

Interne mededeling

Aan	Ad Wenning	Datum	6 maart 2014
Onderwerp	Invloed tunnel op stijghoogte 1e wvp	Van	Johan van der Woude
		Doorkiesnummer	030 – 286 85 47
		E-mail	j.van.der.woude@utrecht.nl
		Gecontroleerd	A. Minten 

Inleiding

Naar aanleiding van de waterparagraaf Z80 bestaat behoefte om inzichtelijk te krijgen wat de invloed van de voorgenomen tunnelconstructies ter plaatste van het 5 Meiplein en het Anne Frankplein is op de stijghoogte in het 1^e watervoerend pakket. De vraag die hiervoor beantwoord moet worden, is in welke mate de tunnelconstructies opstuwing van grondwater veroorzaken en of deze opstuwing relevant is.

Theorie

Wanneer een ondergrondse constructie wordt aangebracht, kan dit de grondwaterstroming beïnvloeden. De bodem is voor grondwater doorlatend; de aan te brengen betonnen constructies niet. Een ondergrondse constructie kan hierdoor stroomopwaarts een stijging en stroomafwaarts een daling van de stijghoogte veroorzaken (barrièrewerking). Hoeveel barrièrewerking plaatsvindt, wordt bepaald door de omvang van de ondergrondse constructies en de mate waarin deze watervoerende lagen afsnijden.

Uit theorie (zie bijlage 1) blijkt dat barrièrewerking significant wordt wanneer ca. 60 á 70 % van de totale doorstroomde hoogte van het watervoerend pakket door de ondergrondse constructie wordt afgesloten. Ook kan pas sprake zijn van significante barrièrewerking als sprake is van een significant stijghoogte verschil over de beschouwde locatie.

Afmeting tunnels

In bijlage 2 is van beide tunnel een tekening opgenomen. Uit deze tekeningen is af te leiden dat de onderzijde van de tunnelconstructie zich op het diepste punt bevindt op ca NAP –6 m. Onder de onderzijde van de constructie bevinden zich verschillende rijen palen. Deze palen sluiten minder dan een kwart van het doorstroomde oppervlak tussen de palen af. De breedte van beide tunnels bedraagt ca 10 m.

Bodemopbouw en stijghoogte verloop

Op basis van een 9-tal diepe boringen tot minimaal de eerste scheidende laag in de directe omgeving van de tunnels, is de bodemopbouw afgeleid. Deze geschematiseerde bodemopbouw is weergegeven in tabel 1.

Tabel 1: geschematiseerde bodemopbouw

Diepte (m tov NAP)	Bodembeschrijving
+1,9	maaiveld
+1,9 tot 0	deklaag hoofdzakelijk bestaande uit klei
0 tot - 58,5	1e watervoerend pakket bestaande uit matig fijn tot matig grof zand met een siltige tot grindige bijmenging
diepte dan -58,5	scheidende laag bestaande uit klei

De grondwaterstroming in dit deel van Utrecht vindt plaats van het Merwedekanaal richting het Amsterdam-Rijnkanaal. Hier bedraagt het stijghoogte verloop ca 0,7 m over een afstand van 1500 m

10/3/14 G

tussen beide kanalen. Dit maakt dat het natuurlijke verhang van de stijghoogte ongeveer 0,5 cm per 10 m bedraagt.

Discussie

De tunnels van het Anne Frankplein en 5 Meiplein liggen schuin op respectievelijk in de lengtericht van de stromingsrichting van het grondwater. De tunnels sluiten over een korte afstand (200 m voor Anne Frankplein en 10 m voor 5 Meiplein) de bovenste 6 m van het bijna 60 m dikke 1^e watervoerend pakket af. De tunnels sluiten in het verticale vlak 10% af en in het horizontale vlak enkele procenten van het 1^e watervoerend pakket af. Dit is veel minder dan de 60 á 70 % waarbij meetbare opstuwing plaatsvindt.

