

Geohydrologisch onderzoek

Uitbreiding sluis Eefde

Definitief

Rijkswaterstaat Oost-Nederland

Grontmij Nederland B.V.
Arnhem, 15 oktober 2013

Verantwoording

Titel : Geohydrologisch onderzoek
Subtitel : Uitbreiding sluis Eefde
Projectnummer : 291914
Referentienummer : GM-0114509
Revisie :
Datum : 15 oktober 2013

Auteur(s) : drs. ing. J.G. van Uden
E-mail adres : jeroen.vanuden@grontmij.nl

Gecontroleerd door : ir. P.E. Dik

Paraaf gecontroleerd :

Goedgekeurd door : ing. D.J. Bolder

Paraaf goedgekeurd :

Contact : Grontmij Nederland B.V.
Velperweg 26
6824 BJ Arnhem
Postbus 485
6800 AL Arnhem
T +31 26 355 83 55
F +31 26 445 92 81
www.grontmij.nl

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Inleiding / revisie	5
1.2	Algemeen	5
1.3	Doelstelling	6
1.4	Leeswijzer	6
2	Basisgegevens	7
2.1	Algemeen	7
2.2	Maaiveldhoogten	7
2.3	Bodemopbouw	8
2.4	Neerslag en verdamping	10
2.5	Grondwater	11
2.6	Oppervlaktewater	14
2.7	Onttrekkingen	16
2.8	Kenmerken huidige sluis	16
3	Opbouw grondwatermodel	17
3.1	Algemeen	17
3.2	Beschrijving modelgebied	17
3.3	Modelschematisatie	18
3.4	Oppervlaktewatersysteem	20
3.5	Neerslagoverschot	22
3.6	Onttrekkingen	23
3.7	Huidige situatie (bestaande sluis)	23
3.8	Kalibratie	24
3.9	Gevoeligheidsanalyse	28
3.10	Beschrijving onzekerheden modellering	30
4	Huidige situatie	31
4.1	Algemeen	31
4.2	Beschrijving grondwatersysteem bij een gemiddelde IJsselstand	31
4.3	Beschrijving grondwatersysteem bij een T=10 hoogwatersituatie	32
4.4	Beschrijving grondwatersysteem bij een OLR	33
5	Beschrijving en implementatie varianten	34
5.1	Algemeen	34
5.2	Variant Noord	34
5.3	Beschrijving Variant Midden-Noord	35
5.4	Referentie voor effectbepaling	36
5.5	Beoordelingscriteria bij effecten	36
6	Effecten variant Noord	38
6.1	Effecten tijdens aanlegfase	38
6.2	Effecten tijdens eindfase	41
6.3	Risicobeheersing en mitigerende maatregelen	44

7	Effecten variant Midden-Noord	46
7.1	Algemeen	46
7.2	Effecten tijdens aanlegfase	46
7.3	Effecten tijdens eindfase	49
7.4	Risicobeheersing en mitigerende maatregelen	50
8	Monitoring	52
8.1	Doelstelling monitoring	52
8.2	Informatiebehoefte	52
8.3	Monitoringsstrategie	53
8.4	Gegevensinwinning	53
8.5	Gegevensbewerking en opslag	54
8.6	Analyse	55
8.7	Informatieoverdracht	55
8.8	Evaluatie	55
8.9	Samenvatting	56
9	Samenvatting, conclusies en aanbevelingen	57
9.1	Geohydrologisch model en onzekerheden	58
9.2	Effecten van de varianten Noord en Midden-Noord	59
9.3	Risicobeheersing/mitigatie	60

Bijlage 1: Situering boringen

Bijlage 2: Boorprofielen en legenda

Bijlage 3: Situering peilbuizen TNO

Bijlage 4: Situering peilbuizen lokaal meetnet

Bijlage 5: Situering damwanden variant 0

1 Inleiding

1.1 Inleiding / revisie

In dit rapport wordt ingegaan op de geohydrologische effecten van de aanleg van een tweede kolk bij de sluis van Eefde. Dit rapport dient als bijlage van de PlanMER en is een herziene versie van het geohydrologisch rapport “Geohydrologisch onderzoek, Aanleg tweede sluis Eefde” (Grontmij, d.d. 22 januari 2013). Het rapport is aangepast naar aanleiding van het conceptadvies van de Commissie MER en de zienswijze van het Waterschap Rijn en IJssel. Ten aanzien van de leesbaarheid is besloten een geheel nieuw rapport op te stellen met een nieuwe hoofdstukindeling. Dit rapport vervangt daarmee het oude rapport uit januari 2013.

De opmerkingen op het geohydrologisch rapport van 22 januari 2013, die gemaakt zijn door de Commissie MER en het Waterschap Rijn en IJssel, hebben betrekking op de volgende onderdelen:

1. de aannames in het model zijn onvoldoende onderbouwd waardoor een grote onzekerheid van het model ontstaat. Het betreffen voor de opbouw van het model met name de bodemweerstand en de interpretatie van resultaten;
2. de verschillende effecten m.b.t. vernatting en verdroging dienen beter in beeld te worden gebracht. Het is daarbij van belang dat deze effecten zichtbaar worden in zowel huidige situatie, tijdens de aanleg en na realisatie en op basis van de verschillende scenario's (lage en hoge waterstand op de IJssel en de verschillende grondwaterstanden);
3. het verschil tussen de geohydrologische effecten van de twee mogelijke locaties voor de kolk, namelijk locatie Noord en Midden-Noord.

Onderstaand betreft een opsomming van de grootste wijzigingen ten aanzien van het voorgaande rapport:

- de beschrijving van het model is met een uitgebreidere onderbouwing naar de hoofdtekst geplaatst;
- de modelkalibratie is uitgevoerd op basis van gegevens van TNO én aanvullende gegevens uit het lokaal grondwatermeetnet;
- de keuze van de modelparameters en uitgangspunten is beter toegelicht;
- de effecten tijdens de aanleg zijn beschouwd;
- naast verschillende IJsselstanden zijn ook verschillende situaties voor de grondwaterstand (gemiddeld hoogste, gemiddelde en gemiddeld laagste grondwaterstand) meegenomen in de stationaire modellering;
- de variant Midden-Noord is toegevoegd.

1.2 Algemeen

Rijkswaterstaat wil de capaciteit bij de sluis van Eefde vergroten door een tweede schutsluis te realiseren. De huidige sluis ligt ten zuiden van de kern van Eefde. In figuur 1.1 is de ligging van de bestaande schutsluis weergegeven.



Figuur 1.1: Situering bestaande schutsluis

De nieuwe schutsluis komt ten noorden van de bestaande schutsluis en ten zuiden van de Eefse Beek (variant Noord). Tevens is de locatie direct ten zuiden van de huidige sluis, variant Midden-Noord, meegenomen in de beschouwing. De nieuwe sluis mag geen negatieve effecten hebben op de grondwaterstand en –stroming in de omgeving. Om dit inzichtelijk te maken zijn in dit rapport de effecten op de omgeving berekend aan de hand van een grondwatermodellering. Basis voor de grondwatermodellering zijn zowel locatie Noord als locatie Midden-Noord.

1.3 Doelstelling

Doelstelling van dit rapport/onderzoek is het bepalen van de verwachte effecten op de grondwaterstanden en –stroming in de omgeving van de uitbreiding.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 zijn de basisgegevens beschreven met betrekking tot de bodemopbouw, geohydrologie en hydrologie.

In hoofdstuk 3 is de opbouw en beschrijving van het gebruikte grondwatermodel gegeven. De huidige situatie is beschreven aan de hand van het model in hoofdstuk 4.

De varianten en de wijze waarop deze in het grondwatermodel geïmplementeerd zijn, is beschreven in hoofdstuk 5. De geohydrologische effecten van variant Noord en variant Midden-Noord zijn beschreven in respectievelijk hoofdstuk 6 en 7. In hoofdstuk 8 wordt de noodzakelijke monitoring beschreven.

De samenvatting, conclusies en aanbevelingen zijn tot slot in hoofdstuk 9 opgenomen.

2 Basisgegevens

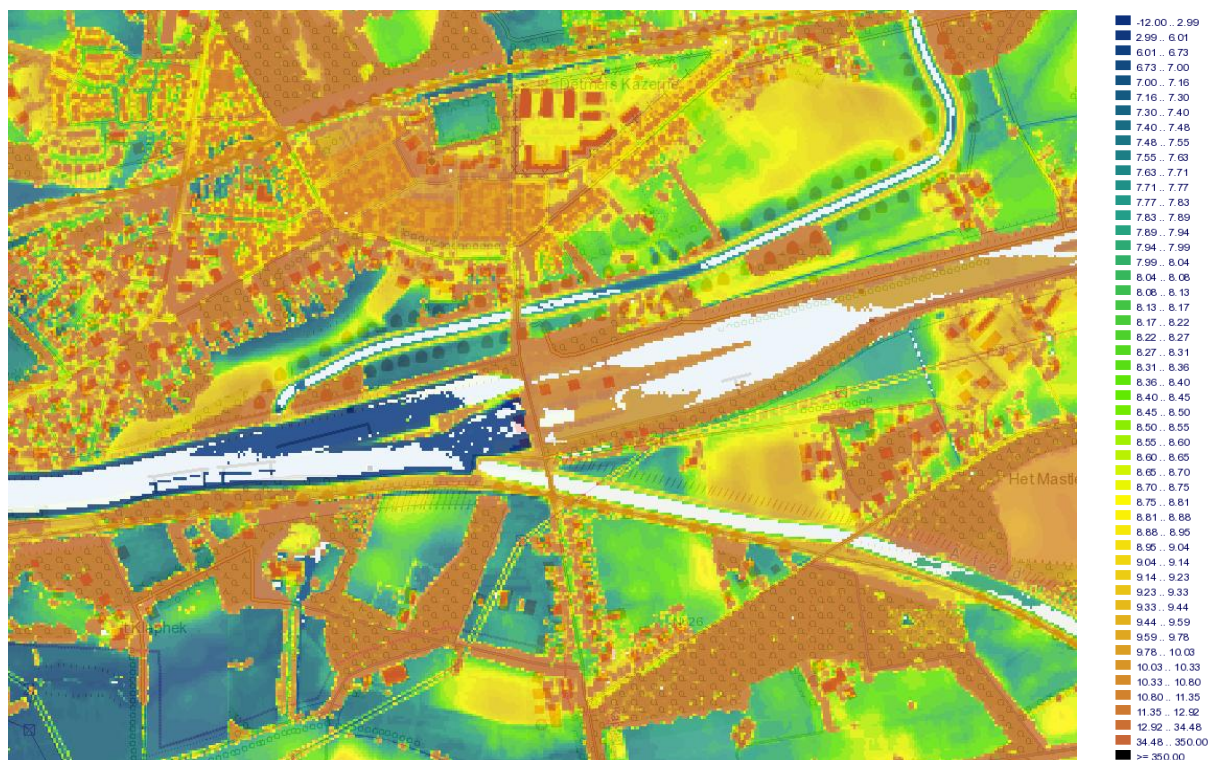
2.1 Algemeen

Ten behoeve van de modellering dient inzicht te worden verkregen in de opbouw van de bodem, de heersende grondwaterregimes en de terreingesteldheid. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de maaiveldhoogten, bodemopbouw, geohydrologische situatie, grondwaterstanden en oppervlaktewater. De geïnventariseerde gegevens zijn afkomstig van de volgende bronnen:

- Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN, Rijkswaterstaat);
- Bodemkaart van Nederland (Alterra);
- Grondwaterkaart van Nederland, DGV-TNO;
- Grondwatergegevens uit DINO (Data en Informatie Nederlandse Ondergrond) en REGIS (Regionaal Geohydrologisch Informatiesysteem (NITG-TNO));
- Wateratlas van de provincie Gelderland;
- Grondwaterstandmetingen van het lokaal grondwatermeetnet nabij de sluis;
- Basisgegevens van het grondwaterstromingsmodel AMIGO: bijvoorbeeld de kD- en c-waarden.

2.2 Maaiveldhoogten

De maaiveldhoogte ligt bij de bestaande schutsluis op circa NAP +11,0 m. Ten noorden en zuiden van de sluis is het maaiveld lager gelegen, op circa NAP +8,8 m. Benedenstreams is het maaiveld aan de zuidkant van het voorpand circa NAP +7,5 m tot NAP +8,5 m, aan de noordkant is het maaiveld hoger gelegen op circa NAP +9,0 m. Tussen de Eefse beek en het voorpand is het maaiveld op circa NAP +7,5 m gelegen. In figuur 2.1 is een uitsnede van de AHN weergegeven.

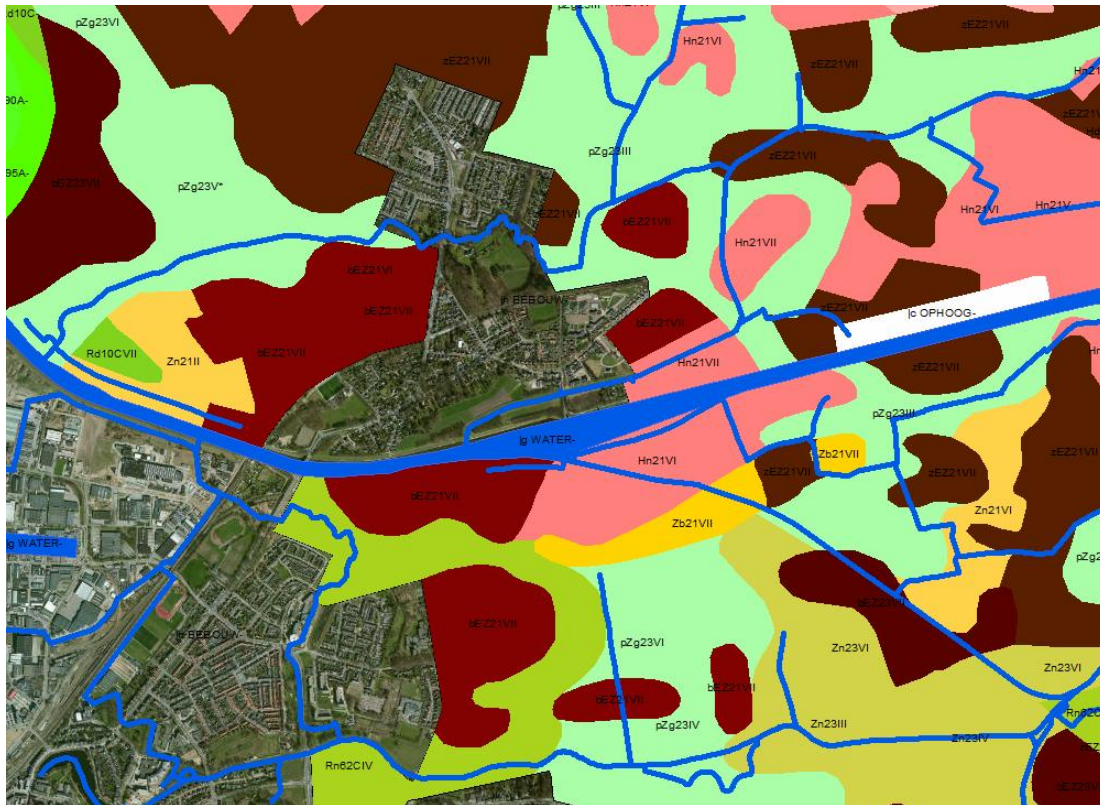


Figuur 2.1: Uitsnede AHN (bron: www.AHN.nl)

2.3 Bodemopbouw

2.3.1 Ondiepe bodemopbouw

De ondiepe bodemopbouw is afgeleid van de Bodemkaart van Nederland. In figuur 2.2 is een uitsnede van de kaart weergegeven. Hieruit blijkt dat in het gebied rondom de sluis sprake is van voornamelijk Beekeerdgronden (bodemcode pZg23; lemig fijn zand), Hoge bruine eerdgronden (bodemcode bEZ21; leemarm, zwak lemig fijn zand), Hoge zwarte eerdgronden (bodemcode zEZ21; leemarm, zwak lemig fijn zand), Veldpodzolgronden (bodemcode Hn21; leemarm, zwak lemig fijn zand). Ten zuiden van het Twentekanaal worden ook nog kalkloze poldervaaggronden aangetroffen (bodemcode Rn62C; zavel, lichte klei) en vlakvaaggronden (bodemcode Zn23; lemig fijn zand).



Figuur 2.2: Uitsnede bodemkaart van Nederland

De ondergrond rond de sluis bestaat overwegend uit zand en/of leem, met lokaal stoorlaagjes in de vorm van klei. Uit de boringen B33F0050 en B33F0021 blijkt dat tussen NAP -6,0 m en NAP -8,0 m zich matig grof tot grof zand bevindt.

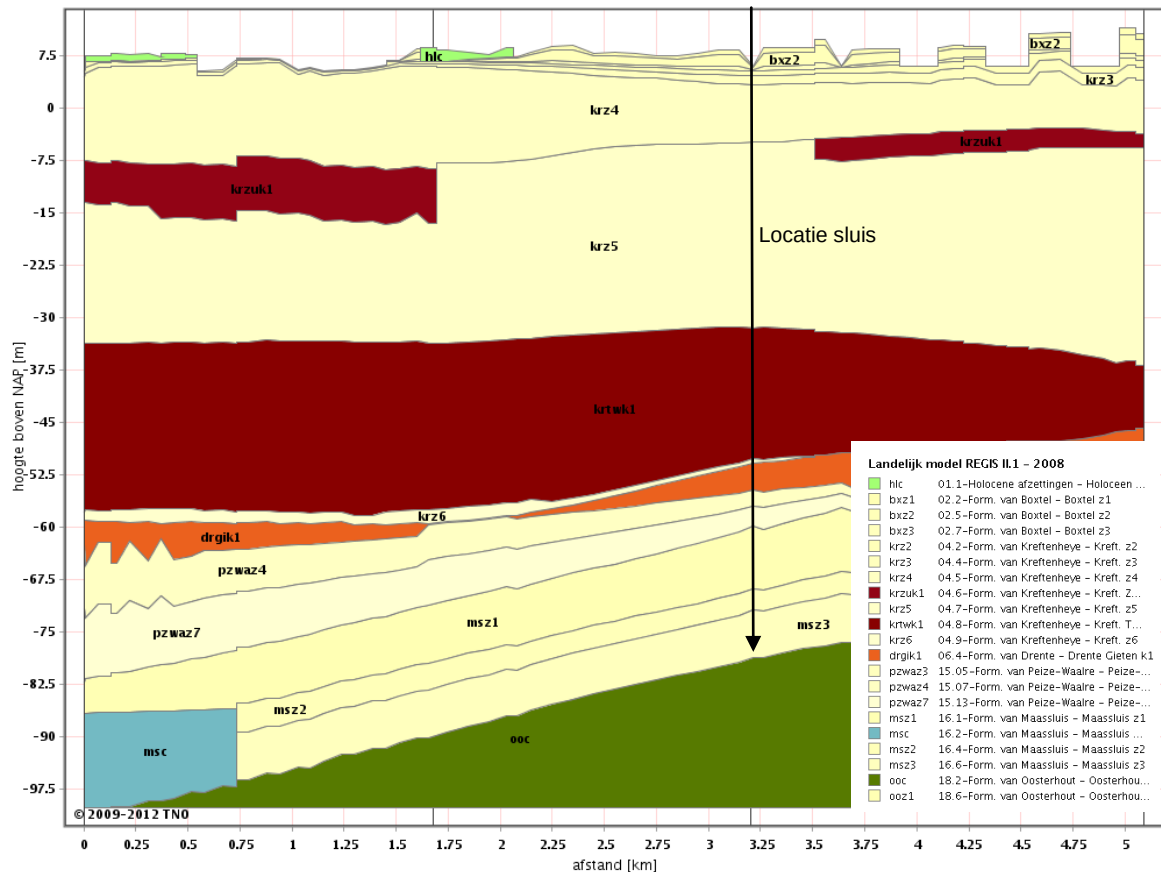
Ten behoeve van de uitbreiding is ook een groot aantal boringen uitgevoerd. In bijlage 1 is de situering van de boorpunten weergegeven. De boorprofielen (van de boringen met een boordiepte van 4 m-mv of meer) zijn opgenomen in bijlage 2. Uit de boorprofielen blijkt dat de bodem overwegend bestaat uit zeer fijn tot matig grof, siltig, zand. De textuur is naar de diepte toe grover (matig grof zand) dan boven in de bodem. In twee boringen is een kleilaag aangetroffen van circa 0,6 tot 0,8 m dikte. Deze bodemopbouw komt overeen met de verwachte bodemopbouw op basis van de Bodemkaart van Nederland.

