

Gevolgen van bronbemaling Drachtstervaart

Zettingen en schade risico's ten gevolge van bronbemaling
voor het project "reconstructie Moleneind" te Drachten

Auteur: Hielke Koopmans
Onderdeel: Afstudeeropdracht
Richting: LWM, GWW



Titel	:	Gevolgen van bronbemaling Drachtstervaart
Ondertitel	:	Zettingen en schade risico's ten gevolge van bronbemaling voor het project "reconstructie Moleneind" te Drachten
Opdrachtgever	:	Van der Wiel Infra & Milieu BV te Drachten
Interne begeleider	:	Dhr. J. Posthumus
Akkoord	:	
Onderwijsinstelling	:	Hogeschool van Hall Larenstein te Velp
Externe begeleider	:	Dhr. Ir. H. van Rosmalen
Akkoord	:	
Datum	:	24 mei 2013
Versie	:	Definitief
Auteur	:	H. Koopmans
Studierichting	:	Land en Watermanagement, richting Grond- Weg- en Waterbouw
Onderdeel	:	Afstudeeropdracht
Akkoord	:	

**VAN DER WIEL**



Voorwoord

Voor u ligt het afstudeerrapport “gevolgen van bronbemaling Drachtstervaart”. Ik heb als vierdejaars student van Hogeschool van Hall Larenstein, richting Land en Watermanagement met de specialisatie Grond- Weg- en Waterbouw de afgelopen vier maanden aan dit afstudeerrapport gewerkt. Dit rapport is mede tot stand gekomen door mijn procesbegeleiders Dhr. J. Posthumus van Van der Wiel Infra & Milieu BV te Drachten, en Dhr. Ir. H. van Rosmalen van Hogeschool van Hall Larenstein te Velp. Hierbij wil ik beide bedanken voor de begeleiding van het proces voor mijn afstuderen.

Drachten, 24 mei 2013

Hielke Koopmans



Samenvatting

In de jaren '60 van de vorige eeuw is een deel van de Drachtstervaart gedempt, waardoor boten niet langer het centrum van Drachten konden bereiken. Tijdens het dempen van de vaart is een kokerriool geplaatst die als berging dient voor de riool overstorten.

Er zijn plannen ontstaan om de vaart weer open te graven, en zo het centrum met de boot weer bereikbaar te maken. Het traject waar de nieuwe vaart wordt gegraven loopt vanaf de Zuiderhogeweg tot het Carillon en is ongeveer 1100 meter lang. Onderdeel van het opnieuw opengraven van de vaart is het verwijderen van het oude kokerriool en het plaatsen van een nieuwe. Deze wordt in drie delen aangelegd. Tevens worden er drie bruggen aangelegd waarvoor landhoofden moeten worden aangebracht. Daarnaast dient een zinker onder de nieuwe vaart aangelegd te worden. Doordat deze zeven onderdelen van het werk onder de grondwaterstand worden aangelegd, is gekozen om gebruik te maken van bronbemaling zodat in den droge gewerkt kan worden.

De bodemopbouw is belangrijk voor het berekenen van de bronbemaling en vervolgens de zettingen. Het blijkt dat in het traject voornamelijk zand in de bovengrond voorkomt met daaronder leem. Er zijn enkele veenlagen aanwezig. Halverwege het traject is een dik zandpakket aanwezig die vrij ondiep ligt, waardoor er kans is dat bouwputten opbarsten doordat de stijghoogte (opwaartse druk) groter is dan de (neerwaartse) gronddruk. De bronbemaling is met Mwell gedimensioneerd, en het blijkt dat voor één bouwput (zinker Tjalling Wagenaarstraat) spanningsbemaling toegepast dient te worden. Voor de overige zes bouwputten kan worden volstaan met freatische bemaling. De debieten bij de spanningsbemaling zijn dermate hoog, dat hiervoor de meld- en registratieplicht, opgelegd door het Wetterskip Fryslân, van toepassing is.

Ten gevolge van de grondwaterstanddaling treden zettingen op, die met D-Settlement zijn berekend. De zettingen zijn berekend voor de meest schade gevoelige woningen, waarbij is gesteld dat woningen voor 1950 niet op palen gefundeerd zijn en dus zettinggevoeliger zijn. Voor elke bouwput is de schade onderzocht die het meest zettinggevoelige gebouw oploopt. Hierdoor ontstaat een worstcase scenario. Deze zettingen zijn getoetst aan de Eurocode 7 en de SBR273. De zettingen vallen binnen de grenzen van de Eurocode 7. Wanneer de zettingen getoetst worden aan de SBR273 blijkt dat alle zettingen lichte tot matige schade kunnen veroorzaken. Volgens beide normen kunnen twee situaties, ter plaatse van het Moleneind 220 en het historische gedeelte van Dunlop, dermate grote gevolgen hebben dat er maatregelen genomen moeten worden om de zettingen te beperken.

Om de zettingen te beperken zal de grondwaterstanddaling moeten worden tegengegaan. Daarvoor zijn twee oplossingen onderzocht, het plaatsen van een retourbemaling of een damwand. Het blijkt dat beide oplossingen gunstig zijn voor het tegengaan van zettingen. Het plaatsen van een damwand laat betere resultaten zien dan het plaatsen van een retourbemaling. Er dient wel rekening mee te worden gehouden dat het plaatsen en weer trekken van de damwand meer schade kan veroorzaken dan deze moet tegengaan (het middel is erger dan de kwaad).

Het plaatsen van retourbemaling of een damwand kan een dure aangelegenheid zijn. Een kostenanalyse kan aantonen of het plaatsen van één van de oplossingen kostentechnisch rendabel is. Echter, doordat de kosten van de schade zonder maatregelen moeilijk ingeschat kunnen worden, kan een juiste vergelijking niet plaatsvinden. Tevens zijn de kosten voor het plaatsen van een retourbemaling of damwand niet eenvoudig in te schatten doordat de kosten hiervan van vele factoren afhankelijk zijn. Er kan wel gesteld worden dat het plaatsen van een retourbemaling goedkoper zal zijn dan het plaatsen van een damwand. Om risico op schade te beperken kan het plaatsen van retourbemaling uitkomst bieden.



INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING.....	
VERKLARENDE WOORDEN- EN SYMBOLENLIJST	6
1 INLEIDING.....	7
2 SITUERING	9
2.1 GESCHIEDENIS	9
2.2 LIGGING PLANGEBIED	9
2.3 TOEKOMSTIGE SITUATIE.....	10
2.4 FASERING	10
2.5 KOKERRIOOL, LANDHOOFDEN EN ZINKER	11
3 WATERHUISHOUDING	12
3.1 GRONDWATERSTANDEN	12
3.2 HISTORISCHE GRONDWATERSTANDVERLAGINGEN	12
3.3 KEUZE GEBRUIK GRONDWATERSTAND.....	13
4 GRONDGESTELDHEID	14
4.1 GEOLOGIE	14
4.2 BODEMOPBOUW	14
4.3 LANGSDOORSNEDE VAN DE BODEM	16
4.4 GRONDEIGENSCHAPPEN	16
4.5 STABILITEIT BOUWPUTBODEMS	16
5 BRONBEMALING.....	21
5.1 PLANNEN	21
5.2 ZAKKEN GRONDWATERSTAND	21
5.3 TYPE BRONBEMALING	22
5.4 DOORLATENDHEID BODEM.....	22
5.5 BEREKENING MWELL	22
5.6 WATERBEZWAAR	26
6 FUNDERING GEBOUWEN	27
6.1 FUNDERING OP STAAL/PALEN	27
6.2 FUNDERING BEBOUWING MOLENEIND	27
7 ZETTINGEN	28
7.1 PARAMETERS ZETTINGBEREKENINGEN	28
7.2 ZETTINGBEREKENING ELEMENTEN.....	28
8 SCHADE, RISICO'S EN KOSTEN	32
8.1 SCHADE RISICO'S T.G.V. ZETTINGEN	32
8.2 MOGELIJKHEDEN TOT BEPERKEN SCHADE	34
8.3 ZETTINGVERGELIJKING.....	37
8.4 KOSTENANALYSE	38
CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN.....	39
BRONVERMELDING	40



BIJLAGE A: DRACHTEN IN DE 19E EN 20E EEUW	42
BIJLAGE B: HET MOLENEIND EN ZIJN OMGEVING	43
BIJLAGE C: TOEKOMSTIGE SITUATIE	44
BIJLAGE D: LOCATIE PEILBUIZEN EN PEILBUISGEGEVENS	45
BIJLAGE E: LOCATIES BORINGEN EN SONDERINGEN	47
BIJLAGE F: LANGSDOORSNEDE.....	49
BIJLAGE G: GRONDEIGENSCHAPPEN FUGRO RAPPORT 6006-0649-000	51
BIJLAGE H: BEREKENINGEN MWEEL.....	52
BIJLAGE I: INVENTARISATIE BOUWJAREN GEBOUWEN	60
BIJLAGE J: BODEMOPBOUW ONDERZOCHE GEBOUWEN	62
BIJLAGE K: BEREKENINGEN D-SETTLEMENT	64
BIJLAGE L: RICHTLIJNEN SCHADE RISICO'S VOLGENS SBR273	78
BIJLAGE M: BEREKENINGEN RETOURBEMALING EN DAMWAND BRUG ZUIDERHOGEWEG	79
BIJLAGE N: BEREKENINGEN RETOURBEMALING EN DAMWAND BRUG TJALLING WAGENAARSTRAAT	86



Verklarende woorden- en symbolenlijst

Woordenlijst

D-Settlement:	Modelleringsprogramma ontwikkeld door Deltares om zettingen te berekenen.
Kokerriool:	Betonnen koker die dienst doet als bassin bij het overstorten van het riool Wanneer dit riool zich vult wordt deze leeggepompt door middel van een ledigingemaal, en bij extreme regenval stort de koker over op het buitenwater.
Landhoofd:	De overgang van kunstwerk naar het land, brengt de verticale krachten van het brugdek over op de ondergrond.
Leem:	Grondsoort die voornamelijk uit silt (korrelgrootte van 2-64 micrometer) bestaat.
Mwell:	Modelleringsprogramma ontwikkeld door Deltares om bronbemaling te ontwerpen en berekeningen uit te voeren.
Eurocode 7:	Norm voor de eisen en bepalingsmethoden voor zakking en rotatie van geotechnische constructies. Opvolger van de NEN6740.
SBR273:	Norm voor schade aan gebouwen ten gevolge van zakking.
Terzaghi:	Manier om zettingberekeningen uit te voeren, uitgaande van een zettingperiode van 10.000 dagen.
Zinker:	Leiding die een watergang kruist, kan op of in de bodem van een watergang geplaatst zijn.

Symbolenlijst

γ_{sat} :	Verzadigd soortelijk gewicht van een grondsoort
γ_{dr} :	Droog soortelijk gewicht van een grondsoort
C_p :	Primaire samendrukbaarheid voor de grensspanning
C'_p :	Primaire samendrukbaarheid na de grensspanning
C_s :	Secundaire samendrukbaarheid (kruip) voor de grensspanning
C'_s :	Secundaire samendrukbaarheid (kruip) na de grensspanning
C_v :	Verticale consolidatie coëfficiënt



1 Inleiding

Aanleiding

In de jaren zestig van de vorige eeuw is de Drachtstervaart, in het centrum van Drachten, in fases gedempt. Er zijn plannen ontstaan om deze weer open te graven, en zo het centrum met de boot weer bereikbaar te maken.

Het nieuwe deel van de Drachtstervaart wordt aangelegd vanaf de Zuiderhogeweg tot aan het centrum, het Carillon. In het traject van de gedempte vaart ligt een kokerriool die dient als berging voor de riool overstorten. Deze dient verlegd te worden zodat de berging van het DWA-water gewaarborgd blijft. Tevens komen er drie bruggen en een rioolzinker in het traject. Om het kokerriool, de landhoofden van de bruggen en de zinker in het droge aan te kunnen leggen, wordt gebruik gemaakt van bronbemaling.

Probleemstelling

De grondwaterstanddaling ten gevolge van de bronbemaling kan zettingen tot gevolg hebben waardoor de woningen, die aan weerszijden van het traject staan, kunnen gaan zakken. Schade ten gevolge van deze zettingen is niet wenselijk, waardoor onderzocht dient te worden *of* en hoeveel zetting er plaatsvindt. Daarnaast wordt gekeken naar de schade die eventueel ontstaat ten gevolge van de zettingen. Tevens is gekeken naar oplossingen om de schade te beperken, en of de effecten hiervan voldoende zijn om de schade aanzienlijk te beperken.

Hoofdvraag

Leidraad in dit onderzoek is de hoofdvraag:

“Heeft het plaatsen van bronbemaling, voor het aanleggen van een kokerriool, landhoofden en een zinker, en de daardoor volgende grondwaterstandverlaging en zettingen gevolgen op de stabiliteit van de naastgelegen woningen, en hoe kunnen eventuele schade risico's die daardoor aan de woningen ontstaan worden verminderd zonder dat er extreem hoge kosten aan verbonden zijn?”

Deelvragen

Om het onderzoek overzichtelijk te houden wordt de hoofdvraag opgedeeld in deelvragen. Deze luiden als volgt:

- Hoe ziet de huidige grondgesteldheid eruit en wat is de huidige grondwaterstand?
- Tot welke diepte dient het grondwater verlaagd te worden om in den droge te kunnen werken?
- Welk type bronbemaling dient te worden toegepast, met welke intensiteit wordt het grondwater aan de bodem onttrokken en hoelang wordt de bronbemaling ingezet?
- Wat is de grondwaterstandverlaging ten gevolge van de bronbemaling, en hoe groot is het invloedsgebied?
- Hoe zijn de woningen gefundeerd die binnen het gebied liggen van de grondwaterstandverlaging?



- Hoeveel zetting treedt er op ten gevolge van de grondwaterstandverlaging aan de voor- en achterzijde van de woningen, en hoeveel zettingverschil geeft dit?
- Wat is de invloed van de zettingen die ontstaan op de voor- en achterzijde van de woningen?
- Wat voor schade risico's zijn er ten gevolge van de zakkingen ter plaatse van de woningen?
- Hoe kunnen de schade risico's ter plaatse van de woningen worden beperkt?
- Wat zijn de kosten van de (eventuele) maatregelen die genomen moeten worden om schade risico's tegen te gaan, en hoe wegen deze op tegen de schade?

Doelstelling

Het rapport zal inzicht geven in de gevolgen van zettingen ter plaatse van woningen ten gevolge van het plaatsen van bronbemaling. Daarnaast wordt gekeken hoeveel schade dit veroorzaakt en wat eventuele oplossingen zijn voor het tegengaan van zettingen ter plaatse van de woningen.

Werkwijze

De deelvragen worden beantwoord, zodat ook een antwoord kan worden gegeven op de hoofdvraag. Om de deelvragen te beantwoorden is van verschillende technieken gebruik gemaakt. Zo zijn boorgegevens, grondwaterstanden, tekeningen, rekenprogramma's en deskundige kennis gebruikt.

Publiek

Dit rapport is in eerste instantie geschreven voor medewerkers van Van der Wiel Infra & Milieu BV te Drachten, die direct bezig zijn met het project "reconstructie Moleneind". Het onderdeel schaderisico's kan interessant zijn voor de verzekeraar. Daarnaast is dit rapport geschreven als afstudeerrapport voor Hogeschool van Hall Larenstein te Velp, in het bijzonder voor de afstudeerbegeleider Dhr. ir. H. van Rosmalen. Tevens kan dit rapport interessant zijn voor onderzoekers op het gebied van zettingen ter plaatse van woningen ten gevolge van bronbemaling, waarbij zowel de schade risico's en effecten van maatregelen onderzocht worden.

Opbouw

Het rapport bestaat uit 8 hoofdstukken. Het eerste hoofdstuk is de inleiding. Hoofdstuk twee beschrijft de voormalige, huidige en toekomstige situatie van de reconstructie van het Moleneind. In het derde hoofdstuk wordt de grondwaterstand bekeken. Het vierde hoofdstuk beschrijft de bodemopbouw van het plangebied. In het vijfde hoofdstuk wordt de bronbemaling gemodelleerd, en wordt berekend hoeveel het grondwater zakt ten gevolge van de bronbemaling. Het zesde hoofdstuk is een onderzoek naar de funderingen van de gebouwen die binnen het gebied van de grondwaterstandverlaging liggen. Hoofdstuk zeven beschrijft de zettingen die ontstaan ten gevolge van het zakken van de grondwaterstand. Hoofdstuk acht gaat in op de gevolgen van de zettingen, en maatregelen om deze te verminderen. Daarnaast wordt gekeken naar de effecten van de maatregelen.



2 Situering

De huidige situatie van het plangebied “reconstructie Moleneind” is volledig anders dan de te realiseren toekomstige situatie. De geschiedenis van het plangebied, de huidige ligging, de toekomstige situatie, de fasering van de plannen en de functie van het kokerriool, de landhoofden en de zinker zijn in dit hoofdstuk weergegeven.

2.1 Geschiedenis

Drachten, voorheen twee dorpen, is in de zeventiende eeuw ontstaan. In de gouden eeuw was er veel vraag naar turf als brandstof, waardoor veel veen werd afgegraven. Ook Drachten lag in een veenrijk gebied. Om dit turf af te voeren werden vaarten aangelegd, zodat boten gemakkelijk het turf konden vervoeren naar de Hollandse steden. Eén van deze vaarten was de Drachtster Compagnonsvaart, gegraven in 1641 (1).

Na het aanleggen van de Drachtstervaart begon het dorp snel te groeien. De werkgelegenheid was hoog, waardoor meer huizen werden gebouwd en het dorp groeide. Nadat de vraag naar turf afnam, stagneerde de groei van het dorp. Pas na de tweede wereldoorlog, in de jaren 50 wanneer Philips zijn fabriek vestigt, begon het dorp enorm uit te breiden. Dit heeft als gevolg dat in een hoog tempo woningen werden gebouwd, en het dorp groeide. Zo is er in de “oude” binnenstad een mix ontstaan van zeer oude- en relatief jonge woningen (2).

Het meest oostelijke deel van het Moleneind is het oudere gedeelte van Drachten, en dateert terug tot het ontstaan van Drachten. Het overige deel van het Moleneind bestaat uit woningen en bedrijven die vanaf de 19^e eeuw gebouwd zijn. Een impressie van de Drachtstervaart in de 19^e en 20^e eeuw is te vinden in bijlage A (p. 42)

Nadat de Drachtstervaart uit gebruik raakte, slibde deze langzaam aan dicht en begon te stinken. Er werd besloten om de Drachtstervaart gedeeltelijk dicht te gooien. Zo werd het centrum, voor het groeiende aantal auto's en vrachtwagens, beter bereikbaar en konden winkels groeien. Een bijkomend voordeel was dat nu gemakkelijk riolering, kabels en leidingen aangelegd konden worden in de voormalige vaart. Probleem was dat het riool voorheen overstortte op de vaart. Daardoor is een koker in het vaartprofiel aangelegd zodat het riool kon overstorten (3).

2.2 Ligging plangebied

De “reconstructie Moleneind” is gelegen in Drachten, een groot dorp in het oosten van Friesland. Vanaf de Zuiderhogeweg loopt het Moleneind in oostelijke richting, en eindigt in het centrum van Drachten. De straat is ruim 1000 meter lang, en is in gebruik als één van de hoofdwegen om in het centrum te komen. Vanaf de Zuiderhogeweg tot aan de Oude Nering bestaat het Moleneind uit een noord- en zuidzijde. Aan weerszijden van het Moleneind staan voornamelijk vrijstaande woningen en bedrijfspanden.

Het traject vanaf de Oude Nering tot aan het centrum is doodlopend voor auto's. Vanaf hier begint het centrum van Drachten, kenmerkend door de vele winkels. Het einde van het traject is het Carillon, een kunstwerk ter herinnering aan de oude ophaalbrug over de Drachtster Compagnonvaart die hier ooit heeft gelegen (4). De ligging van het Moleneind, en alle bijzonderheden rondom het Moleneind, is te vinden in bijlage B (p 43)



2.3 Toekomstige situatie

Door Viadrupsteen is een impressie gemaakt van de toekomstige situatie van het project “reconstructie Moleneind”. Deze geeft een zeer duidelijk beeld van wat er allemaal zichtbaar is als het project is afgerond. Zo zal er in de toekomst een vaart, een haventje en drie bruggen liggen. In bijlage C (p. 44) is een visualisering van de toekomstige situatie opgenomen (5). De gehele toekomstige situatie is terug te vinden op www.viadrupsteen.nl/drachtstervaart. Wat zich onder de grond heeft afgespeeld, is niet op de website terug te vinden.

Over het gehele traject wordt een kokerriool ter vervanging van het oude kokerriool aangelegd. Deze zal als oeverbescherming aan de noordzijde van de Drachtstervaart dienen. Dit riool ligt volledig ondergronds, samen met het nieuwe HWA en DWA riool en de nieuwe kabels en leidingen. Tevens zijn er landhoofden van bruggen geplaatst.

2.4 Fasering

De reconstructie van het Moleneind is in zes fases opgedeeld. Deze zijn zo ingericht dat na de voltooiing van één fase, de andere meteen aansluit.

Fase één betreft het aanleggen van een omleiding ten behoeve van de aanleg van een brug in de Zuiderhogeweg. Deze fase is in 2008 uitgevoerd en voltooid.

De tweede fase betreft de bouw van de brug in de Zuiderhogeweg. Hierbij worden eerst de landhoofden van de brug en een gedeelte van het kokerriool aangelegd. Daarna zal een zettingsperiode volgen van 3 maanden. Zodra deze periode is afgelopen zullen de zettingen worden geëvalueerd en wordt het brugdek gebouwd. Voor het aanleggen van de landhoofden wordt bronbemaling toegepast.

De derde fase richt zich op het stuk vanaf de Zuiderhogeweg tot aan de Tjalling Wagenaarstraat. Aan de noordkant wordt het kokerriool en de riolering aangelegd, waarna er wordt bestraat. Tevens wordt er in de Tjalling Wagenaarstraat een zinker aangelegd. Om dit kokerriool en de zinker aan te leggen wordt bronbemaling toegepast, zodat in den droge kan worden gewerkt. Daarna wordt aan de zuidzijde de riolering aangebracht, en komt de bestrating erin. Als laatste onderdeel van deze fase wordt de vaart uitgegraven.

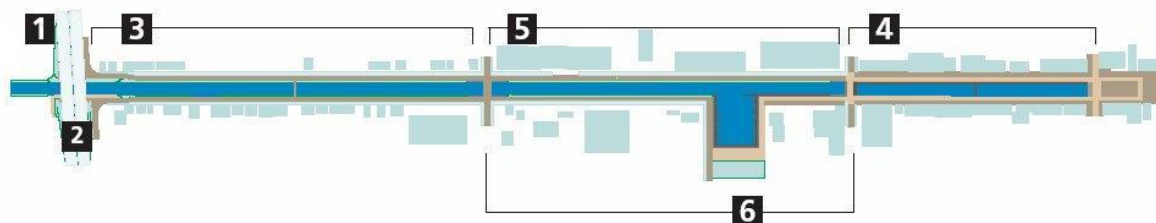
De vierde fase start vanaf het Carillon tot aan de Oude Nering. Evenals in fase drie, wordt eerst het kokerriool en de riolering aan de noordzijde aangelegd waarna er wordt bestraat. Ook hier wordt voor het aanleggen van het kokerriool bronbemaling toegepast. Daarna beginnen de werkzaamheden aan de zuidzijde, waarbij de riolering wordt aangelegd. Na voltooiing wordt er bestraat. Wanneer dit voltooid is wordt de vaart uitgegraven.

De vijfde fase betreft de herinrichting vanaf de Oude Nering tot de Tjalling Wagenaarstraat. Ook hier wordt aan de noordzijde het kokerriool en de riolering aangelegd waarvoor bronbemaling wordt toegepast om droog te kunnen werken. Daarna komt de bestrating erin. De zuidzijde volgt met het aanleggen van de riolering en vervolgens wordt de bestrating aangebracht. Als laatste onderdeel van deze fase wordt de vaart uitgegraven.

De laatste fase betreft de aanleg van twee verkeersbruggen in de Tjalling Wagenaarstraat en in de Oude Nering. Voor het aanleggen van de landhoofden wordt bronbemaling toegepast(6).



Een overzicht van de fasering van het project is te vinden in figuur 2.1.



Figuur 2.1: Fasering van het project "reconstructie Moleneind"

2.5 Kokerriool, landhoofden en zinker

Zoals uit subhoofdstuk 2.4 blijkt, zullen voor het aanleggen van het kokerriool, de landhoofden van de bruggen en de zinker bronbemaling worden toegepast. Dit is noodzakelijk zodat in den droge gewerkt kan worden.

Het kokerriool wordt aangelegd als groot bergbezinkbassin zodat het gemengde rioolstelsel erop kan overstorten. Bij zeer extreme regenval stort de koker over in de haven, echter in de meeste gevallen wordt hij weer leeggepompt door middel van een ledigingsgemaal. Deze pompt het water terug het DWA stelsel in. De landhoofden zijn ervoor om het gewicht, oftewel de verticale krachten, van de brug over te brengen op de ondergrond. Een zinker is een leiding, in dit geval een riool, die onder water ligt. Deze zal dieper dan de bodem van de vaart komen te liggen om eventuele schade aan de zinker te voorkomen.

De aanleg, verlaging- en maaiveld hoogtes en afmetingen van het kokerriool, de landhoofden en de zinker staan in tabel 2.1.

Element	Afmetingen bouwput L x B (m)	Maaiveld hoogte (m t.o.v. NAP)	Aanleghoogte (m t.o.v. NAP)	Verlaginghoogte (m t.o.v. NAP)
Kokerriool (Zuiderhogeweg tot Tjalling Wagenaarstraat, fase 3)	560 x 2 (in strengen van 60 x 2)	1.31+	-3,50	-4.00
Kokerriool (Carillon tot Oude Nering, fase 4)	320 x 2 (in strengen van 60 x 2)	0.80+	-3,50	-4.00
Kokerriool (Oude Nering tot Tjalling Wagenaarstraat, fase 5)	190 x 2 (in strengen van 60 x 2)	0.82+	-3,50	-4.00
Brug Zuiderhogeweg	40 x 20	1.31+	-3,20	-3.70
Brug Tjalling Wagenaarstraat	18 x 12	0.96+	-2,25	-2.75
Brug Oude Nering	18 x 12	0.82+	-2,25	-2.75
Zinker Tjalling Wagenaarstraat	15 x 5	0.96+	-5,00	-5.50

Tabel 2.1: Aanleghoogtes per element

Het aanbrengen van het kokerriool wordt in korte segmenten opgedeeld waardoor de bemalingsduur, en dus ook het schaderisico, verminderd wordt.

3 Waterhuishouding

Belangrijk voor het onderzoek is de waterhuishouding van het gebied. Gegevens m.b.t. de grondwaterstanden zijn nodig zodat de bronbemaling gedimensioneerd kan worden. Tevens zijn ze nodig om zettingberekeningen uit te kunnen voeren.

3.1 Grondwaterstanden

De grondwaterstanden zijn bepaald aan de hand van meetgegevens van Dinoloket. Over het gehele traject zijn er meerdere peilbuisgegevens gebruikt om de gemiddelde hoogste- en de gemiddelde laagste grondwaterstanden (GHG en GLG) te bepalen.

De peilbuizen die gebruikt zijn, staan in tabel 3.1 weergegeven. Tevens zijn alle peilbuisgegevens en hun exacte locatie opgenomen in bijlage D (p. 45).

Peilbuisnummer	Locatie	GHG	GLG	Peildatums
B11E0028	Moleneind t.h.v. Dunlop	30cm +NAP	70cm -NAP	28-1-1966 tot 27-9-1991
B11E0271	Leerlooiersstraat	40cm +NAP	69cm -NAP	14-1-1983 tot 26-6-2012
B11E0209	Eize bosstraat	75cm +NAP	40cm -NAP	14-3-1968 tot 28-4-1986

Tabel 3.1: Peilbuisgegevens (7)

De twee meest representatieve grondwaterstanden uit Dinoloket zijn die van peilbuizen B11E0028 en B11E0209. Deze bevinden zich het dichtst bij de toekomstige bouwputten, en zullen worden gebruikt om verdere berekeningen mee uit te voeren. Het filter van peilbuis B11E0209 is ondiep geplaatst, en geeft de grondwaterstand weer. Het filter van peilbuis B11E0028 is geplaatst in het watervoerende pakket onder de leemlaag. De waterstanden tonen eenzelfde hoogte. Hierdoor wordt aangenomen dat de stijghoogte vanuit het watervoerende pakket even hoog ligt als de GHG. De GHG wordt gesteld op 40cm+ NAP, en de GLG op 70cm –NAP.

3.2 Historische grondwaterstandverlagingen

In de jaren '60 van de vorige eeuw is de Drachtstervaart gedempt. Om deze te dempen, is de vaart afgedamd en leeggepompt. Dit zou logischerwijs als gevolg hebben gehad dat de grondwaterstand in de directe omgeving gezakt is. Afhankelijk van de duur van de grondwaterstandverlaging, kan worden gekeken hoeveel zettingen er in die periode hebben plaatsgevonden. Oude films van de demping van de vaart tonen aan dat het water door middel van open bemaling wordt weggepompt.

Het kokerriool, dat in het midden van de gedempte vaart ligt, is op een funderingsplaat op de bodem van de vaart geplaatst. De BOB van het kokerriool ligt in het centrum op 1.46m –NAP, en bij de Zuiderhogeweg op 2.57m –NAP. De dikte van het kokerriool wordt geschat op 15cm, de dikte van de funderingsplaat op 20cm. De laagste grondwaterstand zal respectievelijk op minimaal 1.81m –NAP en 2.92m –NAP hebben gestaan ter plaatse van het kokerriool. Er wordt vanuit gegaan dat alle werkzaamheden rondom het dempen van de Drachtstervaart enkele maanden in beslag hebben genomen.

Ten gevolge van de open bemaling zal de grondwaterstand rondom het kokerriool ook verlaagd zijn. De in subhoofdstuk 3.1 opgenomen peilbuis B11E0028 zou deze grondwaterstandverlaging moeten weergeven doordat deze peilbuis ten tijde van het droogpompen van de Drachtstervaart reeds



aanwezig was. Uit deze peilbuisgegevens blijkt echter dat er geen directe relatie te vinden is tussen de grondwaterstandverlaging ten gevolge van de open bemaling, en de meetgegevens van de peilbuis. Onderzoek naar andere peilbuizen die deze grondwaterstanddaling zouden moeten hebben gemeten, tonen geen significant verschil in de grondwaterstanden aan. Hierdoor valt niet te achterhalen of de open bemaling invloed heeft gehad op de plaatselijke grondwaterstand, en daarmee zettingen heeft veroorzaakt. Toch kan er vanuit worden gegaan dat de open bemaling invloed heeft gehad op de grondwaterstand doordat er open bemaling heeft plaatsgevonden. Eventuele berekeningen zullen deze grondwaterstandverlaging niet moeten uitsluiten.

3.3 Keuze gebruik grondwaterstand

Voor het berekenen van de zettingen en de intensiteit van de bronbemaling, zal gebruik moeten worden gemaakt van een grondwaterstand die representatief is voor het gehele gebied. De keuze die gemaakt moet worden is die tussen de GHG, de GLG en de historisch laagste grondwaterstand. Voor het berekenen van de bronbemaling en de zettingen worden verschillende waterstanden gebruikt.

