



Wegreconstructie en ophoging wijk Benning

Geotechnisch onderzoek Benning | Ouderkerk aan de Amstel

6423-246638 | 10-2-2025

Definitief

Gemeente Ouder-Amstel



Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Wegreconstructie en ophoging wijk Benning
Documentnaam	Geotechnisch onderzoek Benning
Fugro-projectnr.	6423-246638
Fugro-documentnr.	6423-246638-R01
Versienummer	0.4
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro kantoor	Zekeringstraat 41a, 1014 BV Amsterdam

Klantgegevens

Klant	Gemeente Ouder-Amstel
Adres klant	Vondelstraat 1, 1191 BD Ouderkerk aan de Amstel
Contactpersoon klant	Dhr. A. van der Veldt (DUO+)

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
0.1	27-08-2024	Concept	Eerste concept	RZG/EAI/MMU	FHS	MCK
0.2	02-09-2024	Concept	Enkele aanscherpingen	RZG/EAI/MMU	FHS	MCK
0.3	03-09-2024	Definitief	Ophoging met zand toegevoegd	RZG/EAI/MMU	FHS	MCK
0.4	10-02-2025	Definitief	Tekstuele aanpassingen	RZG/EAI/MMU	FHS	MCK

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
RZG	R. Rozing	Senior consultant Geotechniek
EAI	E. Alink	Senior consultant Laboratorium
FHS	F. Hoefsloot	Principal consultant Geotechniek
MMU	M.C. Muller	Senior Consultant Geotechniek
MCK	M. Kuilboer	Vakgroepmanager Civiele Techniek

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	0
1. Inleiding	1
1.1 Algemeen	1
1.2 Samenvatting	1
1.3 Oriënterend onderzoek	2
2. Projectomschrijving	3
2.1 Integrale voorbelasting wijk Benning	3
2.2 Wegreconstructie en ophoogmaterialen	4
2.3 Twee representatieve wegvakken	4
3. Geotechnisch onderzoek	6
3.1 Sonderingen en variatie bodemopbouw	6
3.2 Samendrukkingsproeven en resultaten	6
3.3 Conclusie geotechnisch onderzoek	10
3.4 Autonome bodemdaling	10
3.5 Aanvullend onderzoek bodemdaling	11
3.6 Beschouwing wegophoging met zand	11
4. Wegreconstructie en ophoging	13
4.1 Algemeen	13
4.2 Advies wegreconstructie	13
4.3 Maatregelen wegreconstructie	14

Bijlagen :

- Bijlage 1 Bodemprofiel wijk Benning
- Bijlage 2a Wijk Benning (met integrale voorbelasting)
- Bijlage 2b Wijk Benning (met indeling fasen, Grontmij)
- Bijlage 3a Wijk Benning (variatie opgebrachte zandophoging)
- Bijlage 3b Wijk Benning – uitgevoerde sonderingen
- Bijlage 4a Sonderingen proefstraat Meerkoet
- Bijlage 4b Sonderingen Coen van Boshuizenlaan
- Bijlage 5 Autonome bodemdaling SkyGeo.com
- Bijlage 6 Principe-dwarsprofiel wegreconstructie
- Bijlage 7 Lijst van begrippen en definities

1. Inleiding

1.1 Algemeen

Op 29 januari 2024 ontving Fugro NL Land (Fugro) van gemeente Ouder-Amstel opdracht voor het verzorgen van nader onderzoek en advies voor het ophogen i.c.m. de reconstructie van de wijk Benning. Dit rapport bevat de resultaten en adviezen van het geotechnisch onderzoek naar de ophoging van de wegen en het openbare gebied in de wijk Benning in Ouderkerk aan de Amstel.

1.2 Samenvatting

De wijk Benning is aangelegd in een veenweidegebied (polder de Ronde Hoep) met een sterk samendrukbare ondergrond van veen en klei. In de periode 1993 tot 1995 is de wijk bouwrijp gemaakt door een integrale voorbelasting met een zandophoging. De bodem van de wijk bestaat daardoor uit een laag ophoogzand tot ongeveer NAP -3,5 m à NAP -4,5 m op de samendrukbare ondergrond van veen en klei. Op basis van een geotechnisch onderzoek heeft Fugro advies uitgebracht over een wegereconstructie met ophoging van het wegdek.

De resultaten van het onderzoek tonen een sterke variatie in de resultaten van de sonderingen en de laboratoriumproeven. Dit heeft geresulteerd in onzekerheden over de bodemopbouw en de eigenschappen van de slappe ondergrond van veen en klei. Deze aangetroffen variatie in meerdere parameters van de samendrukbaarheid zijn van belangrijke invloed op berekeningen van de zettingen c.q. restzettingen.

Een ophoging met ophoogzand is geen reële optie i.v.m. de grote zettingen die ontstaan. Daarom is het advies om de wegereconstructie en ophoging van wegdek uit te voeren zonder gewichtstoename, omdat dan geen extra zettingen zullen optreden (met onzekerheid over de grootte ervan). Het voorkomen van gewichtstoename wordt gerealiseerd door ophoogzand te ontgraven (beneden de laag menggranulaat) en te vervangen door licht ophoogmateriaal.

In een oriënterend geotechnisch onderzoek zijn de ophoogmaterialen ophoogzand, Argex-zand en Yali-bims en glasschuim beschouwd. Toepassing van ophoogzand vervalt voor wegereconstructie zonder gewichtstoename, omdat bij toepassing ervan een gewichtstoename zou optreden.

Met de drie lichte ophoogmaterialen kan een wegophoging zonder gewichtstoename worden gerealiseerd indien bij toepassing van de drie lichte ophoogmaterialen de volgende ontgravingen van ophoogzand worden toegepast (uitgaande van een bepaalde netto wegophoging) :

- bij toepassing glasschuim : ontgraving van ophoogzand gelijk aan 0,5 x netto ophoging.
- bij toepassing Argex-zand : ontgraving van ophoogzand gelijk aan 1,0 x netto ophoging;
- bij toepassing Yali-bims : ontgraving van ophoogzand gelijk aan 1,5 x netto ophoging;

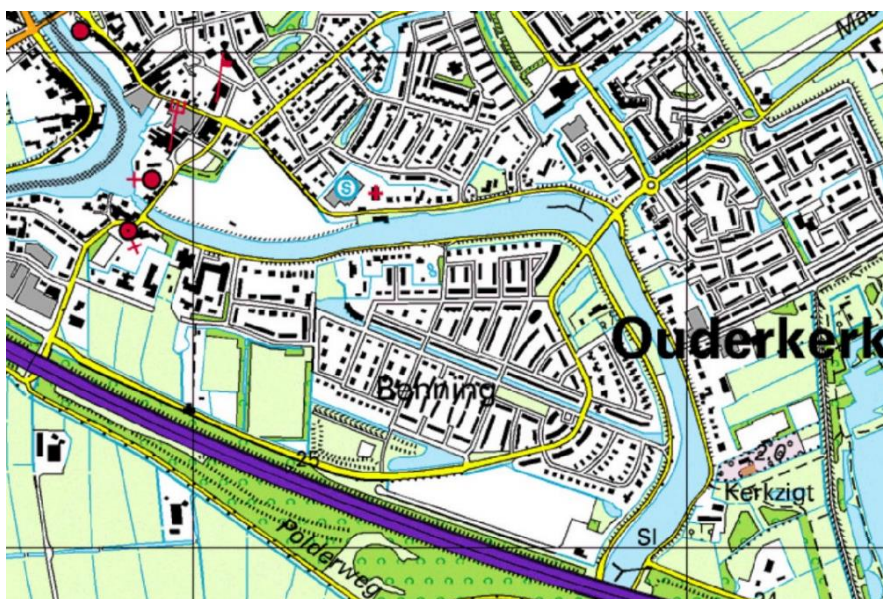
De bruto ophoging wordt bepaald door volume-afname tijdens verdichting van ophoogmateriaal.

Bij toepassing van glasschuim moet rekening gehouden worden (volgens info van Glasschuim Nederland BV) met volume-afname door verdichting van 25 % à 30 %. Wij adviseren een wegreconstructie en ophoging van wegdek met toepassing van lichte ophoogmaterialen van Argex-zand, Yali-bims of glasschuim met bovenstaande ontgravingen van ophoogzand. Onze voorkeur heeft een ophoging door toepassing van Argex-zand onder de wegconstructie van menggranulaat en klinkerbestrating i.v.m. de voordelen van Argex-zand (zie afwegingsmatrix in tabel 1):

1. Eenvoudige verwerking van Argex-zand tijdens de uitvoering en vergelijkbaar met ophoogzand; er zijn geen aanvullende maatregelen nodig door het inpakken van het lichte ophoogmateriaal met geotextiel zoals bij Yali-bims en glasschuim het geval is.
2. Dit is ook een voordeel tijdens de beheerfase: als men in de grond moet graven dan ligt er geen geotextiel dat verwijderd moet worden. Argex-zand is makkelijker te ontgraven en weer aanbrengen.
3. Nutbedrijven kunnen in de toekomst ook eenvoudiger werkzaamheden in Argex-zand uitvoeren dan bij Yali-bims of glasschuim: makkelijker ontgraven en weer aanbrengen. De netbeheerder van de gasleidingen, Stedin, heeft al bezwaren geuit op het toepassen van glasschuim.

1.3 Oriënterend onderzoek

In een eerste fase hebben we een oriënterend geotechnisch onderzoek uitgevoerd om de varianten te beschouwen voor wegreconstructie en ophoging met ophoogzand of met lichte ophoogmaterialen (rapportage 6422-221810 van september 2023). Tijdens een online-overleg (op 27 mei 2024) hebben we de aanpak van het vervolgonderzoek besproken, waarna de resultaten van uitgevoerde samendrukkingsproeven in de berekeningen zouden worden betrokken inclusief autonome bodemdaling.



