Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.
Mobility & Infrastructure

Aan:	5.1.2.e
Van:	5.1.2.e
Datum:	09 oktober 2025
Kopie:	Click to enter "CopyTo"
Ons kenmerk:	BI5222-RHD-ZZ-46-ME-S-0001
Classificatie:	Projectgerelateerd
Gecontroleerd door	5.1.2.e

Onderwerp: **N284 - VO ontwerp fietstunnel Egyptische Poort**

---

1 Inleiding

1.1 Projectbeschrijving

De provincie Noord-Brabant is voornemens een fietsonderdoorgang te realiseren nabij de kruising van de N284 met de Europalaan. Op dit moment betreft dit een gelijkvloerse kruising. Met een gehele gebiedsontwikkeling in het vooruitzicht is het nodig om een ongelijkvloerse kruising te realiseren om de verkeersveiligheid te garanderen.



Figuur 1-1: schematische schuine kruising van de N284

1.2 Doel van dit document

In deze notitie is het voorlopig ontwerp beschreven van de ongelijkvloerse kruising. Naast het dimensioneren van de constructie is ook een globale fasering van de bouw opgenomen. De resultaten van het ontwerp dienen als input voor de kostenraming en de Trade-Off matrix.

2 Uitgangspunten

2.1 Normen en Richtlijnen

Bij het ontwerp van de fietsonderdoorgang moet het besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl) gehanteerd worden. Hierin zijn de Eurocodes als bindende documenten opgenomen om de constructieve veiligheid te waarborgen. Bij het ontwerp is rekening gehouden met onderstaande normen:

[1]	NEN-EN 1990:2025	Grondslagen van het constructief en geotechnisch ontwerp
[2]	NEN-EN 1991-1-1+C1+C11:2019	Belasting op constructies – Algemene belastingen
[3]	NEN-EN 1991-2:2025+C2+A1	Belastingen op constructies - Verkeersbelasting op bruggen en andere civieltechnische werken
[4]	NEN-EN 1992-1-1	Ontwerp en berekening van betonconstructies - Algemene regels en regels voor gebouwen
[5]	NEN-EN 1992-2	Ontwerp en berekening van betonconstructies - Betonnen bruggen - Regels voor ontwerp, berekening en detaillering
[6]	NEN-EN 1997-1	Geotechnisch ontwerp van constructies – Algemene regels

Enkele normen zijn zeer recent uitgegeven. Hiervan zijn nog geen Nederlandse vertalingen beschikbaar en ook geen nationale bijlage. Indien de nieuwste versie enkele onduidelijkheden heeft zal worden teruggevallen op de oude versie met nationale bijlage.

Naast de direct aansturende normen zijn er enkele richtlijnen van Rijkwaterstaat gebruikt. Deze richtlijnen zijn in eerste instantie informatief gebruikt. In het ontwerp is aangegeven met welke eisen uit de documenten rekening is gehouden en waar nodig met welke eisen nadrukkelijk geen rekening is gehouden.

[7]	RTD1001	Richtlijnen Ontwerp Kunstwerken (ROK) versie 2.0
[8]	RTD1004	Resultaatsbeschrijving ontwerpdocumenten kunstwerken versie 1.1
[9]	RTD1010	Standaarddetails voor betonnen bruggen versie 2.1
[10]	RTD1011	Eisen stootplaten en stootvloeren versie 1.1

2.2 Gevolgklasse

De fietsonderdoorgang gaat onder een provinciale weg door. Dit betekent dat de constructie wordt ingedeeld in gevolgklasse CC2 en bijbehorende betrouwbaarheidsklasse RC2.

2.3 Levensduur

Er is een ontwerplevensduur gehanteerd van 100 jaar volgens NEN-EN 1990 tabel 2.2. Dit is tevens een standaard levensduur voor een onderdoorgang.

2.4 Grondopbouw

Voor het project is geen grondonderzoek uitgevoerd. Zodoende zijn de vrij toegankelijke gegevens gebruikt. Hiervoor zijn www.dinoloket.nl en www.broloket.nl geraadpleegd en is de beschikbare informatie gebruikt.



Figuur 2-1: locatie van de onderzoeken (bron: www.dinoloket.nl)

Er zijn twee booronderzoeken nabij de locatie aanwezig. In Figuur 2-2 is de grondopbouw opgenomen. Hieruit blijkt dat de grond voornamelijk bestaat uit zandlagen. Dit is in overeenstemming met de verwachting.



