad R_{\text{vert.,min}} = \frac{v^2}{a}$$

In de Ontwerpvoorschriften voor de spoorwegbouw wordt voor als streefwaarde voor de verticale versnelling een waarde van  $0,2 \text{ m/s}^2$  aangehouden, terwijl als grenswaarde  $0,3 \text{ m/s}^2$  gehanteerd wordt. Dit leidt tot onderstaande tabel waarin de relatie tussen ontwerpsnelheid en verticale boogstraal wordt weergegeven.

Ontwerpsnelheid:	160 km/u	200 km/u	300 km/u
Streefwaarde:	9.880	15.400	34.720
Grenswaarde:	6.580	10.300	23.150

## Bijlage III: Lengteprofiel

Voor de uitwerking van de Stapeloplossing is een aantal mogelijke lengteprofielen denkbaar. Dit verschil zit alleen in de lengteprofielen van de ondergrondse snelsporen. In de eerste mogelijkheid bestaat het lengteprofiel van de snelsporen uit een verticale boog, gevolgd door een recht deel, weer gevolgd door een verticale boog waarna de uiteindelijke tunneldiepte (9,2 meter) is bereikt (de basisoplossing, paragraaf III.1). Door de verticale bogen in de tunnel door te laten lopen kan de tunnellengte worden gereduceerd.

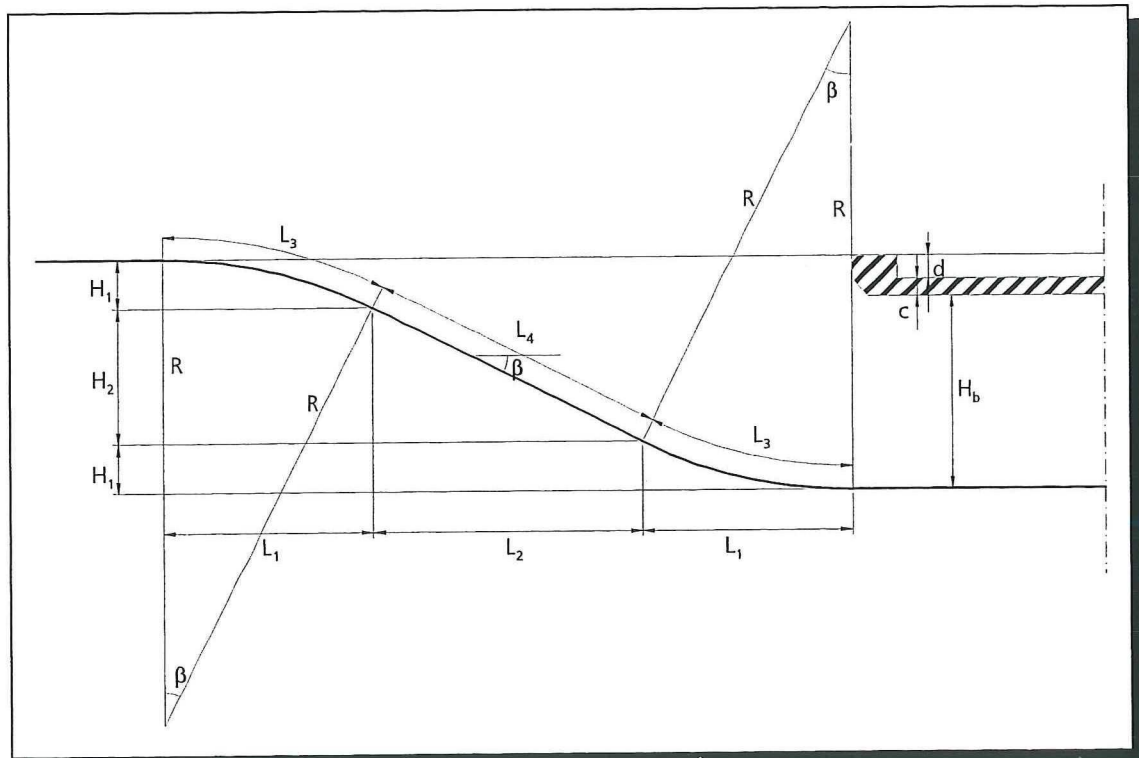
De tweede bestaat uit twee elkaar opeenvolgende verticale bogen zonder rechtstand tussen de bogen (paragraaf III.2). Hierdoor zou de Stapeloplossing verkort kunnen worden ten opzichte van de basisoplossing. Een extra verkorting kan worden bereikt door de verticale bogen van de tunnelinritten in de tunnel de laten doorlopen.

Van belang bij de keuze van de Stapeloplossing is voornamelijk het comfort van reizigers en de steilte van hellingen in verband met goederentreinen. Daarnaast mag, indien noodzakelijk, het kostenplaatje niet worden vergeten. Onderdelen van het alignment worden in principe volgens de streefwaarden ontworpen. Bij eventueel noodzakelijke aanpassingen kan naar de grenswaarden worden overgestapt.

Aangezien in de Stapeloplossing de stopsporen in principe op maaiveld liggen en geen hoogteverschillen zullen ondergaan wordt bij de bespreking van de verticale alignementen in de volgende paragrafen volstaan met een bespreking van die van de snelsporen.

### III.1 Lengteprofiel basisoplossing

Het lengteprofiel van de tunnelingang in de basisoplossing kan worden geschematiseerd zoals weergegeven in figuur III.1.



III.1 Lengteprofiel tunnelingang

Hierin staat een aantal maten vast. Deze zijn:

$c$  = constructiehoogte = 0,75 meter

$d$  = gronddekking + hoogte ballastbed = 1,75 meter

$H_b$  = binnenhoogte tunnel = 6,7 meter

$R$  = verticale boogstraal (zie bijlage II)

$\beta$  = helling      gewenst:  $\arctan 5 \text{ ‰} = 0,286^\circ$

                          maximaal:  $\arctan 25 \text{ ‰} = 1,432^\circ$ .

$H_{\text{totaal}} = 9,2 \text{ m}^1$

$v_{\text{ontwerp}} = 160 \text{ km/u}$

Met de ontwerpsnelheid ligt de minimale elementlengte vast, die gelijk dient te zijn aan de afstand die een trein in 2 seconden aflegt (uit oogpunt van comfort). Hierbij wordt een element gevormd door een aaneengesloten boog op rechte, zowel in het horizontale als in het verticale vlak. De minimale elementlengte bedraagt voor 160 km/u 88,89 meter.

De helling wordt getracht zo steil mogelijk te maken. Gezien de hoge kosten van tunnelconstructies wordt daarmee gepoogd de lengte van de tunnelritten zo beperkt mogelijk te houden. De lengte van de tunnel zelf ligt met 370 meter (perronlengte + ruimte voor overwegen en schachten) in principe vast.

Door middel van enkele geometrische functies zijn de onbekende afmetingen te bepalen. Er volgt:

$$L_1 = R \sin \beta$$

$$\cos \beta = \frac{R - H_1}{R}$$

$$H_1 = R(1 - \cos \beta)$$

$$H_2 = H_{\text{totaal}} - 2 * H_1$$

$$L_2 = H_2 / \tan \beta$$

$$L_3 = \int_0^\beta R d\beta \quad (\beta \text{ in rad})$$

$$L_4 = L_2 / \cos \beta$$

Voor  $L_3$  en  $L_4$  geldt: minimaal 88,89 meter voor  $v_{\text{ontwerp}} = 160 \text{ km/u}$ .

In tabel III.1 wordt voor verschillende boogstralen aangegeven wat de lengte van de verschillende elementen is waarbij de maximaal mogelijke hellingshoek is toegepast. Opgemerkt wordt dat hellingen steiler dan  $1,432^\circ$  niet toegestaan zijn. Voor goederentreinen geldt een maximale helling van  $0,286^\circ$ . Indien deze overschreden wordt moeten aanpassingen in de trajectbeveiliging worden aangebracht om te voorkomen dat goederentreinen op hellingen tot stilstand komen.

---

<sup>1</sup> Deze is opgebouwd uit:  $c + d + H_b + 0,75 \text{ m}$  ballastbed en spoorconstructie op maaiveld.

De toegepaste boogstralen zijn de streef- en de grenswaarde die voor de snelheden van 160 km/u (9.880 respectievelijk 6.580 meter) en een waarde waarbij horizontale en verticale bogen tegelijkertijd in de spoorgeometrie toegestaan zijn (12.000 meter). Met deze laatste waarde wordt in ieder geval ook voldaan aan de zogenaamde *rukeis*. Deze eis stelt grenzen aan de ruk die een trein ondergaat als deze op de overgang van 2 (tegengestelde) bogen (met verschillende boogstralen) rijdt.

Tabel III.1 Lengte tunnelingang (m)						
R <sub>vert</sub> (m):	6.580		9.880		12.000	
Helling (°):	0,286 <sup>1)</sup>	1,432 <sup>2)</sup>	0,286 <sup>1)</sup>	1,432 <sup>2)</sup>	0,286 <sup>1)</sup>	1,380 <sup>2)</sup>
L <sub>1</sub>	32,85	164,44	49,32	246,91	59,90	289,00
L <sub>2</sub>	1810,22	203,61	1793,75	121,16	1783,17	92,94
L <sub>3</sub>	32,85	164,45	49,32	246,93	59,90	289,03
L <sub>4</sub>	1810,24	203,68	1793,77	121,19	1783,19	92,97
L <sub>tunnelinrit</sub> (=2*L <sub>1</sub> + L <sub>2</sub> )	1875,91	532,49	1892,38	614,97	1902,97	670,94
L <sub>totaal Stapeloplossing</sub>	4121,82	1434,98	4154,77	1599,94	4175,93	1711,88
<sup>1)</sup> Streefwaarde: 0,5 % = 0,286 ° <sup>2)</sup> Maximaal mogelijk bij gegeven R						

### Conclusie

Uit bovenstaande tabel blijkt dat bij toepassing van de streefwaarde van de verticale helling de elementlengte van de verticale bogen (L<sub>1</sub>) kleiner wordt dan de noodzakelijke 88,89 meter. De maximaal mogelijke helling bleek 1,432 ° (2,5 %).

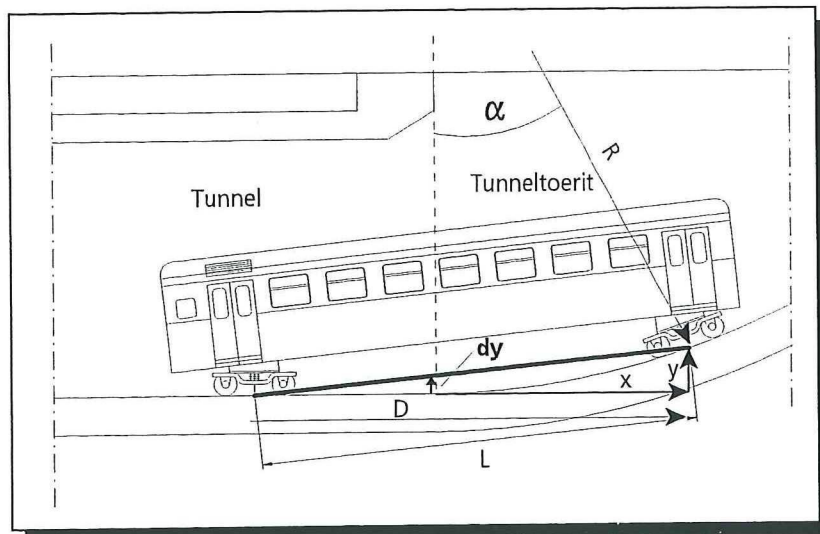
De aanpassingen die noodzakelijk zijn in de trajectbeveiliging voor het huidige systeem in verband met de steile hellingen zijn beperkt. Uit tabel III.1 blijkt dat de totale lengte van de Stapeloplossing in alle gevallen rond die van de bloklengte in het bestaande trajectbeveiligingssysteem ligt.

In de uitwerking van de Stapeloplossing wordt de variant met een verticale boogstraal van 12.000 meter aangehouden, omdat er in het spooralignement in de tunnelinritten zowel een verticale als een horizontale boog aanwezig is.



## Verhoging tunneldak ter plaatse van uitgang

In de verschillende ontwerpen voor de Stapeloplossing is een zodanige spoorgeometrie toegepast dat de helling van de tunneltoeritten precies op de plaats begint waar het tunneldak begint. Als gevolg daarvan zal een trein die de tunnel in- of uitrijdt en zich daardoor deels in de tunnel (horizontaal) en deels op de uitrit (verticale boog) bevindt iets omhoog komen. Dit is in figuur III.2 geschetst. Dit principe zou gevolgen kunnen hebben voor de hoogte van de tunnel ter plaatse van de in- en uitgang. Van belang is de maat  $dy$ , die afhangt van de hart op hartafstand van de draaistellen ( $L$ ) en de verticale boogstraal ( $R$ ). Hierna wordt de waarde van  $dy$  afgeleid.



III.2 Verhoging treindak bij tunneluitgang

Uit figuur III.2 volgt:

$$(III.1) \quad \frac{dy}{y} = \frac{D-x}{D} = 1 - \frac{x}{D}$$

$$(III.2) \quad y = R(1 - \cos\alpha)$$

$$(III.3) \quad D = \sqrt{(L^2 - y^2)}$$

Uit (III.1), (III.2) en (III.3) volgt:

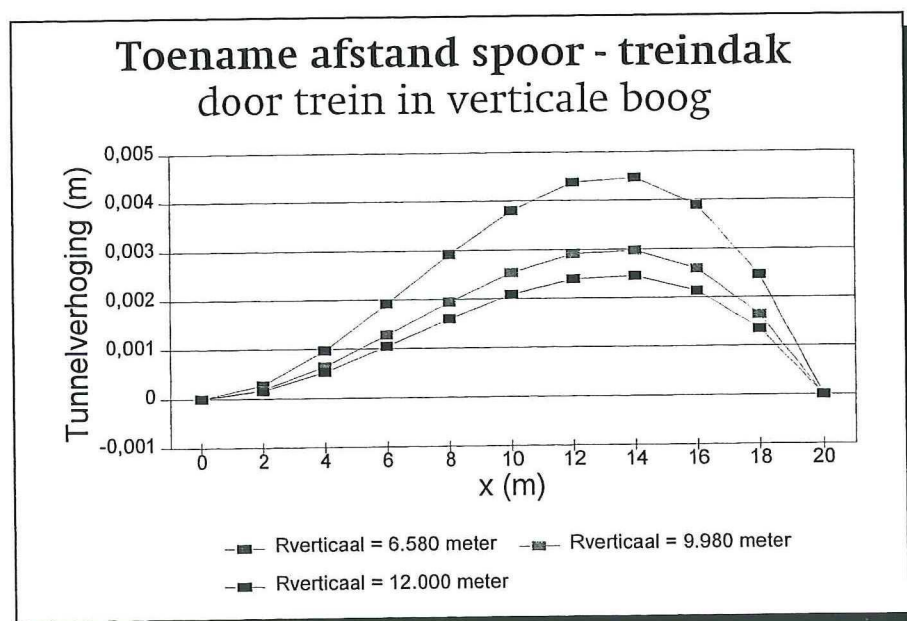
$$(III.4) \quad dy = R(1 - \cos\alpha) \left( 1 - \frac{x\sqrt{L^2 - R^2(1 - \cos\alpha)^2}}{L^2 - R^2(1 - \cos\alpha)^2} \right)$$

Via (III.4) kan voor verschillende waarden van  $x$  worden bepaald wat de daadwerkelijk verhoging  $dy$  bedraagt. In Tabel III.2 is de verhoging  $dy$  weergegeven als functie van  $x$  en de voor de case Vleuten relevante waarden van  $R$ .

Tabel III.2 Tunnelverhoging ter plaatse van toegangen (m)			
$R_{\text{verticaal}}$ (m) \backslash $x$ (m)	6.580 <sup>1)</sup>	9.880 <sup>2)</sup>	12.000 <sup>3)</sup>
0	0	0	0
2	0,000274	0,000182	0,000150
4	0,000973	0,000648	0,000533
6	0,001915	0,001275	0,001050
8	0,002918	0,001943	0,001600
10	0,003799	0,002530	0,002083
12	0,004377	0,002915	0,002400
14	0,004468	0,002976	0,002450
16	0,003891	0,002591	0,002133
18	0,002462	0,001640	0,001350
20	0	0	0

<sup>1)</sup> Grenswaarde bij ontwerpsnelheid 160 km/u  
<sup>2)</sup> Streefwaarde bij ontwerpsnelheid 160 km/u  
<sup>3)</sup> Bij combinatie horizontale en verticale boog

Als de gegevens uit Tabel III.2 in een grafiek worden gezet geeft dat het volgende resultaat:



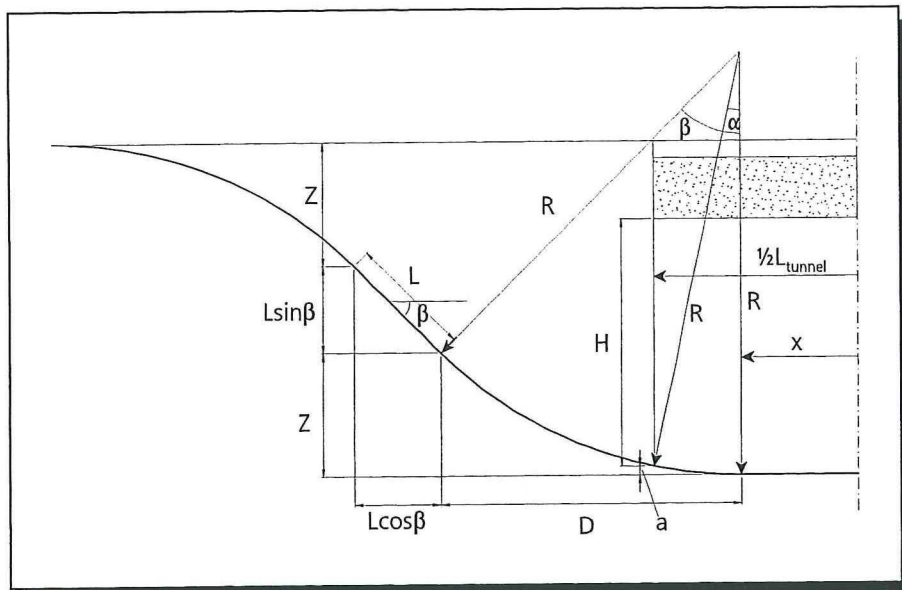
Grafiek III.1 Tunnelverhoging

## Conclusie

Aan de hand van het voorgaande kan worden geconcludeerd dat het grootste hoogteverschil als gevolg van het in- of uitrijden van een tunnel maximaal 5 millimeter bedraagt. Dit is zodanig klein dat er geen aanpassingen aan de constructie gedaan hoeven te worden.

## De basisoplossing verkort

Door de verticale bogen door te laten lopen in de tunnel lijkt het mogelijk de totale lengte van de Stapeloplossing te reduceren. Het lengteprofiel van de tunnelinritten komt er dan uit te zien zoals in figuur III.3 weergegeven.



III.3 Verkort lengteprofiel basisoplossing

In figuur III.3 geldt:

$a$  = toename tunneldiepte

$H$  = binnenhogte tunnel (= 6,7 meter)

$R$  = verticale boogstraal

$L$  = lengte rechte in helling

$L_{\text{tunnel}} = 370$  meter

$x$  = afstand vanuit midden tunnel

Er geldt dat  $x$  niet kleiner mag zijn dan 44,5 meter, anders wordt het rechte deel in de tunnel korter dan 89 meter, de afstand die bij 160 km/u in 2 seconden wordt afgelegd. Daarnaast kan  $x$  niet groter zijn dan 185 meter, precies de halve tunnellengte. Indien  $x$  op 185 meter wordt gesteld, dan wordt teruggevallen op de basisoplossing die aan het begin van deze paragraaf werd besproken.

Uit figuur III.3 valt af te leiden dat:

$$(III.5) \quad \sin \alpha = \frac{\frac{L_{tunnel}}{2} - x}{R}$$

$$(III.6) \quad \begin{aligned} a &= R(1 - \cos \alpha) \\ Z &= R(1 - \cos \beta) \end{aligned}$$

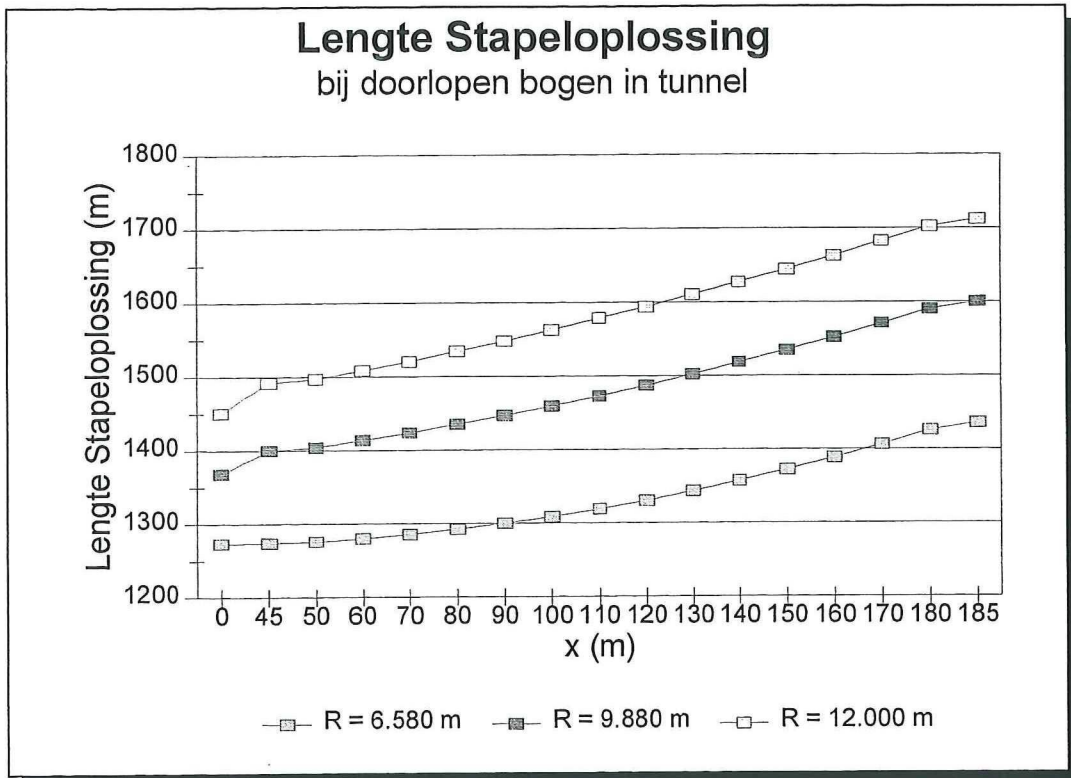
De uiteindelijke diepteligging van de snelsporen ten opzichte van de stopsporen bedraagt dan  $(9,2 + a)$  meter. Voor de lengte van de rechte in de verticale helling geldt dan:

$$(III.7) \quad \begin{aligned} L \sin \beta + 2Z &= 9,2 + a \\ L &= \frac{(9,2 + a) - 2R(1 - \cos \beta)}{\sin \beta} \end{aligned}$$

Uit het voorgaande is de totale lengte van de Stapeloplossing af te leiden. Deze wordt:

$$(III.8) \quad L_{\text{totaal}} = 4D + 2L \cos \beta + 2x$$

In grafiek III.2 is weergegeven wat de lengte van de Stapeloplossing wordt, afhankelijk van de verticale boogstraal. De helling  $\beta$  is zodanig gekozen dat deze zo steil mogelijk wordt aangehouden zonder de grenswaarde te overschrijden.