De gemiddelde hoogste grondwaterstand is voor het dimensioneren van de bronbemaling erg belangrijk, omdat dit de hoogste stand is waar vandaan het water moet zakken. Wanneer de GLG zou worden gebruikt, zou het systeem onder gedimensioneerd kunnen worden waardoor problemen met de waterhuishouding kan ontstaan. Er is gekozen om beide grondwaterstanden uit te werken voor het dimensioneren van de bronbemaling, zodat een minimum debiet kan worden bepaald.

Voor zettingberekeningen wordt gebruik gemaakt van de gemiddelde laagste grondwaterstand, en de historische grondwaterstand. Alle grondlagen boven de GLG zijn al in zoverre gezet, dat eventuele zettingen in deze lagen hoogst onwaarschijnlijk zijn. De grondlagen tussen de GLG en de historische grondwaterstand kunnen reeds volledig gezet zijn. Daarom wordt ook deze situatie verder doorgerekend.



4 Grondgesteldheid

De opbouw van de bodem is van groot belang voor het onderzoeken van zettingen. Deze dient zo goed mogelijk onderzocht te worden, zodat een zo klein mogelijke foutmarge bij de zettingberekeningen behaald wordt. Daardoor wordt gekeken naar de geologie van het gebied door naar de ontstaansgeschiedenis te kijken. Daarnaast worden sonderingen, handboringen en mechanische boringen gebruikt om de bodemlagen te classificeren en hun eigenschappen te achterhalen. Nadat de bodemlagen bekend zijn, kunnen de parameters voor de zettingberekeningen worden bepaald.

4.1 Geologie

Drachten ligt op de grens van het noordelijk veengebied en het noordelijk zandgebied. Zowel laagveengebieden als lage zandgronden komen voor. In de ondiepe ondergrond komt keileem voor, met daarop plaatselijk voorkomende veenlagen. Mariene afzettingen ontbreken geheel (11).

4.2 Bodemopbouw

De bodemopbouw ter plaatse van de nieuwe Drachtstervaart is meerdere malen onderzocht. Dit is gedaan door Fugro d.m.v. handboringen, mechanische boringen en sonderingen. In totaal hebben er 21 handboringen, 5 mechanische boringen en 36 sonderingen plaatsgevonden. Daarnaast zijn door Wiertsema & Partners sonderingen uitgevoerd ter plaatse van de Zuiderhogeweg. Tijdens het plaatsen van peilbuizen door Envisio zijn de grondlagen ook in kaart gebracht. Alle sonderingen en boringen zijn opgenomen in een overzichtstekening die te vinden is in bijlage E (p. 47). De onderzoeken zijn in tabel 4.1 op datum gerangschikt.

Naam rapport	Datum rapport	Handboringen	Mechanische boringen	Sonderingen
5005-0323-000	15-07-2005	21 stuks (HB1 t/m HB21)	-	10 stuks (DKM1 t/m DKM 10)
6006-0649-000	December 2006	-	5 stuks (B1 t/m B5)	5 stuks (DKM100 t/m DKM 104)
VN-38267	27-02-2006	-	-	16 stuks (DKM1 t/m DKM16)
5005-0323-001	27-04-2007	-	-	21 stuks (DKMP200 t/m DKMP202)
EN02342	Februari 2013	14 stuks (PB16 t/m PB46)	-	-

Tabel 4.1: Onderzoeken uitgevoerd m.b.t. de bodemopbouw.

4.2.1 Handboringen

De handboringen van Fugro zijn enkele jaren geleden, tussen 8 en 14 juni 2005, geplaatst. Deze boringen geven een goed beeld van de bovenste lagen van de bodem, omdat de boringen niet dieper dan 4.36m- mv. zijn uitgevoerd. De handboringen zijn zeer belangrijk voor het maken van zettingberekeningen, omdat deze de ondiepe ondergrond betrouwbaar beschrijft. Uit de handboringen valt af te lezen dat tot 1,5m –NAP voornamelijk zand voorkomt, met daaronder leem. Enkel komen veenlagen voor, die variëren in dikte van 1,2 tot 0,1 meter. Opvallend is dat deze veenlagen voornamelijk in het westelijke deel van het plangebied voorkomen.

Daarnaast zijn er peilbuizen geplaatst, waarbij tegelijkertijd de grondopbouw in kaart is gebracht. Deze boringen tonen vrijwel hetzelfde beeld als de handboringen.



4.2.2 Mechanische boringen

De 5 mechanische boringen zijn geplaatst tussen 29 november en 8 december 2006. Deze geven een beeld van de opbouw van de grond tot maximaal 14 meter diepte. De boringen tonen aan dat de eerste paar meters uit zand bestaat, met daaronder leem, en een lokale matig leemhoudende zandlaag. De leemlagen zijn slap tot vast, en enkele zijn grindhoudend.

4.2.3 Sonderingen

De sonderingen zijn in vier sessies uitgevoerd. Elke sessie is verwerkt in een rapport, waarvan de resultaten in de volgende subparagrafen zijn uitgewerkt. Aan de sonderingen zijn bodemgegevens gekoppeld door de lagen te onderscheiden op grond van wrijvingsgetal en conusweerstand. Daarbij is rekening gehouden met de resultaten van de hand- en mechanische boringen.

4.2.3.1 Rapport 5005-0323-000

De sonderingen DKM1, DKM3, DKM5, DKM7 en DKM9 zijn zo veel mogelijk aan de noordzijde van het plangebied uitgevoerd, waarvan enkele hoogstwaarschijnlijk in de gedempte Drachtstervaart zijn geplaatst. De overige sonderingen DKM2, DKM4, DKM6, DKM8 en DKM10 zijn aan de zuidkant geplaatst.

Uit de sonderingen blijkt dat de bodemopbouw over het gehele traject van de nieuwe Drachtstervaart slechts kleine verschillen kent. Zo bestaat de bovenste laag (tot 2 m -NAP) veelal uit zand, met daaronder matig vaste tot vaste leemlagen. In vrijwel alle sonderingen komen (kleine) veenlagen voor, niet dieper dan 2m -NAP.

4.2.3.2 Rapport 6006-6049-000

In dit rapport zijn vijf sonderingen (DKM100 t/m DKM104) opgenomen, die allen in de noordzijde zijn geplaatst. Ze zijn om de 300 meter geplaatst, zodat het volledige tracé van het kokerriool in kaart wordt gebracht.

De sonderingen tonen aan dat er tot 2m -NAP zand voorkomt, met daaronder leemlagen. Tussen de leemlagen liggen (grote) zandlagen. Er zijn enkele veenlagen te onderscheiden.

4.2.3.3 Rapport 5005-0323-001

Het rapport geeft een beschrijving van 21 sonderingen, DKMP200 t/m DKMP220. Deze zijn aan de noordzijde, en ongeveer om de 50 meter, geplaatst. Deze boringen zijn het meest representatief voor het traject van het kokerriool, waardoor deze gegevens als maatgevend worden beschouwd.

De 21 sonderingen geven weer dat er tot maximaal 2m -NAP zand voorkomt, met daaronder veenlaagjes en leem. Het veen ligt op het leem, wat overeenkomt met de geologie van het gebied. De leemlagen worden sterk afgewisseld met zandlagen.

4.2.3.4 Rapport VN-38267

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wiertsema & Partners, en betreft sonderingen ter hoogte van de Zuiderhogeweg. Uit de sonderingen blijkt dat er een grote verscheidenheid aan grondlagen bevindt, op een klein oppervlakte. De bovengrond (tot 2m -NAP) bestaat uit zand, met daaronder leem en enkele zand- en veenlagen.



4.3 Langsdoorsnede van de bodem

Uit de onderzoeken blijkt dat er vele verschillende grondlagen zijn aangetroffen. Om bemaling- en zettingberekeningen uit te voeren dient een vereenvoudiging van de bodemopbouw plaats te vinden. Deze dient wel realistisch te zijn, en daarnaast goed te gebruiken voor het berekenen van debieten en zettingen. Daarom zijn de resultaten van het vorige subhoofdstuk tot een langsdoorsnede verwerkt. Tevens is aangegeven waar de bouwputten zich zullen bevinden, en wat de grondwaterstanden zijn. Aan de hand daarvan kunnen opbarst- en zetting berekeningen plaatsvinden.

De langsdoorsnede in bijlage F (p. 49) is gemaakt aan de hand van het onderzoek gedaan in subhoofdstuk 4.2. Niet alle boringen en sonderingen zijn hierin verwerkt, er is gekozen om de boringen te gebruiken die grotendeels op één lijn liggen aan de noordzijde van het Moleneind. Deze langsdoorsnede zal verder worden gebruikt om zettingen ten gevolge van de grondwaterstanddaling te meten, en het debiet van de bronbemaling te berekenen. In bijlage E (p. 47) is de locatie van de langsdoorsnede te vinden.

4.4 Grondeigenschappen

Alle grondsoorten hebben hun eigen eigenschappen. Zo zullen het volumegewicht en de samendrukkingconstanten per grondsoort verschillen.

Per grondsoort is onderzocht wat hun eigenschappen zijn. In het Fugro rapport 6006-0649-000 zijn onderzoeken gedaan naar de eigenschappen van de leemlagen. Deze zijn onderzocht door middel van de methode Keverling Buisman. De gegevens zijn in bijlage G (p. 51) te vinden

Daarnaast is via de norm NEN 6740 onderzocht wat de eigenschappen van de overige grondsoorten is. Een opsomming van de gevonden gegevens is in tabel 4.2 weergegeven.

Grondsoort	γ_{sat}	γ_{dr}	C_p	C_s	C'_p	C'_s	C_v
Cunet zand (matig vast, zwak siltig)	20	18	-	-	-	-	-
Veen	12	-			5	20	10^{-7}
Natuurlijk zand (vast, sterk lemig)	20	18	-	-	-	-	-
Leem (matig vast, zwak zandig)	20	17	109.4	1048.8	46.1	299.1	10^{-8}
Leem (vast, sterk zandig)	21	18.2	126.4	2052.7	67.2	770.6	10^{-8}

Tabel 4.2: Eigenschappen van de overige grondsoorten

4.5 Stabiliteit bouwputbodems

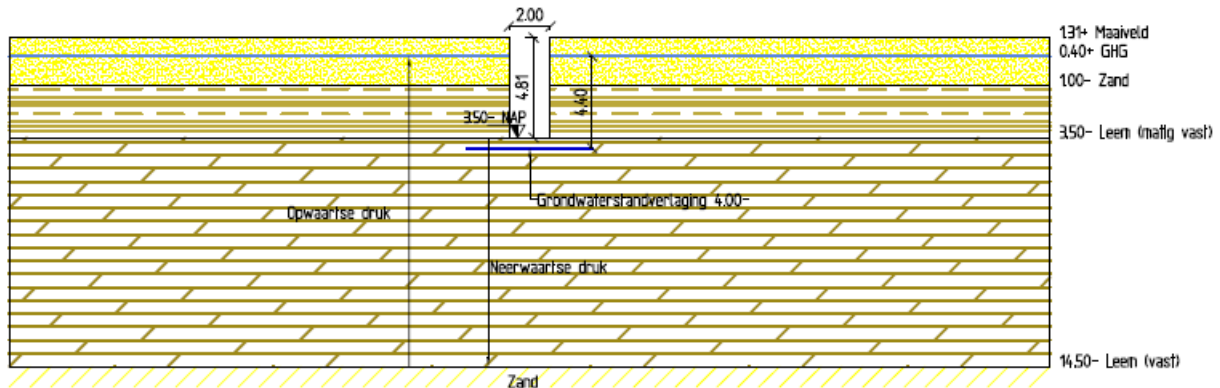
Om opbarsten van de bouwputbodems te voorkomen zullen stabiliteitsberekeningen worden toegepast. Dit is berekend met de evenwichtsberekening: neerwaartse druk > opwaartse druk. Daarbij wordt een veiligheidsfactor aangehouden van minimaal 1.1. De hoogste grondwaterstand waarmee gerekend wordt is 0.40m +NAP (tabel 3.1). De bodemopbouw is uit de langsdoorsnede gehaald.

Uit de langsdoorsnede blijkt dat de grondsoorten die dieper dan de boringen en sonderingen liggen, alszijnde de laatst geboorde grondsoort worden gerekend. Voor de opbarstberekeningen wordt er niet vanuit gegaan dat dit het geval is. Daarvoor wordt aangenomen dat onder de diepst geboorde grondsoort de zandlaag begint, zodat opbarstberekeningen nauwkeuriger kunnen worden uitgevoerd en een worstcase scenario ontstaat.



4.5.1 Kokerriool Zuiderhogeweg tot Tjalling Wagenaarstraat

De bouwputbodembodem voor het kokerriool vanaf de Zuiderhogeweg tot de Tjalling Wagenaarstraat komt op 3.50m –NAP te liggen. De grondwaterstand dient tot een halve meter onder de bouwputbodembodem verlaagd te worden, tot 4.00m –NAP. De GHG ligt op 0.40m+ NAP. Figuur 4.1 toont de bodemopbouw.



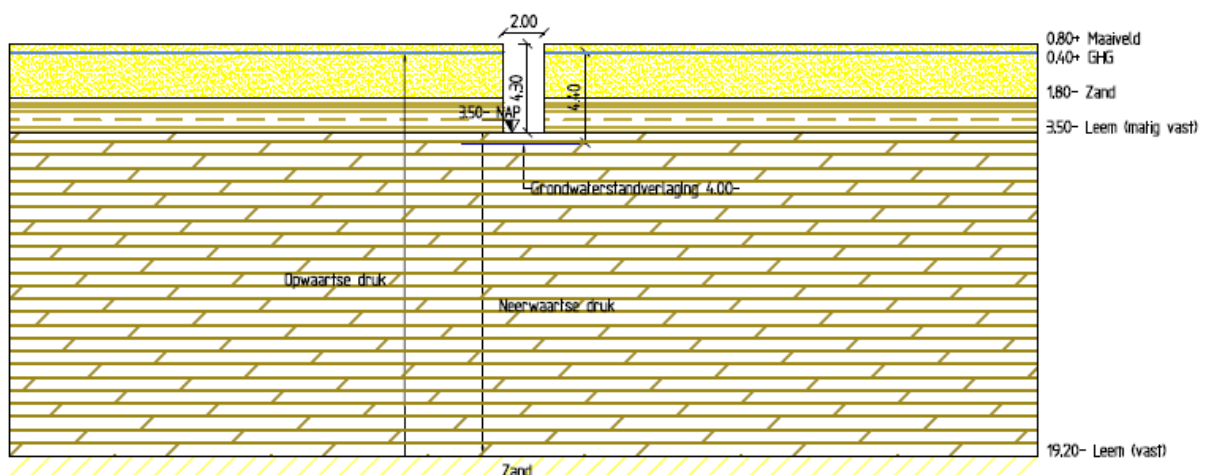
Figuur 4.1: Bodemopbouw kokerriool Zuiderhogeweg tot Tjalling Wagenaarstraat in m t.o.v. NAP

De veiligheidsberekening bouwputbodembodem kokerriool Zuiderhogeweg tot Tjalling Wagenaarstraat:

Neerwaartse druk: $0.5 \times 18.2 = 9.1$ kPa
 $9.1 + (10.5 \times 21) = 229.6$ kPa
 Opwaartse druk: $14.9 \times 10 = 149$ kPa
 Veiligheid minimaal 1.1: $229.6 / 149 = 1.54$ **Barst niet op**

4.5.2 Kokerriool Carillon tot Oude Nering

Het kokerriool in fase 4 wordt aangelegd vanaf het Carillon tot aan de Oude Nering. Het kokerriool komt op 3.50m –NAP te liggen, de verlaginghoogte ligt 0.5m lager op 4.00m –NAP. De hoogste grondwaterstand ligt op 0.40m+ NAP. De bodemopbouw is in figuur 4.2 weergegeven.



Figuur 4.2: Bodemopbouw kokerriool Carillon tot Oude Nering in m t.o.v. NAP

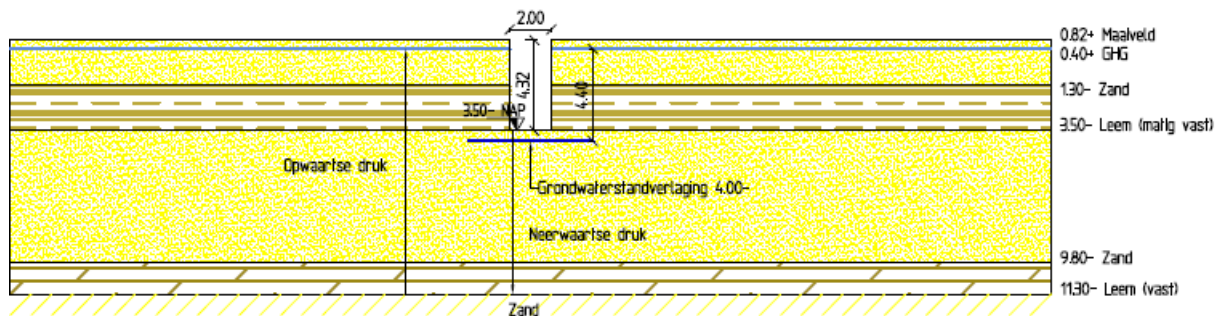
De veiligheidsberekening van de bouwputbodembodem voor het kokerriool Carillon tot Oude Nering:

Neerwaartse druk: $0.5 \times 18.2 = 9.1$ kPa
 $9.1 + (15.2 \times 21) = 328.3$ kPa

Opwaartse druk: $19.6 \times 10 = 196 \text{ kPa}$
 Veiligheid minimaal 1.1: $328.3/196 = 1.68$ **Barst niet op**

4.5.3 Kokerriool Oude Nering tot Tjalling Wagenaarstraat

Het kokerriool in fase 5 wordt aangelegd vanaf de Oude Nering tot de Tjalling Wagenaarstraat, en ligt op 3.50m –NAP. De verlaginghoogte ligt op 4.00m –NAP. De GHG ligt op 0.40m+ NAP. De opbouw van de bodem is te vinden in figuur 4.3.



Figuur 4.3: Bodemopbouw kokerriool Oude Nering tot Tjalling Wagenaarstraat in m t.o.v. NAP

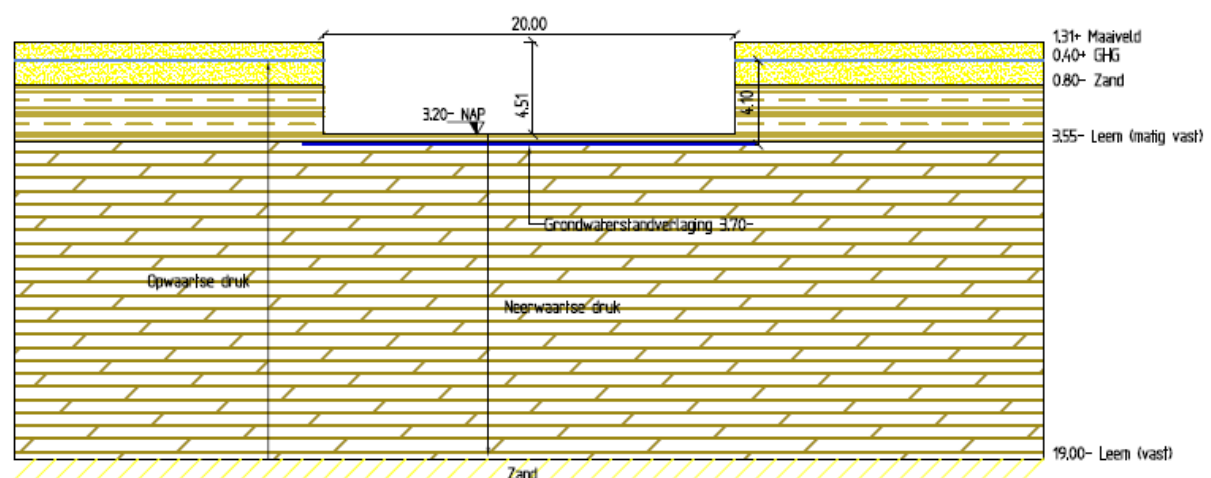
De veiligheidsberekening voor de bouwputbodem van het kokerriool Oude Nering tot Tjalling Wagenaarstraat, berekend voor de vaste leemlaag:

Neerwaartse druk: $0.5 \times 18 = 9.0 \text{ kPa}$
 $9.0 + (5.8 \times 20) = 125.0 \text{ kPa}$
 $125.0 + (1.5 \times 21) = 156.5 \text{ kPa}$

Opwaartse druk: $11.7 \times 10 = 117 \text{ kPa}$
 Veiligheid minimaal 1.1: $156.5/117 = 1.34$ **Barst niet op**

4.5.4 Brug Zuiderhogeweg

De bouwput voor de brug in de Zuiderhogeweg wordt aangelegd op een hoogte van 3.20m –NAP, de verlaginghoogte ligt op 3.70m –NAP. De hoogste grondwaterstand ligt op 0.40m+ NAP. De opbouw van de bodem is te vinden in figuur 4.4.



Figuur 4.4: Bodemopbouw brug Zuiderhogeweg in m t.o.v. NAP

De veiligheidsberekening bouwputbodembrug Zuiderhogeweg:

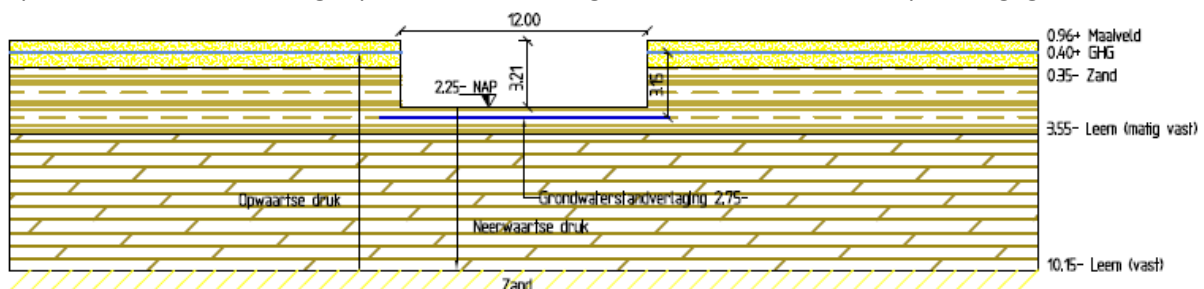
Neerwaartse druk: $(0.35 \times 17) + (0.15 \times 18.2) = 8.68 \text{ kPa}$
 $8.68 + (15.3 \times 21) = 330$

Opwaartse druk: $19.4 \times 10 = 194 \text{ kPa}$

Veiligheid minimaal 1.1: $330/194 = 1.70$ **Barst niet op**

4.5.5 Bouwput brug Tjalling Wagenaarstraat

De bouwput voor de brug wordt aangelegd op een hoogte van 2.25m –NAP, de verlaginghoogte ligt op 2.75m – NAP. De GHG ligt op 0.40m+ NAP. In figuur 4.5 wordt de bodemopbouw gegeven.



Figuur 4.5: Bodemopbouw bouwput brug Tjalling Wagenaarstraat in m t.o.v. NAP

De veiligheidsberekening voor de bouwputbodembrug Tjalling Wagenaarstraat:

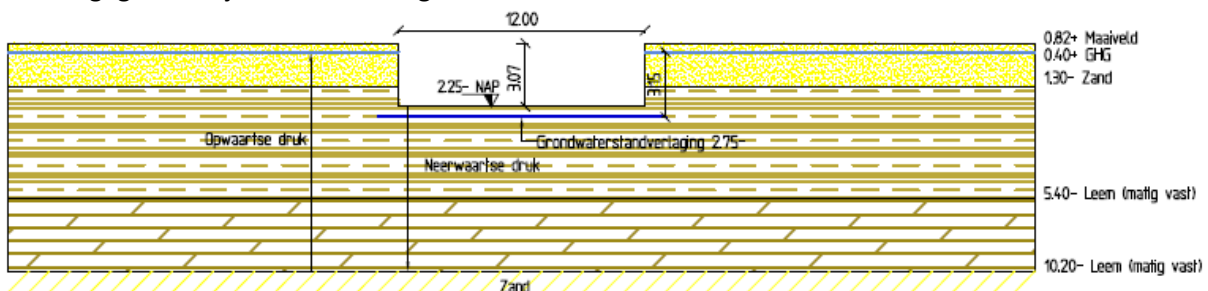
Neerwaartse druk: $0.5 \times 17 = 8.5 \text{ kPa}$
 $8.5 + (0.8 \times 20) + (6.6 \times 21) = 163.1 \text{ kPa}$

Opwaartse druk: $10.55 \times 10 = 105.5 \text{ kPa}$

Veiligheid minimaal 1.1: $163.1/105.5 = 1.55$ **Barst niet op**

4.5.6 Bouwput brug Oude Nering

De bouwput voor de brug in de Oude Nering wordt aangelegd op een hoogte van 2.25m –NAP, de verlaginghoogte ligt op 2.75m –NAP. De hoogste grondwaterstand ligt op 0.40m+ NAP. De bodemgegevens zijn te vinden in figuur 4.6.



Figuur 4.6: Bodemopbouw bouwput brug Oude Nering in m t.o.v. NAP

De veiligheidsberekening voor de bouwputbodembrug van de brug Oude Nering:

Neerwaartse druk: $0.5 \times 17 = 8.5 \text{ kPa}$
 $8.5 + (2.65 \times 20) + (4.8 \times 21) = 162.3 \text{ kPa}$

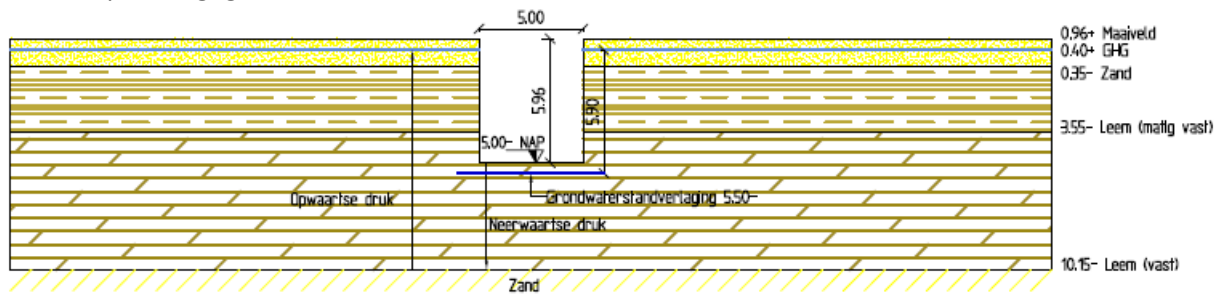
Opwaartse druk: $10.6 \times 10 = 106 \text{ kPa}$

Veiligheid minimaal 1.1: $162.3/106 = 1.53$ **Barst niet op**



4.5.7 Bouwput zinker Tjalling Wagenaarstraat

De bouwput voor de zinker in de Tjalling Wagenaarstraat wordt aangelegd op een hoogte van 5.00m –NAP, de verlaginghoogte ligt op 5.50m –NAP. De GHG ligt op 0.40m+ NAP. In figuur 4.7 wordt de bodemopbouw gegeven.



Figuur 4.7: Bodemopbouw bouwput zinker Tjalling Wagenaarstraat in m t.o.v. NAP

De veiligheidsberekening voor de bouwputbodemp van de zinker:

Neerwaartse druk: $0.5 \times 18.2 = 9.1 \text{ kPa}$
 $9.1 + (4.65 \times 21) = 106.75 \text{ kPa}$

Opwaartse druk: $10.55 \times 10 = 105.5 \text{ kPa}$

Veiligheid minimaal 1.1: $106.75 / 105.5 = 1.02$ **Opbarstingsgevaar!**

Spanningsbemaling toepassen.

Om opbarsten van de bouwput te voorkomen dient er spanningsbemaling toegepast te worden. De filters dienen in de watervoerende laag (vanaf 10.15m –NAP) geplaatst te worden.

5 Bronbemaling

De bronbemaling die nodig is voor het verlagen van de grondwaterstand dient gemodelleerd te worden. Daarvoor zijn verschillende parameters nodig, waarmee onder andere het debiet van de bronbemaling kan worden berekend. Daarnaast dient op afstand x (ten opzichte van de koker) de grondwaterstanddaling bekend te worden, zodat aan de hand daarvan zettingberekeningen kunnen plaatsvinden. De bronbemaling wordt gedimensioneerd met het programma Mwell van Deltares.

5.1 Plannen

De “reconstructie Moleneind” is in fasen, die op elkaar aansluiten, opgebouwd. Deze volgorde is belangrijk voor het ontwerpen van de bronbemaling. Doordat de fasen elkaar niet overlappen, is de kans dat de bronbemaling van de ene fase invloed heeft op de volgende fase kleiner, dan wanneer twee fasen elkaar zouden overlappen.

Per fase is gekeken hoelang er bemaald mag worden (tabel 5.1). Deze gegevens zijn via de opdrachtgever verkregen. Daarna kan worden bepaald hoeveel m³ water er onttrokken dient te worden om de grondwaterstandverlaging te bereiken. De bemalingsduur is inclusief het voorbereiden, daarnaast is per fase het aantal dagen voorbereiden weergegeven.

Fase	Bemalingsduur	Waarvan voorbereiden
Kokerriool Zuiderhogeweg tot Tjalling Wagenaarstraat	10 dagen	5 dagen
Kokerriool Carillon tot Oude Nering	10 dagen	5 dagen
Kokerriool Oude Nering tot Tjalling Wagenaarstraat	10 dagen	5 dagen
Brug Zuiderhogeweg	80 dagen	7 dagen
Brug Tjalling Wagenaarstraat	120 dagen	7 dagen
Brug Oude Nering	120 dagen	7 dagen
Zinker Tjalling Wagenaarstraat	21 dagen	7 dagen

Tabel 5.1: Bemalingsduur per fase

5.2 Zakken grondwaterstand

De grondwaterstand dient naar het verlagingniveau, uit tabel 2.1, te zakken. Er wordt met de GHG en de GLG gerekend om het debiet van de bronbemaling te kunnen berekenen. De grondwaterstanddaling wordt berekend door: GLG of GHG – verlagingniveau, en is weergegeven in tabel 5.2.

Bouwput	Verlagingniveau (m. t.o.v. NAP)	GHG (m. t.o.v. NAP)	GLG (m. t.o.v. NAP)	GWS daling t.o.v. GHG(m)	GWS daling t.o.v. GLG(m)
Kokerriool (Zuiderhogeweg tot Tjalling Wagenaarstraat, fase 3)	-4.00	0.40+	0.70-	4.40	3.30
Kokerriool (Carillon tot Oude Nering, fase 4)	-4.00	0.40+	0.70-	4.40	3.30
Kokerriool (Oude Nering tot Tjalling Wagenaarstraat, fase 5)	-4.00	0.40+	0.70-	4.40	3.30
Brug Zuiderhogeweg	-3.70	0.40+	0.70-	4.10	3.00
Brug Tjalling Wagenaarstraat	-2.75	0.40+	0.70-	3.15	2.05
Brug Oude Nering	-2.75	0.40+	0.70-	3.15	2.05
Zinker Tjalling Wagenaarstraat	-5.50	0.40+	0.70-	5.90	4.80

Tabel 5.2: Grondwaterstanddalingen ten opzichte van de GHG en GLG



5.3 Type bronbemaling

Voor het bemalen van de bouwputten kunnen verschillende typen bronbemaling gebruikt worden. Uit subhoofdstuk 4.5 blijkt dat er voor één bouwput, de zinker Tjalling Wagenaarstraat gebruik moet worden gemaakt van spanningsbemaling. Voor de overige bouwputten wordt freatische bemaling toegepast. Bij de te berekenen debieten van de bronbemaling is geen rekening gehouden met eventuele neerslag. Hierdoor kunnen werkelijke hoeveelheden te onttrekken water hoger uitvallen.