Conclusie

Op basis van de theorie en de gegevens over de ondergrondse constructies en de bodemopbouw, kan worden geconcludeerd dat de aan te leggen ondergrondse constructies geen significante barrièrewerking zal veroorzaken. Deze conclusie is gebaseerd op het feit dat het stijghoogteverloop over de lengte van de tunnel haaks op de grondwaterstromingsrichting maximaal enkele centimeters bedraagt. Ook is de mate van afsluiting van het 1^e watervoerend pakket zeer beperkt (<10%). Dit maakt dat de theoretische opstuwing een fractie (<5%) bedraagt van het stijghoogteverloop over de lengte van de tunnel haaks op de grondwaterstromingsrichting en daarmee verwaarloosbaar is.

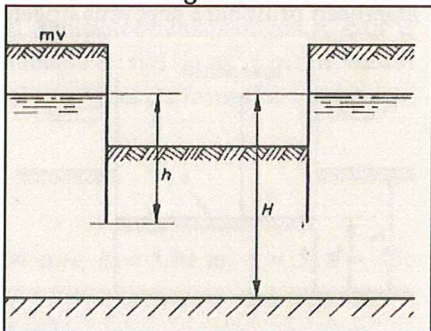
Bijlage 1

Theoretische onderbouwing Fugro

10/3/14 

THEORETISCHE ONDERBOUWING BARRIÈREWERKING

Fugro heeft, ten behoeve van de Geotechniekdag 2001 te Breda, barrièrewerking nader bestudeerd en toegelicht in een artikel. De hiernavolgende theoretische onderbouwing van barrièrewerking is aan dat artikel ontleend [1].

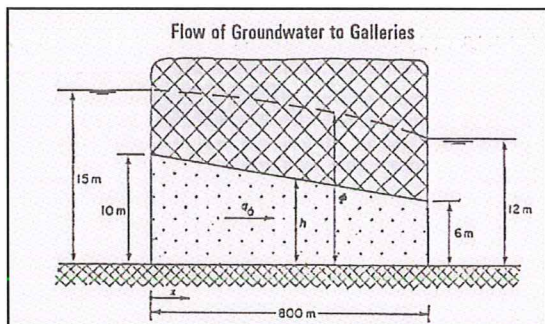


Figuur 1 Principeschets bouwput

De theoretische veronderstelling is dat de grootte van de barrièrewerking afhankelijk is van de mate waarin de ondergrondse constructie de watervoerende lagen afsluit. Hierbij is er sprake van een analogie met de onderzoeken van Weber (H. Weber, Die Reichweite von Grundwasserabsenkungen mittels Rohrbrunnen, 1928). Uit deze bleek dat er minder water naar een bouwput stroomt naarmate de damwand die de bouwput omsluit, dieper wordt geheid en daarmee een groter deel van de watervoerende laag afsluit.

De relatie die werd gevonden, bleek onafhankelijk van de doorlatendheid (k-waarde), maar (niet verwonderlijk) afhankelijk van de verhouding tussen de inheidiepte van de damwand ten opzichte van het piezometrisch niveau (h) en de diepte van de onderzijde van de beschouwde watervoerende laag ten opzichte van hetzelfde piezometrische niveau (H) zoals op figuur 1 [Bron: M.J. Fraanje, 'Bronbemaling', 1974, p. 166.] is weergegeven.

Wanneer de damwand de watervoerende laag geheel afsluit geldt $h/H = 1,0$ en is de reductie in het waterbezwaar uiteraard 100%. De reductie wordt pas significant wanneer de verhouding h/H groter is dan 0,6 à 0,7.



Figuur 2 Grondwaterstroming

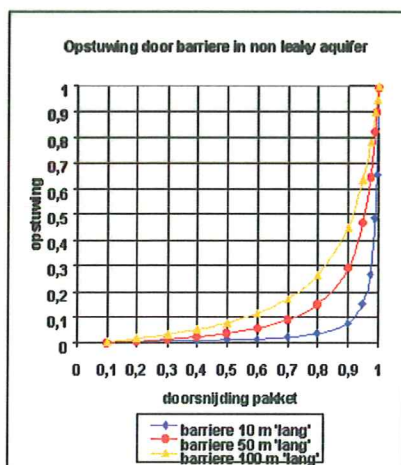
De hoeveelheid water die van de ene naar de andere kant wil stromen, is afhankelijk van het verschil in stijghoogte, de dikte van het doorstroomde pakket en de doorlatendheid.