Grafiek III.2 Lengte Stapeloplossing

Tabel III.3 Lengte (m) en hellingen (°) Stapeloplossing						
x (m) \ R (m)	6.580		9.880		12.000	
	Helling	Lengte	Helling	Lengte	Helling	Lengte
0	1,432	1.273	1,432	1.369	1,432	1.450
45	1,432	1.274	1,432	1.399	1,432	1.492
60	1,432	1.280	1,432	1.404	1,432	1.508
80	1,432	1.292	1,432	1.435	1,42	1.534
100	1,432	1.309	1,432	1.459	1,41	1.562
120	1,432	1.331	1,432	1.487	1,40	1.594
140	1,432	1.357	1,432	1.518	1,39	1.628
160	1,432	1.389	1,432	1.552	1,39	1.663
180	1,432	1.425	1,432	1.590	1,38	1.702
185	1,432	1.435	1,432	1.600	1,38	1.712

Opgemerkt moet worden dat de waarde  $x = 0$  een lengteprofiel te zien geeft waarbij de rechte in de tunnel volledig verdwenen is. Het lengteprofiel laat een lange verticale boog zien (zie volgende paragraaf).

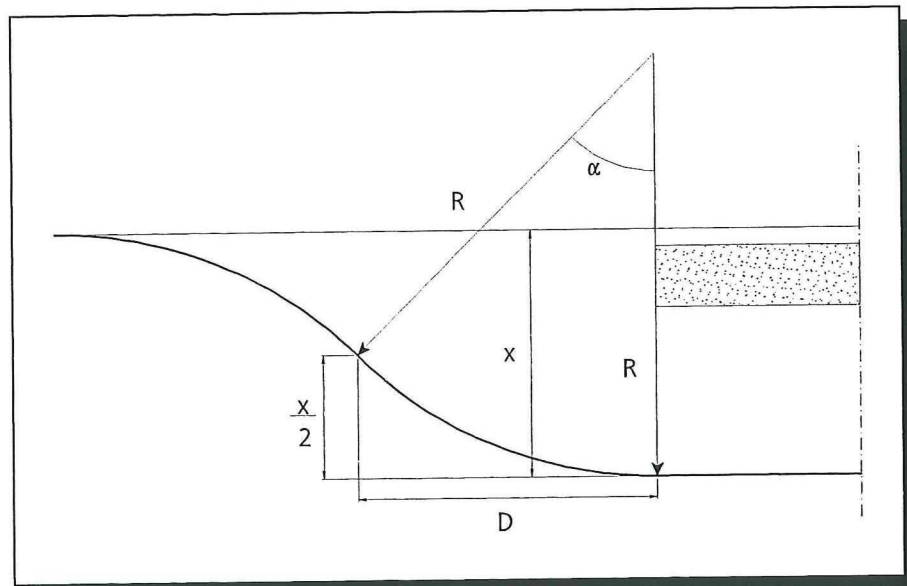
Verder wordt opgemerkt dat de extra te ontgraven diepte in de tunnel (parameter  $a$  in figuur III.3) voor een verticale boogstraal van 6.580 meter 1,49 meter bedraagt ( $x = 45$  meter), voor 9.880 meter bedraagt de extra te ontgraven diepte 1 meter, en voor 12.000 meter bedraagt deze 0,82 meter.

### Conclusie

Geconcludeerd kan worden dat het laten doorlopen van de verticale bogen wel degelijk zinvol kan zijn. Er dient echter wel rekening te worden gehouden met een grotere ontgravingsdiepte, een grotere tunneldoorsnede en daardoor veel hogere kosten.

### III.2 Lengteprofiel bestaande uit alleen verticale bogen

Uit het voorgaande blijkt dat de totale lengte van de Stapeloplossing ruim 1.700 meter wordt bij een ontwerpsnelheid voor de stopsporen van 160 km/u en een verticale boogstraal van 12.000 meter. In figuur III.4 is het lengteprofiel weergegeven van een halve Stapeloplossing, waarbij de tunnelritten uit alleen verticale bogen bestaan.



III.4 Lengteprofiel verkorte Stapeloplossing, verticale bogen buiten tunnel

In dit figuur geldt:

$x$  = hoogteverschil tussen B.S. sporen op maaiveld en B.S. tunnelsporen (= 9,2 meter)

$R$  = verticale boogstraal (snelheidsafhankelijk)

Totale lengte Stapeloplossing =  $4 \cdot D + L_{\text{tunnel}}$  (met  $L_{\text{tunnel}} = 370$  meter).

$\alpha$  volgt uit:

(III.9)

$$\cos \alpha = \frac{R - \frac{x}{2}}{R} = 1 - \frac{x}{2R}$$

D volgt dan uit:

$$(III.10) \quad \sin \alpha = \frac{D}{R} \Rightarrow D = R \sin \alpha$$

In tabel III.4 zijn de verschillende variabelen voor de verschillende waarden van R weergegeven.

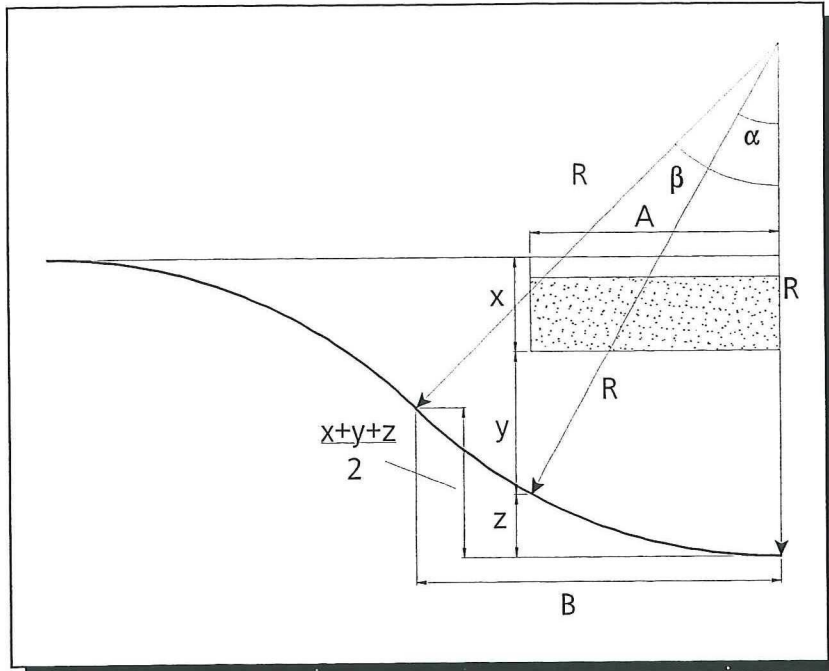
R (m)	$\alpha$ (°)	D (m)	Totale lengte (m)
6.580	2,143	246,00	1.353,99
9.880	1,748	301,45	1.575,82
12.000	1,586	332,23	1.698,93

### Conclusie

In eerste instantie lijkt het toepassen van alleen verticale bogen nut te kunnen hebben. Er worden immers meters gewonnen. Echter, de maximale hellingen worden in alle drie de gevallen (verschillende verticale boogstraal) overschreden. Een constructie zoals in deze paragraaf beschreven is dus niet toepasbaar.

Om de verticale hellingen binnen de grenzen te houden moeten de verticale boogstralen worden vergroot, waardoor de totale lengte van de Stapeloplossing groter wordt dan in de uitgangssituatie (paragraaf III.1). Om aan de eisen van de helling te kunnen voldoen is een verticale boogstraal van rond 14.000 meter noodzakelijk. Hierdoor wordt echter de lengte van de Stapeloplossing 1.843 meter. Een verslechtering dus.

Een andere mogelijkheid om de hellingen te beperken zou het laten doorlopen van de verticale bogen tot in de tunnel kunnen zijn (figuur III.5). Daarin wordt het andere uiterste getoond: een verticaal alignement dat alleen uit verticale bogen bestaat.



III.5 Kortst mogelijke lengteprofiel (halve) Stapeloplossing

Beschouw figuur III.5, waarin het alignement wordt bepaald wanneer de rechte in de tunnel verdwenen is. Het verticale alignement bestaat dus alleen uit verticale bogen. Hierin geldt:

A = halve lengte tunneldeel in Stapeloplossing (=185 meter)

B = lengte verticale boog

R = verticale boogstraal (afhankelijk van ontwerpsnelheid)

x = hoogte tussen tunnelplafond en B.S. sporen op maaiveld (= 2,5 meter)

y = binnenhoogte tunneldeel van de Stapeloplossing (= 6,7 meter)

z = extra diepte tunnel als gevolg van doorlopen verticale boog in tunnel

De totale lengte van de Stapeloplossing wordt als volgt bepaald. Via de hoek  $\alpha$  kan de waarde van z worden bepaald. Als die bekend is kan het hoogteverschil van een deel van de verticale boog worden bepaald ( $= \frac{1}{2} \cdot \{x+y+z\}$ ). Hieruit volgt de lengte van dezelfde verticale boog (B) en dus de totale lengte van de Stapeloplossing ( $= 4 \cdot B$ ).

Uit de figuur kan worden afgeleid dat:

$\alpha$  volgt uit:

$$(III.11) \quad \sin \alpha = \frac{A}{R}$$

z volgt uit:

$$(III.12) \quad \cos \alpha = \frac{R-z}{R} \Rightarrow z = R(1 - \cos \alpha)$$



$\beta$  volgt uit:

$$(III.13) \quad \cos \beta = \frac{R - \frac{x + y + z}{2}}{R} = 1 - \frac{x + y + z}{2R}$$

Uit voorgaande formules kan de lengte van een verticale boog (B) worden bepaald. Deze volgt uit:

$$(III.14) \quad \sin \beta = \frac{B}{R} \Rightarrow B = R \sin \beta$$

Voor de totale lengte van de Stapeloplossing geldt  $L = 4B$ . In onderstaande tabel is voor de verschillende waarden van de verticale boogstraal de totale lengte van de Stapeloplossing gegeven.

R (m)	$\alpha$ (°)	z (m)	$\beta$ (°)	B (m)	Totale lengte (m)
6.580	1,611	2,601	2,427	278,598	1.114,39
9.880	1,073	1,732	1,906	328,603	1.314,41
12.000	0,883	1,426	1,705	357,051	1.428,20

### Conclusie

Ook hier moet worden geconcludeerd dat de standaardboogstralen overal leiden tot een overschrijding van de grenswaarde van de maximale helling. Het verschil echter met de basisoplossing (paragraaf III.1) is echter zodanig groot dat een vergroting van de verticale boogstraal in ieder geval interessant lijkt om te bekijken. Het blijkt dat bij een boogstraal van ongeveer 16.400 meter aan de eisen wordt voldaan. De maximale helling bedraagt dan  $1,432^\circ$ , en de lengte wordt 1.639 meter. De winst van 70 meter gaat echter wel ten koste van een extra ontgravingsdiepte van maximaal 1 meter en een toename van de tunneldoorsnede.

*In de uitwerking van de Stapeloplossing wordt daarom het basisprincipe zoals dat in paragraaf III.1 is beschreven uitgewerkt, waarbij de verticale bogen volledig buiten de tunnel liggen.*

## Bijlage IV: Uitvoeringsprincipes Stapeloplossing

### IV.1 Inleiding

In deze bijlage zal een tweetal mogelijke uitvoeringsvarianten worden beschreven die toegepast kunnen worden bij de realisatie van de stapeloplossing. Deze varianten zijn de wanden-dakmethode (IV.2) en de open bouwputmethode (IV.3, polderprincipe). Aangezien de keuze voor een van beide uitvoeringsmethoden sterk afhankelijk zijn van de omgeving waarin de stapeling wordt toegepast wordt in deze bijlage een algemeen beeld van de methodes geschetst, waarbij wel enkele aandachtspunten worden aangestipt die van belang zijn bij de stapeling.

In deel III van dit rapport wordt een casus op een bepaalde locatie uitgewerkt. Hierin kan dan ook nader op enkele onderdelen van de uitvoering worden ingegaan.

Naast de omgeving heeft het ontwerp van de stapeling grote invloed op de (on)mogelijkheden van de uitvoering. Hierbij ligt het grootste onderscheid in de ligging van de verschillende sporen ten opzichte van elkaar. In dit hoofdstuk zal onderscheid worden gemaakt tussen lijnbedrijf (waarbij de tunnel aan een zijde van de twee bestaande sporen ligt) en richtingbedrijf. Richtingbedrijf wordt nader onderverdeeld in 'snelsporen aan de binnenkant' (waardoor de tunnel tussen de 2 buitenste sporen komt te liggen) en 'snelsporen aan de buitenkant' (waarbij de tunnels aan de buitenzijde van de andere sporen worden gelegd). De beschrijving van de effecten van de ligging van de sporen op de uitvoering wordt in IV.4 behandeld.

Als algemene uitgangspunten bij het uitwerken van de uitvoeringsmethodes is dat het bestaande station op de locatie waar de Stapeloplossing wordt toegepast, alsmede eventuele spoorwegovergangen zoveel mogelijk in dienst moeten blijven. Dit is reeds bij de uitwerking van de (basis)ontwerpen meegenomen.

### IV.2 Wanden-dakmethode

#### IV.2.1 Fasering

Indien het terrein rondom de locatie waar de stapeloplossing toegepast zal worden slechts voor een beperkte duur opgebroken mag liggen, dan is de wanden-dakmethode voor de uitvoering van het ondergrondse deel (de tunnels) van de stapeling een goede oplossing. De kern van deze methode is dat in een vroeg stadium van de uitvoering het terrein boven de tunnel(s) weer beschikbaar is, terwijl in de tunnel verder wordt gewerkt aan de (af)bouw. De uitvoering werkt globaal als volgt: eerst worden de wanden van de tunnel geconstrueerd. Dit kan door middel van het inslaan van damwanden, of door toepassing van diepwanden. In het geval van toepassing van diepwanden worden eerst sleuven in de grond gegraven die later worden opgevuld met beton. Vervolgens wordt het dak van de tunnel aangelegd (die dus òf aan de damwanden òf aan de diepwanden worden bevestigd). Zodra dit gereed is kan boven het dak van de tunnel worden begonnen met de (her)inrichting van het gebied. Tevens wordt ondergronds de tunnel uitgegraven en afgebouwd.

Een uitgebreidere opsomming van de activiteiten met een korte toelichting volgt hieronder:

#### Voorbereiding:

##### \* Route's

Er wordt een aantal verkeersroute's verlegd, aangelegd of gemarkeerd (zoals

omleidingsroutes). Enerzijds is dit voor bestemmingsverkeer dat in de omgeving van het station moet zijn, anderzijds voor het bouwverkeer. Ook de dwarsrelaties die de spoorlijn kruisen vallen hieronder. De toegankelijkheid van het station moet tijdens de uitvoering worden gegarandeerd. Hiervoor moeten voorzieningen getroffen worden.

#### \* Inrichten bouwplaats

De omgrenzing van de bouwplaats wordt neergezet (hekken) en de verschillende keten worden geplaatst (directie, personeel, kantine, sanitair). Daarnaast wordt (een beperkte) opslagvoorziening gecreëerd. Het is niet ondenkbaar dat er ter plaatse van de bouwlocatie erg weinig ruimte beschikbaar is voor enkele activiteiten. Die zullen dan elders moeten worden gevestigd, waarbij een snelle route naar de bouwplaats wordt aangelegd of afgezet.

#### \* Vluchtwegen

De bouwplaats en het station moeten voldoende vluchtmogelijkheden kennen in geval van calamiteiten.

*Het is in theorie mogelijk dat een trein na een noodremming precies ter hoogte van het station tot stilstand komt terwijl er direct naast het station gebouwd wordt. De hekken rond de bouwplaats vormen dan een obstakel in de vluchtweg voor passagiers uit de trein en wachtende reizigers op het perron.*

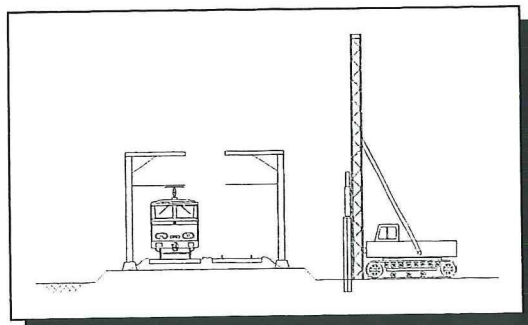
#### \* Verleggen bestaand spoor en station

Indien de ruimte voor de uitvoering van de ondergrondse delen van de stapeling te beperkt is kan worden getracht het bestaande spoor met station enkele meters te verleggen. Dit kan zowel in het verlengde van het bestaande spoor als haaks daarop. Hiervoor dient wel ruimte beschikbaar te zijn.

### Uitvoering:

#### \* Plaatsen damwanden

Er wordt getracht zo dicht mogelijk bij de bestaande spoorlijn te bouwen. Om voor voldoende stabiliteit van de ondergrond te zorgen worden damwanden geplaatst.



IV.1 Inslaan damwanden

#### \* **Uitgraven (fase I)**

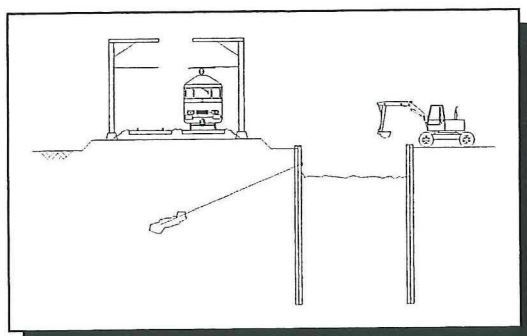
Na het slaan van de damwanden wordt er 1,75 meter (in geval van enkelsporige tunnels) of 2,25 meter (in geval van een dubbelsporige tunnel) grond tussen de damwanden vandaan gegraven. Hierdoor wordt het mogelijk een verankering van de damwanden te bevestigen en wordt direct het niveau bereikt waarop het tunneldak kan worden geplaatst (zie conceptontwerp).

#### \* **Fundering (optie)**

Indien een fundering voor de tunnel noodzakelijk is, dan kan is een van de mogelijkheden om deze te realiseren dat al in een vroeg stadium te doen. In IV.2.2 wordt uitgebreider op de fundering ingegaan.

#### \* **Verankeren damwand**

Damwanden worden verankerd om een extra stabiliteit van de damwanden te garanderen, waarmee voorkomen wordt dat damwanden uitbuigen en in het uiterste geval bezwijken. De verankering wordt gerealiseerd door aan de bovenzijde van de damwanden (kleine) gaten te boren en deze enkele meters in de grond achter de damwanden door te laten lopen. Door de boor worden staalkabels gelegd. Terwijl daarna de boor wordt teruggetrokken wordt er beton door de boor geperst. Dit beton hecht enerzijds aan de staalkabels en vormt een goede weerstand in de ondergrond. Tenslotte worden de staalkabels onder voorspanning gezet en is de verankering gereed.



IV.2 Uitgraven (fase 1) en verankeren damwand

*Er zijn na voorgaande activiteiten 2 varianten mogelijk. Er kan gekozen worden de damwanden als drager voor het tunneldak en daarmee als onderdeel van de uiteindelijk tunnelwand te beschouwen (damwandenmethode), of er kunnen diepwanden gegraven worden die later de tunnelwand vormen (diepwandenmethode).*

*Hieronder worden de activiteiten genoemd die nodig zijn voor de wanden-dakmethode met diepwanden. Activiteiten die plaats moeten vinden voor de damwandenmethode worden apart genoemd. Indien een activiteit voor de diepwandenmethode wel, maar voor de damwandenmethode niet noodzakelijk is wordt dit eveneens vermeldt.*

#### \* **Graven sleuven (niet voor damwandenmethode)**

Nadat de damwanden zijn verankerd kan worden begonnen met de realisatie van de diepwanden. De eerste fase daarvan is het graven van de sleuven. Deze

sleuven worden gegraven met een speciale graafstelling. De stelling maakt het mogelijk relatief smalle en diepe sleuven in de grond te graven. Om de sleuven zo recht mogelijk te graven worden op het maaiveld geleidebalken geplaatst die de graafstelling in de goede richting geleiden.

Om te voorkomen dat de sleuf instort wordt de sleuf gevuld met bentoniet. Dat is een suspensie bestaande uit een mengsel van water en klei. Doordat het soortelijk gewicht van bentoniet hoger is dan die van het grondwater, en door de hoogte van het bentoniet in de sleuf boven de grondwaterstand te brengen heeft het bentoniet de neiging zich de grond in te bewegen. Door de klei in de suspensie, die achterblijft op de sleufwanden, worden de wanden van de sleuf mooi glad gepleisterd.