Figuur 2-2: Grondopbouw volgens B57A0291 (bron: www.dinoloket.nl)

2.5 Grondwaterstand

Voor het project zijn geen metingen van de grondwaterstand uitgevoerd. Zodoende zijn de vrij toegankelijke gegevens gebruikt. Hiervoor zijn www.dinoloket.nl en www.broloket.nl geraadpleegd en is de beschikbare informatie gebruikt. Uit de dichtstbijzijnde put blijkt de grondwaterspiegel zo'n 2 m onder maaiveld te liggen met een maximale GWS van 1,5 m onder maaiveld over een jaar gemeten.



Figuur 2-3: Grondwaterstand volgens GLD000000067098 (bron www.dinoloket.nl)

Addendum:

Op 14 juli 2025 is rapportage **"Evaluatie grondwatermeetnet meetperiode 2010 t/m 2021"** met referentie **D10043940:27** aangeleverd aangaande de grondwaterstand in het gebied. In dit rapport is informatie opgenomen van peilbuizen nabij de locatie. Het betreft de peilbuizen:
Bladel4_G1;
Egyptische Poort Bladel01_G1
Egyptische Poort Bladel02_G1

Bladel-Zuid	X	Y	Maaiveld [m +NAP]	Reeks [jr]	GLG [m +NAP]	GHG [m +NAP]	Ontwatering (GHG) [m -mv]
Egyptische Poort Bladel 01_G1	143086	374593	30.73	1.83*	28.88	29.80	0.93
Egyptische Poort Bladel 05_G1	142595	374012	30.80	1.75*	28.85	30.45	0.35
Egyptische Poort Bladel 04_G1	142647	374295	30.56	1.75*	28.54	30.00	0.57
Egyptische Poort Bladel 03_G1	142973	374241	31.08	1.75*	28.72	30.38	0.70
Egyptische Poort Bladel 02_G1	143055	374622	30.83	1.75*	28.45	30.12	0.71
B57A0363_G1	142328	374806	30.24	10.92	28.55	29.27	0.97
B57A0364_G1	141931	374391	30.14	10.92	28.45	29.15	0.99
B57A0374_G1	143422	374887	30.61	10.25	28.53	29.19	1.42
B57A0375_G1	143136	374074	31.52	9.00	28.78	29.95	1.57
Bladel 4_G1	143054	374704	31.66	1.83*	28.60	29.61	2.05
Bladel 3_G1	142982	375201	31.77	2.25*	28.68	29.31	2.46
B57A0373_G1	143224	374394	32.24	10.25	28.94	29.77	2.47

Uit deze informatie kan een GHG van 30,5 m NAP worden uitgelezen, dit komt overeen met de beschikbare gegevens in het Dinoloket. Tevens is een maximaal grondwaterstandverschil van 1,5 m te bepalen. De berekening in paragraaf 4.2.3 behoeven niet voorzien te worden van een update.

2.6 Gronddekking

Er is gerekend met een gronddekking op de fietsonderdoorgang van 0,5 m. Deze is opgebouwd uit asfalt en zand. In de berekening is de gunstige invloed van deze gronddekking verwaarloosd zodat de stabiliteit van de constructie gewaarborgd blijft.

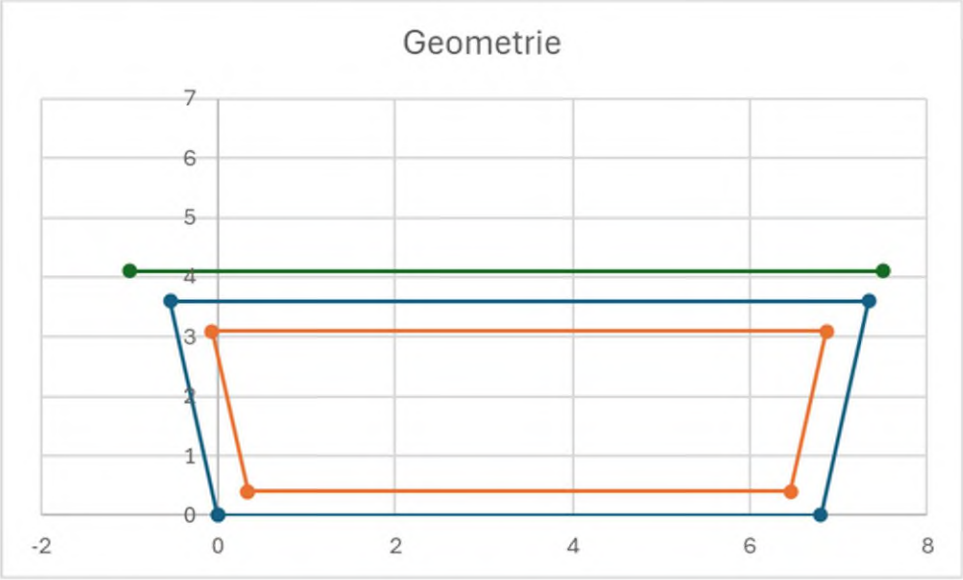
3 Geometrie

3.1 Algemeen

De fietsonderdoorgang wordt in gewapend beton uitgevoerd. Hierin zijn twee verschillende bouwmethode te onderscheiden:

