

RAPPORT

Zettingsanalyse baanontwerp verlegd tramtracé Nieuwegein City

Klant: Provincie Utrecht

Referentie: BH1423-RHD-DS-00-RP-GE-013

Status: Definitief/P03

Datum: 19 januari 2021

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Leidseveer 4
3511 SB UTRECHT
Transport & Planning
Trade register number: 56515154

+31 88 348 55 00 **T**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Zettingsanalyse baanontwerp verlegd tramtracé Nieuwegein City

Ondertitel:
Referentie: BH1423-RHD-DS-00-RP-GE-013
Status: P03/Definitief
Datum: 19 januari 2021
Projectnaam: Nieuwegein City
Projectnummer: BH1423
Auteur(s): H.A.W. van Gelder

Opgesteld door: H.A.W. van Gelder

Gecontroleerd door: M. Niese, N. van der Hoog

Datum: 19 januari 2021

Goedgekeurd door: G. Medema

Datum: 19 januari 2021

Classificatie

Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden vervoelvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever. Let op: dit document bevat persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V. en dient voor publicatie of anderszins openbaar maken te worden geanonimiseerd.

Inhoud

1	Introductie	1
2	Randvoorwaarden vanuit de bestaande situatie	5
2.1	Bestaande paalfundering	5
2.2	Voorbelasting jaren '70	7
2.3	Toekomstige voorbelasting	8
3	Beschikbaar grondonderzoek	9
4	Algemene bodemopbouw en grondwaterstand	10
5	Geotechnische inventarisatie funderingsoplossingen	11
6	Optie voorbelasting in combinatie met BIMS	14
6.1	Inleiding	14
6.2	Indicatieve zettingsberekeningen	14
6.3	Effecten geplande voorbelasting	16
6.4	Aanvullend grond- en laboratoriumonderzoek	17
7	Optie paalmatras	19
7.1	Inleiding	19
7.2	Uitgangspunten indicatief ontwerp	20
7.3	Indicatief ontwerp	23
7.4	Overige aspecten	24
8	Samenvatting, conclusie en aanbevelingen	26

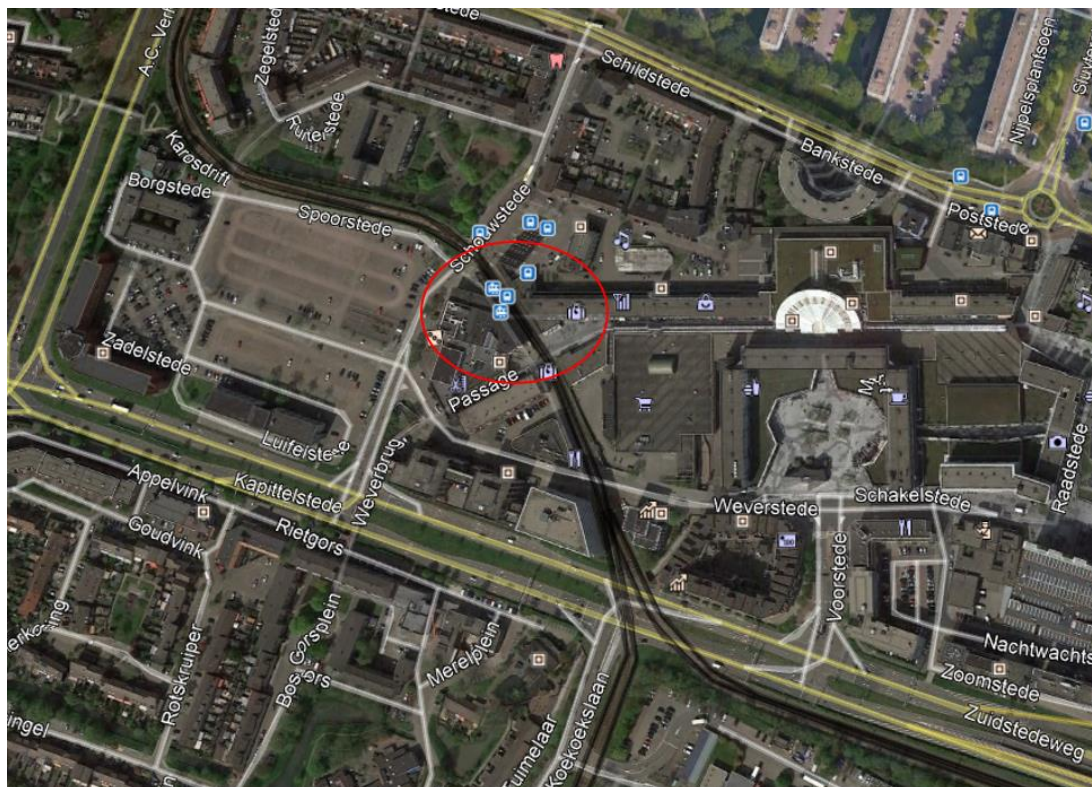
1 Introductie

Het project Nieuwegein City (NGC) is voor de Provincie Utrecht onderdeel van het project Vernieuwing Regionale Tram (VRT), waarin het traminfrasysteem geschikt gemaakt wordt voor het nieuwe CAF-materieel. VRT bestaat uit (deels) vernieuwing van de infrastructuur vanwege einde levensduur, de vervoerkundige koppeling met de Uithoflijn, het toelaten van het nieuwe CAF-materieel en het aanpassen van alle haltes op de SUNIJ-lijn voor dit materieel. NGC betreft een deelproject i.v.m. de stedelijke herontwikkeling in het stadscentrum van Nieuwegein, waarbij het tracé een andere ligging krijgt om aan te sluiten op deze herontwikkeling. De omgeving dient het karakter te krijgen van een plein, waarbij duurzaamheid een hoge prioriteit heeft. De scope van NGC is het spoor vanaf de Zuidstedeweg (inclusief vernieuwing van een deel van de verharding van deze weg) tot de wisseloverloop in de Olivettiboog, inclusief het realiseren van de nieuwe halte en het verwijderen van de oude halte. Het verplaatsen van de halte gebeurt op verzoek van zowel de provincie Utrecht als de gemeente Nieuwegein. De opdrachtgever van het tram(infra)project is de provincie Utrecht.

In het kader van de herontwikkeling zal de bestaande trambaan rondom halte Nieuwegein Stadscentrum verlegd worden, evenals de halte zelf. De perrons en baan worden ca. 9 m in westelijke richting verschoven.

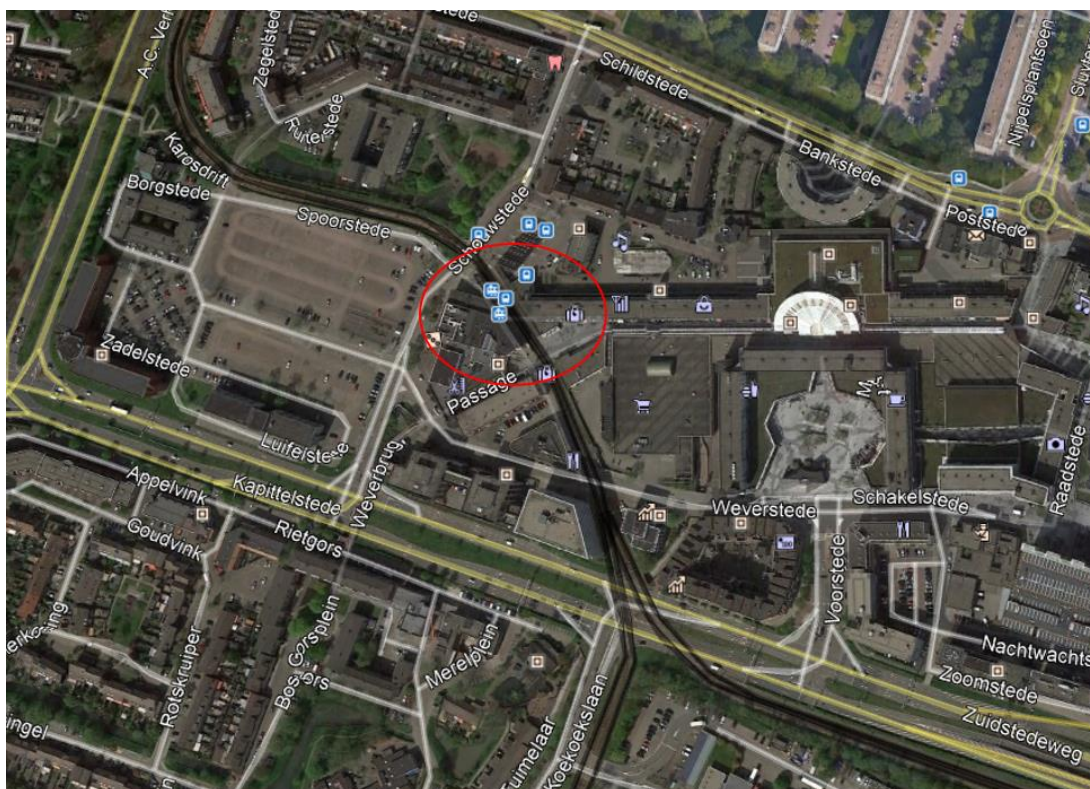
Het spoor ter plaatse van de halte wordt met circa een halve meter netto verhoogd over een afstand van circa 250 m, zodat het spoor op ongeveer gelijke hoogte komt te liggen met de spoorhoogte vanaf de Zuidstedeweg tot en met de Schouwstede. Het spoor wordt net als in de huidige situatie een spoorconstructie van beton. Ook het gedeelte tussen de Zuidstedeweg en de halte wordt betonspoor, welke in het verleden ballastspoor was. Het betonspoor heeft striktere zettingseisen dan het ballastspoor. Vanwege de verschuiving, de verhoging en de striktere eisen aangaande zetting is het noodzakelijk om verbeteringsmaatregelen toe te passen.

Voorafgaand aan de werkzaamheden van de opdrachtnemer wordt naast het huidige tracé voorbelasting aangebracht. Deze voorbelasting heeft als doel om de autonome zettingen welke wel in het bestaande spoor aanwezig was deels te compenseren. In het verleden waren hier gebouwen aanwezig welke gefundeerd waren op heipalen. Deze heipalen zijn afgeknepen en de voorbelasting zorgt ervoor dat het materiaal tussen de heipalen inklinkt. Deze voorbelasting is onvoldoende om te voldoen aan de strikte zettingseisen welke gelden voor betonspoor. Dat komt mede omdat op het bestaande tramtracé geen voorbelasting kan plaatsvinden, terwijl het spoor wel tot circa 0,5 meter wordt verhoogd. De voorbelasting wordt door de gemeente Nieuwegein aangebracht en gemonitord en weer verwijderd, zodat zij de kabels en leidingen al kunnen gaan verleggen.