Omdat er erg dicht bij de bestaande spoorlijn wordt gebouwd bestaat de mogelijkheid dat de sleuf alsnog instort zodra er een trein passeert (trillingen, gronddruk). De stabiliteit wordt in dit geval door de damwand gegeven.

**\* Plaatsen wapening diepwanden** *(niet voor damwandenmethode)*

De wapening van de diepwanden wordt geprefabriceerd. De wapeningskorfen die ontstaan worden in hun geheel in de sleuven voor de diepwanden geplaatst.

**\* Storten beton** *(niet voor damwandenmethode)*

Nadat de wapeningskorfen op de juiste plaats zijn gezet kunnen de sleuven worden gevuld met beton. Terwijl dit gebeurt wordt het bentoniet waarmee in eerste instantie de sleuven werden gevuld, afgevangen. Gezien de hoge prijs van het bentoniet wordt dit geschikt gemaakt voor hergebruik.

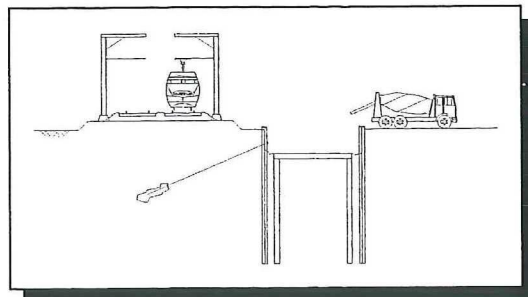
**\* Plaatsen wapening tunneldak**

Nadat de diepwanden goed gehard zijn (alleen in de diepwandenmethode) wordt de wapening voor het tunneldak geplaatst. Deze wordt bevestigd aan de wapening van de diepwanden. De wapening van de tunnel rust op betonnen blokjes op de grond.

Indien de damwandenmethode wordt toegepast, wordt de wapening van het dak aan de damwanden vast gelast.

*De volgende activiteiten zijn voor de damwandenmethode en de diepwandenmethode gelijk*

**\* Storten tunneldak**



IV.3 Storten tunneldak

Nadat de wapening geplaatst is kan het beton voor het tunneldak gestort worden. Doordat de wapening op betonnen blokjes is gezet komt het niet voor dat de wapening op bepaalde plaatsen geen dekking heeft. Daarnaast kunnen de betonnen blokjes in het tunneldak worden opgenomen.

**\* Storten gronddekking**

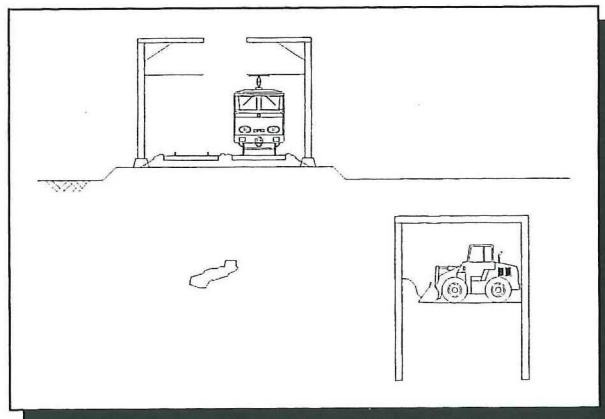
Na het uitharden van het tunneldak kan de verankering van de damwand worden verwijderd en kan bovenop het dak een gronddekking worden aangebracht. Deze bedraagt 1 meter. De gronddekking neemt trillingen uit de tunnel op.

**\* Trekken damwanden** (*niet voor damwandenmethode*)

Indien de damwanden niet worden gebruikt als tunnelwand worden na het storten van de gronddekking de damwanden getrokken. De damwandplaten worden stuk voor stuk al trillend uit de grond gehaald. Gezien de hoeveelheid herrie die deze activiteit oplevert zal de omgeving vroegtijdig van deze activiteit op de hoogte moeten worden gebracht.

**\* Uitgraven (fase II)**

Terwijl bovengronds aan de herinrichting van de stationsomgeving kan worden begonnen, wordt ondergronds de tunnel uitgegraven. De afvoer van de grond vindt plaats door de toekomstige tunnelingangen voor het treinverkeer.



IV.4 Uitgraven (fase II) na trekken damwanden

**\*Fundering** (*optie*)

Indien een fundering noodzakelijk is, en deze niet in een vroeg stadium van de uitvoering is gerealiseerd, dan kan deze nu worden gerealiseerd. In IV.2.2 wordt hier nader op ingegaan.

**Afbouw:**

**\* Bekleding**

In deze fase worden de wanden en het dak van de tunnel voorzien van brandwerende bekleding. Hierdoor moet het mogelijk worden dat in geval van brand de tunnel in ieder geval 2 uur stand houdt. Voor de

damwandenmethode worden de damwanden eerst voorzien van een laag gewapend beton.

#### \* Spoorzaken

Nu de tunnel op zich gereed is kan aan de spoorzaken begonnen worden. Eerst wordt ballast gestort en wordt het ballastbed gerealiseerd. Hierna kunnen de sporen worden gelegd (betonnen dwarsliggers) en tenslotte kan de bovenleiding worden bevestigd.

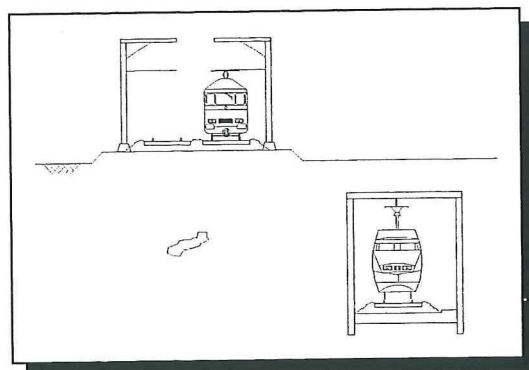
Er wordt in tunnels geen gebruik gemaakt van ballastloos spoor. De constructie waarbij de spoorstaven direct aan het beton bevestigd worden blijkt onderhoudsgevoeliger te zijn. De achtergrond daarvan is het gemakkelijker ontstaan van scheuren in het beton (in de tunnel) bij toepassing van ballastloos spoor.

#### \* Installaties

De laatste activiteiten in de tunnel betreffen de realisatie van de installaties. Hierbij moet gedacht worden aan ventilatie, waterafvoer, brandblussers, deuren, verlichting, etc. Uit veiligheidsoogpunt zullen ook camera's worden opgehangen.

#### \* Aansluiting

In de laatste fase worden de sporen uit de tunnel(s) aangesloten op de rest van de spoorlijn. Indien de rest van het traject (nog) niet gereed is, dan kan de stapeling als inhaalbaarheid voor snelle treinen worden beschouwd, wat alsnog een verhoging van de capaciteit met zich meebrengt.



IV.5 Tunnel gereed

#### IV.2.2 Beperkingen rondom Wanden-dakmethode

De toepasbaarheid van de wanden-dakmethode kent enkele beperkingen. Deze hangen voor een groot deel samen met de aanwezige grondwaterstand. Hierna wordt aangegeven wat de aandachtspunten zijn bij het ontwerp van de tunnel(s) van de stapeling met betrekking tot de grondwaterstand. Indien gesproken wordt van een hoge grondwaterstand dan moet gedacht worden aan bijvoorbeeld 1 meter onder maaiveld.

### **Tunnelbodem**

Indien er sprake is van een hoge grondwaterstand dan moeten tunnels vaak van een waterdichte bodem worden voorzien, bijvoorbeeld van beton. Hierdoor stroomt er geen grondwater de tunnel in tijdens de exploitatie van de tunnel.

De aanleg van zo'n bodem is bij toepassing van de wanden-dakmethode niet eenvoudig, maar wel mogelijk. Er kan door middel van grondinjecties (met beton of een chemisch middel) een waterdichte laag worden gecreëerd tussen de damwanden of de diepwanden. Daarna wordt het mogelijk de waterstand in de tunnel te laten zakken en de tunnel uit te graven zonder dat deze zich weer vult met grondwater.

*Dat dit niet zonder risico's is, wordt uitstekend geïllustreerd door de tramtunnel onder de Grote Marktstraat in Den Haag. Daar is de verharde injectie gebarsten waarna de tunnel volstroomde met grondwater.*

Indien er in de ondergrond een slecht waterdoorlatende laag aanwezig is (zoals klei), dan kan die als waterdichte laag worden gebruikt. In dat geval worden de damwanden of de diepwanden tot in die slecht waterdoorlatende laag verlengd en kan daarna de tunnel worden leeg gegraven. Als de slecht waterdoorlatende laag hoog genoeg ligt dan kan die als bodem van de tunnel worden gebruikt en blijft de tunnel alsnog waterdicht. Dit principe is toegepast bij het nieuwe station Rijswijk. Goed bekeken moet worden dat de laagdikte van de slecht waterdoorlatende laag groot genoeg is. Is dat namelijk niet het geval dan bestaat het gevaar voor opbarsten van de laag (zie hierna).

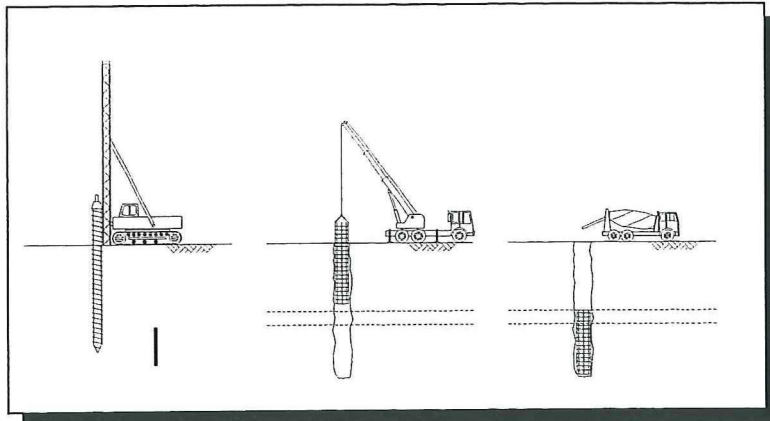
### **Fundering**

Indien de grondwaterstand rondom de tunnel hoog is (en er een (betonnen) tunnelbodem nodig is om de tunnel waterdicht te maken) zal de tunnel na de realisatie de neiging hebben op te gaan drijven. In dat geval zijn trekpalen nodig. Dit zijn funderingspalen die een grote weerstand ondervinden van de grond rondom de paal, en daardoor een neerwaartse trekkracht op een tunnel kunnen uitoefenen. Trekpalen kunnen het beste als boorpalen worden uitgevoerd. Daardoor wordt de weerstand met de grond rondom de paal het grootst. Anderzijds is het ook mogelijk dat de neerwaartse kracht die een tunnel veroorzaakt zodanig groot is dat de grond waarin de tunnel wordt gebouwd deze kracht niet aankan. In dat geval zijn funderingspalen nodig die het verzakken van de tunnel moeten voorkomen.

Voor de realisatie van de palen is in de wanden-dakmethode een aantal mogelijkheden denkbaar. Twee ervan worden hierna behandeld.

De eerste is de funderingspalen als eerste te realiseren (direct na de eerste ontgraving tot de diepte van het tunneldak, zie fasering). In dat geval worden diepe gaten geboord waarin de palen uiteindelijk worden gerealiseerd. De diepte van de gaten wordt zodanig bepaald dat de bovenzijde van de palen precies uitkomen op de hoogte waar uiteindelijk de tunnelbodem aangelegd wordt.





IV.6 Fasering funderingspalen bij realisatie in vroeg stadium van project

Na het graven worden de wapeningskorven in de gaten geplaatst. De bovenkant van die wapeningskorven bevindt zich na het afzakken in de gaten precies op de diepte waar later de tunnelbodem wordt gerealiseerd. Tenslotte worden de gaten deels met beton opgevuld. Hier geldt dat de hoogte tot waarop het beton wordt gestort precies de hoogte is waarop later de tunnelbodem wordt gerealiseerd. Nadat de palen zijn gerealiseerd kan begonnen worden met de aanleg van de diepwanden. Een voordeel van deze methode is dat er genoeg ruimte beschikbaar is om de palen te maken. Een nadeel is dat er moeilijk controleerbaar is of de gaten goed zijn, of de wapeningskorven goed zitten en of er niet teveel of te weinig beton in de gaten gestort wordt.

Een tweede mogelijkheid is de palen later te maken. In dat geval worden eerst de tunnelwanden en het dak gerealiseerd en wordt de tunnel uitgegraven (het grondwaterpeil wordt tijdelijk met pompen op een lager peil gehouden). Vervolgens kunnen de gaten voor de fundering ondergronds in fasen worden gegraven. Daarna kunnen de wapeningskorven in delen worden geplaatst en kunnen de gaten worden opgevuld met beton. De werking is dus feitelijk gelijk als wanneer de palen in een vroeg stadium worden gerealiseerd, met als verschil dat bij late realisatie er ondergronds gewerkt wordt en er dus kleiner materieel nodig is.

Een voordeel van deze methode is dat er een betere controle mogelijk is op de diepte van de gaten, de richting van de gaten, de plaatsing van de wapeningskorven en de hoeveelheid beton die in de gaten wordt gestort. Het nadeel van deze methode is dat er een beperkte werkhoogte aanwezig is in de tunnel.

### Stabiliteit

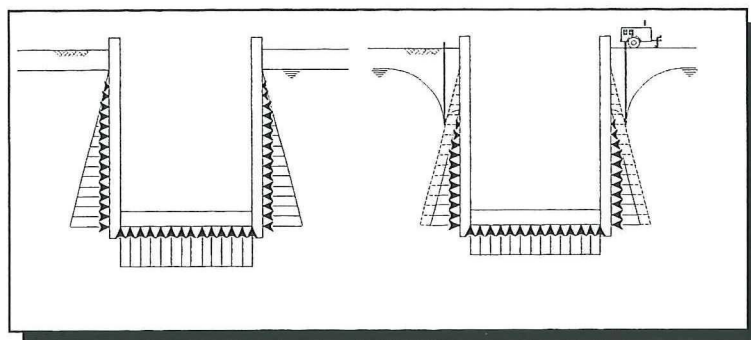
De stabiliteit van de bouwlocatie is in 2 opzichten van belang bij de uitvoering van de tunnels van de stapeling: verticaal en horizontaal.

#### \* Verticaal (opbarsten)

Indien de slecht waterdoorlatende laag omhoog gedrukt wordt en daardoor lek raakt wordt er gesproken van opbarsten. Een slecht waterdoorlatende laag barst op indien de druk van het grondwater aan de onderzijde van die laag groter is dan de druk van bovenaf die wordt opgebouwd door de massa van de slecht waterdoorlatende laag zelf en eventueel grond die

daar nog bovenop ligt.

Om opbarsten te voorkomen kan getracht worden de grondwaterdruk onder de slecht waterdoorlatende laag te beperken door in de directe nabijheid van de tunnel grondwater weg te pompen en deze elders weer in de grond te brengen (zie figuur IV.7). Ook het verstevigen van de ondergrond door middel van (chemische) injecties behoort tot de mogelijkheden. De diepteligging van de slecht waterdoorlatende grondlaag is belangrijk voor de uitvoering



IV.7 Afname grondwaterdruk als gevolg van verlaging grondwaterstand

van de wanden-dakmethode. De laag die gebruikt wordt om de tunnel droog te houden dient in ieder geval dieper te liggen dan de toekomstige tunnelvloer. De tunnelvloer moet, indien een betonnen vloer noodzakelijk is, immers in den droge worden aangelegd. Het deels afgraven van de slecht waterdoorlatende laag is mogelijk, maar de stabiliteit moet wel gecontroleerd worden. In het uiterste geval zal naar een slecht waterdoorlatende laag op een grotere diepte moeten worden gezocht.

#### \* Horizontaal (damwanden)

De horizontale stabiliteit is van belang bij de sleuven voor de diepwanden. In de paragraaf over de fasering is deze al even aangestipt. De stabiliteit van de sleuf die wordt gegraven voor de diepwanden wordt door het bentoniet gewaarborgd. Echter, een andere dreiging bestaat door de passage van treinen. Deze zorgen voor een grotere verticale gronddruk ter plaatse van de open sleuf, met als mogelijk gevolg het instorten van de sleuf. Daarnaast is het verzakken van de spoorlijn een mogelijkheid die hoe dan ook voorkomen moet worden.

Om deze vorm van bezwijken (van de sleuf en spoorbaan) te voorkomen kunnen damwanden worden toegepast. Deze zorgen voor een stabiliteit van de grond in de horizontale richting. Om de stabiliteit van de damwand te verhogen wordt de damwand vlak onder de bovenzijde verankerd.

#### Hoogte diepwanden

Het is niet ondenkbaar dat de grondwaterstand ter plaatse van de stapeling hoger ligt dan het dak van de (toekomstige) tunnel(s). Indien er geen damwanden worden toegepast voor de grondstabiliteit (zie: fasering), dan is de eerste stap bij de wanden-dakmethode het deels ontgraven van de grond tot de diepte waarop het tunneldak moet komen te liggen. De put die dan ontstaat stroomt vol water omdat de grondwaterstand hoger ligt dan het toekomstige tunneldak.

Om de diepwanden en vooral het tunneldak toch droog te kunnen uitvoeren voldoet het reeds om de diepwanden een grotere hoogte te geven. De diepwanden dienen dan als waterkering. Indien wel gebruik wordt gemaakt van damwanden dan is voorgaande problematiek niet van

belang. Doordat de damwanden tot (boven) het maaiveld doorlopen, bevindt de bovenkant van de damwand zich altijd boven het grondwater, en fungeert de damwand als (grond)waterkering.

### **IV.3 Open bouwput**

#### **IV.3.1 Fasering**

Een goedkopere en eenvoudigere bouwmethode is die volgens de open bouwputmethode. In dat geval wordt er een soort polder gecreëerd waarbinnen gewerkt wordt. De wanden van deze polder zijn in de meeste gevallen damwanden die worden ingeslagen. Maar toepassing van taluds of diepwanden (keermuren) behoort eveneens tot de mogelijkheden. In het laatste geval kunnen de diepwanden eveneens als wanden van de tunnel worden gebruikt.

Uit de naam blijkt al dat de bouwput lange tijd open blijft wat daardoor meer hinder oplevert, maar de methode is dan ook goedkoper dan de Wanden-dakmethode. De methode werkt globaal als volgt: eerst worden de damwanden of diepwanden gemaakt (de uiteindelijke grenzen van de bouwput), vervolgens wordt de bouwput ontgraven, wordt, indien noodzakelijk, de bodem van de tunnel gestort, de wanden en het dak. Ook hier geldt dat ondergronds aan de afbouw kan worden gewerkt, terwijl bovengronds alweer aan de (her)inrichting van de voormalige bouwput wordt gewerkt.

Een uitgebreidere opsomming van de activiteiten is als volgt:

#### **Vorbereiding**

De voorbereiding verloopt gelijk aan die van de Wanden-dakmethode.

#### **Uitvoering**

##### **\* Damwanden**

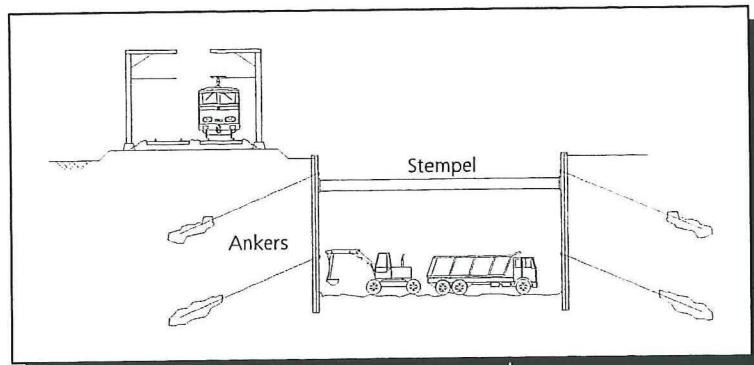
Om de bouwput te begrenzen worden de damwanden geslagen. Indien ter plaatse van de bouwput sprake is van een hoge grondwaterstand (hoger dan de beoogde bodem van de put) worden de damwanden tot in een slecht waterdoorlatende laag doorgeslagen. De damwand fungeert dan ook als (grond)waterkering. In andere gevallen voldoet een wandlengte tot enkele meters onder de beoogde putbodem. Dan fungeert de damwand puur als grondkerende constructie.

##### **\* Uitgraven**

Vervolgens wordt de polder gegraven. Dit gebeurt in verschillende fases, om de stabiliteit van de damwanden mogelijk te maken (zie hierna).

### \* Verankering damwand

Nadat een gedeelte van de grond ontgraven is wordt de damwand verankerd. De uitvoering van deze verankering wordt in IV.2.1 beschreven. Indien de bouwput erg diep is bestaat de kans dat de damwand erg ver de bouwplaats in wijkt. De damwand gaat bol staan, met de bolle zijde aan de kant van de bouwput. Extra stabiliteit om dit te voorkomen kan worden verkregen door extra verankeringen toe te passen of door toepassing van stempels. Stempels



IV.8 Opties ter verbetering van de stabiliteit van een open bouwput

zijn stalen buizen die dwars tussen de twee damwanden van de bouwput worden geplaatst.

### \* Fundering

Nu de bouwput helemaal gereed is kan begonnen worden aan de bouw van de fundering. Hierbij geldt dat er wel de noodzaak moet zijn een (betonnen) tunnelbodem aan te leggen. De palen dienen immers aan de tunnel bevestigd te kunnen worden. De tunnelconstructie moet de krachten die erop werken over kunnen brengen naar de fundering.

De palen (trekpalen op funderingspalen) kunnen in de grond worden gemaakt (boorpalen) of ingeheid worden. Deze keuze is mede afhankelijk van de functie van de palen. In het geval van trekpalen zal eerder gekozen worden voor in de grond gemaakte palen. Deze palen bieden een grotere weerstand in de ondergrond en garanderen daardoor grotere trekkrachten op te kunnen nemen. Wanneer de palen als fundering worden gebruikt die verzakken van de tunnel moeten voorkomen dan is het inheien van de palen een goede optie.