5.4 Doorlatendheid bodem

De intensiteit waarmee het water uit de grond onttrokken dient te worden, kan worden berekend met behulp van het computerprogramma Mwell. Om een berekening uit te kunnen voeren dient de doorlatendheid van de grond bekend te zijn.

De gegevens van de doorlatendheid per bodemsoort is in tabel 5.3 weergegeven. Via het grondwaterzakboekje is achterhaald wat de doorlatendheid en weerstand van elke grondsoort is.

Grondsoort	Doorlatendheid (m/dag)	Weerstand (dagen/m)
Zand (cunet)	4	-
Leem matig vast (met zand- klei- en veen laagjes)	0.3	5
Leem vast (met zand- en klei laagjes)	0.3	5
Zand (natuurlijk)	10	-

Tabel 5.3: Doorlatendheid van de ondergrond per grondsoort (8)

Zoals uit de tabel is af te lezen zijn er twee scheidende lagen aanwezig. Beide zijn leemlagen, met plaatselijke zand- klei- of veen laagjes. Door deze tussenlaagjes is de doorlatendheid van de grondsoort relatief hoog, de weerstand van de leemlagen is berekend op 5 dagen/m. De zandlagen liggen boven- tussen- en onder de leemlagen. Deze hebben een doorlatendheid van respectievelijk 4, 10 en 10 m/dag. Het verschil in doorlatendheid heeft hier te maken met de aanname dat voor het cunet fijn zand is gebruikt, en het natuurlijke zand matig fijn is.

5.5 Berekening Mwell

Via het modelleringprogramma Mwell kan berekend worden hoe groot het debiet dient te worden om de bouwputten droog te houden. Per situatie wordt berekend wat het debiet is om de grondwaterstand te verlagen. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen een verlaging bij de GHG en de GLG. Tevens wordt er gekeken wat de verlaging van de grondwaterstand is op afstand x ten opzichte van de filters. In Mwell zijn de filters vrij dichtbij de rand van de bouwput geplaatst. In werkelijkheid kan deze afstand iets verschillen. De bodemgegevens uit subhoofdstuk 4.5 zijn gebruikt voor de bodemopbouw.

5.5.1 Kokerriool Zuiderhogeweg tot Tjalling Wagenaarstraat

Voor het kokerriool worden strengen van 60 meter lengte aangehouden, met een breedte van 2 meter. De bemalingsduur per streng is 10 dagen. De resultaten van de berekening in Mwell is te vinden in bijlage H (p. 53).



Berekend debiet GHG:	123m ³ /dag of 5.1m ³ /h	
Berekend debiet GLG:	58m ³ /dag of 2.4m ³ /h	
Afstand tot rand bouwput (m)	Verlaging t.o.v. GHG (m)	Verlaging t.o.v. NAP (m)
Midden bouwput	4.40	-4.00
0	4.62	-4.22
8	3.66	-3.26
16	3.10	-2.70
50	1.62	-1.22
100	0.69	-0.29
250	0.05	+0.35

Tabel 5.4: Berekend debiet en verlagingen voor bouwput kokerriool Zuiderhogeweg tot Tjalling Wagenaarstraat

In tabel 5.4 zijn de debieten te vinden die behoren bij de GHG en de GLG. Hier is een duidelijk verschil te zien van 66m³/dag, dit heeft te maken met het grondwaterstandverschil van 1.1 meter. De verlagingniveaus t.o.v. GHG en NAP zijn nodig om zettingberekeningen te kunnen uitvoeren. Na 250 meter t.o.v. de koker is er vrijwel geen grondwaterstanddaling ten gevolge van de bronbemaling meer.

5.5.2 Kokerriool Carillon tot Oude Nering

Het kokerriool wordt in strengen van 60 meter aangelegd. De bemalingsduur per streng is 10 dagen. De resultaten van de berekening in Mwell is te vinden in bijlage H (p. 54).

Berekend debiet GHG:	168m ³ /dag of 7m ³ /h	
Berekend debiet GLG:	126m ³ /dag of 5.3m ³ /h	
Afstand tot rand bouwput (m)	Verlaging t.o.v. GHG (m)	Verlaging t.o.v. NAP (m)
Midden bouwput	4.41	-3.99
0	4.67	-4.27
20	2.96	-2.56
32	2.34	-1.94
50	1.77	-1.37
100	0.83	-0.43
250	0.09	+0.31
500	0.00	+0.40

Tabel 5.5: Berekend debiet en verlagingen voor bouwput kokerriool Carillon tot Oude Nering

In tabel 5.5 zijn de debieten te vinden die behoren bij de GHG en de GLG en de verlagingniveaus op afstand x vanaf de koker. Er is een verschil tussen het debiet behorende bij de GHG en GLG van 42m³/dag. Tussen 250 en 500 meter t.o.v. de koker is er geen grondwaterstanddaling ten gevolge van de bronbemaling.

5.5.3 Kokerriool Oude Nering tot Tjalling Wagenaarstraat

Het kokerriool wordt in delen van 60 meter aangelegd. De bemalingsduur is 10 dagen per streng. De resultaten van de berekening in Mwell is te vinden in bijlage H (p. 55).



Berekend debiet GHG:	765m3/dag of 32m3/h	
Berekend debiet GLG:	550m3/dag of 23m3/h	
Afstand tot rand bouwput (m)	Verlaging t.o.v. GHG (m)	Verlaging t.o.v. NAP (m)
Midden bouwput	4.41	-4.01
0	4.49	-4.09
7.5	3.79	-3.39
20	2.98	-2.58
45	1.96	-1.56
100	0.91	-0.51
250	0.16	+0.24
500	0.01	+0.39

Tabel 5.6: Berekend debiet en verlagingen voor bouwput kokerriool Oude Nering tot Tjalling Wagenaarstraat

Tabel 5.6 toont de debieten en de verlagingen ten gevolge van de bronbemaling. Uit subhoofdstuk 4.5 is gebleken de onderkant van de bouwput de watervoerende zandlaag snijdt. Dit heeft als gevolg dat het debiet bij de GHG en GLG behoorlijk hoog ligt. De verlaging in het midden van de bouwput wordt net gehaald. Na 500 meter vanaf de kokers is er vrijwel geen grondwaterstandverlaging meer waar te nemen.

5.5.4 Brug Zuiderhogeweg

De bouwput voor de landhoofden van de brug aan de Zuiderhogeweg is 40 x 20m groot. De bemalingsduur is 80 dagen. De resultaten van de berekening in Mwell is te vinden in bijlage H (p. 56).

Berekend debiet GHG:	104 m3/dag of 4.3 m3/h	
Berekend debiet GLG:	48 m3/dag of 2 m3/h	
Afstand tot rand bouwput (m)	Verlaging t.o.v. GHG (m)	Verlaging t.o.v. NAP (m)
Midden bouwput	4.14	-3.74
0	4.31	-3.91
13.5	3.36	-2.96
28.5	2.67	-2.27
50	2.06	-1.66
100	1.23	-0.83
250	0.34	+0.06
500	0.04	+0.36

Tabel 5.7: Berekend debiet en verlagingen voor bouwput brug Zuiderhogeweg

Tabel 5.7 toont de debieten en verlagingen voor de bouwput voor de brug aan de Zuiderhogeweg. Het berekende debiet bij de GHG is 4.3m3/h, en het debiet voor de GLG is de helft daarvan. De verlaging in het midden van de bouwput ligt enkele centimeters lager dan de benodigde. Op 500 meter vanaf de rand van de koker is de grondwaterstandverlaging nog enkele centimeters.

5.5.5 Brug Tjalling Wagenaarstraat

De bouwput voor de landhoofden van de brug aan de Tjalling Wagenaarstraat is 18 x 12m groot. De bemalingsduur is 120 dagen. De resultaten van de berekening in Mwell is te vinden in bijlage H (p. 57).



Berekend debiet GHG:	38m ³ /dag of 1.6m ³ /h	
Berekend debiet GLG:	Verwaarloosbaar klein	
Afstand tot rand bouwput (m)	Verlaging t.o.v. GHG (m)	Verlaging t.o.v. NAP (m)
Midden bouwput	3.17	-2.77
4	2.88	-2.48
10	2.47	-2.07
25	1.84	-1.44
48	1.31	-0.91
100	0.71	-0.31
250	0.17	+0.23
500	0.02	+0.38

Tabel 5.8: Berekend debiet en verlagingen voor bouwput brug Tjalling Wagenaarstraat

Tabel 5.8 toont aan dat het debiet om de bouwput droog te houden, bij de GHG 1.6m³/h is. Het debiet van de GLG is verwaarloosbaar klein. Dit heeft er mee te maken dat de GLG hier in de leemlaag ligt. Doordat de leemlaag een zeer slechte doorlatendheid heeft, zal hier weinig tot geen water uit stromen. Na 500 meter is er vrijwel geen grondwaterstanddaling terug te vinden.

5.5.6 Brug Oude Nering

De bouwput voor de landhoofden van de brug aan de Oude Nering is 18 x 12m groot. De bemalingsduur is 120 dagen. De resultaten van de berekening in Mwell is te vinden in bijlage H (p. 58).

Berekend debiet GHG:	57m ³ /dag of 2.4m ³ /h	
Berekend debiet GLG:	22m ³ /dag of 0.9m ³ /h	
Afstand tot rand bouwput (m)	Verlaging t.o.v. GHG (m)	Verlaging t.o.v. NAP (m)
Midden bouwput	3.18	-2.78
0	3.24	-2.84
10	2.52	-2.12
25	1.93	-1.53
62	1.22	-0.82
85	0.97	-0.57
250	0.26	+0.14
500	0.04	+0.36

Tabel 5.9: Berekend debiet en verlagingen voor bouwput brug Oude Nering

De berekende resultaten voor de brug Oude Nering is in tabel 5.9 weergegeven. Het debiet behorende bij de GHG is 2.4m³/h, het debiet van de GLG is 0.9m³/h. De verlaging in de bouwput wordt gemakkelijk gehaald. Op 500 meter afstand is de invloed van de bronbemaling nog enigszins zichtbaar.

5.5.7 Zinker Tjalling Wagenaarstraat

De bouwput voor de zinker in de Tjalling Wagenaarstraat is 15 x 5m groot. De bemalingsduur is 21 dagen. De resultaten van de berekening in Mwell is te vinden in bijlage H (p. 59).



Berekend debiet GHG:	380m3/dag of 16m3/h	
Berekend debiet GLG:	310m3/dag of 13m3/h	
Afstand tot rand bouwput (m)	Verlaging t.o.v. GHG (m)	Verlaging t.o.v. NAP (m)
Midden bouwput	6.59	-6.19
0	6.52	-6.12
12	4.13	-3.73
48	2,15	-1,75
50	2.09	-1.69
100	1.11	-0.71
250	0.22	+0.18
500	0.02	+0.38

Tabel 5.10: Berekend debiet en verlagingen voor bouwput zinker Tjalling Wagenaarstraat

Tabel 5.10 toont de berekende waarden. Om opbarsten van de bouwputbodem te voorkomen dient spanningsbemaling toegepast te worden. Hierdoor zijn de debieten behorende bij de GHG en GLG relatief hoog. Tevens heeft dit te maken met de grote verlagingdiepte om de bouwput droog te houden.

5.6 Waterbezwaar

Er gelden bepaalde regels voor de hoeveelheid water die onttrokken mag worden. Daarvoor zijn richtlijnen opgesteld door het Wetterskip Fryslân, de “Algemene regels bij de keur van Wetterskip Fryslân” (12). De regels zijn als volgt:

- Formulier onttrekking grondwater voor Wetterskip Fryslân
- Meld- en registratieplicht bij onttrekkingen van meer dan 10m3/h

Uit de berekeningen, die in Mwell zijn uitgevoerd, kan worden berekend wat het maximale debiet is wat er onttrokken wordt. Hierbij wordt uitgegaan van de debieten bij een GHG.

Element	Debiet (m3/h)	Aantal uren	Totaal (m3)
Kokerriool Zuiderhogeweg tot Tjalling Wagenaarstraat	5.1	2240	11424
Kokerriool Carillon tot Oude Nering	7.0	760	5320
Kokerriool Oude Nering tot Tjalling Wagenaarstraat	32.0	1280	40960
Brug Zuiderhogeweg	4.3	1920	8256
Brug Tjalling Wagenaarstraat	1.6	2880	4608
Brug Oude Nering	2.4	2880	6912
Zinker Tjalling Wagenaarstraat	16.0	504	8064
Totaal	Gem. 6.9m3/h	12464	85544

Tabel 5.11: Totale debiet voor bemalen bouwputten “Reconstructie Moleneind”

Uit tabel 5.11 blijkt dat de verwachting is dat er in totaal iets meer dan 85.500m3 water onttrokken wordt. Dit gebeurt in een tijdsperiode van 12464 uur dat overeenkomt met 519 dagen, ongeveer 1.5 jaar. Het grootste aantal kubieke meters dat onttrokken wordt is afkomstig van het kokerriool Oude Nering tot Tjalling Wagenaarstraat. Hier is een grote zandlaag in de ondiepe ondergrond aanwezig waardoor het debiet per uur hoog is. Dit traject is 320 meter lang, en wordt aangelegd in segmenten van 60 meter. Dit komt neer op ongeveer 5 segmenten. Doordat elke segment 10 dagen wordt bemaald, komt het totale debiet dat onttrokken wordt behoorlijk hoog uit.

Twee onttrekkingen hebben een debiet van meer dan 10m3/h, waarvoor de meld- en registratieplicht van toepassing is.



6 Fundering gebouwen

Voordat zetting berekeningen kunnen worden uitgevoerd, dient onderzocht te worden hoe de gebouwen, die binnen het gebied van de grondwaterstanddaling liggen, gefundeerd zijn. Dit onderzoek zal gedaan worden aan de hand van historische kaarten en de algemene bouwgeschiedenis van gebouwen.

6.1 Fundering op staal/palen

Tot de jaren '50 van de vorige eeuw was funderen op staal (met eventueel een grondverbetering) de meest voorkomende fundering. Toch werden er vanaf de late middeleeuwen al houten palen gebruikt om huizen te funderen. Het nadeel van houten palen is dat deze gaan rotten bij een grondwaterstanddaling. Vanaf de jaren '50 werd de betonnen heipaal in zettinggevoelige gebieden massaal toegepast (9).

6.2 Fundering bebouwing Moleneind

Uit hoofdstuk 2 is al gebleken dat de woningen aan het Moleneind veelal voor de tweede wereldoorlog gebouwd zijn. Er mag dus vanuit gegaan worden dat deze woningen niet op betonnen palen gefundeerd zijn. Doordat de ondergrond veelal uit zand en leem bestaat, met een enkele veenlaag, wordt er vanuit gegaan dat de woningen op staal gefundeerd zijn met mogelijk een grondverbetering. Op de kaart in bijlage I (p. 60) is onderscheid gemaakt tussen bebouwing voor 1950, en daarna. Er wordt vanuit gegaan dat alle bebouwing van na 1950 op palen is gefundeerd.

Uit de kaart is af te leiden dat het aantal gebouwen gebouwd voor 1950 ongeveer even groot is als die van na 1950 gebouwd zijn. Alle grote bedrijfspanden zijn van na de tweede wereldoorlog. Alleen een deel van het Dunlop gebouw is van voor de intrede van de betonnen heipaal, waardoor deze waarschijnlijk niet op palen gefundeerd is. De kaart in de bijlage toont ook aan dat vrijwel alle woningen die direct aan de nieuwe Drachtstervaart komen te liggen niet op palen gefundeerd zijn. Voor de zettingberekeningen zijn de gebouwen van voor 1950, die direct aan de Drachtstervaart komen te liggen, extra interessant omdat deze gevoeliger voor zettingen zijn.

Per element wordt een gebouw gekozen waarvan uitgegaan wordt dat deze het gevoeligst voor zettingen is, zodat een worstcase scenario ontstaat. De keuze van het meest zettinggevoelige gebouw is gebaseerd op de ouderdom van het gebouw en de afstand koker tot voorzijde gevel. Een opsomming van de elementen met daarbij het gebouw die het meest gevoelig is voor zettingen, is te vinden in tabel 6.1.

Element	Gebouw
Kokerriool (Zuiderhogeweg tot Tjalling Wagenaarstraat, fase 3)	Moleneind noordzijde 198
Kokerriool (Carillon tot Oude Nering, fase 4)	Historisch gebouw Bleekerhûs, Moleneind zuidzijde 11
Kokerriool (Oude Nering tot Tjalling Wagenaarstraat, fase 5)	Historisch gedeelte Dunlop gebouw
Brug Zuiderhogeweg	Moleneind noordzijde 220
Brug Tjalling Wagenaarstraat	Historisch gedeelte Dunlop gebouw
Brug Oude Nering	Moleneind zuidzijde 71
Zinker Tjalling Wagenaarstraat	Historisch gedeelte Dunlop gebouw

Tabel 6.1: De elementen en het meest zettinggevoelige gebouw



7 Zettingen

Aan de hand van de grondwaterstandverlagingen, die in hoofdstuk 5 berekend zijn, kunnen zettingberekeningen gemaakt worden. De gebouwen uit tabel 6.1 worden gebruikt om met een worstcase scenario te rekenen. De zettingberekeningen worden uitgevoerd met behulp van het programma D-Settlement.

7.1 Parameters zettingberekeningen

Voor het uitvoeren van de zettingberekeningen dienen enkele aanvullende gegevens bekend te zijn. De bodemopbouw onder de woningen en de afstand van koker tot voor- en achterzijde van de gevel moet bekend zijn om de berekening uit te kunnen voeren.

Een overzicht van de bodemopbouw nabij de te onderzoeken gebouwen is te vinden in bijlage J (p. 62). De bodemopbouw is een schatting, en is gemaakt aan de hand van de bodemgegevens die beschreven zijn in hoofdstuk 4. Deze bodemopbouw wijkt dus af van die in bijlage F (p. 49). Dit komt doordat de bodemopbouw onder de woningen anders kan zijn dan die in de langsdoorsnede. Dit heeft er mee te maken dat de bodemopbouw langs het Moleneind veel variaties toont. Hierdoor ontstaat een andere situatie waarmee gerekend dient te worden.

De afstanden vanaf de koker tot de voor- en achterzijde van het gebouw is in tabel 7.1 weergegeven. Tevens zijn de grondwaterstandverlagingen ten opzichte van de GLG opgenomen.

Element	Gebouw	Afstand koker tot voorzijde	GWS verlaging voorzijde (m)	Afstand koker tot achterzijde	GWS verlaging achterzijde (m)
Kokerriool (Zuiderhogeweg tot Tjalling Wagenaarstraat, fase 3)	Moleneind noordzijde 198	8 meter	3.66	16 meter	3.10
Kokerriool (Carillon tot Oude Nering, fase 4)	Historisch gebouw Bleekerhûs, Moleneind zuidzijde 11	20 meter	2.96	32 meter	2.34
Kokerriool (Oude Nering tot Tjalling Wagenaarstraat, fase 5)	Historisch gedeelte Dunlop gebouw	7.5 meter	3.79	45 meter	1.96
Brug Zuiderhogeweg	Moleneind noordzijde 220	13.5 meter	3.36	28.5 meter	2.67
Brug Tjalling Wagenaarstraat	Historisch gedeelte Dunlop gebouw	4 meter	2.88	48 meter	1.31
Brug Oude Nering	Moleneind zuidzijde 71	62 meter	1.22	85 meter	0.97
Zinker Tjalling Wagenaarstraat	Historisch gedeelte Dunlop gebouw	12 meter	4.13	48 meter	2.15

Tabel 7.1: Parameters voor het berekenen van de zetting ter plaatse van de meest zettinggevoelige gebouwen

7.2 Zettingberekening elementen

Nu alle gegevens bekend zijn, kunnen zettingberekeningen uitgevoerd worden. Met behulp van het programma D-Settlement van Deltares kunnen de zettingen ten gevolge van een grondwaterstanddaling nauwkeurig berekend worden.

Terzaghi stelt dat een zetting volledig is opgetreden na 27.5 jaar (10.000 dagen). Doordat alle onderzochte gebouwen ouder zijn wordt er vanuit gegaan dat er geen restzetting, ten gevolge van de bovenbelasting van de gebouwen, zal optreden. Wanneer de grondwaterstand wordt verlaagd zal bij de zettingberekening wel rekening moeten worden gehouden met de bovenbelasting. Om deze berekening in D-Settlement uit te kunnen voeren dient er een aanname worden gedaan voor het gewicht van een woning. Er is een kleine berekening uitgevoerd, waaruit voortgekomen is dat het



gewicht van een woning ongeveer 40Kn/m² is, waarbij uitgegaan wordt van een normale woning met 2 verdiepingen. De resultaten van de zettingberekeningen zijn per element weergegeven.

7.2.1 Zettingberekening kokerriool Zuiderhogeweg tot Tjalling Wagenaarstraat

Voor deze bouwput is een worstcase scenario uitgewerkt voor het gebouw Moleneind Nz. Nr.198. De zettingen zijn berekend op tijdstip T=10 dagen. Dit is de maximale bemalingsduur voor de bouwput. De gemiddelde laagste grondwaterstand is 0.70m- NAP, de historische grondwaterstandverlaging is 2.92m- NAP. In bijlage K (p. 65) is het zettingdiagram te vinden.

	Verlaging (m)	Zetting t.o.v. GLG (mm)	Zetting t.o.v. Historische GWS (mm)
Voorzijde gebouw	3.66	6.3	0.6
Achterzijde gebouw	3.10	5.0	-
Vershil	0.53	1.3	0.6

Tabel 7.2: Zettingen t.g.v. grondwaterstandverlaging ter plaatse Moleneind Nz. Nr. 198, na 10 dagen

Uit de berekende resultaten, tabel 7.2, blijkt dat een verlaging gerekend vanaf de GLG zettingen veroorzaakt die vele malen groter zijn dan de zettingen bij een verlaging gerekend vanaf de historische GWS. Het zettingverschil tussen de voor- en achterzijde van het gebouw bij de GLG is 1.3mm. Bij de historische GWS is het verschil in zetting tussen de voor- en achterzijde van het gebouw slechts 0.6mm. Duidelijk is dat, indien gerekend wordt met de historische grondwaterstand, de zettingen beduidend kleiner zijn dan de zettingen bij de gemiddelde laagste grondwaterstand.

7.2.2 Zettingberekening kokerriool Carillon tot Oude Nering

De zettingberekening is toegepast op een worstcase scenario voor het gebouw Moleneind Zz. Nr.11. De zettingen zijn berekend voor tijdstip T=10 dagen. Dit is de maximale bemalingsduur voor de bouwput. De gemiddelde laagste grondwaterstand is 0.70m- NAP, en de historische grondwaterstand is 1.81m- NAP. Het zettingdiagram is te vinden in bijlage K (p. 67).

	Verlaging (m)	Zetting t.o.v. GLG (mm)	Zetting t.o.v. Historische GWS (mm)
Voorzijde gebouw	2.53	5.0	1.5
Achterzijde gebouw	2.00	3.6	0.3
Vershil	0.53	1.4	1.2

Tabel 7.3: Zettingen t.g.v. grondwaterstandverlaging ter plaatse van het Moleneind Zz. Nr. 11, na 10 dagen

In tabel 7.3 is af te lezen dat de zettingen bij een verlaging t.o.v. de GLG hoger zijn dan de zettingen t.o.v. de historische grondwaterstand. Toch is het verschil in zettingen bij beide grondwaterstanden vrijwel even hoog.

7.2.3 Zettingberekening kokerriool Oude nering tot Tjalling Wagenaarstraat

Voor deze bouwput is een zettingberekening uitgevoerd voor het historische gedeelte van het Dunlop gebouw. De zettingen zijn berekend voor tijdstip T=10 dagen. Dit is de maximale bemalingsduur voor de bouwput. De gemiddelde laagste grondwaterstand ligt op 0.70m- NAP, en de historische grondwaterstand is 2.20m- NAP. In bijlage K (p. 69) is het zettingdiagram weergegeven.

	Verlaging (m)	Zetting t.o.v. GLG (mm)	Zetting t.o.v. Historische GWS (mm)
Voorzijde gebouw	3.79	4.7	0.8
Achterzijde gebouw	1.96	2.6	-
Vershil	1.83	2.1	0.8

Tabel 7.4: Zettingen t.g.v. grondwaterstandverlaging ter plaatse van het historische deel van Dunlop, na 10 dagen



Tabel 7.4 toont aan dat de zettingen die ontstaan door de grondwaterstandverlaging ten opzichte van de GLG hoger zijn dan die bij de historische grondwaterstand. De verschillen in de zettingen tussen de voor- en achterzijde van de woningen liggen redelijk ver uit elkaar. Er zal geen zetting plaatsvinden aan de achterzijde van het gebouw indien uitgegaan wordt van de historische grondwaterstand.

7.2.4 Zettingberekening brug Zuiderhogeweg

Voor de zettingen is een berekening uitgevoerd ter plaatse van het gebouw Moleneind Nz. Nr.220. Het tijdstip waarop de zettingen zijn berekend is T=80 dagen. Dit is de maximale bemalingsduur voor de bouwput. De gemiddelde laagste grondwaterstand ligt op 0.70m- NAP, en de historische grondwaterstand is 2.92m- NAP. Bijlage K (p. 71) toont het zettingdiagram.

	Verlaging (m)	Zetting t.o.v. GLG (mm)	Zetting t.o.v. Historische GWS (mm)
Voorzijde gebouw	3.31	15.6	0.1
Achterzijde gebouw	2.63	12.7	-
Verschil	0.68	2.9	0.1

Tabel 7.5: Zettingen t.g.v. grondwaterstandverlaging ter plaatse van Moleneind Nz. Nr. 220, na 80 dagen

Uit tabel 7.5 is af te lezen dat de zetting die na 80 dagen is opgetreden ten gevolge van een grondwaterstanddaling ten opzichte van de gemiddelde laagste grondwaterstand aanzienlijk te noemen is. Het zettingverschil aan de voor- en achterzijde van de woningen is, uitgaande van de GLG, veel groter dan wanneer er uitgegaan wordt van de historische grondwaterstand. De zetting die ontstaat uitgaande van een historische grondwaterstandverlaging is nihil te noemen.

7.2.5 Zettingberekening brug Tjalling Wagenaarstraat

De zettingen zijn berekend voor het historische gedeelte van het Dunlop gebouw. Het tijdstip waarop de zettingen zijn berekend is T=120 dagen. Dit is de maximale bemalingsduur voor de bouwput. De gemiddelde laagste grondwaterstand is 0.70m- NAP, en de historische grondwaterstand is 2.20m- NAP. Het zettingdiagram is in bijlage K (p. 73) weergegeven.

	Verlaging (m)	Zetting t.o.v. GLG (mm)	Zetting t.o.v. Historische GWS (mm)
Voorzijde gebouw	2.85	11.0	1.0
Achterzijde gebouw	1.23	2.0	-
Verschil	1.62	9.0	1.0

Tabel 7.6: Zettingen t.g.v. grondwaterstandverlaging ter plaatse van het historische deel van Dunlop, na 120 dagen

De zettingen uit tabel 7.6 tonen aan dat, uitgaande van de gemiddelde laagste grondwaterstand, aan de voorzijde van het gebouw de meeste zetting plaatsvindt. Het verschil met de achterzijde is met 9.0mm behoorlijk groot te noemen. Dit heeft te maken met de grote afstand tussen de voor- en achterzijde van het gebouw. De zetting die ontstaat uitgaande van de historische grondwaterstand is behoorlijk kleiner.

7.2.6 Zettingberekening brug Oude Nering

Voor de zettingen is een berekening uitgevoerd ter plaatse van het gebouw Moleneind Zz. Nr. 71. De zettingen zijn berekend voor T=120 dagen. Dit is de maximale bemalingsduur voor de bouwput. De gemiddelde laagste grondwaterstand ligt op 0.70m- NAP. Het zettingdiagram is te vinden in bijlage K (p. 75).



	Verlaging (m)	Zetting t.o.v. GLG (mm)	Zetting t.o.v. Historische GWS (mm)
Voorzijde gebouw	1.01	1.2	-
Achterzijde gebouw	0.82	-	-
Vershil	0.19	1.2	-

Tabel 7.7: Zettingen t.g.v. grondwaterstandverlaging ter plaatse van het historische deel van Dunlop, na 120 dagen

Uit tabel 7.7 blijkt dat er alleen een kleine zetting plaatsvindt aan de voorzijde van het gebouw uitgaande van de gemiddelde laagste grondwaterstand. Dit komt doordat in de overige gevallen de grondwaterstandverlaging boven het niveau van de laagste en historische grondwaterstand uitkomt. Hierdoor zullen geen zettingen optreden.

7.2.7 Zettingberekening zinker Tjalling Wagenaarstraat

De zettingen zijn berekend voor het historische gedeelte van Dunlop. Het tijdstip waarop de zettingen zijn berekend is T=21 dagen. Dit is de maximale bemalingsduur voor de bouwput. De gemiddelde laagste grondwaterstand is 0.70m- NAP, en de historische grondwaterstand is 2.20m- NAP. In bijlage K (p. 76) is het zettingdiagram te vinden.

	Verlaging (m)	Zetting t.o.v. GLG (mm)	Zetting t.o.v. Historische GWS (mm)
Voorzijde gebouw	4.13	7.5	2.0
Achterzijde gebouw	2.15	4.5	-
Vershil	1.90	3.0	2.0

Tabel 7.8: Zettingen t.g.v. grondwaterstandverlaging ter plaatse van het historische deel van Dunlop, na 21 dagen

Uit tabel 7.8 is af te lezen dat de zettingen aan de voorzijde van het gebouw het grootst zijn. Uitgaande van de gemiddelde laagste grondwaterstand kan worden geconcludeerd dat het zetting verschil uitgaande van de gemiddelde laagste grondwaterstand vrijwel even groot is dan wanneer uitgegaan wordt van de historische grondwaterstand.



8 Schade, risico's en kosten

Nadat de zettingen aan de voor- en achterzijde van de onderzochte gebouwen bekend zijn, kan worden gekeken hoeveel schade dit veroorzaakt en, eventueel, hoe deze schade tegen kan worden gegaan. In dit hoofdstuk wordt er uitgegaan van de zettingberekeningen uit subhoofdstuk 7.2. Die zijn berekend ten opzichte van de GLG.