1. In-situ storten van de tunnel
    a. Geen/minder voegen, minder lekkage
    b. Langere stremming noodzakelijk
2. Prefab-elementen
    a. Voegen om de 1,25 m
    b. Snelle bouwmethode

Om voldoende vrije ruimte te verkrijgen is een inwendige breedte nodig van 6 m aan de onderzijde, om wijkende wanden te krijgen en zo een ruimer beeld is een breedte van 7 m benodigd aan de bovenzijde. De minimale vrijehoogte is 2,5 m. Om enige reserve te houden is 2,6 m gehanteerd. De verhouding tussen breedte en hoogte is met 2,3 groter dan de aanbevolen waarden van 1,5 zodat de onderdoorgang niet smal aandoet.



Eventueel kunnen “oren” aan de tunneldoorsnede worden bevestigd om opdrijven tegen te gaan. De noodzakelijk / mogelijkheid hiertoe zal worden toegelicht nadat de berekeningen voor opdrijven zijn uitgevoerd.

3.2 In-situ beton

De constructiehoogte van het dek wordt ingeschat als zijnde een 1/20×L met een minimum van 400 mm. De overspanning is hier 7 m waardoor de constructiehoogte bepaald is op 400 mm. De wanden en vloer krijgen een gelijke constructiehoogte (met optimalisaties zijn kleinere doorsnede mogelijk echter is dit nadelig voor opdrijven van de constructie (zie 4.2). Uit de opdrijfberekening kan tevens komen dat een robuustere constructie noodzakelijk is.

3.3 Prefab

De prefab-elementen kunnen in deze fase gelijk worden gehouden aan de in-situ variant. Voor de prefab elementen geldt over het algemeen dat de betonsterkteklasse hoger is en door de geconditioneerde omstandigheden een lagere dekking gehanteerd mag worden.

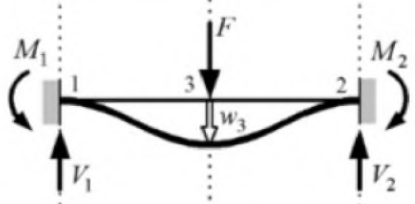
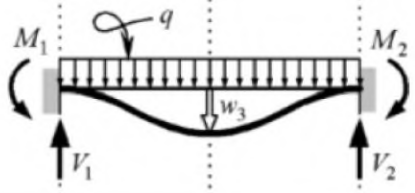
Verschillende prefab leveranciers bieden tunnelsegmenten aan. Enkele voorbeelden zijn Romein beton, Giverbo en van der Linden beton. De tunnelsegmenten worden met behulp van voorspanning aan elkaar bevestigd. Op deze wijze wordt als het ware een plaat gemaakt. De doorsnede wordt van betonstaal voorzien. Zodoende kan met eenzelfde wapening volstaan worden als voor een in-situ tunnel.

4 Berekening

4.1 Constructieberekening

4.1.1 Algemene uitgangspunten

Om een inschatting te maken van de benodigde wapening is een ingeklemde ligger beschouwd. De bepaling van de snedekrachten moment en dwarskracht zijn op deze wijze met mechanica vergeet-me-nietjes te berekenen. De gebruikte vergeet-me-nietjes zijn:

(11)		$w_3 = \frac{1}{192}\frac{F\ell^3}{EI}$ $M_1 = M_2 = \frac{1}{8}F\ell; \quad V_1 = V_2 = \frac{1}{2}F$
(12)		$w_3 = \frac{1}{384}\frac{q\ell^4}{EI}$ $M_1 = M_2 = \frac{1}{12}q\ell^2; \quad V_1 = V_2 = \frac{1}{2}q\ell$

In deze fase van het project is het nog niet noodzakelijk om alle belastinggevallen in rekening te brengen. Voor de bepaling van de hoofdafmetingen zijn zodoende de belangrijkste belastingen in rekening gebracht:

BG1 - Eigen gewicht
BG2 - Grond verticaal
BG3 - LM1-UniformDistributedLoad
BG4 - LM1-TandemStelsel

Er is nog geen rekening gehouden met verhinderde vervorming en krimp en kruip. Echter door een wapeningspercentage van 1% te hanteren kan gesteld worden dat er voldoende mogelijkheid aanwezig is om de wapening aan te passen.