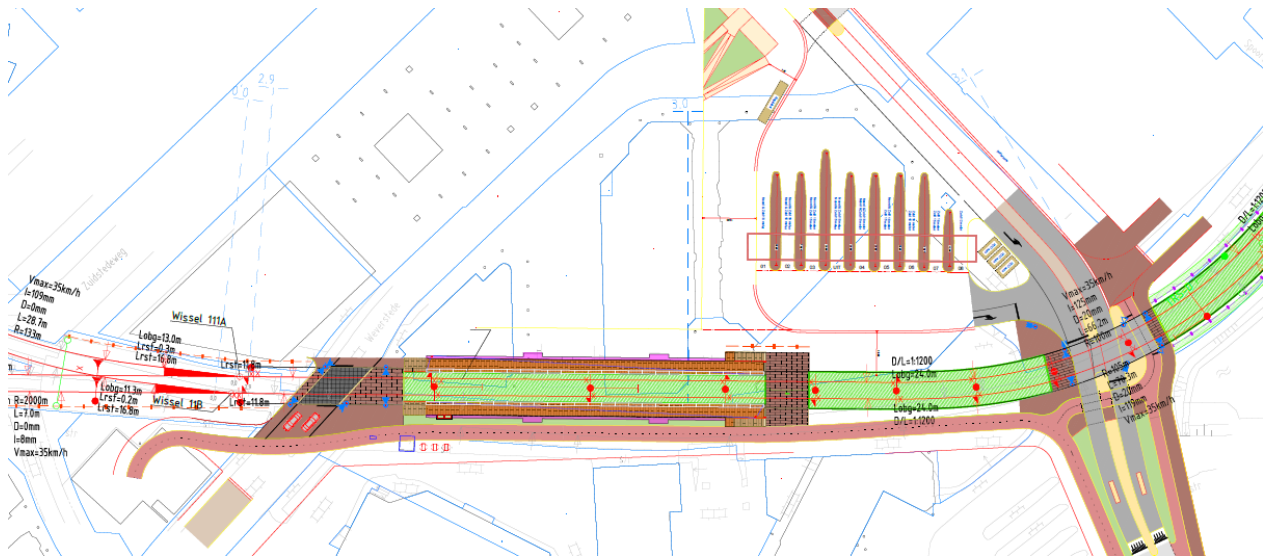


In de huidige situatie weergegeven (bron: Google Earth).

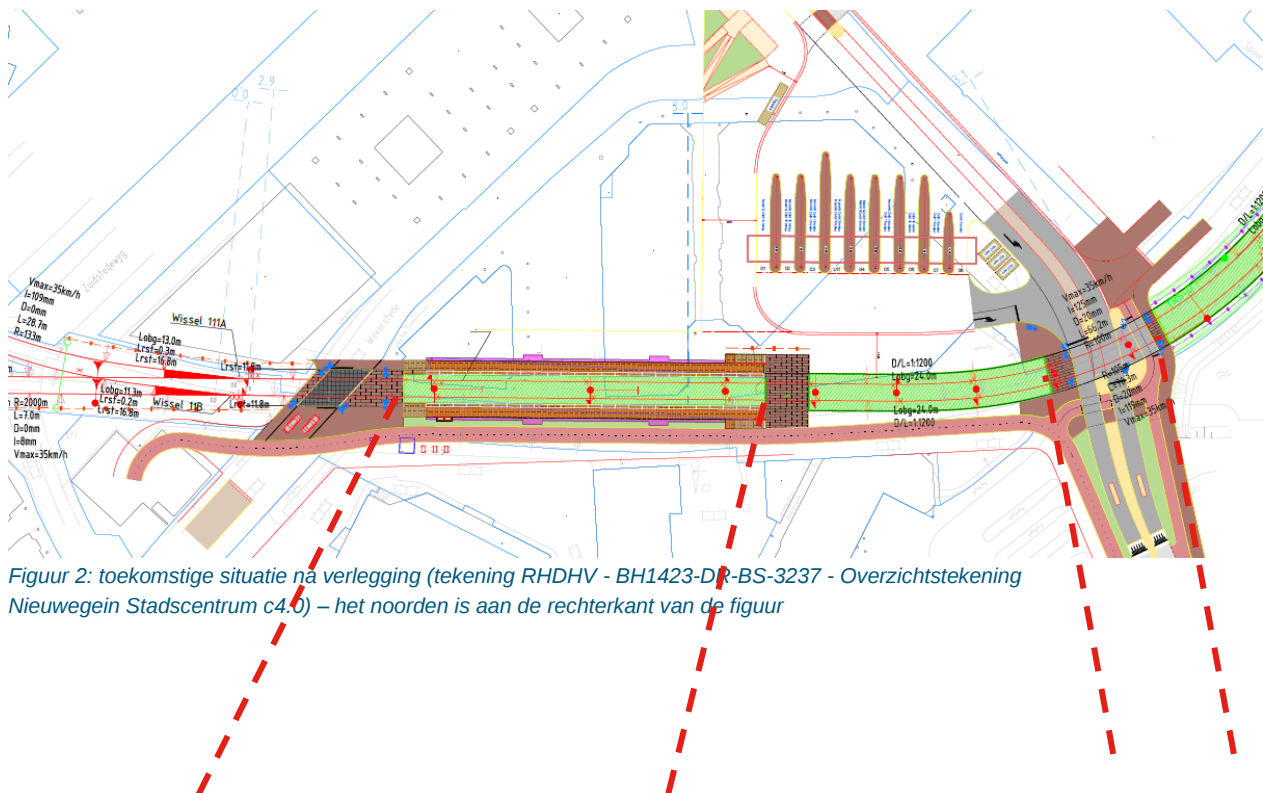
Figuur 1 is



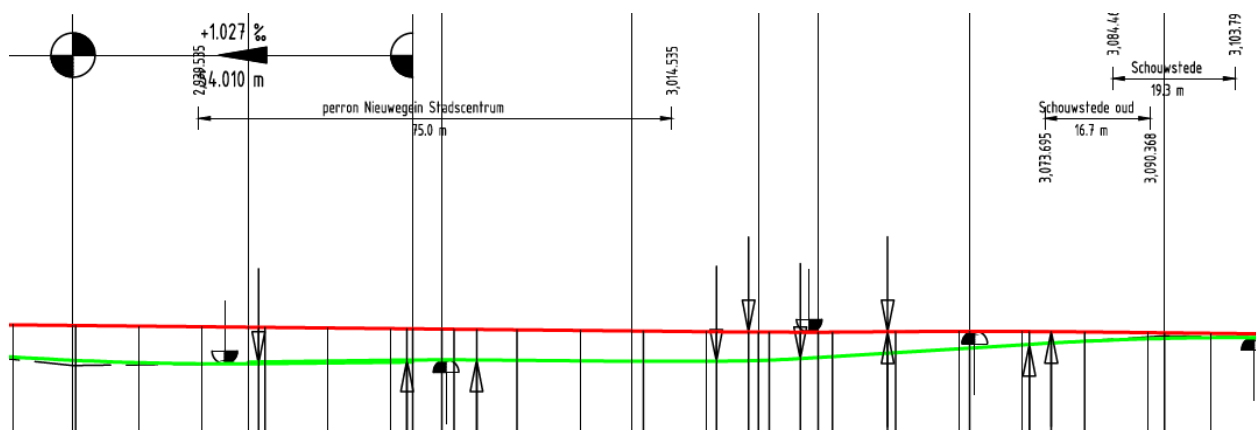
Figuur 1: bestaande situatie rondom tramhalte Nieuwegein Stadscentrum



Figuur 2 geeft de toekomstige situatie weer:



Figuur 2: toekomstige situatie na verlegging (tekening RHDHV - BH1423-DP-BS-3237 - Overzichtstekening Nieuwegein Stadscentrum c4.0) – het noorden is aan de rechterkant van de figuur



Figuur 3: uitsnede lengteprofiel BH1423-DR-BS-3634 - Lengteprofiel Nieuwegein Stadscentrum c3.0 (groen bestaand spoor, rood is de nieuwe ligging)

In deze memo wordt ingegaan op de geotechnische analyse van de mogelijkheden voor de fundering van de te verleggen trambaan.

Een zeer belangrijke beperking van de mogelijke geotechnische oplossing betreft het tijdsaspect. De totale omlegging (dus niet alleen de fundering maar ook kabels en leidingen, slopen bestaand tracé en het realiseren van het spoor, beveiliging en bovenleiding) dient plaats te vinden binnen een tijdsbestek van ca. 6 weken.

2 Randvoorwaarden vanuit de bestaande situatie

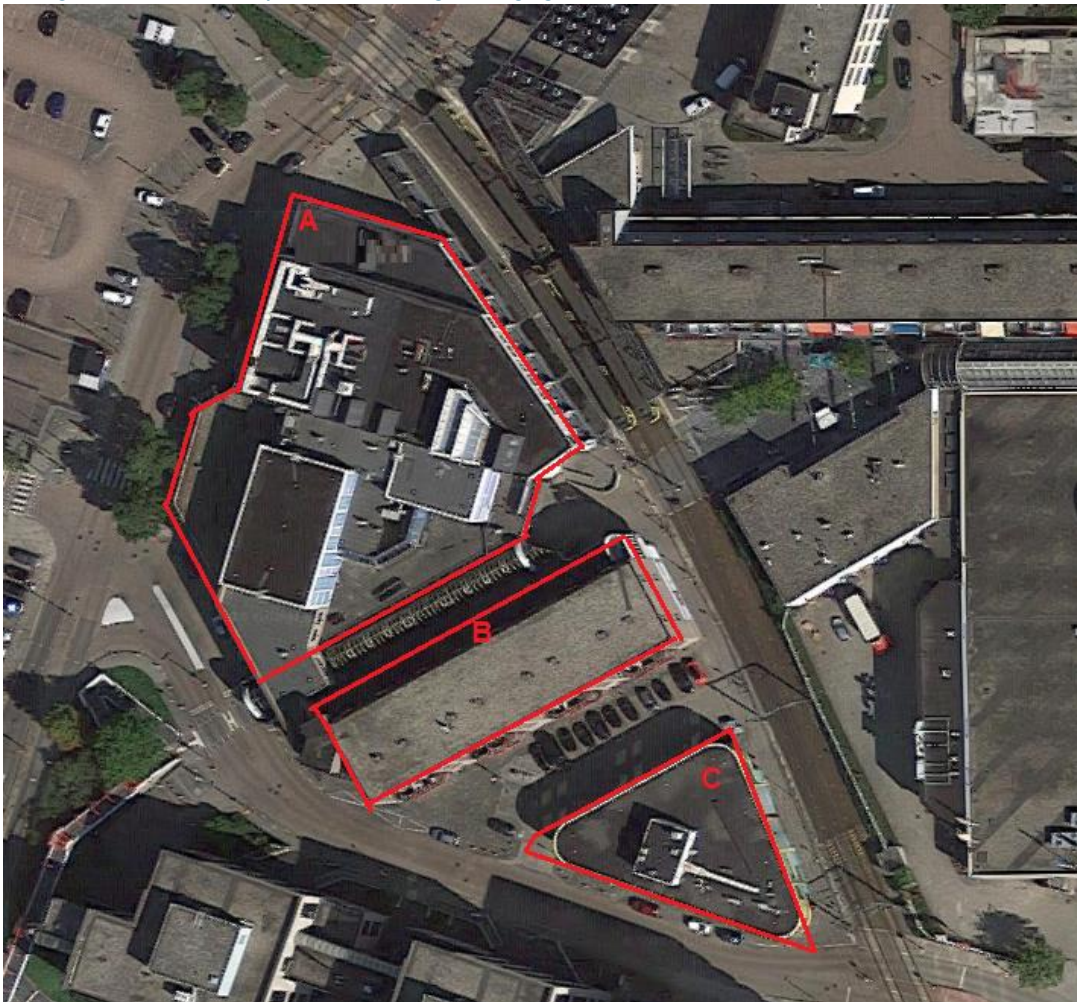
2.1 Bestaande paalfundering

Op en rondom de projectlocatie bevindt zich bebouwing die gesloopt gaat worden om ruimte te maken voor de verlegging.