Figuur 1. Ligging van woonwijk Benning in gemeente Ouderkerk aan de Amstel (Bron: Topotijdreis)

2. Projectomschrijving

2.1 Integrale voorbelasting wijk Benning

De wijk Benning is gebouwd in een veenweidegebied met gemiddelde maaiveldhoogte NAP -2,0 m en een hoge grondwaterstand. De oorspronkelijke bodemopbouw betrof circa 8,0 m slap veen en klei (boring 1990 DINO-loket, zie bijlage 1), zeer sterk samendrukbare grondlagen. Het gebied is onderdeel van de polder Ronde Hoep ten noorden van de A9.

Het gebied is bouwrijp gemaakt door een integrale voorbelasting in 1995/1996 met "blijvende ophoging" van circa 1,8 m zand en met tijdelijke extra-overhoogte van 0,60 m zand. Daarbij zijn geen verticale drains toegepast en vermoedelijk ook geen horizontale drains. Door de korte ligtijd van de extra-overhoogte is er sprake van een onvolledig consolidatieproces voorafgaande aan de realisatie van de woonwijk en is het effect van voorbelasting uiterst beperkt (zie bijlagen 2a en 2b).

In deelgebied fase 1 (zie onderstaande overzicht) heeft de overhoogte van 0,60 m zand slechts 10 -14 maanden gelegen (blauwe deelgebied), waarbij door de korte duur het effect van de voorbelasting minimaal zal zijn geweest.

De opgetreden verzakking van de bestratingen in de wijk bedraagt ongeveer 0,30 m à 0,40 m (aanvankelijke aanleghoogte was circa NAP -1,50 m). Volgens informatie van de gemeente zijn er na realisatie wel enkele straten opgehaald, maar valt niet zeker en duidelijk aan te geven waar en met welke omvang dat is geweest. De bewoners hebben veelal wel hun toegang tot de woning opgehoogd. Conform de LIOR van gemeente Ouder-Amstel bedraagt de toelaatbare restzetting van wegen maximaal 0,20 m over een periode van 30 jaren.



Figuur 2. Woonwijk Benning met fase 1, fase 2 en fase 3 (voor bouwrijp maken en woonrijp maken)

2.2 Wegreconstructie en ophoogmaterialen

Voor wijk Benning is een grootschalige wegreconstructie met herstel van riolering in voorbereiding. Deze wijk is rond 1995 bouwrijp gemaakt met een integrale zandophoging. Kort na aanleg is aanzienlijke verzakking opgetreden. De verzakking van de wegen is ontstaan door onvoldoende voorbelasting (voorbelasting met zand en zonder toepassing van verticale drains).

Het uitgangspunt voor de wegreconstructie is een nieuwe klinkerbestrating en hergebruik van de funderingslaag (menggranulaat). De klinkerbestrating, straatzand en funderingslaag zullen eerst verwijderd worden. Daarna kan een ophoging aangebracht worden met een ophoogmateriaal. Hiervoor zijn zand en de lichte ophoogmaterialen Argex-zand, Yalibims of glasschuim geselecteerd.

Enkele specifieke eigenschappen van verschillende ophoogmaterialen zijn hieronder in een afwegingsmatrix vermeld.

	ophoogzand	Argex-zand	Yali-bims	glasschuim
<i>Type ophoogmaterial</i>	traditioneel ophoogzand (0-2 mm)	licht ophoogzand (sortering 0-4 mm)	licht granulaat (sortering 0-16 mm)	zeer licht granulaat (sortering 0-60 mm)
<i>volumiek gewicht</i>	17 à 18 kN/m ³	7 à 8 kN/m ³	9 à 10 kN/m ³	3 à 4 kN/m ³
<i>verwerking</i>	goed verdichtbaar	goed verdichtbaar	goed verdichtbaar	matig verdichtbaar
<i>kabels en leidingen</i>	zeer geschikt voor aanleg K&L	zeer geschikt voor aanleg K&L	redelijk geschikt voor aanleg K&L	minder geschikt voor aanleg K&L
<i>oorsprong grondstof</i>	ontzilt zeezand (uit Noordzee)	gesinterde Boomse klei (Argex)	granulaat van Yali (mijnbouwgroeve)	granulaat van glas (opgeschuimd glas)

Tabel 1: Afwegingsmatrix van 4 typen ophoogmaterialen

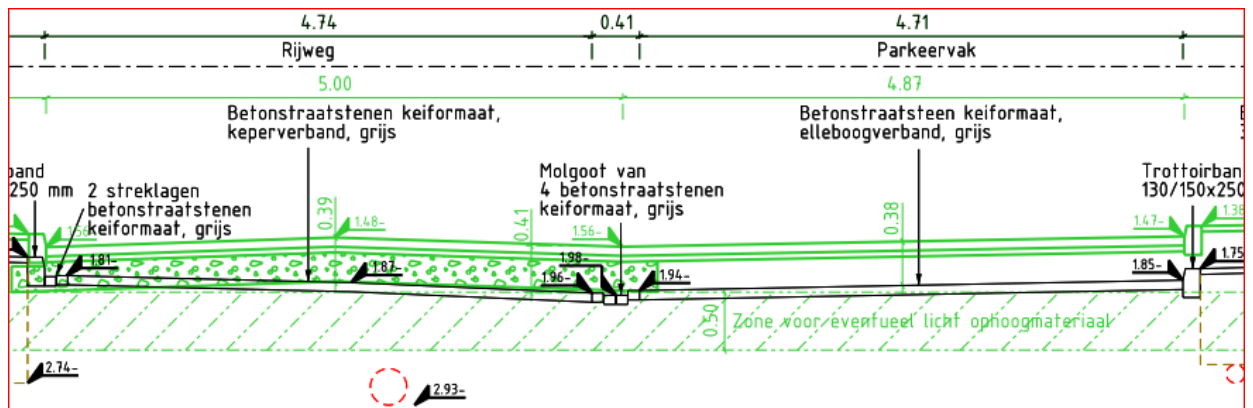
De wegreconstructie met ophoging van het wegdek moet voldoen aan het ontwerpcriterium voor maximale restzetting uit de LIOR van Ouder-Amstel (maximaal 0,20 m in 10.000 dagen).

2.3 Twee representatieve wegvakken

Er zijn twee representatieve wegvakken geselecteerd om de aanpak van de wegreconstructie en ophoging in wegvakken uit te werken (met een aanlegniveau van circa NAP -1,50 m). Daarvoor zijn proefstraat Meerkoet (max. ophoging 0,40 m) en Coen van Boshuizenlaan (min. ophoging 0,25 m) gekozen. De ophogingen voor de wegreconstructie zijn afgeleid uit de twee dwarsprofielen (zie volgende pagina).

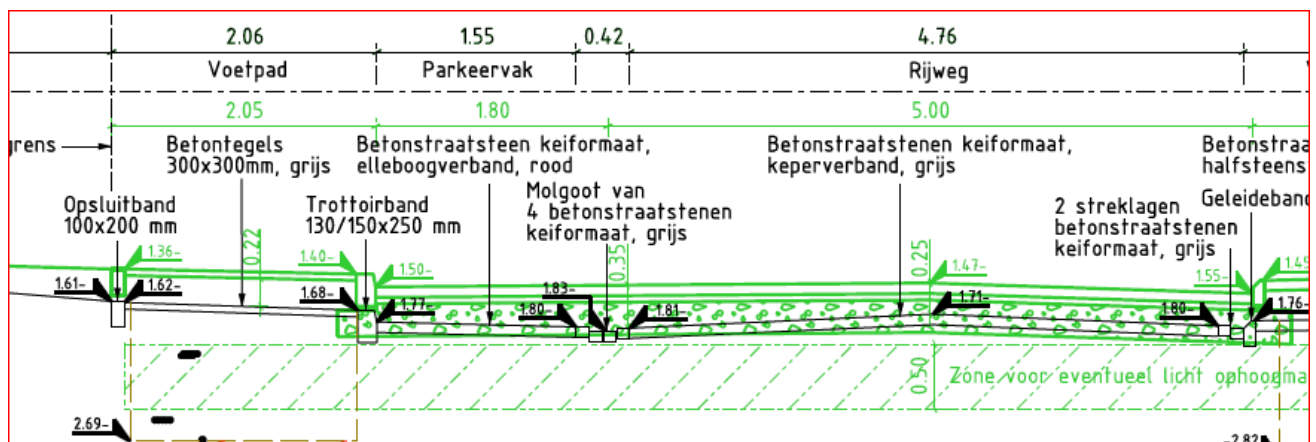
Op basis van de afwegingsmatrix adviseert Fugro vooralsnog de toepassing van Argex-zand met name vanwege de goede verwerkbaarheid (kabels & leidingen en verdichting). Aanvankelijk zou een keuze tussen ophoogzand en (het aanzienlijk lichtere) Argex-zand kunnen worden overwogen, maar op basis van resultaten van samendrukkingsproeven is de toepassing van ophoogzand vervallen.

Onderstaande dwarsprofiel is over **proefstraat Meerkoet** (wegophoging 0,35 m à 0,40 m).



Figuur 3. Doorsnede wegreconstructie proefstraat Meerkoet

Onderstaande dwarsprofiel is over **Coen van Boshuizenlaan** (wegophoging 0,25 m à 0,35 m).



Figuur 4. Doorsnede wegreconstructie Coen van Boshuizenlaan

3. Geotechnisch onderzoek

3.1 Sonderingen en variatie bodemopbouw

Voor het onderzoek naar de restzettingen na een wegreconstructie zijn 13 sonderingen en 2 boringen uitgevoerd. De sonderingen zijn verspreid over de wijk uitgevoerd (zie op bijlage 3 het overzicht met sonderingen en boringen). De twee mechanische boringen zijn uitgevoerd in de Meerkoet (MB1) en in de Coen van Boshuizenlaan (MB2). Tevens zijn er ongeroerde grondmonsters genomen en er zijn monsterclassificaties en acht samendrukkingsproeven uitgevoerd.

Op basis van de sonderingen is een globale schematisering van de bodemopbouw opgesteld. Hierin zijn belangrijke aspecten van de aangebrachte zandophoging en van de slappe veenbodem weergegeven om een overzicht te verkrijgen. Dit betreft onder andere ligging onderkant ophoogzand, ligging onderkant veenlaag en onderkant kleilaag en algemene gegevens als aanvankelijk maaiveldhoogte, hoogteligging huidig wegdek en polderpeil (zie bijlage 3).