4.1.2 Berekening snedekrachten

In de berekening is de belasting uit rijstrook 1 gemiddeld over deze rijstrook. Voor de berekende dwarskracht is dit eigenlijk te gunstig, echter is het altijd mogelijk om beugelwapening toe te passen waardoor de hoofdafmetingen hierdoor niet beïnvloed worden.

BG1 Eigen gewicht		
qeg	10	kN/m
Meg	41,772	kNm
Veg	35,4	kN

BG2 Grond (zand, k_0=0,5)		
qgrond	8	kN/m
Meg	33,4176	kNm
Veg	28,32	kN

BG3 LM1 - ULS		
q_{UDL}	9	kN/m
M_{UDL}	37,5948	kNm
V_{UDL}	31,86	kN

Het tandemstel 1 bestaat uit 2 assen van beide 300 kN. In deze berekening is de belasting gecentreerd in het hart van deze assen en gespreid over 3m breedte (rijstrook). Dit betekent dat met een puntlast van 600 kN / 3 = 200 kN is gerekend

BG4 LM1 - TS1		
F_{TS1}	200	kN
M_{TS}	177	kNm
V_{TS}	100	kN

Voor de uiterste grenstoestand geldt:

UGT	380	kNm/m

In de frequente combinatie mag de veranderlijke belasting ten gevolge van verkeer worden vermenigvuldigd met ψ_0= 0,8. Hierdoor geldt:

BGT Freq	247	kNm/m

4.1.3 Wapening

Bij dit type constructies is over het algemeen de scheurwijdtetoetsing maatgevend. Voor een eerste inschatting van de wapening is zodoende gerekend met een maximale staalspanning volgend uit de frequente combinatie van $\sigma_{E,freq}$= 170 N/mm^2.

De inwendige hefboomsarm is bepaald met 0,8×h, dit is zodoende een indicatieve berekening $A_{s,ben}$= $M_{E,freq}$/ ($\sigma_{E,freq}$ × z) = 247E6/ (170×0,8×400) = 4537 mm^2 ($\omega_{0,req}$= 1,13%)

Als praktische wapening wordt Ø25-100 ($A_{s,toe}$= 4908 mm^2) gehanteerd. Het wapeningspercentage is nog relatief lag met 1,23%.

4.2 Opdrijfberekening

4.2.1 Algemeen

Voor de berekeningen aangaande opdrijven is NEN9997 tabel A.15 gebruikt voor de veiligheidsfactoren. In overeenstemming met ROK2.0 eis 0399 is voor de belasting uit het grondwater gerekend met een belastingfactor $\gamma_{g,dst}$=1,0 voor de laagste grondwaterstand van -3 m onder maaiveld (zie Figuur 2-3). De hoogste grondwaterstand is gehanteerd op -1,5 m onder maaiveld. Dit betekent dat de fluctuatie 1,5 m bedraagt. Op deze fluctuatie dient een belastingfactor $\gamma_{G,dst}$= 1,5 gehanteerd te worden.

In de ROK staat aangeven dat de lage grondwaterstand als minimale grondwaterstand gehanteerd mag worden, dus met een belastingfactor van 1,0. De fluctuatie (HGS-LGS) dient met een belastingfactor van 1,5 meegenomen te worden. Indien dit er toe leidt dat er een rekentechnische waterstand ontstaat welke boven de toegang van de tunnel uitsteekt hoeft geen grotere waterdruk in rekening te worden gebracht dan fysiek mogelijk (totdat de onderdoorgang volstroomt). In dit geval betekent dit dat met een grondwaterdruk van 3,35 m gerekend moet worden (zonder belastingfactor).

De in rekening te brengen waterdruk heeft een hoogte van:
Onderzijde constructie – LGS + 1,5× (HGS-LGS)= 0,6 + 1,5×1,5= 2,85 m < onderzijde constructie (3,6m)

In dit geval betekent dit dat met een grondwaterdruk van 2,85 m tegen de onderzijde van de constructie gerekend moet worden (zonder belastingfactor).