Met vaste aangenomen stijghoogten op de randen en met een afnemende dikte van de watervoerende laag lijkt het model op Huismans' "Flow of groundwater through a confined aquifer without recharge" [Bron: L. Huisman; Groundwater Recovery, 1972, p.19], zie figuur 2.

Hierbij mag de rechterkant van de figuur ook gelezen worden als een ondergronds element (bijv. een kelder) die de watervoerende laag doorsnijdt. In deze figuur, waarin h is uitgedrukt als $h = a + bx$ geldt dat:

$$\phi = -q_0/kb \cdot \ln(a+bx) + C$$

In figuur 3 zijn de resultaten gegeven van een simulatie van de geohydrologisch meest simpele situatie van 1 watervoerende laag met 'volkomen' spanningswater: zowel aan de boven- als onderzijde wordt de watervoerende laag begrensd door 100% ondoorlatende lagen, waardoor er geen 'voeding' is door bijvoorbeeld neerslag of kwel.



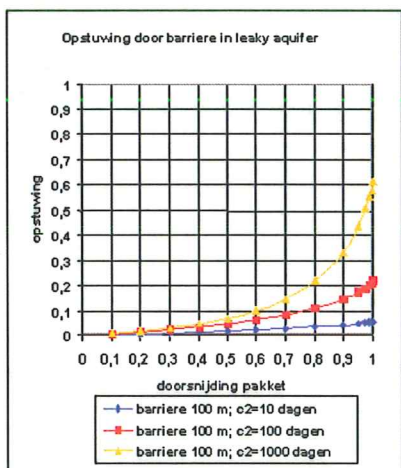
Figuur 3 Berekende opstuwing door barrière

In de simulatie is sprake van een oneindig brede barrière die waterondoorlatend is (de lengte in stromingsrichting varieert van 10, 50 en 100 m 'lang'). In de grafiek is zichtbaar dat, omdat er geen sprake is van voeding, alle lijnen bij 100% doorsnijding van de watervoerende laag een opstuwing van 100% te zien geven, waarbij 100% gelijk is aan het halve verschil in stijghoogte zoals dat er was voordat de barrière werd gerealiseerd. Uit de grafiek is te concluderen dat bij een betrekkelijk 'korte' barrière pas na zeer significante afsluiting van een watervoerend pakket enige opstuwing merkbaar is. Bij langere barrières, bijvoorbeeld 50 of 100 m in de stromingsrichting (en 'volkomen' in de breedte) zijn de effecten eerder merkbaar, maar worden ook pas vanaf een afsluiting van 60 tot 70% significant.

Omdat de 'ideale' geohydrologische situatie niet voorkomt, is een simulatie uitgevoerd met dezelfde barrière maar met een extra watervoerende laag onder de barrière. De watervoerende lagen zijn van elkaar gescheiden door een waterremmende laag met een weerstand (in 'dagen') tegen verticale grondwaterbeweging die bepalend is voor de hoeveelheid grondwater die van de ene naar de andere laag kan stromen. Deze weerstand is in de simulaties gevarieerd (10, 100 en 1000 dagen).

Uit figuur 4 blijkt duidelijk dat, als gevolg van de voeding, ook bij 100% doorsnijding van de bovenste watervoerende laag, de opstuwing nooit 100% zal kunnen worden, tenzij de weerstandslaag een oneindig grote weerstand heeft. Verder is duidelijk uit de figuur op te maken dat, in vergelijking met de vorige figuur, het effect van de barrière nu veel minder merkbaar is.

Na aanvullende simulaties met kleinere objecten werd besloten met de volgende conclusie:



Figuur 4 Berekende opstuwing door barrière met onderliggende watervoerende laag

opstuwing van grondwater door de barrièrewerking van ondergrondse constructies zal over het algemeen pas significant worden:

wanneer sprake is van een significant stijghoogteverschil over de beschouwde locatie;