8.1 Schade risico's t.g.v. zettingen

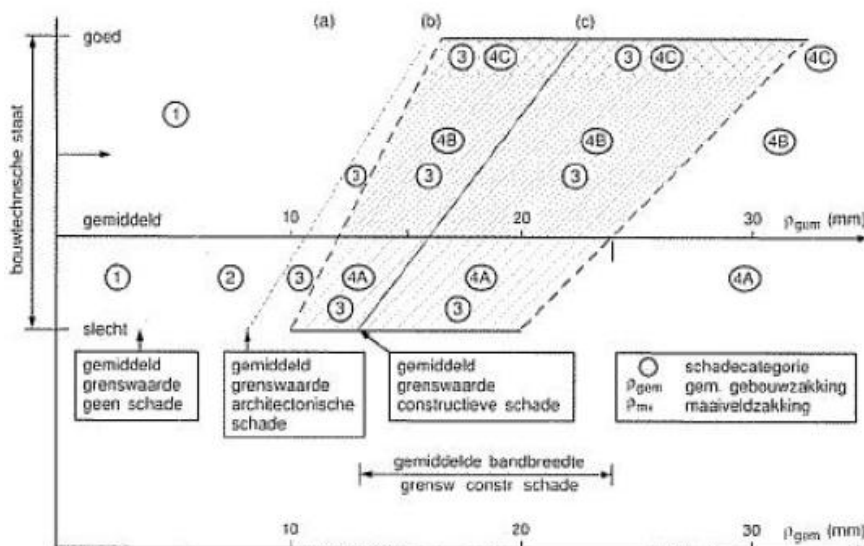
Zettingen kunnen binnen de bouwwereld grote problemen veroorzaken. Echter, zolang deze zetting niet te groot is en/of gelijkmatig plaatsvindt (de voor- en achterzijde van het gebouw zakken even snel) zullen de gevolgen beperkt blijven. Problemen treden pas op wanneer blijkt dat de zettingen te groot zijn en/of er ongelijke zetting optreedt waardoor scheefstand optreedt.

De Eurocode 7 (opvolger van de NEN6740) schrijft de volgende maximale zettingwaarden voor (13):

- De maximale zetting bedraagt niet meer dan 50mm
- De scheefstand van een gebouw mag niet groter zijn dan 1:300

Bij de Eurocode 7 wordt er geen rekening gehouden met de bouwkundige staat van het gebouw. Daardoor dient er rekening mee te worden gehouden dat indien de bouwkundige staat en/of de fundering in slecht staat is, bij andere waarden dan die in de Eurocode 7 gesteld worden, al schade kan ontstaan.

Naast de Eurocode 7 geeft de SBR273 ook richtlijnen voor schade ten gevolge van zettingen. Die stelt dat er een relatie is tussen de gemiddelde zetting en de bouwtechnische staat. Er worden meerdere schade vormen onderscheiden, van "verwaarloosbare schade" tot "zeer ernstige schade". In figuur 8.1 is het diagram met de vergelijking van schade soorten, uit de SBR273, opgenomen.



Figuur 8.1: SBR273 met de relatie gemiddelde zetting en bouwtechnische staat

De schade bij de categorieën zijn opgenomen in bijlage L (p. 78).

8.1.1 Schade risico prognose Eurocode 7

Een prognose van de schade risico's geeft weer of er maatregelen genomen moeten worden om schade risico's tegen te gaan. Daarbij is het van belang dat de berekende resultaten (subhoofdstuk 7.2) worden getoetst aan de in subhoofdstuk 8.1 genoemde situaties.

Gebouw	Afstand voor- achterzijde	Zetting voorzijde	Zetting achterzijde	Zettingverschil	Scheefstand
Kokerriool Zuiderhogeweg tot Tjalling Wagenaarstraat					
Moleneind 198 (GLG)	8m	6.3mm	5.0mm	1.3mm	1:6150
Moleneind 198 (HGWS)	8m	0.6mm	-	0.6mm	1:13333
Kokerriool Carillon tot Oude Nering					
Moleneind 11 (GLG)	12m	5.0mm	3.6mm	1.4mm	1:8570
Moleneind 11 (HGWS)	12m	1.5mm	0.3mm	1.2mm	1:10000
Kokerriool Oude Nering tot Tjalling Wagenaarstraat					
Dunlop (GLG)	37.5m	4.7mm	2.6mm	2.1mm	1:17850
Dunlop (HGWS)	37.5m	0.8mm	-	0.8mm	1:46875
Brug Zuiderhogeweg					
Moleneind 220 (GLG)	15m	15.6mm	12.7mm	2.9mm	1:5170
Moleneind 220 (HGWS)	15m	0.1mm	-	0.1mm	1:150000
Brug Tjalling Wagenaarstraat					
Dunlop (GLG)	44m	11.0mm	2.0mm	9.0mm	1:4890
Dunlop (HGWS)	44m	1.0mm	-	1.0mm	1:44000
Brug Oude Nering					
Moleneind 71 (GLG)	23m	1.2mm	-	1.2mm	1:19170
Moleneind 71 (HGWS)	23m	-	-	-	-
Zinker Tjalling Wagenaarstraat					
Dunlop (GLG)	36m	7.5mm	4.5mm	3.0mm	1:12000
Dunlop (HGWS)	36m	2.0mm	-	2.0mm	1:18000

Tabel 8.1: Scheefstand onderzochte gebouwen

Uit tabel 8.1 blijkt dat de grootste zetting (15.6mm) optreedt aan de voorzijde van het gebouw Moleneind 220. Deze zetting is het gevolg van de bronbemaling geplaatst voor de brug Zuiderhogeweg. Echter, de zetting is vele malen kleiner dan de richtlijn van 50mm (volgens Eurocode 7) waarbij schade wordt verwacht.

Een scheefstand van een gebouw $\geq 1:300$ wordt in geen enkel geval bereikt. De scheefstanden zijn zo gering dat de verwachting is dat deze geen aanzienlijke schade aan de gebouwen zal veroorzaken.

8.1.2 Schade risico prognose SBR273

De SBR273 geeft een schade prognose door de gemiddelde zetting af te zetten tegen de bouwkundige staat van het gebouw.

Gebouw	Zetting voorzijde	Zetting achterzijde	Gemiddelde zetting	Categorie schade
Kokerriool Zuiderhogeweg tot Tjalling Wagenaarstraat				
Moleneind 198 (GLG)	6.3mm	5.0mm	5.65mm	2
Moleneind 198 (HGWS)	0.6mm	-	0.3mm	1
Kokerriool Carillon tot Oude Nering				
Moleneind 11 (GLG)	5.0mm	3.6mm	4.3mm	2
Moleneind 11 (HGWS)	1.5mm	0.3mm	0.9mm	1
Kokerriool Oude Nering tot Tjalling Wagenaarstraat				
Dunlop (GLG)	4.7mm	2.6mm	3.65mm	1
Dunlop (HGWS)	0.8mm	-	0.4mm	1
Brug Zuiderhogeweg				
Moleneind 220 (GLG)	15.6mm	12.7mm	14.15mm	3
Moleneind 220 (HGWS)	0.1mm	-	0.05mm	1



Brug Tjalling Wagenaarstraat				
Dunlop (GLG)	11.0mm	2.0mm	6.5mm	2
Dunlop (HGWS)	1.0mm	-	0.5mm	1
Brug Oude Nering				
Moleneind 71 (GLG)	1.2mm	-	0.6mm	1
Moleneind 71 (HGWS)	-	-	-	-
Zinker Tjalling Wagenaarstraat				
Dunlop (GLG)	7.5mm	4.5mm	6mm	2
Dunlop (HGWS)	2.0mm	-	1.0mm	1

Tabel 8.2: Gemiddelde zetting onderzochte gebouwen

Uit figuur 8.1 blijkt dat, uitgaande van een matig bouwkundige staat, er pas schade ontstaat indien de gemiddelde zetting groter is dan ongeveer 4mm. Uit tabel 8.2 blijkt dat zes onderzochte gebouwen een grotere gemiddelde zetting dan deze waarde geeft indien uitgegaan wordt van zettingen vanaf de GLG. Schade risico's ten gevolge van zettingen uitgaande van de historische grondwaterstand vallen allen in categorie 1: 'geen schade'. Moleneind 220 (bouwput brug Zuiderhogeweg) geeft de grootste gemiddelde zetting van 14.15mm. Schade categorie 3 is hierbij maatgevend. Hierbij is een "kans op lichte tot matige schade".

8.2 Mogelijkheden tot beperken schade

Doordat voorkomen beter is dan genezen is het nuttig om te onderzoeken welke maatregelen kunnen worden genomen om de grootste schade risico's tegen te gaan. Om de zettingen te beperken zal de grondwaterstandverlaging moeten afnemen. Om dit te kunnen bereiken zijn meerdere oplossingen mogelijk. Er is gekozen om de twee meest voor de hand liggende maatregelen, een retourbemaling of damwand, uit te werken.

De maatregelen worden uitgewerkt voor de twee situaties waarbij de grootste zetting wordt verwacht. De eerste situatie is het beperken van de zetting van het gebouw Moleneind 220 waarbij uitgaande van de SBR273 de kans bestaat op lichte tot matige schade aan het gebouw. Tevens treedt hier de grootste zetting op ten gevolge van de bronbemaling voor de brug Zuiderhogeweg. De tweede situatie is het Dunlop gebouw. Hier hebben drie bemalingen invloed op het gebouw waardoor er een versterkt effect kan ontstaan. De situatie brug Tjalling Wagenaarstraat wordt hier onderzocht doordat hier de grootste scheefstand en zettingen worden verwacht.

Om zettingen te beperken kan een damwand of retourbemaling uitkomst bieden. Wanneer de grondwaterstandverlaging wordt verminderd door water terug de grond in te pompen, zullen de zettingen en de schade risico's afnemen. Een groot nadeel van retourbemaling kan zijn dat deze te dicht bij de bronbemaling wordt geplaatst, waardoor extra veel water onttrokken dient te worden. Een tweede mogelijkheid om zettingen te beperken is het plaatsen van damwanden. Door deze in een watervoerende laag te plaatsen, zal de grondwaterstandverlaging en het debiet van de bronbemaling afnemen. Doordat dit dubbele resultaten oplevert is deze maatregel hoogst waarschijnlijk effectiever dan het plaatsen van retourbemaling.

8.2.1 Retourbemaling of damwand Moleneind 220

Door retourbemaling toe te passen kan de grondwaterstanddaling aan de voor- en achterzijde van Moleneind 220 tegen gegaan worden. Tevens kan een damwand ervoor zorgen dat de grondwaterstanddaling, en daarmee de zettingen, afneemt. De retourbemaling en de damwand zijn aan de oostzijde van de bouwput geplaatst. Aan die zijde staan de meest zettinggevoelige gebouwen,



waardoor een grondwaterstanddaling daar verminderd dient te worden. Alle resultaten van de berekeningen zijn te vinden in bijlage M (p. 79).

Berekend debiet bij retourbemaling (onttrekken):	134.4m ³ /dag of 5.6m ³ /h	
Berekend debiet bij retourbemaling (infiltreren):	38m ³ /dag of 1.58m ³ /h	
Berekend debiet bij damwand:	90.9m ³ /dag of 3.8m ³ /h	
Afstand tot rand bouwput (m)	Verlaging retourbemaling t.o.v. GHG (m)	Verlaging damwand t.o.v. GHG (m)
Midden bouwput	4.10	4.19
0	4.10	4.50
13.5	2.51	1.75
28.5	2.12	1.65
50	1.68	1.40
100	1.03	0.91
250	0.29	0.26
500	0.04	0.03

Tabel 8.3: Invloed retourbemaling en damwand op grondwaterstandverlaging bouwput brug Zuiderhogeweg

Uit tabel 8.3 blijkt dat het plaatsen van retourbemaling of een damwand grote invloeden heeft op de verlaging van de grondwaterstand aan de voor- en achterzijde van het onderzochte gebouw. De damwand laat betere resultaten zien dan de retourbemaling. Een nadelig gevolg bij het plaatsen van de retourbemaling is het grotere debiet dat onttrokken dient te worden. Bij het plaatsen van een damwand neemt het debiet juist af. Vervolgens kunnen de zettingen opnieuw berekend worden.

Berekening retourbemaling		
	Verlaging t.o.v. GHG (m)	Zetting t.o.v. GLG (mm)
Voorzijde gebouw	2.51	11.6
Achterzijde gebouw	2.12	9.5
Vershil	0.39	2.1
Berekening damwand		
	Verlaging t.o.v. GHG (m)	Zetting t.o.v. GLG (mm)
Voorzijde gebouw	1.75	7.4
Achterzijde gebouw	1.65	6.8
Vershil	0.10	0.6

Tabel 8.4: Zettingen bij retourbemaling en damwand voor de bouwput brug Zuiderhogeweg

Tabel 8.4 toont aan dat bij een retourbemaling de zettingen, vergeleken met de resultaten uit tabel 7.5, redelijk verminderd zijn. Bij het plaatsen van een damwand zijn de effecten nog groter.

8.2.2 Retourbemaling of damwand Dunlop

Retourbemaling toepassen voor de bouwput voor de brug Tjalling Wagenaarstraat kan de grondwaterstanddaling aan de voor- en achterzijde van het Dunlop gebouw beïnvloeden. Hierdoor zullen de zettingen afnemen. Tevens kan een damwand invloed hebben op de grondwaterstanddaling. Doordat het Dunlop gebouw aan de oostzijde van de bouwput brug Tjalling Wagenaarstraat staat, is de retourbemaling of damwand aan deze zijde geplaatst. De resultaten van de berekening is te vinden in bijlage N (p. 86).



Berekend debiet bij retourbemaling (onttrekken):	66m ³ /dag of 2.75m ³ /h	
Berekend debiet bij retourbemaling (infiltreren):	32m ³ /dag of 1.33m ³ /h	
Berekend debiet bij damwand:	29.4m ³ /dag of 1.23m ³ /h	
Afstand tot rand bouwput (m)	Verlaging retourbemaling t.o.v. GHG (m)	Verlaging damwand t.o.v. GHG (m)
Midden bouwput	3.14	3.14
4	2.04	1.22
10	1.78	1.18
25	1.40	1.03
48	1.03	0.80
100	0.58	0.46
250	0.14	0.11
500	0.01	0.01

Tabel 8.5: Invloed retourbemaling en damwand op grondwaterstandverlaging bouwput brug Tjalling Wagenaarstraat

Uit tabel 8.5 blijkt dat het plaatsen van een retourbemaling of damwand grote invloed heeft op de grondwaterstandverlaging. Het plaatsen van een damwand geeft gunstigere resultaten dan het plaatsen van een retourbemaling. Het debiet dat onttrokken dient te worden is bij een retourbemaling behoorlijk hoger dan bij een damwand. Nadat de verlagingen bekend zijn kan opnieuw een zettingberekening in D-Settlement plaatsvinden.

Berekening retourbemaling		
	Verlaging t.o.v. GHG (m)	Zetting t.o.v. GLG (mm)
Voorzijde gebouw	2.04	7.6
Achterzijde gebouw	1.03	-
Vershil	1.01	7.6
Berekening damwand		
	Verlaging t.o.v. GHG (m)	Zetting t.o.v. GLG (mm)
Voorzijde gebouw	1.22	1.1
Achterzijde gebouw	0.80	-
Vershil	0.42	1.1

Tabel 8.6: Zettingen bij retourbemaling en damwand voor de bouwput brug Tjalling Wagenaarstraat

Uit tabel 8.6 blijkt dat een verlaging van de grondwaterstand door middel van retourbemaling aan de voorzijde 7.6mm zetting geeft. De achterzijde geeft geen zetting meer. Bij het plaatsen van een damwand is de zetting aan de voorzijde van het gebouw nihil te noemen. Het plaatsen van een damwand geeft een beter resultaat dan het plaatsen van retourbemaling.

8.2.3 Schade risico prognose Eurocode 7

De zettingen kunnen wederom getoetst worden aan de normen voor de maximale schade. De Eurocode 7 stelt dat een gebouw schade ondervindt bij een scheefstand groter dan 1:300, of bij een zetting meer dan 50mm.



Gebouw	Afstand voor- achterzijde	Zetting voorzijde	Zetting achterzijde	Zetting verschil	Scheef stand
Brug Zuiderhogeweg					
Moleneind 220 (retourbemaling)	15m	11.6mm	9.5mm	2.1mm	1:7145
Moleneind 220 (damwand)	15m	7.4mm	6.8mm	0.6mm	1:25000
Brug Tjalling Wagenaarstraat					
Dunlop (GLG)	44m	7.6mm	-	7.6mm	1:5790
Dunlop (HGWS)	44m	1.1mm	-	1.1mm	1:40000

Tabel 8.7: Toetsing zetting bij plaatsen retourbemaling of damwand aan de Eurocode 7

Uit tabel 8.7 blijkt dat de scheefstanden en zettingen ruim binnen de normen van de Eurocode 7 vallen.

8.2.4 Schade risico prognose SBR273

De berekende waarden kunnen nog worden getoetst aan de SBR273. Deze norm geeft een verband aan tussen de bouwkundige staat van de gebouwen en de gemiddelde zetting die plaatsvindt.

Gebouw	Zetting voorzijde	Zetting achterzijde	Gemiddelde zetting	Categorie schade
Brug Zuiderhogeweg				
Moleneind 220 (retourbemaling)	11.6mm	9.5mm	10.55mm	2
Moleneind 220 (damwand)	7.4mm	6.8	7.1mm	2
Brug Tjalling Wagenaarstraat				
Dunlop (retourbemaling)	7.6mm	-	3.8mm	1
Dunlop (damwand)	1.1mm	-	0.55mm	1

Tabel 8.8: Toetsing zetting bij plaatsen retourbemaling of damwand aan SBR273

Uit tabel 8.8 blijkt dat de zettingen bij de bouwput brug Zuiderhogeweg vallen in schade categorie 2. Dit houdt in dat er lichte schade plaatsvindt aan het onderzochte gebouw. Bij de brug Tjalling Wagenaarstraat hebben de maatregelen een zodanig groot effect dat de schade in categorie 1 valt, "geen schade".

8.3 Zettingvergelijking

Het toepassen van één van de maatregelen genoemd in subhoofdstuk 8.2 kan van groot belang zijn voor het tegengaan van schade. Om het effect weer te geven van deze maatregelen, is een vergelijking gemaakt.

Een vergelijking van de zettingen met en zonder maatregel is belangrijk om het effect van de maatregel aan te tonen. De berekende zettingen gaan uit van een verlaging vanaf de GLG.

Gebouw	Maatregel	Zetting voorzijde	Zetting achterzijde	Categorie schade
Moleneind 220	Geen	15.6mm	12.7mm	3
Moleneind 220	Retourbemaling	11.6mm	9.5mm	2
Moleneind 220	Damwand	7.4mm	6.8mm	2
Dunlop	Geen	11.0mm	2.0mm	2
Dunlop	Retourbemaling	7.6mm	-	1
Dunlop	Damwand	1.1mm	-	1

Tabel 8.9: Zettingvergelijking



Uit de zettingvergelijking in tabel 8.9 blijkt dat de schade zonder maatregel bij het Moleneind 220 in categorie 3 valt. Bij retourbemaling of een damwand zal deze in categorie 2 vallen. De zetting zonder maatregelen bij het Dunlop gebouw valt in schade categorie 2. Deze valt bij het plaatsen van retourbemaling of een damwand in categorie 1.

Het plaatsen van een retourbemaling voor het gebouw Moleneind 220 is voldoende om het risico op schade één niveau terug te brengen. Echter, het effect is niet zo groot dat de zetting in zoverre afneemt dat de schade risico's weg worden genomen. Het plaatsen van een damwand geeft ongeveer een halvering van de zetting. Echter, ook deze zetting valt nog in categorie 2 waardoor ook in deze situatie het effect niet groot genoeg is om de kans op schade weg te nemen.

Het plaatsen van een retourbemaling voor het Dunlop gebouw geeft enkele millimeters minder zetting. Het effect van deze maatregel is redelijk klein te noemen. Het plaatsen van een damwand geeft echter een behoorlijk effect. De zetting die nog plaatsvindt, is vrijwel nihil te noemen. Bij zowel het plaatsen van retourbemaling als een damwand valt de schade in categorie 1, "geen schade".

Er dient rekening mee te worden gehouden dat het plaatsen van damwanden trillingen kan veroorzaken. Indien er gekozen wordt om damwanden te plaatsen, dan zal deze dicht bij de bebouwing geplaatst moeten worden. Hierdoor kan de schade van het plaatsen van de damwand groter zijn dan het effect dat deze oplevert (het middel is erger van de kwaad).

8.4 Kostenanalyse

Het plaatsen van een retourbemaling of damwand kan prijzig zijn. De kosten hiervan dienen op te wegen tegen de baten. Een vergelijking tussen de kosten van de schade zonder maatregelen, en met maatregelen kan aantonen of het nuttig is om een maatregel uit te voeren.

Echter, een probleem hierbij is een kostenplaatje te maken van de schade die ontstaan zonder dat er maatregelen getroffen worden. Dit kan namelijk alleen worden weergegeven als zijnde $x \text{ m}^2$ schadeherstel. De hoeveelheid (x) kan hierin behoorlijk variëren.

De kosten van retourbemaling wordt geschat op 2 á 3 keer de kosten bij onttrekking, indien uitgegaan wordt van volledige retourbemaling (10). Een richtprijs voor het plaatsen van retourbemaling is €50/m¹.

De kosten van het plaatsen van een damwand is sterk afhankelijk van de sterkte die deze moet hebben. Tevens hebben lengte, breedte en functie invloed op de kosten. Tevens zijn de kosten van eventuele schade die ontstaat bij het plaatsen- en weer trekken van de damwand lastig in te schatten. Een richtprijs voor de kosten voor het gebruik van damwanden is €300/m¹, vele malen duurder dan het plaatsen van retourbemaling.

Indien er gekozen wordt om een retourbemaling en/of damwand te plaatsen, kan met zekerheid worden gesteld dat de schade risico's afnemen. Of de kosten van het nemen van de maatregelen opwegen tegen de effecten daarvan, kan niet aangetoond worden. Wel kan gesteld worden dat het plaatsen van een retourbemaling vele malen goedkoper zal zijn dan het plaatsen van een damwand. Om enig risico uit te sluiten kan het plaatsen van retourbemaling uitkomst bieden. Deze oplossing is hoogstwaarschijnlijk relatief goedkoop, doch redelijk effectief.



Conclusie en aanbevelingen

Het slot van het onderzoek is de conclusie en aanbevelingen. Deze zijn bepaald aan de hand van het volledige voorgaande onderzoek.

Conclusie

Uit voorgaand onderzoek blijkt dat het plaatsen van bronbemaling voor het aanleggen van een kokerriool, landhoofden en rioolzinker, en de daardoor volgende grondwaterstandverlaging, ongunstige zettingen tot gevolg heeft.

Het projectgebied toont een grote variatie in de bodemopbouw. De ondergrond bestaat voornamelijk uit leem, met enkele veen- en zandlagen. Halverwege het traject ligt in de ondiepe ondergrond een grote zandlaag. De hoogste grondwaterstand is 0.40m+ NAP en de laagste 0.70m – NAP. De historische grondwaterstand heeft tussen 1.81m –NAP en 2.92m –NAP gelegen.

Om in de bouwputten in den droge te kunnen werken dient de grondwaterstand tijdelijk verlaagd te worden. Deze verlaging ligt tussen de 2.75 en 5.50m –NAP. Voor één bouwput (zinker Tjalling Wagenaarstraat) dient spanningsbemaling toegepast te worden om opbarsten te voorkomen. Voor de overige bouwputten voldoet freatische bemaling.

Ten gevolge van de bronbemaling ontstaan grondwaterstandverlagingen. Zettingen in de veen- en leemlagen ten gevolge van de grondwaterstanddalingen zijn het gevolg. De zettingen zijn onderzocht ter plaatse van de meest zettinggevoelige gebouwen. Het blijkt dat, volgens de Eurocode 7, er geen schade ten gevolge van deze zettingen plaatsvindt die de grenstoestanden overschrijden. Volgens de SBR273 blijkt echter dat de zettingen bij alle onderzochte gebouwen zo groot zijn dat deze schade kunnen veroorzaken. Het blijkt dat het gebouw Moleneind 220 de grootste schade ondervindt ten gevolge van de zettingen. Tevens vinden er ter plaatse van het historische deel van het Dunlop gebouw ongunstige zettingen plaats.

Om zettingen tegen te gaan kan een retourbemaling of damwand geplaatst worden. Het plaatsen van retourbemaling is een redelijk effectieve maatregel, en hoogstwaarschijnlijk relatief goedkoop. Het plaatsen van een damwand is de meest effectieve manier om ongewenste zettingen tegen te gaan. Het plaatsen en weer trekken van de damwand kan echter meer schade veroorzaken dan de berekende zettingen ten gevolge van de grondwaterstanddaling. Tevens is een damwand waarschijnlijk een dure oplossing.

Aanbevelingen

De volgende aanbevelingen worden gedaan:

Het plaatsen van monitoringspeilbuizen om de werkelijke grondwaterstandverlaging in kaart te brengen, en zo betere inschattingen te kunnen maken van eventuele schade ten gevolge van zettingen.

Het is onduidelijk wat de kosten zijn van de schade die plaatsvindt aan gebouwen ten gevolge van zettingen. Een onderzoek naar de kosten hiervan zal duidelijkheid moeten bieden.

Het plaatsen van een damwand of retourbemaling voor het Dunlop gebouw en het Moleneind 220 zullen ongewenste zettingen ten gevolge van de grondwaterstanddaling beperken.



Bronvermelding

Internet

1. Wikipedia (28 december 2012). *Drachtster Compagnonsvaart*. Geraadpleegd op 6 februari 2013, http://nl.wikipedia.org/wiki/Drachtster_Compagnonsvaart
2. Wikipedia (5 januari 2013). *Drachten*. Geraadpleegd op 6 februari 2013, <http://nl.wikipedia.org/wiki/Drachten>
3. Youtube (15 januari 2008). *Drachten – demping vaart*. Geraadpleegd op 6 februari 2013, <http://www.youtube.com/watch?v=IEGAE6B4r1E>
4. Wikipedia (18 juni 2012). *Carillon (Drachten)*. Geraadpleegd op 6 februari 2013, [http://nl.wikipedia.org/wiki/Carillon_\(Drachten\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Carillon_(Drachten))
5. Viadrupsteen (2012). *Drachtstervaart*. Geraadpleegd op 6 februari 2013, <http://www.viadrupsteen.nl/drachtstervaart/>
6. Devaarterin (1 oktober 2012). *Nieuwsbroef Drachtstervaart*. Geraadpleegd op 20 februari 2013, www.devaarterin.nl/site/uploads/files/Dvaart_nieuwsbrief_1_LR.pdf
7. Dinoloket (14 januari 2013). *Data en informatie van de Nederlandse ondergrond*. Geraadpleegd op 14 februari 2013, www.dinoloket.nl
8. Bot A.P. (2011). *Grondwaterzakboekje*. Geraadpleegd op 18 maart 2013, www.grondwaterzakboekje.nl
9. BFBN (2013). *Bouwen in prefab beton*. Geraadpleegd op 25 maart 2013, <http://www.ab-fab.nl/documenten/pbto-hoofdstuk-06.pdf>
10. Bodemrichtlijn. *Richtlijn herstel en beheer (water)bodemkwaliteit*. Geraadpleegd op 23 april 2013, <http://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/c-grondverzet/c2-open-ontgraven/open-ontgraven-kosten-bemaling>

Literatuur

11. Berendsen, H. (2008). *Landschappelijk Nederland*. Assen: Koninklijke van Gorcum.
12. Wetterskip Fryslân (2011). *Algemene regels bij de keur van Wetterskip Fryslân*. Leeuwarden
13. Nederlands Normalisatie Instituut (april 2012). *NEN9997 Geotechnisch ontwerp van constructies*. Delft
14. Nederlands Normalisatie Instituut (september 2006). *NEN6740 Geotechniek TGB1990 Basiseisen en belastingen*. Delft



Bijlagen

Bijlage A: Drachten in de 19^e en 20^e eeuw

Bijlage B: Het Moleneind en zijn omgeving

Bijlage C: Toekomstige situatie

Bijlage D: Locatie peilbuizen en peilbuisgegevens

Bijlage E: Locaties boringen en sonderingen

Bijlage F: Langsdoorsnede

Bijlage G: Grondeigenschappen Fugro rapport 6006-0649-000

Bijlage H: Berekeningen Mwell

- Berekening Mwell kokerriool fase 3
- Berekening Mwell kokerriool fase 4
- Berekening Mwell kokerriool fase 5
- Berekening Mwell brug Zuiderhogeweg
- Berekening Mwell brug Tjalling Wagenaarstraat
- Berekening Mwell brug Oude Nering
- Berekening Mwell zinker Tjalling Wagenaarstraat

Bijlage I: Inventarisatie bouwjaren gebouwen

Bijlage J: Bodemopbouw onderzochte gebouwen

Bijlage K: Berekeningen D-Settlement

- Berekening D-Settlement kokerriool fase 4.
- Berekening D-Settlement kokerriool fase 5
- Berekening D-Settlement brug Zuiderhogeweg
- Berekening D-Settlement brug Tjalling Wagenaarstraat
- Berekening D-Settlement brug Oude Nering
- Berekening D-Settlement zinker Tjalling Wagenaarstraat