### \* Tunnelbodem

Indien de grondwaterstand erg hoog is ter plaatse van de stapeling dan moet de tunnel waterdicht worden gemaakt. Hierbij geldt hetzelfde als voor de wanden-dakmethode: er kan een tunnelbodem worden aangelegd (van beton) of er kan een slecht waterdoorlatende laag worden gebruikt om de tunnel waterdicht te krijgen. De fundering van de tunnelbodem is, indien deze noodzakelijk is, reeds aangelegd.

### \* Tunnelwanden

Nadat de bodem gerealiseerd is zijn de wanden aan de beurt. Eerst wordt de

bekisting geplaatst, wordt de wapening geplaatst en wordt het beton gestort. Het is eventueel mogelijk de damwanden, mits goed gereinigd, in de tunnelwanden op te nemen. Indien een 2-sporige tunnel wordt gebruikt, dan wordt de tussenwand tussen de sporen ook in dit stadium gerealiseerd.

#### **\* Tunneldak**

Het dak van de tunnel wordt ook ter plaatse gerealiseerd. Om de bekisting te kunnen plaatsen wordt een hulpconstructie (steigers) op de tunnelvloer gezet die de dakbekisting kunnen dragen. Vervolgens kan het beton worden gestort. Nadat het beton is uitgehard wordt de hulpconstructie en de bekisting verwijderd en rust het dak alleen nog op de tunnelwanden.

#### **\* Storten gronddekking**

Nadat het dak goed gehard is kan de bouwput weer met grond worden volgestort. Daarmee wordt het mogelijk boven de tunnel met de herinrichting van het gebied te beginnen, terwijl in de tunnel met de afbouw kan worden begonnen.

### **Afbouw**

De afbouw van de tunnel verloopt (vrijwel) gelijk aan die voor de Wanden-dakmethode.

#### **IV.3.2 Beperkingen rondom methode met open bouwput**

Net als de Wanden-dakmethode kent ook de methode met de open bouwput enkele belangrijke aandachtspunten. Deze zijn ten dele al in de fasering genoemd, maar worden hier nogmaals ter verduidelijking beschreven.

De opmerkingen met betrekking tot de hoogte van de damwanden en de tunnelbodem die bij de Wanden-dakmethode zijn toegepast gelden ook voor de open bouwput. De stabiliteit kent ook grotendeels dezelfde aandachtspunten, er is echter een verschil (zie hieronder).

#### **Stabiliteit**

Bij de open bouwput staat de stabiliteit van de damwanden onder grotere druk dan bij de Wanden-dakmethode. Dat komt omdat bij de open bouwput de damwanden aan een zijde zwaar belast worden door grond(water) en de spoorlijn, en een zeer beperkte tegendruk genieten. Extra stabiliteit kan worden verkregen door toepassing van stempels of door extra verankeringen.

#### **Bouwput**

Toepassen van een bouwput kent enkele beperkingen tijdens de uitvoeringsfase. Doordat de bouwput langer dan bij de wanden-dakmethode open ligt is aandacht voor de omgeving van groter belang. Door de vorm van de bouwput (langgerekt, evenwijdig aan het bestaande spoor) zullen veel kruisende verbindingen onderbroken worden. Hulpbruggen of omleidingen kunnen hierbij een grote dienst bewijzen.

De diepte van de bouwput (ongeveer 10 meter) is een tweede belangrijke factor. Deze dient voldoende afgeschermd te zijn voor de omgeving.

#### **IV.4 Uitvoeringsaspecten lijnbedrijf en richtingbedrijf**

De treindienst die in de eindsituatie op een uit te breiden traject wordt uitgevoerd heeft

gevolgen voor de uitvoering van de stapeling. Een onderscheid is daarbij te maken tussen lijnbedrijf en richtingbedrijf.

#### IV.4.1 Lijnbedrijf

De uitvoering van de stapeling is het eenvoudigst indien er op het betreffende traject lijnbedrijf wordt gereden. De bestaande sporen worden dan in de eindsituatie als stopsporen ingericht, de tunnel wordt voor de doorgaande treinen gereserveerd. Aan een zijde van de bestaande sporen kan dan een 2-sporige tunnel worden aangelegd.

Indien de ruimte voor de aanleg van een 2-sporige tunnel niet volstaat kan worden besloten twee enkelsporige tunnels aan te leggen. Na de realisatie van een van de tunnelbuizen kunnen de sporen op maaiveld worden verlegd waardoor ruimte vrijkomt voor de bouw van de tweede buis.

Een andere mogelijkheid is het direct verleggen van de bestaande lijn. Daardoor wordt ruimte gecreëerd om alsnog een dubbelsporige tunnel aan te leggen.

Na de aanleg van de tunnels voor de stapeling kan het verschuiven van de sporen op maaiveld een laatste faseringsstap zijn. Het wordt dan mogelijk de sporen op maaiveld precies boven de tunnels te leggen. Een gevolg daarvan is wel dat de tunnels langer worden wat niet bevorderlijk is voor de (aanleg)kosten en de bouwtijd.

#### IV.4.2 Richtingbedrijf

In het geval van richtingbedrijf moet onderscheid worden gemaakt tussen de ligging van de perronvrije sporen aan de binnen- of aan de buitenzijde.

Indien de doorgaande sporen aan de binnenzijde liggen komt de ingang van de (2-sporige) tunnel tussen de 2 buitenste sporen in te liggen. De ruimte tussen de stopsporen (aan de buitenzijde) maakt de toepassing van een (breed) eilandperron mogelijk. Dit perron komt dan precies boven de tunnel te liggen. Er is een aantal faseringsmogelijkheden denkbaar:

- 1:
  - Bouw dubbelsporige tunnel aan een zijde van de bestaande spoorlijn
  - Verleggen van een van de bestaande sporen naar de andere zijde van de tunnel, eventueel alleen bij de tunnelingang.
  - Bouw nieuw station
  
- 2:
  - Verleggen een van de bestaande sporen zodat ruimte tussen beide sporen ontstaat.
  - Bouw 2-sporige tunnel
  - Bouw station bovenop 2-sporige tunnel

Indien het bestaande station een eilandperron kent, dan is sloop van dat perron en de aanleg van tijdelijke zijperrons een goede mogelijkheid om ruimte tussen de sporen te creëren. Die ruimte kan dan worden benut voor de aanleg van een dubbelsporige tunnel.

Indien de snelsporen aan de buitenzijde liggen, dan is de fasering eenvoudiger. Dan kan aan de buitenzijde ten opzichte van de bestaande sporen aan de bouw van 2 enkelsporige tunnels begonnen worden. Uit het conceptontwerp (zie bijlagen en hoofdstuk 8) blijkt dat het tijdelijk versmallen van de perrons op maaiveld volstaat om de tunnels aan te kunnen leggen. De aanleg van die tunnels kan gelijktijdig plaatsvinden. Een steigerconstructie kan het mogelijk maken de perrons toch op de gewenste breedte te houden.



## Bijlage V: Kostenschatting uitbreidingsvarianten Vleuten

### V.1 Bouwkosten

Voor de kostenschatting van de verschillende te vergelijken alternatieven voor spooruitbreiding wordt gebruik gemaakt van eenheidsprijzen. De aanlegkosten zijn qua orde grootte gecontroleerd door kostendeskundige Ing. G. Bakker van NS Railinfrabeheer, afdeling Aanbestedingszaken, Kostenmanagement en Inkoop (AKI). De opbouw van de kosten ziet er globaal als volgt uit:

#### Posten

In de *primaire kosten* worden de kosten meegenomen die gemoeid zijn bij de complete inrichting van de spoorbaan en/of tunnel. Hierbij kan worden gedacht aan de tunnelconstructie, aankleding, afwerking, installaties, afwateringsvoorzieningen en de spoorbouw.

De *bijkomende kosten* bestaan uit onderzoekskosten (landmeten, bodemonderzoek) en verzekeringen. Deze posten zijn als percentage van de primaire kosten gegeven.

De voorgaande posten vormen tezamen de *basisraming*.

De *EAT* (Engineering-, Administratie- en Toezichtkosten) worden als vast percentage (12 %) van de primaire kosten aangehouden. De *kosten van de opdrachtgever* zijn eveneens een vast percentage (5 %), maar hebben de basisraming als referentie.

De post *object onvoorzien* moet kosten dekken die tijdens de realisatie van het project worden gemaakt als gevolg van zaken zoals onvoorzien wijzigingen in de uitvoering of het ontwerp (mits binnen het gestelde programma van eisen), of een onverwachte complexiteit van de uitvoering.

Post:	Eenheidsprijs:	Aantal eenheden:	Totaal:
Primaire kosten			
- ...			
- ...			
<b>Totaal primaire kosten</b>			
Bijkomende kosten			
- Onderzoekskosten (0,10 %)			
- Verzekering (0,25 %)			
EAT (12 %)			
<b>Basisraming</b>			
Kosten opdrachtgever (5 %)			
<b>Telling</b>			
Object onvoorzien (10 %)			
<b>TOTAAL (excl. BTW)</b>			



## Eenheidsprijzen

De eenheidsprijzen zijn bepaald aan de hand van de Algemene Tunnelstudie A12/HST-Oost, alsmede aan de hand van de tunnelprojecten in Rijswijk en Best. De bepaling van de kosten is gedaan onder de volgende aannamen dat er sprake is van een hoge grondwaterstand en een ondergrond met een slechte draagkracht, prijspeil 1999.

De eenheidsprijzen die in de bepaling van de kosten van de verschillende uitbreidingsvarianten gehanteerd worden zijn:

Tabel V.2 Eenheidsprijzen spoorconstructies				
Post:		Eenheidsprijs:	Opmerkingen:	
Open tunneltoeritten	2-spoors	f 40.000/m		
	4-spoors	f 75.000/m		
Tunnelconstructie	2-spoors	f 115.000/m	Zonder station	
	4-spoors	f 177.000/m	Met 2 zijperrons	
	4-spoors	f 175.000/m	Zonder station	
Installaties (in tunnel)	2-spoors	f 10.000/m		
	4-spoors	f 20.000/m		
Spoorbouw	Maaiveld	1-spoors	f 5.000/m	
		2-spoors	f 15.000/m	
		4-spoors	f 25.000/m	
	Tunnel	2-spoors	f 10.000/m	
		4-spoors	f 20.000/m	
Overig	Tunnel onder 4-sporige baan		f 30.000.000/stuk 2-baans weg, fiets- en voetpad	
	Spoorwegovergang		f 1.000.000/stuk	
	Station	Standaard	f 7.000.000/stuk	2 perrons, maaiveld
		Groot	f 15.000.000/stuk	Boven 4-sporige tunnel
	Afkoop Prins Hendrikweg		f 750.000/huis	

Voor de totale lengte waarover de kosten van de varianten worden berekend wordt een waarde van 1712 meter aangehouden. Dat is de minimale lengte van de Stapeloplossing. Aangezien de volledige tunnel eenzelfde lengteprofiel als de Stapeloplossing kent kan de 1712 meter ook voor de volledige tunnel worden gehanteerd.

Tabel V.3 Kostenschatting maaivelduitbreiding			
Post:	Eenheidsprijs:	Aantal eenheden:	Totaal
Primaire kosten			
- Spoorwerk	f 25.000/m	1.712 m	f 42.800.000
- Station	f 7.000.000/stuk	1	f 7.000.000
- Tunnel Stationsstraat	f 30.000.000/stuk	1	f 30.000.000
- Uitkopen Prins Hendrikweg	f 750.000/stuk	8	f 6.000.000
<b>TOTAAL PRIMAIRE KOSTEN:</b>			<b>f 85.800.000</b>
Bijkomende kosten			
- Onderzoekskosten (0,10 %)			f 85.800
- Verzekering (0,25 %)			f 214.500
EAT (12 %)			f 10.296.000
<b>BASISRAMING:</b>			<b>f 96.396.300</b>
Kosten opdrachtgever (5 %)			f 4.819.815
Telling:			f 101.216.115
Object onvoorzien (10 %)			f 10.121.612
<b>TOTAAL (ex. BTW)</b>			<b>f 111.337.727</b>
Marges			
+ 20 %			f 133.605.272
- 20 %			f 89.070.181

<b>Tabel V.4 Kostenschatting tunneluitbreiding</b>			
Post:	Eenheidsprijs:	Aantal eenheden:	Totaal
<b>Primaire kosten</b>			
<b>Ondergronds deel:</b>			
- Open toerit	f 75.000/m	2 * 671 m	f 100.650.000
- Tunnelconstructie	f 175.000/m	100 m	f 17.500.000
- Tunnelconstructie station	f 177.000/m	270 m	f 47.790.000
- Spoorwerk	f 20.000 /m	1712 m	f 34.240.000
- Installaties	f 15.000/m	370 m	f 5.550.000
<b>Bovengronds deel:</b>			
- Station	f 15.000.000/stuk	1	f 15.000.000
- Uitkopen Prins Hendrikweg	f 750.000/stuk	8	f 6.000.000
<b>TOTAAL PRIMAIRE KOSTEN:</b>			<b>f 226.730.000</b>
<b>Bijkomende kosten</b>			
- Onderzoekskosten (0,10 %)			f 226.730
- Verzekering (0,25 %)			f 566.825
EAT (12 %)			f 27.207.600
<b>BASISRAMING:</b>			<b>f 254.731.155</b>
Kosten opdrachtgever (5 %)			f 12.736.558
Telling			f 267.467.713
Object onvoorzien (10 %)			f 26.746.771
<b>TOTAAL (ex. BTW)</b>			<b>f 294.214.484</b>
<b>Marges:</b>			
+ 20 %			f 353.057.381
- 20 %			f 235.371.587

Tabel V.5 Kostenschatting Stapeloplossing			
Post:	Eenheidsprijs:	Aantal eenheden:	Totaal
Primaire kosten			
Ondergronds deel:			
- Open toerit	f 40.000/m	2 * 671 m	f 53.680.000
- Tunnelconstructie	f 115.000/m	370 m	f 42.550.000
- Spoorwerk	f 10.000/m	1712 m	f 17.120.000
- Installaties	f 7.500/m	370 m	f 2.775.000
Bovengronds deel:			
- Station	f 7.000.000/stuk	1	f 7.000.000
- Spoorwegovergang	f 1.000.000/stuk	1	f 1.000.000
- Spoorwerk	f 5.000/m	1712 m	f 8.560.000
- Uitkopen Prins Hendrikweg	f 750.000/stuk	8	f 6.000.000
<b>TOTAAL PRIMAIRE KOSTEN:</b>			<b>f 138.685.000</b>
Bijkomende kosten			
- Onderzoekskosten (0,10 %)			f 138.685
- Verzekering (0,25 %)			f 346.713
EAT (12 %)			f 16.642.200
<b>BASISRAMING:</b>			<b>f 155.812.598</b>
Kosten opdrachtgever (5 %)			f 7.790.630
Telling			f 163.603.227
Object onvoorzien (10 %)			f 16.360.323
<b>TOTAAL (ex. BTW)</b>			<b>f 179.159.725</b>
<b>Marges</b>			
+ 20 %			f 215.956.260
- 20 %			f 143.970.840

De afgeronde schattingen en de marges zien er dan als volgt uit:

Tabel V.6 Kostenschattingen uitbreidingsvarianten Vleuten			
Uitbreidingsvariant:	Kostenschatting:	Schatting + 20 %:	Schatting - 20 %:
Maaiveld	f 110.000.000	f 135.000.000	f 90.000.000
Tunnel	f 295.000.000	f 350.000.000	f 235.000.000
Stapeloplossing	f 180.000.000	f 215.000.000	f 145.000.000

## V.2 Beheerskosten

Voor de bepaling van de beheerskosten van de verschillende varianten is gebruik gemaakt van enkele ervaringsgetallen van NS Railinfrabeheer. Voor het beheer van verschillende spoorwegelementen kunnen globaal de volgende getallen worden aangehouden:

- Spoorconstructie: f 17.000/km/spoor/jaar
- Tunnelconstructie: f 180.000/km/spoor/jaar (incl. spoorwerk)
- Tunnelconstructie met perrons: f 250.000/km/spoor/jaar (incl. spoorwerk)
- Open bak (tunneltoerit): f 80.000/km/spoor/jaar (incl. spoorwerk)

Met voorgaande getallen kunnen de beheerskosten van de verschillende uitbreidingsvarianten worden bepaald. Voor de grenzen van de constructies waarvoor kosten worden bepaald gelden de maten van de Stapeloplossing (totale lengte 1711 meter). Daarnaast wordt alleen naar de constructie zelf gekeken, en niet naar de exploitatie van bijvoorbeeld het station.

### Maaiveld

De maaivelduitbreiding bestaat uit 4 sporen op maaiveld met een lengte van 1711 meter, wat dus een totale kostenpost van  $1,711 * f 17.000 * 4 = f 116.000$  (afgerond) per jaar oplevert, gelijk aan ongeveer 0,08 % van de bouwkosten. Hierbij is geen rekening gehouden met de exploitatie van de tunnel in de Stationsstraat.

### Tunnel

De tunneluitbreiding bestaat uit 4 ondergrondse sporen. De totale kosten bestaan uit:

Post	Aantal eenheden	Prijs per eenheid	Totaal
Sporen zonder perron			
Stopsporen	2 * 0,1 km <sup>2</sup>	f 180.000/km/jaar	f 36.000/jaar
Snelsporen	2 * 0,37 km	f 180.000/km/jaar	f 133.200/jaar
Sporen met perron	2 * 0,27 km	f 250.000/km/jaar	f 135.000/jaar
Tunneltoeritten	4 * 0,665 * 2 km	f 80.000/km/jaar	f 425.600/jaar
<b>TOTAAL (afgerond):</b>			<b>f 730.000/jaar</b>

<sup>2</sup>De 0,1 kilometer komt voort uit het feit dat de perronlengte 270 meter bedraagt en de tunnellenlengte 370 meter.

### Stapeloplossing

De Stapeloplossing bestaat uit 2 sporen op maaiveld en 2 sporen ondergronds. De kosten worden dan:

<b>Tabel V.8 Beheerskosten Stapeloplossing</b>			
Post	Aantal eenheden	Prijs per eenheid	Totaal
Sporen op maaiveld	2 * 1,711 km	f 17.000/km/jaar	f 58.174/jaar
Tunnelsporen			
Tunneltoerit	2 * 0,665 * 2 km	f 80.000/km/jaar	f 212.800/jaar
Doorgaande sporen	2 * 0,37 km	f 180.000/km/jaar	f 133.200/jaar
<b>TOTAAL (afgerond):</b>			<b>f 404.000/jaar</b>



## Bijlage VI: Uitvoeringsplanningen



**Tabel VI.1 Globale uitvoeringsplanning maaivelduitbreiding**

Activiteit:	Duur (mnd):	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52
Voorbereiding	4	■	■																									
Sloop woningen	4		■	■	■																							
Grondwerk nieuwe sporen	6			■	■	■	■	■																				
Aanleg nieuwe sporen (incl. tijdelijk station)	12				■	■	■	■	■	■	■	■																
Verleggen zuidelijke bestaande spoor	6											■	■	■	■	■												
Bouw nieuw station	3												■	■	■													
(herinrichten gebied)	2													■	■													

**Tabel VI.2 Globale uitvoeringsplanning tunneluitbreiding**

Activiteit:	Duur (mnd):	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52
Voorbereiding	4	■	■																									
Sloop woningen	4		■	■	■																							
Nieuwbouw zuidelijk spoor	12			■	■	■	■	■	■	■	■																	
Bouw tunneldelen stopsporen	18										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
Spoorwerk tunneldelen stopsporen	6																■	■	■									
Sloop oude sporen	3																			■	■	■						
Bouw tunneldeel snelsporen	15																					■	■	■	■	■	■	■
Spoorwerk tunneldeel snelsporen	6																									■	■	■
Bouw nieuw station	3																											■
(herinrichten gebied)	3																											■

**Tabel VI.3 Globale uitvoeringsplanning Stapeloplossing**

Activiteit:	Duur (mnd):	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52
Voorbereiding	4	█	█																									
Sloop woningen	4	█	█	█																								
Grondwerk zuidelijke spoor	5			█	█	█																						
Aanleg zuidelijke spoor	4						█	█	█																			
Sloop oude zuidelijk spoor	2									█	█																	
Graafwerk tunnel	3									█	█																	
Bouw tunnel	8									█	█	█	█	█	█	█	█	█										
Spoorwerk tunnel	6																			█	█	█						
Bouw nieuw station	3																				█	█						
(herinrichten gebied)	3																					█	█					



## Bijlage VII: Tijd-wegdiagrammen

Trajecten:     - Boxtel - Eindhoven  
                  - Utrecht CS - Geldermalsen  
Tijden:         8 - 9 uur (maatgevend spitsuur)