Uit de sonderingen blijkt met name een grote variatie in de laagdikte van het opgebrachte zand (zie "ok zand t.o.v. NAP" bij de sondeerlocaties). De ligging van onderkant zandophoging varieert van NAP -3,5 m en -3,8 m (blauw gemarkeerd) tot NAP -4,0 m à -4,5 m (geel gemarkeerd). Voorlopig wordt uitgegaan van een gemiddelde ligging van onderkant van aangebrachte zandophoging op NAP -4,0 m tot NAP -4,5 m, mede omdat deze waarden redelijk aansluiten bij ervaringen met de gemeten zettingen van de proefterpen in de Bloemendalerpolder (zie ook bijlagen 4a en 4b).

Ter plaatse van sonderingen DKM4, DKM6, DKM8 is onderkant zand aangetroffen op circa NAP -7,0 m (dit is uitzonderlijk diep). Hiervoor kunnen wij geen zekere verklaring vinden, maar waarschijnlijk is dit het gevolg van een doorpersing van het ophoogzand in veen door het te snel en te plaatselijk aanbrengen van de zandophoging voor de voorbelasting. Bij sondering DKM12 is onderkant zand aangetroffen op circa NAP -5,5 m (mogelijk als gevolg van afschuiving van de zandophoging tijdens het aanbrengen van de voorbelasting).

3.2 Samendrukkingsproeven en resultaten

Voor het project wegreconstructie (van de verzakte) Benning in Ouder-Amstel zijn acht samendrukkingsproeven uitgevoerd (4 op veenmonsters en 4 op kleimonsters). De resultaten van de samendrukkingsproeven hebben geresulteerd in NEN-Bjerrum samendrukkingsparameters die aanzienlijk hoger en dus ongunstiger zijn dan de parameters die in normblad Geotechniek NEN 9997-1 zijn vermeld (een hogere waarde impliceert een grotere samendrukbaarheid).

Er is een aantal samendrukkingsproeven uitgevoerd (voor de gehele woonwijk) en de resultaten zijn sterk uiteenlopend en veel ongunstiger dan verwacht, waardoor nog te veel onzekerheid is over de samendrukbaarheid van de slappe veen- en kleilagen. De resultaten van de acht samendrukkings- proeven zijn hieronder weergegeven in de tabellen. Dit betreft zowel de grondparameters voor primaire zetting als de grondparameters voor seculaire zetting (ook wel kruipzetting genaamd).

Door de grote variatie in de proefresultaten kunnen er geen betrouwbare gemiddelde of representatieve grondparameters voor samendrukbaarheid uit worden afgeleid. Met name de proeven op veenmonsters hebben aanzienlijk ongunstiger waarden voor zettingsparameters opgeleverd dan de (conservatief geachte) NEN-waarden. Op basis van deze hogere waarden en de grote spreiding adviseren wij doorgaans om aanvullende samendrukkingsproeven te laten uitvoeren. Echter, gezien te grote onzekerheden in de te verwachten resultaten van de proeven, is voor deze fase voorsnog gekozen hiervan af te zien.

Onderstaande tabellen tonen de proefresultaten voor boringen MB01 en MB02. Boring MB01 is uitgevoerd in proefstraat Meerkoet en boring MB02 uitgevoerd in Coen van Boshuizenlaan.

Boring MB01 / DKM1 // proefstraat Meerkoet					NEN-Bjerrum-parameters	
steekbus	grondsoort	grenssp.	Cp' / Cs'	C	CR / Ca	
St1	VEEN	64	2,6 / 27,8	2,1	0,877 / 0,0812	
St2	VEEN	72	2,5 / 17,7	1,6	0,921 / 0,0533	
					0,460 / 0,0230	"NEN-waarden"
St3	KLEI	35	7,7 / 47,0	4,6	0,317 / 0,0334	
St4	KLEI	63	4,4 / 14,5	2,0	0,525 / 0,0659	
					0,307 / 0,0153	"NEN-waarden"

Tabel 2. Resultaten van samendrukkingsproeven op veenmonsters en kleimonsters MB 01

Boring MB02 / DKM3 // Coen van Boshuizenlaan					NEN-Bjerrum-parameters	
steekbus	grondsoort	grenssp.	Cp' / Cs'	C	CR / Ca	
St1	VEEN	43	3,3 / 22,0	2,1	0,703 / 0,0802	
St2	VEEN	29	5,0 / 36,0	3,2	0,477 / 0,0717	
					0,460 / 0,0230	"NEN-waarden"
St3	KLEI	40	8,5 / 52,7	5,2	0,286 / 0,0333	
St4	KLEI	57	6,9 / 46,9	4,3	0,342 / 0,0353	
					0,307 / 0,0153	"NEN-waarden"

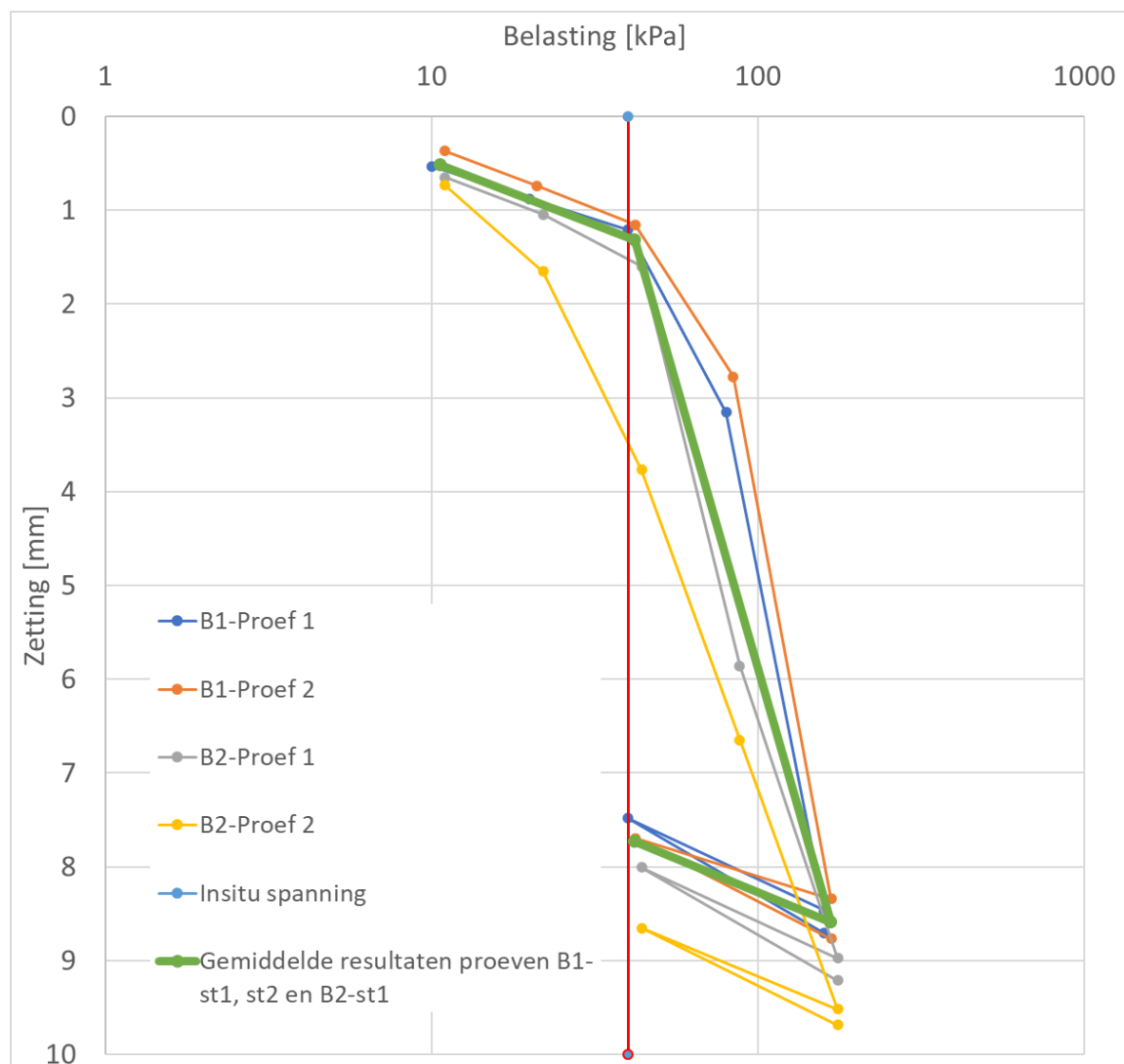
Tabel 3. Resultaten van samendrukkingsproeven op veenmonsters en kleimonsters MB 02

Op basis van de samendrukkingsproeven zijn parameters voor de samendrukbaarheid van veen afgeleid. De resultaten van de vierde samendrukkingsproef (gele lijn) zijn sterk afwijkend en daarom is deze proef buiten beschouwing gelaten. Door bewerking van de samendrukkingsproeven is onderstaande gemiddeld zakkingsprofiel afgeleid (hierbij is de grensspanning gelijk aan belastingtrap 3, waardoor niet voorbij de grensspanning wordt gegaan). Vooralsnog hebben we geen verklaring voor de grote variatie in de proefresultaten (en de afwijking van proef 4).

Gemiddelde waarden van NEN-Bjerrum-parameters voor veenlaag (afgeleid uit groene lijn):

- grensspanning is 40 kPa (rode lijn)
- $CR = 0.600$ en $RR = 0.072$
- $Ca = 0.030$

Dit zijn gemiddelde waarden voor de parameters (dus geen lagere karakteristieke waarden).