2.3.2 Diepe bodemopbouw

De gegevens over de diepere bodemopbouw zijn gebaseerd op REGIS II.1, de gekalibreerde ondergrondgegevens van het grondwaterstromingsmodel AMIGO en gegevens ter plaatse van de tweede sluis.

Vanaf maaiveld bestaat de bodem tot een diepte van circa NAP +5,3 m uit (lemig) matig fijn zand, behorende tot de formatie van Boxtel. Hieronder wordt tot circa NAP -31 m matig grof tot grof (grindhoudend) zand aangetroffen, behorende tot de formatie van Kreftenheye. In de omgeving van het sluiscomplex is een kleilaag aanwezig van circa NAP -7,5 m tot NAP -10 m à NAP -15 m (formatie van Kreftenheye, laagpakket van Urk). Deze scheidende laag ontbreekt echter ter plaatse van de sluis. Vanaf circa NAP -31 m tot NAP -51 m is een kleilaag aanwezig behorende tot de kleiige afzettingen van de formatie van Kreftenheye, het laagpakket van Twello. Hieronder wordt een dunne zandlaag van de formatie van Kreftenheye, Gieten en Peize Waalre aangetroffen tot een diepte van NAP -61 m. De fijn zandige formatie van Maassluis wordt aangetroffen tot een diepte van circa NAP -83 m. Vanaf NAP -83 m bevindt zich de kleiige afzetting van de formatie van Oosterhout. Dit pakket kan als geohydrologische basis beschouwd worden.

In figuur 2.3 is de bodemschematisatie grafisch weergegeven in een dwarsdoorsnede vanaf de IJssel, langs het voorpand en Twentekanaal tot circa 1,5 km ten oosten van de sluis.



Figuur 2.3: Doorsnede bodemopbouw

2.3.3 Geohydrologische schematisering

In de voorgaande paragrafen is ingegaan op de samenstelling van de ondiepe en diepe bodem. Door middel van een geohydrologische schematisatie wordt inzicht verkregen in de geohydrologische betekenis van de opbouw van de diepere ondergrond en de bijbehorende geohydrologische variabelen. Bij een geohydrologische schematisatie worden watervoerende pakketten en slecht doorlatende (scheidende) lagen onderscheiden. In een watervoerend pakket treedt overwegend horizontale grondwaterstroming op; in een scheidende laag een hoofdzakelijk verticale grondwaterbeweging. Watervoerende pakketten worden beschreven door het doorlaatvermogen (kD), dit is het product van de horizontale doorlaatfactor (k_h) en de dikte (D). Scheidende of slecht doorlatende lagen worden beschreven door de hydraulische weerstand of c -waarde, dit is het quotiënt van de dikte van de scheidende laag (D) en de verticale doorlaatfactor (k).

Een globale beschrijving van de geohydrologische opbouw in het plangebied is weergegeven in tabel 2.1. Opvallend is de hoge weerstand van de slechtdoorlatende laag van NAP -31 tot -51 m. Dit betekent dat de daaronder liggende lagen slechts in beperkte mate de stroming boven dit pakket beïnvloeden. Het doorlaatvermogen van het bovenliggende watervoerend pakket wordt door de zandige en matig grove afzettingen van de Formatie van Kreftenheye. De afzetting van Boxtel bestaan uit matig fijn (lemig) zand en hebben een relatief beperkt doorlaatvermogen in vergelijking met het watervoerend pakket.

Tabel 2.1: Geohydrologische formaties en parameters (REGIS II.1) nabij de sluis

Diepte (m +NAP)	Samenstelling	Formatie	Geohydrologische eenheid	Doorlaat- vermogen (m ² /dag)	Weerstand (dagen)
8,4 tot 5,3	Zand, matig fijn (lemig)	Boxtel	freatisch pakket	15	50
5,3 tot -31	Zand, matig grof (grindhoudend)	Kreftenheye	watervoerend pakket	1.050	
-31 tot -50,7	Klei	Kreftenheye, Twello	scheidende laag		37.000
-50,7 tot 51,3	Zand, matig grof (grindhoudend)	Kreftenheye	watervoerend pakket	30	
-51,3 tot -55	Klei	Gieten	scheidende laag		340
-55 tot -61	Zand, matig grof	Peize-Waalre	watervoerend pakket	140	
-61 tot -79	Zand, uiterst fijn tot matig grof, schelphoudend	Maasssluis	watervoerend pakket	340	
-79 tot -119	Zand, zeer fijn tot zeer grof , zwak schelphoudend	Oosterhout complex	watervoerend pakket	85	1.700
>-119	Klei, uiterst fijn, slibhoudend zand	Breda	Geohydrologische basis		81.000

De waarden uit tabel 2.1 komen in orde van grootte overeen met de waarden uit het grondwatermodel AMIGO.

2.4 Neerslag en verdamping

Van groot belang voor de stroming van het grond- en oppervlaktewater is de voeding door de neerslag. Hierbij zijn seizoensfluctuaties in de voeding te onderscheiden. Gedurende de winter is de verdamping beperkt. Gedurende de zomer neemt de verdamping sterk toe: gedurende de maanden juli en augustus kan er zelfs sprake zijn van een negatief neerslagoverschot, oftewel verdampingsoverschot. Deze wisselingen in neerslagoverschot hebben natuurlijk direct gevolgen voor de grondwaterstanden en de stroming van het grondwater.

Ter indicatie zijn in tabel 2.2 de neerslag- en verdampingsgegevens voor een gemiddeld jaar gegeven (bron: www.knmi.nl). Hierbij is voor de actuele verdamping uitgegaan van 85% van de referentiegewasverdamping (Makkink).

Tabel 2.2: Neerslag en actuele verdamping voor gras

	Neerslag (mm)	Verdamping (mm)	Neerslagoverschot (mm)
jaar	771	431	340
zomer	354	339	16
winter	416	92	324

2.5 Grondwater

2.5.1 Ondiep grondwater

Als gevolg van seizoensfluctuaties fluctueert de freatische grondwaterstand en de stijghoogte van het diepere grondwater. De Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) en de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) geeft de range weer, waartussen de grondwaterstand zich gedurende het grootste deel van het jaar beweegt. Dit kan vertaald worden naar een klassenindeling: grondwatertrappen (Gt). In de omgeving van de sluis is voornamelijk sprake van Gt VII.

In de praktijk komt het erop neer dat de GHG en GLG niveaus zijn die gemiddeld respectievelijk circa 6 weken worden over- dan wel onderschreden.

Tabel 2.3: Grondwatertrappen

Grondwaterstand (cm-mv)	Grondwatertrap (Gt)						
	I	II ¹	III	IV ¹	V	VI ¹	VII ²
GHG	<20	<40	<40	>40	<40	40 - 80	>80
GLG	<50	50 -80	80 -120	80 - 120	>120	>120	(>160)

¹ een * achter deze Gt-codes betekent 'droger deel', d.w.z. een GHG tussen 25 en 40 cm-mv

² een * achter deze Gt-codes betekent 'zeer droog deel', d.w.z. een GHG dieper dan 140 cm-mv

2.5.2 Grondwater regionaal

De fluctuaties van de stijghoogtes in de verschillende watervoerende pakketten zijn onder andere af te leiden uit de TNO-peilbuizen. In bijlage 3 is een overzichtskaart opgenomen met situering van de peilbuizen. In tabel 2.4 zijn de kenmerken van peilbuizen in de omgeving het plangebied weergegeven.

Tabel 2.4: Regionale peilbuisgegevens

Peilbuis	x- coördinaat	y- coördinaat	Afstand tot sluis	maaiveld	GLG	Gemiddelde	GVG	GHG
	(m)	(m)	(m)	(m +NAP)	(m+NAP)	(m +NAP)	(m +NAP)	(m+NAP)
B33F0072_1	215170	462890	2.360	8,82	7,56	7,63	7,63	7,69
B33F0073_1	215240	463150	2.320	9,07	7,50	7,71	7,72	7,93
B33F0074_1	215410	463030	2.530	9,13	7,59	7,69	7,69	7,77
B33F0075_1	214950	463140	2.060	9,47	7,56	7,73	7,75	7,90
B33F0141_1	210540	462555	2.870	12,94	7,65	8,17	8,51	8,81
B33F0175_1	210640	462680	2.730	9,89	4,07	4,79	5,08	5,55
B33F0222_1	214130	463250	1.280	8,86	7,18	7,49	7,56	7,98
B33F0223_1	213480	462990	1.040	8,62	6,77	7,03	7,14	7,35
B33F0992_1	215527	463779	2.480	9,57	7,88	8,12	8,21	8,38
B33F1005_1	211357	463160	1.870	8,05	4,75	5,10	5,37	5,37
B33F1006_1	211239	462757	2.170	8,77	5,25	5,52	5,74	5,74
locatie	213056	463944						

Niet van alle peilbuizen uit bijlage 3 kunnen de kenmerken afgeleid worden als gevolg van een te korte tijdreeks.

Uit tabel 2.4 blijkt dat er geen peilbuizen nabij de sluis aanwezig zijn: de dichtst bij gelegen peilbuis ligt op 1.040 m. Op basis van de regionale gegevens kan het volgende worden geconcludeerd:

- de GHG bedraagt in het oosten van het gebied circa NAP +7,9 m (peilbuis B33F0073) en loopt af tot circa NAP +5,4 in het westen van het gebied (peilbuis B33F1005);
- de GLG bedraagt in het oosten circa NAP +7,6 m (peilbuis B33F0073) en loopt af tot circa NAP +4,75 m in het westen (peilbuis B33F1005).

In het kader van het milieukundig bodemonderzoek zijn ook peilbuizen geplaatst. De gemeten grondwaterstanden zijn momentopnamen. De peilbuizen zijn niet ingemeten ten opzichte van NAP, waardoor de gegevens niet in deze studie gebruikt kunnen worden.

2.5.3 Grondwater lokaal

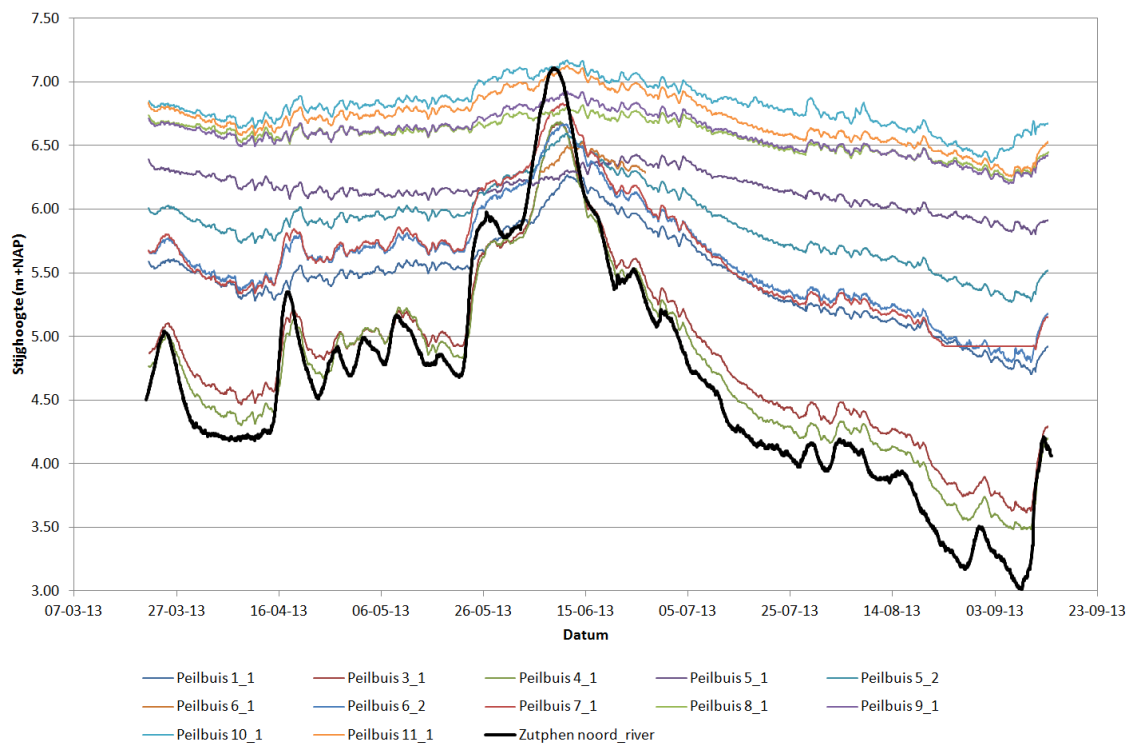
Nabij de sluis zijn elf peilbuizen geplaatst die op 21 maart 2013 voorzien zijn van dataloggers die twaalfmaal per dag de waterdruk registreren. De dataloggers zijn op 13 september 2013 uitgelezen en vertaald naar stijghoogten. De kenmerken van de gemeten stijghoogten over de periode van 21 maart 2013 tot en met 13 september 2013 zijn in tabel 2.5 samengevat. De ligging van de peilbuizen is weergegeven in bijlage 4.

Tabel 2.5: Overzicht kenmerken monitoringspeilbuizen

Meetpunt	filter	X-coord (m)	Y-coord (m)	bovenkant peilbuis (m +NAP)	Filter- diepte (m-mv)	maaiveld hoogte (m +NAP)	Minimale stijghoogte (m +NAP)	Gemiddelde stijghoogte (m +NAP)	Maximale stijghoogte (m +NAP)
Peilbuis 1	1	212602	464176	8,97	4,0-5,0	9,03	4,70	5,46	6,27
Peilbuis 3	1	212630	463890	7,94	3,4-4,4	7,48	3,61	4,86	6,68
Peilbuis 4	1	212576	463694	9,76	5,5-6,5	9,29	3,48	4,75	6,69
Peilbuis 5	1	212928	464161	8,94	2,3-3,3	8,99	5,80	6,16	6,43
Peilbuis 5	2	212928	464161	8,88	4,5-5,5	8,99	5,27	5,89	6,59
Peilbuis 6*	1	212931	463995	10,48	3,3-4,3	10,03	6,29	6,39	6,53
Peilbuis 6	2	212931	463995	10,41	5,0-6,0	10,03	4,80	5,61	6,67
Peilbuis 7	1	212986	463754	10,36	4,8-5,8	10,01	4,90	5,70	6,83
Peilbuis 8	1	213236	464416	8,55	2,5-3,5	8,63	6,22	6,57	6,82
Peilbuis 9	1	213251	464235	8,81	2,5-3,5	8,28	6,20	6,59	6,93
Peilbuis 10	1	213279	464034	9,11	2,4-3,4	8,67	6,37	6,81	7,17
Peilbuis 11	1	213327	463802	9,19	2,5-3,5	8,75	6,26	6,71	7,13

* kortere meetperiode door droogval

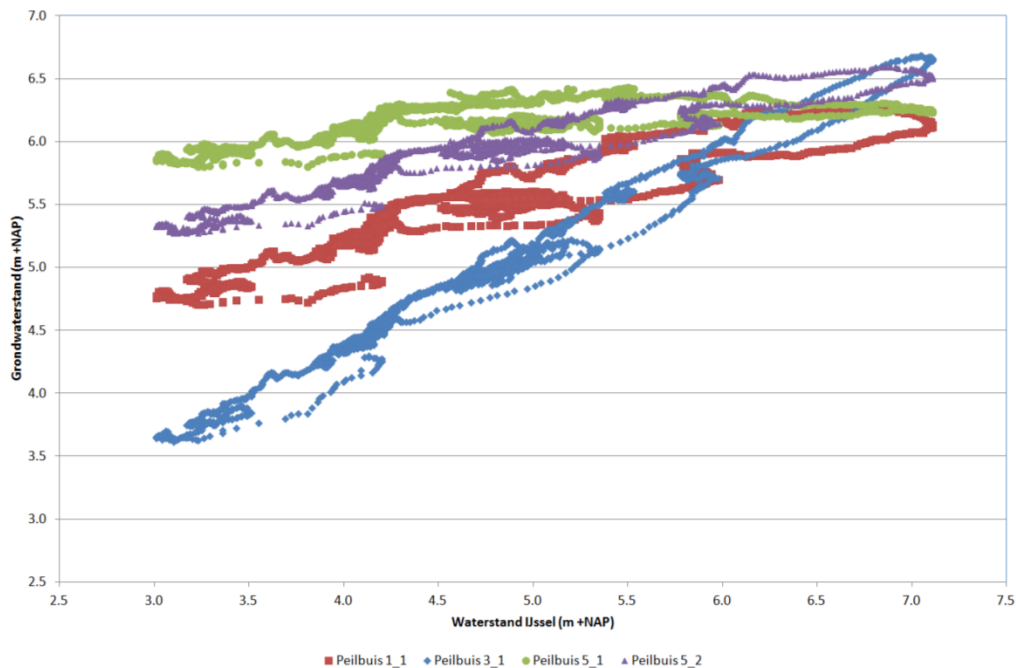
In figuur 2.4 zijn de gemeten stijghoogten grafisch weergegeven met de gemeten waterpeilen in de IJssel.



Figuur 2.4: Tijd-stijghoogtelijnen lokaal grondwatermeetnet

Uit figuur 2.4 blijkt duidelijk dat de peilbuizen aan de IJsselszijde van de sluis (peilbuis 1_1, peilbuis 3_1 en peilbuis 4_1) beïnvloed worden door de IJssel. Aan de zijde van het Twentekanaal is de beïnvloeding geringer en minder duidelijk aanwezig. In alle gevallen is er sprake van hysteresis: de grondwaterstanden reageren vertraagd op de IJsselstanden. Als de IJssel na een hoogwater weer gaat zakken, stijgen de grondwaterstanden nog een poos door (ongeveer tot het moment dat de IJsselstand onder de grondwaterstand zakt).

In peilbuis 5 is de ondiepe grondwaterstand bij lagere IJsselstanden hoger dan de diepere stijghoogte. Bij de hogere IJsselstanden (gedurende de meetperiode) is het net andersom. Dit is een gevolg van de weerstand van een kleilaag die ter plekke aanwezig is. Hierdoor reageert de freatische grondwaterstand traag op veranderingen van de stijghoogte, die op haar beurt onder invloed van de IJssel staat. In figuur 2.5 is dit weergegeven: duidelijk is de sterke relatie van de diepe grondwaterstand met de IJsselstand en de vertraagde reactie van de ondiepe grondwaterstand (verschil tussen 5_1 en 5_2). De vertraagde reactie kan verklaard worden door de aanwezige kleilaag. De omvang van deze kleilaag is niet bekend op basis van de beschikbare gegevens (boringen, AMIGO en/of TNO).



Figuur 2.5: Relatie IJsselstand met grondwaterstand pb 1_1, pb 3_1 en pb 5 (ondiep en diep)

Daarnaast is een sterke relatie met de IJsselstand te zien nabij het voorpand (peilbuis 3_1). Op grotere afstand is eveneens een duidelijke relatie zichtbaar: deze is echter niet rechtlijnig (peilbuis 1_1 en 5): de stijging van de grondwaterstand bij hogere IJsselstanden is minder sterk dan bij lagere IJsselstanden.