De te slopen bebouwing bestaat uit de navolgende 3 gebouwen:

- A. Theater “De Kom”;
- B. Appartementencomplex;
- C. Restaurant ‘Far East’.

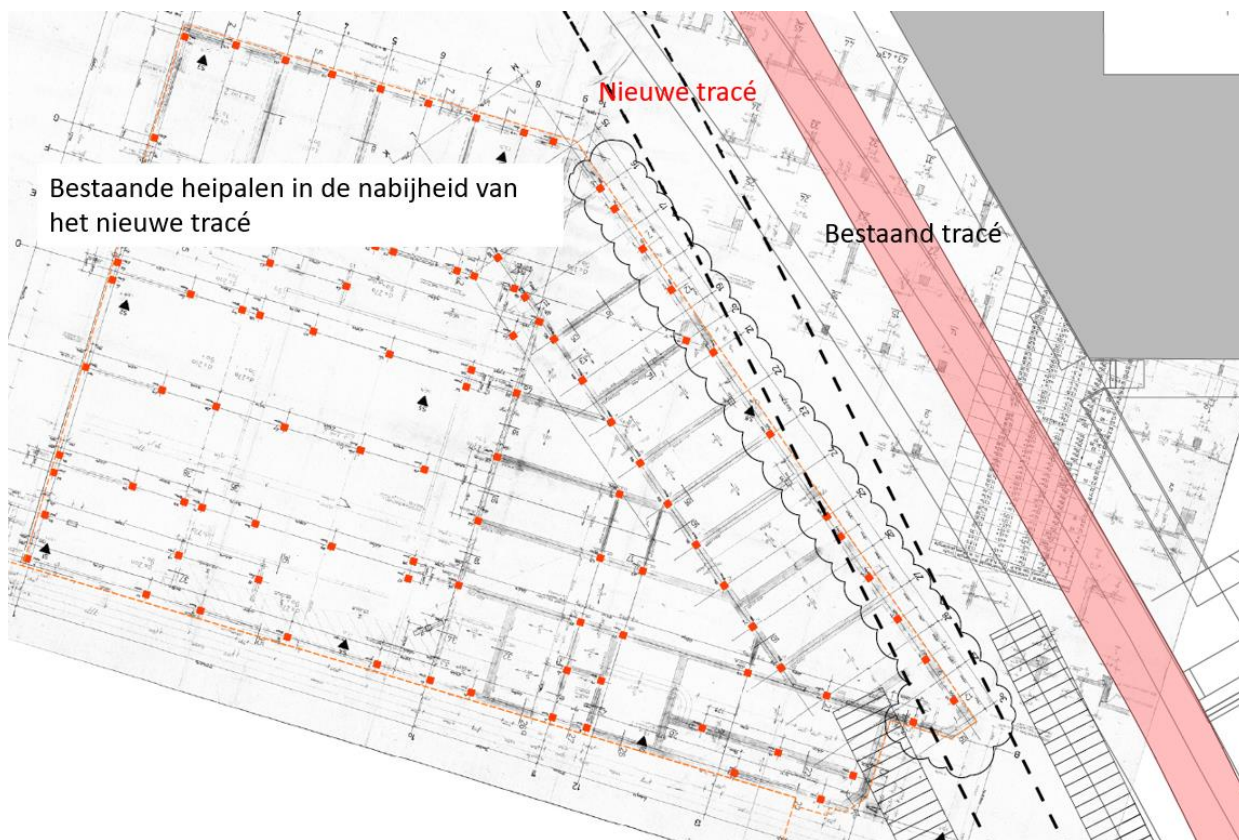
In Figuur 4 is de te slopen bebouwing weergegeven.



Figuur 4: bestaande bebouwing die gesloopt gaat worden

Van deze bebouwing is minimaal bekend dat “De Kom” gefundeerd is op palen maar waarvan het vermoeden is dat de overige gebouwen eveneens gefundeerd zijn op palen.

In Figuur 5 is het palenplan van “De Kom” weergegeven. Te zien is dat het palenplan het toekomstige traject doorkruist.



Figuur 5: bestaande palenfundering "De Kom" doorkruist de toekomstige traject (bron: Gemeente Nieuwegein)

De aanwezigheid van een palenfundering heeft invloed op de afweging van de toe te passen funderingsoplossing. Dit aspect wordt in navolgende hoofdstukken nader toegelicht.

2.2 Voorbelasting jaren '70

Het huidige gebied rondom de projectlocatie is eind jaren zeventig ontwikkeld. Daarvoor was het gebied in gebruik als weiland/agrarisch gebied.

Figuur 6 toont het bouwrijp maken van het gebied. Te zien is dat de huidige projectlocatie voorbelasting heeft ondergaan. De duur en dikte en de wijze waarop (bv. wel of geen toepassing van verticale drainage) is echter niet bekend.



Figuur 6: voorbelasting projectlocatie (vermoedelijke locatie omcirkeld)

De wijdverbreidheid en mate van voorbelasting zijn weergegeven op de navolgende tekeningen:

- Gemeentewerken Nieuwegein, Voorbereiding zandophoging, jan. 1977, nummer C-Sc-13
- Gemeente Nieuwegein, Ophogen terrein Centrum Plan, mei 1977, nr. JU-121-5

Op basis van voorgaande tekeningen is het navolgende afgeleid betreffende de zandophoging uit 1978:

- Toenmalig maaiveld ca. NAP+0,0 m op de projectlocatie; het huidige tracé ligt op ca. NAP+0,8 m á NAP+0,85 m
- Zandophoging 1,2 m. Dit betreft de initiële zandophoging. Uit de gegevens blijkt niet hoeveel zand er uiteindelijk is aangebracht

Het beschikbare grondonderzoek (zie hoofdstuk 3) bevestigt de aanwezigheid van een zandcunet, vermoedelijk dus deels ontstaan door het zettingsproces.

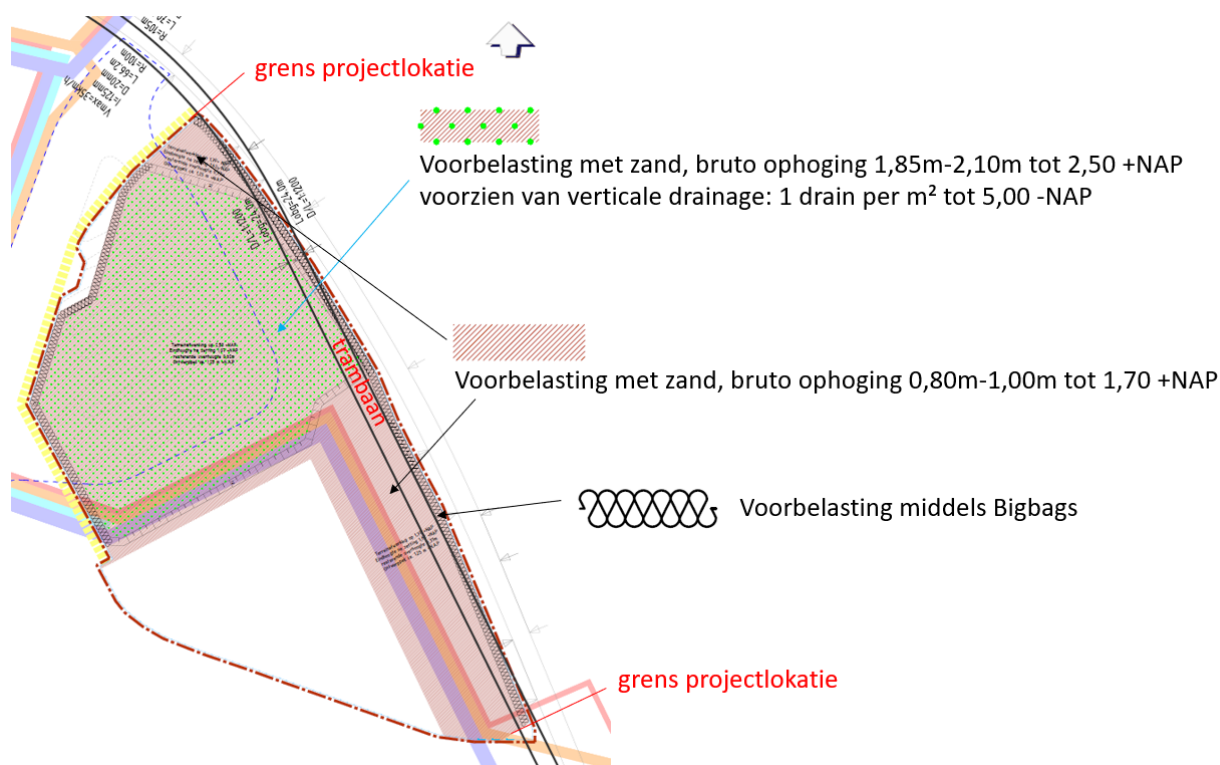
2.3 Toekomstige voorbelasting

In augustus 2020 is door de Fugro in opdracht van de gemeente Nieuwegein een ophoogadvies uitgebracht voor het bouwrijp maken in het kader van het project Inrichting City West te Nieuwegein:

[5] Fugro, "Inrichting City West – geotechnisch onderzoek en advies bouwrijp maken, Nieuwegein", projectnr. 9020-0113-000, concept, 13-08-2020

De bouwlocatie is gelegen rondom/nabij de Passage te Nieuwegein. Het plan betreft de aanleg van een busstation.

In Figuur 7 is de geplande ophoging weergegeven in relatie tot de projectlocatie.



Figuur 7: geplande voorbelasting aanleg busstation (Cleverland, tek. nr. IB-Sc-1FT-00007, definitief 05-11-2020)

Uit de figuur is het navolgende af te leiden:

- Met uitzondering van het noordwestelijke trajectdeel van de nieuwe trambaan, wordt het gehele traject voorbelast
- De bruto voorbelasting varieert van ca. 0,8 m in het zuidelijk deel tot maximaal 2,1 m in het noordelijk deel van het traject
- Een deel van het traject wordt voorzien van verticale drainage

De geplande voorbelastingsduur is ca. 6 maanden.

3 Beschikbaar grondonderzoek

De resultaten van 4 geotechnische veldonderzoeken zijn beschikbaar.