Bijlage L: Richtlijnen schade risico's volgens SBR273

Bijlage M: Berekeningen retourbemaling en damwand brug Zuiderhogeweg

Bijlage N: Berekeningen retourbemaling en damwand brug Tjalling Wagenaarstraat

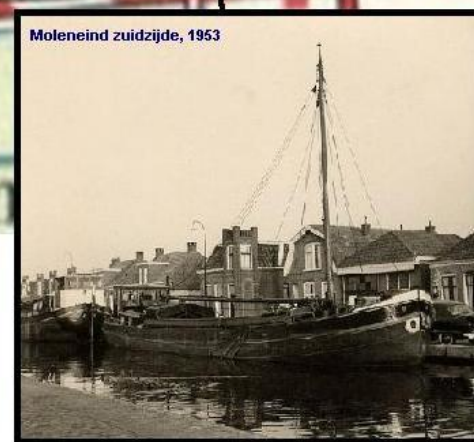


Bijlage A: Drachten in de 19e en 20e eeuw

Historisch Drachten

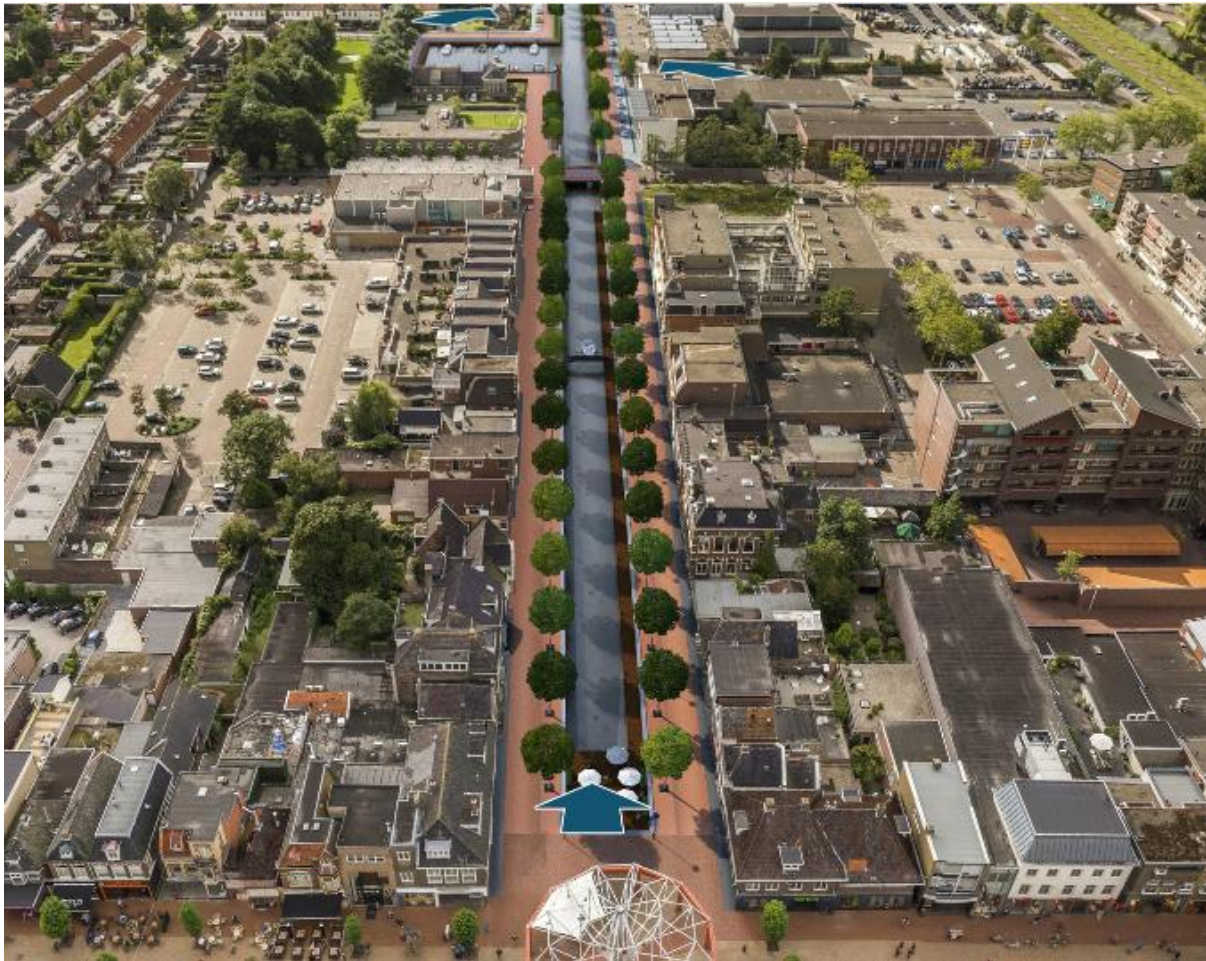
Kaart: 1959

Foto's: 19e-20e eeuw

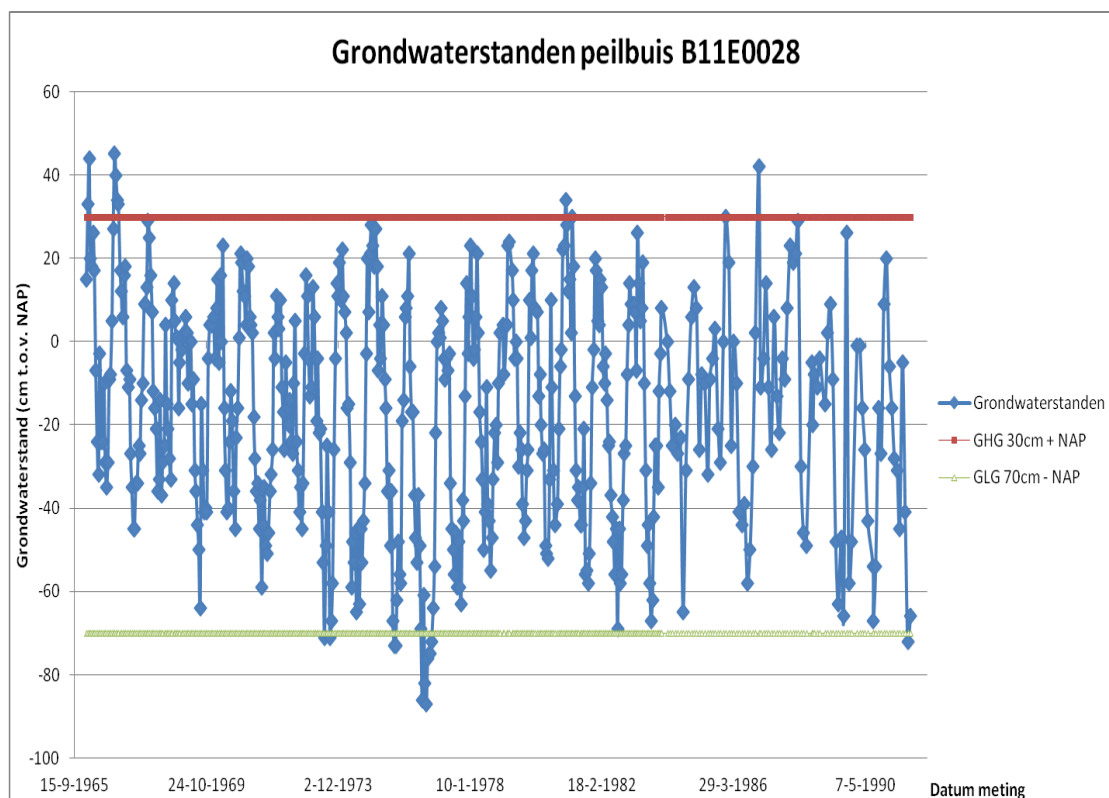
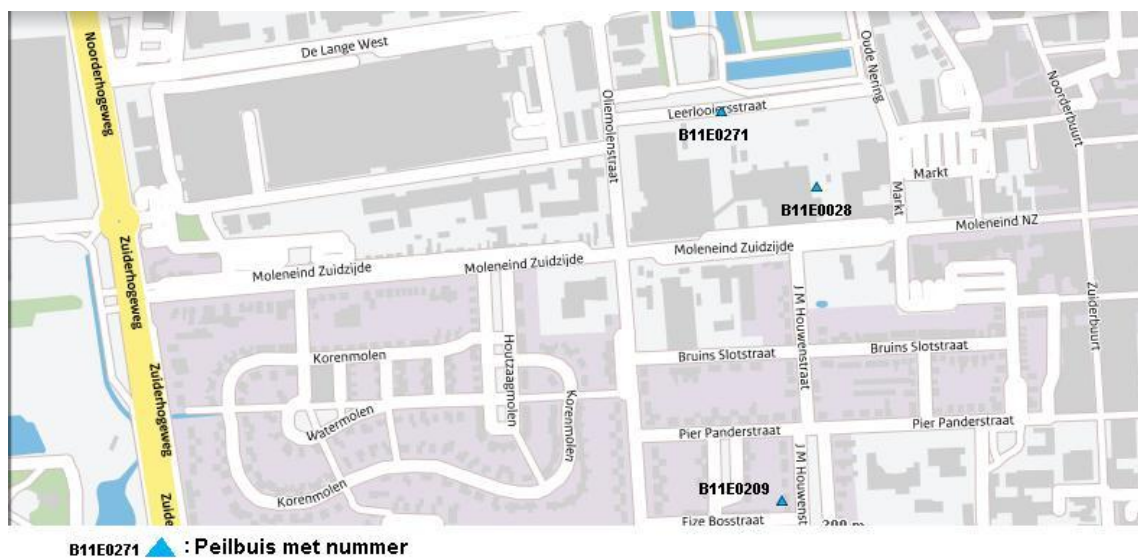


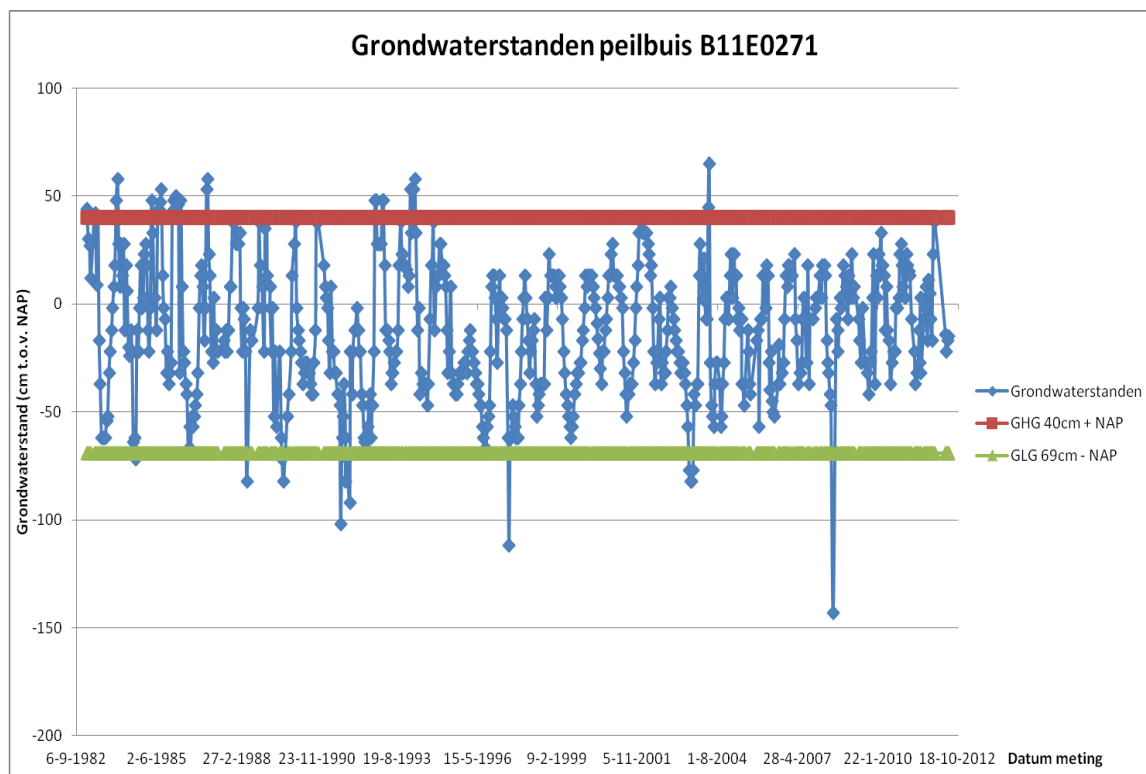
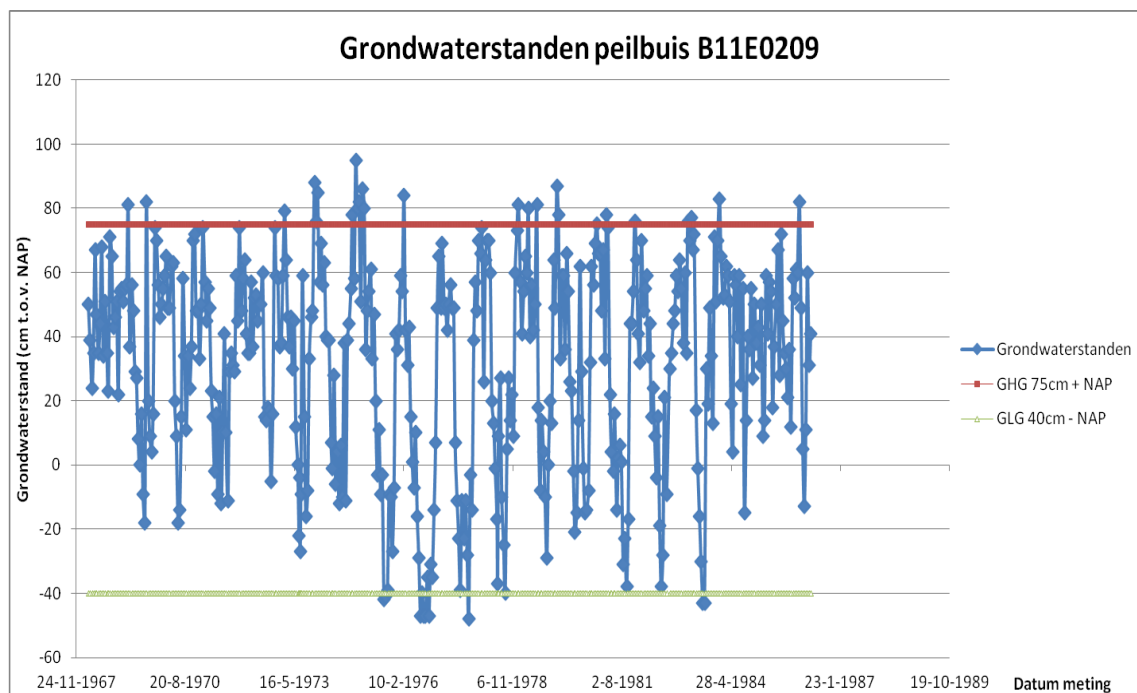


Bijlage C: Toekomstige situatie



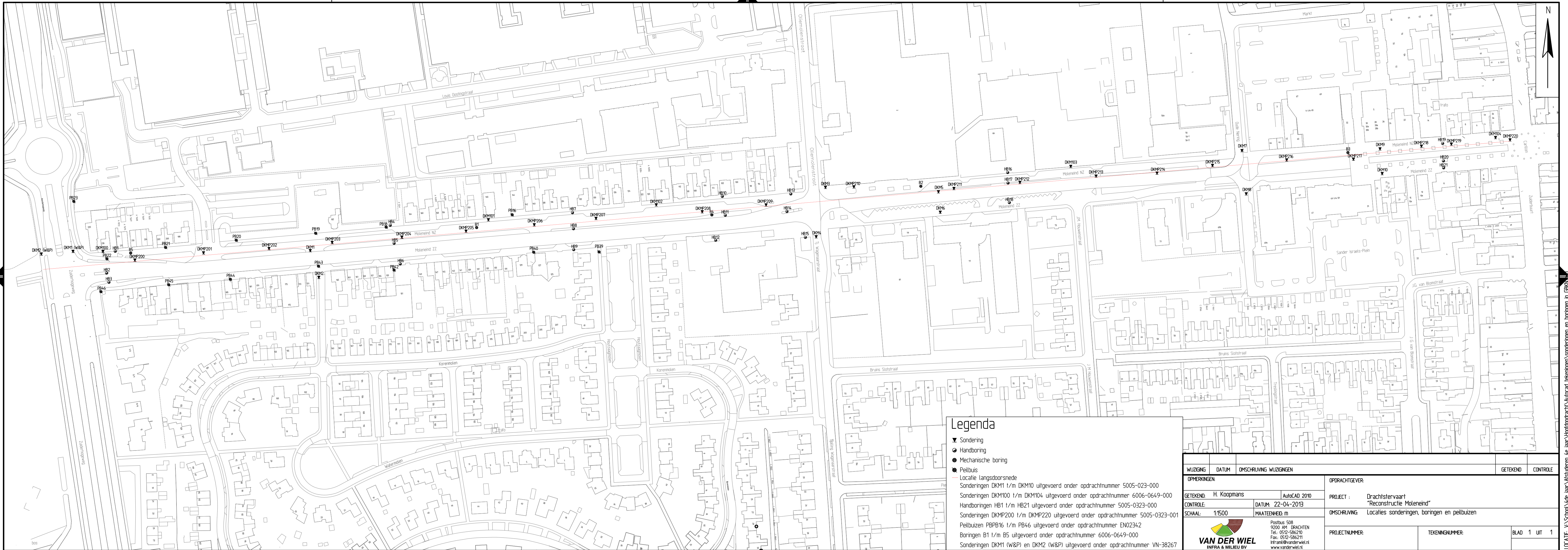
Bijlage D: Locatie peilbuizen en peilbuisgegevens





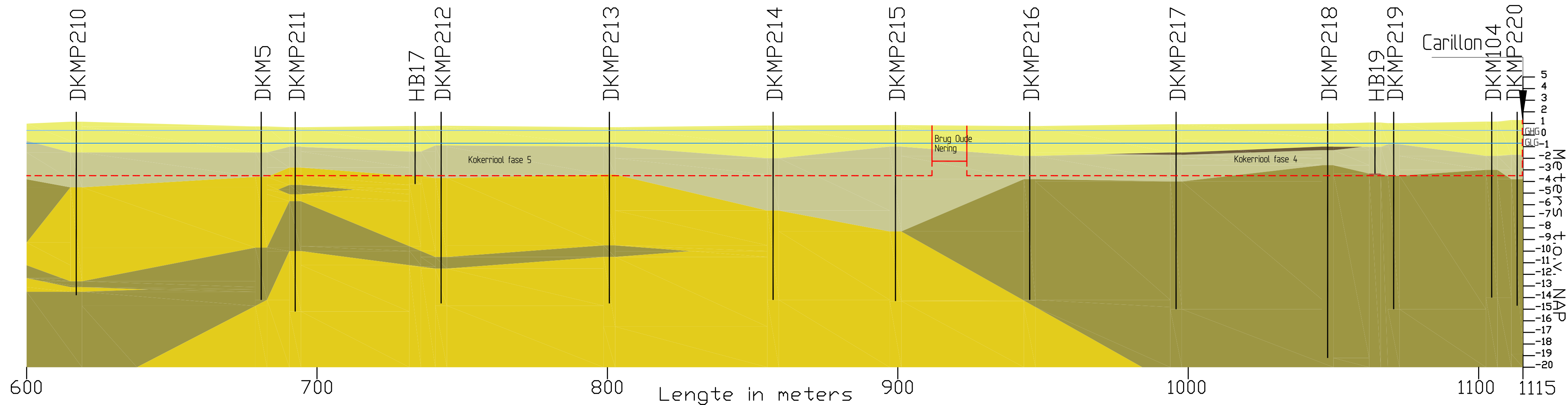
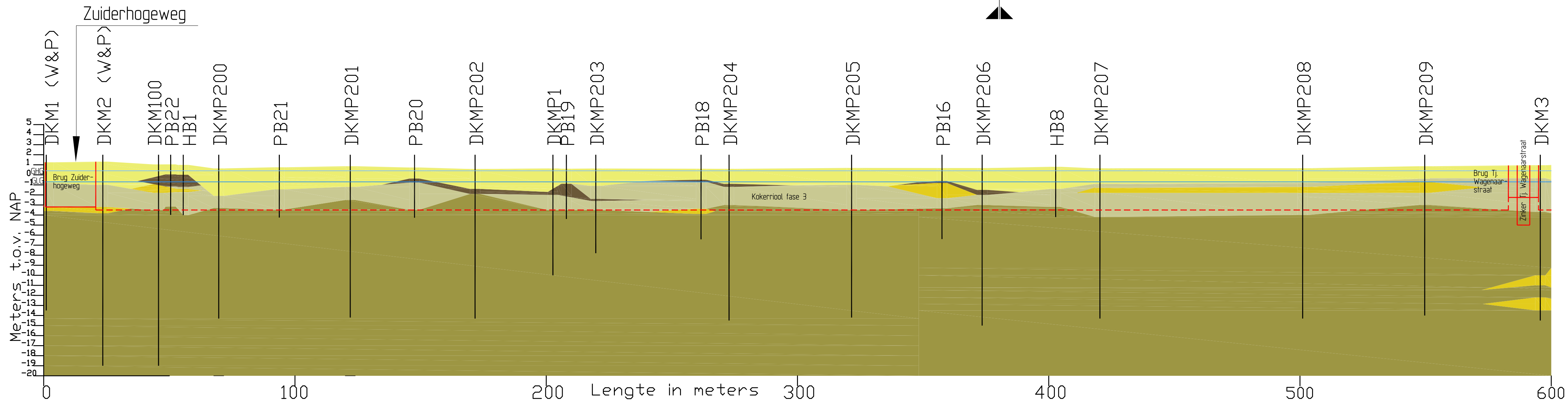
Bijlage E: Locaties boringen en sonderingen





Bijlage F: Langsdoorsnede





Legenda

- Cunet zand
- Natuurlijk zand
- Veen
- Leem (matig vast)
- Leem (vast)
- Boring/sondering
- Bouwput brug/zinker
- Bouwput kokerriool
- GHG (<0.40m +NAP)
- GLG (<0.70m -NAP)

WUZZING		DATUM		OMSCHRIJVING WUZZINGEN		GETEKEND		CONTROLE			
OPMERKINGEN: Grondlagen globaal ingetekend Herziene versie				OPDRACHTGEVER: Van der Wiel PROJECT : Drachstervaart Reconstructie Moleneind							
GETEKEND: H. Koopmans		AutoCAD 2010		OMSCHRIJVING: Langsprofiel Drachstervaart "Reconstructie Moleneind" Vanaf Zuiderhogeweg tot het Carillon							
CONTOLE:		DATUM: 22-04-2013									
SCHAAL: 1:1000		MAATEENHEID: m									
 VAN DER WIEL INFRA & MILIEU BV				Meerpaal 11 9206 AJ DRACHTEN Postbus 508 9200 AM DRACHTEN Tel.: 0512-586210 Fax: 0512-586211 Infra.nl@vanderwiel.nl www.vanderwiel.nl		PROJECTNUMMER:		TEKENINGNUMMER:		BLAD 1 UIT 1	
										A1	

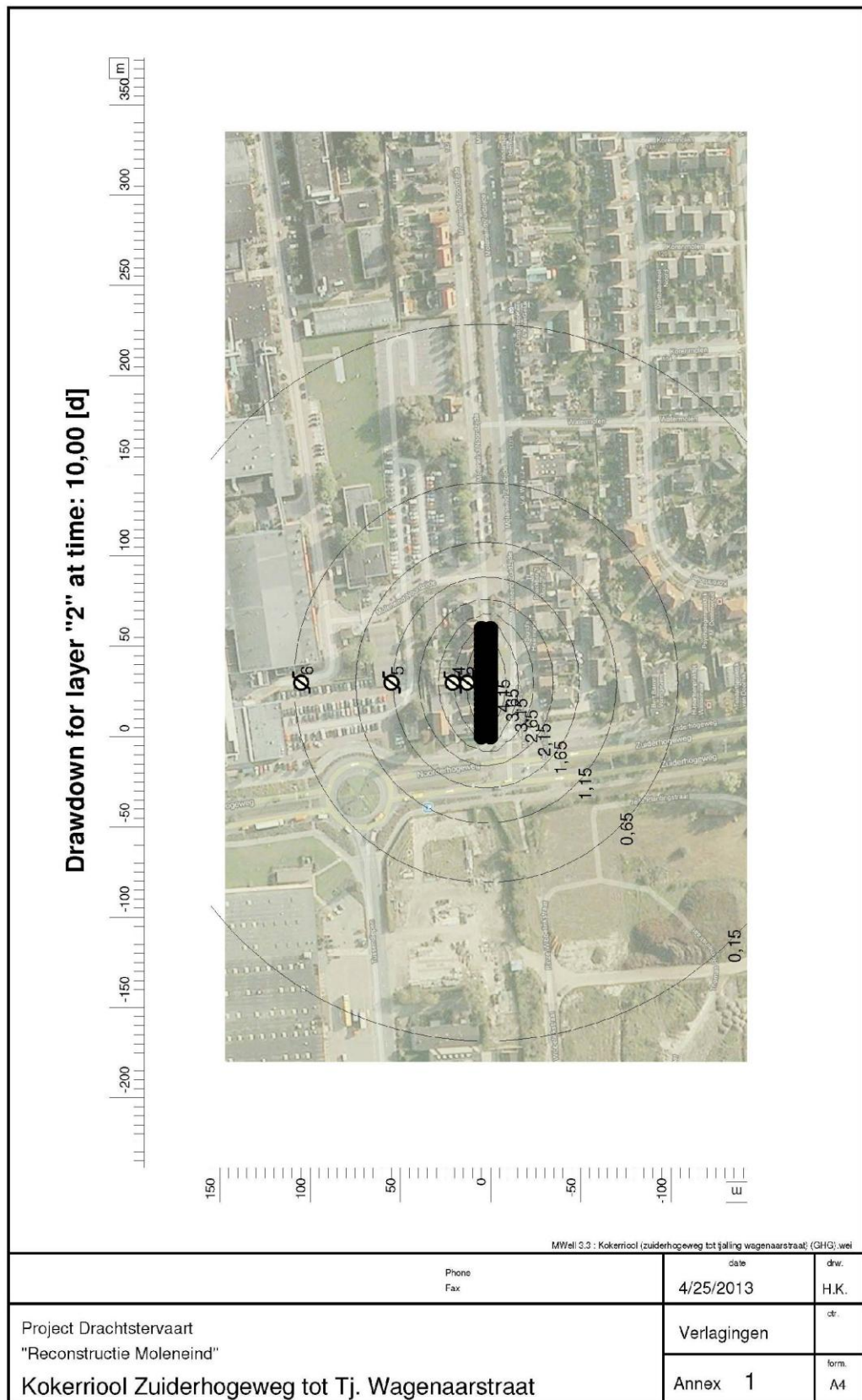
Bijlage G: Grondeigenschappen Fugro rapport 6006-0649-000

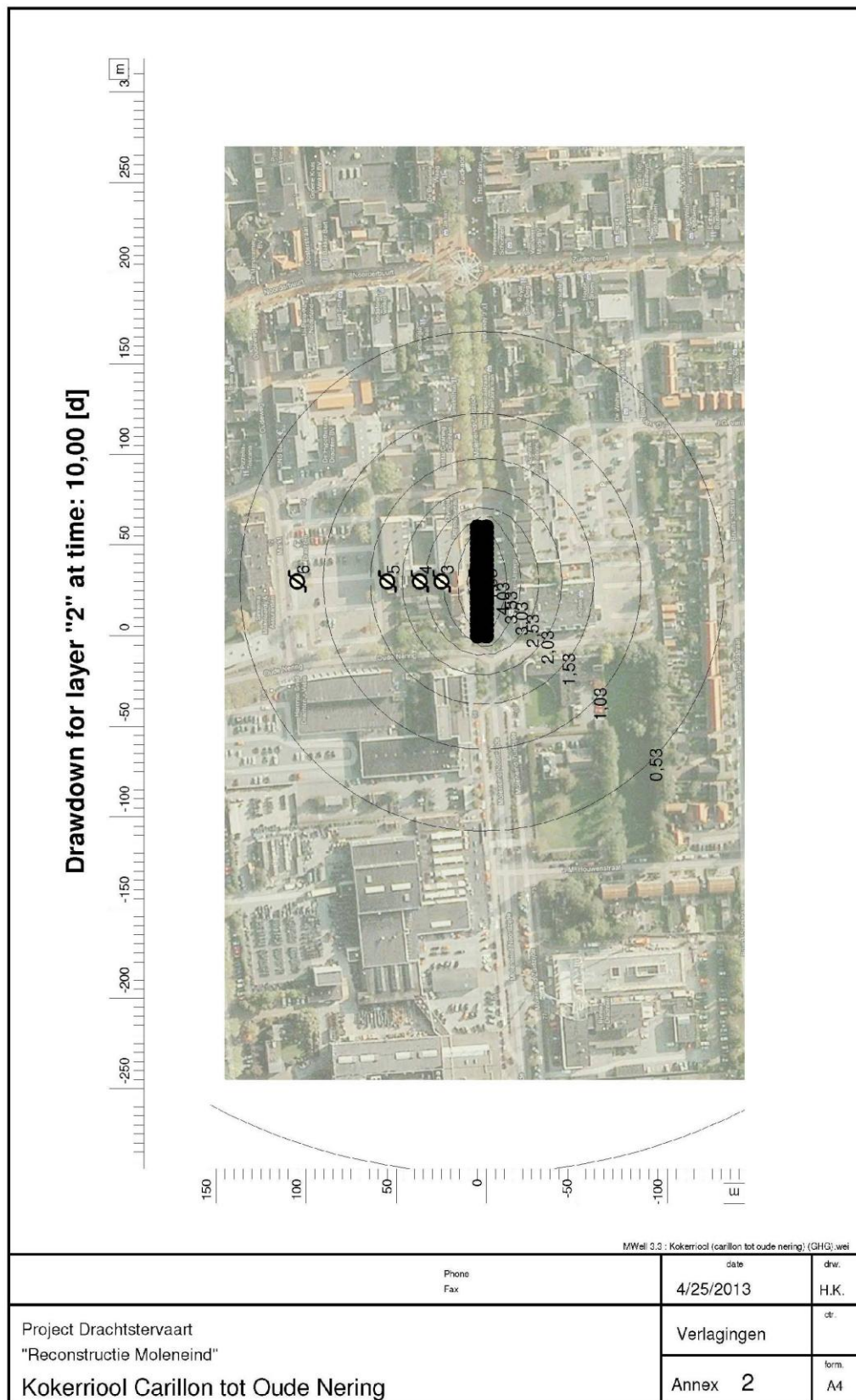
Grondsoort	Boring	Monster nummer	Y_{sat}	Y_{dr}	C_p	C_s	C'_p	C'_s
Leem (matig vast)	B1	3	20	17	100.6	1137.5	49.5	310.1
Leem (matig vast)	B3	2	20	17	118.1	960.1	42.7	288
Leem (vast)	B1	4	21	18	92.5	949.6	48.6	434
Leem (vast)	B2	3	21	18	137.9	1793	68.9	675.5
Leem (vast)	B4	5	22	19	193.8	3013.7	90.7	1088.7
Leem (vast)	B4	8	21	18	92.4	2190.9	58.7	982.9
Leem (vast)	B5	4	20	18	115.6	2316.5	69	672.1