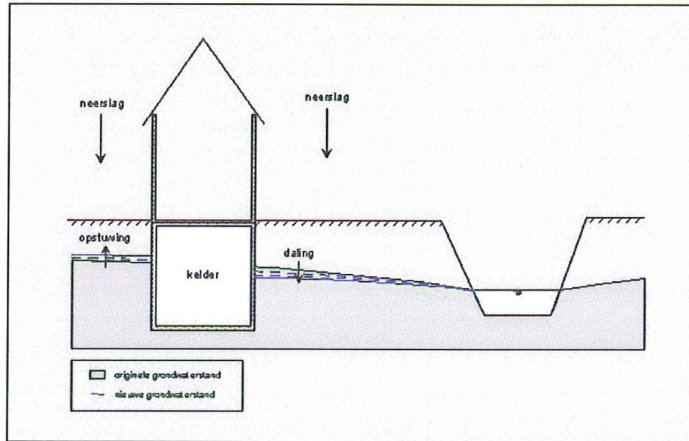
wanneer een watervoerende laag over meer dan 60 à 70% van de totale hoogte van de laag wordt doorsneden,

a. waarbij de totale barrière een significante breedte loodrecht op de grondwater stromingsrichting heeft van enkele tot meerdere tientallen meters;

b. waarbij de totale barrière een significante lengte in de richting van de grondwaterstroming heeft van meerdere tientallen meters;

wanneer de watervoerende laag aan boven- en onderzijde wordt begrensd door waterremmende lagen met een grote weerstand van enkele honderden tot (enkele) duizend(en) dagen waardoor voeding in verticale zin (verwaarloosbaar) klein blijft.

In een omgeving met meerdere aaneengesloten ondergrondse constructies, mag wanneer sprake is van een stijghoogteverschil, significante opstuwing niet worden uitgesloten, met name niet in ondiepe freatische watervoerende lagen. Zie figuur 5.