- [1] Fugro (datum en exacte locatie onbekend), weergegeven op tekening Gemeente Nieuwegein, Ophogen terrein Centrumplan West, nr. JU121-4. Sonderingen zijn uitgevoerd voordat de ophogingen hebben plaatsgevonden, eind jaren zeventig
- [2] Tjaden 1983, Funderingsadvies t.b.v. Muzisch centrum Nieuwegein, opdrachtnr. 22 feb. 1983
- [3] Fugro 2018, Geotechnisch onderzoek trambaan tussen Utrecht en IJsselstein, doc. nr. 1318-0053-000, versie 1.0, 16 juli 2018
- [4] Fugro 2020, Grondonderzoek project Nieuwegein City – Rapportage geotechnisch onderzoek 1320-169482, 31 juli 2020, definitief

Het onderzoek van eind jaren '70 betrof 8 mechanische sonderingen van ca. 10 m lengte (zonder kleefmeting) en boringen van ca. 7 m lengte. De exacte locatie van het grondonderzoek is niet bekend, maar is wel uitgevoerd op het terrein zoals aangegeven in Figuur 6. Opgemerkt wordt dat dit het grondonderzoek betreft dat is uitgevoerd voordat de ophogingen van het terrein hebben plaatsgevonden.

Het onderzoek van Tjaden uit 1983 betrof 9 mechanische sonderingen (zonder kleefmeting) van ca. 20 m lengte. De exacte locatie van de sonderingen uit 1983 zijn niet bekend (situatietekening ontbreekt).

Het onderzoek van de Fugro uit 2018 is uitgevoerd in het kader van het overkoepelende project Vernieuwde Regionale Tramlijn (VRT). Het relevante grondonderzoek bestaat uit 1 elektrische sondering met kleefmeting (DKM 25) tot ca. MV-15 m en 1 boring B13 (uitvoeringsdiepte tot ca. MV-7 m).

Recentelijk is door Fugro aanvullend grondonderzoek uitgevoerd [4] op de projectlocatie bestaande uit 2 boringen B1 en B2 met een uitvoeringsdiepte tot ca. NAP-5,0 m. Tevens zijn diverse ongeroerde monsters genomen waarop het volgende laboratoriumonderzoek is uitgevoerd:

- Classificatie
- Volumiek gewichten en watergehaltes
- 5 samendrukkingsproeven

4 Algemene bodemopbouw en grondwaterstand

Alle grondonderzoeken (zie hoofdstuk 3) vertonen een vergelijkbare bodemopbouw.

Vanaf het maaiveld (ca. NAP+0,6 á NAP+1,15 m) wordt een toplaag van zand aangetroffen van ca. 1,8 m dikte tot ca. 2,9 m dikte, het vermoedelijke restant van de voorbelasting van eind jaren zeventig (zie paragraaf 0) of een aangebracht cunet.

De toplaag van zand (o.b.v. de bekende gegevens 'aangebracht ophoogzand') wordt gevolgd door het oorspronkelijke Holocene pakket bestaande uit organische klei- en veenlagen (dikte 4,5 á 5,5 m) tot een diepte van ca. NAP-5,0 á -6,0 m.

Vanaf ca. NAP-5,0 á -6,0 m wordt tot aan de verkende diepte het vaste Pleistocene zandpakket aangetroffen.

Ten tijde van de uitvoering van het recente grondonderzoek (juli 2018) is ter plaatse van boring B13 de freatische grondwaterstand éénmalig bepaald op NAP-0,49 m (ca. MV-1,65 m) en ter plaatse van B1 en B2 (uit 2020) op respectievelijk NAP-0,70 m en NAP-0,40 m.

Opgemerkt wordt dat dit ook mogelijk een schijngrondwatersand kan zijn in het zandpakket bovenop de slecht doorlatende Holocene afzettingen.

Voordat de ophogingen van het terrein zoals weergegeven in Figuur 6 plaatsvonden, bedroeg de waterstand in de sloten NAP-0,3 m. Ten tijde van het grondonderzoek eind jaren zeventig varieerde de freatische waterstand maar bedroeg over het algemeen tussen (toenmalig) MV-0,3 m á MV-0,8 m (ca. NAP-0,3 m en NAP-1,0 m).

In Tabel 1 is een overzicht gegeven van de dikte van het zandcunet op basis van de beschikbare sonderingen en boringen:

Tabel 1: overzicht dikte zandcunet bestaande sonderingen

Sondering/boring	Dikte zandcunet	Onderkant zandcunet NAP [m]
Fugro 2018		
DKM 25	ca. 1,9 m	- 0,7 m
Fugro 2020		
B1	ca. 2,9 m	-1,9 m
B2	ca. 2,0 m	-1,1 m
Tjaden 1983		
S 1	ca. 1,15 m	-0,5 m
S 2	ca. 1,5 m	-0,5 m
S 3	ca. 1,45 m	-0,5 m
S 4	ca. 1,15 m	-0,5 m
S 5	ca. 1,05 m	-0,5 m
S 6	ca. 1,95 m	-1 m
S 7	ca. 1,15 m	-0,5 m
S 8	ca. 1,5 m	-0,8 m
S 9	ca. 1,15 m	-0,5 m

5 Geotechnische inventarisatie funderingsoplossingen

In dit hoofdstuk worden kort de mogelijke geotechnische oplossingen besproken voor het verleggen van de trambaan. In navolgende hoofdstukken worden de kansrijke oplossingen nader uitgewerkt tot het niveau van een Voorontwerp.

Een zeer belangrijke randvoorwaarde is het tijdsbestek waarin deze oplossing gerealiseerd dient te worden. Volgens de meest recente inzichten is er in totaal ca. 5 weken beschikbaar.

Andere belangrijke randvoorwaarden zijn:

- De relatief beperkte geplande netto ophogingen van ca. 0,5 m (bovenkant spoor ca. NAP + 1,35 m)
- De slappe ondergrond welke echter voorbelast is (zie hoofdstuk 2)
- Het aangrenzende spoor heeft al dezelfde hoogte van het nieuwe geplande tracé.
- Toepassing van betonspoor. Het bestaande aangrenzende spoor is sinds medio 2012 gewijzigd van ballastspoor naar betonspoor. Voor zover bekend is er geen scheurvorming in de betonbaan.

De navolgende gangbare technieken zijn beschouwd:

- Traditionele voorbelasting met zand en eventueel verticale drainage
- Lichte ophoogmaterialen (BIMS en EPS)
- Onderheide trambaan door middel van een palenmatras

In het navolgende worden deze technieken kort toegelicht met betrekking tot hun relevantie voor dit project.

Voor de restzettingseis wordt een waarde van ca. 0,06 m gehanteerd in 30 jaar, behorende bij betonbanen.

Traditioneel ophogen met zand, voorbelasting en verticale drainage

In eerste instantie is voorbelasten als niet realistisch beschouwd (BF4761-R032-D1.0 Quick scan conditionering NG-City, RHDHV, 30 jan. 2019) vanwege:

- Te korte uitvoeringstijd waardoor in voldoende mate voorbelasten niet mogelijk is en dus grote restzettingen en zettingsverschillen te verwachten zijn. Ook bij meer tijd is de mate van voorbelasting veel groter dan bij de toepassing van Bims)
- Grote invloed op bestaande en toekomstige infrastructuur (horizontale vervormingen en belastingen)
- Grote zettingsverschillen te verwachten tussen bestaand en nieuw spoor
- Grote zettingsverschillen te verwachten bij infrastructuur gefundeerd op palen (deze ondergaan geen zakking)
- Invloed op bestaande leidingen en rioleringen

Na de realisatie van voorgenoemde Quick scan is aanvullende informatie ten aanzien van de voorbelasting van het gebied beschikbaar gekomen (zie paragraaf 0) hetgeen de effecten van voorgenoemde aspecten reduceert.

De onbekende risicofactor is echter in hoeverre de toenmalige voorbelasting voldoende is voor de huidige geplande ophogingen (nader uitgewerkt in hoofdstuk 6). Tegelijkertijd dient hierbij opgemerkt te worden dat het **aangrenzende** spoor (daar waar de nieuwe trambaan op aansluit) al op dezelfde hoogte ligt als de geplande nieuwe spoorhoogte en waarschijnlijk dezelfde voorbelasting heeft gehad (zie Figuur 6).

Inmiddels is er een advies beschikbaar gekomen van de Fugro ([5], zie paragraaf 2.3) waarbij voorbelasting over een groot deel van het traject toegepast wordt.

Deze voorbelasting, eventueel in combinatie met lichte ophoogmaterialen (zie navolgende alinea's) om restrisico's af te dekken, is een te onderzoeken funderingsoplossing.

Lichte ophoogmaterialen - BIMS

In eerste instantie was een optie met bijvoorbeeld BIMS niet als voorkeursoptie beschouwd (BF4761-R032-D1.0 Quick scan conditionering NG-City, RHDHV, 30 jan. 2019) vanwege het feit dat er nog steeds een significante belastingverhoging plaatsvindt op een slappe ondergrond (BIMS komt deels in de plaats van slappe lagen met een vergelijkbaar of lager volumiek gewicht), waarbij voorbelasten om eerdergenoemde redenen toendertijd niet tot de mogelijkheden behoorde.

Naderhand is informatie beschikbaar gekomen ten aanzien van de voorbelasting die heeft plaatsgevonden in de jaren '70 en de voorbelasting die nog gaat plaatsvinden [5]. Hierdoor bestaan de toplagen uit zand zodat significante belastingverhoging is te voorkomen door (een deel van) de zandige toplaag te vervangen (praktisch gezien tot aan de grondwaterstand) door BIMS.

Vanwege de relatief geringe belastingsverhoging en de relatief snelle aanleg, is dit – zeker in combinatie met de geplande voorbelasting - een te onderzoeken funderingsoplossing (zie hoofdstuk 6).

Lichte ophoogmaterialen - EPS

In eerste instantie was deze optie als een mogelijk alternatief beschouwd (BF4761-R032-D1.0 Quick scan conditionering NG-City, RHDHV, 30 jan. 2019) vanwege de mogelijkheid om een belasting neutrale situatie te benaderen (geen significante restzetting).

Door de aanwezigheid van een voorbelasting (in het verleden en nog uit te voeren) is dit inderdaad mogelijk, zonder dat een significante bemaling noodzakelijk is.

Significant nadelen van deze optie zijn echter:

- De relatief complexe uitvoering en daarmee langere uitvoeringsduur
- Complexe omstandigheden met betrekking tot kabels en leidingen

Eventuele zettingsverschillen met het bestaande spoor (niet bekend) en de nieuwe perrons vereist nadere aandacht. Verder is de vraag of een voldoende stijve fundering met EPS gerealiseerd kan worden welke benodigd is onder de toekomstige betonbaan (geen ballastspoor).

Vanwege voorgenoemde redenen én het feit dat een voorbelasting eventueel met lichte ophoogmaterialen anders dan EPS een goed alternatief is, is deze oplossing in dit rapport niet nader uitgewerkt.