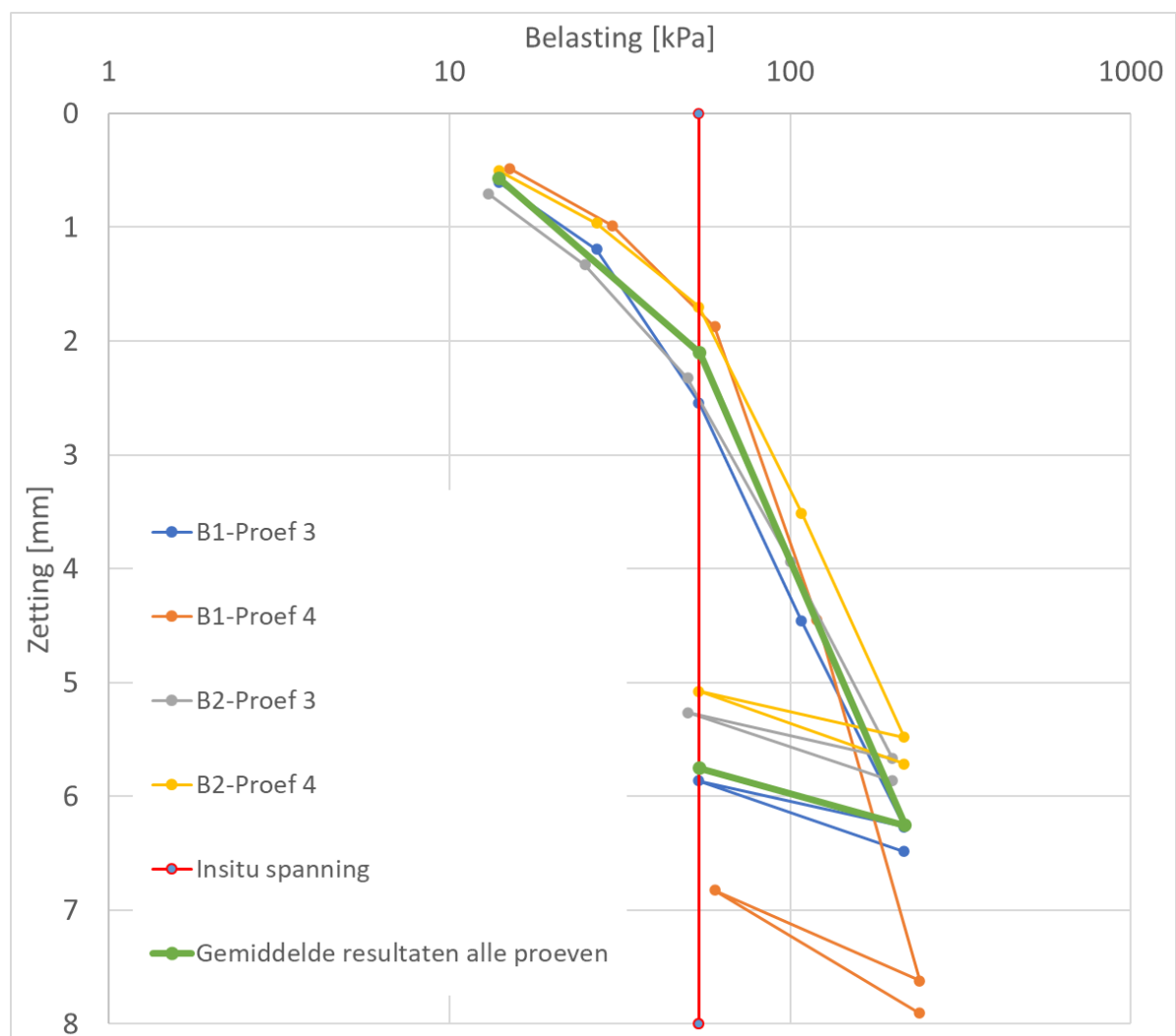
Figuur 5. Resultaten van samendrukkingsproeven op veenmonsters

Op basis van de samendrukkingsproeven zijn ook parameters voor de samendrukbaarheid van klei afgeleid. De resultaten van de tweede samendrukkingsproef (oranje lijn) zijn enigszins afwijkend en daarom is deze proef buiten beschouwing gelaten. Door bewerking van samendrukkingsproeven is onderstaande gemiddeld zakkingsprofiel afgeleid (hierbij is de grensspanning gelijk aan belastingtrap 3, waardoor niet voorbij de grensspanning wordt gegaan). Vooralsnog hebben we geen verklaring voor de grote variatie in de proefresultaten (en de afwijking van proef 4).

Gemiddelde waarden van NEN-Bjerrum-parameters voor de kleilaag (afgeleid uit groene lijn):

- grensspanning is 40 kPa (rode lijn)
- $CR = 0.300$ en $RR = 0.034$
- $Ca = 0.023$

Dit zijn gemiddelde waarden voor de parameters (dus geen lagere karakteristieke waarden).



Figuur 6. Resultaten van samendrukkingsproeven op kleimonsters

3.3 Conclusie geotechnisch onderzoek

Op basis van de resultaten van het geotechnisch onderzoek blijkt dat grote variatie is aangetroffen, zowel in opgebrachte zandophoging (13 sonderingen verspreid over de wijk) als in de resultaten van samendrukkingsproeven (4 proeven op veenmonsters en 4 proeven op kleimonsters). Deze sterke variatie betreft de laagdikte van zandophoging (sonderingen) maar ook de grondparameters voor berekening van samendrukking (laboratoriumproeven) en de grootte van autonome bodemdaling. Een analyse van de beschikbare resultaten van de bodemopbouw en de grondparameters voor de samendrukbaarheid is daardoor helaas niet mogelijk en daardoor is het opstellen van voldoende betrouwbare zettingsberekeningen ook niet mogelijk.

Bij dergelijke grote variatie in resultaten van geotechnisch onderzoek wordt doorgaans besloten om een tweede fase van aanvullend onderzoek te laten uitvoeren. Het aanvullend geotechnisch onderzoek betreft dan zowel aanvullende sonderingen en boringen als een aanzienlijk aantal samendrukkingsproeven. Echter, er kan op voorhand geen zekerheid worden gegeven of het aanvullend geotechnisch onderzoek wel de gewenste duidelijkheid zal geven.

3.4 Autonome bodemdaling

Door een wegophoging zonder gewichtstoename zal geen nieuwe zetting optreden, maar wel autonome bodemdaling. De autonome bodemdaling zal blijven optreden (als gevolg van de aangebrachte zandophoging en wegconstructie). Maar de verwachting is dat de bodemdaling geleidelijk zal afnemen over de komende 30 jaar. Echter, omdat de huidige isotachen-modellen de ontwikkeling van de bodemdaling in de toekomst te positief benaderen, kan dit niet met voldoende betrouwbaarheid berekend worden (waardoor te lage restzettingen worden bepaald).

In dit stadium zijn twee benaderingen mogelijk voor inschatting van autonome bodemdaling:

- berekening van kruipzetting met het NEN-Bjerrum-isotachenmodel (dit resulteert in een ondergrenswaarde voor bodemdaling, omdat kruipzettingen hierbij onderschat worden);
- extrapolatie van de actuele bodemdaling per jaar (dit resulteert in een bovengrenswaarde voor bodemdaling, omdat de afname van bodemdaling in de toekomst niet bekend is).

Met deze twee benaderingen kunnen we een ondergrens en een bovengrens bepalen voor de grootte van de autonome bodemdaling of kruipzetting.

Op basis van data van de site bodemdalingskaart.nl volgt uit de rode meetpunten een gemiddelde bodemdaling van 6 mm/jaar à 9 mm/jaar (zie bijlage 5 voor een overzicht van alle meetpunten). Bij enkele verspreid liggende meetpunten bedraagt de zakking rond 10 mm/jaar (vooralsnog kunnen we de oorzaak daarvan niet achterhalen). Op basis van informatie van de gemeente gaan we ervan uit dat het aanvankelijk aangelegde wegdek in de wijk Benning niet is opgehoogd.

Er blijft vooralsnog onzekerheid bestaan over de ontwikkeling van autonome bodemdaling in de toekomst. Op grond van de gemiddelde bodemdaling van 6 mm/jaar à 9 mm/jaar (uit data van "[www.bodemdalingskaart 2.0](http://www.bodemdalingskaart2.0.nl)") hebben wij een inschatting gemaakt van een relatief hoog gemiddelde van 10 mm/jaar en een relatief laag gemiddelde van 5 mm/jaar (uitgaande van een verwachte afname van bodemdaling), zie ook bijlage 5.

Over een periode van 30 jaar volgt daaruit een verwachte totale bodemdaling van maximaal 30 cm en minimaal 15 cm. Als we dat toetsen aan de LIOR eis van een maximale zetting van 20 cm in 30 jaar kan het zijn dat de zetting meer gaat bedragen dan de eis.

3.5 Aanvullend onderzoek bodemdaling

Fugro adviseert om voor de volgende fase van het project aanvullend geotechnisch onderzoek te doen t.a.v. de autonome bodemdaling. Uitkomsten kunnen in het ontwerptraject leiden tot optimalisatie van het gewichtsneutraal ophogen.

We hebben SkyGeo medio augustus 2024 benaderd en gevraagd naar de haalbaarheid van een prognose van autonome bodemdaling (en kosten). In recent overleg met SkyGeo heeft men aangegeven dat op basis van metingen vanaf 2014 een prognose van autonome bodemdaling kan worden afgeleid (dit zou naar schatting 1,5 à 2 maanden duren).

Daarvoor dienen gedetailleerde bewerkte meetdata te worden opgevraagd (inclusief nauwkeurige analyse door SkyGeo) om op basis daarvan onderscheid te kunnen maken tussen zakking van wegen (en niet gefundeerde constructies) en zakking van op palen gefundeerde constructies. Dit is belangrijk omdat in de legenda bij de presentatie van metingen op bodemdalingskaart.nl is aangegeven dat de horizontale afwijking van de ligging van een meetpunt 10 m kan bedragen.

Het doel van een zakkingsprognose door SkyGeo (op basis van meetdata van satellieten uit het verleden) is tevens om te onderzoeken of de bodemdaling van de slappe grond door in het verleden aangebrachte ophogingen kan worden onderscheiden van andere achtergrondzettingen.