9

8

Utrecht CS

Lunetten Aansluiting

Utrecht Lunetten

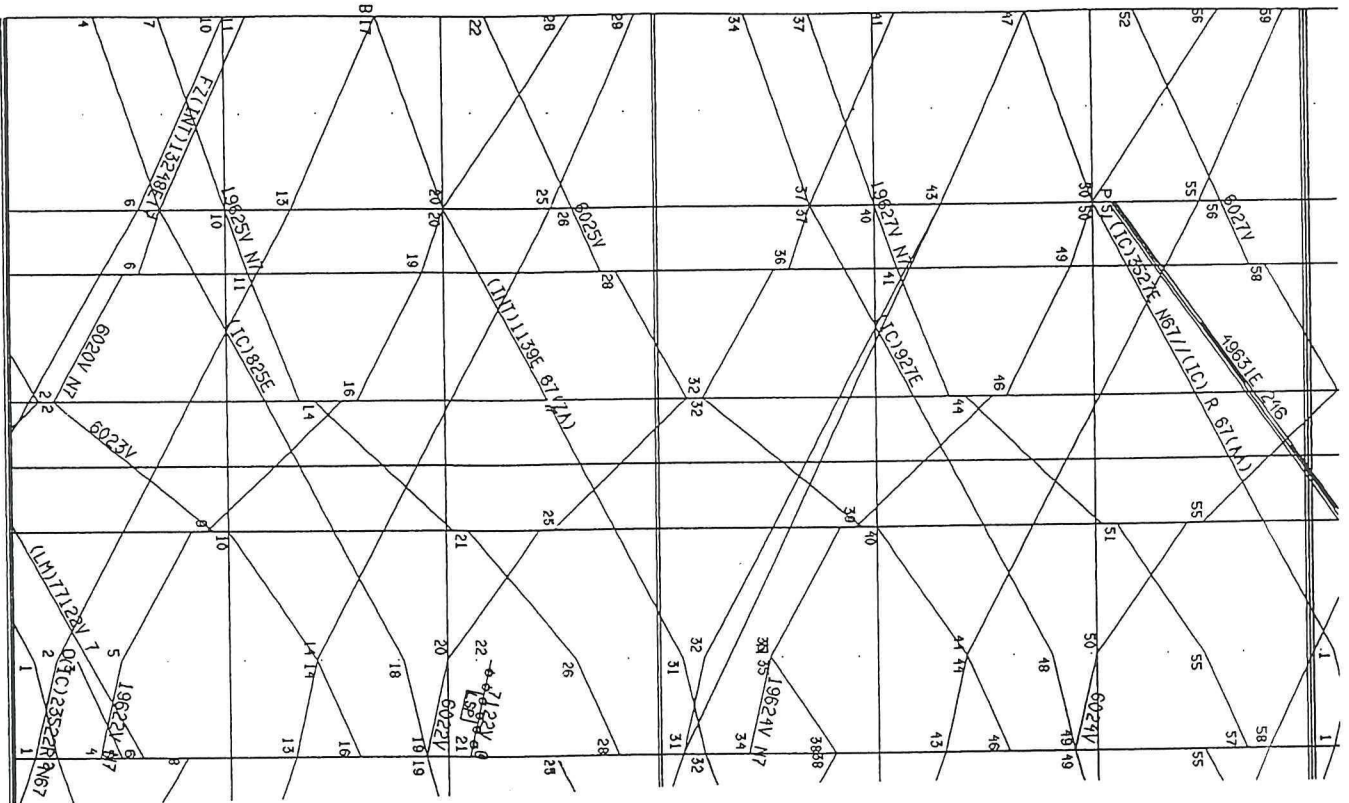
Houten

Lekbrug

Culemborg

Geldermalsen Aansluiting

Geldermalsen



## Tekeningen

### Tunneldoorsneden

- Enkelsporige tunnel, ontwerpsnelheid 160 km/u
- Enkelsporige tunnel, ontwerpsnelheid 200 km/u
- Dubbelsporige tunnel, ontwerpsnelheid 160 km/u
- Dubbelsporige tunnel, ontwerpsnelheid 200 km/u

### Basisontwerpen Stapeloplossing

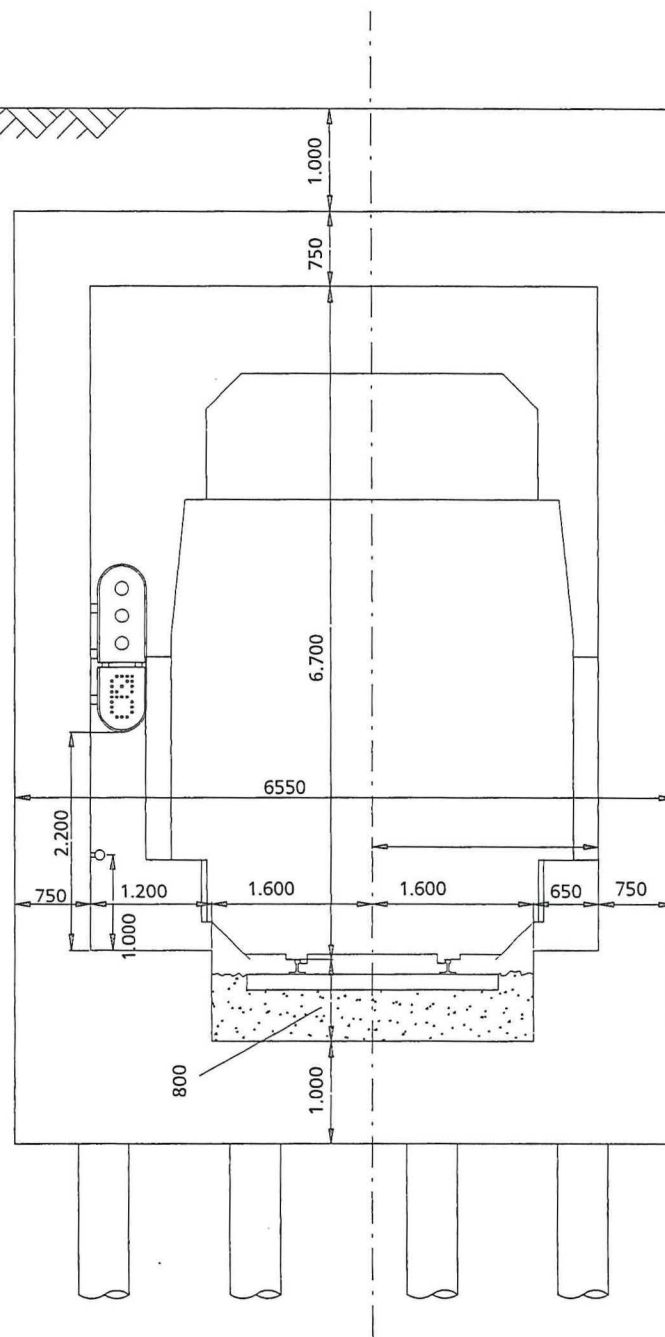
- Richtingbedrijf, snelsporen aan binnenzijde
  - dwarsdoorsneden en lengteprofielen
  - ontwerpsnelheden: 160 km/uur en 200 km/uur
- Richtingbedrijf, snelsporen aan buitenzijde
  - dwarsdoorsneden en lengteprofielen
  - ontwerpsnelheden: 160 km/uur en 200 km/uur

### Lijnbedrijf

- dwarsdoorsneden (totale lengteprofiel gelijk aan richtingbedrijf)
- ontwerpsnelheden: 160 km/uur en 200 km/uur

### Case Vleuten

- Randvoorwaarde aansluitend spoor Vleuten
- Dimensies 4-sporen op maaiveld ter plaatse van station
- Dimensies 4-sporige tunnel ter plaatse van station
- Inpassing Vleuten huidige situatie
- Inpassing Vleuten maaivelduitbreiding
- Inpassing Vleuten 4-sporige tunnel
- Inpassing Vleuten Stapeloplossing (standaard)
- Dwarsdoorsnede Stapeloplossing Vleuten richtingbedrijf (smal)
- Inpassing Vleuten Stapeloplossing (versmald)



Dwarsdoorsnede 1-sporige tunnel

Ontwerpsnelheid: 160 km/uur

Maten in mm  
Formaat: A4

Getekend:  
H. de Haes

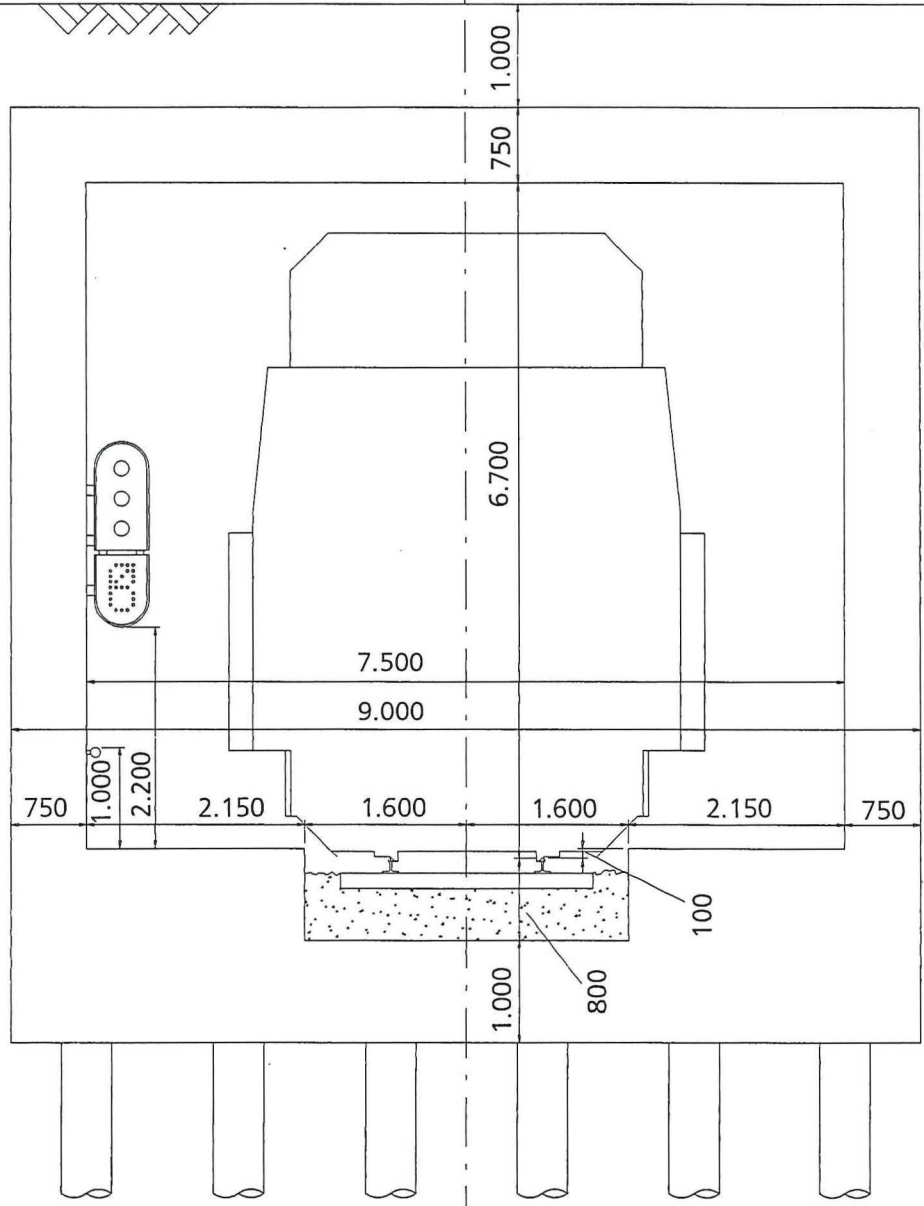
Opmerkingen:  
Fundering indicatief aangegeven

 **NS Railinfrabeheer**

Datum:  
nov. 1999

Schaal:  
1:75





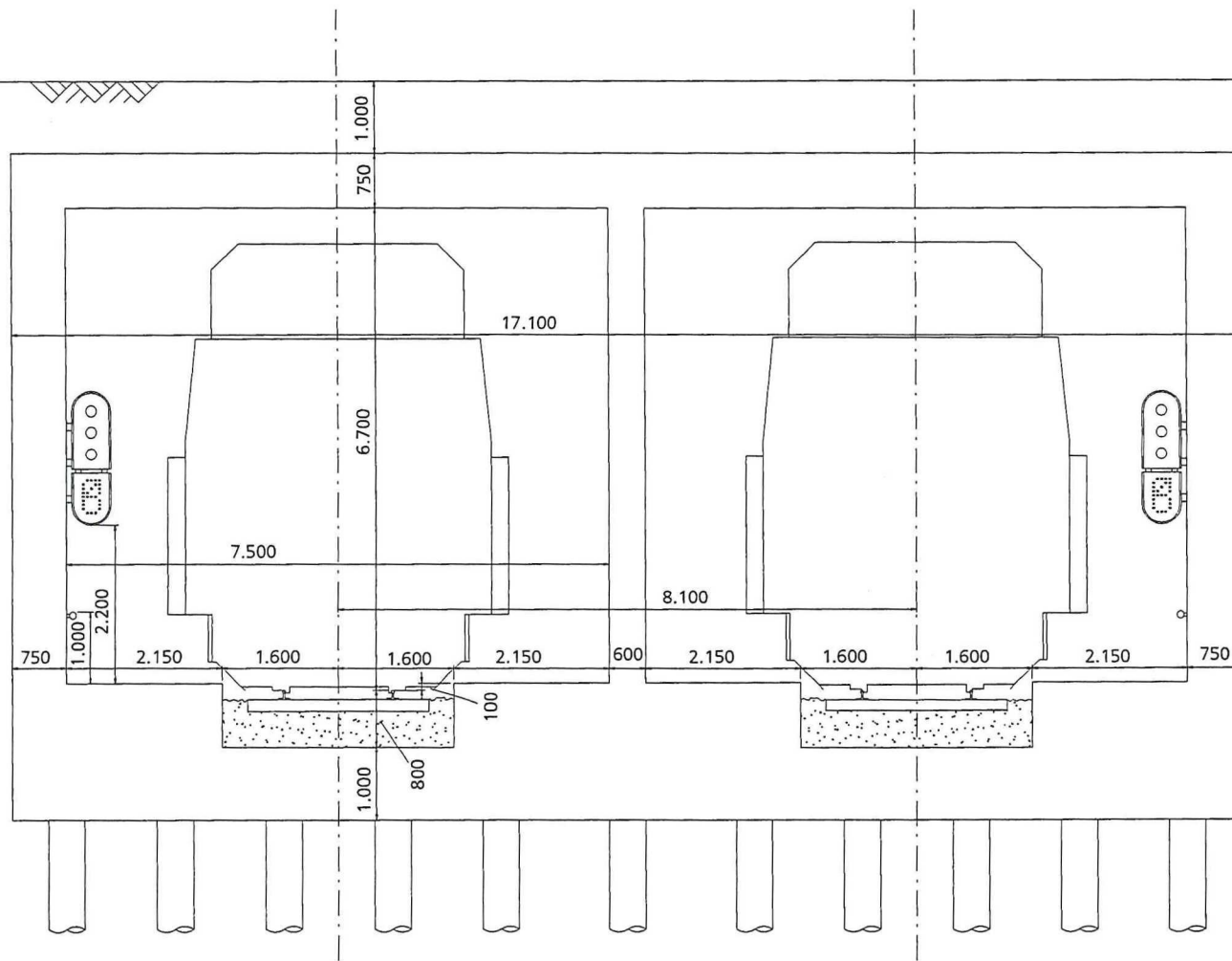
Dwarsdoorsnede 1-sporige tunnel

Ontwerpsnelheid: 200 km/u

Maten in mm Formaat: A4	Getekend: H. de Haes	Opmerkingen: Fundering indicatief aangegeven
----------------------------	-------------------------	---

NS Railinfrabeheer	Datum: nov. 1999	Schaal: 1:75
--------------------	---------------------	-----------------





Dwarsdoorsnede 2-sporige tunnel

Ontwerpsnelheid: 200 km/u

Maten in mm  
Formaat: A4

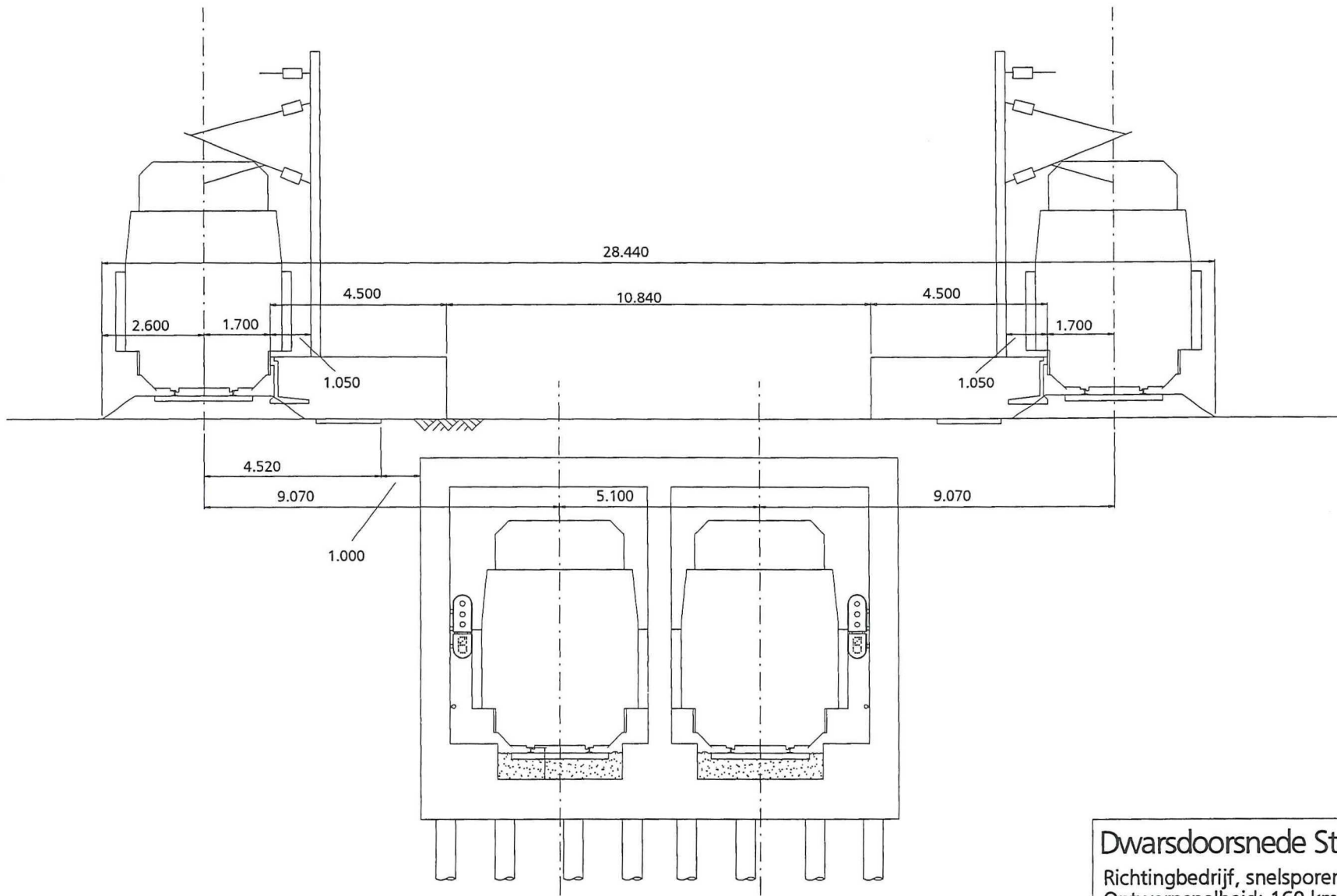
Getekend:  
H. de Haes

Opmerkingen:  
Fundering indicatief aangegeven

 NS Railinfrabeheer

Datum:  
nov. 1999

Schaal:  
1:100



**Dwarsdoorsnede Stapeloplossing**  
 Richtingbedrijf, snelsporen aan binnenzijde  
 Ontwerpsnelheid: 160 km/u

Maten in mm  
 Formaat: A4

Getekend:  
 H. de Haes

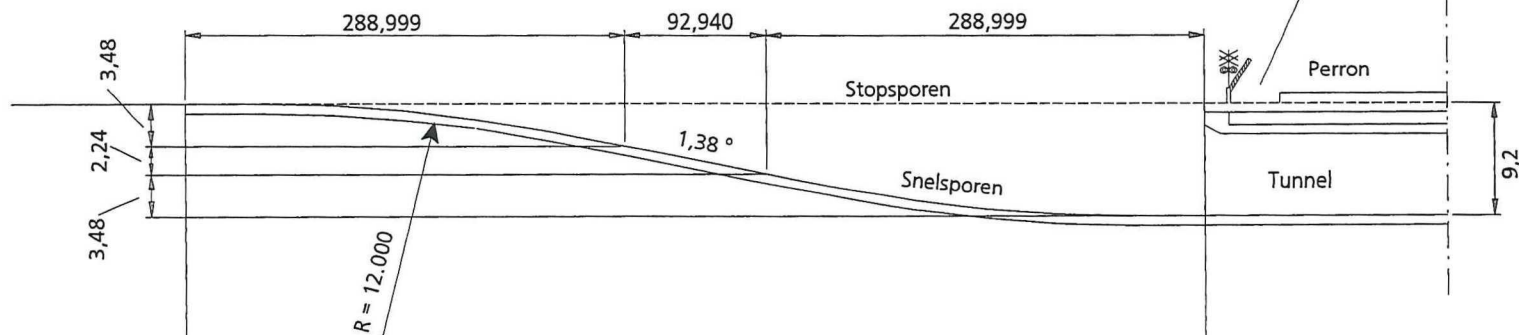
Opmerkingen:  
 Fundering indicatief aangegeven