Onderheide constructie

Dit was beschouwd als een haalbare funderingsoplossing (BF4761-R032-D1.0 Quick scan conditionering NG-City, RHDHV, 30 jan. 2019) vanwege de navolgende voordelen:

- De robuustheid (restzetting niet noemenswaardig); onderhoudslasten nemen af
- Geen invloed op bestaande paalfundering (zie paragraaf 2.1)
- Kwetsbare objecten beschermd
- Worden overlast en hinder tijdens de aanleg en het beheer gereduceerd

Enkele nadelen zijn:

- Relatief duur
- Overgangsconstructie benodigd
- Additionele ophogingen niet mogelijk (tenzij vooraf ingecalculeerd)
- Geen ontgravingen achteraf meer mogelijk voor bijvoorbeeld kabels en leidingen of een riool. Indien aanwezig dan dient in het ontwerp daar rekening mee te worden gehouden

Eventuele zettingsverschillen met het bestaande spoor (niet bekend) en de nieuwe perrons vereist nadere aandacht.

Op grond van het bovenstaande is het technisch gezien een haalbare oplossing. In hoofdstuk 7 is de toepassing van een paalmatras nader uitgewerkt tot Voorontwerp niveau.

Opgemerkt wordt dat de beperkte beschikbare tijdsduur voor de realisatie een risico met zich meebrengt wat betreft haalbaarheid van dit alternatief. Dit dient **voordat** de definitieve keuze ten aanzien van de gekozen oplossing gemaakt wordt, met Aannemers besproken te worden.

6 Optie voorbelasting in combinatie met BIMS

6.1 Inleiding

Op basis van de beschikbaar gestelde informatie is het navolgende afgeleid betreffende de zandophoging uit 1978:

- Toenmalig maaiveld ca. NAP+0,0 m op de projectlocatie
- Zandophoging 1,2 m. Dit betreft de initiële zandophoging. Niet bekend is of er later aanvullend tijdelijke overhoogte is toegepast
- Onderkant zandcunet sonderingen 1983 ca. NAP-0,5 m (zie Tabel 1) oplopend tot ca. NAP-1,0 m en dieper voor de recent uitgevoerde boringen [4]

Teneinde meer inzicht te verkrijgen in de dikte van het aanwezige zandcunet en de samendrukkingsparameters van de ondergrond, is aan Fugro de opdracht gegeven voor aanvullend grondonderzoek [4]. De eventuele voorbelasting die in het verleden aanwezig is geweest, is impliciet in de zettingsparameters verdisconteerd.

In eerste instantie zijn indicatieve zettingsberekeningen uitgevoerd vóórdat de resultaten van het laboratoriumonderzoek uit [4] beschikbaar waren én zonder de geplande voorbelasting. Deze berekeningen worden besproken in paragraaf 6.2. In paragraaf 6.3 wordt vervolgens ingegaan op het effect van de geplande voorbelasting op de zettingsberekeningen.

Tot slot wordt in paragraaf 6.4 kwalitatief besproken in hoeverre het resultaat van de zettingsberekeningen wijzigt met de nieuwe gegevens van het grond- en laboratoriumonderzoek uit [4].

6.2 Indicatieve zettingsberekeningen

Teneinde de haalbaarheid van deze optie te onderzoeken en inzicht te krijgen in de te verwachte dikte van een onderbouw van Bims, zijn in een eerder stadium – **voor** het beschikbaar komen van het aanvullend grond- en labonderzoek van [4] én zonder de geplande voorbelasting [5] - indicatieve zettingsberekeningen uitgevoerd met Dsettlement (18.2 build 1.20481). In deze berekeningen uit een eerder stadium, zijn de effecten van de geplande voorbelasting (zie [5] en paragraaf 2.3) nog niet verdisconteerd.

Zettingsberekeningen zonder het effect van de geplande voorbelasting

Bij de zettingsberekeningen zijn de navolgende uitgangspunten gehanteerd:

- Initiële bodemopbouw gebaseerd op sondering MKM 9
- Toenmalig maaiveld NAP+0,0 m
- Zandophoging 1,2 m met volumiek gewicht van 17/19 kN/m³
- Grondwaterstand NAP-0,5 m
- Dikte fundering trambaanconstructie ca. 0,8 m met een volumiek gewicht van 22,5 kN/m³ (menggranulaat of vergelijkbaar en betonplaat)
- Dikte BIMMS 1,0 m van NAP+0,5 m tot NAP-0,5 m (ca. 0 m boven de grondwaterstand). Hiermee wordt een significante bemaling voorkomen. In feite wordt het aanwezige zandcunet vervangen door BIMS. Diepere ontgravingen heeft geen zin gezien het vergelijkbare volumiek gewicht van het extra te verwijderen materiaal (oorspronkelijk klei- en veenlagen).
- Volumiek gewicht BIMS 13 kN/m³

In tabel 2 zijn de grondparameters en geschematiseerde bodemopbouw weergegeven (nog niet gebaseerd op [4]):

Tabel 2: geschematiseerde bodemopbouw (sondering MKM 9) en grondparameters

Laag	Top NAP [m]	$\gamma_{\text{dry}}/\gamma_{\text{sat}}$ [kN/m ³]	RR	CR	C α	c _v [m ² /s]
Klei, organisch	+0,0	14/14	0,090	0,210	0,017	8E-8
Veen	-0,6	10,8/10,8	0,102	0,290	0,020	5E-8
Klei, organisch	-2,4	14/14	0,090	0,210	0,017	8E-8
Klei/Zand	-5,4	17/18	0,004	0,010	0	1E-6
Zand, matig	-6,0	18/20	0	0	0	gedraineerd

Geen labonderzoek beschikbaar. Parameters gebaseerd op tabel 2b van EC7 en ervaringsgegevens. Indicatieve berekeningsresultaten geven echter aan dat de orde van grootte reëel is.

$\gamma_{\text{dry}}/\gamma_{\text{sat}}$ = veldvochtig/verzadigd volumiek gewicht

RR, CR, C α = zettingsparameters

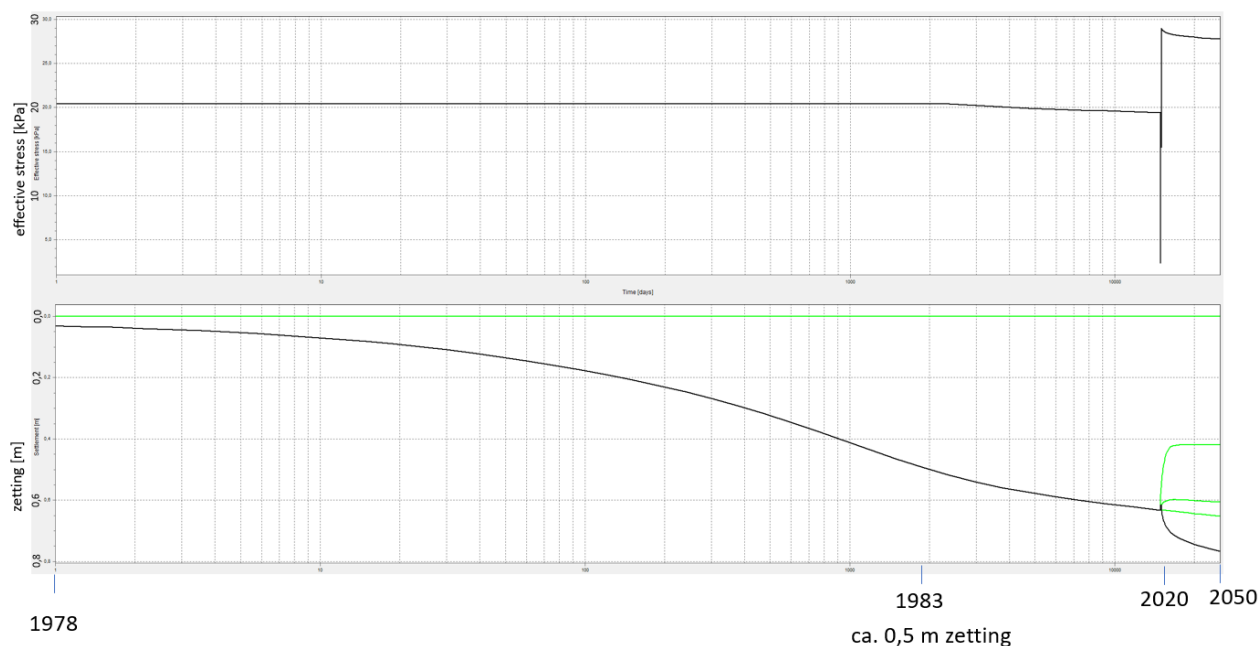
c_v = consolidatie coëfficiënt

Berekeningen zijn uitgevoerd volgens onderstaande fasering:

- Januari 1978 aanbrengen 1,2 m zandophoging (t = 0)
- September 2019 (t = 14885) 1 meter zand vervangen door 1 m BIMS
- September 2019 (t = 15000) aanbrengen spoorconstructie

De netto **toename** van de belasting bedraagt daarmee bijna 10 kPa.

In navolgende figuur is het resulterende tijd-zettingsverloop weergegeven:



Figuur 8: tijd-zettingsverloop

Uit de berekeningen blijkt dat er in februari 1983 (uitvoeringsperiode sonderingen Tjaden) ca. 0,5 m zetting is opgetreden. Dit sluit aan bij een onderkant van het cunet van ca. NAP-0,5 m (zie Tabel 1) bij een maaiveld bij een start ophoging van NAP+0,0 m.

Het nieuwe maaiveld bedraagt dan NAP+0,0 m + 1,2 m ophoging – 0,5 m zetting = ca. NAP+0,7 m. Ook dit is bij benadering overeenkomstig de Tjaden sonderingen en de huidige maaiveldhoogte in de Kom (zie Figuur 3).

De restzetting (na ca. 30 jaar) bedraagt dan 0,10 á 0,15 m en komt niet overeen met een te accepteren restzetting van 0,06 m in 30 jaar.

De verschilzetting per trajectdeel (orde grootte 25 m) zal naar verwachting dan ca. 5 cm bedragen, een en ander afhankelijk van de voorbelastingsgeschiedenis.

Bij aansluitingen met (bestaande) constructies die geen of nauwelijks meer zetting ondergaan is het zettingsverschil daarmee eveneens in de orde van grootte van 0,10 á 0,15 m. Omdat het hier betonspoor betreft zijn praktische mitigerende maatregelen om zettingsverschillen van deze orde van grootte op te heffen eigenlijk niet beschikbaar.

Een aanvullend nadeel ten opzichte van bijvoorbeeld een palenmatras waarbij geen restzettingen te verwachten zijn, zijn de raakvlakken met kabels en leidingen (een mogelijkheid zou bijvoorbeeld het aanpassen van het legplan hierop zijn).