3.6 Beschouwing wegophoging met zand

Voor een wegreconstructie en wegophoging met ophoogzand is een beschouwing van de verwachte zettingen opgesteld. We maken onderscheid tussen een **netto ophoging** van **0,25 m** en **0,40 m** (voor resp. Coen van Boshuizenlaan en Meerkoet). De zettingen zijn berekend met een spreadsheet met het NEN-Bjerrum-isotachenmodel en autonome bodemdaling.

We hebben de onzekerheden in de bepaling van zettingen beschreven in het rapport, maar hierbij nog een resume:

- de zettingsparameters zijn afgeleid uit de samendrukkingsproeven op veen en klei, waarbij grote variatie in proefresultaten en relatief ongunstige waarden (ongunstiger dan waarden uit de NEN 9997-1) zijn gevonden;
- bovendien kan de grootte van de berekende zettingen fors toenemen indien de grensspanning in de veenlaag en

- de kleilaag wordt overschreden door belastingtoename (de grensspanning kon niet eenduidig vastgesteld worden);
- de autonome bodemdaling wordt in de isotachen-rekenmodellen op een te gunstige wijze verdisconteerd,
- waardoor over langere periode (30 jaren) een te lage autonome bodemdaling (kruipzettingen) wordt berekend.

Deze verschillende aspecten van onzekerheden voor bepaling van betrouwbare zettingen vormen de reden om geen toename van belasting / gewicht te adviseren. Bij een wegophoging met zand zal wel een belastingtoename optreden en dus zettingen optreden. De werkelijke zettingen kunnen echter aanzienlijk groter zijn dan de berekende zettingen.

De indicatieve resultaten van de zettingsberekeningen voor wegophoging met ophoogzand (zonder compensatie van de optreden zetting) zijn als volgt:

- voor netto wegophoging 0,25 m volgt eindzetting van circa 0,20 m (na circa 30 jaren);
- voor netto wegophoging 0,40 m volgt eindzetting van circa 0,25 m (na circa 30 jaren);
- het aandeel van de berekende autonome bodemdaling bedraagt circa 0,10 m.

Deze berekende zettingen zijn in vergelijking met de eis uit de LIOR van maximaal 0,20 m nog acceptabel.

Echter, daarbij moeten de onzekerheden in de zettingsberekeningen nog in beschouwing worden genomen. De autonome bodemdaling zal hoger zijn met naar verwachting indicatieve waarden van 0,20 m à 0,30 m en dus een toename van de bovenvermelde eindzettingen van 0,10 m à 0,20 m. Maar ook de berekende zettingen zonder autonome bodemdaling kunnen aanzienlijk hoger zijn indien de grensspanning wordt overschreden. Daardoor kunnen de zettingen nog eens toenemen met naar schatting 0,10 m à 0,20 m.

De indicatieve resultaten van de zettingsberekeningen voor wegophoging met ophoogzand en de onzekerheden zijn als volgt:

- voor netto wegophoging 0,25 m volgt eindzetting van 0,40 m à 0,60 m (na circa 30 jaar);
- voor netto wegophoging 0,40 m volgt eindzetting van 0,50 m à 0,70 m (na circa 30 jaar);
- het aandeel van de autonome bodemdaling bedraagt naar schatting 0,20 m à 0,30 m.

Deze berekende zettingen zijn in vergelijking met de eis uit de LIOR van maximaal 0,20 m niet acceptabel.

Een ophoging met ophoogzand is geen reële optie i.v.m. de grote zettingen die ontstaan.

4. Wegreconstructie en ophoging

4.1 Algemeen

Er zijn twee representatieve wegvakken beschouwd om de aanpak van de wegreconstructie en ophoging in wegvakken uit te werken (met een aanlegniveau van circa NAP -1,50 m). Daarvoor zijn proefstraat Meerkoet (met een maximale ophoging van 0,40 m) en Coen van Boshuizenlaan (met een minimale ophoging van 0,25 m) gekozen. De ophogingen voor de wegreconstructie zijn afgeleid uit de twee uitgewerkte dwarsprofielen (zie figuur 3 en 4).

4.2 Advies wegreconstructie

Op verzoek van de gemeente hebben wij in dit stadium van onderzoek advies uitgebracht over de aanpak van de wegreconstructie van de wijk Benning. Wij adviseren van een wegreconstructie zonder gewichtstoename door toepassing van licht ophoogmateriaal en ontgraving van een laag ophoogzand (dit wordt ookwel "belastingneutrale" ophoging genoemd).

In het oriënterend geotechnisch onderzoek zijn de ophoogmaterialen ophoogzand, Argex-zand, Yali-bims en glasschuim beschouwd. Toepassing van ophoogzand vervalt voor een wegreconstructie zonder gewichtstoename, omdat bij toepassing ervan geen reductie van gewichtstoename mogelijk is.

Met de drie lichte ophoogmaterialen kan een wegophoging zonder gewichtstoename worden gerealiseerd indien bij toepassing van de drie lichte ophoogmaterialen de volgende ontgravingen van ophoogzand worden toegepast (uitgaande van een bepaalde netto wegophoging) :

- bij toepassing glasschuim : ontgraving ophoogzand gelijk aan 0,5 x netto ophoging.];
- bij toepassing Argex-zand : ontgraving ophoogzand gelijk aan 1,0 x netto ophoging;
- bij toepassing Yali-bims : ontgraving ophoogzand gelijk aan 1,5 x netto ophoging.

De bruto ophoging wordt bepaald door volume-afname tijdens verdichting van ophoogmateriaal.

Bij toepassing van glasschuim moet rekening gehouden worden met volume-afname door verdichting en dit kan 25 % à 30 % bedragen (volgens info van Glasschuim Nederland BV).

Wij adviseren een wegophoging met toepassing van Argex-zand en zonder gewichtstoename na ophoging van het wegdek (daarvoor moet ophoogzand vervangen worden door Argex-zand). Argex-zand is de fractie 0-4 mm van Argex-korrels (afkomstig van geëxpandeerde Boomse klei). Het toepassen van Argex-zand onder de wegconstructie van menggranulaat en klinkerbestrating heeft de volgende voordelen (zie afwegingsmatrix in tabel 1):

1. Eenvoudige verwerking van Argex-zand tijdens de uitvoering en vergelijkbaar met ophoogzand; er zijn geen aanvullende maatregelen nodig door het inpakken van het lichte ophoogmateriaal met geotextiel zoals bij Yali-bims en glasschuim het geval is.

2. Dit is ook een voordeel tijdens de beheerfase: als men in de grond moet graven dan ligt er geen geotextiel dat verwijderd moet worden. Argex-zand is makkelijker te ontgraven en weer aanbrengen.
3. Nutbedrijven kunnen in de toekomst ook eenvoudiger werkzaamheden in Argex-zand uitvoeren dan bij Yali-bims of glasschuim: makkelijker ontgraven en weer aanbrengen. De netbeheerder van de gasleidingen, Stedin, heeft al bezwaren geuit op het toepassen van glasschuim.

Voor een belastingneutrale ophoging en netto wegophogingen van 0,25 m tot 0,40 m (conform de twee representatieve dwarsprofielen) is een extra ontgraving van ophoogzand nodig gelijk aan de wegophoging van 0,25 m tot 0,40 m (een beperkte laag ophoogzand wordt vervangen door het aanzienlijk lichtere Argex-zand). De uitvoering van de wegreconstructie wordt hierna kort toegelicht.

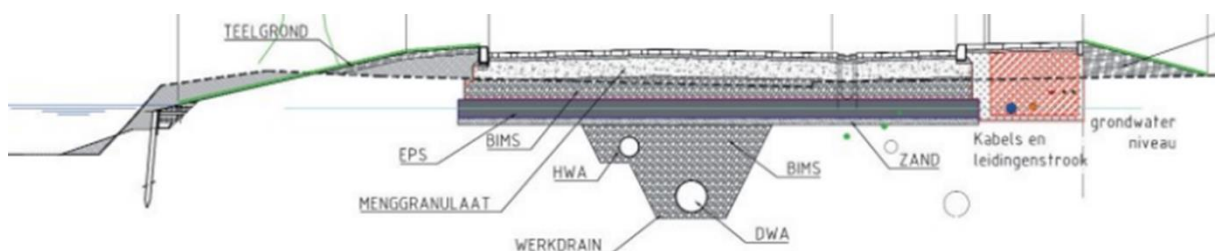
4.3 Maatregelen wegreconstructie

Het uitgangspunt voor de uitvoering van de wegreconstructie en ophoging is hergebruik van de klinkerbestrating en de bestaande funderingslaag van menggranulaat (deze laag menggranulaat in de wegconstructie moet onder de klinkerbestrating met straatzand teruggeplaatst worden).

Wij adviseren de volgende aanpak voor de uitvoering van de wegreconstructie :

- klinkerbestrating, straatzand en funderingslaag verwijderen en tijdelijk opslaan;
- daarna nog een laag ophoogzand ontgraven (ter grootte van de netto wegophoging);
- dan bestaande rioolbuis verwijderen en nieuwe riolering aanleggen (met toepassing van bemaling) en rioleringsleuf aanvullen;
- daarna ophogen tot de gewenste nieuwe hoogte met Argex-zand (licht ophoogmateriaal) en dan bij voorkeur "van gevel tot gevel";
- tenslotte de funderingslaag, straatzand en klinkersbestating weer aanbrengen.

Hierbij is het van belang dat de rioleringsleuf in het huidige tracé blijft en niet verlegd wordt. In onderstaande figuur is het globale principe van de wegreconstructie weergegeven (echter met andere lichte ophoogmaterialen, maar met rioleringsleuf en kabels en leidingen).