2.5.4 Grondwaterstroming

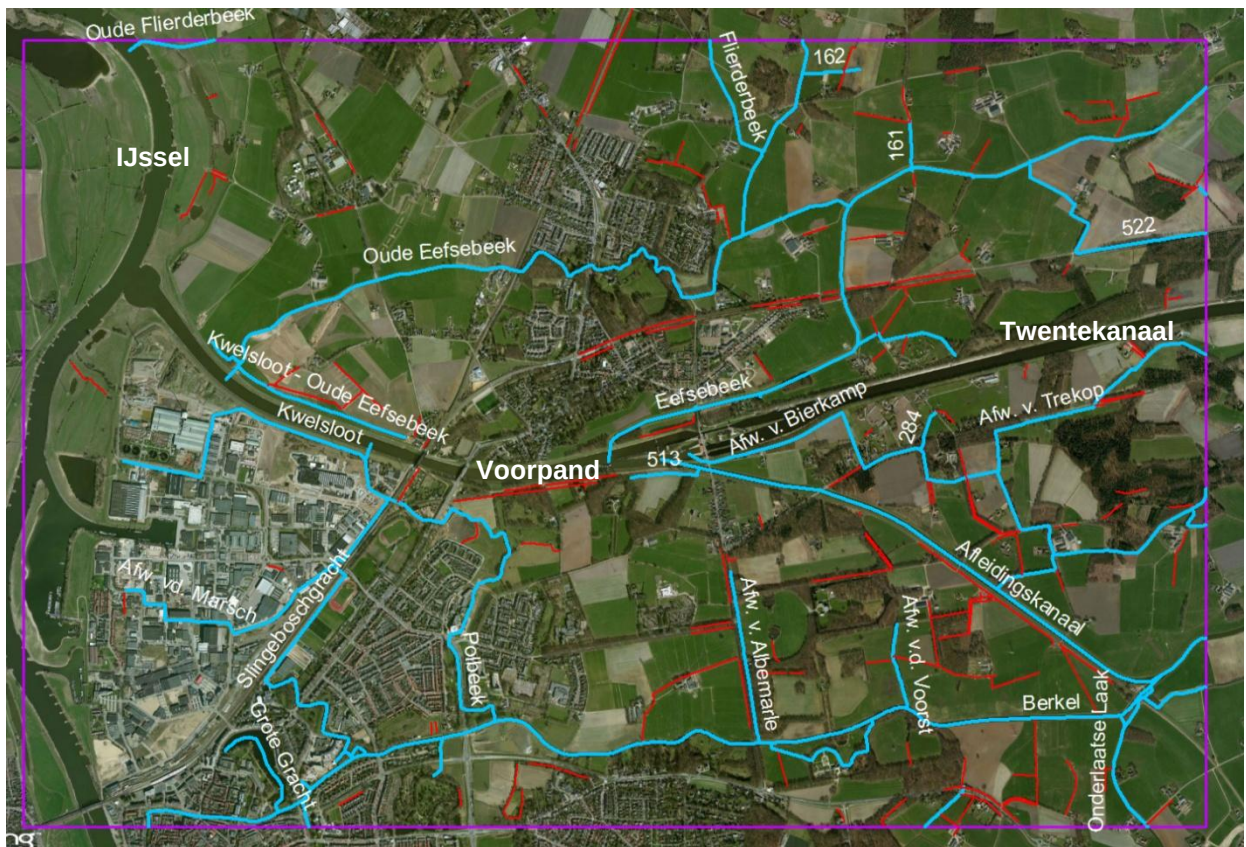
De stromingsrichting in het plangebied staat onder invloed van de IJssel. De IJssel heeft over het algemeen een drainerende (waterafvoerende) werking op de omgeving. Er is sprake van een westelijk gerichte grondwaterstroming. Bij hoge waterstanden in de IJssel kan er sprake zijn van een meer oostelijk gerichte grondwaterstroming of een kleinere grondwaterstroomsnelheid in westelijk richting.

2.6 Oppervlaktewater

De locatie is gelegen binnen het beheergebied van Waterschap Rijn en IJssel. In de watergangen wordt geen streefpeil gehanteerd. Wel zijn er enkele stuwen in het gebied rondom de sluis aanwezig. Ten noorden van de bestaande sluis ligt de Eefse beek. De Eefse Beek watert via een gemaal uit op het Twentekanaal. Het stuwpeil bedraagt NAP +7,0 m à NAP +7,2 m. Wanneer het peil van het IJsselpand van het Twentekanaal lager is dan dit peil, kan het water vrij afstromen via de overlaat. Als het peil in het IJsselpand van het Twentekanaal hoger is, stopt de afvoer. Aan de zuidkant van de sluis bevindt zich de stuw van het Afleidingskanaal. Het stuwpeil bedraagt circa NAP +8,0 m (27 november 2012).

Aan de zuidzijde van het voorpand bevindt zich, nabij industrieterrein De Mars, het gemaal Polbeek. Hier wordt een constant peil gehandhaafd van NAP +4,80 m. Wanneer het peil van het IJsselpand van het Twentekanaal lager is dan dit peil, kan het water vrij afstromen via de overlaat. Wanneer dit niet het geval is, slaat het gemaal automatisch aan.

In figuur 2.6 zijn de watergangen weergegeven in de nabijheid van de sluis.



Figuur 2.5: Oppervlaktewatersysteem(watergangen blauw, greppels rood)

Het peil in de IJssel fluctueert sterk. In tabel 2.6 zijn de waterpeilen bij verschillende overschrijdingsfrequenties weergegeven voor betrekkinglijn 2010, dit is de locatie Zutphen-Noord.

Tabel 2.6 Waterstanden IJssel op basis van betrekkinglijnen 2010 (Bron: RWS)

Overschrijdingsfrequentie	afvoer (m³/s)	Zutphen (m+ NAP)
1x per 1.250 jaar	2.460	9,16
1 x per 100 jaar	1.921	8,44
1 x per 10 jaar	1.391	7,84
1 x per 2 jaar grensafvoer (-peil)	992	7,38
1 x per jaar	835	7,15
gemiddelde afvoer	315	4,43
gemiddelde zomer afvoer	275	4,24
overeengekomen lage afvoer / OLR 2010	110	2,62

De OLR (Overeengekomen Lage Rivierafvoer) op de IJssel voor de huidige situatie is NAP +2,62 m. Dit komt overeen met een OLR in het voorpand van NAP +2,46 m. Over 100 jaar zal de OLR een meter lager zijn.

Het normaal peil in het Twentekanaal bedraagt NAP +10,00 m. Het HKP (Hoog Kanaalpeil) op de Twentekanalen bedraagt NAP +10,14 m en het LKP (Laag Kanaalpeil) bedraagt NAP +9,85 m.

Ter plaatse van het uitbreidingsgebied bij de Boedelhof is waarschijnlijk drainage aanwezig in de wegen.

2.7 Onttrekkingen

In de nabijheid van de sluis van Eefde bevinden zich geen permanente onttrekkingen. Lokaal zijn wel enkele bronnen aanwezig ten behoeve van beregening. Hieruit wordt slechts sporadisch onttrokken. Industriële onttrekkingen zijn in Zutphen aanwezig: deze liggen op tenminste 1.500 m afstand van de sluis. De kenmerken van de onttrekkingen binnen een straal van 5 km zijn in zijn in tabel 2.7 weergegeven.

Tabel 2.7: Gegevens onttrekkingen 2008 (bron: www.gelderland.nl)

Naam	Locatie	X coördinaat (m)	Y coördinaat (m)	Afstand (m)	Onttrokken (m³/jaar)
Zutphen Gem	Sportpark Noordveen	211.425	463.335	1.694	0
Verhoeve Milieu	Oostzeestraat 1	211.120	463.540	1.937	1.500
Luvata Netherlands Bv	Oostzeestraat 10	211.095	463.600	1.952	331.591
Edese Beton Centrale Ebc	Industrieweg	209.995	463.330	3.081	9.035
Vitens Nv	Thorbeckesingel	211.100	460.530	3.872	24.285
Vitens Gelderland	Ps Zutphen	211.105	460.420	3.966	2.137.696
Kvz Sportpark Zuidveen	Laan Naar Eme 103	210.350	460.590	4.248	0
Cogas Bv	De Teuge	209.250	461.300	4.578	6.219

2.8 Kenmerken huidige sluis

Voor de modellering van de huidige situatie zijn een aantal aspecten van belang voor de geohydrologische situatie rond de huidige sluis (variant 0). Aandachtspunten hierbij zijn:

- damwanden

De damwanden vormen een grondkerende constructie, zowel in de voorhavens, waar schepen kunnen afmeren, als langs het kanaal. Daarnaast zijn damwanden geplaatst om piping en achterloopsheid te voorkomen. Uit een inventarisatie blijken de huidige damwanden voornamelijk te bestaan uit stalen damwanden met een lengte variërend van 7 tot circa 13 m. Een overzicht van de damwanden in huidige situatie is weergegeven in bijlage 5.
- bodemaafdichtingen

Net als damwanden worden bodemaafdichtingen gebruikt om de geohydrologische effecten te beperken en grondmechanisch de bodem te stabiliseren. In bijlage 5 is weergegeven waar bodembeschermingsmaatregelen zijn genomen bij de huidige sluis. De hydraulische weerstand van de bodemaafdichtingen varieert met de betreffende bodembeschermingsmaatregelen. Globaal kan gesteld worden dat de volgende bodembeschermingsmaatregelen aanwezig zijn:

 - Stortsteen op zanddicht, kunststof doek (relatief lage weerstand);
 - Gietasfalt en gewapend beton (zeer hoge weerstand).

3 Opbouw grondwatermodel

3.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt de modellering van de grondwaterstroming beschreven. Voor de modellering van de grondwaterstroming is gebruik gemaakt van de rekencode MODFLOW. MODFLOW is een modulair, driedimensionaal, eindige-differentieprogramma, dat is ontwikkeld door de United States Geological Survey (USGS, Mc Donald & Harbaugh, 1988). Het pakket kan zowel stationaire als niet-stationaire stroming simuleren in (verzadigd) freatische, semigespannen en gespannen watervoerende lagen. Als schil om Modflow is gebruik gemaakt van het programma Groundwater Modelling System (GMS), versie 9.1. Deze schil is ontwikkeld door Aquaveo (www.Aquaveo.com).

Voor dit onderzoek is een stationair model voor een gemiddelde stromingsituatie opgezet en gekalibreerd (kalibratie). Met de kalibratie zijn de parameters van het model vastgelegd. Vervolgens is er een model opgezet voor een GLG- en een GHG-situatie door het aanpassen van het neerslagoverschot en de waterstanden in de IJssel en het Twentekanaal.

Tabel 3.1: *Modellering huidige situatie*

IJsselstanden	Neerslagsituaties		
	GLG	gemiddeld	GHG
OLR			
Gemiddeld	plausibiliteitstoets	kalibratie	plausibiliteitstoets
T=10-stand			

Bij de modellering van de huidige situatie is het volgende van belang:

- kalibratie: in eerste instantie op de bodemweerstand van de waterlopen o.b.v. gemiddelde grondwaterstanden bij een gemiddeld neerslagoverschot. Daarna eventueel op kD- en c-waarden;
- plausibiliteitstoets: als eerste zijn de stijghoogten voor een GLG en een GHG-situatie bepaald op basis van relatieve gemeten stijghoogten en waterstanden. Vervolgens zijn met het aangepaste neerslagoverschot voor een GLG- en GHG-situatie de stijghoogten berekend. De berekende en op basis van meetgegevens afgeleide waarden zijn met elkaar vergeleken en beoordeeld.

3.2 Beschrijving modelgebied

De afstand tot de rand van het model dient minimaal driemaal de spreidingslengte te bedragen om randeffecten te voorkomen. De spreidingslengte is gedefinieerd als $\sqrt{(kD \times c)}$. Uitgaande van een weerstand van 300 dagen (gemiddelde drainageweerstand oppervlaktewater) en een doorlaatvermogen van 1.065 m²/dag komt driemaal de spreidingslengte overeen met circa 1.700 m. De rand van het model dient daarom op minimaal 1.700 m van de sluis te komen liggen. Gekozen is voor een modelgebied van 6,0 bij 4,0 km waarbij het grid ter plaatse van de sluis verfijnd is tot 10 bij 10 m. Op de rand is de gridgrootte circa 100 bij 100 m. In figuur 3.1 is het modelgrid weergegeven.



Figuur 3.1: Modelgrid

3.3 Modelschematisatie

In verticale richting wordt verwacht dat de invloed reikt tot aan de scheidende laag van de Formatie van Kreftenheye op circa NAP -32 m (weerstand meer dan 30.000 dagen). Het boven liggend pakket is verdeeld in zes modellagen. In tabel 3.1 zijn de modelparameters beschreven. De dikten van de modellagen zijn afgeleid van REGIS. De doorlaatfactoren zijn voor de afzonderlijke bodemlagen voor het gehele model afkomstig van het AMIGO-model (Linden, W. van der, W. Berendrecht, A. Velthuisen, H. Massop, A. Blonk, A. Heuven en W.J. Zaadnoordijk, 2008. AMIGO Actueel Model Instrument Gelderland Oost. Deltares/TNO-rapport, 2008-U-R0749/A). Het AMIGO-model is een grondwaterstromingsmodel dat door Provincie, Waterschap en Vitens gebruikt wordt bij het oplossen van vraagstukken rond grondwater. Dit model is gedragen door een groot aantal partijen. De kD- en c-waarden zijn in dat model gekalibreerd en vormen daarmee een goede basis voor deze studie. Deze waarden wijken mogelijk af van de waarden genoemd in hoofdstuk 2 aangezien in hoofdstuk 2 de directe omgeving van de sluis is beschouwd en in tabel 3.1 het gehele modelgebied.

Tabel 3.1 Modelschematisatie en gehanteerde waarden in het grondwatermodel

		Laag 1 Holocene	Laag 2 Boxtel	Laag 3 Kreftenheye	Laag 4 Kreftenheye	Laag 5 Urk, klei	Laag 6 Kreftenheye
Bovenkant (m +NAP)	minimum	4,48	3,24	-1,27	-2,34	-2,34	-28,57
	maximum	20,55	9,26	8,45	7,30	7,30	-3,82
	gemiddelde	9,26	8,01	4,88	3,71	3,71	-8,26
	mediaan	8,77	8,37	4,99	3,67	3,67	-6,75
	st. deviatie	2,24	1,29	1,16	1,20	1,20	3,93
Onderkant (m +NAP)	minimum	3,24	-1,27	-2,34	-2,34	-28,57	-41,36
	maximum	9,26	8,45	7,30	7,30	-3,82	-28,24
	gemiddelde	8,01	4,88	3,71	3,71	-8,26	-32,72
	mediaan	8,37	4,99	3,67	3,67	-6,75	-32,19
	st. deviatie	1,29	1,16	1,20	1,20	3,93	1,66
Textuur		klei	matig fijn (lemig) zand	matig grof zand	matig grof tot grof zand	klei*	matig grof tot grof zand, zwak grindig
k-waarde (m/dag)	minimum	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,01	0,15
	maximum	0,15	31,92	49,9	62,40	51,0	64,3
	gemiddelde	0,15	2,33	21,70	30,20	22,9	38,40
	mediaan	0,15	2,55	19,36	26,90	0,02	35,50
	st. deviatie	0,02	1,71	6,47	10,90	25,40	8,90

* daar waar de klei ontbreekt is matig grof tot grof zand aanwezig

** door plaatselijk ontbreken van de laag is waarde 0 ingevoerd (inactieve cellen)

Voor de verticale doorlaatfactor is uitgegaan van 1/5 van de horizontale doorlaatfactor. Hiermee wordt de lokale gelaagdheid en fijne fractie beter meegenomen. De waarden uit REGIS II.1 zijn geverifieerd aan de hand van de gegevens uit tabel 3.2.

Tabel 3.2: Gemiddelde doorlatendheid van zand (in meter/dag) (bron: grondwaterzakboekje)

Korrelgrootte	Zandmediaan (micrometer)	zonder slibfractie	zwak slibhoudend	sterk slibhoudend
uiterst fijn	63 – 105	3	2	0.5
zeer fijn	105-150	6	4	1
matig fijn	150-210	15	10	3
matig grof	210-300	30	20	5
zeer grof	300-420	55	35	10
uiterst grof	420-2000	250	150	50

Het Holocene pakket bestaat (indien aanwezig) voornamelijk uit klei. Op veel plaatsen ontbreekt de Holocene deklaag en vormt de formatie van Boxtel het bovenste zandpakket. Deze laag bestaat overwegende uit matig fijn (lemig) zand. Dit is lokaal aangetroffen maar ook in de boringen waarvan het boorprofiel is opgenomen in het digitale archief van TNO. De doorlaatfactor van deze laag bedraagt 1 tot 10 m/d (ontleend aan het Grondwaterzakboekje, Bram Bot, 2011). De waarden van circa 2,5 m/dag uit REGIS II.1 valt binnen deze range.

3.4 Oppervlaktewatersysteem

3.4.1 Algemeen

In het grondwatermodel is het oppervlaktewatersysteem opgenomen. De volgende watergangen/systemen zijn onderscheiden (zie tevens paragraaf 2.6):

- watergangen binnendijs:
 - Eefse Beek ten noorden van de bestaande sluis;
 - afleidingskanaal ten zuiden van de bestaande sluis;
 - afwatering van Bierkamp (tussen de sluis en het Afleidingskanaal);
 - overige watergangen ten noorden en zuiden van het Twentekanaal / Voorpand;
- het Twentekanaal;
- de IJssel met de haven in Zutphen.

3.4.2 Watergangen binnendijs

De gegevens van de watergangen zijn ontleend aan de leggergegevens (bodemhoogte en breedte) en stuwpeilen die opgevraagd zijn bij het waterschap. Voor de bodemweerstand van de waterlopen is als uitgangssituatie voor de kalibratie uitgegaan van de volgende waarden (ontleend aan het Grondwaterzakboekje, Bram Bot, 2011):

- sloot met regelmatige stroming in zand (brede watergangen): 2 dagen;
- sloot met weinig stroming (smalle watergangen): 5 dagen;
- sloot met weinig stroming (watergangen smaller dan 1 m): 10 dagen.

De kleine watergangen die regelmatig droogvallen zijn in het model opgenomen als alleen drainerende waterlopen (geen infiltratie) op 0,7 m-mv en een weerstand van 20 dagen.

3.4.3 Twentekanaal

Voor het hoge pand van het Twentekanaal is een peil aangehouden van NAP +10,0 m (streefpeil) met een bodemhoogte van NAP +4,8 m.

De weerstand nabij de bestaande sluis kan relatief hoog zijn als gevolg van de aanwezige bodemafdicthting (stortsteen) waartussen slib gesedimenteerd is en het feit dat er een relatief groot verhang is tussen het Twentekanaal en het watervoerend pakket. Bij de heersende infiltratiesituatie wordt het slib als het ware extra vast op de bodem "gedrukt", waardoor een aanzienlijke weerstand opgebouwd wordt. Het grote verschil tussen de waterstand in het Twentekanaal en de stijghoogte in het watervoerend pakket kan alleen verklaard worden als een hogere weerstand wordt aangenomen: nabij de sluis (voorhaven) is in eerste instantie een weerstand van 100 dagen aangenomen.

3.4.4 Voorpand

Voor het voorpand is uitgegaan van een waterpeil 0,05 m hoger dan de IJsselstand ter plaatse van de monding en is uitgegaan van een bodemhoogte van NAP -1,2 m.