Ondanks de significante berekende restzettingen, wordt tegelijkertijd opgemerkt dat de voorbelastingsgeschiedenis van eind jaren '70 mogelijk niet volledig in beeld is:

- In bepaalde trajectdelen ligt reeds een betonnen spoorconstructie. In dat geval wordt bij toepassing van BIMS een nagenoeg belasting neutrale situatie gereduceerd
- De aanwezigheid van (reeds gesloopte) perrons met een bovenkant welke ongeveer gelijk is aan de toekomstige spoorhoogte. In dat geval wordt bij toepassing van BIMS een nagenoeg belasting neutrale situatie gerealiseerd. Dit geldt niet voor de perrons gefundeerd op palen
- De bestaande spoorconstructie (aangelegd rond 1980 en vernieuwd in 2012) vertoont en vertoont geen noemenswaardige schade als gevolg van restzettingen en/of restzettingsverschillen
- Het maaiveldniveau van het omliggende winkelcentrum ligt op ca. NAP+1,6 m. Dit is ca. 0,5 m hoger dan waar in 1978 vanuit was gegaan (zie paragraaf 0). Er heeft dus additionele voorbelasting plaatsgevonden in het gebied maar onbekend is of dit ook ter plekke van de Kom is gebeurd
- Het maaiveldniveau rondom de gebouwen die het toekomstige tracé kruisen ligt ook hoger dan NAP+0,7 m. Het is echter niet bekend of het maaiveld onder het gebouw ook hoger ligt

Daarnaast zou de invloed van de restanten van de bestaande paalfundering een positief effect kunnen hebben op het uiteindelijke zettingsgedrag en op de zettingsverschillen. Dit laat zich zonder gedetailleerde berekeningen moeilijk voorspellen, maar zal vermoedelijk geen groot effect hebben gezien de relatief grote paalafstanden (zie Figuur 5).

6.3 Effecten geplande voorbelasting

De geplande voorbelasting is weergegeven in Figuur 7. Uit de figuur is het navolgende af te leiden:

- Met uitzondering van het noordwestelijke trajectdeel van de nieuwe trambaan, wordt het gehele traject voorbelast

- De bruto voorbelasting varieert van ca. 0,8 m in het zuidelijk deel tot maximaal 2,1 m in het noordelijk deel van het traject
- Een deel van het traject wordt voorzien van verticale drainage

De geplande voorbelastingsduur is ca. 6 maanden.

Indicatieve berekeningen duiden erop dat deze voorbelasting alleen waarschijnlijk nog niet voldoende is om de restzetting te beperken tot 0,06 m in 30 jaar, zonder toepassing van licht ophoogmaterialen zoals BIMS. Het aanvullende grond- en laboratoriumonderzoek wijst niet op veel gunstigere resultaten met betrekking tot de grondparameters en bodemopbouw (zie paragraaf 6.4).

Zoals echter eerder is aangegeven, is de voorbelastingsgeschiedenis uit de jaren '70 mogelijk niet volledig in beeld.

Adequate monitoring van de geplande voorbelasting en analyse van deze gegevens zal definitief moeten uitwijzen of toepassing van lichte ophoogmaterialen grotendeels achterwege kan blijven.

Toepassing van lichte ophoogmaterialen lijkt van toepassing bij:

- Het niet voldoen aan de restzettingseis na een prognose van de restzettingen op basis van de monitoringsresultaten van de voorbelasting
- Het gedeelte van het traject waar geen toepassing van voorbelasting mogelijk is
- Nabij de aansluiting met bestaande constructies teneinde de zettingsverschillen zoveel mogelijk te beperken
- De overgang tussen de twee trajectdelen met een verschillende mate van voorbelasting teneinde zettingsverschillen over korte afstand zoveel mogelijk te beperken

6.4 Aanvullend grond- en laboratoriumonderzoek

De initiële zettingsberekeningen zoals gepresenteerd in paragraaf 6.2, zijn gebaseerd op het toendertijd beschikbare grondonderzoek ([1] t/m [3]) en ingeschatte zettingsparameters.

In deze paragraaf worden de resultaten van het aanvullende grond- en laboratoriumonderzoek [4] besproken en welk effect dit heeft op de inde voorgaande paragraaf gepresenteerde berekeningen. Er zijn geen herziene berekeningen uitgevoerd. De effecten worden uitsluitend kwalitatief besproken.

Dikte zandcunet

Uit Tabel 1 blijkt dat de dikte van het aangetroffen zandcunet significant dikker is in vergelijking met de sonderingen uit 1983 [2]. De reden hiervan is niet bekend.

In plaats van dat de onderzijde van het cunet zich op ca. NAP-0,5 m bevindt, wordt bij de boringen B1 en B2 het zandcunet op minimaal NAP-1,0 aangetroffen. Tegelijkertijd is geconstateerd dat de dikte van het cunet tussen B1 en B2 significant verschilt (onderzijde respectievelijk NAP-1,1 m en NAP-1,9 m).

Het effect van het dikkere cunet (en daarmee een dunner pakket aan samendrukbare lagen) heeft een gunstige invloed op de initiële berekeningsresultaten.

Tegelijkertijd laat het grondonderzoek ook zien dat er significante verschillen zijn in de dikte van het cunet (mogelijk gedeeltelijk een reflectie van de samenstelling van de ondergrond) welke zijn effect kunnen hebben op zettingsverschillen over het traject.

Bodemopbouw

De bodemopbouw volgens de boringen uit [4] is iets gunstiger dan in de berekeningen is aangehouden. Er is weliswaar slappe, organische klei aangetroffen maar het veenpakket is niet alleen kleihoudend maar is bovendien dieper gelegen en ca. 0,5 m dunner.

Net als bij de dikte van het zandcunet, zijn er verschillen in samenstelling van de kleilaag tussen B1 en B2. Bij B1 worden de kleilagen geclassificeerd van stijf tot stevig. Bij B2 is de bovenste kleilaag (onder het zandcunet) stevig, maar de diepere kleilagen worden geclassificeerd als slap. Ook dit verschil kan zijn effect hebben op zettings**verschillen** over het traject.

De dikte van het pakket samendrukbare lagen is niet te vergelijken met het eerdere grondonderzoek. Daarvoor zijn de boringen niet diep genoeg.

Volumiek gewicht

Beschouwing van de volumiek gewichten uit het labonderzoek leidt tot de navolgende conclusies in vergelijking met de parameters uit Tabel 2:

- Volumiek gewicht veen over het algemeen iets hoger (gunstiger)
- Volumiek gewicht organische klei iets lager (ongunstiger)
- Er is in de boringen ook niet-organische klei aangetroffen met hogere volumieke gewichten dan de organische klei. In de berekeningen is geen niet-organische klei gemodelleerd

Zettingsparameters

Beschouwing van de zettingsparameters uit het labonderzoek leidt tot de navolgende conclusies in vergelijking met de parameters uit Tabel 2:

- Zettingsparameters (organische) kleilagen vergelijkbare orde van grootte. Geen gegevens beschikbaar van de zandige kleilagen;
- Zettingsparameters veen ongunstiger, vergelijkbaar met niet voorbelast veen terwijl in de indicatieve berekeningen uit is gegaan van 'matig voorbelast veen', met name vanwege de aanwezigheid van een bovenzandpakket.

Conclusie

Over het algemeen gesteld zal het berekeningsresultaat vermoedelijk vergelijkbaar zal zijn – of hooguit beperkt gunstiger - ten opzichte van het berekeningsresultaat uit paragraaf 6.2. Het dikkere cunet, dunneren veenlaag en iets gunstigere volumieke gewichten wordt naar verwachting grotendeels gecompenseerd door de ongunstigere zettingsparameters van het veen.

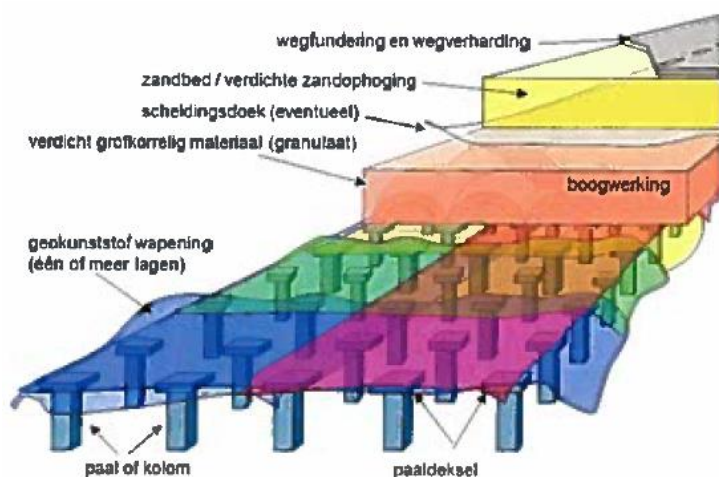
Een andere belangrijke conclusie is dat er zettings**verschillen** te verwachten zijn door verschillen in cunetdiktes en verschillen in samenstelling/consistentie van de kleilagen. Deze zullen door de toepassing van de geplande voorbelasting naar verwachting sterk gereduceerd worden.

7 Optie paalmatras

7.1 Inleiding

Bij een paalmatras, zie Figuur 9 wordt de (trambaan)constructie ondersteund door een gewapende granulaatmatras. Palen onder het matras dragen vervolgens het merendeel van de belasting over op de draagkrachtige ondergrond.

De zetting van matras en palen treedt vrij snel op na het aanbrengen van de belasting, afhankelijk van het tempo waarmee de ondergrond enig doorhangen van de wapening toelaat. De restzetting is verwaarloosbaar.



Figuur 9: Principeschema paalmatras

Het gewapende matras wordt aan de top begrensd door een scheidingsdoek en bestaat uit een baanlichaam die onderin gewapend is met één of meer geokunststof wapeningslagen. De dikte van de aardebaan is de dikte van het feitelijke matras en de dikte van de spoorconstructie. De belangrijkste functie van het matras en spoorconstructie is het overbrengen van het grootste deel van de verticale belasting uit de bovenbouw op de palen en het opvangen van horizontale spanningsspreidingen in de aardebaan.

De matrasvulling dient de navolgende eigenschappen te bezitten:

- Het moet goed kunnen worden aangebracht en verdicht, mag niet uitspoelen en is in staat om piekspanningen te kunnen opnemen (dus grofkorrelig materiaal)
- Voor goede krachtswerking moet de matrasvulling goede wrijvings eigenschappen bezitten (hoge hoek van inwendige wrijving)

Op grond van het voorgaande wordt uitgegaan van de toepassing van granulaat in combinatie met geogrids.

In dit hoofdstuk is de toepassing van een paalmatras nader uitgewerkt tot het niveau van een Voorontwerp.