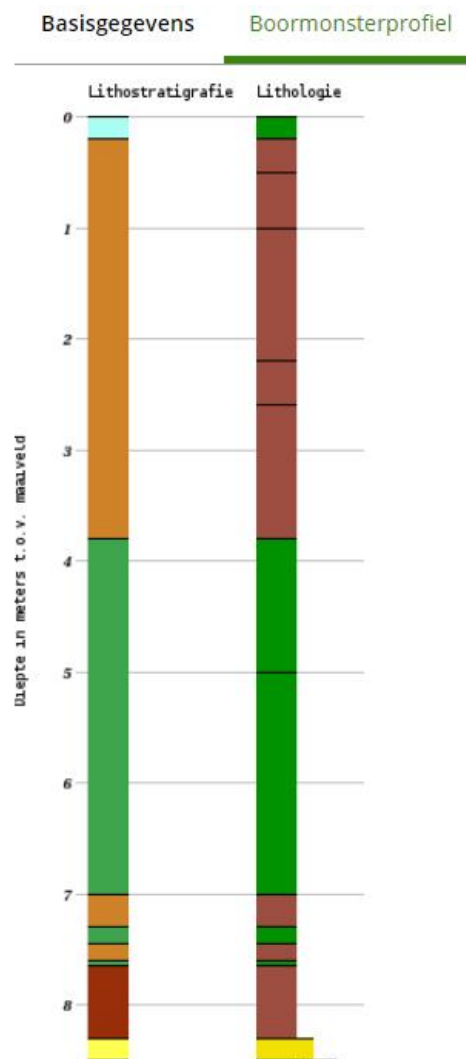
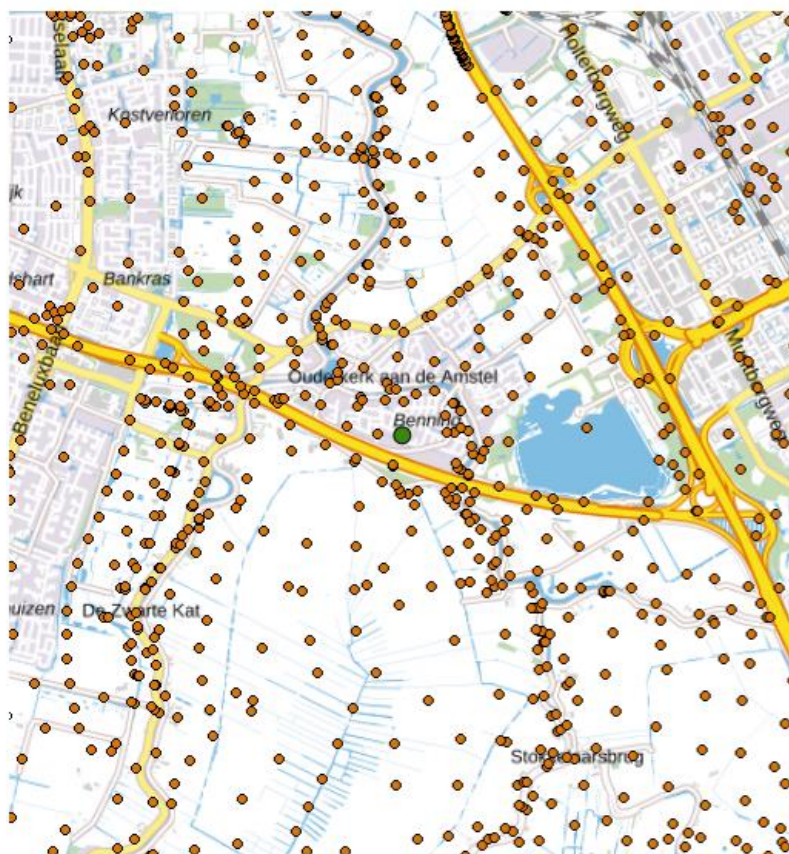
Figuur 8. Principe dwarsprofiel van wegreconstructie met klinkerbestating en menggranulaat

In bijlage 6 is het volledige dwarsprofiel weergegeven met enige toelichting op de maatregelen.

Bijlage 1 Bodemprofiel wijk Benning (oorspronkelijke bodemprofiel)

Geologisch booronderzoek

Identificatie B25G1415



Identificatie : B25G1415
 Coördinaten : 122400 , 478290 (RD)
 Maaiveld: -2.00 m t.o.v. NAP
 Beschikbare informatie: Digitale opnamegegevens
 Beschrijfmethode: NEN 5104
 Kwaliteit interpretatie: Geautomatiseerd toegekend

Lithostratigrafie

EC
 NIHO
 NAWO
 NI
 NIBA
 BXWI

Lithologie

Klei
 Zand midden categorie
 Veen

Bijlage 2a Wijk Benning (met integrale voorbelasting / zandophoging)



Bijlage 2b Wijk Benning (met indeling in fasen, info van Grontmij)



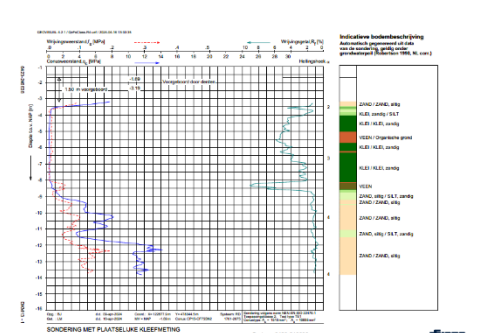
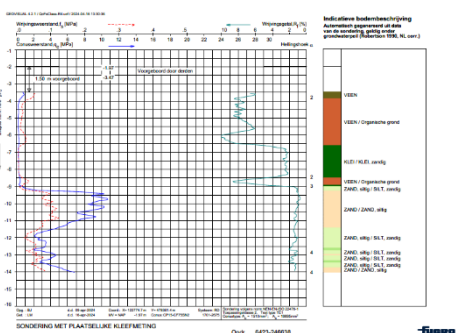
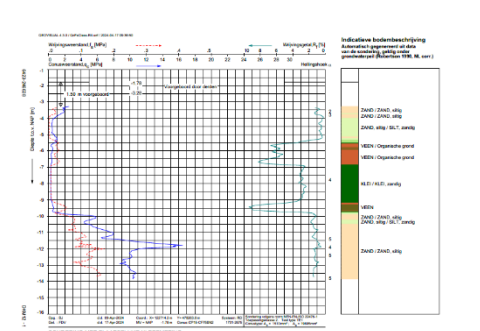
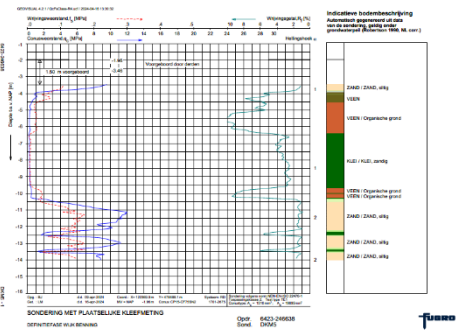
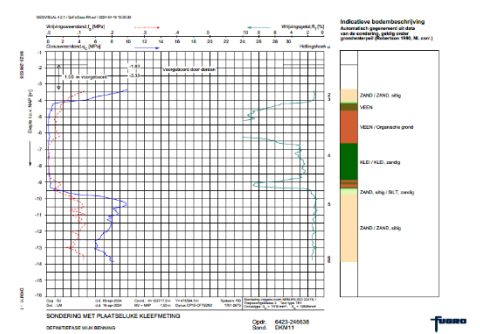
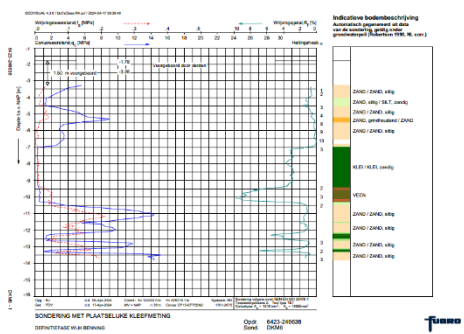
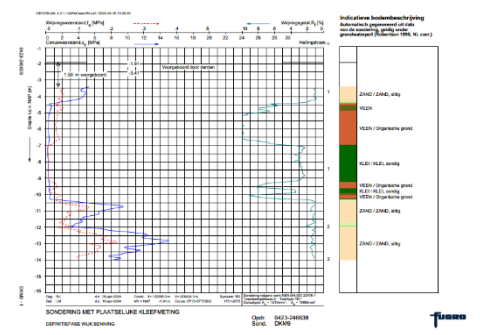
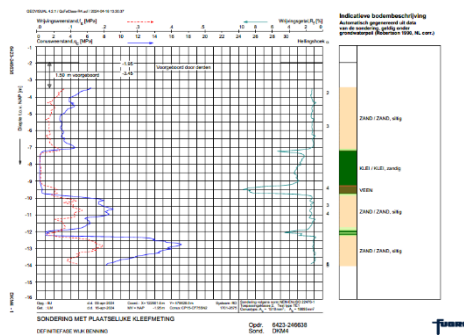
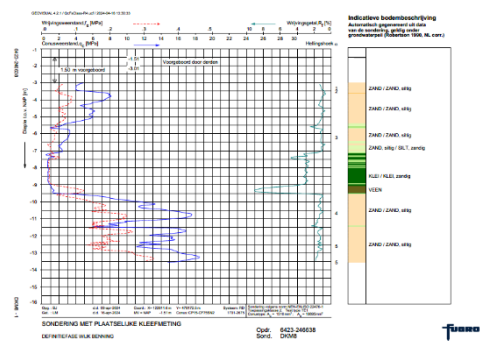
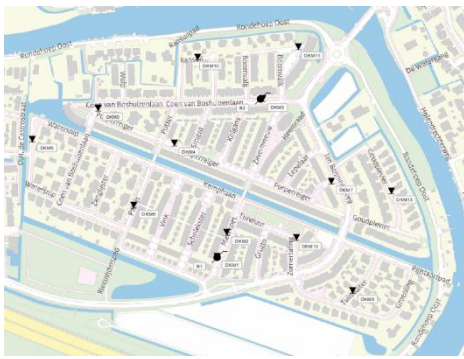
project: BESTEMMINGSPLAN 'BENNING' TE
 opdrachtgever: BOUWFONDS WONINGBOUW B.V.