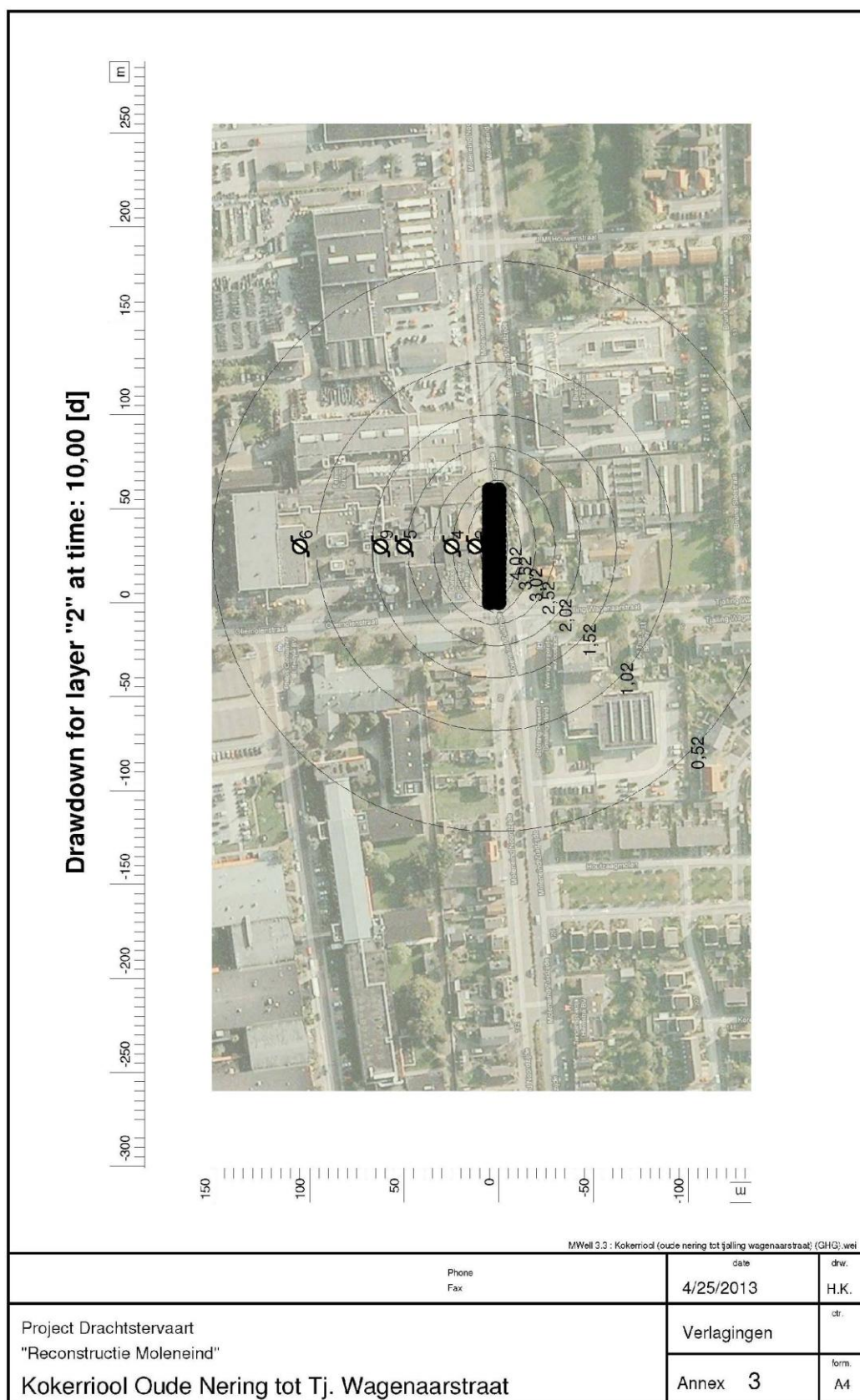


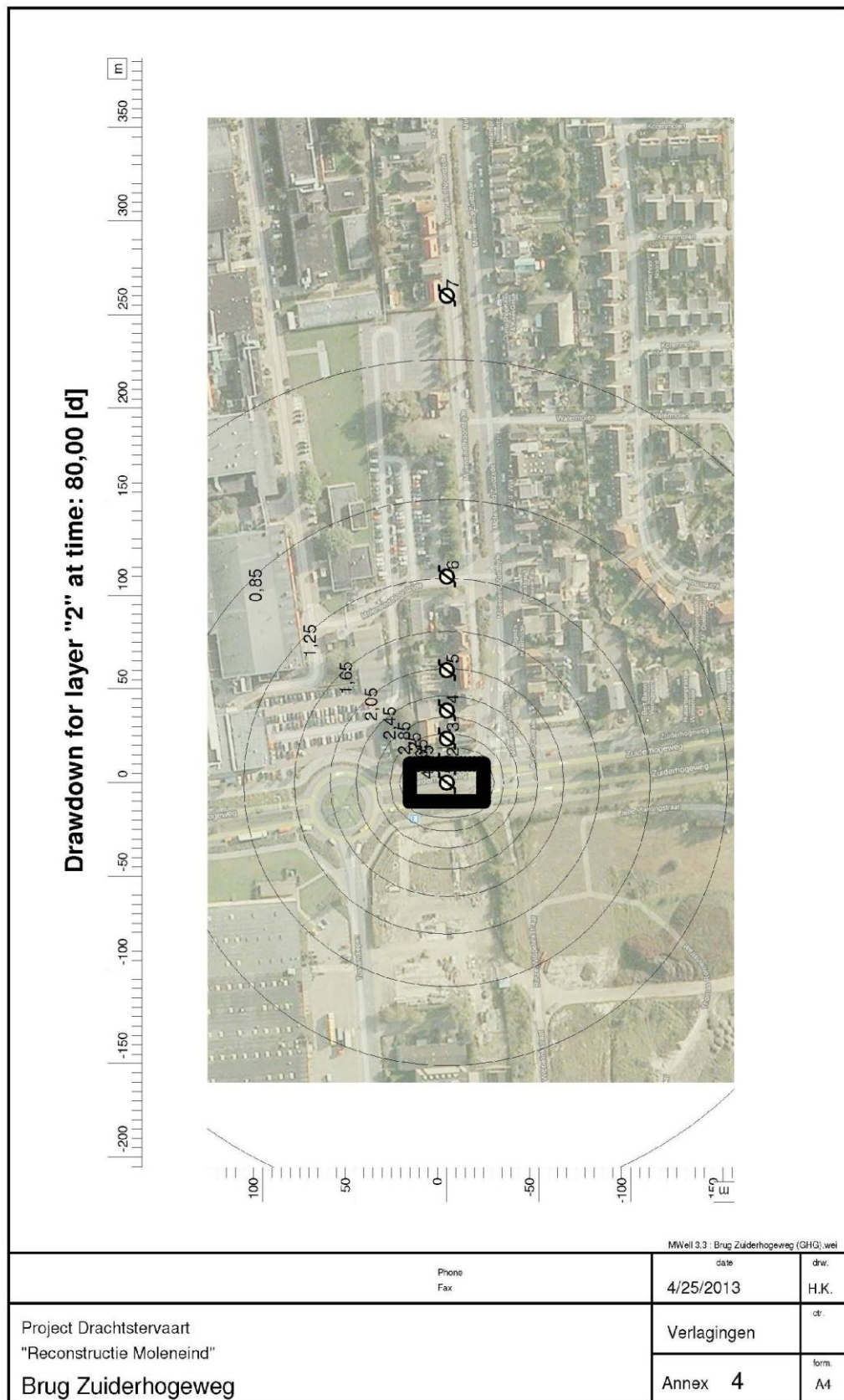
Bijlage H: Berekeningen Mwell

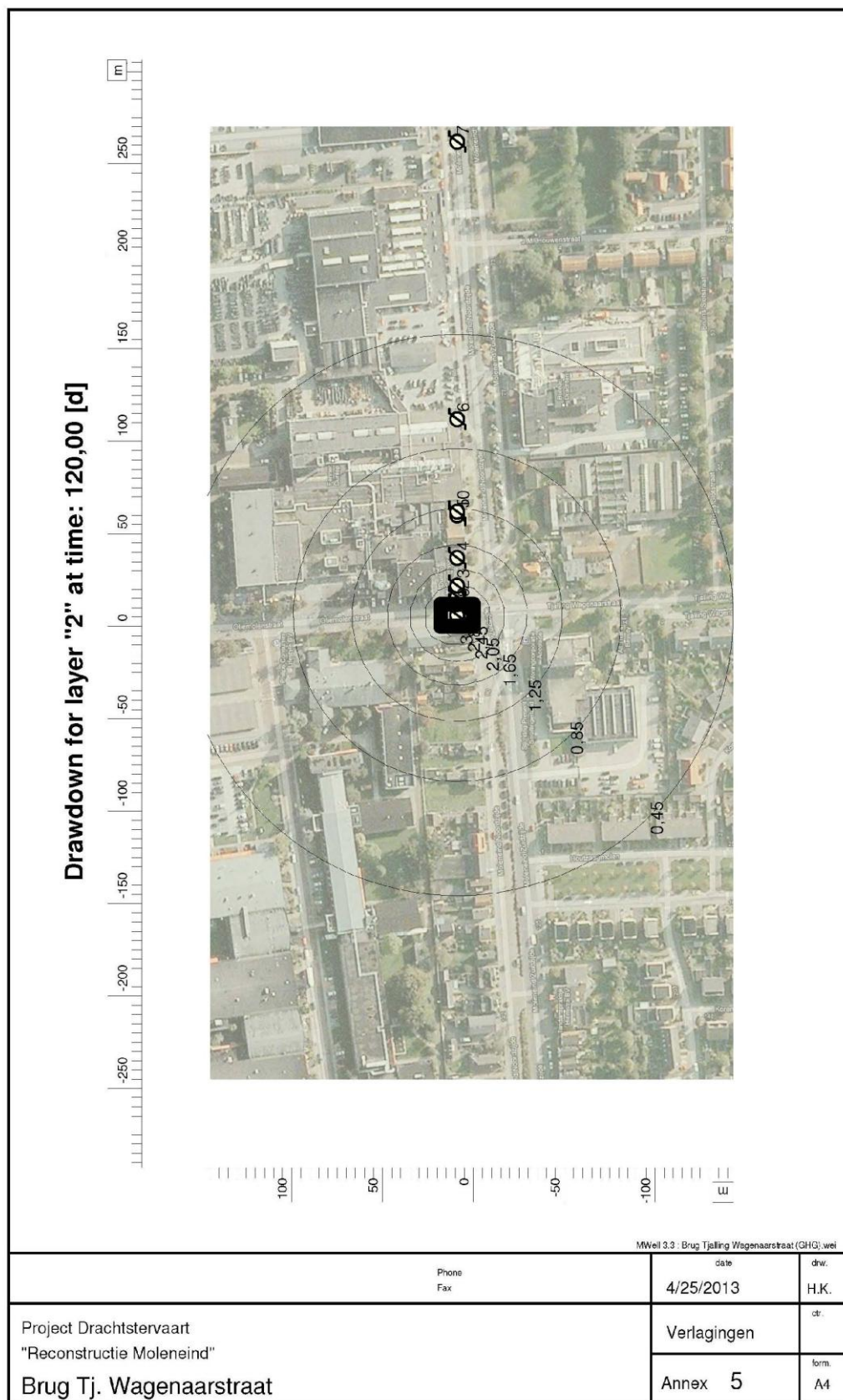


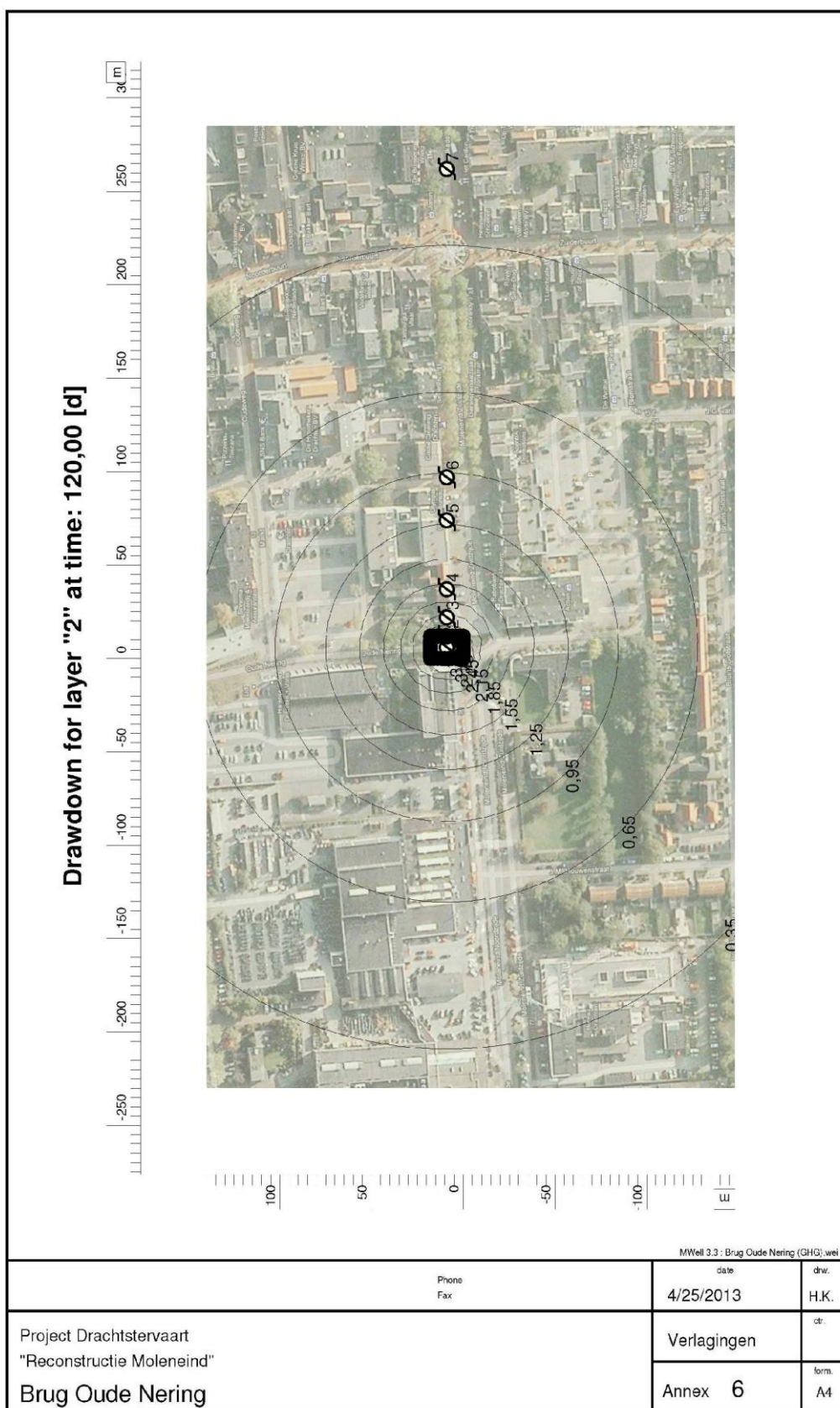


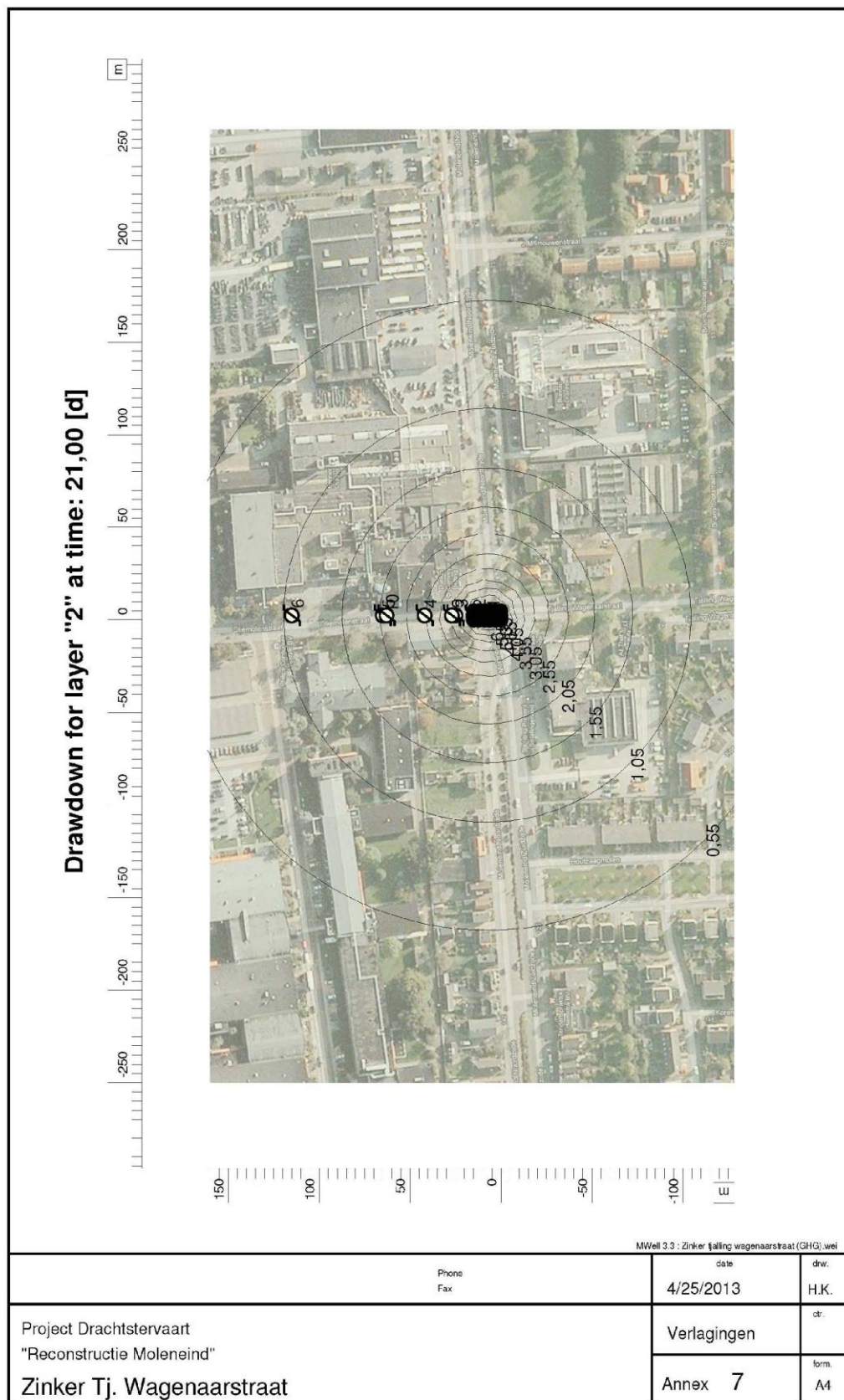












Bijlage I: Inventarisatie bouwjaren gebouwen



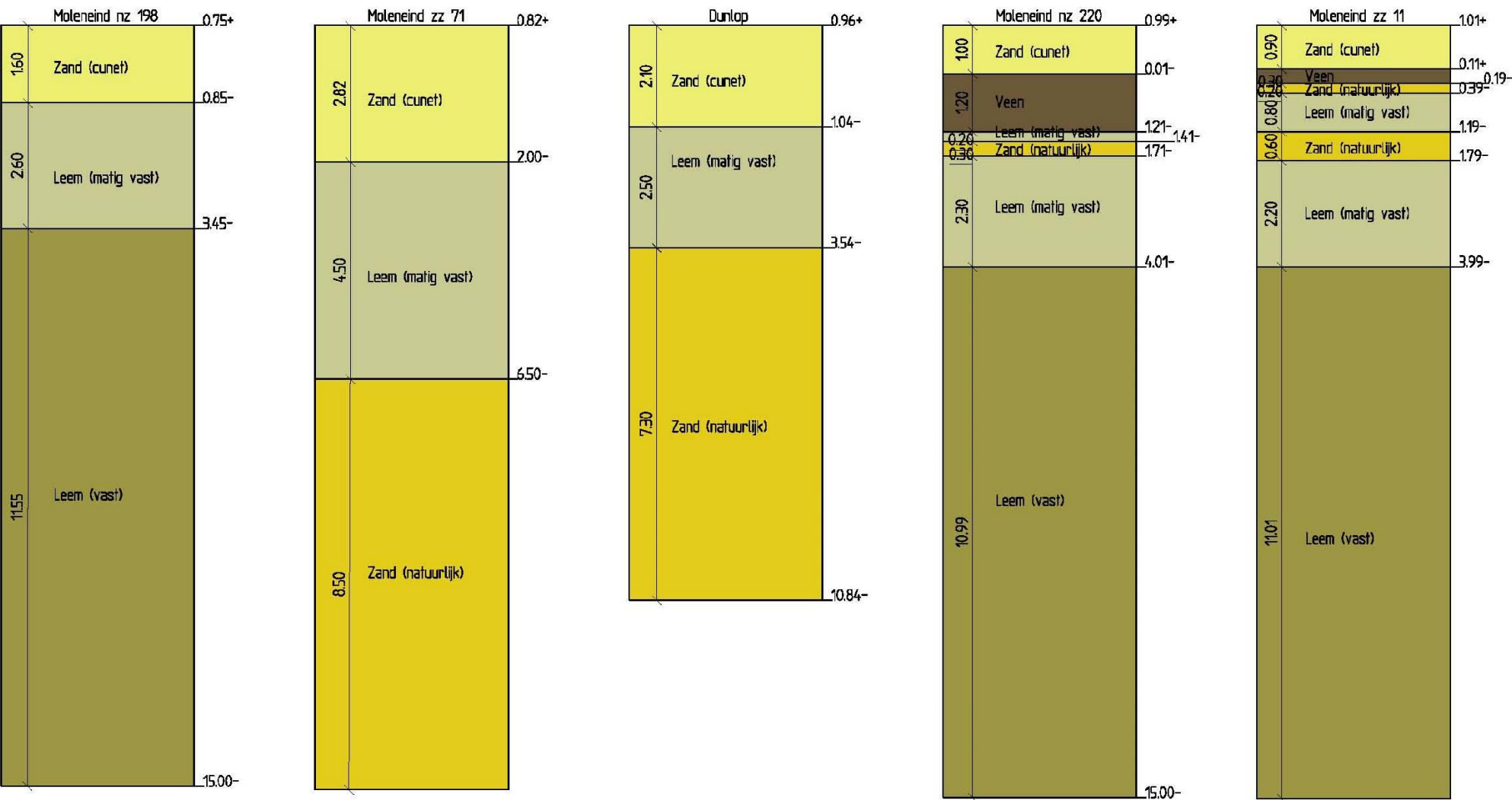


- Legenda**
-  Gebouwen voor 1950
 -  Gebouwen na 1950

WIJZIGING	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGINGEN	GETEKEND	CONTROLE
OPMERKINGEN:				
GETEKEND:	H. Koopmans	AutoCAD 2010	OPDRACHTGEVER: Van der Wiel	
CONTROLE:	-	DATUM: 19-03-2013	PROJECT : Afstudeeropdracht Drachstervaart "Reconstructie Moleneind"	
SCHAAL:	1:2000	MAATEENHEID: m	OMSCHRIJVING: Inventarisatie bouwjaren gebouwen	
 Postbus 508 9200 AM DRACHTEN Tel.: 0512-586210 Fax: 0512-586211 Infra@vanderwiel.nl www.vanderwiel.nl			PROJECTNUMMER:	TEKENINGNUMMER:
			-	1
			BLAD	1 UIT 1

Bijlage J: Bodemopbouw onderzochte gebouwen



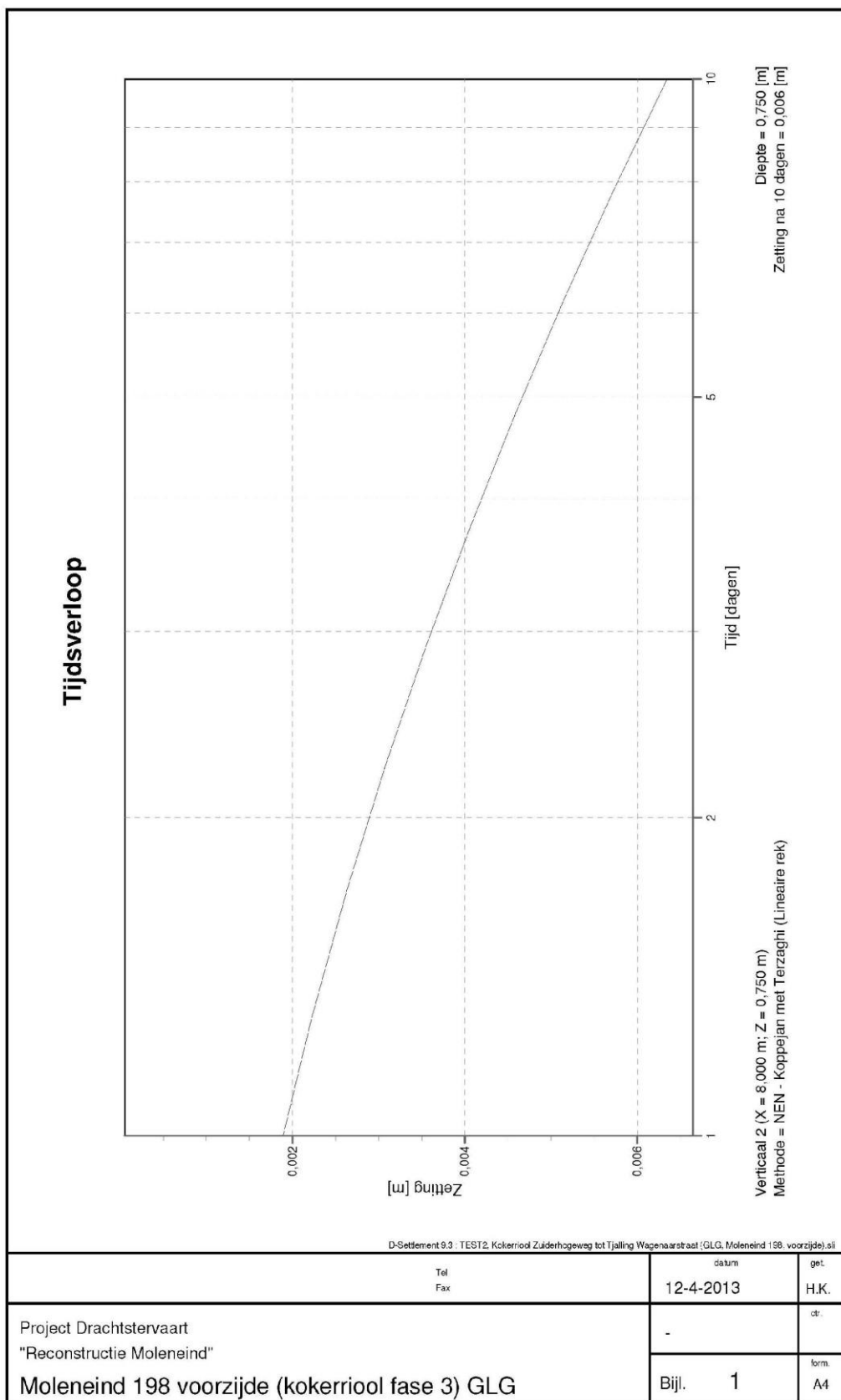


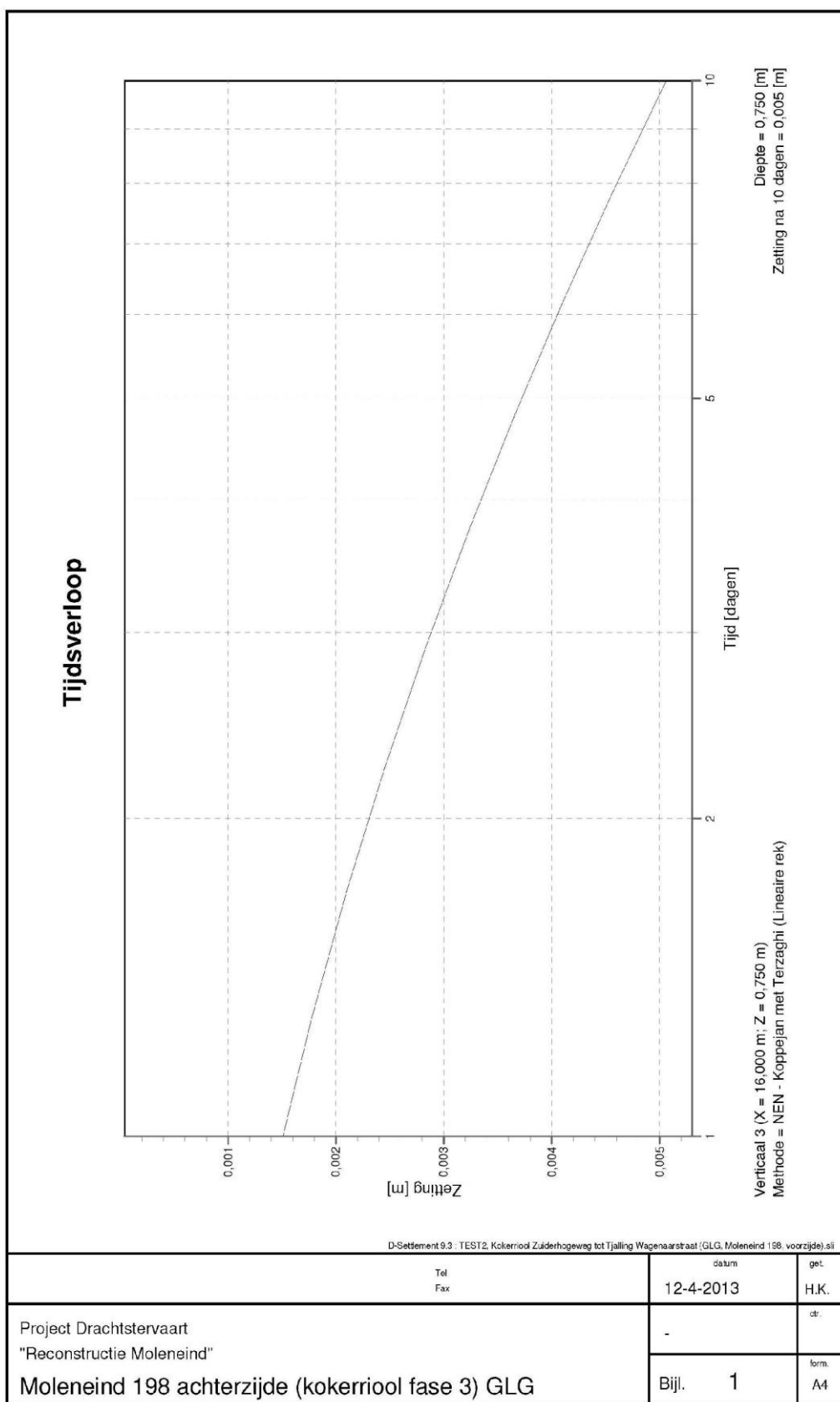
WIJZIGING	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGINGEN	GETEKEND	CONTROLE
OPMERKINGEN:		OPDRACHTGEVER: Van der Wiel		
GETEKEND: H. Koopmans		PROJECT : Drachtstervaart		
CONTROLE:		Reconstructie Moleneind		
SCHAAL: 1:100		OMSCHRIJVING: Bodemopbouw onderzachte gebouwen		
 VAN DER WIEL INFRA & MILIEU BV		PROJECTNUMMER:	TEKENINGNUMMER:	BLAD 1 UT 1
		A3		

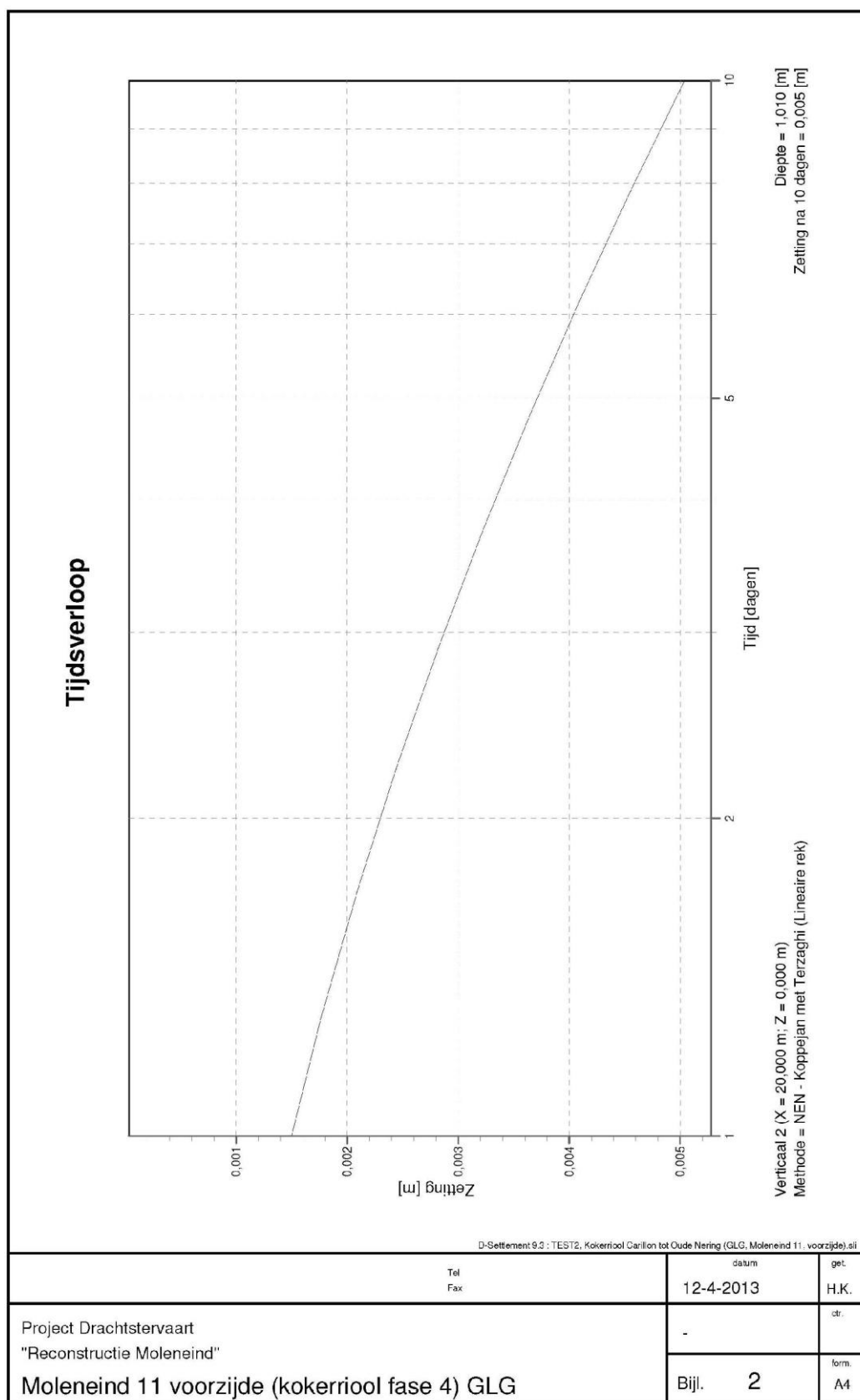
LOCATIE: V:\School\4de jaar\Studeren 4e jaar\Hofdopdracht\AutoCAD tekeningen\Oversproefel_A2.dwg