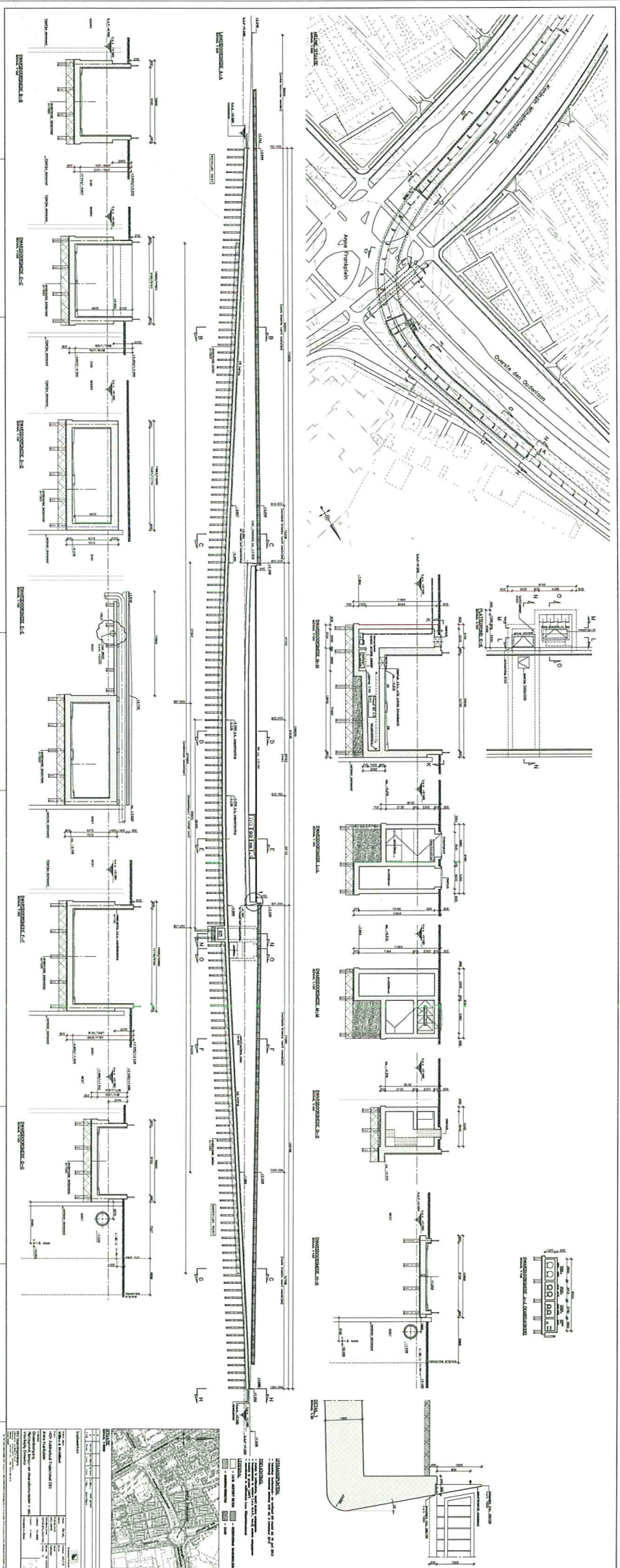
Figuur 5: Barrièrewerking

Bijlage 2

Tekening van beide tunnels

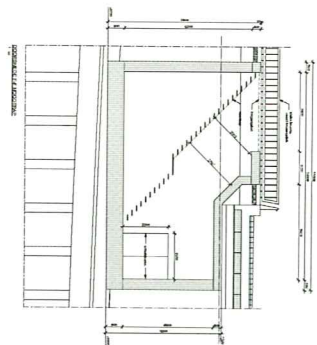
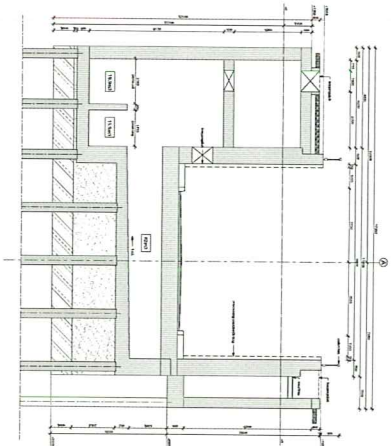
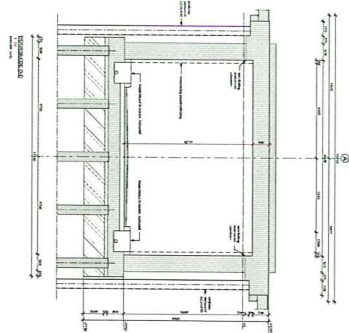
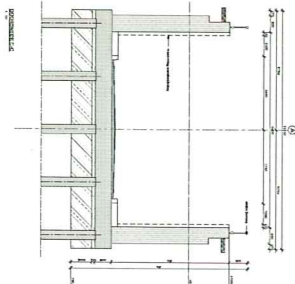
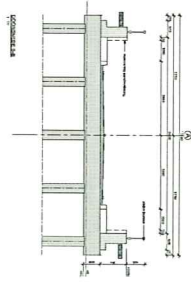
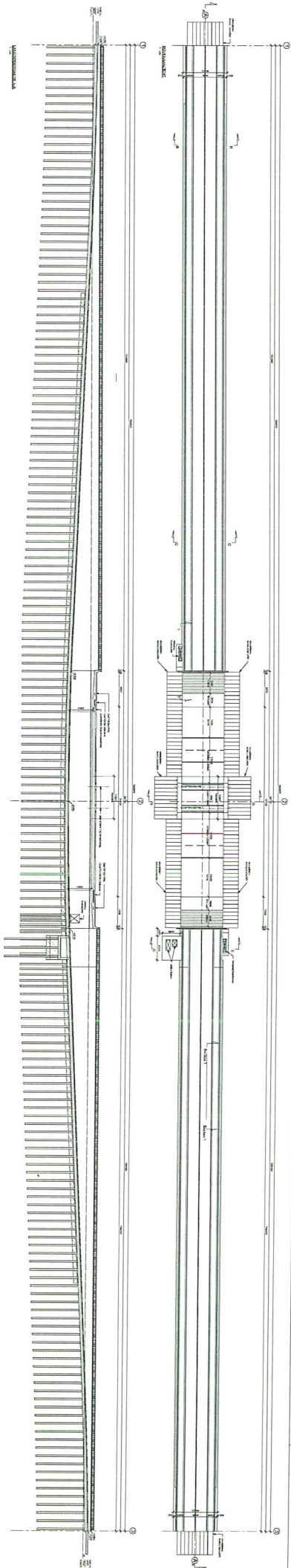
So in
bo in

1500 m



10/3/14

Ab



Project Name	Project Number	Project Date
Project Location	Project Status	Project Designer
Project Client	Project Architect	Project Engineer
Project Consultant	Project Contractor	Project Inspector
Project Reviewer	Project Approver	Project Signer

10/3/12

Co