De weerstand van het voorpand is op 2 dagen gesteld. Nabij de sluis (voorhaven) is een lagere weerstand aangenomen dan in het voorpand. Het grondwater vanuit het kanaal kwelt nabij de sluis in het voorpand op. De drainageweerstand is lager dan de infiltratieweerstand. Als uitgangspunt is een weerstand genomen van 1 dag nabij de sluis (daar waar geen gietasfalt of gewapend beton aanwezig is) en 2 dagen in het overig deel van het voorpand.

3.4.5 IJssel

De waterstanden in de IJssel zijn afgeleid van de gegevens van Rijkswaterstaat (betrekkingslijnen 2010). Er is uitgegaan van een gemiddeld waterpeil in de IJssel (NAP +4,43 m, zie tabel 2.6) en een OLR van NAP 2,46 m. Hierbij is een bodemhoogte aangehouden van NAP -2,0 m en een intreeweerstand van ca. 0,2 dagen (grof zandige rivierbodem (Grondwaterzakboekje, Bram Bot, 2011)).

Bij de haven in Zutphen is uitgegaan van een waterpeil gelijk aan de IJssel ter plaatse van de monding met een bodemhoogte van NAP -1,36 m (circa 4 m beneden OLR). De weerstand in de haven is geschat op 40 dagen.

NB Over 100 jaar zal de OLR 1 meter lager zijn. De grondwaterstanden zullen bij deze situatie dan aanzienlijk lager zijn dan in de huidige situatie. Het effect van de verandering door de realisatie van de tweede kolk zal echter niet veel verschillen van het effect tijdens de huidige situatie.

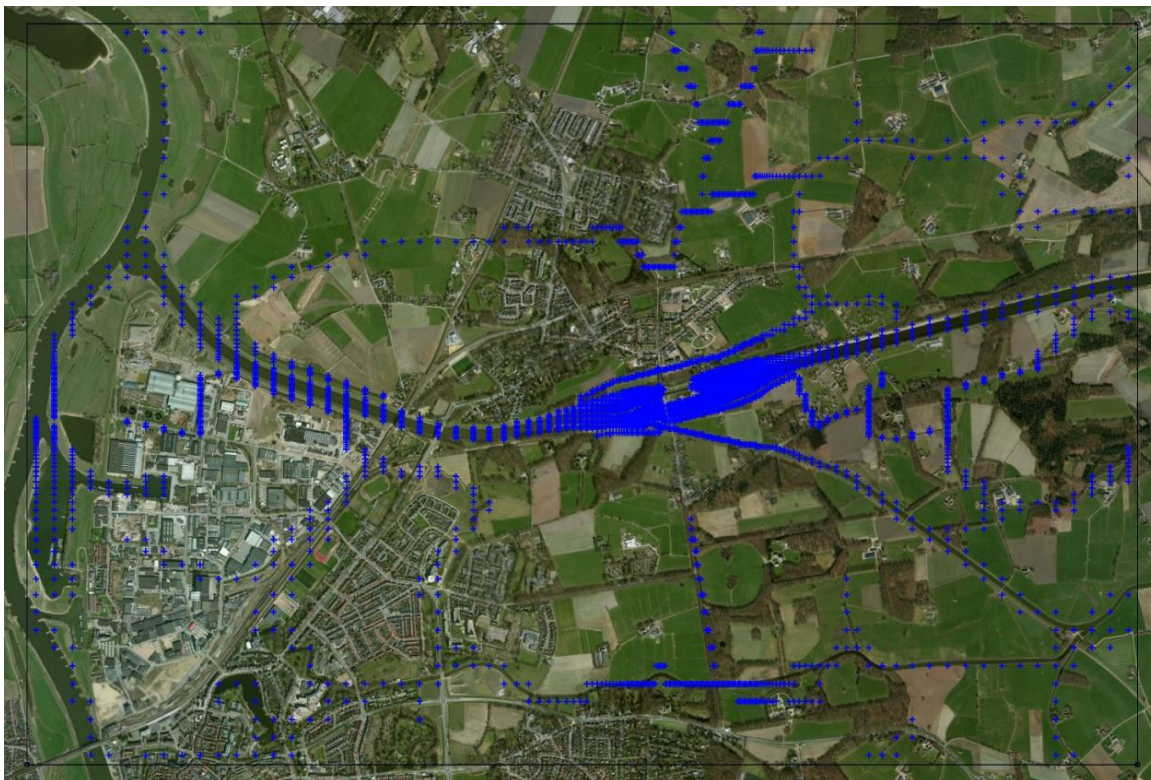
NB2 Het is de verwachting dat over 100 jaar de grondwateraanvulling tijdens de zomer lager is dan die in de huidige situatie. Dit zal ook een verlagend effecten hebben op de grondwaterstanden. Bij de gevoeligheidsanalyse zal de gevoeligheid van de verandering van het neerslagoverschot op de grondwaterstanden worden beschreven.

3.4.6 Schematisatie oppervlaktewatersysteem

Het oppervlaktewatersysteem is in figuur 3.2 weergegeven. In figuur 3.3 het oppervlaktewatersysteem weergegeven, zoals deze naar het grondwatermodel is vertaald.



Figuur 3.2 Oppervlaktewatersysteem vanuit GIS (exclusief droogvallende greppels)



Figuur 3.3 Oppervlaktewatersysteem vertaald naar grondwatermodel

3.5 Neerslagoverschot

Het verschil tussen neerslag en verdamping geeft het overschot of tekort aan neerslag aan. De verdamping is afhankelijk van het grondgebruik (gewasfactor). Door de referentieverdamping te vermenigvuldigen wordt de potentiële verdamping verkregen. Het verschil tussen de neerslag en potentiële verdamping geeft het neerslag overschot.

Tabel 3.3 toont het neerslagoverschot voor verschillende grondgebruiken en perioden (gemiddeld jaar, winterperiode en zomerperiode).

Tabel 3.3: Neerslagoverschot

	Neerslag (mm/jaar)	Makkink referentieverdamping (mm/jaar)	gewasfactor (-)	Actuele verdamping (mm/jaar)*	Neerslag- overschot (mm/jaar)	Neerslag- overschot (mm/dag)
Gemiddelde jaar						
Gras	771	563	0.9	431	340	0.93
Bos	771	563	1.2	574	196	0.54
Water	771	563	1.3	622	149	0.41
bebouwd*	771	563	0.8	383	175	0.48
industrie*	771	563	0.8	383	175	0.48
Zomerperiode						
gras	354	443	0.9	339	16	0.04
bos	354	443	1.2	452	-97	-0.27
water	354	443	1.3	489	-135	-0.37
bebouwd*	354	443	0.8	301	24	0.07
industrie*	354	443	0.8	301	24	0.07
Winterperiode						
gras	416	120	0.9	92	324	0.89
bos	416	120	1.2	123	294	0.80
water	416	120	1.3	133	284	0.78
bebouwd**	416	120	0.8	82	151	0.41
industrie**	416	120	0.8	82	151	0.41

* Actuele verdamping is 85% van potentiële verdamping (Makkink referentieverdamping * gewasfactor)

** Aangenomen wordt dat 60% verhard is waardoor een groot deel van de neerslag direct wordt afgevoerd.

3.6 Onttrekkingen

Van de onttrekkingen genoemd in tabel 2.7 bevinden zich enkele onttrekkingen in het model-gebied (zie gele stippen in figuur 3.2). Deze onttrekkingen bevinden zich vooral ter plaatse van industrieterrein De Mars in Zutphen en zijn in tabel 3.4 weergegeven. Naar verwachting zijn deze hoeveelheden weinig aan verandering onderhevig en ook geldig voor de huidige situatie. Bovendien liggen ze op zo een afstand van het sluizencomplex dat ze hydrologisch niet van belang zijn voor de situatie bij de sluizen.

Tabel 3.4: Onttrokken hoeveelheden (2008)

Bedrijfsnaam	Locatie	Bovenkant filter (m +NAP)	Onderkant filter (m +NAP)	Vergunning (m³/jaar)	Onttrokken (m³/jaar)
Verhoeve Milieu	Oostzeestraat 1	-1,00	-11,00	0	1.500
Zutphen Gemeente	Sportpark Noordveen	-2,00	-12,00	0	0
Edese Beton Centrale Ebc	Industrieweg	-1,00	-11,00	0	9.035
Luvata Netherlands Bv	Oostzeestraat 10	-13,00	-36,00	566.000	331.591

3.7 Huidige situatie (bestaande sluis)

3.7.1 Beschrijving

Langs de bestaande kades zijn damwanden aangebracht als grondkerende constructies in de voorhavens. De lengte van de damwanden varieert van 7 m tot circa 13 m. De onderkant van de damwanden bevinden zich tot circa NAP +4,0 m ter plaatse van het Twentekanaal. Bij het voorpand bevindt de onderkant van de damwand zich op circa NAP -5 m à NAP -6 m. Voor de exacte diepte wordt verwezen naar bijlage 5.

Op de bodem bij de voorhavens is op verschillende plaatsen stortsteen op kunststof doek aanwezig, gietasfalt of gewapend beton (zie ook bijlage 5).

De bestaande kolk heeft een bodemhoogte van NAP 0 m. De vloerdikte bedraagt 3,0 m aan beide zijden zodat de onderkant van de kolk zich bevindt op een diepte van NAP -3,0 m. De onderkant van de hoofden ligt op NAP -3,65 m.

Er bevinden zich geen kwelschermen in de bestaande constructie.

3.7.2 Implementatie in model

De damwanden zijn vertaald naar "Horizontal Flow Barriers" in het grondwatermodel. In tabel 3.5 is weergegeven welke hydraulische weerstanden de verschillende typen wanden hebben.

Tabel 3.5: Waterdichtheid (in dagen) van verschillende typen damwanden in verschillende grondsoorten (bron: www.bodemrichtlijn.nl)

Type	klei/veen	fijn zand	grof zand
damwand zonder slot afdichting	1.000	< 100	< 100
damwand met 2 planken naast elkaar	1.000	< 100	< 100
damwand met slotafdichting	1.000	100	< 100
met betoniet-cementpalen t.p.v. sloten			
- hoogte < 5 m	1.000	100	100
- hoogte 5 - 15 m	1.000	1.000	100
- hoogte > 15 m	1.000	1.000	100
Geolock (2,5 mm HDPE)	100	100	100
Diepwand (cement-bentoniet)			
-1-fase, dikte 0,60	< 100	< 100	< 100
-1-fase, dikte 0,80-1,00	100	100	100
-2-fasen, dikte 0,60	500	500	500
-2-fasen, dikte 0,80-1,00	1.000	1.000	1.000
Folie met verharde slurry			
- hoogte < 5m	100	100	100
- hoogte 5 -15 m	500	500	500
- hoogte > 15 m	500	500	500

Omdat er een stalen damwand aanwezig is, is gekozen voor een hydraulische weerstand van 100 dagen. De damwanden doorsnijden de modellagen 1 tot en met 3. Doordat de damwanden een beperkt deel van het watervoerend pakket afsluiten en niet tot afsluitende kleilagen doorgezet zijn, is er sprake van communicerende vaten en is de invloed van de damwand gering.

Voor de bodemweerstand in de voorhavens is ter plaatse van gietasfalt of gewapend beton een bodemweerstand van 10.000 dagen aangenomen. Ter plaatse van het overig deel van de voorhavens is een weerstand aangehouden van circa 100 dagen aan de kant van het Twentekanaal (infiltratiesituatie) en 1 dag bij het voorpand (drainagesituatie).

3.8 Kalibratie

3.8.1 Algemeen

De kalibratie is uitgevoerd door aanpassing van de drainage- en infiltratieweerstanden van de waterlopen. De kalibratie is deels met het programma PEST uitgevoerd. Omdat hiermee niet alle parameters optimaal gekalibreerd konden worden is aanvullend handmatig gekalibreerd. Bij het kalibratieproces is gebleken dat de weerstand in de voorhaven bij het Twentekanaal aanzienlijk verhoogd moest worden om het verschil tussen waterpeil en grondwaterstand nabij de sluis te creëren (zie ook paragraaf 3.10). Hierbij bleek dat de bodemweerstand in de voorhaven bij het Twentekanaal 300 dagen (in plaats van de in eerste instantie aangenomen 100 dagen) bedraagt en in het voorpand circa 0,2 dagen.

3.8.2 Kalibratie gemiddelde situatie

De kalibratie is gebaseerd op de beschikbare meetgegevens. De voor dit project bemeten peilbuizen beslaan de periode van half maart tot half september 2013. Dit half jaar valt voor een groot deel in de zomer. Bedacht moet worden dat aan het begin van deze periode de grondwaterstanden hoog stonden en dat de zomersituatie vooral een neerslagtekort kent. Voor dit dynamisch grondwatersysteem is gezocht naar een geoptimaliseerde waarde voor het neerslagoverschot om de gemeten grondwaterstanden goed te kunnen beschrijven. In tabel 3.6 is een overzicht gegeven van de aangepaste waarden.

Tabel 3.6: Aanpassing neerslagoverschot

Bodemgebruik	Initiële waarde in model (mm/dag)	Aangepaste waarde (mm/dag)
gras	0,93	0,80
water	0,41	0,40
bebouwd*	0,48	0,30
industrie*	0,48	0,40

* Een groot deel van bebouwd gebied is verhard waardoor de grondwateraanvulling minimaal is;

Van de beschikbare peilbuisgegevens in het modelgebied (TNO en lokaal grondwatermeetnet) is de gemiddelde stijghoogte per peilbuis bepaald. Complicatie hierbij is dat de meetperiode van de verschillende peilbuizen niet overeenkomen: de meetgegevens zijn wel gebruikt om toch gebruik te kunnen maken van deze informatie. In tabel 3.7 zijn de berekende en gemeten waarden na kalibratie weergegeven.

Tabel 3.7: Kalibratieresultaat

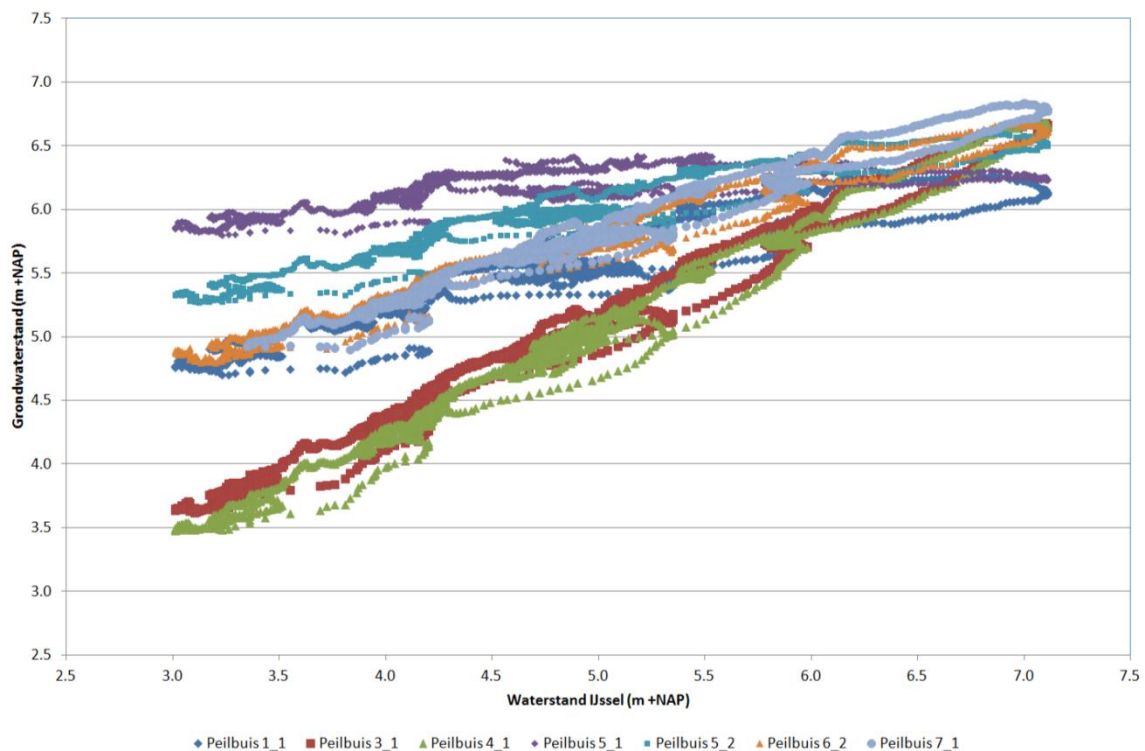
peilbuis	x coördinaat (m)	y coördinaat (m)	diepte filter (m +NAP)	Gemeten stijghoogte (m +NAP)	Berekende stijghoogte (m +NAP)	verschil gemeten en berekend (m)
B33F0072	215.170	462.890	-10,58	7,64	7,84	-0,20
B33F0073	215.240	463.150	-11,00	7,74	7,88	-0,14
B33F0074	215.371	463.042	-11,50	7,69	7,95	-0,26
B33F0075	214.950	463.140	-10,58	7,73	7,76	-0,03
B33F0141	210.540	462.555	-26,00	4,87	5,02	-0,15
B33F0175	210.640	462.680	-29,55	4,87	4,91	-0,04
B33F0219	211.153	465.124	4,75	5,28	5,32	-0,04
B33F0221	211.450	464.210	-7,00	5,41	5,15	0,26
B33F0222	214.130	463.250	-11,00	7,45	7,45	0,00
B33F0223	213.480	462.990	5,62	7,04	7,06	-0,02
B33F0992	215.367	463.793	6,23	8,13	8,02	0,11
B33F1005	211.357	463.160	3,35	5,13	5,15	-0,02
B33F1006	211.239	462.757	3,87	5,54	5,40	0,14
Peilbuis_1	212.602	464.176	4,03	5,46	5,49	-0,03
Peilbuis_3	212.630	463.890	3,08	4,86	4,85	0,01
Peilbuis_4	212.576	463.694	3,29	4,75	4,71	0,04
Peilbuis_52	212.928	464.161	5,69	6,16	5,94	0,22
Peilbuis_61	212.931	463.995	4,03	5,61	5,61	0,00
Peilbuis_7	212.986	463.754	4,21	5,70	5,76	-0,06
Peilbuis_8	213.209	464.394	5,13	6,57	6,49	0,08
Peilbuis_9	213.227	464.229	4,78	6,59	6,60	-0,01
Peilbuis_10	213.279	464.034	5,27	6,81	6,78	0,03
Peilbuis_11	213.327	463.802	5,20	6,71	6,79	-0,08
gemiddeld						-0,01

De gemiddelde afwijking bedraagt -0,01 m met een gemiddelde absolute afwijking van 0,09 m. De afwijkingen ten opzichte van de gemiddelde stijghoogte verschillen per peilbuis. Zo staan de peilbuizen 72 t/m 75 vlak bij elkaar en hebben heel verschillende afwijkingen. Dat komt door een detailniveau dat niet in het model zit, zo kunnen lokale variaties in bodemopbouw tot aanzienlijk verschil in ondiepe en diepe grondwaterstanden leiden. Doordat de gemiddelde waarden in de verschillende peilbuizen van TNO bepaald zijn over verschillende tijdsperioden hebben de lokale (recent gemeten) grondwaterstanden in en nabij het plangebied een zwaarder gewicht gekregen bij de kalibratie (voor de peilbuizen uit tabel 3.11).

3.8.3 Plausibiliteitstoets bij GLG en OLR situatie

Voor het kalibreren van voor een GLG-situatie in het grondwater in combinatie met een OLR in de IJssel is als eerste uit de meetgegevens de te kalibreren situatie afgeleid. De betreffende situatie ontbreekt in de meetreeks. Daarom is een methode gekozen die indirect een inschatting van de GHG en GLG geeft. De stijghoogten in het lokaal meetnet zijn afgeleid op basis van de relatie tussen gemeten grondwaterstanden en waterpeilen in de IJssel (trendlijnen). De berekende waarden zijn vervolgens vergeleken met de afgeleide waarden om te beoordelen of de gesimuleerde situatie plausibel is.