4.2.2 Stabiliserende kracht

De stabiliserende kracht bestaat in dit geval uit het eigen gewicht van de constructie. Hiervoor dient het representatieve gemiddelde gehanteerd te worden. In dit geval γ_c= 24 kN/m^3.

Voor het soortelijk gewicht van grond is gerekend met γ_g= 16 kN/m^3. De grondaanvulling aan de bovenzijde van de tunnel is niet in rekening gebracht.

stabiliserende kracht		
A_c	8,032	m^2/m
Q_{stb}	192,768	kN

4.2.3 Destabiliserende kracht

In dit geval is dit enkel het grondwater met een waterkolom van 3,35 m tegen de onderzijde van de constructie.

destabiliserende kracht		
Δh_w	2,85	m
Q_{dstb}	186,39	kN

4.2.4 Resultaat

De stabiliserende kracht is groter dan de destabiliserende kracht. Dit betekent dat de constructie voldoende weerstand heeft tegen opdrijven. Als de toetsing in een unity-check wordt gezet volgt:

uc	0,97	[-]

Dit betekent dat op dit moment een reserve aanwezig is van 3%. In werkelijkheid zal deze reserve groter zijn door de conservatieve uitgangspunten in de berekening.

4.2.5 Aanbevelingen

In het vervolg wordt aanbevolen de grondwaterstand te monitoren zodat de lage grondwaterstand en hoge grondwaterstand nauwkeuriger bepaald kunnen worden. Tevens wordt aanbevolen om te kijken naar de mogelijkheid tot (gedeeltelijke) verlaging van de grondwaterstand tijdens de bouwperiode. Hiermee kunnen veel kosten worden bespaard.

5 Realisatie

Er is een globale bouwfasering beschreven om de haalbaarheid en maakbaarheid aan te kunnen tonen.

5.1 Bouwkuip

Door de hoge grondwaterstand zal het noodzakelijk zijn om een bouwkuip te realiseren. Voor zowel de rechte als de schuine variant is een bouwkuip met damwanden en een onderwaterbetonvloer voorzien. In deze fase kan worden aangehouden dat een bouwkuip samengesteld met stalen damwanden AZ18-700 met een stempelraam en een onderwaterbetonvloer voldoende is. De dikte van het onderwaterbeton wordt bepaald door de benodigde dikte tegen opbarsten. Om de dikte zo klein mogelijk te houden is het wenselijke een lage grondwaterstand te hebben. In de berekening wordt er zodoende vanuit gegaan dat met een bemaling de grondwaterstand gelijk is aan de laagste gemeten grondwaterstand (LGS = -3 m t.o.v. maaiveld). In dit geval is een dikte van de onderwaterbetonvloer van 1,25 m voldoende.

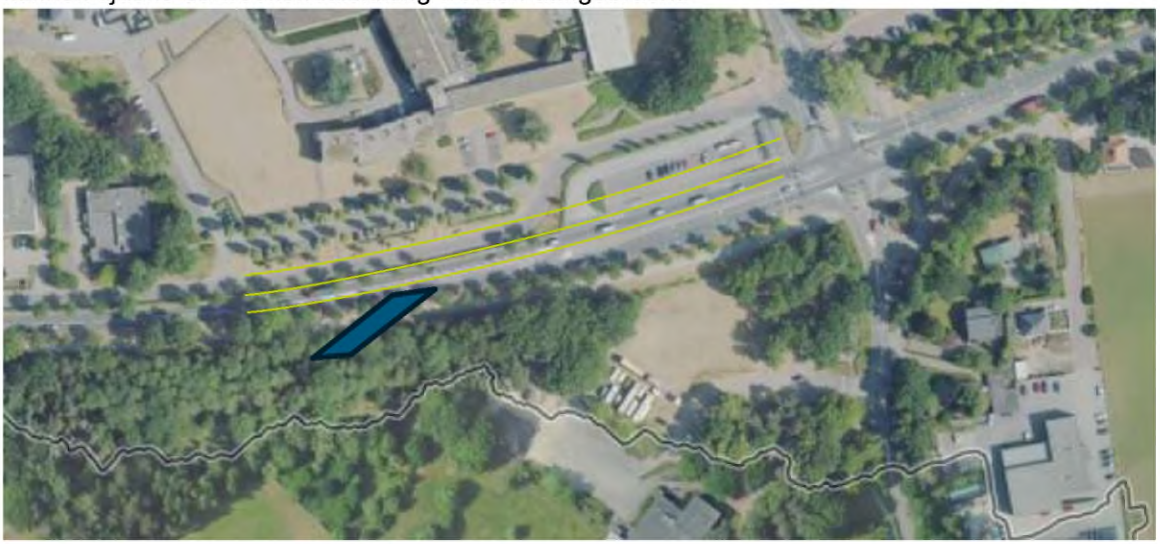
Opm: Als het mogelijk is om een natuurlijke waterremmende laag te gebruiken is een onderwaterbeton vloer niet nodig. Tevens is er de mogelijkheid om de grondwaterstand in zijn geheel te verlagen zonder damwanden. Dit heeft een impact op een groot gebied en zou zodoende eerst goed uitgewerkt moeten worden. Op dit moment wordt niet verwacht dat dit een reële optie is.