Bijlage 3a

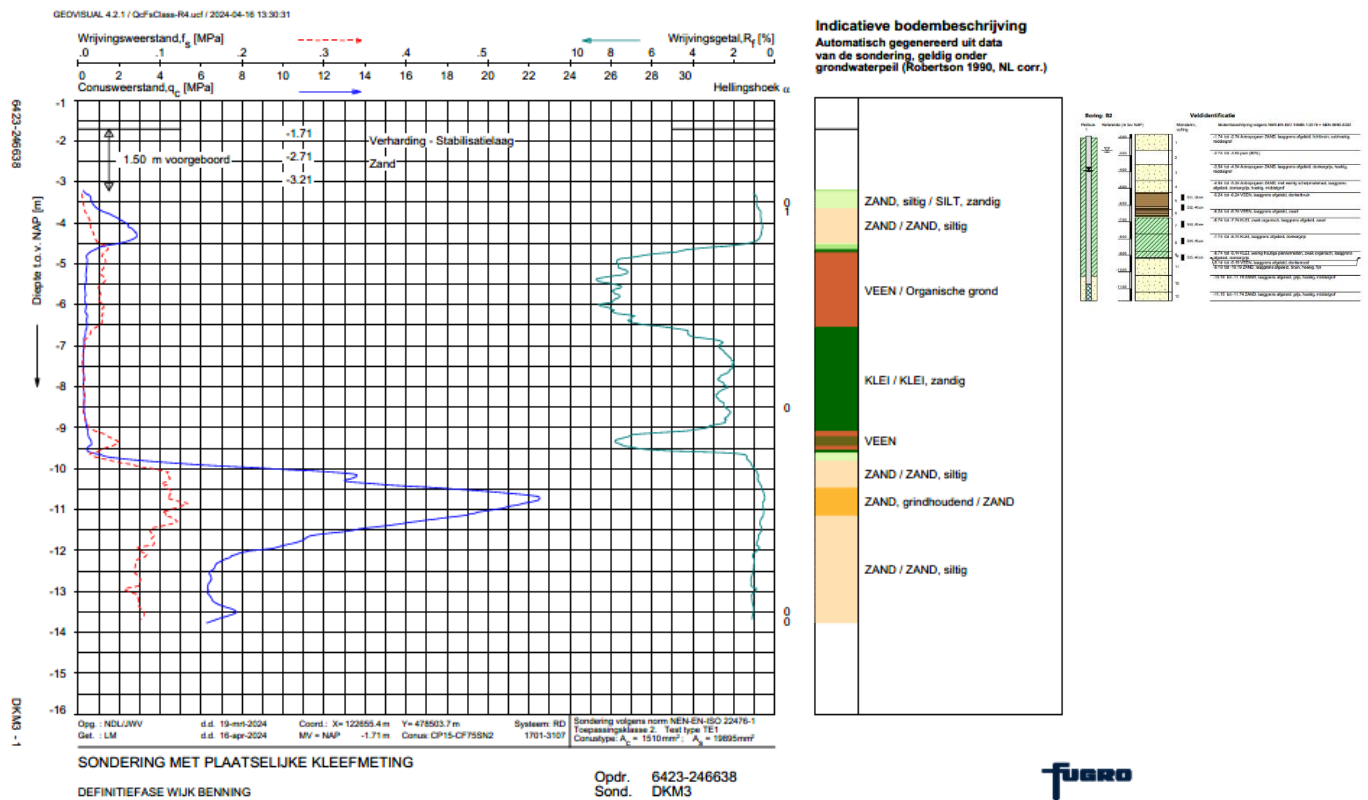
Wijk Benning (variatie opgebrachte zandlaag en sonderingen)



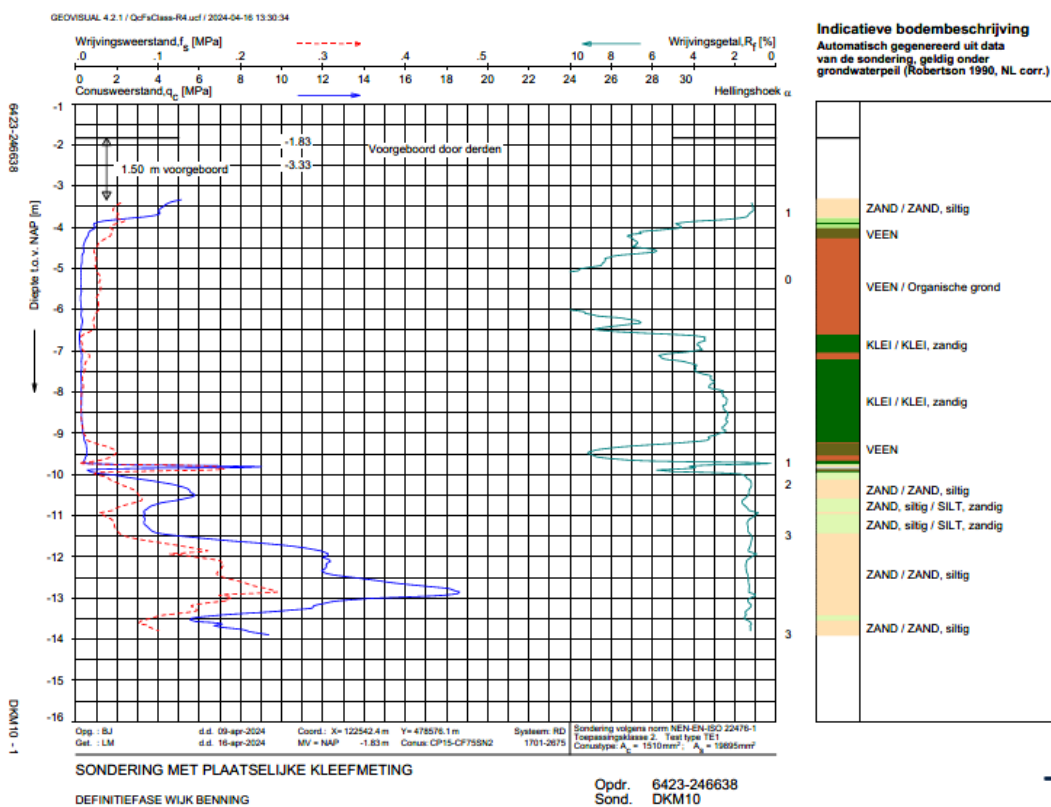
Bijlage 3b Wijk Benning – uitgevoerde sonderingen



Bijlage 4b Sonderingen Coen van Boshuizenlaan

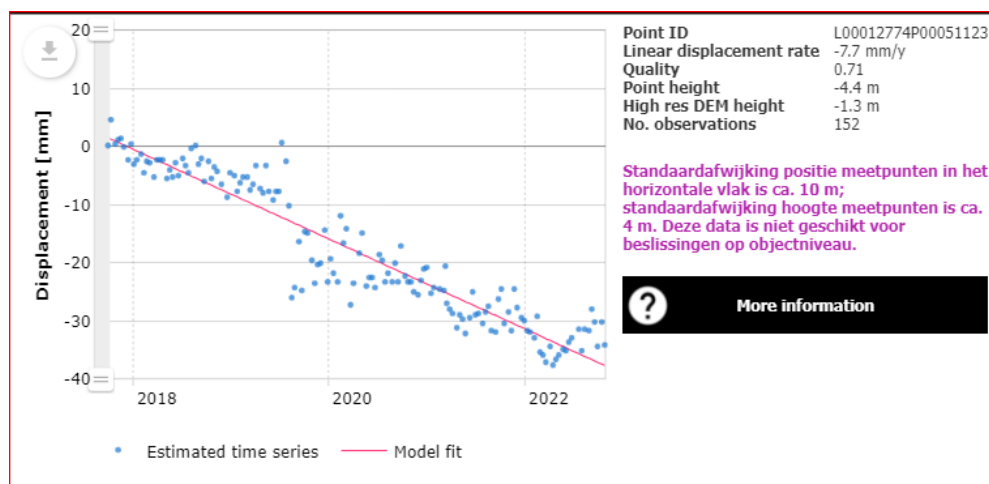


Sondering DKM 3 (april 2024) – ca. 2,8 m zand



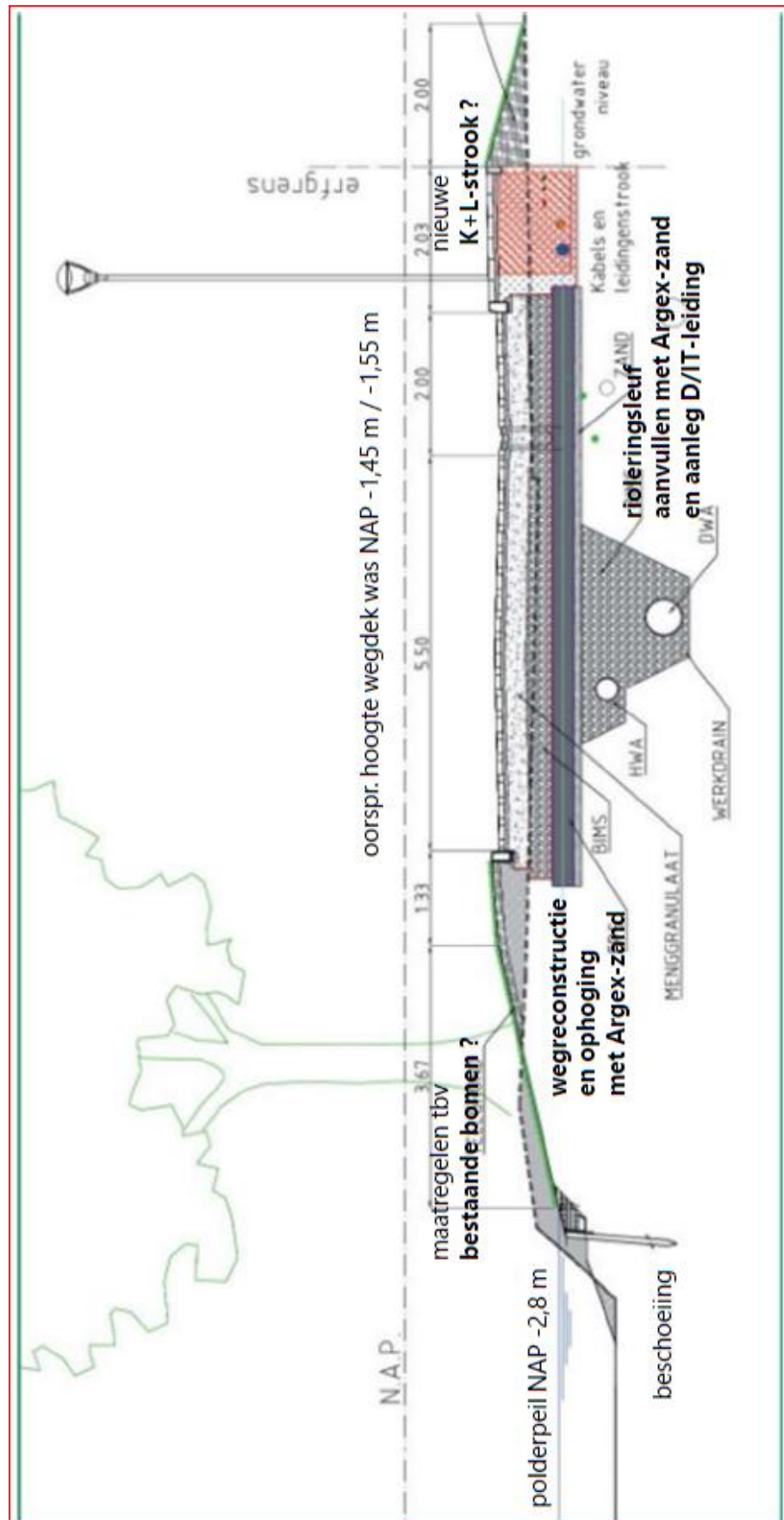
Sondering DKM 10 (april 2024) – ca. 2,0 m zand