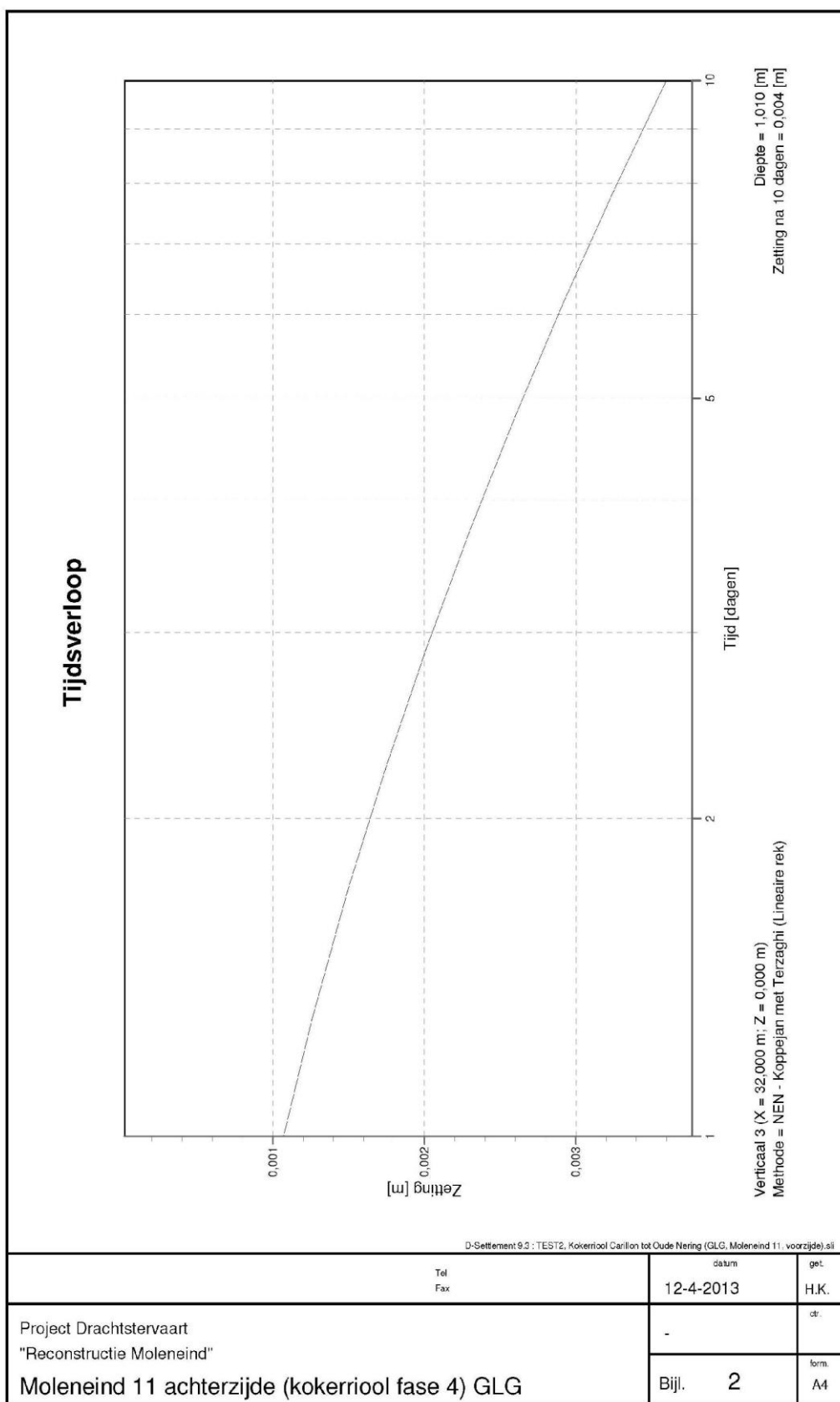
Bijlage K: Berekeningen D-Settlement

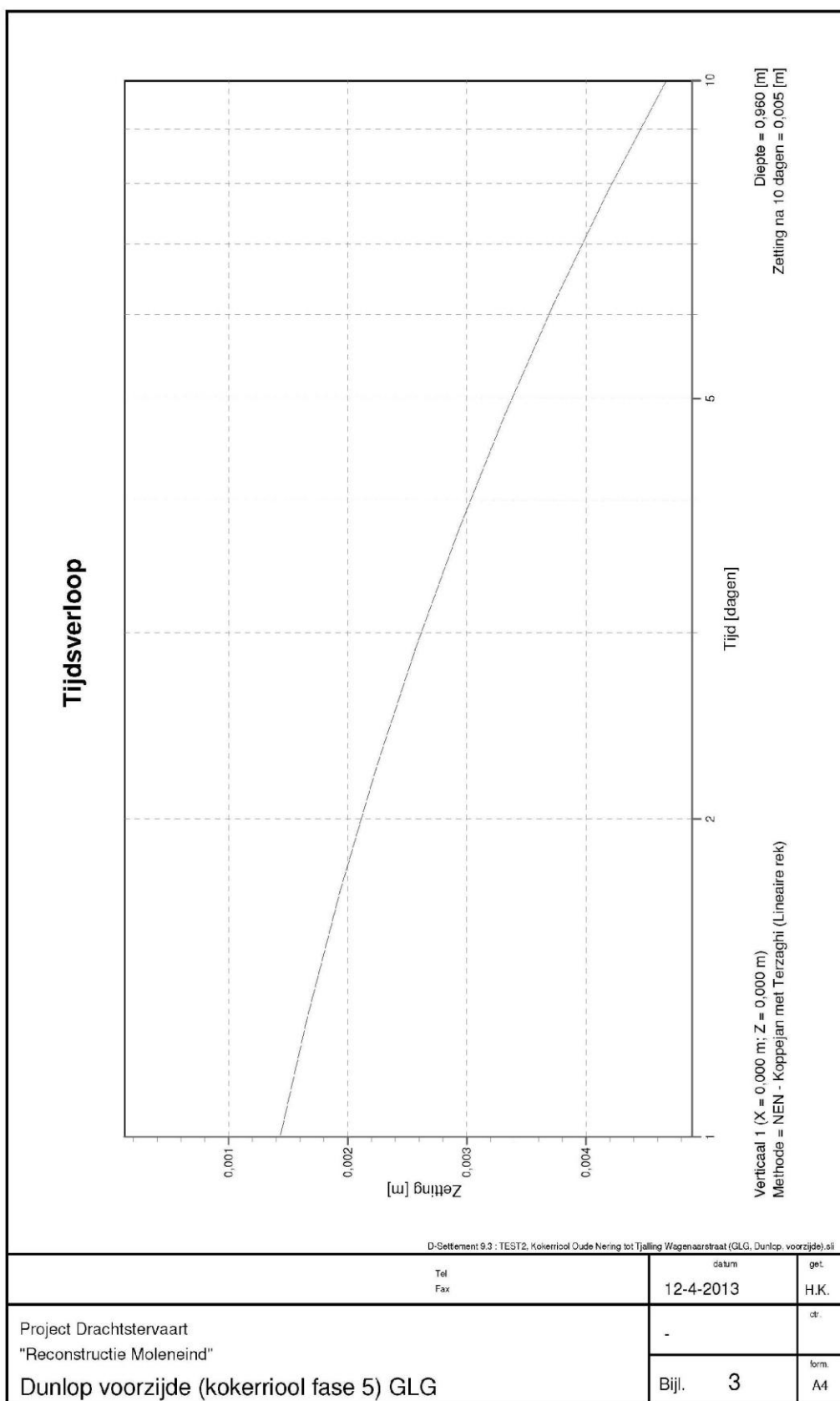


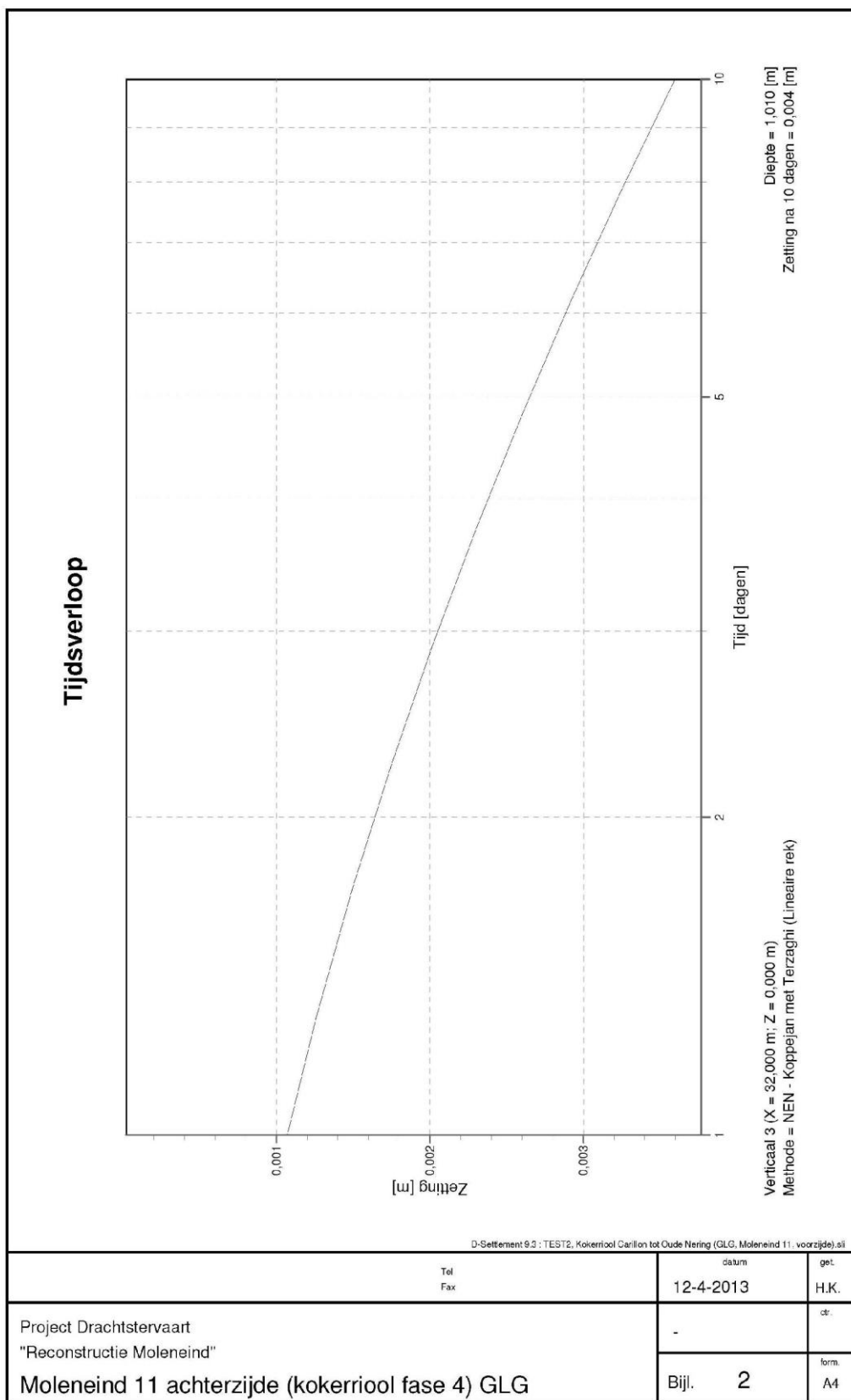


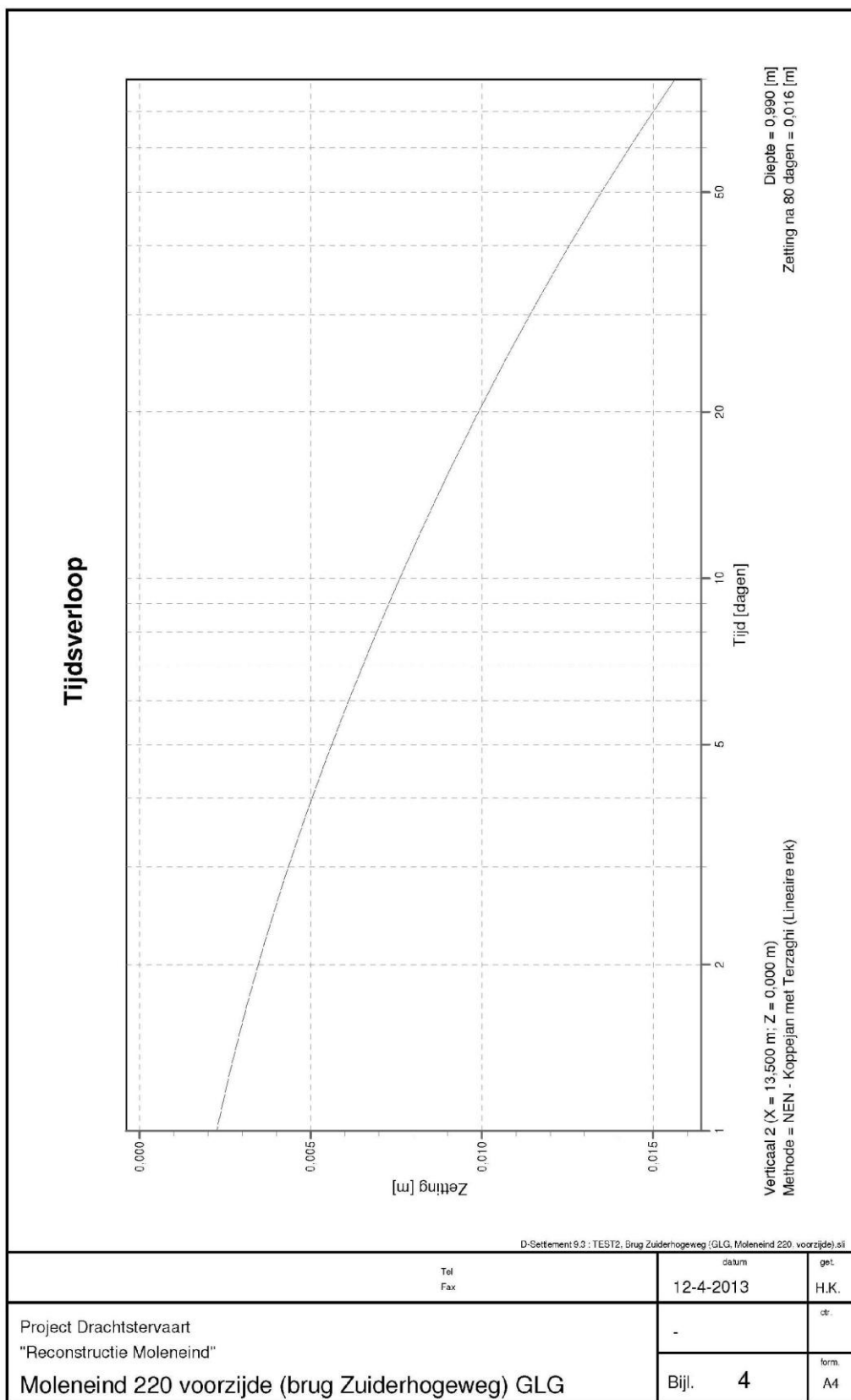


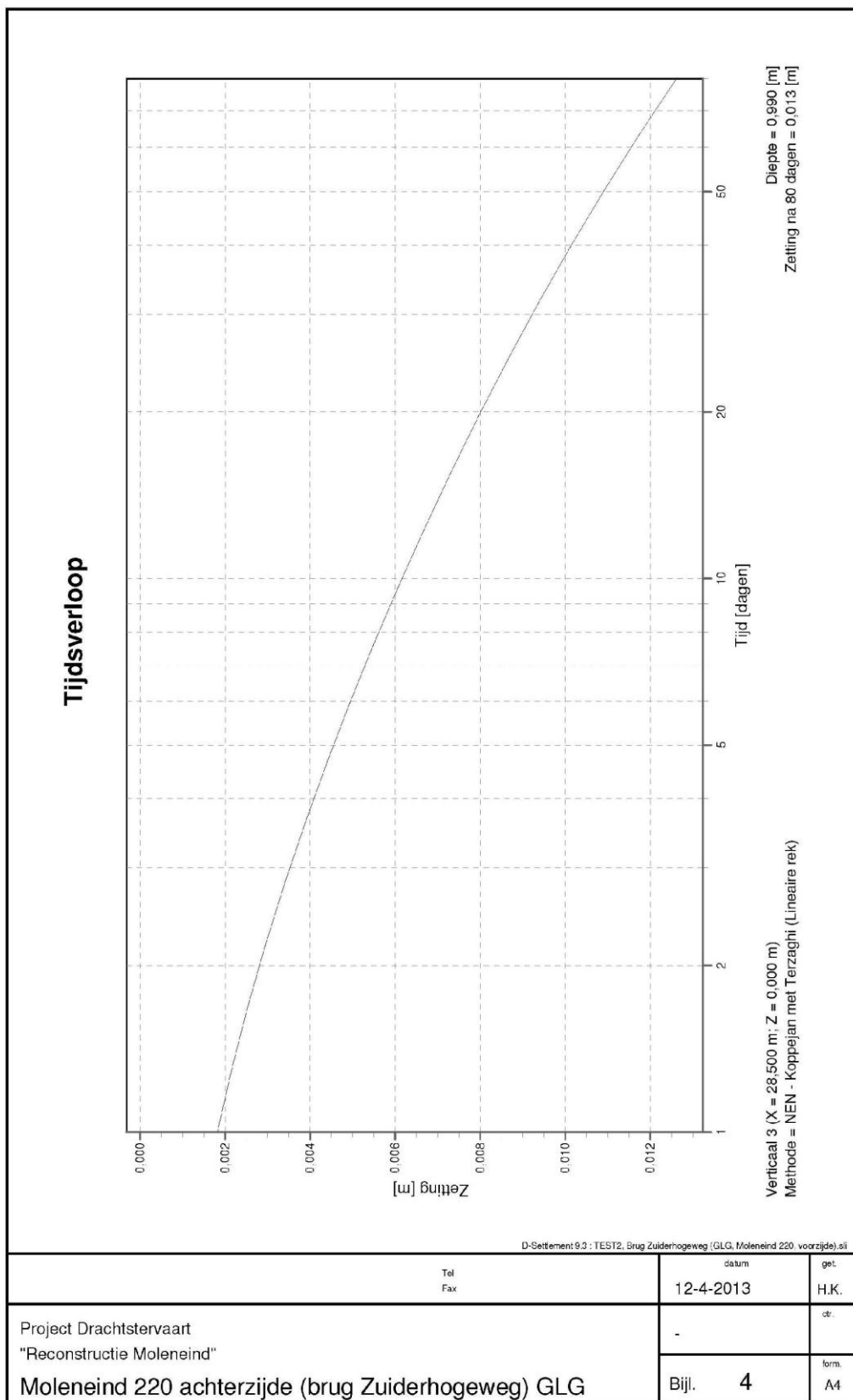


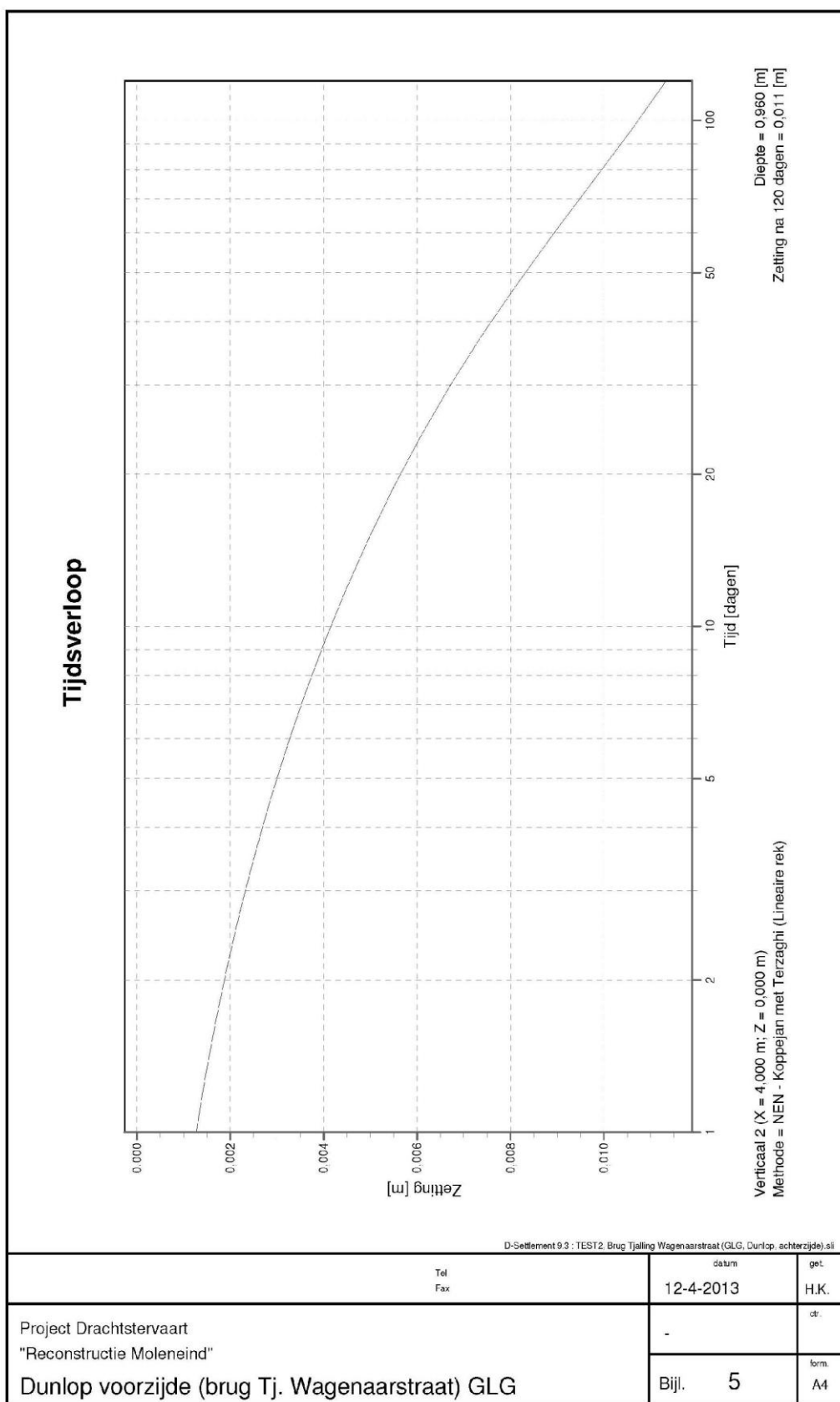


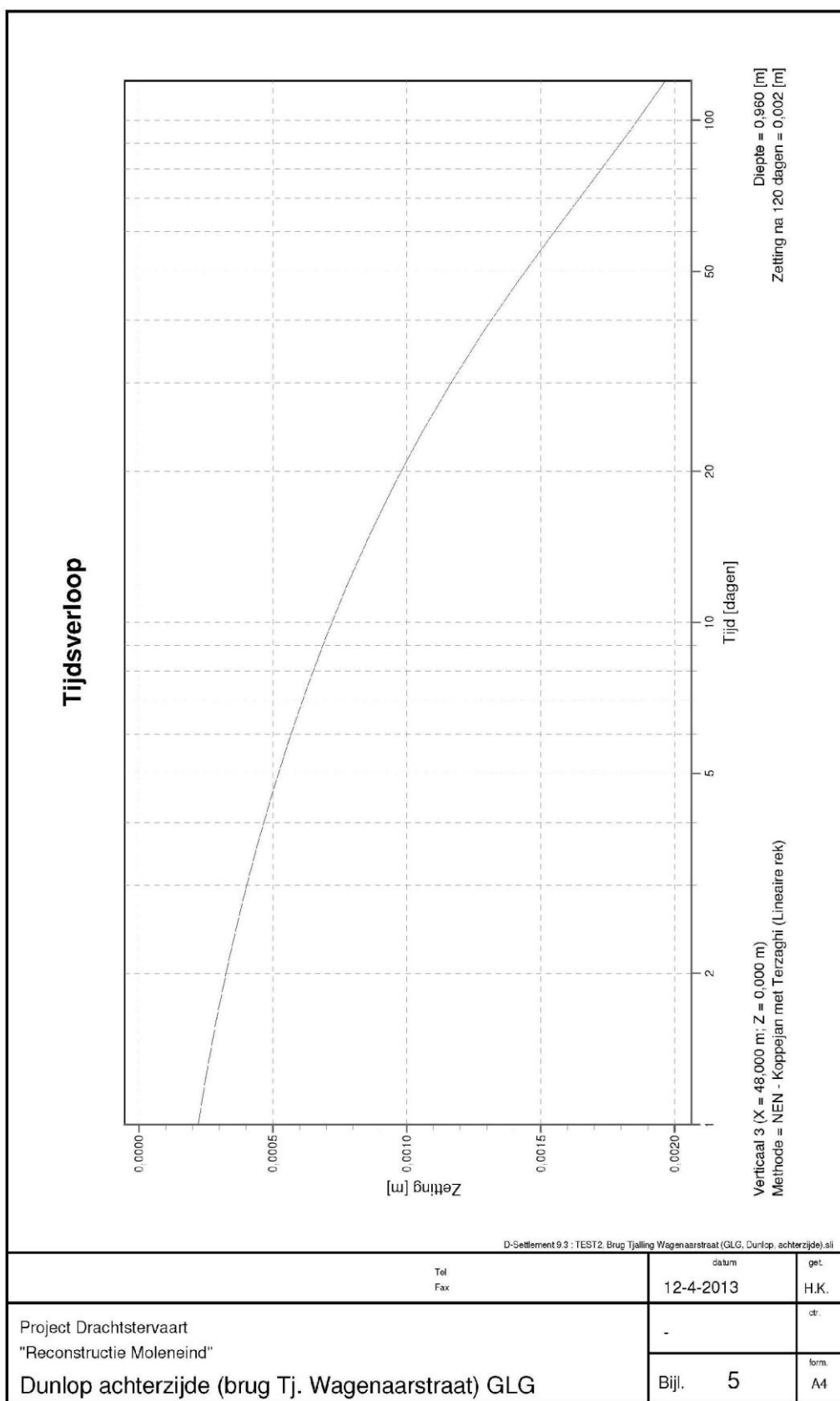


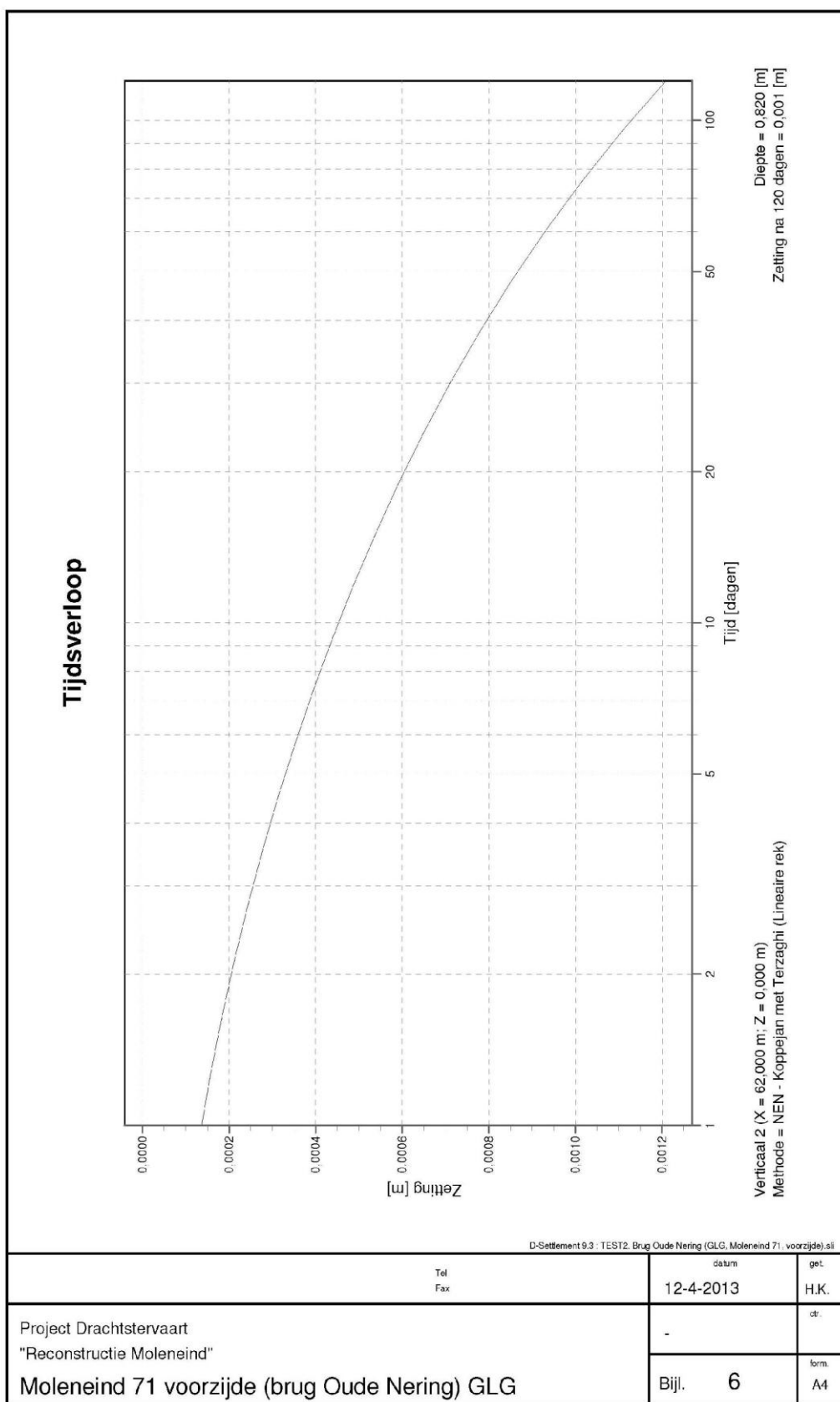


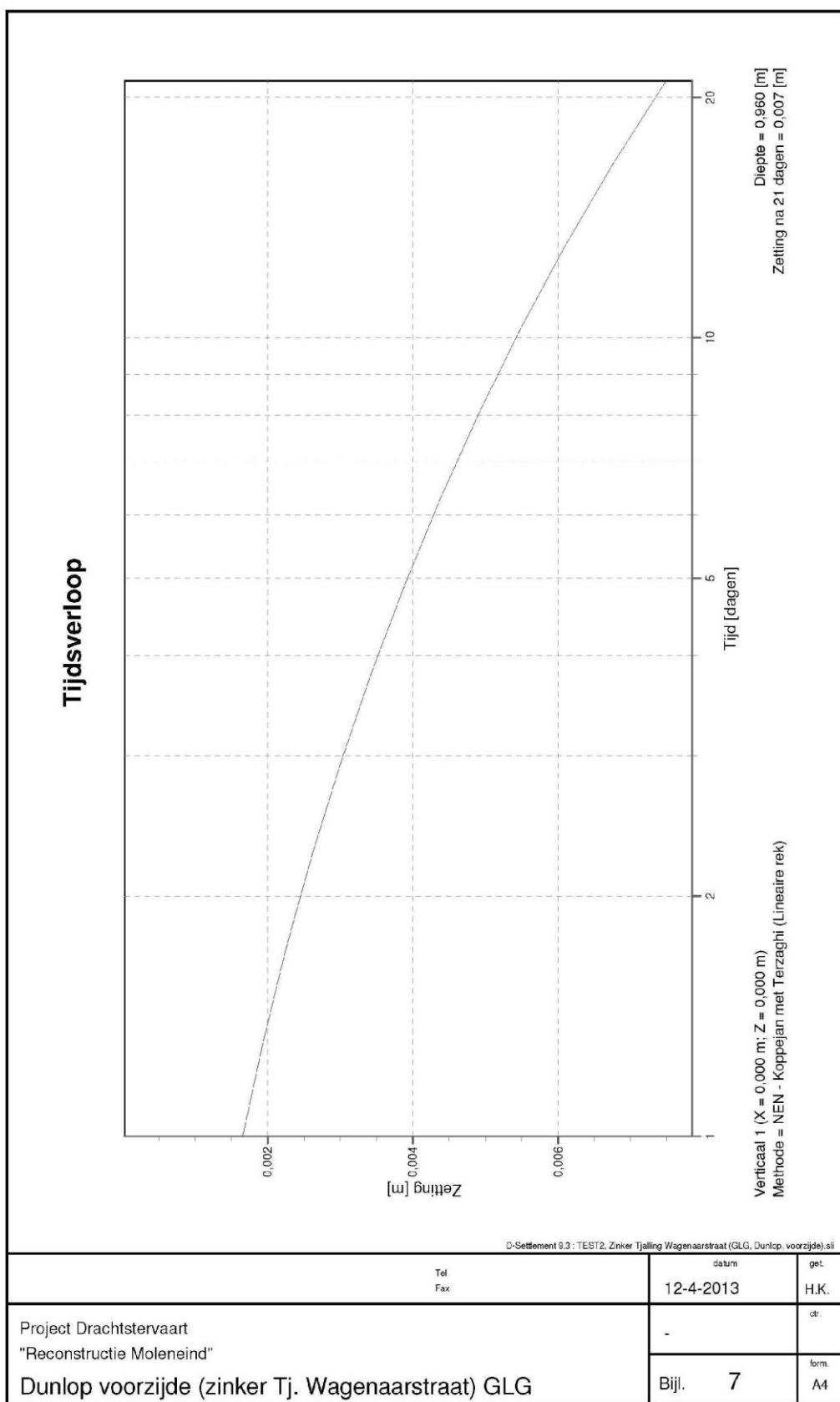


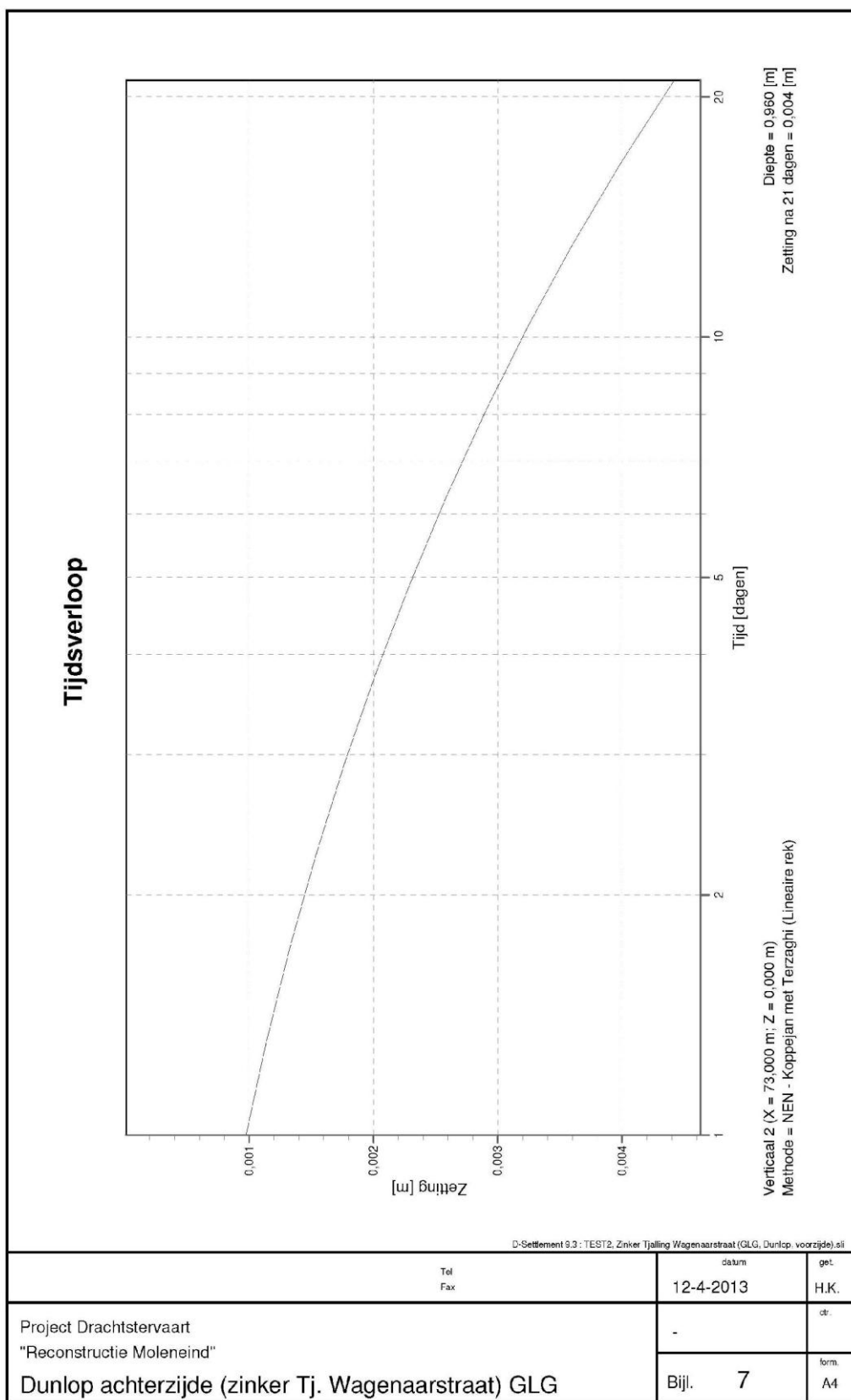












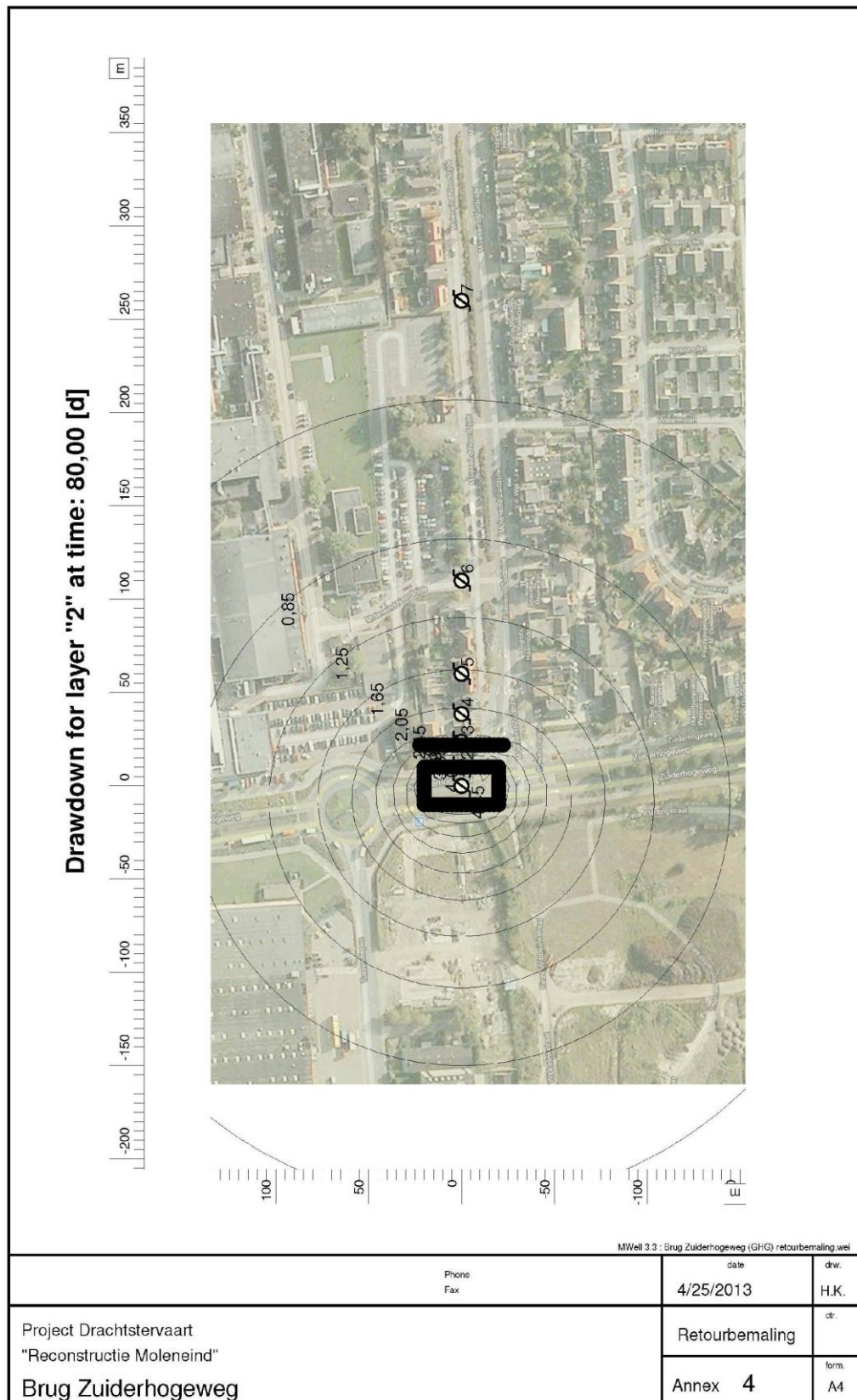
Bijlage L: Richtlijnen schade risico's volgens SBR273

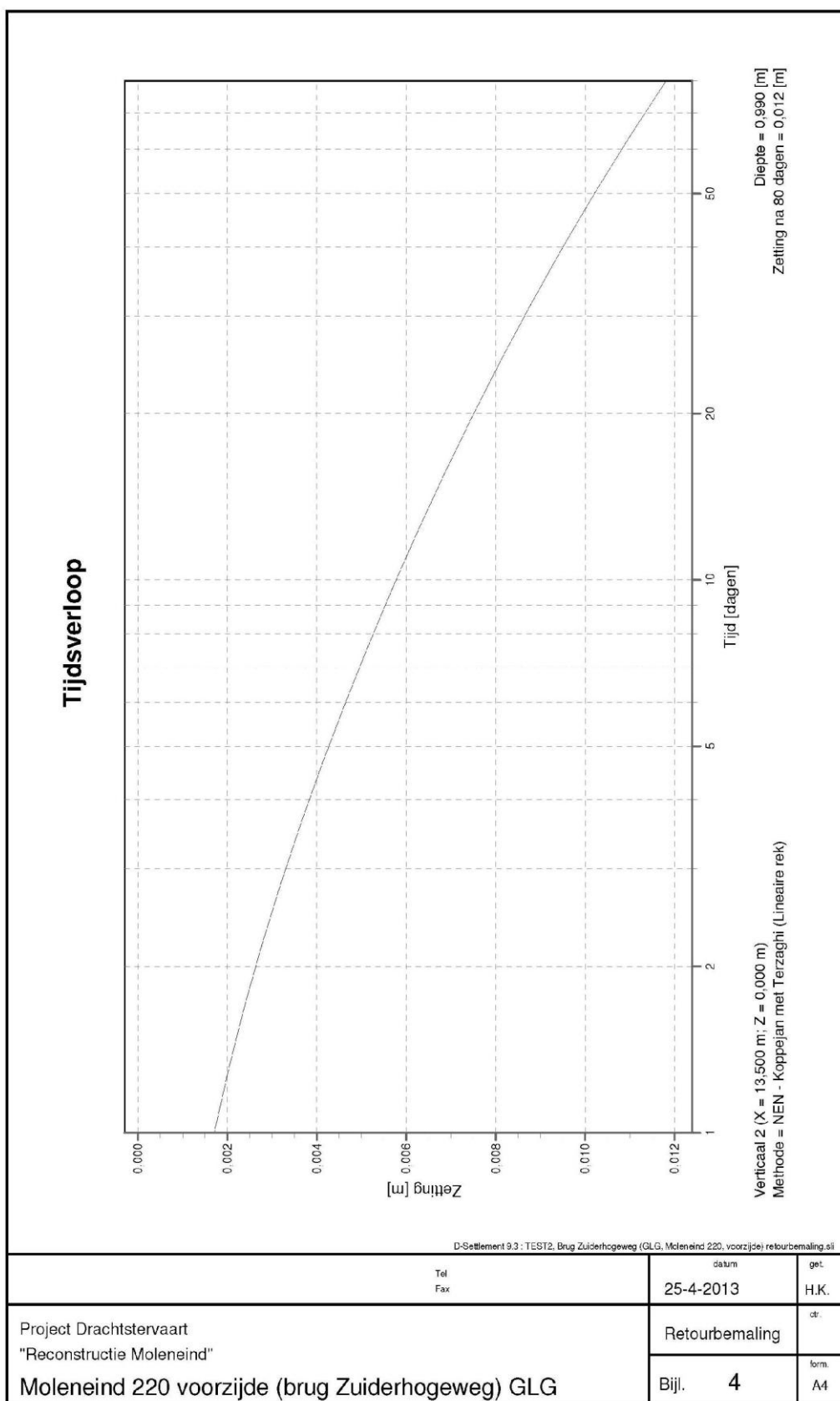
Schade categorie 1	verwaarloosbare schade:
	– haarscheuren ter wijdtte van max. 0,1 mm
Schade categorie 2	zeer lichte schade:
	– fijne scheuren ter wijdtte van max. 1 mm
	lichte schade:
	– scheuren ter wijdtte van max. 5 mm
	– licht vervormde raam- en deurkozijnen