5.2 Bouwfasering

Er wordt uitgegaan van een gefaseerde bouw in twee delen. Hierbij wordt opgemerkt dat door de scheve kruising de bouwmethode in-situ betreft. Door de onderdoorgang in het werk te storten kan een scheve kruising worden gerealiseerd die bij een prefab variant niet kan. Een bouwfasering voor prefab wordt later gegeven.

Stap 1 (weekend)
N284 naar het noorden verleggen om ruimte te creëren. Omzetten van de rijbaan zal waarschijnlijk tijdens een weekend afsluiting gerealiseerd worden.

Stap 2 (8 weken)
Bouwkuip en constructie aan zuidzijde maken (toerit + halve tunnel). Damwanden dicht bij de rijbaan kunnen tijdens de weekendafsluiting worden aangebracht.



Figuur 5-1: situatie na ombouwen naar noord + bouwen zuidelijke deel onderdoorgang

Stap 3 (weekend)
Weekendafsluiting en N284 omzetten naar de zuidzijde over de nieuwe onderdoorgang.

Stap 4 (8 weken)
Bouwkuip en constructie noordzijde maken (toerit + halve tunnel), eventueel weekendafsluiting voor aanbrengen damwanden



Figuur 5-2: situatie na ombouwen noord naar zuid en bouwen noordelijke deel onderdoorgang

Stap 5 (weekend)
Omzetten naar definitieve situatie. Eventueel werkzaamheden toeritten op dit moment uitvoeren.



Figuur 5-3: Nieuwe situatie aan het einde van de bouwtijd

Alternatieve bouwmethode
Een alternatieve bouwmethode voor de scheve kruising is het voorbouwen van de constructie. Dit kan gebeuren door de gehele onderdoorgang te bouwen ten zuiden van de N284 en tijdens een stremming van 2 weken de gehele bouwkuip te realiseren en de onderdoorgang in te schuiven.



Een andere optie is de onderdoorgang alsnog in twee delen te bouwen. Op deze wijze kan eenzelfde fasering worden gehanteerd zodat de N284 geopend kan blijven.



6 Kosten

Kostenraming is in een separaat document meegeleverd.

7 Aandachtspunten voor vervolgfase

Deze notitie betreft een eerste schetsontwerp van de onderdoorgang. Om tot een volledig ontwerp te komen dient het ontwerp verder uitgewerkt te worden. In deze notitie is de haalbaarheid van de oplossing aangetoond.

Belangrijke punten om verder uit te zoeken zijn:

- **Grondonderzoek**
  Bij het ontwerp is vrij toegankelijke informatie gebruikt. Om een volledig ontwerp te verkrijgen en aan de wet- en regelgeving te voldoen is aanvullend grondonderzoek noodzakelijk. Voor de maakbaarheid en de kosten is het belangrijk om te weten of er een waterremmende laag aanwezig is welke als afsluiting van de bouwkuip kan dienen. Dit zal de uitvoering vergemakkelijken en het ontwerp goedkoper maken. Tevens zal in de toerit van de tunnel geen waterdichte constructie gerealiseerd hoeven te worden.
- **Onderzoek naar de grondwaterstand**
  Om opdrijven van de onderdoorgang tegen te gaan is een robuuste constructie ontworpen. Wanneer de aandrijvende kracht (grondwaterstand) kleiner is betekent dit ook dat de onderdoorgang slanker uitgevoerd kan worden. Dit reduceert de hoeveelheid benodigde grondwerk.
- **Alternatieve (innovatieve) bouwmethode**
  De onderdoorgang is traditioneel ontworpen met standaard betonnen elementen voor de onderdoorgang. Er zijn ook innovatieve oplossingen om een onderdoorgang te realiseren. Deze alternatieve kunnen een besparing opleveren in materiaalgebruik, kosten en uitvoeringstijd.