Bijlage 5 Autonome bodemdaling Sky-Geo.com (InSAR-metingen)



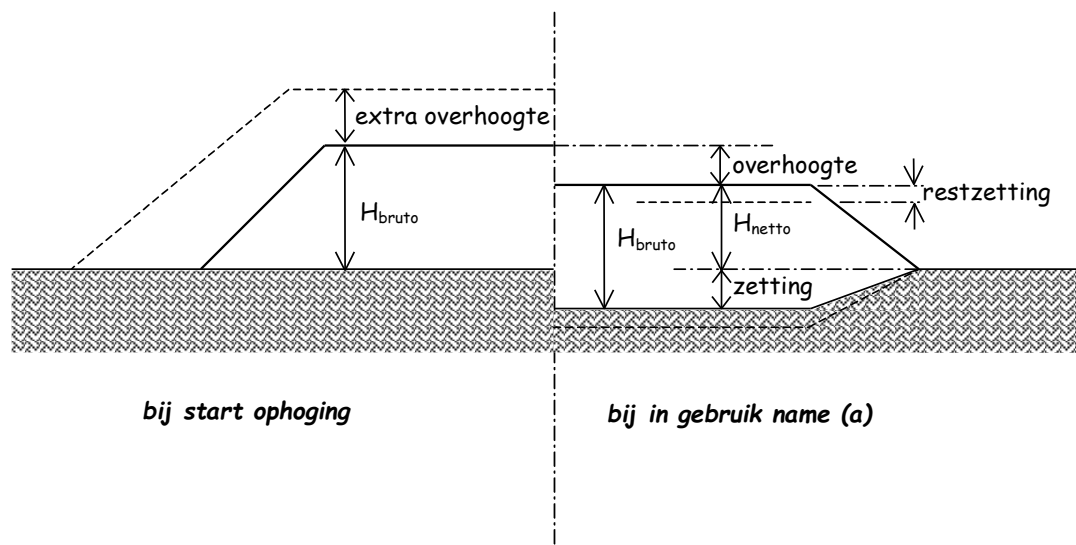
Bijlage 6

Principe-dwarsprofiel wegconstructie (met toelichting)

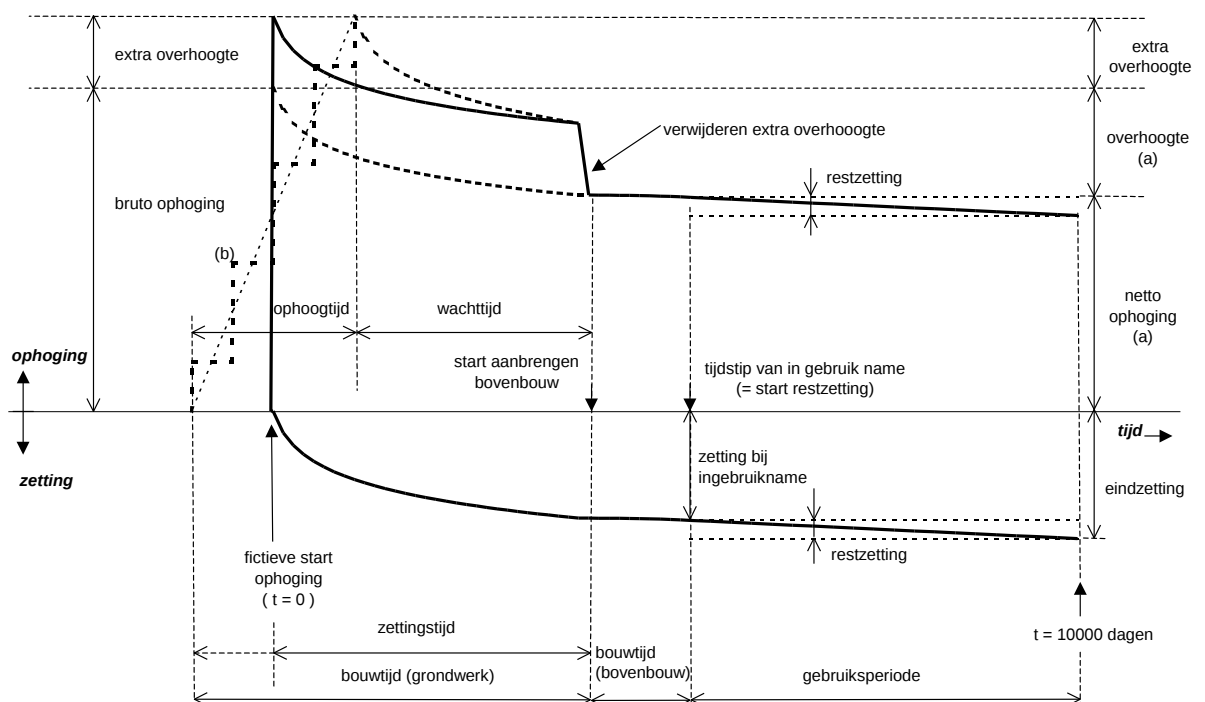


Bijlage 7 Lijst van begrippen en definities

Begrip	Omschrijving
Ophoging	Gedeelte van de grondconstructie dat boven het oorspronkelijk maaiveld uitsteekt.
Netto ophoging	Gedeelte van de grondconstructie dat na een arbitrair gekozen periode van 10000 dagen boven het oorspronkelijk maaiveld uitsteekt.
Bruto ophoging	Totale hoogte van de aangebrachte grondconstructie. bruto ophoging = netto ophoging + overhoogte
Overhoogte	Zandlaagdikte (hoeveelheid grond) die wordt aangebracht met het doel na zetting van de ondergrond de gewenste hoogte van de constructie te bereiken.
Extra overhoogte	Extra zandlaagdikte (hoeveelheid grond) die tijdelijk wordt aangebracht om zetting van het grondlichaam te bespoedigen.
Fictieve start ophoging	Tijdstip waarop een gefaseerde ophoging geacht wordt in zijn geheel aanwezig te zijn. Dit begrip wordt gebruikt indien in de berekening een gefaseerde ophoging wordt geschematiseerd tot een eenmalige ophoging van dezelfde grootte. Dit tijdstip wordt aangeduid met $t = 0$ en wordt, bij een gelijkmatige ophoogsnelheid, doorgaans halverwege de ophooftijd genomen; soms wordt 2/3 aangehouden.
Zetting	Geleidelijk en min of meer gelijkmatig afnemen van de hoogteligging van het maaiveld of de cunetbodem waarop de constructie is aangelegd.
Eindzetting	Zetting na een arbitrair gekozen periode van 10000 dagen (= circa 27 jaar) vanaf start ophoging. Soms wordt aangehouden: 10, 50 of 100 jaar.
Restzetting	Zetting die zich voordoet in een bepaalde periode vanaf de oplevering van de bovenbouw (verharding/spoorstaven).
Zettingsverschil	Verschil in zetting van twee locaties.
Achtergrondzetting of autonome zetting	Zetting ten gevolge van inklinking in polders door polderpeilverlaging, voortgaande zetting door vroegere ophogingen, gas- en zoutwinning en dergelijke.
Bouwtijd (grondwerk)	Tijdsduur vanaf begin ophoging tot begin aanbrengen verharding of spoorstaven.
Bouwtijd (bovenbouw)	Tijdsduur benodigd voor het aanbrengen van de verharding of de spoorstaven.
Ophooftijd	Tijdsduur vanaf begin ophoging tot tijdstip waarop bruto ophoging geheel aanwezig is.
Zettingstijd/ wachttijd	Tijdsduur die voor de slappe lagen beschikbaar is om te zetten (consolideren) onder het gewicht van de ophoging, voordat de verharding of bovenbouw wordt aangebracht (einde bouwtijd grondwerk).



Figuur 4.1: Toelichting terminologie in schematisch dwarsprofiel



Toelichting terminologie in ophoging - zetting - tijd - diagram

- Hier aangegeven: overhoogte is zetting bij ingebruikname; andere definitie is: overhoogte is eindzetting;
- De stippellijn geeft het theoretisch verloop van de ophoging weer; in werkelijkheid treedt tijdens de ophoofasen ook al zetting op.