Het ontwerp bestaat uit een tweetal aspecten:

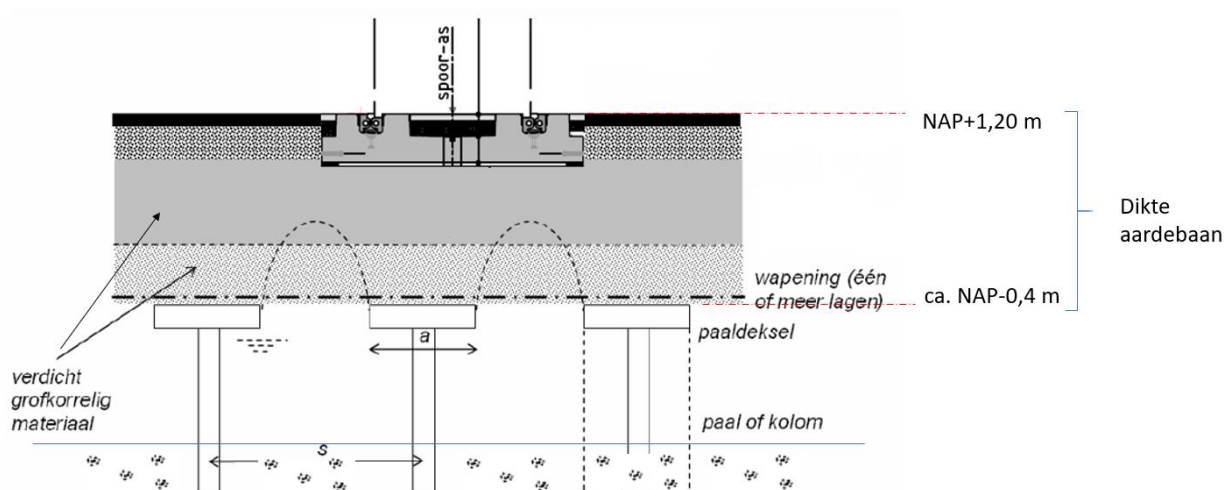
- Ontwerp gewapende matras
- Draagvermogen palen

7.2 Uitgangspunten indicatief ontwerp

Het ontwerp is conform CUR 226 – Ontwerprichtlijn paalmatrassystemen – 2e herziene editie -2016.

Bepaling dikte aardebaan:

- Plaatsing paaldeksels rond grondwaterstand → bovenkant paaldeksel NAP-0,4 m
- Bovenkant spoor NAP+1,2 m



Figuur 10: Aangehouden dikte paalmatras

De dikte van de aardebaan is daarmee bepaald op 1,6 m.

Dit betekent evenwel dat er niet optimaal gebruik gemaakt wordt van de boogwerking. Daarvoor is een minimale dikte van 1,8 m benodigd.

Om de invloed op de omgeving zo beperkt mogelijk te houden (geen significante bemaling toepassen), is in dit stadium uitgegaan van de genoemde 1,6 m.

Overige uitgangspunten:

- Equivalente afmeting paaldeksel 0,5 x 0,5 m
- Vulmateriaal paalmatras bestaat uit menggranulaat met een effectieve hoek van inwendige wrijving van 45 graden (BGT waarde)
- Volumiek gewicht vulmateriaal 20 kN/m³.
- Beddingsconstante ondergrond = 0 (conservatieve aanname)
- Partiele veiligheidsfactoren conform CUR 226
- Ontwerp paalpuntniveau conform de Eurocode 7 (NEN-EN 9997-1:2017)
- Levensduur 120 jaar

Uniforme bovenbelasting

Uitgegaan wordt van tramtype CAF 33 m met de navolgende gegevens:

- Lengte per tramstel 32,97 m
- Breedte 2,65 m
- Massa 65 ton
- 6 assen
- Aslast 13 ton (130 kN)

Met behulp van de methodiek zoals beschreven in CUR 266, is de equivalente dikte van het matras bepaald op 2,2 m. Conform tabel 2-2 uit de CUR 266 leidt dit tot één van de navolgende uniforme belastingen op het geotextiel/paaldeksels, afhankelijk van de in de berekeningen te variëren h.o.h. afstand van de palen:

H_{eq} (m)	$p_{\text{verkeer matras}}$ (kPa)	p_{verkeer} (kPa) bij paalstralen (m ²)					
		0,5 x 0,5	1,0 x 1,0	1,5 x 1,5	2,0 x 2,0	2,5 x 2,5	3,0 x 3,0
2,20	30,42	30,27	29,77	29,23	28,02	26,93	24,96

Daarnaast wordt bovengenoemde belasting verhoogd met:

- een permanente belasting van 5 kPa voor bovenbouwconstructies
- en 6 kPa voor horizontale belasting (ca. 20% van verticaal conform CUR 266)
- en $0,6 \cdot 23,5$ kPa voor de trambaanconstructie

Sterkte en stijfheid geogrid

De trekkracht in het geogrid is het gevolg van:

- verticale belasting in de aardebaan (gewicht aardebaan en trambelasting)
- horizontale belasting

De toetsing van het toe te passen geogrid vindt plaats op:

- treksterkte (UGT)
- vervorming (BGT voor een levensduur van 120 jaar)

In dit stadium is gekozen voor geogrids:

- initieel geschatte rek $\epsilon = 3\%$ (met de berekeningen wordt gecontroleerd of dit een redelijke aanname is)
- bijbehorende belastingsgraad ca. 30% (uit stress/strain specificaties)
- bijbehorende rekstijfheid $EA = 1500$ kN/m

De geogrid heeft in de ene richting een grotere treksterkte dan de andere richting. Omdat in beide richtingen van de matras voldoende sterkte aanwezig moet zijn, worden 2 lagen van geogrid toegepast. (de totale treksterkte mag dan per richting opgeteld worden conform CUR 266).

Paaltype

Gezien de zeer korte bouwtijd wordt uitgegaan van HSP palen (hoge snelheidspalen) voor het middengedeelte van het palenmatras. Voor de 3 buitenste paalrijen wordt in dit VO stadium (kostenraming) uitgegaan van prefab betonpalen van #250 mm in verband met de te verwachten momenten en dwarskrachten (deze zijn in dit stadium niet berekend).

Gegevens HSP palen:

- Rekenmethodiek vergelijkbaar met prefab palen
- Schachtwrijvingsfactor van $\alpha_s = 0,012$
- Diameter 180 mm
- Maximaal draagvermogen conform specificaties UGT = 200 kN

Paalberekening

- Conform Eurocode 7
- Berekend met DFoundation 17.1 (Build 1.2)
- Rekening houdende met het optreden van negatieve kleeft
- Op basis van sondering DKM 25

Partiële factoren

Uitgegaan wordt van veiligheidsklasse RC3 conform Eurocode 7 (vergelijkbaar met spoorwegen).

In navolgende tabel zijn de partiële factoren weergegeven (op basis van CUR 266):

tabel 3: partiële factoren

Parameter	Factor	Waarde (RC 3)
Model factor	γ_M	1,40 ook 1,40 voor BGT
Verkeersbelasting (p)	γ_p	1,20
Tangens hoek van inwendige wrijving (ϕ')	$\gamma_{m,\phi}$	1,15
Volumiek gewicht aanvulmateriaal (γ')	$\gamma_{m,\gamma}$	0,85
Beddingsconstante ondergrond (k_s)	$\gamma_{m,k}$	1,30
Axiale rekstijfheid geokunststof wapening (EA_g)	$\gamma_{m,EA}$	1,00
Sterkte geokunststof wapening (T_f)	γ_{mT}	1,45
belastingfactor op palen – permanent	$\gamma_{m,g}$	1,30
belastingfactor op palen – veranderlijk	$\gamma_{m,q}$	1,65

Niet beschouwd in dit stadium

Onder meer de navolgende aspecten zijn niet beschouwd:

- Bouwfase paalmatras ontwerp
- Effecten van paaluitval
- Constructieve toetsing palen op buigende momenten en dwarskrachten (eventueel accepteren lokaal gescheurde paal) ten gevolge van horizontale deformaties van de palen, het matras en de ophoging (numerieke modellering)
- Detail uitwerking horizontale belasting (met name van belang bij bochten)
- Constructieve toetsing paaldeksel

7.3 Indicatief ontwerp

Een bepalende factor voor het ontwerp, is het maximaal toelaatbare draagvermogen van de HSP-palen van 200 kN UGT. Deze grenswaarde bepaalt de maximaal toelaatbare h.o.h. afstand van de palen.

Berekeningen tonen aan dat de h.o.h. afstand van de HSP-palen 1,5 m x 1,5 m dient te bedragen, uitgaande van een regelmatig stramien.

In navolgende tabel zijn de resultaten van de ontwerpberekeningen weergegeven:

tabel 4: rekenresultaten

Parameter	rekenresultaat BGT	rekenresultaat UGT
Gemiddelde rek x modelfactor	2,7 %	n.v.t.
Maximale trekkracht op geogrid x modelfactor	49,2 kN/m	85,2 kN/m
Maximale paalbelasting (gereduceerde boogwerking door relatief dunne matrasdikte)	136 kN	158 kN

Toetsing geogrid

Karakteristieke waarde treksterkte lange duur met maximale treksterkte conform specificaties van totaal 300 kN/m:

$$T_{t,ld,k} = 300 \text{ kN/m} / (A1 * A2 * A3 * A4 * A5) = \text{ca. } 154 \text{ kN/m}$$

Met:

A1 = kruip = 1,48

A2 = beschadiging = 1,20

A3 = overlappen = 1,0 (uitgaande van voldoende overlap)

A4 = chemische aantasting = 1,10

A5 = dynamische belasting = 1,0

Voor RC3 bedraagt de rekenwaarde van de opneembare trekkracht $153,6/1,45 = \text{ca. } 106 \text{ kN/m}$ welke lager is dan 85,2 kN/m (zie tabel 4) en voldoet.

De vervorming is ca. 2,5 á 3 % en wordt acceptabel geacht.

Paalontwerp

Uit de paalberekeningen volgt een inheiniveau van NAP-9,5 m ofwel een paallengte van ca. 9 m voor de HSP palen.

7.4 Overige aspecten

Bouwtijd

Vanwege de relatief korte trajectafstand is de inschatting dat het heiwerk ca. 2 weken in beslag zal nemen (er wordt uitgegaan van 2 verschillende paaltypes; zie vorige paragraaf). De normale werkwijze is dat – nadat de eerste palenrijen zijn aangebracht – de overige palen worden geïnstalleerd waarbij de heimachine op de reeds gefundeerde palen staat.

Vervolgens zullen de deksels en de geogrids dienen te worden aangebracht. Vermoedelijk is dit haalbaar in een tijdsbestek van ca. 2 á 3 weken. Daarna dient de matrassvulling (menggranulaat) te worden aangebracht en ingepakt.

Een groot nadeel is dus dat voorzien wordt dat gedurende een periode van meerdere weken het werkgebied niet of beperkt toegankelijk is voor andere aannemers. Dit is een kritische factor en zal tot in detail in een integrale planning dienen te worden opgenomen.

Gezien de complexiteit van het werk vanwege de meerdere raakvlakken (waaronder sloopwerkzaamheden, bestaande K&L en het verleggen daarvan, complexe omgeving, meerdere aannemers tegelijk aan het werk), wordt geadviseerd om tijdig integraal afstemming te plegen met de betrokken partijen.

Overgangsconstructie

Het nieuwe tracé sluit aan op het bestaande tracé welke mogelijk nog enige restzetting ondergaat. Specifieke maatregelen dienen in het Definitieve Ontwerp ontworpen te worden. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan het vergroten van de hart op hart afstand van de palen of het verhogen van de paalpuntdiepte.