 **NS Railinfrabeheer**

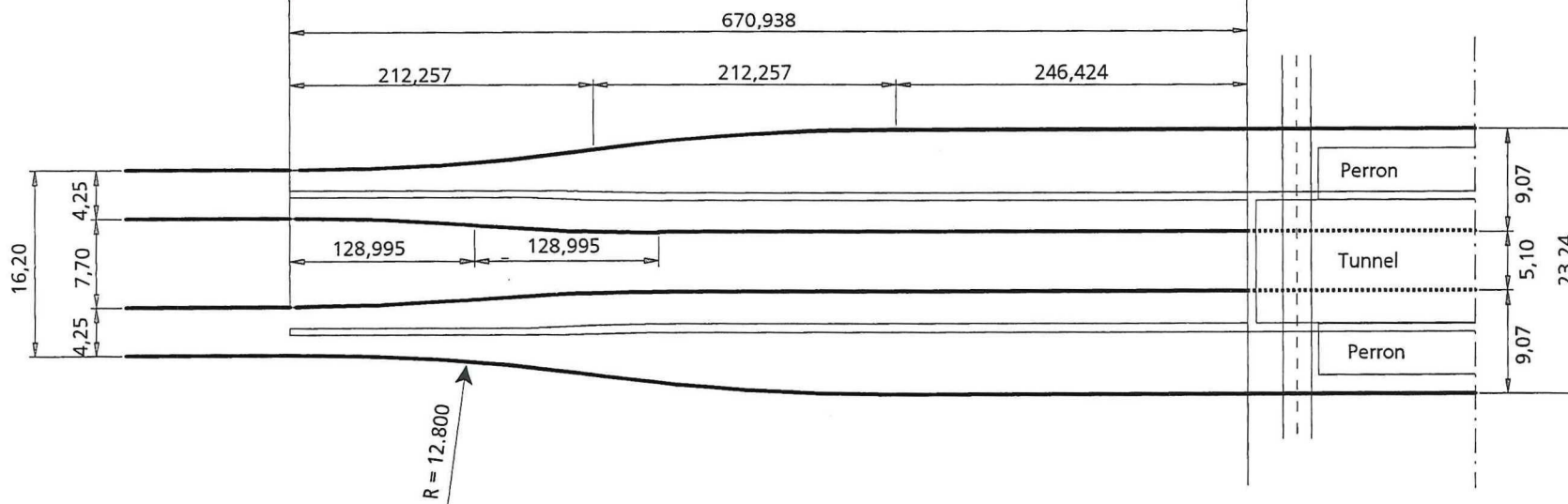
Datum:  
 nov.1999

Schaal:  
 1:150

# Verticaal Alignment



# Horizontaal Alignment

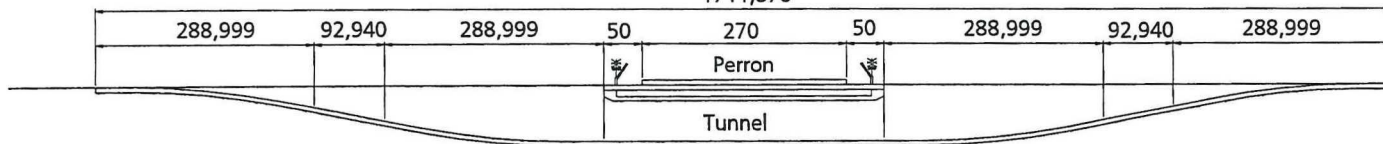


Schalen:  
 - Horizontaal: 1 : 5.000  
 - Verticaal: 1 : 625

Schalen:  
 - Horizontaal: 1 : 10.000  
 - Verticaal: 1 : 1.250

Totaal lengteprofiel Stapeloplossing Vleuten, kortste variant

1711,876



**Alignementen Stapeloplossing**  
 Richtingbedrijf, snelsporen aan binnenzijde  
 Ontwerpsnelheid: 160 km/u

Maten in m  
 Formaat: A4

Getekend:  
 H. de Haes

Opmerkingen:

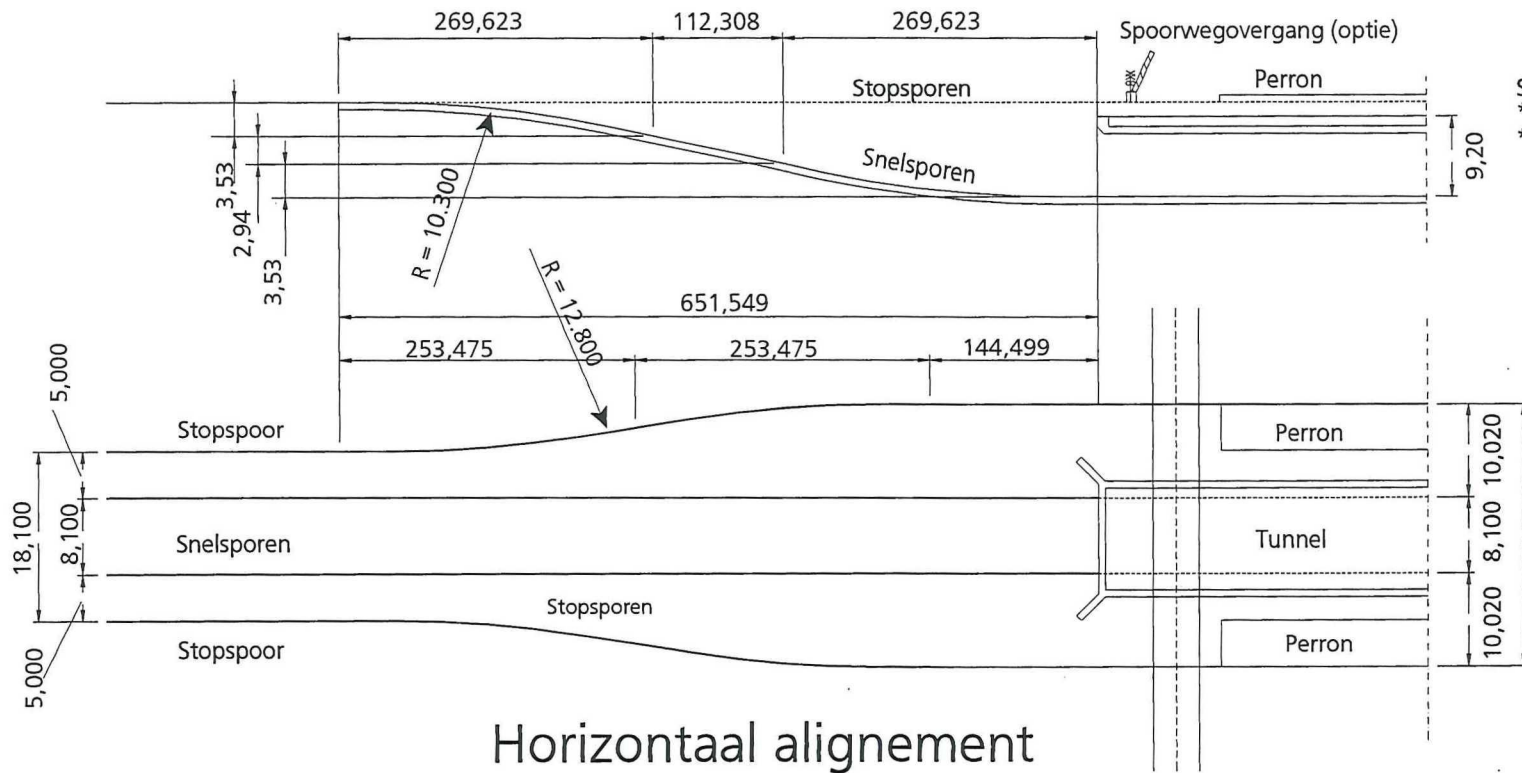
NS Railinfrabeheer

Datum:  
 nov. 1999

Schaal:  
 zie tekening



# Verticaal alignement

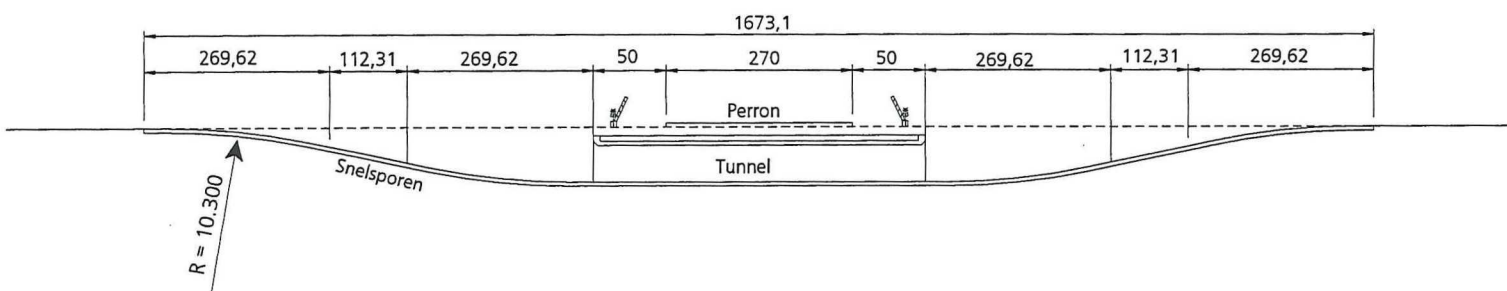


Schalen:  
 \* Horizontaal: 1:8.000  
 \* Verticaal: 1:1.000

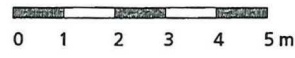
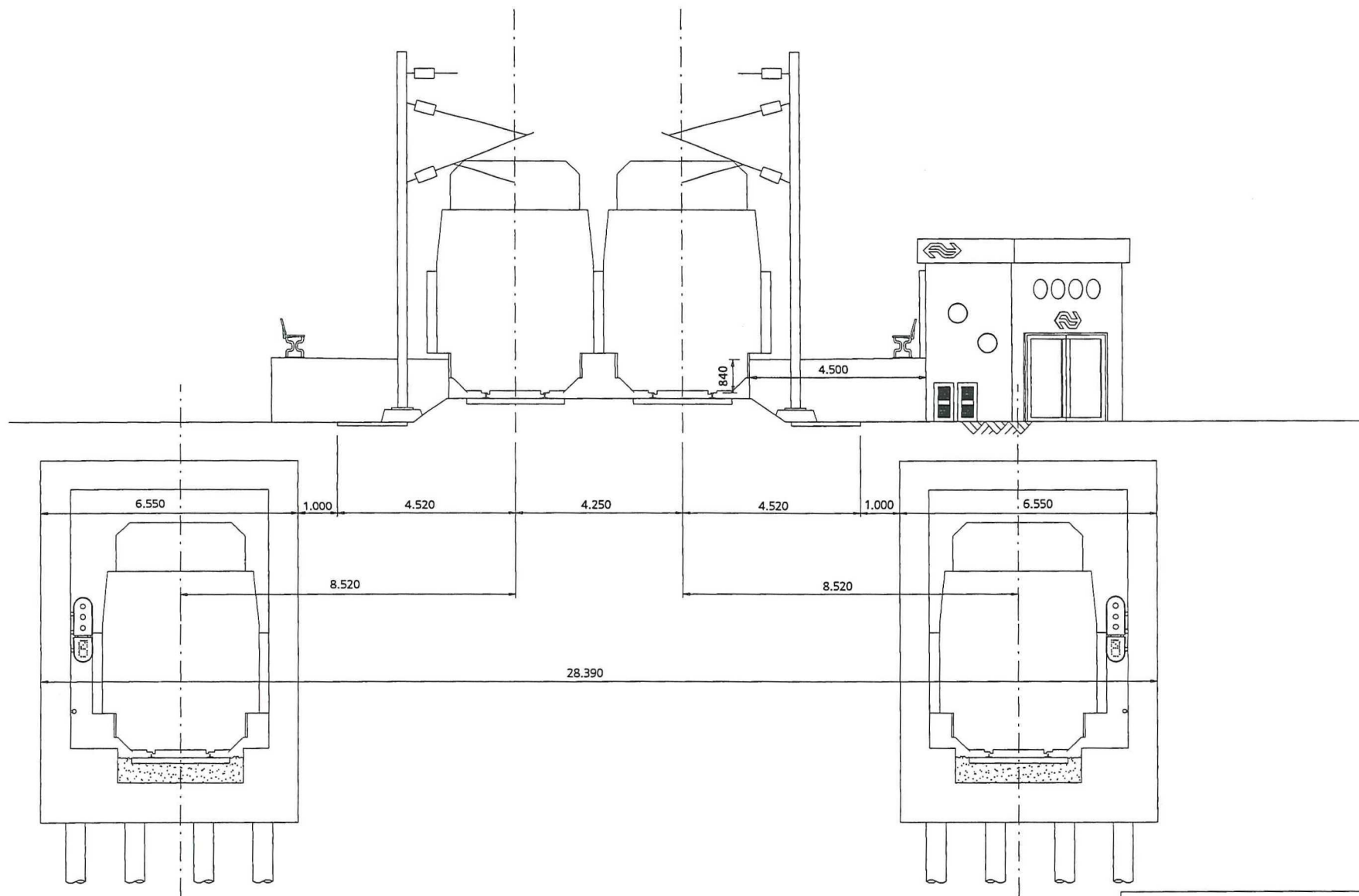
Schalen:  
 \* Horizontaal: 1:8.000  
 \* Verticaal: 1:900

# Horizontaal alignement

Totaal lengteprofiel stapeling, kortste variant



<b>Alignementen Stapeloplossing</b> Richtingbedrijf, snelsporen aan binnenzijde Ontwerpsnelheid: 200 km/u			
Maten in m Formaat: A4	Getekend: H. de Haes	Opmerkingen:	
NS Railinfrabeheer		Datum: nov. 1999	Schaal: zie tekening



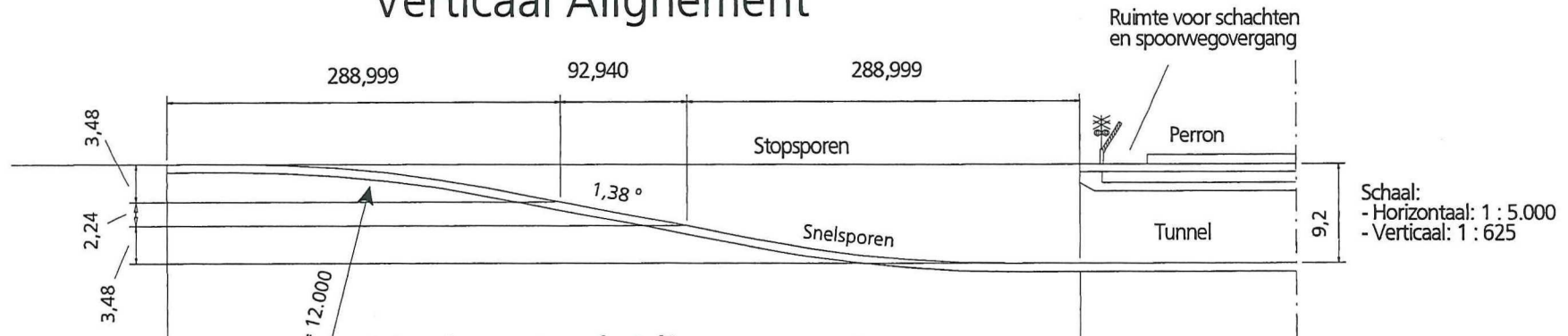
**Dwarsdoorsnede Stapeloplossing**  
 Richtingbedrijf, snelsporen aan buitenzijde  
 Ontwerpsnelheid: 160 km/u

Maten in mm Formaat: A4	Getekend: H. de Haes	Opmerkingen: Fundering indicatief aangegeven
----------------------------	-------------------------	---

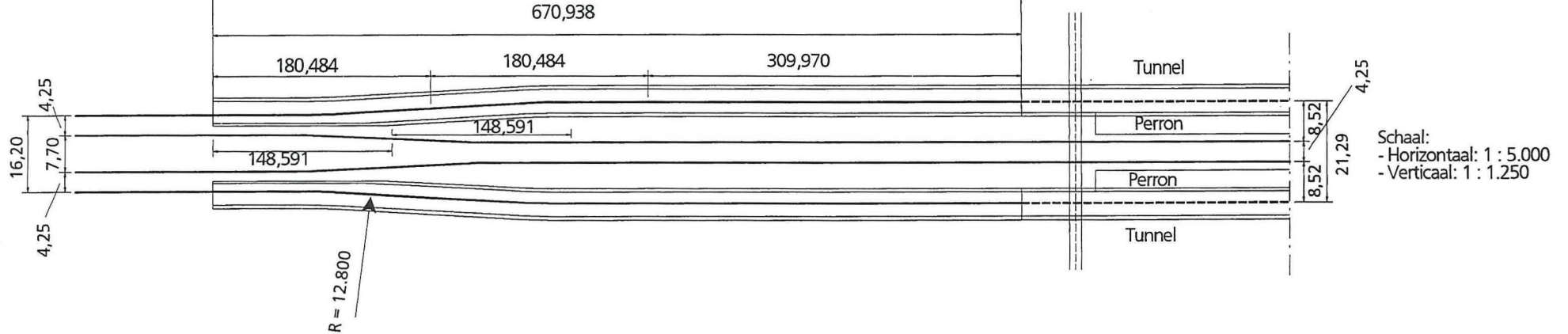
<b>NS Railinfrabeheer</b>	Datum: nov.1999	Schaal: 1:150
---------------------------	--------------------	------------------



# Verticaal Alignment



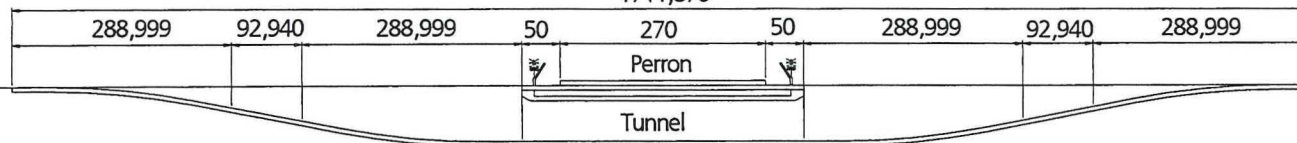
# Horizontaal Alignment



Schalen:  
- Horizontaal: 1 : 10.000  
- Verticaal: 1 : 1.250

Totaal lengteprofiel Stapeloplossing Vleuten, kortste variant

1711,876



**Alignementen Stapeloplossing**  
Richtingbedrijf, snelsporen aan buitenzijde  
Ontwerpsnelheid: 160 km/u

Maten in m  
Formaat: A4

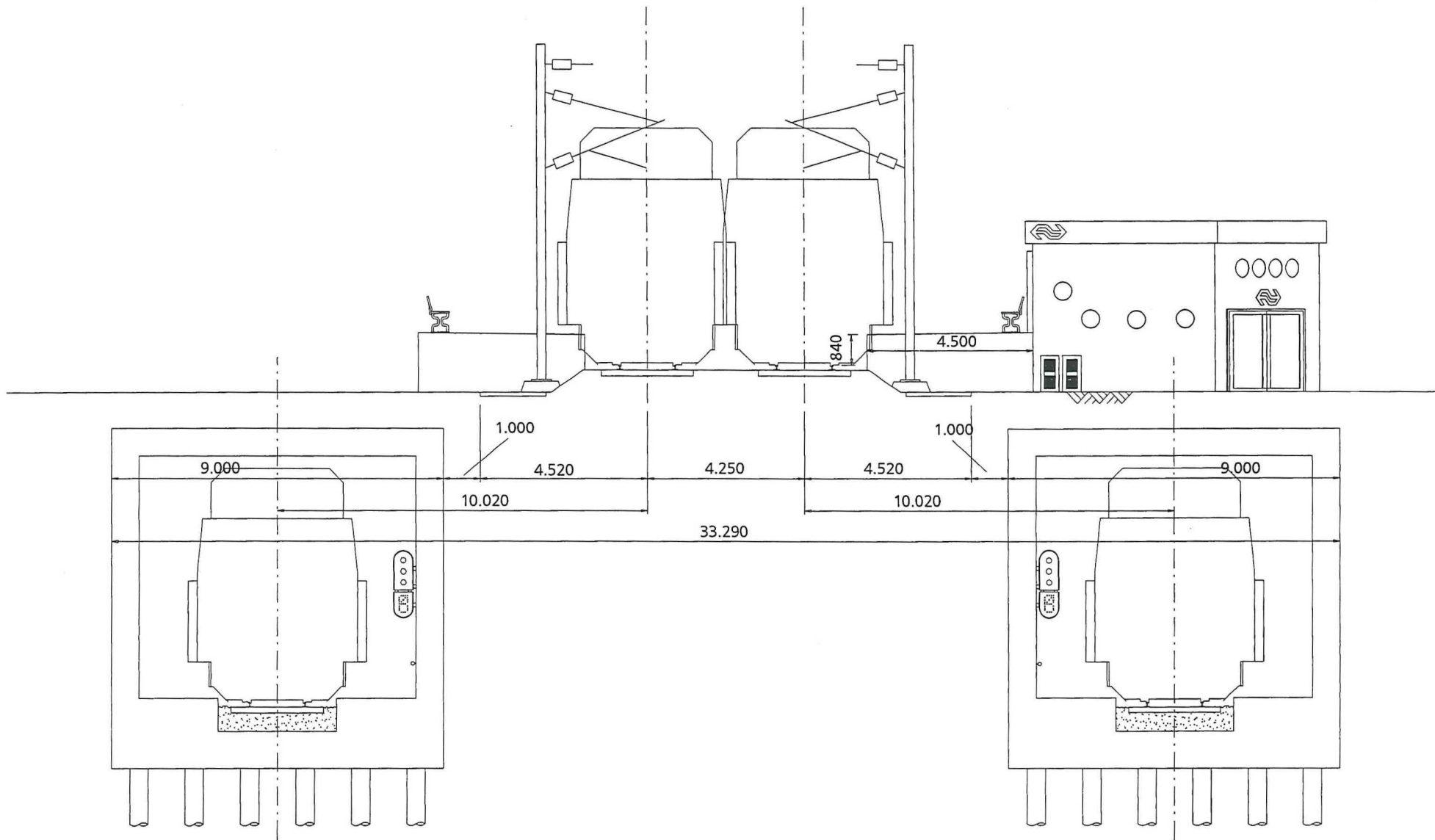
Getekend:  
H. de Haes

Opmerkingen:

NS Railinfrabeheer

Datum:  
nov. 1999

Schaal:  
zie tekening



**Dwarsdoorsnede Stapeloplossing**  
 Richtingbedrijf, snelsporen aan buitenzijde  
 Ontwerpsnelheid: 200 km/u

Maten in mm  
 Formaat: A4

Getekend:  
 H. de Haes

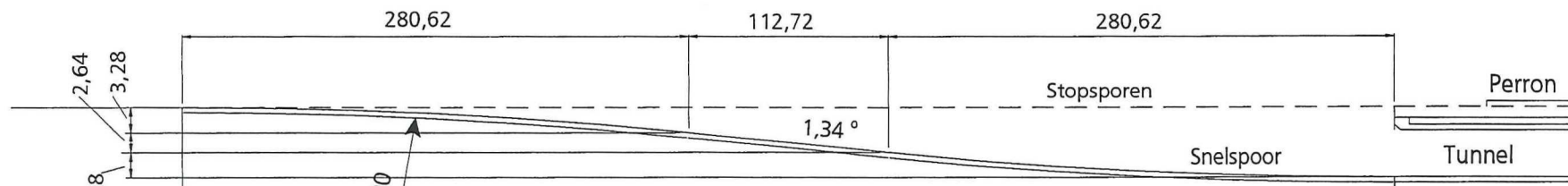
Opmerkingen:  
 Fundering indicatief aangegeven