Schade categorie 3	matige schade:
	– scheuren ter wijdtte van max. 15 mm
	– vervormde raam- en deurkozijnen
	– lekkages
	– gescheurde dienstleidingen
	ernstige schade:
	– scheuren ter wijdtte van max. 25 mm
	– sterk vervormde raam- en deurkozijnen
	– merkbaar hellende vloeren (> 1:100)
	– muren bol of uit het lood (> 1:100)
	– enkele balken verliezen oplegglengte
	– afgebroken dienstleidingen
Schade categorie 4	zeer ernstige schade:
	– scheuren ter wijdtte van min. 25 mm
	– balken verliezen oplegging
	– muren zwaar uit het lood, moet worden gestut
	– gebroken ramen

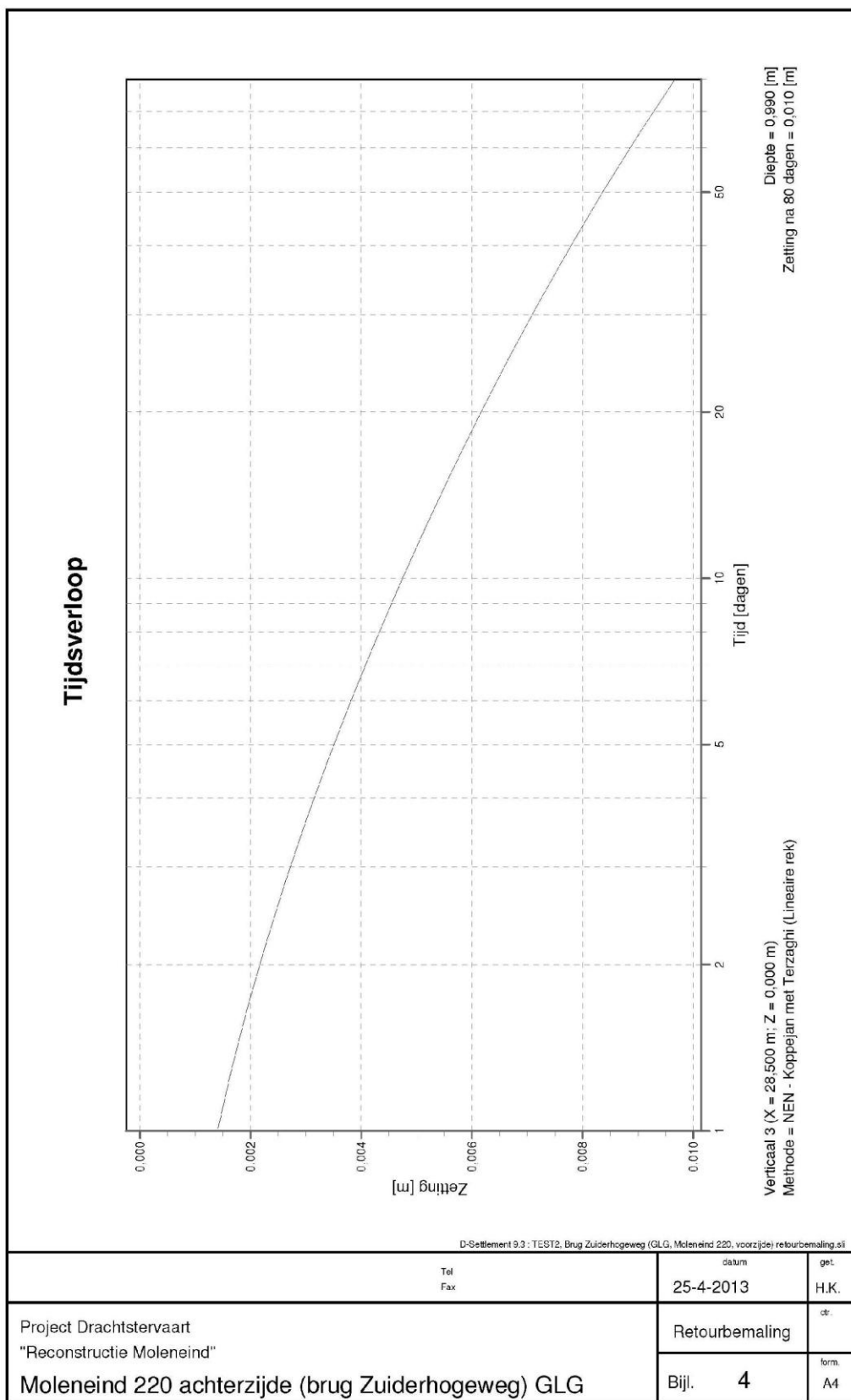


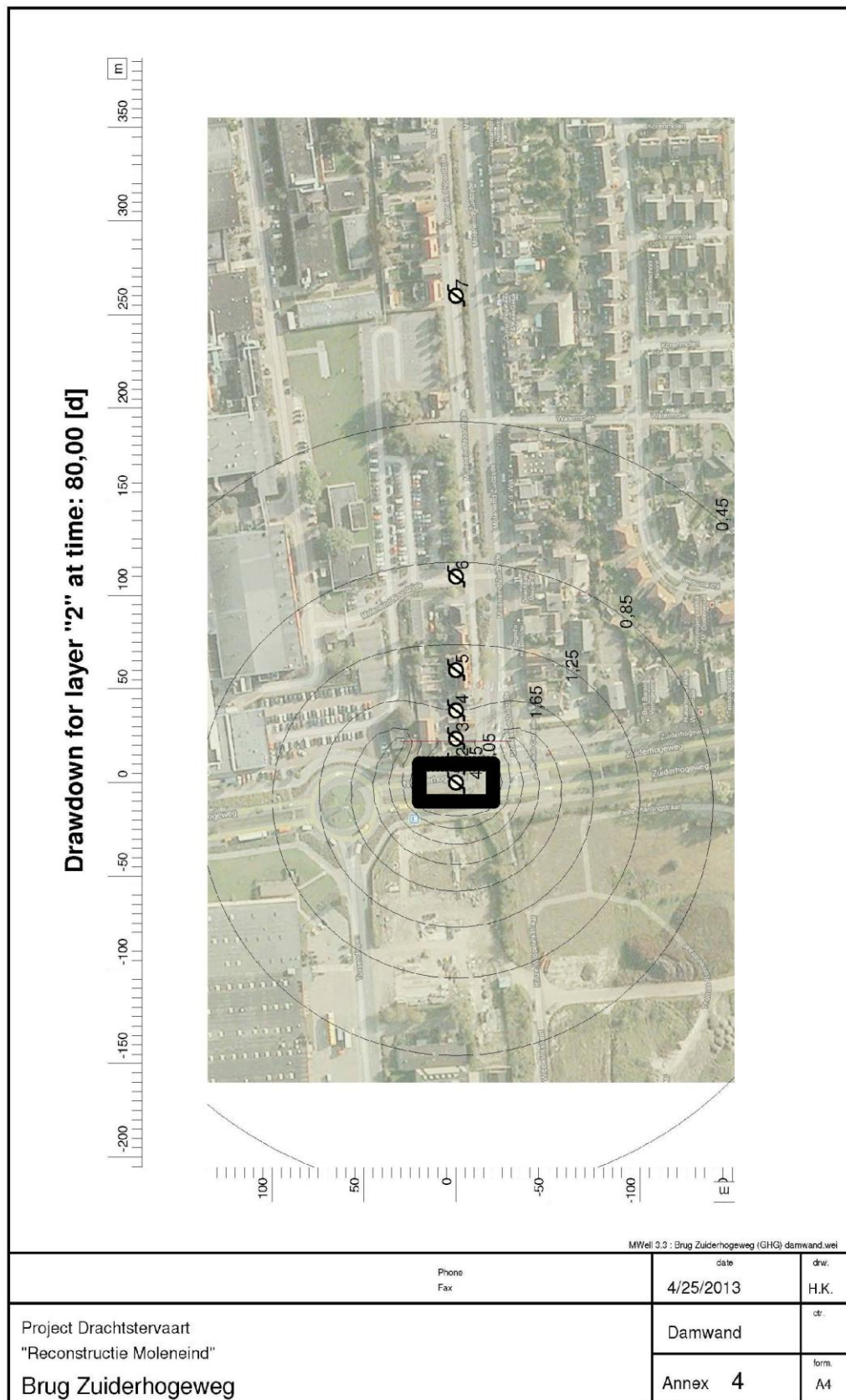
Bijlage M: Berekeningen retourbemaling en damwand brug Zuiderhogeweg

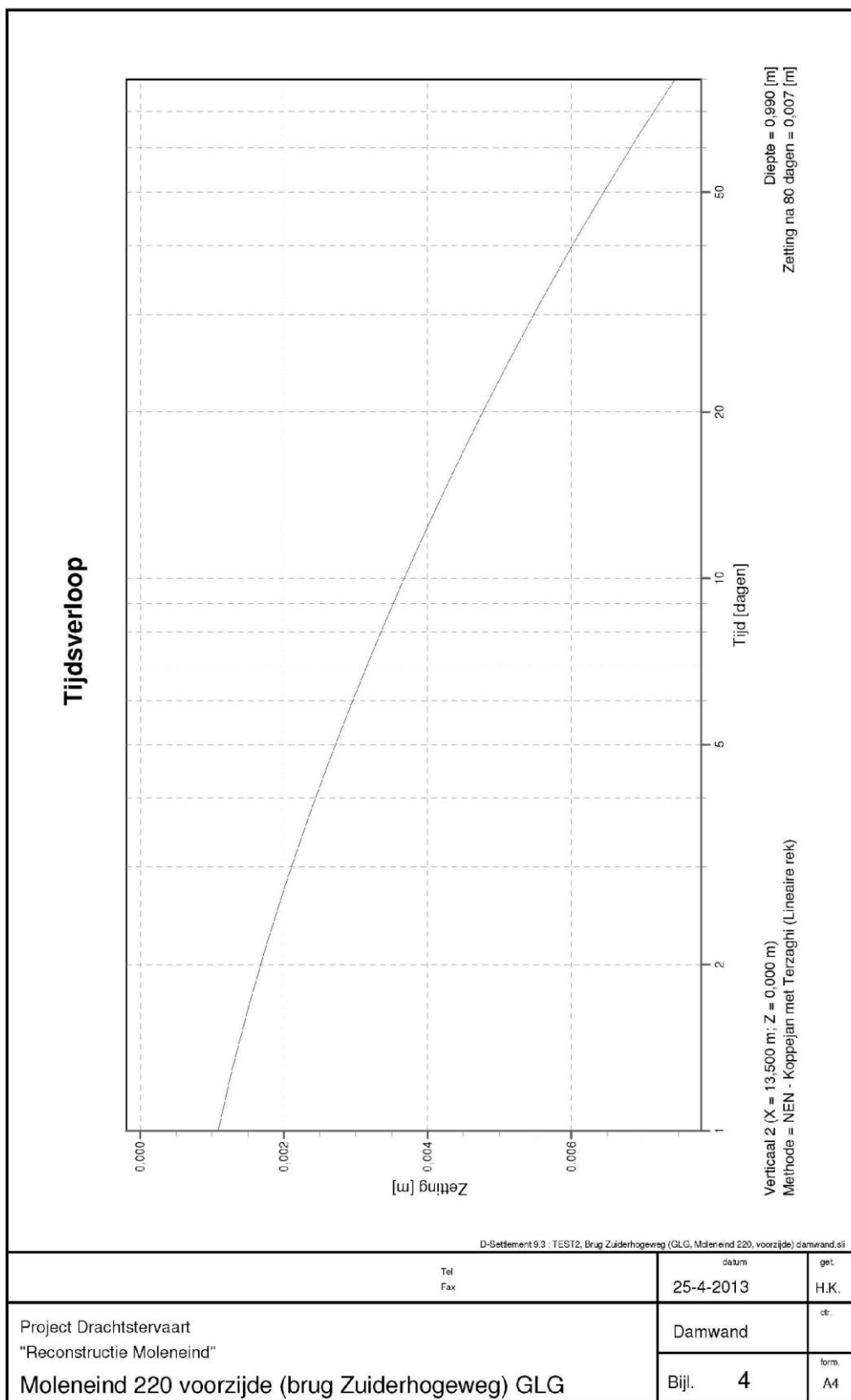


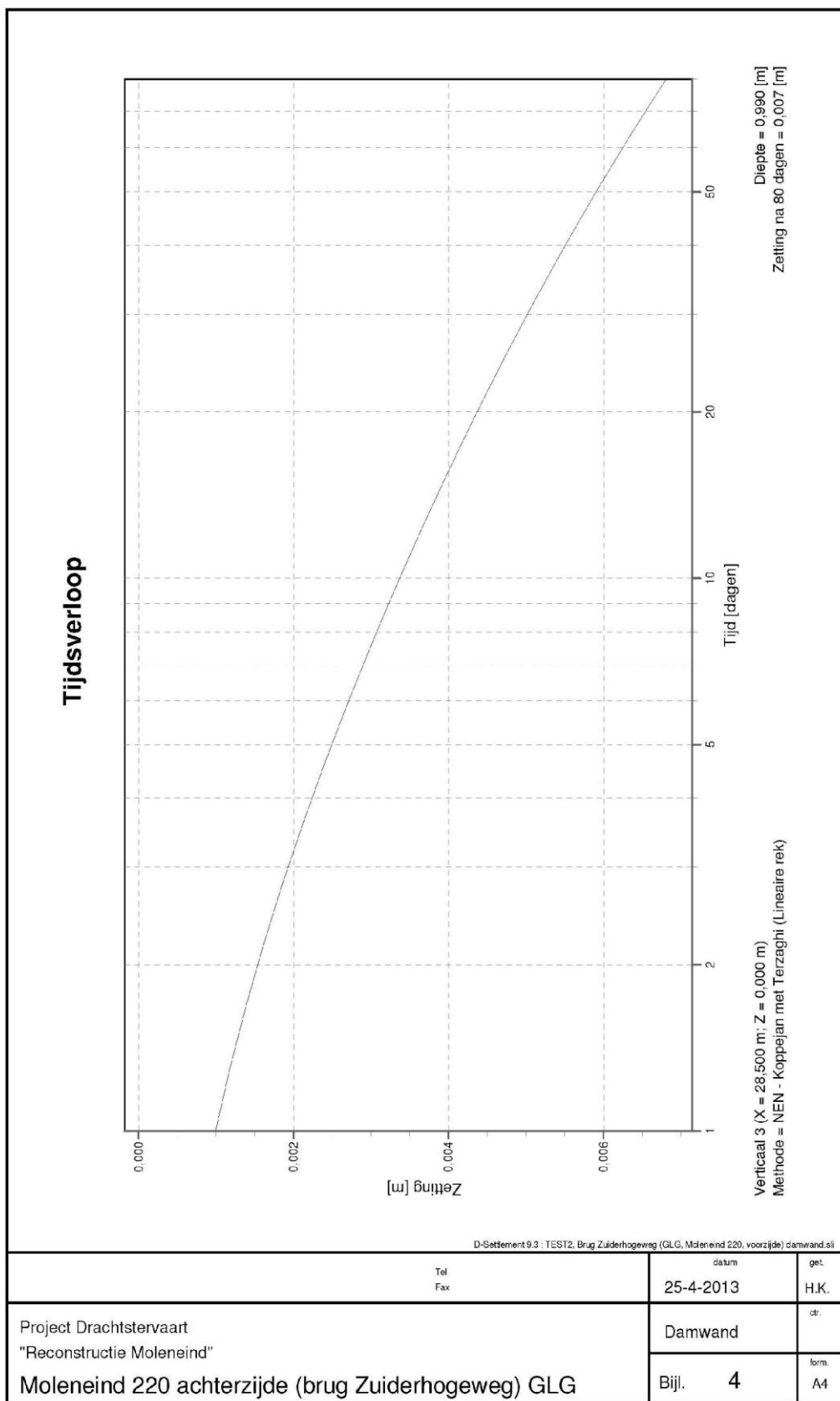












Bijlage N: Berekeningen retourbemaling en damwand brug Tjalling Wagenaarstraat