Raakvlak kabels en leidingen derden

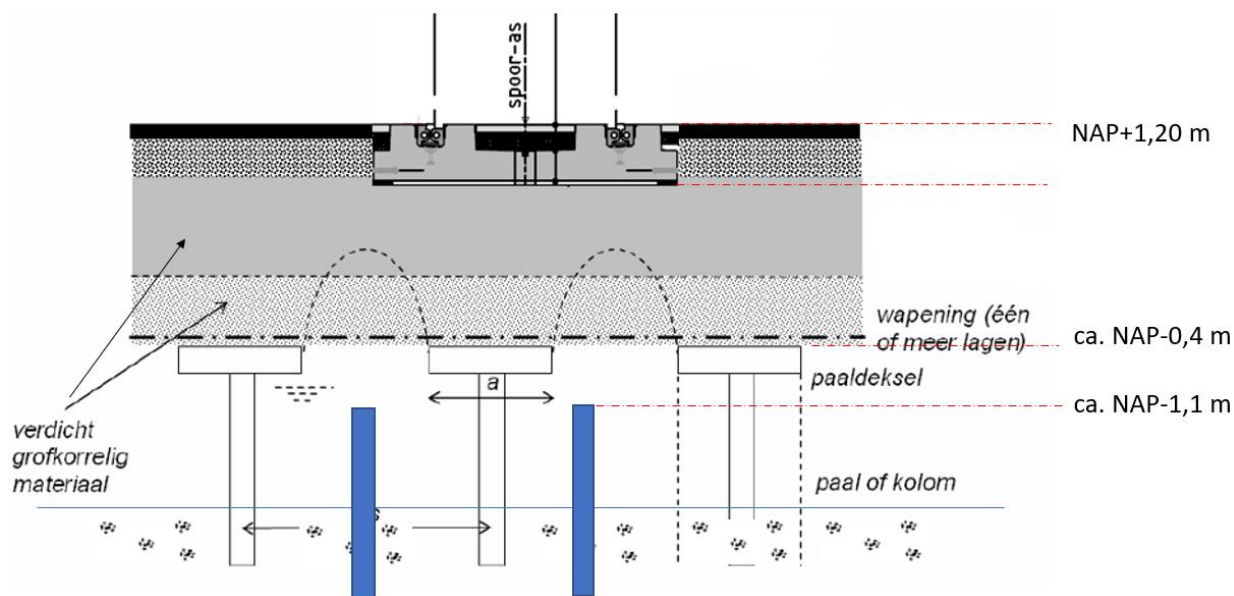
Het Definitieve Ontwerp dient rekening te houden met de aanwezigheid van kabels en leidingen. Niet alleen met de reeds aanwezige K&L (welke bijvoorbeeld invloed heeft op het regelmatige palenstramien) maar ook met de locatie van toekomstige K&L. Toekomstige ontgravingen zijn – uitzonderingen daargelaten – niet zonder meer mogelijk.

Raakvlak restanten bestaande paalfundering

Het ontwerp dient rekening te houden met de restanten van de bestaande paalfundering, resulterend in een onregelmatig palenstramien.

Nadat het paalmatras eenmaal is opgebouwd hebben de restanten van de paalfundering geen invloed meer.

Geadviseerd wordt om de bestaande paalfundering af te knippen. In dit stadium is een eerste inschatting gedaan van de afknipdiepte; zie onderstaande figuur:



Figuur 11: afknipdiepte bestaande paalfundering

Om de palen te kunnen knippen dient een tijdelijke bemaling plaats te vinden. In een Definitief Ontwerp dient dit aspect nader beschouwd te worden en dienen mogelijk maatregelen genomen te worden (vanwege horizontale toestroming vanuit het bovenzandpakket) om de verlaging van de grondwaterstand in de omgeving te minimaliseren.

Invloed heiwerkzaamheden

Het heiwerk zal voornamelijk geluidshinder veroorzaken. Gezien de bodemopbouw en de relatief recent gebouwde constructies, wordt verwacht dat de nabijgelegen bebouwing gefundeerd is op palen. Schade wordt daarmee op voorhand niet ingeschat als een groot risico, maar dient in het Definitieve Ontwerp bevestigd te worden.

Invloed op gevoelige apparatuur is eveneens niet uit te sluiten. Dit dient voor het Definitieve Ontwerp uitgezocht te worden.

8 Samenvatting, conclusie en aanbevelingen

In dit rapport zijn verschillende mogelijke funderingsopties voor de te verleggen trambaan beschouwd. In navolgende tabel worden de *belangrijkste* voor- en nadelen en risico's van deze opties weergegeven:

optie	voordelen	risico's en nadelen
zandophoging met verticale drainage eventueel in combinatie met BIMS	* relatief goedkoop * bekende uitvoeringsmethode * relatief snelle uitvoering * voorbelasting in combinatie met BIMS reduceert risico's (bv. zettingsverschillen)	* zettingen bestaande K&L en nabijgelegen infrastructuur ten gevolge van toepassing voorbelasting * restzettingen te verwachten (te reduceren door toepassing BIMS) en restzettingsverschillen (door b.v. verschil in cunetdikte en mate van voorbelasting)
EPS	* nagenoeg zettingsvrij te realiseren	* complexe uitvoering * niet haalbaar binnen beschikbare bouwtijd * terrein tijdens groot deel van uitvoering (meerdere weken) niet of zeer beperkt toegankelijk voor andere aannemers * complexe raakvlakken met K&L * voldoende stijve fundering met EPS mogelijk niet haalbaar (betonspoor)
BIMS	* relatief snelle uitvoering * bekende uitvoeringsmethode * licht ophoogmateriaal (reductie belastingstoename)	risico op restzettingen en verschilzettingen vanwege variërende voorbelastingsgeschiedenis die niet volledig in beeld is. Geldt ook voor bestaande K&L.
paalmatras	* zettingsvrij	* relatief dure methode * heitrillingen en -overlast * terrein tijdens groot deel van uitvoering (meerdere weken) niet of zeer beperkt toegankelijk voor andere aannemers * complexe raakvlakken met K&L * relatief complex ontwerp (bestaande K&L en bestaande paalfundering)

Recent uitgevoerd grond- en laboratoriumonderzoek heeft meer inzicht gegeven in de gevoeligheid van zettingen van de ondergrond. Over het algemeen kan gesteld worden dat de zettingsgevoeligheid vermoedelijk wat lager is dan eerder aangenomen.

De kansrijk geachte oplossingen – paalmatras en een voorbelasting in combinatie met BIMS – zijn nader op Voorontwerpniveau uitgewerkt. Bij beide oplossingen kan voldaan worden aan de restzettingseis.

Voorbelasting in combinatie met BIMS

Indicatieve berekeningen duiden erop dat de geplande voorbelasting alleen waarschijnlijk niet voldoende is om de restzetting te beperken tot 0,06 m in 30 jaar, zonder toepassing van licht ophoogmaterialen zoals BIMS. Het aanvullende grond- en laboratoriumonderzoek wijst niet op significant gunstigere uitgangspunten dan voor de berekeningen is aangehouden (zie paragraaf 6.4). Bovendien zijn verschillen in cunetdiktes geconstateerd die kunnen leiden tot zettingsverschillen.

Echter door het ontbreken van gegevens, is de voorbelastingsgeschiedenis uit de jaren '70 mogelijk niet volledig in beeld.

Adequate monitoring van de geplande voorbelasting en analyse van deze gegevens zal definitief moeten uitwijzen of toepassing van lichte ophoogmaterialen grotendeels achterwege kan blijven.

Toepassing van lichte ophoogmaterialen als risico mitigerende maatregel lijkt van toepassing bij:

- Het niet voldoen aan de restzettingseis na een prognose van de restzettingen op basis van de monitoringsresultaten van de geplande voorbelasting
- Het gedeelte van het traject waar geen toepassing van voorbelasting mogelijk is
- Nabij de aansluiting met bestaande constructies teneinde de zettingsverschillen zoveel mogelijk te beperken
- De overgang tussen de twee trajectdelen met een verschillende mate van voorbelasting teneinde zettingsverschillen over korte afstand zoveel mogelijk te beperken

Naar verwachting kan er voldaan worden aan de (rest-)zettingseisen bij de geplande voorbelasting van zand in combinatie met BIMS waar benodigd om voorgenoemde risico's te ondervangen.

De toepassing van BIMS (van nader te bepalen dikte) vereist ontgraving van een deel van het zandcunet waarbij een bemaling zoveel mogelijk dient te worden vermeden (vanwege de te verwachten negatieve invloed op de omgeving).

Verschilzettingen zijn eveneens een belangrijk aandachtspunt. Uit recent booronderzoek zijn verschillen geconstateerd in de dikte van het cunet en de samenstelling/consistentie van de kleilagen. Ook kunnen bepaalde delen van het traject verschillend voorbelast zijn (bv. de aanwezigheid van perrons of verschil in voorbelastingshoogte). Hiermee dient in het DO expliciet rekening te worden gehouden.

Een ander belangrijk aandachtspunt is de aansluiting met (bestaande) constructies die geen of nauwelijks meer zetting ondergaan. Aldaar is het zettingsverschil gelijk aan de geprognosticeerde restzetting. Omdat het hier betonspoor betreft zijn praktische mitigerende maatregelen om zettingsverschillen eigenlijk niet beschikbaar (een eventuele noodmaatregel bestaat uit het ondergrouten van het betreffende tracédeel).

De invloed van de restanten van de bestaande paalfundering bij afknippen op een reductie van de restzettingen wordt klein geacht.

Paalmatras

De oplossing van een paalmatras is geotechnisch gezien haalbaar en is uitgewerkt tot een niveau geschikt voor een kostenraming. Voor het definitief ontwerp dient specifiek gekeken te worden naar de raakvlakken (bv. K&L, bestaande paalfundering, heitrillingen).

Een kritisch aspect is de benodigde tijd (enkele weken) waarbij het terrein niet of beperkt toegankelijk is voor andere aannemers. Gezien de complexiteit van het werk vanwege de meerdere raakvlakken (waaronder sloopwerkzaamheden, bestaande K&L en het verleggen daarvan, complexe omgeving, meerdere aannemers tegelijk aan het werk), wordt geadviseerd om tijdig integraal afstemming te plegen met de betrokken partijen.

Aanbevelingen

Uit het recent beschikbare grondonderzoek is naar voren gekomen dat het cunet een grotere dikte heeft dan uit de bestaande sonderingen volgt. Toch zitten er in het recente grondonderzoek verschillen in

cunetdikte. Geadviseerd wordt om voor de start van het ontwerp te overwegen het cunet verder in detail in kaart te brengen (bv door middel van handboringen of handsonderingen).

Analyse van de monitoringsresultaten van de geplande voorbelasting en een prognose van de restzetting **gedurende** de aanwezigheid van de voorbelasting wordt aanbevolen teneinde een maximaal effect van de voorbelasting te verkrijgen en daarmee (i) het risico op (rest-)zettingen en zettingsverschillen te verminderen (ii) de toepassing van de hoeveelheid licht ophoogmateriaal te verminderen.