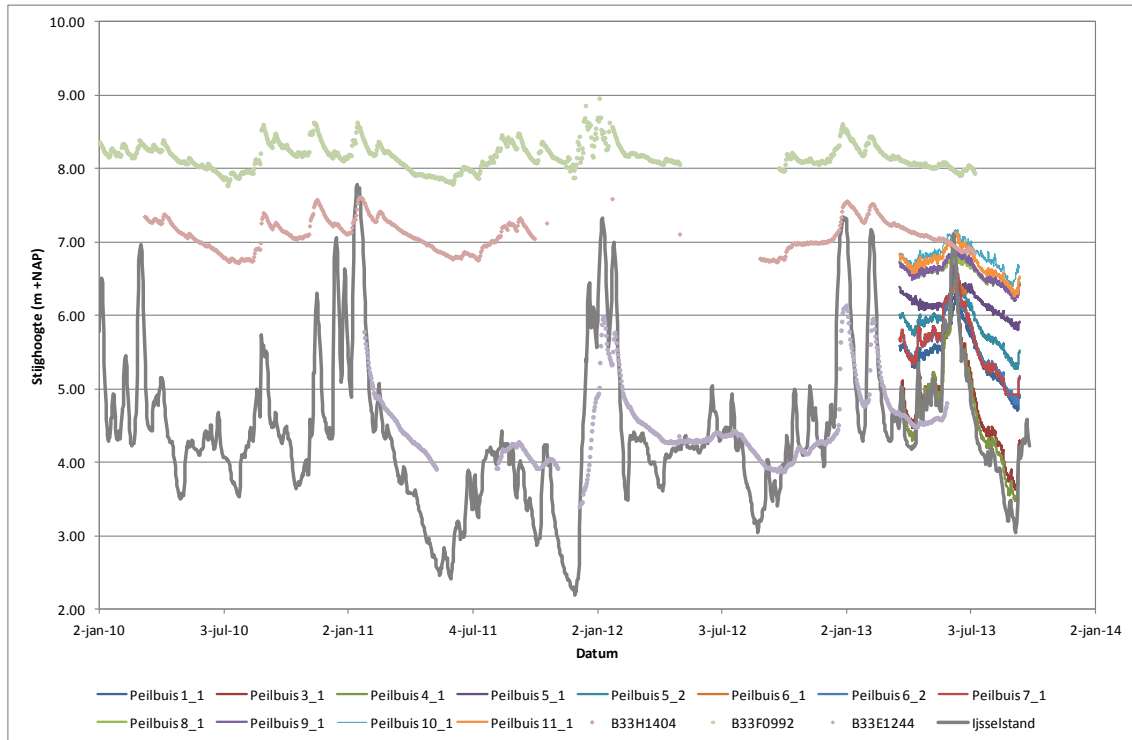
In figuur 3.4 is de relatie tussen de gemeten stijghoogten en waterpeilen weergegeven voor de peilbuizen aan de zijde van de IJssel.



Figuur 3.4: Relatie tussen de gemeten stijghoogten en waterpeilen (maart – september 2013)

Uit de relatie blijkt dat er bijna een lineair verband is in de peilbuizen dicht bij het voorpand (peilbuis 3_1 en peilbuis 4_1). Op grotere afstand is eveneens een relatie zichtbaar, deze is echter niet lineair. De GLG-OLR-situatie kan voor deze peilbuizen bepaald worden door gebruik te maken van de relatie tussen rivierstand en grondwaterstand. Voor de relatie wordt de grondwaterstand afgelezen voor het OLR-niveau. Bijvoorbeeld: voor filter 4_1 is bij het OLR-niveau de bijbehorende grondwaterstand circa NAP 3,24 m.

Bij de Twentekanalen is er ook een relatie met de IJsselstanden maar minder sterk. Dit kan verklaard worden door het nagenoeg vaste peil in het Twentekanaal en de grotere afstand tot de fluctuerende IJsselstanden. In de onderstaande figuur zijn de meetreeksen van het lokale meetnet weergegeven plus enkele lange reeksen van peilfilters in de buurt. Uit de figuur blijkt dat begin juli de grondwaterstanden in de reeksen B33H1404 en B33E1244 tot de laagste van de reeks behoorden. Volgens de gemeten reeksen in het lokale meetnet zakten de grondwaterstanden daarna nog verder. Voor een GLG/OLR-situatie is voor de buizen langs de Twentekanalen uitgegaan van 0,1 m beneden de laagst gemeten stijghoogten in de periode maart 2013 – september 2013 (peilbuis 8 tot en met 11) omdat het OLR-niveau nog enigszins lager is dan in de beschouwde periode (juli 2013).



Figuur 3.5: Langjarige grondwaterstanden in DINO-peilbuizen en de lokale peilfilters

Vervolgens is de neerslag aangepast en gekeken of de afwijking tussen afgeleide en berekende stijghoogten acceptabel is (plausibiliteitstoets). Hierbij is een afwijking van 0,5 m als acceptabel beschouwd: dit is maximaal de variatie van de grondwaterstanden zoals die bij een bepaalde IJsselstand zich voordoet (zie figuur 3.4).

Tabel 3.8: Vergelijking stijghoogten in lokaal meetnet bij GLG/OLR situatie

	Minimaal gemeten mrt 2013 – sept 2013 (m +NAP)	Afgeleid (m +NAP)	Berekend (m +NAP)	Verskil afgeleid en berekend (m)
Peilbuis 1_1	4,70	4,27	4,15	0,12
Peilbuis 3_1	3,61	3,31	2,98	0,33
Peilbuis 4_1	3,48	3,24	2,76	0,48
Peilbuis 5_2	5,27	5,04	4,91	0,13
Peilbuis 6_2	6,29	4,39	4,28	0,11
Peilbuis 7_1	4,90	4,56	4,50	0,06
Peilbuis 8_1	6,22	6,12	6,21	-0,09
Peilbuis 9_1	6,20	6,10	6,07	0,03
Peilbuis 10_1	6,37	6,27	6,21	0,05
Peilbuis 11_1	6,26	6,16	6,26	-0,10

De afwijkingen in de peilbuizen langs het Twentekanaal zijn kleiner dan die langs het IJssel-pand. De afwijkingen vallen binnen de gestelde range van 0,5 m. De simulatie met het model wordt daarom ook plausibel geacht voor deze situatie.

3.8.4 Plausibiliteitstoets bij GHG en T=10 situatie

Op vergelijkbare wijze als in de vorige paragraaf is de stijghoogte afgeleid voor een T=10 hoogwatersituatie in de IJssel en een GHG in het grondwater. Voor de peilfilters langs het benedenpand is gebruik gemaakt van de relatie met de IJsselstanden. Voor de peilbuizen langs de Twentekanaal (peilbuis 8 tot en met 11) is voor de GHG/T=10-situatie uitgegaan van is aan een maximaal gemeten stijghoogte in de periode maart 2013 – september 2013 plus 0,1 m.

Tabel 3.9: Vergelijking stijghoogten in lokaal meetnet bij GHG / T=10 situatie

	Maximaal gemeten mrt 2013 – sept 2013 (m +NAP)	Afgeleid (m +NAP)	Berekend (m +NAP)	Vershil afgeleid en berekend (m)
Peilbuis 1_1	6,27	6,38	6,67	-0,29
Peilbuis 3_1	6,68	7,16	7,18	-0,02
Peilbuis 4_1	6,69	7,35	7,57	-0,22
Peilbuis 5_2	6,59	6,69	6,74	-0,05
Peilbuis 6_2	6,53	6,75	7,18	-0,43
Peilbuis 7_1	6,83	7,19	7,34	-0,15
Peilbuis 8_1	6,82	6,92	6,57	0,35
Peilbuis 9_1	6,93	7,03	6,88	0,15
Peilbuis 10_1	7,17	7,27	7,26	0,01
Peilbuis 11_1	7,13	7,23	7,32	-0,10

De afwijkingen vallen binnen de gestelde range: ook de simulatie van deze situatie wordt daar-om plausibel geacht voor deze situatie.

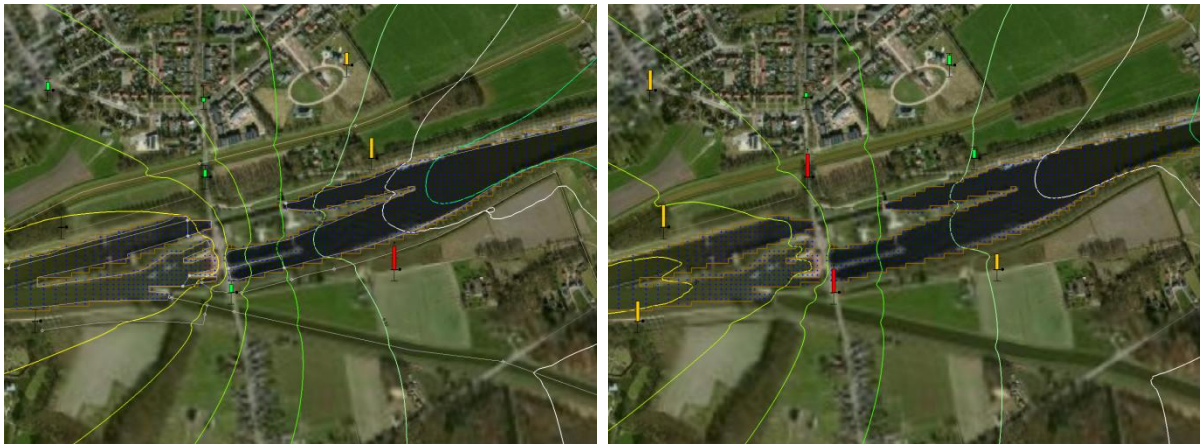
3.9 Gevoeligheidsanalyse

3.9.1 Gevoeligheid oppervlaktewatersysteem

De oppervlaktewaterpeilen zijn relatief vaste gegevens. De bodemweerstand heeft waarschijnlijk een grotere invloed. Met het grondwatermodel is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om de invloed van de parameters te bepalen.

Tabel 3.10: Gevoeligheden in het model

	Invloed op stijghoogten lokaal meetnet
Verhogen bodemweerstand voorhaven Twentekanaal	Het verhogen van de bodemweerstand (tot 600 dagen) heeft weinig effect op de stijghoogten op de omgeving. Er is een geringe toename van de afwijking tussen de gemeten en berekende waarden.
Verlagen bodemweerstand voorhaven Twentekanaal	Het verlagen van de bodemweerstand (tot 100 dagen) heeft groot effect op de stijghoogten in de omgeving. Met name aan de kant van het Twentekanaal stijgt de berekende stijghoogte door de extra voeding vanuit het kanaal (zie figuur 3.6).
Verhogen bodemweerstand voorhaven IJsselzijde	Het verhogen van de bodemweerstand (tot 10 dagen) heeft groot effect op de stijghoogten in de omgeving. Met name aan de kant van het voorpand stijgt de berekende stijghoogte doordat het water minder makkelijk in het voorpand kan op kwellen (zie figuur 3.6).
Verlagen bodemweerstand voorhaven IJsselzijde	Een extra verlaging van de weerstand in de voorhaven heeft een gering effect op de stijghoogten in de omgeving.
Verhogen bodemweerstand watergangen	Het verhogen van de bodemweerstand (factor 10) zorgt voor minder voeding vanuit de Eefse beek en Afleidingskanaal naar de ondergrond. De stijghoogten aan de IJsselzijde van de sluis komen meer onder invloed te staan van het peil in het voorpand en dalen gering. De invloed is beperkt/verwaarloosbaar (0 tot 0,1 m).
Verlagen bodemweerstand watergangen	Het verlagen van de bodemweerstand (factor 10) zorgt voor meer voeding vanuit de Eefse beek en Afleidingskanaal naar de ondergrond. De stijghoogten in de omgeving van de sluis stijgen hierdoor gering. De invloed is beperkt/verwaarloosbaar (0 tot 0,1 m).
Veranderen van de kD-waarden	Het verlagen van de kD-waarde met 20% geeft een stijging van de grondwaterstand van 0 tot 0,12 m (gemiddelde 0,04 m). De kleinste stijgingen zijn nabij de sluis (0 tot 0,08 m, gemiddeld 0,04 m).
Veranderen van de c-waarden	Het verhogen van de c-waarde met 50% levert een verandering van de stijghoogte in de peilbuizen op van -0,06 m tot 0,13 m (gemiddeld 0,00 m). Nabij de sluis is sprake van een verlaging van circa 0,00 m tot 0,03 m



Figuur 3.6: Invloed daling weerstand Twentekanaal (links) en verhoging weerstand voorpand (rechts). Rode staafdiagrammen geven een afwijking van meer dan 0,2 m aan. Oranje tussen de 0,1 en 0,2 m.

3.9.2 Gevoeligheid neerslag

Bij een verdubbeling of halvering van de neerslag verandert de grondwaterstand 0,01 tot 0,57 m met een standaarddeviatie 0,13 m. Deze afwijkingen zijn minimaal nabij de sluis tot gemiddeld 0,16 m op afstand. Nabij de sluis is het effect van de neerslag gering door de aanwezigheid van het kanaal en voorpand.

3.10 Beschrijving onzekerheden modellering

De grootste onzekerheid zit in de hoeveelheid informatie die beschikbaar is om het grondwatermodel te kalibreren. De gemiddelde stijghoogten zijn bepaald op een relatief beperkte hoeveelheid peilbuizen. De meetgegevens van de peilbuizen komen uit verschillende perioden uit het verleden en hebben tijdreeksen met een verschillend aantal metingen. In tabel 3.11 is en overzicht gegeven van de gebruikte peilbuizen.

Tabel 3.11: *gemeten perioden en aantal metingen per peilbuis*

Peilbuis	begin	eind	aantal metingen
B33F0072	28-09-1970	14-10-1977	170
B33F0073	14-06-1970	28-10-1977	171
B33F0074	28-09-1970	29-10-1973	75
B33F0075	28-09-1970	28-12-1992	518
B33F0141	15-03-1993	29-12-1903	255
B33F0175	28-03-1950	28-12-1992	1.012
B33F0222	28-04-1953	28-12-1956	48
B33F0223	14-01-1966	29-12-2003	829
B33F0992	14-11-2008	14-02-2011	823
B33F1005	5-12-2008	14-02-2011	802
B33F1006	5-12-2008	14-02-2011	802
Lokaal grondwatermeetnet	21-03-2013	13-09-2013	>2.100

Als gevolg van peilveranderingen in het oppervlaktewater, klimaatsveranderingen en onttrekkingen kan het isohypsenpatroon afwijken. Daarnaast zijn de peilbuislocaties niet goed verdeeld over het modelgebied, waardoor er gebieden zijn waar geen metingen zijn en dus de berekende waarde onzeker is. Daarom is bij de kalibratie vooral aandacht gegeven aan de sluis en haar directe omgeving.

De bodemweerstand is op basis van de modelkalibratie bepaald. Op verschillende plaatsen zijn voor het gevoel hoge weerstanden berekend (Afleidingskanaal, Eefse beek en Twentekanaal nabij de voorhaven). De hoge weerstand in het Twentekanaal nabij de voorhaven kan echter wel verklaard worden doordat het slib in het geïnfilterde water achterblijft op de bodem van de watergang en vervolgens door het grote stijghoogteverhang compacteert, waardoor een hoge weerstand ontstaat.

In de voorhaven aan de zijde van het Twentekanaal zijn, zover bekend, geen boringen uitgevoerd. De aanwezigheid van een sliblaag kan daardoor niet bevestigd worden.

4 Huidige situatie

4.1 Algemeen

In dit hoofdstuk is het grondwatersysteem beschreven aan de hand van de huidige situatie voor een drietal situaties:

- gemiddelde IJsselstand (bij een gemiddelde situatie in het grondwater);
- T=10 hoogwatersituatie (bij een GHG-situatie in het grondwater);
- OLR in de IJssel (bij een GLG-situatie in het grondwater).

Onderstaand is een beschrijving gegeven van de verschillende situaties.

4.2 Beschrijving grondwatersysteem bij een gemiddelde IJsselstand

De stijghoogtepatroon van het bovenste deel van het watervoerend pakket en het diepe watervoerend pakket is weergegeven in respectievelijk figuur 4.1 en figuur 4.2.



Figuur 4.1: Berekende stijghoogten in het bovenste deel van het watervoerend pakket bij een gemiddelde IJsselstand



Figuur 4.2: Berekende stijghoogten in het onderste deel van het watervoerend pakket bij een gemiddelde IJsselstand

Duidelijk zichtbaar is de westelijk gerichte grondwaterstroming waarbij het stijghoogteverhang bij de sluis toeneemt. In het ondiepe watervoerend pakket is de invloed van de watergangen duidelijk zichtbaar in bijvoorbeeld de sterke kromming van de isohypsen ter plaatse van de Eefse Beek en het Afleidingskanaal. In het diepe watervoerend pakket is deze invloed nagenoeg weg.

4.3 Beschrijving grondwatersysteem bij een T=10 hoogwatersituatie

Bij deze situatie is berekend aan de hand van de volgende uitgangspunten:

- T=10 hoogwatersituatie op de IJssel;
- Het peil in het Twentekanaal is gelijk aan HKP (NAP +10,14 m);
- Het neerslagoverschot is per deelgebied (bodemgebruik) voor een winterperiode conform tabel 3.3;
- Door de hoge grondwaterstanden zullen de greppels watervoerend worden. De droogvallende greppels zijn in het model als drainage opgenomen.

In figuur 4.3 zijn de berekende stijghoogte weergegeven. Doordat het peil in het voorpand zo hoog is, is er weinig verhang aanwezig ten westen van de sluis.



Figuur 4.3: Berekende stijghoogten in het watervoerend pakket bij T=10 hoogwater

4.4 Beschrijving grondwatersysteem bij een OLR

Deze situatie is berekend aan de hand van de volgende uitgangspunten:

- OLR op de IJssel;
- het peil in het Twentekanaal is gelijk aan LKP (NAP +9,85 m);
- het neerslagoverschot per deelgebied is voor een zomerperiode conform tabel 3.3.

In figuur 4.4 zijn de berekende stijghoogte weergegeven. Duidelijk zichtbaar is de drainerende werking van het voorpand.



Figuur 4.4: Berekende stijghoogten in het watervoerend pakket bij ORL

5 Beschrijving en implementatie varianten

5.1 Algemeen

In dit hoofdstuk worden de voor geohydrologie relevante beschrijvingen van de twee varianten gegeven en wordt ingegaan op de wijze waarop de varianten in het model geïmplementeerd zijn. Bij de beschrijving van de varianten zijn tevens de uitgangspunten beschreven die in het grondwatermodel overgenomen zijn.

5.2 Variant Noord

5.2.1 Beschrijving

Bij de variant Noord wordt de nieuwe sluis net ten noorden van de bestaande sluis gerealiseerd. Hiervoor is het noodzakelijk de kades in noordelijke richting te verplaatsen en zowel de primaire kering aan de IJsselzijde als de regionale waterkering aan de Kanaalzijde te verleggen. In figuur 5.1 is de situering van de nieuwe kolk weergegeven.



Figuur 5.1: Situering sluis, variant Noord

Sluis

Voor de sluis is in het model rekening gehouden met wanden van de bouwkuip tot circa NAP -10 m. Een bemaling is gezien het te verwachten extreme waterbezwaar, vanwege de goede doorlatendheid van de bodem van het benedenstroomse pand, niet uitvoerbaar. Er is daarom rekening gehouden met een gesloten bouwkuip, waardoor geen bemaling noodzakelijk is.