 **NS Railinfrabeheer**

Datum:  
 nov.1999

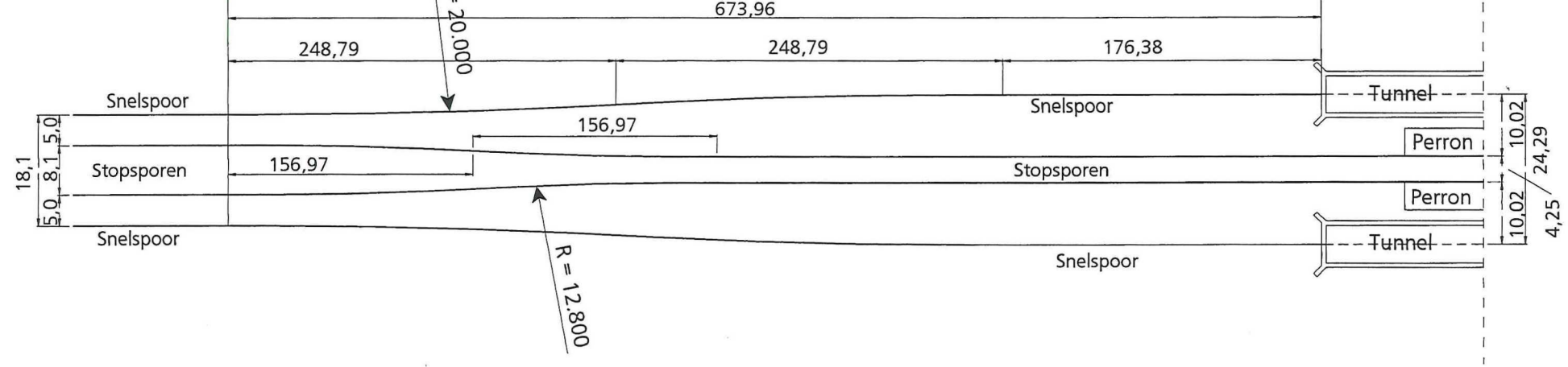
Schaal:  
 1:150

# Verticaal alignement

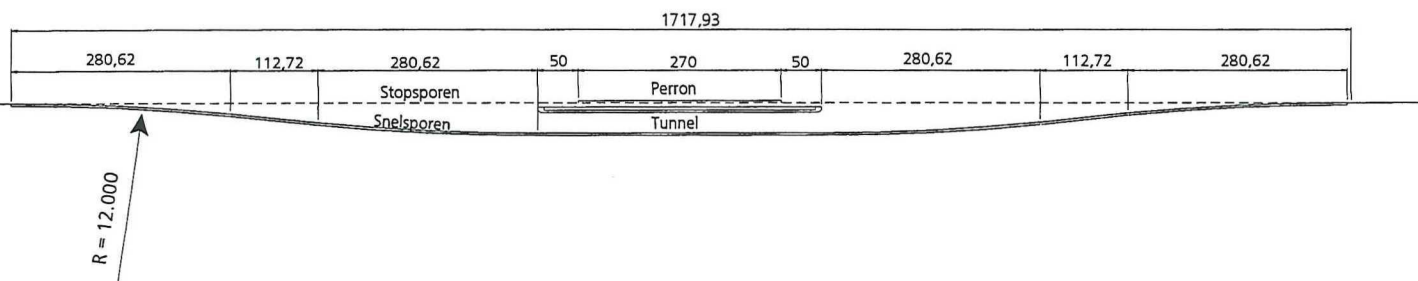


# Horizontaal alignement

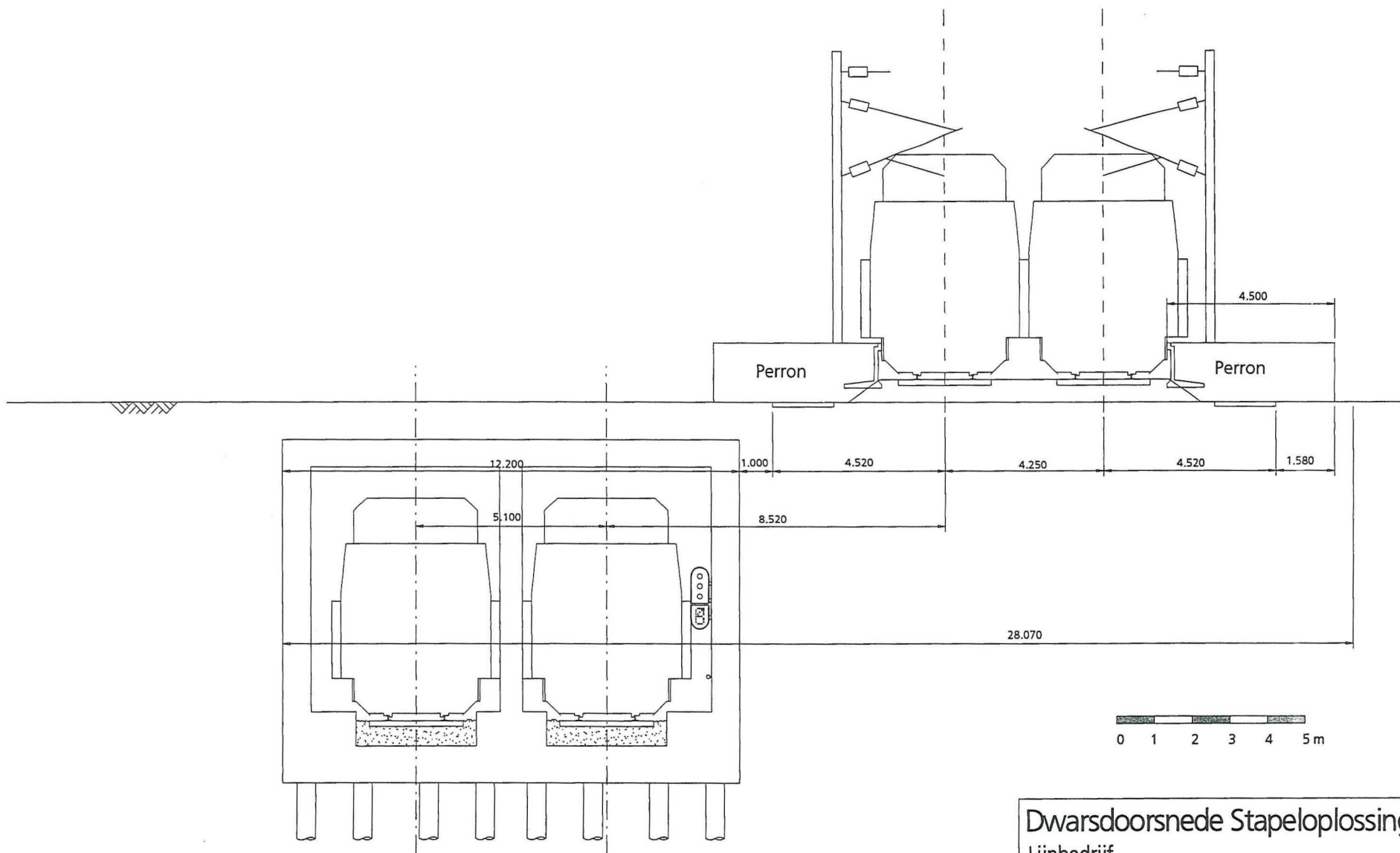
Schalen:  
 \* Horizontaal: 1:5.000  
 \* Verticaal: 1:1.250



## Lengteprofiel Stapeloplossing



<b>Alignementen Stapeloplossing</b>			
Richtingbedrijf, snelspoor aan buitenzijde			
Ontwerpsnelheid: 200 km/u			
Maten in m Formaat: A4	Getekend: H. de Haes	Opmerkingen:	
		Datum: nov.1999	Schaal: zie tekening

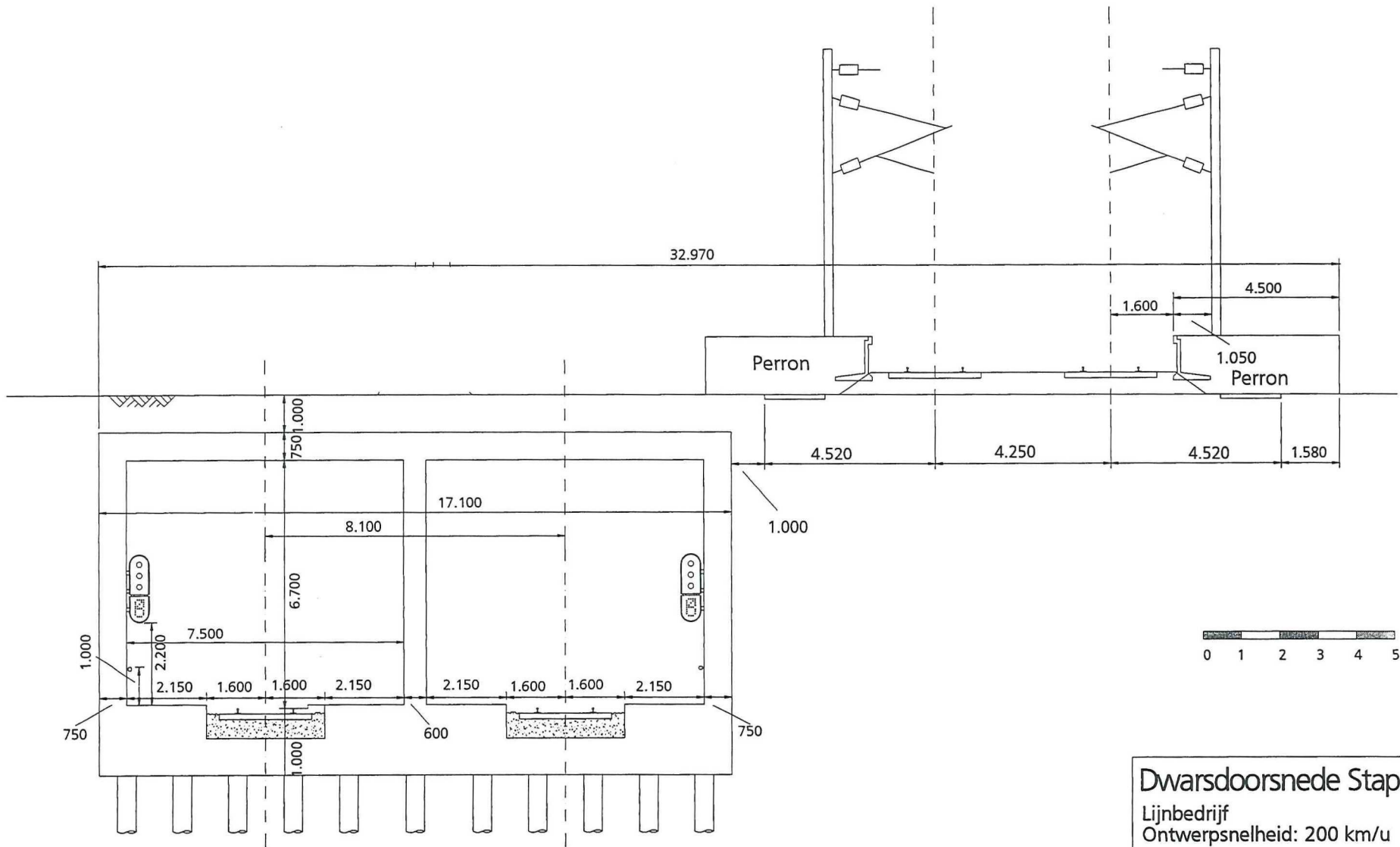


### Dwarsdoorsnede Stapeloplossing

Lijnbedrijf  
 Ontwerpsnelheid: 160 km/u

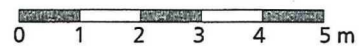
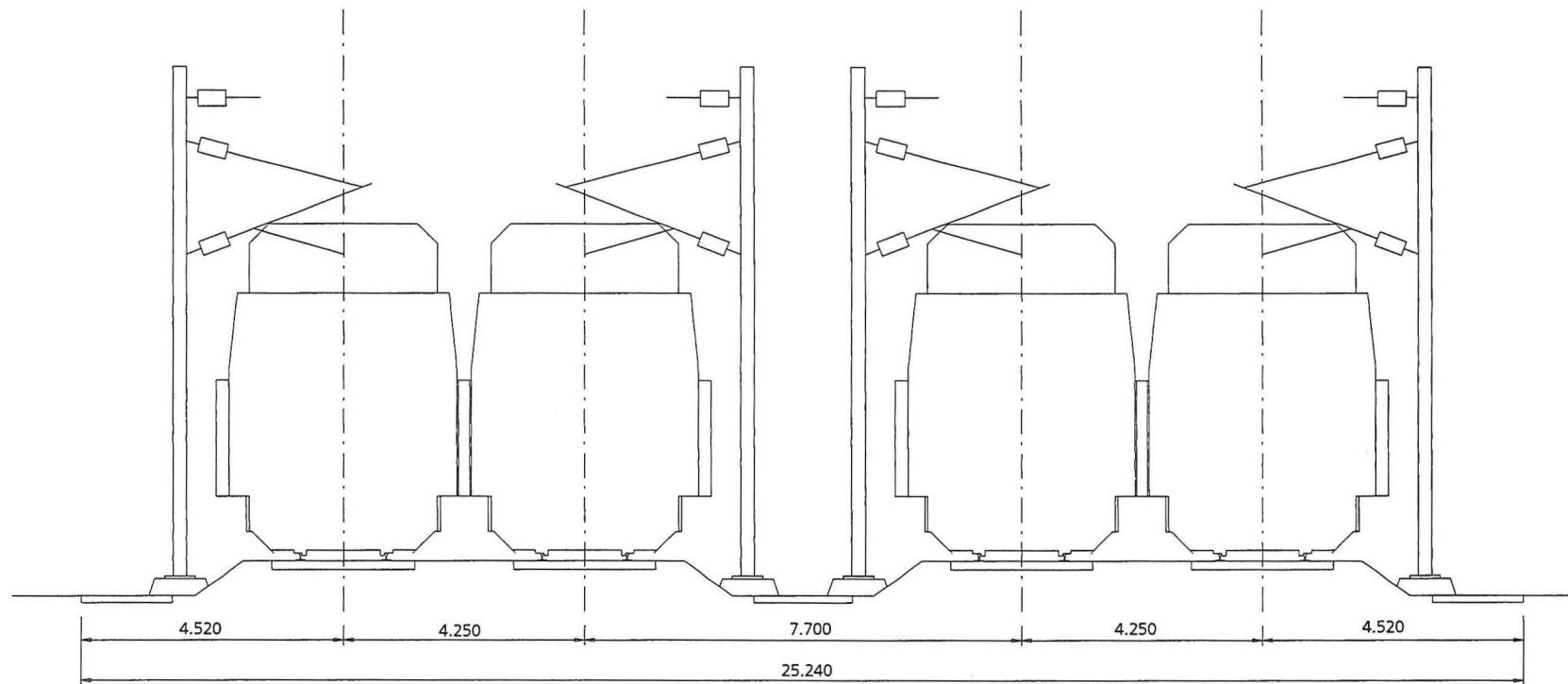
Maten in mm Formaat: A4	Getekend: H. de Haes	Opmerkingen: Fundering indicatief aangegeven
----------------------------	-------------------------	---

NS Railinfrabeheer	Datum: nov.1999	Schaal: 1:150
--------------------	--------------------	------------------



**Dwarsdoorsnede Stapeloplossing**  
 Lijnbedrijf  
 Ontwerpsnelheid: 200 km/u

Maten in mm Formaat: A4	Getekend: H. de Haes	Opmerkingen: Fundering indicatief aangegeven
		Datum: nov.1999
		Schaal: 1:150



Randvoorwaarde aansluitend  
spoor Vleuten

Ontwerpsnelheid: 160 km/u

Maten in mm  
Formaat: A4

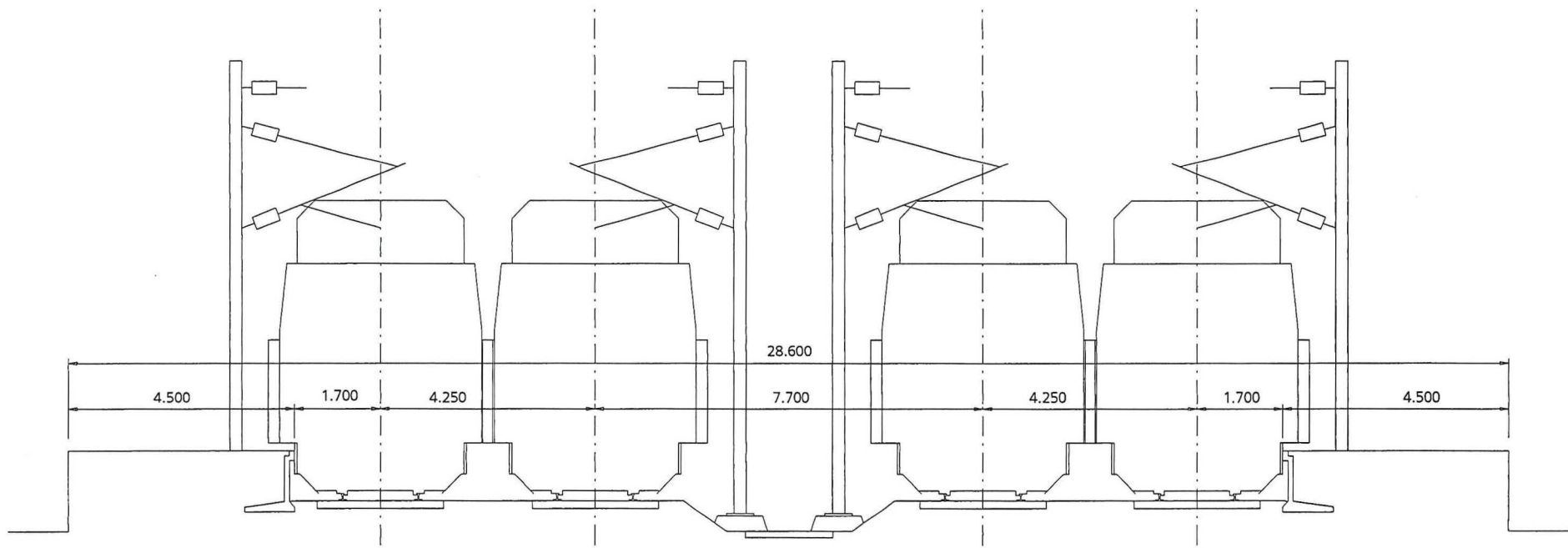
Getekend:  
H. de Haes

Opmerkingen:

 NS Railinfrabeheer

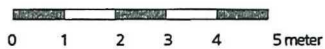
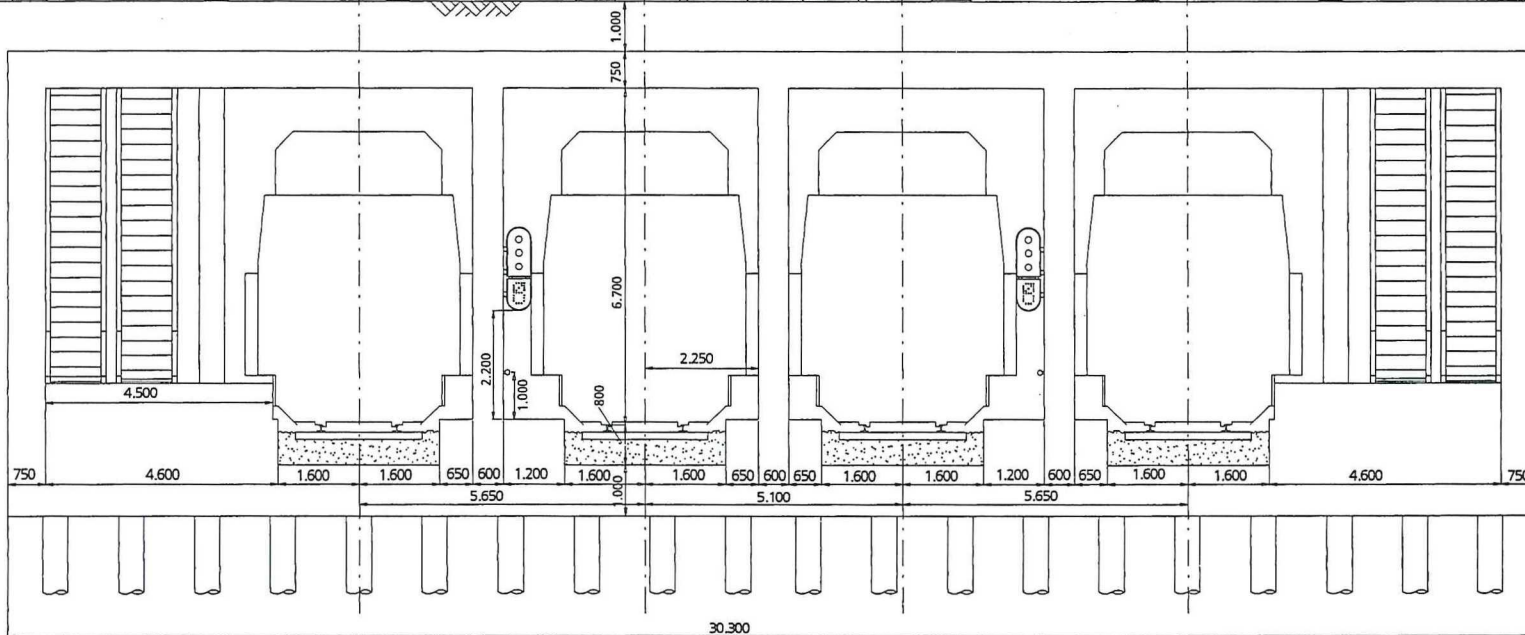
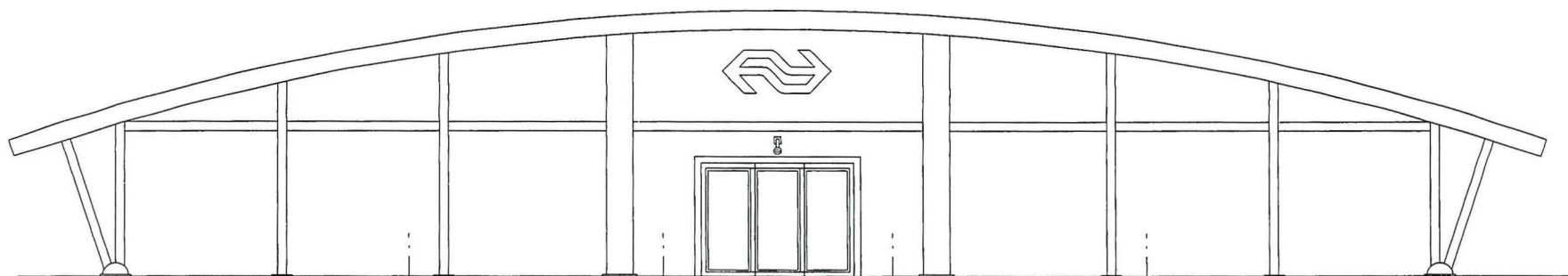
Datum:  
nov.1999