Voorhaven IJsselzijde

Aan de noordzijde wordt de bestaande kade in noordelijk richting verplaatst. Hierbij wordt eerst een grondkerende constructie aangebracht. De onderzijde van de damwand komt hierbij op circa NAP -5 m. Vervolgens wordt de grond ter plaatse van de toekomstige voorhaven ontgraven.

De bodem van het nieuwe gerealiseerde oppervlaktewater kan eventueel voorzien worden van een zanddicht doek met een stortsteen bekleding om de effecten van piping tegen te gaan: dit doek is goed waterdoorlatend.

Voorhaven kanaalzijde

Aan de noordzijde wordt de bestaande kade in noordelijk richting verplaatst. Hierbij wordt eerst een grondkerende constructie aangebracht. De onderzijde van de damwand komt op ca. NAP -0,5 m. Vervolgens wordt de grond ter plaatse van de toekomstige voorhaven ontgraven.

5.2.2 Implementatie in model

De grondkerende constructie is in het model gebracht door een nieuwe “Horizontal Flow Barrier” aan te brengen ter plaatse van de nieuwe grondkerende constructie. Voor de weerstand is 100 dagen aangehouden. De bestaande damwand ter plaatse van de uitbreiding is uit het model verwijderd. Van belang voor de geohydrologie is dat de damwanden (voorhavens van zowel Kanaal en als IJsselzijde en sluis) het eerste watervoerend pakket niet geheel afsluiten.

Door het verplaatsen van de bestaande kade en het (in den natte) ontgraven van de grond zal tijdens aanleg de bodemweerstand laag zijn. Voor de aanlegfase is daarom een bodemweerstand van 1 dag aangehouden ter plaatse van de gehele uitbreiding aan de kanaalzijde en 0,2 dagen aan de IJsselzijde. In praktijk zal sectiegewijs de uitbreiding in noordelijke richting gerealiseerd worden, waardoor de gemodelleerde situatie een worstcase-benadering is.

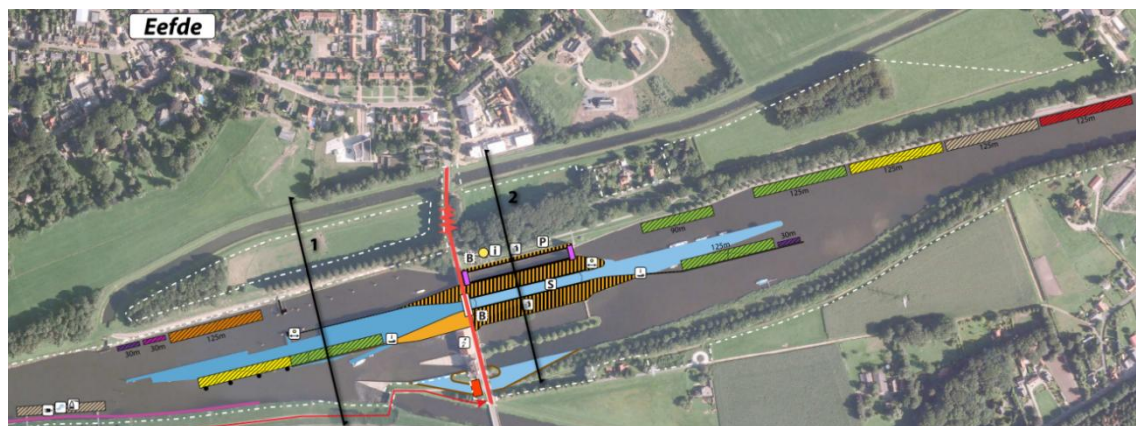
De weerstand in de voorhavens zal in de eindfase vervolgens weer wijzigen tot de oorspronkelijke waarden (300 dagen aan de zijde van het Twentekanaal en 0,2 dagen aan de zijde van de IJssel). Het eventueel aanbrengen van een zanddicht doek met een stortsteen bekleding is echter niet relevant voor het geohydrologisch model, omdat het doek goed waterdoorlatend is.

Er is in het vervolg bij de beschrijving van de effecten dan ook onderscheid gemaakt tussen de effecten tijdens de aanlegfase en na realisatie.

5.3 Beschrijving Variant Midden-Noord

5.3.1 Beschrijving

Bij de variant Midden-Noord wordt de nieuwe sluis net ten zuiden van de bestaande sluis gerealiseerd. Hierbij dient een groot deel van het huidige middeneiland afgegraven te worden. Het bestaande gemaal wordt hierbij naar het zuiden verplaatst, waarbij enkele damwanden als grondkerende constructie gerealiseerd worden. In de voorhavens worden damwanden geplaatst. Deze hebben geohydrologisch gezien geen invloed op de omgeving. In figuur 5.2 is de situering van de nieuwe kolk weergegeven.



Figuur 5.2: Situering sluis, variant Midden-Noord

Sluis

Voor de sluis is in het model rekening gehouden met wanden van de bouwkuip tot circa NAP -10 m. Daarnaast is er rekening gehouden met een gesloten bouwkuip, waardoor geen bemaling noodzakelijk is. Een bemaling is tijdens de uitvoering niet realiseerbaar.

Voorhavens

De voorhavens worden uitgebreid door het afgraven van de bestaande landtongen. Dit heeft geohydrologisch gezien geen of verwaarloosbare invloed op de omgeving aangezien de landtongen al omringd worden door water.

Het gemaal wordt in zuidelijke richting verplaatst waardoor de hoeveelheid oppervlaktewater aan de zuidzijde, nabij het Afleidingskanaal, gering vergroot wordt. Daarnaast wordt een grondkerende constructie gerealiseerd. Door het afgraven van de grond zal een geringe bodemweerstand

stand in het begin aanwezig zijn. Na realisatie zal hier een zanddicht doek met stortsteen of onderwaterbeton aanwezig zijn als stromingsbescherming/kwelscherm.

Het nieuwe gemaal zal in verband met de technische mogelijkheden vrijwel zeker in een gesloten bouwkuip gerealiseerd worden. Een open bouwput is niet realiseerbaar in verband met de grote debieten en kwelstromen.

5.3.2 Implementatie in model

Variant Midden-Noord is in het grondwatermodel geïmplementeerd door aan de zuidzijde een "Horizontal Flow Barrier" aan te brengen met een weerstand van 100 dagen. Daarnaast is het oppervlaktewater in zuidelijke richting uitgebreid. Aanvullend vindt een bemaling t.b.v. het nieuwe gemaal plaats om op deze manier de worst-case situatie van de aanleg in beeld te brengen.

5.4 Referentie voor effectbepaling

Door het nemen van maatregelen (zoals in een variant is gedefinieerd) verandert de hydrologische situatie. De veranderingen worden bepaald ten opzichte van de huidige situatie, dat is de referentie.

Omdat de effecten in extreme situaties naar verwachting het grootst zijn, zijn de volgende (worstcase-)situaties doorgerekend om de effecten te kunnen beoordelen (zie tabel 5.1).

Tabel 5.1: Berekende situaties

	GLG situatie in grondwater	Gemiddelde situatie in grondwater	GHG situatie in grondwater
Variant Noord*			
ORL in de IJssel/ LKP Twentekanaal	X		
Gemiddeld peil in de IJssel / peil Twentekanaal		X	
T=10 hoogwater situatie/ HKP Twente kanaal			X
Variant Midden-Noord			
ORL in de IJssel/ LKP Twentekanaal	X		
Gemiddeld peil in de IJssel / peil Twentekanaal		X	
T=10 hoogwater situatie/ HKP Twente kanaal			X

* zowel aanlegfase als eindfase

De effecten zijn op basis van deze extremen bepaald. Andere combinaties van het peil in de IJssel en Twentekanaal en het grondwater leveren naar verwachting effecten op binnen de extremen.

5.5 Beoordelingscriteria bij effecten

De modelberekeningen worden gebruikt om inzicht in de hydrologische effecten van maatregelen voor een aantal thema's te verkrijgen. Deze bepalen de criteria, waar de modelberekeningen inzicht in moeten geven. In de onderstaande tabel zijn deze benoemd.

Tabel 5.2: Thema's en aspecten voor de hydrologische effectbepaling

Thema	Aspect	Parameter
Gebruik ruimte	Grondwateroverlast bij bebouwing	Verandering van de GHG en GLG
	Landbouw	Verandering van de GHG en GLG
	Natuur	Verandering van de GVG en GLG
		Verandering van de kwel

Over het algemeen spelen verdrogingseffecten vooral een rol in het voorpand. Vernattingseffecten hebben vooral invloed in het bebouwde deel.

De effecten richten zich op de gebruiksfuncties en worden dus uitgedrukt in veranderingen van de grondwaterstand (GHG en GLG) bij verschillende IJsselstanden.

Er bevinden zich geen kwetsbare natuurgebieden. Het gebied rondom de sluis kenmerkt zich als infiltratiegebied, dat vanuit dat oogpunt weinig kwetsbaar is. Natuur wordt daarom niet verder beschouwd vanuit geohydrologisch oogpunt.

De effecten op de landbouw worden in hoofdlijnen beschreven op basis van de berekende veranderingen van de GHG en GLG: de verandering van de kwel is niet bepaald. Voor de landbouw geldt over het algemeen dat het traject waarbinnen geen opbrengstdepressie optreedt globaal de volgende is: GLG ondieper dan 110 cm -mv en GHG dieper dan 50 cm -mv (afgeleid uit de HELP-tabellen).

Voor de bebouwde omgeving worden de effecten beoordeeld op basis van de ontwateringsnormen (tabel 5.3). Er is geen informatie beschikbaar over de aanwezigheid van kelders onder de woningen. Dit is een punt van aandacht tijdens de uitvoeringsfase.

Tabel 5.3: *In de praktijk aangehouden ontwateringdiepten*

Bestemming	Ontwatering (m beneden maaiveld)
bouwterreinen	1,00
woonwijken	0,70-1,00
kabels en leidingen	0,60-1,00
primaire wijkwegen	1,00
secundaire wijkwegen	0,50
industrie- en centrumgebieden	0,70-1,00
groenvoorzieningen	0,50

Bij de beoordeling van de effecten op o.a. bebouwing en landbouw wordt in de volgende hoofdstukken gebruik gemaakt van een vijf puntsschaal, zie tabel 5.4.

Tabel 5.4: *Vijfpuntsschaal voor de beoordeling van de effecten*

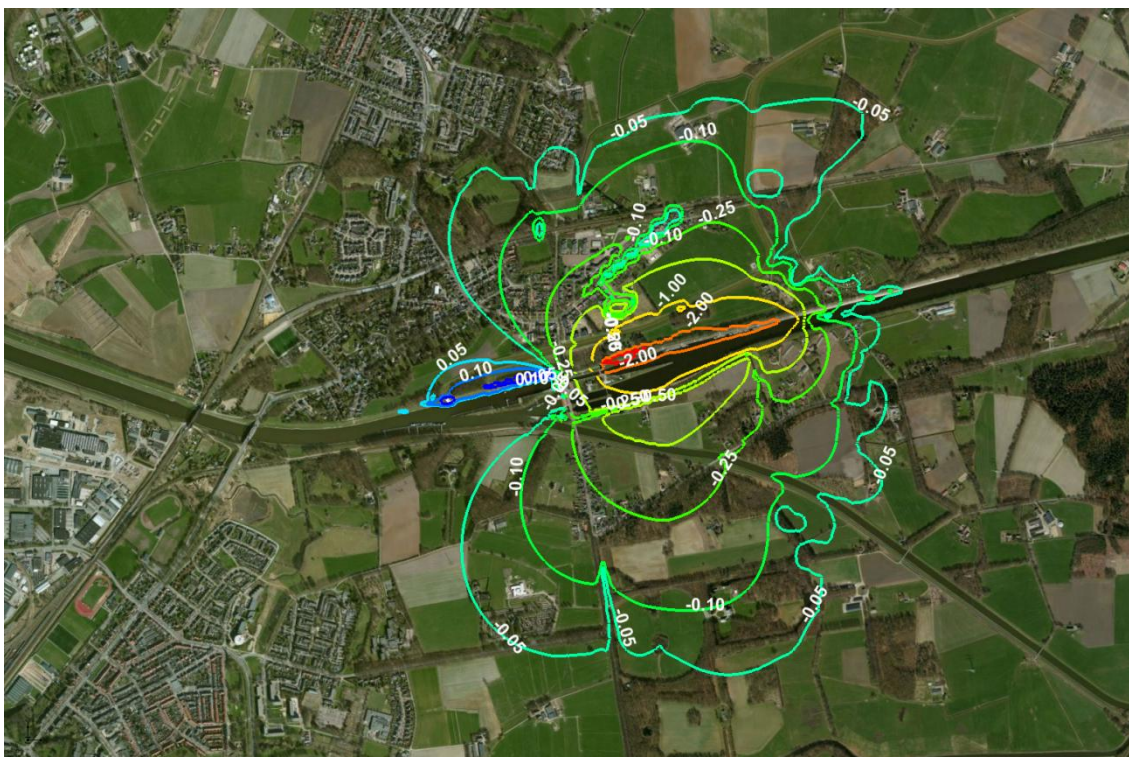
Score	Beschrijving
--	groot negatief effect
-	negatief effect
0	geen of minimaal effect
+	positief effect
++	groot positief effect

6 Effecten variant Noord

6.1 Effecten tijdens aanlegfase

6.1.1 Bij gemiddelde IJsselstand en gemiddelde grondwaterstand

Het verwachte effect tijdens aanleg (verplaatsing kade in noordelijk richting) is in figuur 6.1 weergegeven. De berekende stijghoogte in het watervoerend pakket is weergegeven in bijlage 6.



Figuur 6.1: Variant Noord: daling in freatisch pakket bij gemiddeld peil in de IJssel en een gemiddelde grondwatersituatie (aanlegfase)

Direct naast het Twentekanaal stijgt de grondwaterstand door het verwijderen van de weerstand ter plaatse van de uitbreiding¹. Deze toename bedraagt circa 1,0 tot 0,50 m aan de zuidrand van de bebouwde kom van Eefde. De hoogte van het maaiveld bedraagt hier circa NAP +8,8 m (maaiveldniveau peilbuis 9). De berekende stijghoogte bedraagt circa NAP +7,5 m. Dit betekent dat de ontwateringsdiepte circa 1,3 m bedraagt. Dit voldoet aan de gestelde ontwateringseis van 0,7 m -mv tot 1,0 m -mv bij woonwijken.

Afhankelijk van de aanwezige kelders, diepte van de kelders en de waterdichtheid van de kelders kan er sprake zijn van een toename van wateroverlast in de kelders. Gelet op het aantal woningen in het invloedsgebied en de ouderdom van de woningen wordt geschat dat dit geldt voor minder dan 5 woningen. Aan de zijde van de IJssel is een geringe daling van de grondwaterstand zichtbaar. Deze invloed is beperkt tot 0,1 tot 0,05 m en reikt niet tot bebouwd gebied.

¹ In de figuren is de daling van de grondwaterstanden weergegeven. Een negatieve daling betreft dan dus een stijging.

Aan de zuidzijde van het Twentekanaal bevindt zich landbouwgebied. De ontwateringsdiepte bedraagt hier circa 3,0 tot 2,0 m -mv. De tijdelijke grondwaterstandsverhoging bedraagt hier maximaal 0,5 m. De ontwateringsdiepte komt hiermee op circa 2,5 m tot 1,5 m -mv. Dit leidt niet tot schade voor de landbouw. Aan de zijde van de IJssel is een geringe daling van de grondwaterstand zichtbaar. Deze invloed is beperkt tot 0,1 tot 0,05 m. De grondwaterstand is hier van nature al 3,0 à 3,5 m -mv. Een geringe verlaging van de grondwaterstand zal naar verwachting niet tot problemen leiden: er zijn geen zettingsgevoelige lagen aanwezig en het gebied is van nature droog waarbij continu sprake is van een infiltratiesituatie.

De watergang voor de afwatering van de Bierkamp langs het kanaal is deels drainerend (kanaalzijde) en deels infiltrerend (IJsselszijde). Uit berekeningen blijkt dat totaal circa 30 m³/dag aan kwel afgevoerd wordt bij een gemiddelde situatie door het deel parallel aan het kanaal. Tijdens aanleg neemt de kwelstroom toe en moet er netto circa 820 m³/dag afgevoerd worden. Voor de afvoer is dit geen probleem. De toename van de kwel kan zich eventueel uiten in lokale instabiliteit van de taluds. Het is daarom van belang de stabiliteit van de taluds (visueel) te monitoren om mogelijke afschuivingen te kunnen detecteren en maatregelen te kunnen nemen.

6.1.2 Bij een T=10 hoogwatersituatie en een GHG-grondwatersituatie

De berekende stijghoogteverandering in het freatisch pakket bij een T=10 hoogwatersituatie tijdens aanlegfase zijn in figuur 6.2 weergegeven. De berekende stijghoogte in het watervoevend pakket is weergegeven in bijlage 6.



Afhankelijk van de aanwezige kelders, diepte van de kelders en de waterdichtheid van de kelders kan er sprake zijn van een toename van wateroverlast in de kelders. Gelet op het aantal woningen in het invloedsgebied en de ouderdom van de woningen wordt geschat dat dit geldt voor minder dan 5 woningen. Aan de zijde van de IJssel neemt ter plaatse van de bebouwing de gemiddelde stijghoogte iets toe 0,05 m tot 0,1 m. Gelet op de huidige ontwateringsdiepte (meer dan 2,5 m) vormt dit geen probleem ten aanzien van de ontwateringsdiepte in relatie tot het gebruik.

In het landbouwgebied ten zuiden van de sluis blijft bij de berekende stijging van de grondwaterstand de ontwateringsdiepte minimaal 1 m. Dit leidt niet tot negatieve effecten voor de landbouw.

6.1.3 Bij een OLR en een GLG grondwatersituatie

De berekende stijghoogteverandering in het freatisch pakket bij een OLR tijdens aanlegfase zijn in figuur 6.3 weergegeven. De berekende stijghoogte in het watervoerend pakket is weergegeven in bijlage 6.



Figuur 6.3: Variant Noord: daling in freatisch pakket bij OLR peil in de IJssel en een GLG-grondwatersituatie (aanlegfase)

Voor de bebouwing is aan de zijde van het Twentekanaal het invloedsgebied nagenoeg gelijk aan dat bij een gemiddelde situatie. Echter omdat in deze situatie de grondwaterstand al erg diep is, wordt hier geen overlast ter plaatse van kelders verwacht. Aan de zijde van de IJssel is het invloedsgebied iets groter dan bij een gemiddelde situatie. Er worden ook bij deze situatie geen nadelige effecten verwacht.

Het landbouwgebied aan de zuidzijde van het Twentekanaal en voorpand wordt ook niet negatief beïnvloed. Er is sprake van een grondwaterstandsverhoging, maar de grondwaterstand is van nature diep. Dit leidt niet tot schade voor de landbouw.

6.1.4 Overzicht effecten op bebouwing en landbouw

In tabel 6.1 is weergegeven hoe groot de effecten op bebouwing en landbouw zijn. In paragraaf 5.5 is de gehanteerde vijfpuntsschaal voor de beoordeling beschreven.

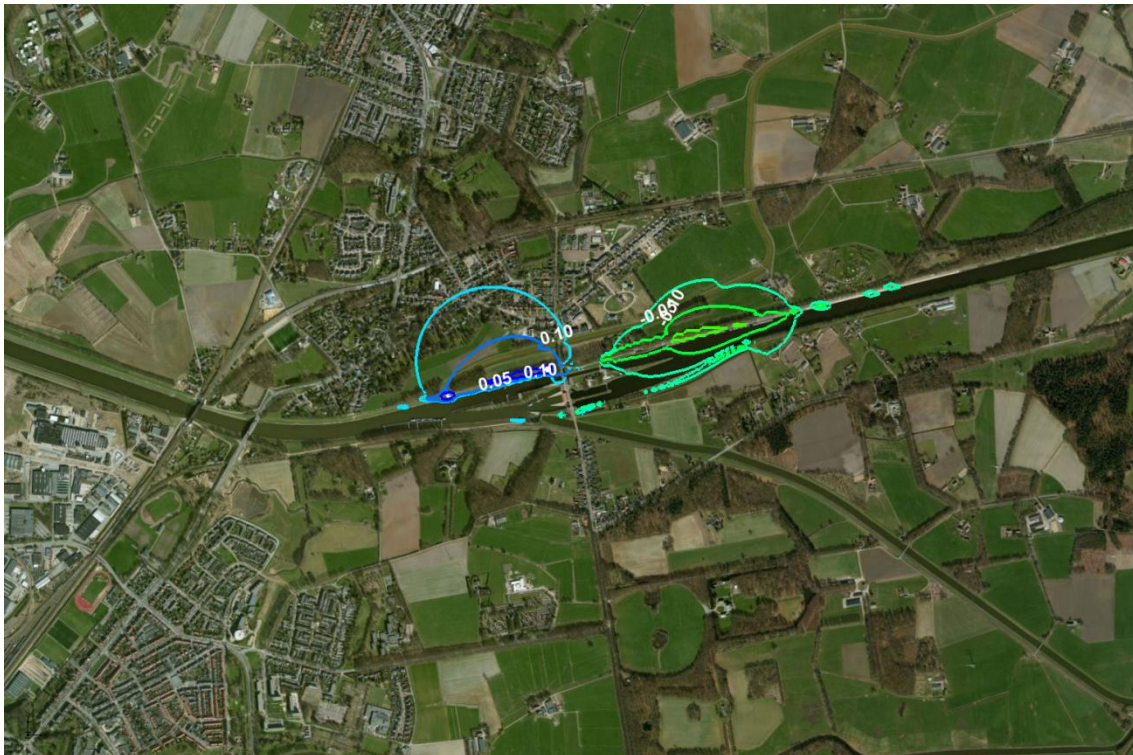
Tabel 6.1 Beoordeling van de effecten tijdens aanleg van variant Noord (per gebied / scenario)

Scenario	Noordzijde IJsselzijde		Noordzijde Kanaalzijde	
	bebouwd	landbouw	bebouwd	landbouw
GG/Gem	0	0	0/-	0
GHG/T=10	0	0	0/-	0
GLG/OLR	0	0	0	0
	Zuidzijde IJsselzijde		Zuidzijde Kanaalzijde	
	bebouwd	landbouw	bebouwd	landbouw
GG/Gem	0	0	0	0
GHG/T=10	0	0	0	0
GLG/OLR	0	0	0	0

6.2 Effecten tijdens eindfase

6.2.1 Bij gemiddelde IJsselstand en een gemiddelde grondwatersituatie

De berekende stijghoogteverandering in het freatisch pakket bij een gemiddelde situatie in de eindfase is in figuur 6.4 weergegeven. Hieruit blijkt dat het invloedsgebied aanzienlijk kleiner is dan tijdens aanleg. Dit komt doordat er een weerstandbiedende laag ontstaat op de bodem van de uitbreiding door sedimentatie van slib.



Figuur 6.4: Variant Noord: daling in freatisch pakket bij gemiddeld peil in de IJssel en een gemiddelde grondwatersituatie (eindsituatie)

Voor bebouwd gebied zijn er geen verhogingen van grondwaterstanden te verwachten. Aan de zijde van de IJssel is een afname van de grondwaterstand zichtbaar. Omdat het voorpand in noordelijke richting uitgebreid wordt, zal ook het drainerend effect van het voorpand in noordelijke richting verplaatst worden. Deze verlagingen zijn groter dan tijdens de aanlegfase. Dit is een gevolg van het feit dat deze verlagingen niet gecompenseerd worden door de verhogingen van de grondwaterstanden ten gevolge van het openliggen van de bodem in de Twentekanaal tijdens de aanleg.

De grondwaterstandtoename bedraagt 0,1 m tot 0,05 m voor een beperkt oppervlak. In dit invloedsgebied bevindt zich landbouwgebied. De ontwateringsdiepte bedraagt in dit gebied minimaal 2,0 m. Ten zuiden van het sluisencomplex is de invloed verwaarloosbaar. Dit leidt daardoor niet tot schade voor de landbouw.

De afvoer via de watergang voor de afwatering van de Bierkamp is na realisatie van de noordelijke sluis conform de afvoer in de huidige situatie.

6.2.2 Bij een $T=10$ hoogwatersituatie en een GHG grondwatersituatie

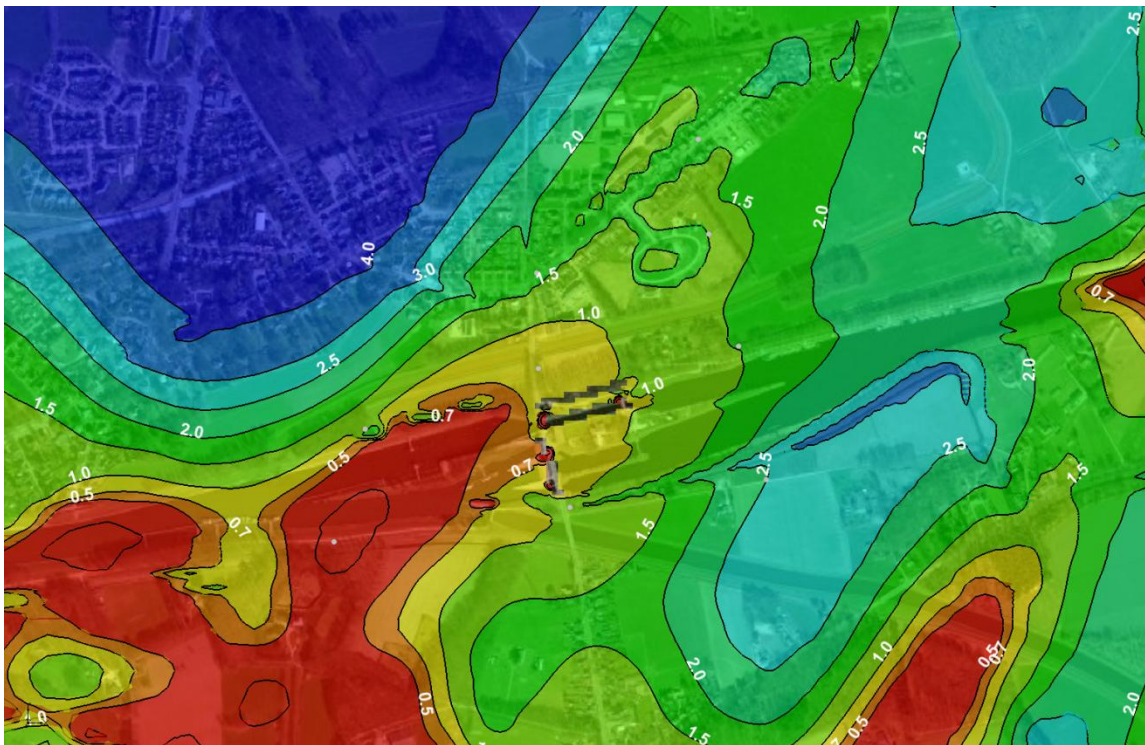
De berekende stijghoogteverandering in het watervoerend pakket bij een $T=10$ hoogwatersituatie tijdens eindfase is in figuur 6.5 weergegeven.



Figuur 6.5: Variant Noord: daling in freatisch pakket bij aanleg bij een $T=10$ peil in de IJssel en een GHG-grondwatersituatie (eindsituatie)

Er is een geringe grondwaterstandsverhoging ten noorden van de sluis berekend (zowel aan de IJsselszijde als aan de zijde van het Twentekanaal). De toename bedraagt 0,10 tot 0,05 m.

In figuur 6.6 is de ontwateringsdiepte bij een GHG-situatie weergegeven na uitbreiding van de sluis in noordelijke richting (variant Noord).



Figuur 6.6: Ontwateringsdiepte (m-mv) bij een T=10 hoogwatersituatie en GHG situatie in het grondwater.

Uit figuur 6.6 blijkt dat ter plaatse van de Boedelhof sprake is van een ontwateringsdiepte van 1,0 tot 1,5 m -mv. Dit voldoet aan de gestelde norm in paragraaf 5.5. De Boedelhof ligt buiten het invloedsgebied van de uitbreiding waardoor er geen verandering optreedt ter plaatse van De Boedelhof. Doordat de ontwateringsdiepte net voldoet aan de normen wordt geadviseerd hier de grondwaterstand te monitoren.

Zowel voor de bebouwing als voor de landbouw levert de verhoging van de grondwaterstand geen problemen op doordat de bestaande ontwateringsdiepte voldoende groot is om deze verhoging op te vangen.

6.2.3 Bij een OLR en een GLG-grondwatersituatie

De berekende stijghoogteverandering in het freatisch pakket bij een OLR tijdens aanlegfase is in figuur 6.7 weergegeven.



Figuur 6.7: Variant Noord: daling in freatisch pakket bij een OLR peil in de IJssel en een GLG grondwatersituatie (eindsituatie)

Aan de zijde van het Twentekanaal is een gering invloedsgebied zichtbaar waar de grondwaterstand iets toeneemt. Deze invloed reikt tot aan de Eefse Beek.

Aan de IJsselszijde is het invloedsgebied groter. Hier daalt de grondwaterstand 0,1 m tot 0,05 m ter plaatse van de kern van Eefde. Door het ontbreken van zettingsgevoelige lagen worden geen zettingen verwacht. Zowel voor de bebouwing als voor de landbouw levert deze verhoging geen problemen op doordat de bestaande ontwateringsdiepte voldoende groot is om deze verhoging op te vangen.

6.2.4 Overzicht effecten op bebouwing en landbouw

In tabel 6.2 is weergegeven hoe groot de effecten op bebouwing en landbouw zijn.

Tabel 6.2: Beoordeling van de effecten in de eindfase van variant Noord (per gebied en scenario)

Scenario	Noordzijde IJsselszijde		Noordzijde Kanaalszijde	
	bebouwd	landbouw	bebouwd	landbouw
GG/Gem	0	0	0	0
GHG/T=10	0	0	0	0
GLG/OLR	0	0	0	0
	Zuidzijde IJsselszijde		Zuidzijde Kanaalszijde	
	bebouwd	landbouw	bebouwd	landbouw
GG/Gem	0	0	0	0
GHG/T=10	0	0	0	0
GLG/OLR	0	0	0	0

6.3 Risicobeheersing en mitigerende maatregelen

Omdat het model onzekerheden bevat (hoofdstuk 3) verdient het aanbeveling de grondwater-effecten te monitoren en middelen achter de hand te hebben om in een crisissituatie de bodem bijvoorbeeld snel af te kunnen dekken, of kelders te kunnen leegpompen (als deze zich binnen het invloedsgebied bevinden). Dit geldt ook voor de effecten op de watergang langs de Bierkamp. De toename van de kwel kan zich hier mogelijk uiten in lokale instabiliteit van de taluds. Het is daarom van belang de stabiliteit van de taluds (visueel) te monitoren om mogelijke afschuivingen te kunnen detecteren en maatregelen te kunnen nemen.

De effecten zijn bij de aanlegfase het grootst. Dit wordt veroorzaakt door het verwijderen van een weerstandbiedende laag. Deze weerstandsbiedende laag herstelt zich in de loop van de tijd. De effecten kunnen tijdens de aanleg beperkt worden door in kleinere secties te ontgraven en niet het hele oppervlak in één keer open te laten liggen. Door tijdens de aanleg de grondwaterstanden goed te monitoren, kan op het moment dat de effecten groter dan verwacht en groter dan aanvaardbaar, het verder ontgraven worden stilgelegd en voor afdichten van de bodem worden gekozen.

Om het effect van kleinere secties inzichtelijk te maken is een aanvullende berekening uitgevoerd waarbij ter plaatse van de uitbreiding aan de zijde van het Twentekanaal een sectie van circa 45 bij 50 m ontgraven is bij een gemiddelde situatie (in plaats van de gehele voorhaven). In figuur 6.8 is het invloedsgebied in het freatisch pakket weergegeven.

In figuur 6.8 is duidelijk zichtbaar dat het invloedsgebied aanzienlijk kleiner is dan bij een volledige ontgraving van de voorhavens in variant Noord (zie ook figuur 6.1).



Figuur 6.8: Variant Noord: daling in freatisch pakket bij gemiddelde situatie waarbij circa 45 bij 50 m ontgraven is als mitigerende maatregel (in m)

7 Effecten variant Midden-Noord

7.1 Algemeen

Bij variant Midden-Noord wordt de kade aan de zuidzijde over een beperkte lengte in zuidelijke richting verplaatst ten behoeve van de aanleg van het aanvoergemaal.

7.2 Effecten tijdens aanlegfase

7.2.1 Bij gemiddelde IJsselstand en een gemiddelde grondwatersituatie

Bij de aanleg zal een deel van de grond aan de zuidzijde ontgraven worden. Hierdoor neemt de weerstand af en kan er, voornamelijk vanuit de kanaalzijde, water infiltreren. De berekende stijghoogteverschillen zijn in figuur 7.1 weergegeven. De berekende stijghoogte in het watervoe- rend pakket is weergegeven in bijlage 6.



Figuur 7.1: Variant Midden-Noord: daling in freatisch pakket bij gemiddeld peil in de IJssel en een gemiddelde grondwatersituatie (aanlegfase)

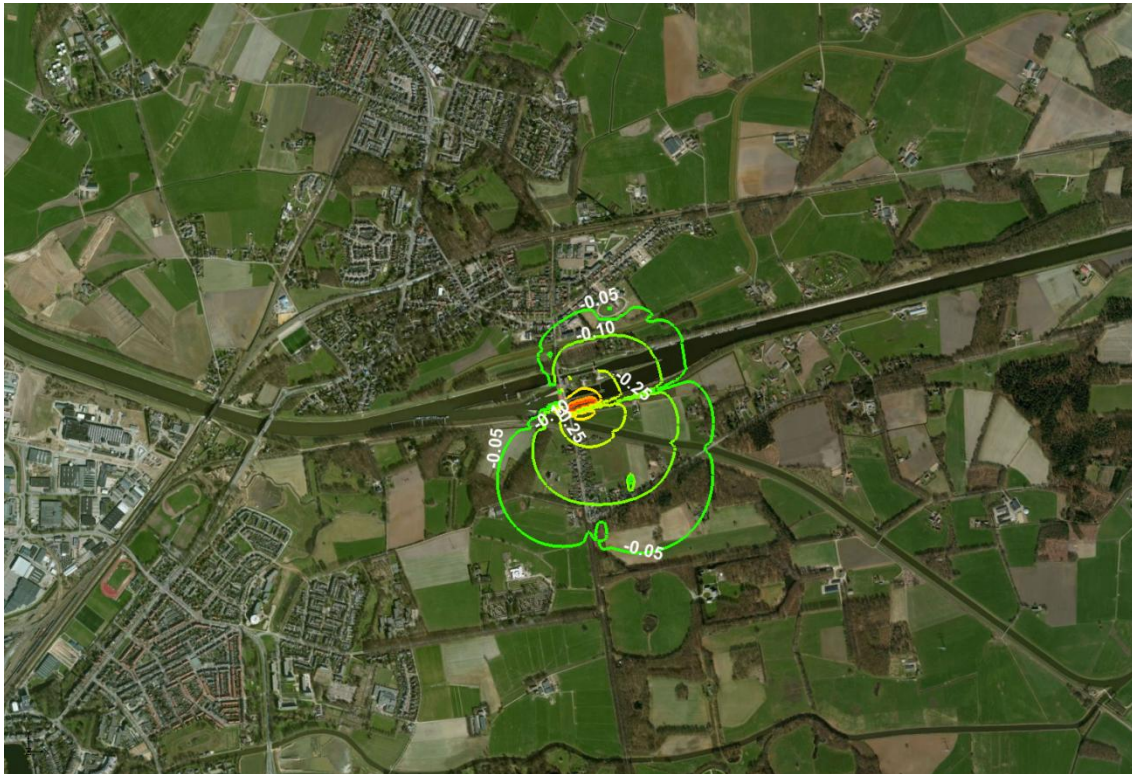
Bij de bebouwing van Eefde is sprake van een grondwaterstandsverhoging van 0,1 m tot 0,05 m. Dit levert door de huidige ontwateringsdiepte van circa 2,5 m geen problemen op ten aanzien van de ontwateringsdiepte.

Aan de zuidzijde wordt de freatische grondwaterstand met circa 0,5 m tot 0,05 m verhoogd. Dit leidt niet tot schade voor de landbouw.

Doordat de uitbreiding bij variant Midden-Noord in zuidelijke richting plaatsvindt, zal de afwatering bij de Bierkamp beïnvloed worden. Berekend is dat bij aanleg de afvoer via de watergang langs het kanaal circa 400 m³/dag bedraagt tegen een afvoer van circa 30 m³/dag in de huidige situatie.

7.2.2 Bij een T=10 hoogwatersituatie en een GHG grondwatersituatie

In figuur 7.2 is het invloedsgebied bij een T=10 hoogwatersituatie weergegeven. De berekende stijghoogte in het watervoerend pakket is weergegeven in bijlage 6.



Figuur 7.2: Variant Midden-Noord: daling in freatisch pakket bij een T=10 hoogwater en een GHG-grondwatersituatie (aanlegfase)

Het invloedsgebied is kleiner dan bij een gemiddelde situatie. De grondwaterstand neemt aan de zuidzijde toe met 0,25 tot 0,05 m.

De grondwaterstand in de bebouwde kom van Eefde wordt niet of nauwelijks beïnvloed.

De verhoging van de grondwaterstanden leidt niet tot schade voor de landbouw.

7.2.3 Bij een OLR en een GLG grondwatersituatie

De berekende stijghoogteverandering in het freatisch pakket bij een OLR tijdens aanlegfase is in figuur 7.3 weergegeven. De berekende stijghoogte in het watervoerend pakket is weergegeven in bijlage 6.



Figuur 7.3: Variant Midden-Noord: daling in freatisch pakket bij OLR peil in de IJssel en een GLG-grondwatersituatie (aanlegfase)

Het invloedsgebied aan de noordzijde reikt tot in de bebouwde kom van Eefde. Hier wordt een grondwaterstandsverhoging berekend van 0,15 m tot 0,05 m. Gelet op de lage grondwaterstanden in deze situatie worden geen problemen verwacht ten aanzien van de ontwatering in de bebouwde kom van Eefde.

Evenals bij de gemiddelde situatie zal de grondwaterstandsverhoging in het landbouwgebied niet tot schade voor de landbouw leiden.

7.2.4 Overzicht effecten op bebouwing en landbouw

In tabel 7.1 is weergegeven hoe groot de effecten op bebouwing en landbouw zijn.

Tabel 7.1: Beoordeling van de effecten tijdens de aanleg van variant Midden-Noord (per gebied en scenario)

Scenario	Noordzijde IJsselzijde		Noordzijde Kanaalzijde	
	bebouwd	landbouw	bebouwd	landbouw
GG/Gem	0	0	0	0
GHG/T=10	0	0	0	0
GLG/OLR	0	0	0	0
	Zuidzijde IJsselzijde		Zuidzijde Kanaalzijde	
	bebouwd	landbouw	bebouwd	landbouw
GG/Gem	0	0	0	0
GHG/T=10	0	0	0	0
GLG/OLR	0	0	0	0

7.3 Effecten tijdens eindfase

Uit de berekeningen blijkt dat de invloed niet of nauwelijks voorbij het Afleidingskanaal komt. Het invloedsgebied is in de eindfase verwaarloosbaar.