Schaal:  
1:125



### Dimensies maaiveld Vleuten ter plaatse van station

Maten in mm Formaat: A4	Getekend: H. de Haes	Opmerkingen: Snelsporen aan binnenzijde
		Datum:
		Schaal: 1 : 125



## Dimensies 4-sporige tunnel ter plaatse van station

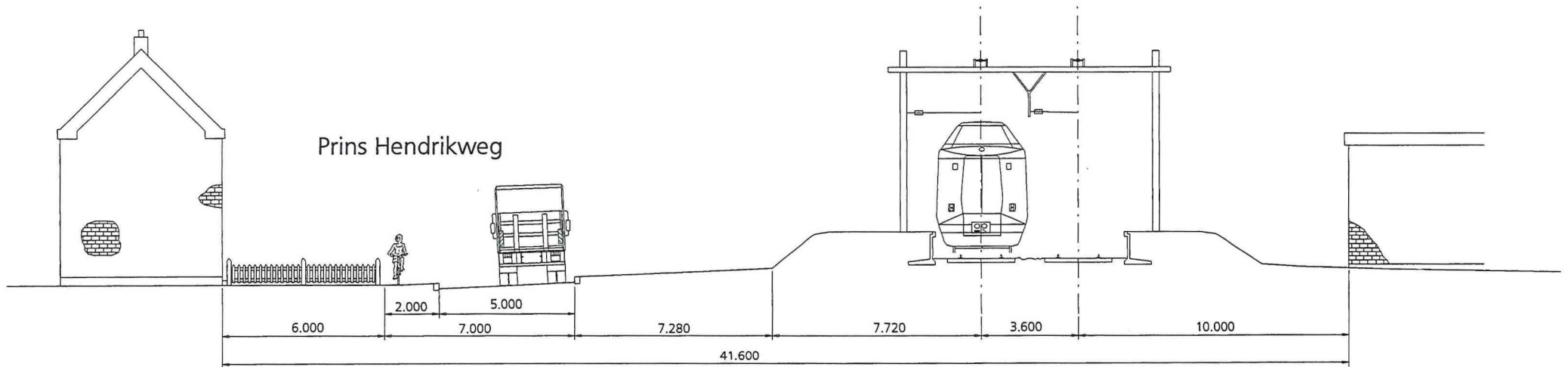
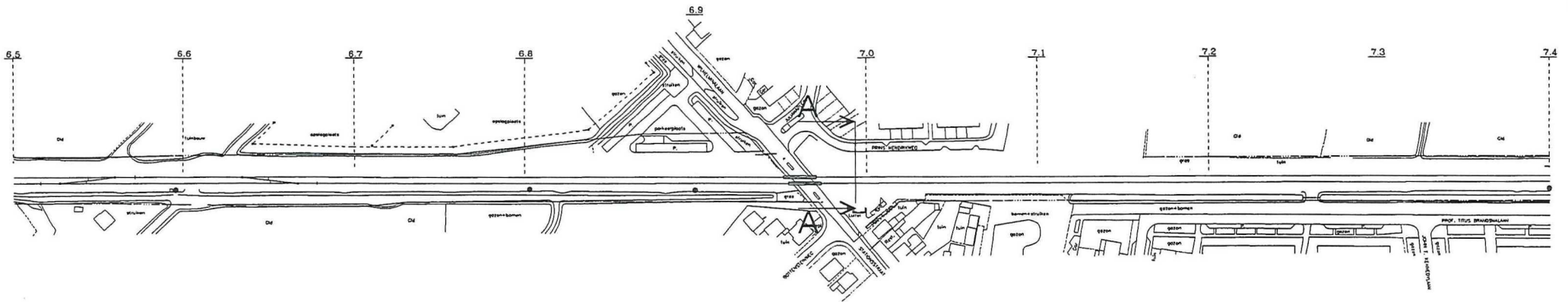
Maten in mm Formaat: A4	Getekend: H. de Haes	Opmerkingen: Fundering en stationsgebouw indicatief aangegeven
----------------------------	-------------------------	--

 NS Railinfrabeheer

Datum:  
nov. 1999

Schaal:  
1:150





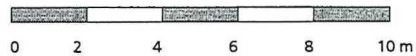
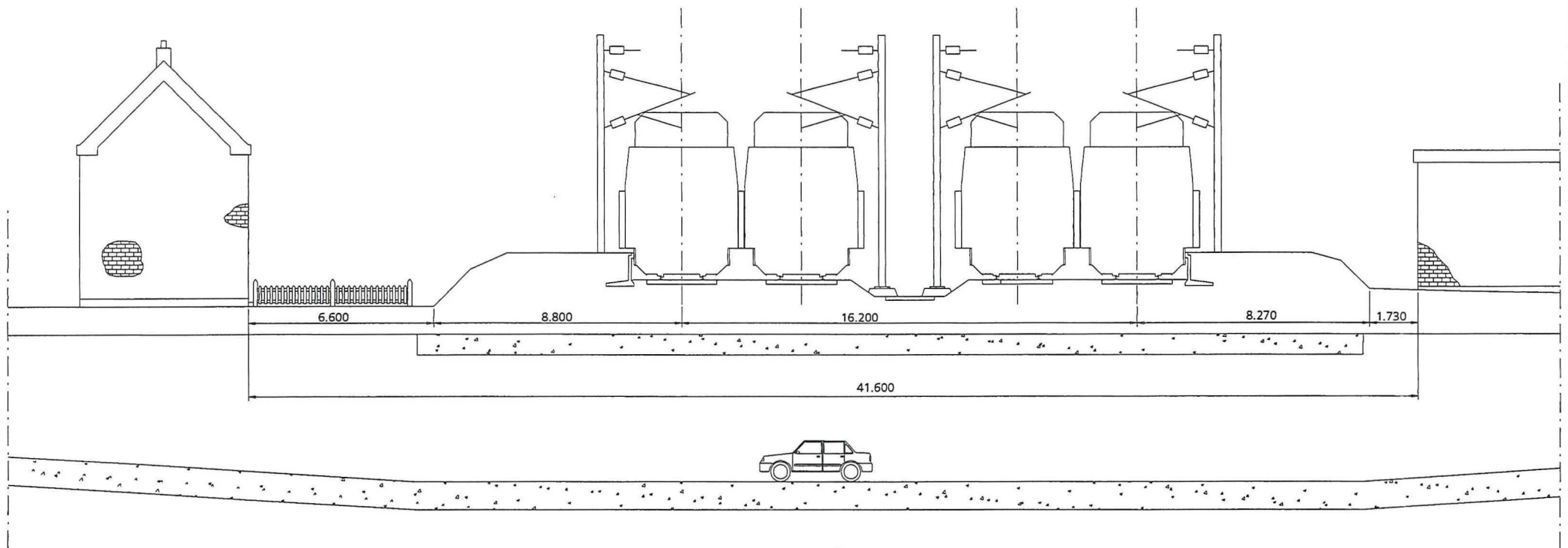
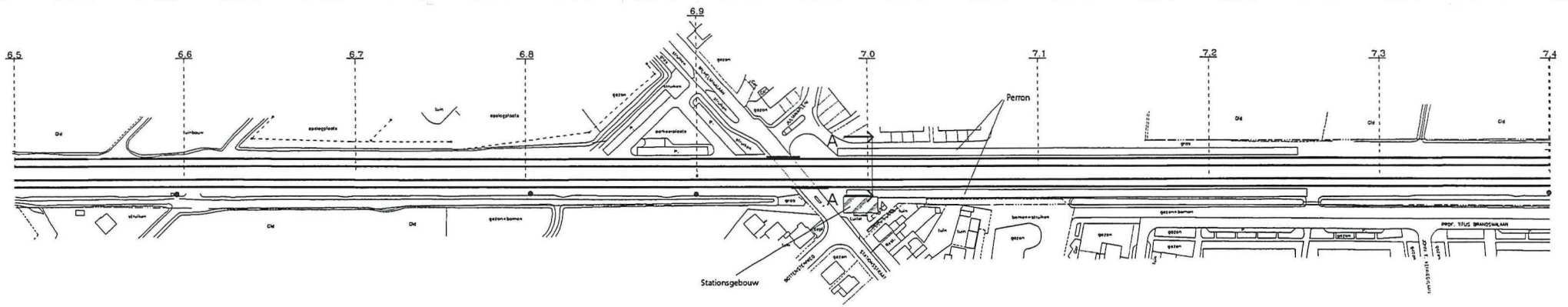
Zuid

### Doorsnede A-A

Noord



Inpassing Vleuten			
Huidige situatie			
Maten in mm Formaat: A4	Getekend: H. de Haes	Opmerkingen:	
		Datum: nov. 1999	Schaal: 1:200



Doorsnede A-A

Inpassing Vleuten

Maaivelduitbreiding

Maten in mm  
Formaat: A4

Getekend:  
H. de Haes

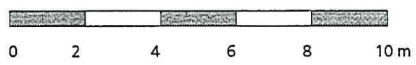
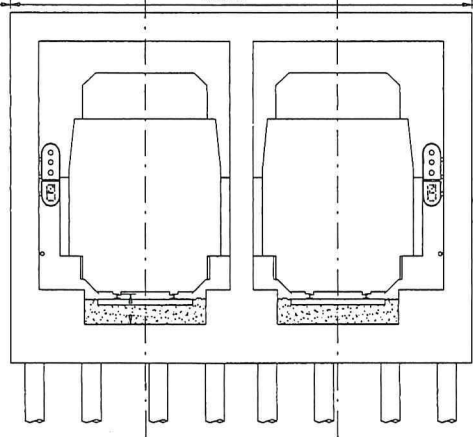
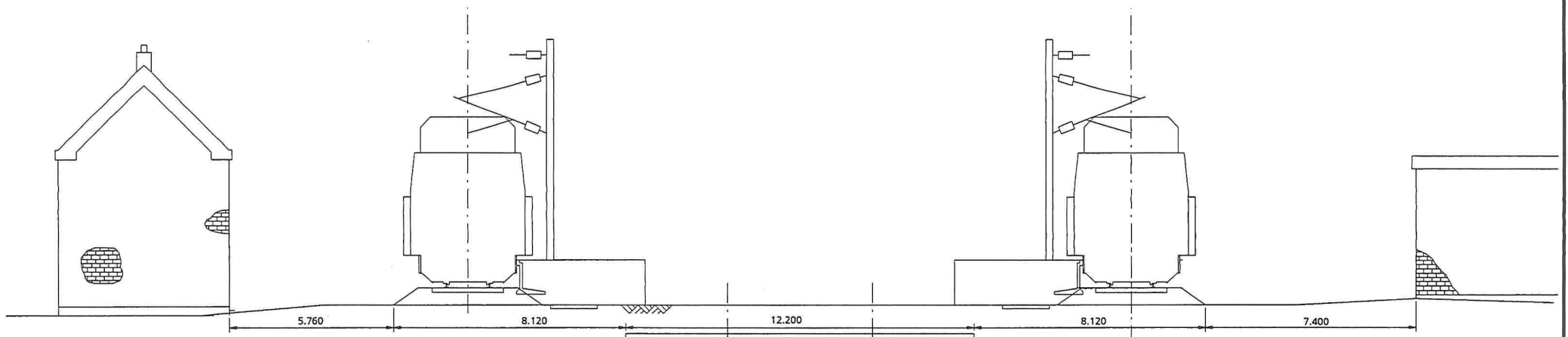
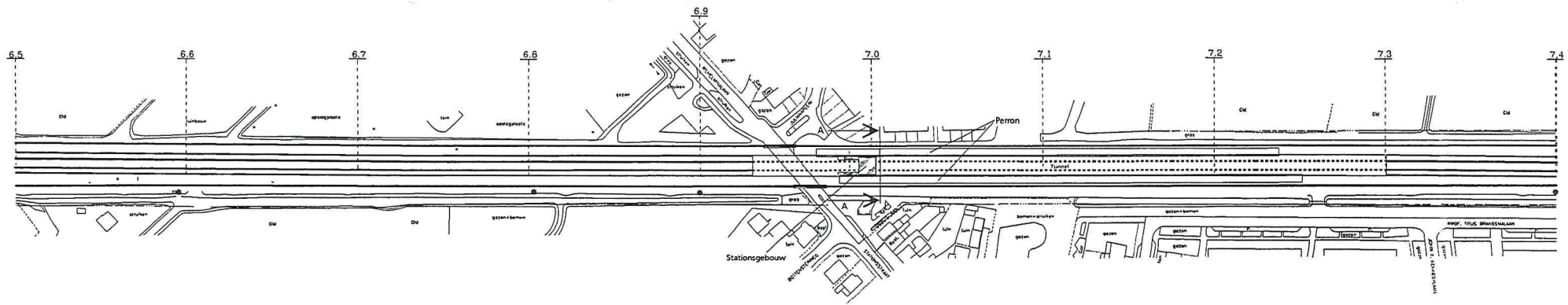
Opmerkingen:

 NS Railinfrabeheer

Datum:  
nov. 1999

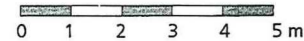
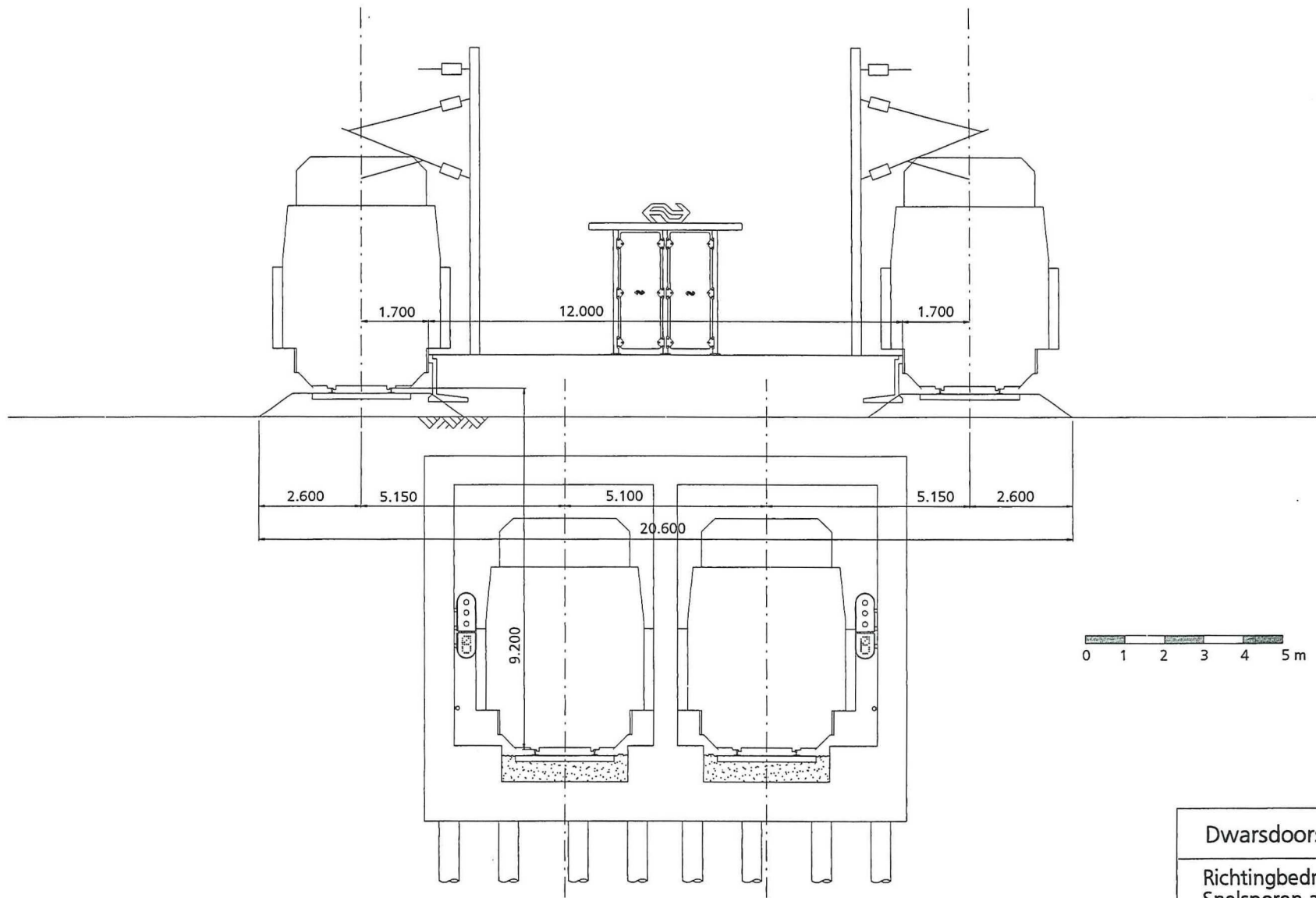
Schaal:  
1:200





Doorsnede A-A

Inpassing Vleuten		
Stapeloplossing (standaard)		
Maten in mm Formaat: A4	Getekend: H. de Haes	Opmerkingen: Fundering indicatief aangegeven
		Datum: nov. 1999
		Schaal: 1:200



Dwarsdoorsnede Stapeloplossing Vleuten

Richtingbedrijf, smal  
Snelsporen aan binnenzijde

Maten in mm  
Formaat: A4

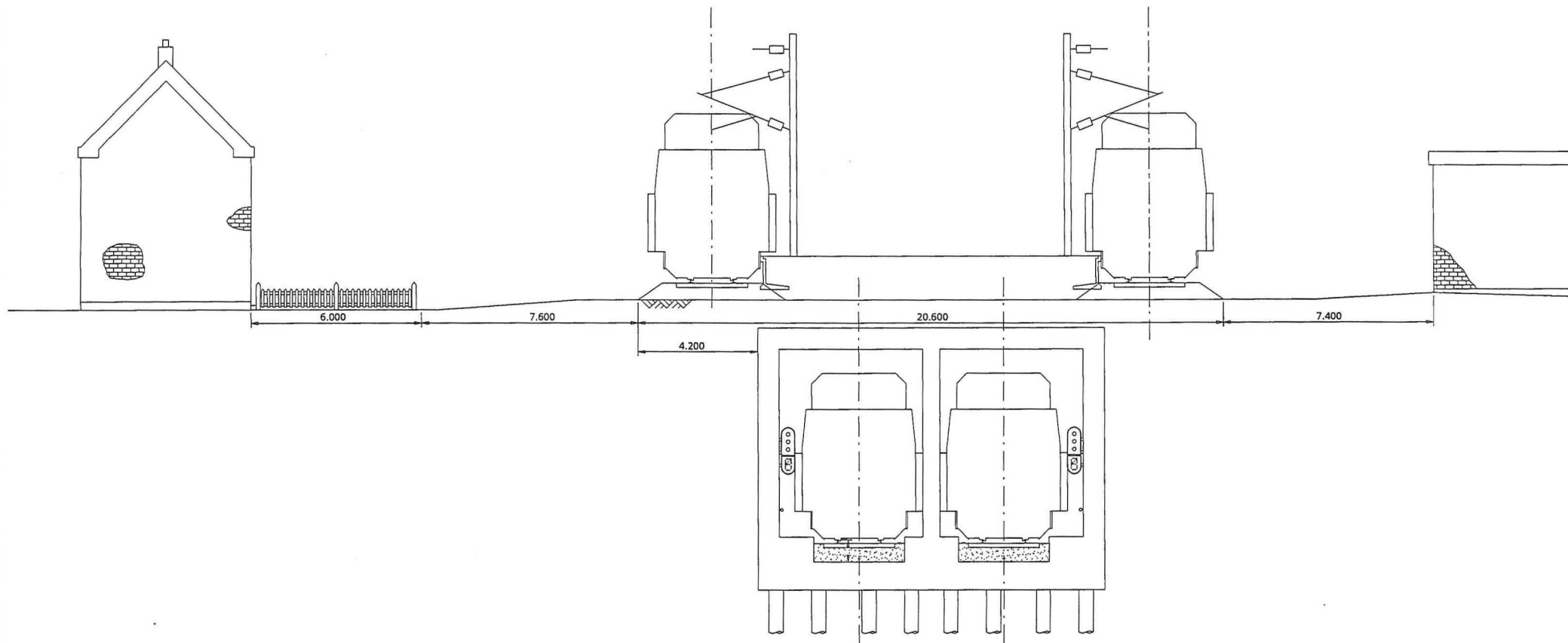
Getekend:  
H. de Haes

Opmerkingen:  
Fundering indicatief aangegeven

 NS Railinfrabeheer

Datum:

Schaal:  
1 : 150



## Inpassing Vleuten

### Stapeloplossing (versmald)

Maten in mm  
Formaat: A4

Getekend:  
H. de Haes

Opmerkingen:  
Fundering indicatief aangegeven

 NS Railinfrabeheer

Datum:  
nov. 1999

Schaal:  
1:200