De effecten bij de overige situaties: GHG/T=10 en GLG/OLR zijn vrijwel identiek aan de effecten bij een gemiddelde IJsselstand en een gemiddelde grondwatersituatie.



Figuur 7.4: Variant Midden-Noord: daling in freatisch pakket bij gemiddeld peil in de IJssel en een gemiddelde grondwatersituatie (eindsituatie)

De invloed van de tweede kolk bij de variant Midden-Noord is in de eindsituatie bij een gemiddelde situatie beperkt op de afwatering van de Bierkamp. De afvoer is conform die in de huidige situatie.

7.4 Risicobeheersing en mitigerende maatregelen

Omdat het model onzekerheden bevat (hoofdstuk 3) verdient het aanbeveling de grondwater-effecten te monitoren en middelen achter de hand te hebben om in een crisissituatie de bodem bijvoorbeeld snel af te kunnen dekken, of kelders te kunnen leegpompen (als deze zich binnen het invloedsgebied bevinden).

De effecten zijn bij de aanlegfase het grootst. Dit wordt veroorzaakt door het verwijderen van een weerstandbiedende laag. Deze weerstandsbiedende laag herstelt zich in de loop van de tijd. De effecten kunnen tijdens de aanleg beperkt worden door in kleinere secties te ontgraven en niet het hele oppervlak in één keer open te laten liggen. Door tijdens de aanleg de grondwaterstanden goed te monitoren, kan op het moment dat de effecten groter dan verwacht en groter dan aanvaardbaar, het verder ontgraven worden stilgelegd en voor afdichten van de bodem worden gekozen.

Met het grondwatermodel is deze mitigerende maatregel doorgerekend door uit te gaan van een beperkter deel dat ontgraven is. In figuur 7.5 is het invloedsgebied bij deze mitigerende maatregel weergegeven bij een gemiddelde situatie. Het invloedsgebied is aanzienlijk kleiner dan bij een situatie met een ontgraving over het gehele oppervlak (zie figuur 7.1).



Figuur 7.5: Variant Midden-Noord: daling in freatisch pakket bij gemiddeld peil in de IJssel en een gemiddelde grondwatersituatie met mitigerende maatregel

7.4.1 Overzicht effecten op bebouwing en landbouw

In tabel 7.2 is weergegeven hoe groot de effecten op bebouwing en landbouw zijn.

Tabel 7.2: Beoordeling van de effecten in de eindsituatie van variant Midden-Noord (per gebied en scenario)

Scenario	Noordzijde IJsselzijde		Noordzijde Kanaalzijde	
	bebouwd	landbouw	bebouwd	landbouw
GG/Gem	0	0	0	0
GHG/T=10	0	0	0	0
GLG/OLR	0	0	0	0
	Zuidzijde IJsselzijde		Zuidzijde Kanaalzijde	
	bebouwd	landbouw	bebouwd	landbouw
GG/Gem	0	0	0	0
GHG/T=10	0	0	0	0
GLG/OLR	0	0	0	0

8.3 Monitoringsstrategie

Uit hoofdstuk 6 en 7 blijkt dat het invloedsgebied tot in de bebouwde kom van Eefde reikt. Ten behoeve van het bepalen van de nulsituatie is een lokaal grondwatermeetnet ingericht. Dit meetnet dient aangepast te worden aan de resultaten van hoofdstuk 6 en 7 door het meetnet in noordelijke richting uit te breiden tot circa de spoorbaan Zutphen-Lochem, waarbij ook een buis in onbeïnvloed gebied onderdeel van het meetnet zal uitmaken.

8.4 Gegevensinwinning

Voorafgaand aan, tijdens en na realisatie van de tweede schutsluis worden de grondwaterstanden gemeten. Dit geschiedt door dataloggers. De dataloggers dienen periodiek uitgelezen te worden om de werking van de dataloggers te controleren en de data veilig te stellen voor het geval een peilbuis verloren gaat door omstandigheden. Bij de uitlezingen worden ook de hand-gemeten grondwaterstanden geregistreerd om de loggers te ijken.

Tijdens de uitvoering is het van belang om tijdig te kunnen reageren op eventuele ongewenste effecten. Daarom dient tijdens uitvoering de grondwaterstanden in de peilbuizen dagelijks opgenomen te worden en getoetst of er sprake is van een afwijkende waterstand met mogelijk ongewenste effecten: zettingen, als gevolg van grondwaterstandverlagingen (bebouwd gebied), grondwateronderlast (landbouw- of natuurgebied) of wateroverlast, als gevolg van grondwaterstandstijgingen (bebouwd, natuur- en landbouwgebied). Natuurgebieden bevinden zich niet in de directe omgeving van de sluis.

De (dagelijks) gemeten grondwaterstanden tijdens realisatie van de tweede sluis worden getoetst aan signaal-/actiewaarden, waarvoor een voorstel in de tabel is opgenomen.

Tabel 8.1: Signaal-/actiewaarden

Gebied	Signaalwaarde*	Actiewaarden*	Actie
Bebouwd gebied	GWS** <GLG	GWS 7 dagen aansluitend <GLG	Worden geen nadelige effecten verwacht ten aanzien van zettingen. Eventueel verdroging kan optreden als het effect langer duurt dan 7 dagen. Maatregelen nemen op basis van grondwaterstand in referentiepeilbuis (natuurlijke grondwaterstandverloop) en klachten. Gedacht kan worden aan extra bevoeiing.
	GWS <0,7 m-mv	GWS 7 dagen aansluiten <0,7 m-mv	Bij gemeente navragen of er klachten zijn binnengekomen. Maatregelen nemen op basis van grondwaterstand in referentiepeilbuis (natuurlijke grondwaterstandverloop) en klachten. Gedacht kan worden aan extra bevoeiing.
Landbouwgebied	GWS<GLG	GWS 7 dagen aansluitend <GLG	Nagaan of er sprake is van onderlast/mindere opbrengst, afhankelijk van seizoen en natuurlijke grondwaterstanden in de omgeving. Actie aanpassen op mate van overlast. (bijvoorbeeld extra sproeien in groeiseizoen)
	GWS < 0,5 m-mv	GWS 7 dagen aansluitend <0,5 m-mv	Afhankelijk van seizoen (groeiseizoen)en natuurlijke grondwaterstandsverloop in referentiepeilbuizen maatregelen bepalen in overleg met perceeleigenaar. Bij een permanente overschrijding van de actiewaarden permanente oplossingen zoeken in bijvoorbeeld aanbrengen drainage.

* bij constatering ook van een onder- of overschrijding dienen de waarden vergeleken te worden met de referentiepeilbuis om te beoordelen of de overschrijding veroorzaakt wordt door de realisatie van de sluis of door natuurlijke omstandigheden.

** GWS < GLG betekent "grondwaterstand dieper dan GLG" etc.

Na realisatie worden de grondwaterstanden nog vijf jaar gemonitord met de dataloggers. De dataloggers worden driemaandelijks uitgelezen, waarna de gegevens gevalideerd worden.

Naast de meting van grondwaterstanden kunnen er ook andere zaken gemonitord worden, waaronder de stabiliteit van de taluds van (kwel)sloten in bijvoorbeeld de watergang in de Bierkamp.

8.5 Gegevensbewerking en opslag

Bij de gegevensbewerking en opslag worden de ruwe meetresultaten na uitlezen gevalideerd, bewerkt tot informatie en opgeslagen. Overigens worden ook altijd de ruwe gegevens opgeslagen voor eventuele latere controle. Ook aanvullende gegevens, zoals metadata, worden hierbij verwerkt, gevalideerd en opgeslagen. Dit resulteert in gevalideerde (en gestandaardiseerde) gegevens. Ook wordt er beheer van de gegevens uitgevoerd (zoals back-ups, etc.). Op basis van de handmetingen is het overigens ook mogelijk de gegevensinwinning te herzien als blijkt dat metingen niet correct worden uitgevoerd.

De ruwe data en gevalideerde data moeten worden opgeslagen op een locatie, voorzien van logboek, zodat de verwerking van de gegevens reproduceerbaar is.

8.6 Analyse

De fluctuatie van de grondwaterstand in de tijd is een gevolg van de fluctuaties in de tijd van neerslag, verdamping, grondwateronttrekkingen en peilveranderingen in het oppervlaktewater. Analyse van de data kan uitgevoerd worden met programma's als Excel en Menyanthes (tijdreeksanalyse). Een keuze voor de analysemethodiek zal gemaakt worden in het op te stellen monitoringsplan.

Bij tijdreeksanalyse wordt met behulp van Transferruis(TR)-modellering gezocht naar een wetenschappelijk model dat het verband vastlegt tussen reeksen van grondwaterstandmetingen en zogenaamde verklarende reeksen (neerslag, verdamping, onttrekkingen etc.). Met dit statistische verband kan uit de verklarende reeksen de grondwaterstand gesimuleerd worden. De afwijkingen of residuen tussen gesimuleerde en gemeten reeks vormen zelf weer een reeks, de zgn. residureeks. Als een modellering van een peilbuis goed is gelukt, vormen de residuen een willekeurige opeenvolging, waarin geen nadere trend meer te vinden is. Vaak zullen er echter niet-verklaarde patronen aanwezig zijn in de residureeks, omdat niet alle invloeden uit de werkelijkheid in detail bekend zijn en omdat er allerlei niet-lineariteiten zijn die onmogelijk in het model kunnen worden meegenomen.

8.7 Informatieoverdracht

De peilbuizen worden driemaandelijks uitgelezen en gevalideerd (zie ook hoofdstuk 6). De gevalideerde gegevens dienen na iedere uitleesronde naar TNO gezonden te worden, zodat deze informatie beschikbaar komt in het DINO-Loket (www.dinoloket.nl).

Daarnaast dienen de verkregen gevalideerde gegevens van voor de realisatie, gebruikt te worden om de nulsituatie vast te leggen. De gevalideerde gegevens van na realisatie, worden gebruikt om de effecten van de tweede schutsluis inzichtelijk te maken.

8.8 Evaluatie

Vóór realisatie van de tweede sluis, moet het meetnet geëvalueerd worden om te bepalen of het meetnet nog aanpassing behoeft op basis van de verkregen informatie (juiste plaatsing? juiste locatie? etc.). Eventuele aanpassingen worden bij de vastlegging van de nulsituatie beschreven.

Tijdens aanleg van de tweede sluis moeten de gemeten grondwaterstanden getoetst worden aan de gestelde criteria. Indien er sprake is van een overschrijding moeten passende maatregelen genomen worden.

Na realisatie worden de resultaten jaarlijks (gegevens en tijdreeksanalyse) verwerkt in een evaluatie, waarin de gevalideerde gegevens verwerkt zijn en eventuele conclusies, op basis van transferruisanalyse, worden beschreven met betrekking tot (blijvende) effecten. De monitoring wordt voortgezet tot vijf jaar na de realisatie.

Indien er sprake is van negatieve beïnvloeding, dienen maatregelen voorgesteld te worden om de effecten te mitigeren. De evaluatie wordt aan gemeente, waterschap en Rijkswaterstaat aangeboden.

8.9 Samenvatting

In onderstaande tabel is het monitoringsplan samengevat.

Tabel 8.2: Monitoringsplan (GWS < GLG betekent "grondwaterstand dieper dan GLG" etc.)

Fase	Voorafgaand	Tijdens		Na
Lokatie	Alle peilbuizen	Bebouwd gebied	Landbouwgebied	Alle peilbuizen
Meetfrequentie	Loggers: elk twee uur	Handmatig: dagelijks Loggers: elk uur	Handmatig: dagelijks Loggers: elk twee uur	Loggers: elk twee uur
Uitleesfrequentie	1x per kwartaal	1x per kwartaal	1x per kwartaal	1x per kwartaal
Duur meetperiode	zo lang mogelijk	Tijdens realisatie		Tot één jaar na realisatie
signaalwaarde		GWS* <GLG GWS >0,7 m-mv	GWS <GLG GWS >0,5 m-mv	
actiewaarde		GWS 7 dagen <GLG GWS 7 dagen >0,7 m-mv	GWS 7 dagen <GLG GWS 7 dagen >0,5 m-mv	Blijvende verandering GxG** waarbij schade te verwachten is
actie	Vastleggen nulsituatie voorafgaand aan de ingreep	Mate van overlast inventariseren	Mitigerende maatregelen nemen op basis van seizoen (bijvoorbeeld extra sproeien in groeiseizoen). Nagaan of er sprake is van overlast afhankelijk van seizoen. Mitigerende maatregelen bespreken met waterschap en perceeleigenaar.	Mitigerende maatregelen uitwerken (aanleg of infiltratie sloot)***

* GWS: Grondwaterstand

** GxG: verzamelnaam voor Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand, Gemiddeld Voorjaars Grondwaterstand en Gemiddeld Laagste Grondwaterstand

*** Maatregelen uitwerken op basis van de evaluatie

9 Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

Rijkswaterstaat wil de capaciteit bij de sluis van Eefde vergroten door een tweede schutsluis te realiseren. De huidige sluis ligt ten zuiden van de kern van Eefde. In figuur 9.1 is de ligging van de bestaande schutsluis weergegeven.



Figuur 9.1: Situering bestaande schutsluis

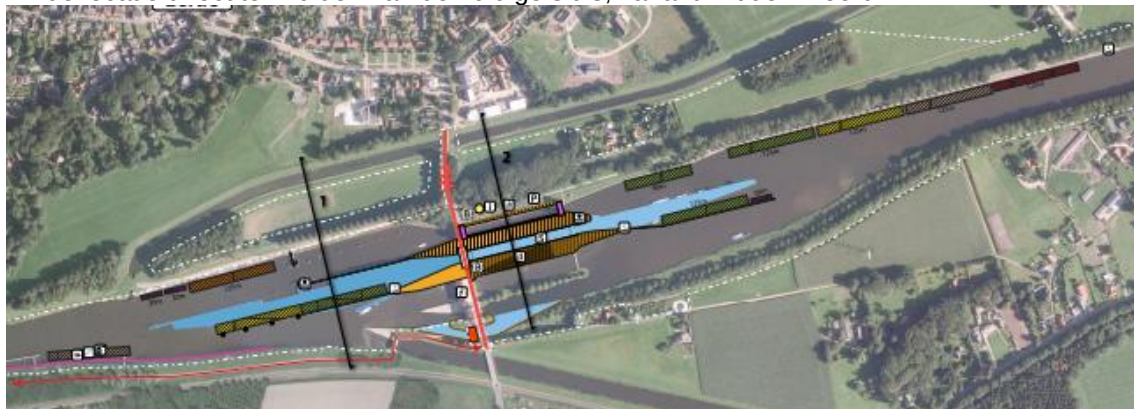
De nieuwe sluis mag geen negatieve effecten hebben op de grondwaterstand en –stroming in de omgeving. Om dit inzichtelijk te maken zijn in dit rapport de effecten op de omgeving berekend aan de hand van een grondwatermodellering. Twee varianten zijn beschouwd:

- de locatie direct ten noorden van de huidige sluis, variant Noord



Figuur 9.2: Variant Noord

- de locatie direct ten zuiden van de huidige sluis, variant Midden-Noord



Figuur 9.3: Variant Midden-Noord

Beide varianten zijn geohydrologisch gesimuleerd om de effecten te bepalen voor zowel de aanleg- als de eindfase. Hierbij is gebruik gemaakt van een grondwatermodellering, waarbij zowel een gemiddelde, een droge als een natte situatie zijn doorgerekend. In de onderstaande paragrafen van dit hoofdstuk wordt ingegaan op de modellering en de onzekerheden, de effecten en een vergelijking van de effecten van de beide varianten.

9.1 Geohydrologisch model en onzekerheden

In deze rapportage is een uitgebreide toelichting op de basisgegevens en de opbouw van het model opgenomen. De kalibratie van het model is mede gebaseerd op de gemeten grondwaterstanden in de peilfilters, die voor dit project zijn geplaatst. Deze grondwaterstanden geven reeds een goed beeld van de dynamiek van het grondwatersysteem. Uit de waarnemingen blijken de grondwaterstanden in de peilbuizen dicht bij de IJssel en het door de IJssel beïnvloede benedenstroomse pand sterk door wisselingen in IJsselstanden te worden beïnvloed.

Naast een model voor een gemiddelde situatie zijn er grondwaterstromingsmodellen opgezet voor een droge en een natte situatie. Voor al deze drie situaties zijn de gesimuleerde grondwaterstanden vergeleken met de gemeten grondwaterstanden. Hieruit blijkt dat de modellen al deze drie situaties goed simuleren. Geconcludeerd wordt dat de opgezette modellen goed gebruikt kunnen worden voor het bepalen van de effecten van de aanleg van een tweede kolk.

Onzekerheid in het model bestaat er onder andere ten aanzien van de bodemweerstand van het Twentekanaal. Deze moet vrij hoog zijn om de gemeten stijghoogten in de directe omgeving van het Twentekanaal te kunnen simuleren. Het is niet goed bekend hoe snel een weerstand-biedende laag na verwijdering zich herstelt naar een hoge weerstand. Uit ervaringen met baggerwerkzaamheden in de Twentekanalen, blijkt dat deze weerstandbiedende laag zich snel herstelt (enkele dagen).

Ook de bodemweerstand in het voorpand aan de IJsselszijde is onzeker, gezien de kwelsituatie wordt deze geacht vrij laag zijn.

9.2 Effecten van de varianten Noord en Midden-Noord

Voor de beide varianten Noord en Midden-Noord zijn de effecten m.b.t. vernatting en verdroging in beeld gebracht. Deze effecten zijn zichtbaar gemaakt voor zowel de aanlegfase als de eindsituatie en voor verschillende hydrologische situaties: een droge, een gemiddelde en een natte situatie. De droge situatie kenmerkt zich door een lage IJsselstand met een beperkt neerslagoverschot, de gemiddelde door een gemiddelde IJsselstand met een gemiddeld neerslagoverschot en de natte situatie door een hoge waterstand op de IJssel en een hoog neerslagoverschot. Deze drie situaties geven de breedte aan waarbinnen de effecten zich naar verwachting zullen bevinden.

Bij de beoordeling van de verandering van de grondwaterstanden spelen de volgende aspecten:

- grondwateroverlast bij bebouwing;
- landbouw opbrengstderving;
- stabiliteit watergang Bierkamp parallel aan Twentekanaal aan de zuidkant.

Natuur is in dit onderzoek niet beoordeeld, omdat er zich geen kwetsbare natuurgebieden binnen het invloedsgebied van de sluis.

In tabel 9.1 is de vergelijking van de beide varianten gegeven op basis van de uitgevoerde berekeningen en interpretatie voor de aanlegfase. De beoordeling voor de eindfase is weer gegeven in tabel 9.2. Voor beide tabellen geldt dat het een samenvatting is van de beoordeling van de effecten zoals uitgevoerd in hoofdstuk 6 en 7.

Tabel 9.1: Vergelijking effecten tijdens aanleg

	Noord	Midden-Noord
Grondwateroverlast bij bebouwing	0/-*	0
Landbouw	0	0
Toename kwel in watergang Bierkamp	0/-	0/-

* geen toename van de overlast als gevolg van de grote aanwezige ontwateringsdiepte.

Tabel 9.2: Vergelijking effecten tijdens eindgebruik

	Noord	Midden-Noord
Grondwateroverlast bij bebouwing	0	0
Landbouw	0	0
Toename kwel in watergang Bierkamp	0	0

* geen toename al neemt de ontwateringsdiepte gering af. Gebied heeft van nature een lage grondwaterstand.

Tijdens de aanleg verandert voor de bebouwing de ontwateringsdiepte in beide varianten, maar gelet op de grote ontwateringsdiepte, is er geen sprake van een overschrijding van de ontwateringsnormen voor bebouwing. Hierbij is geen rekening gehouden met kelders, omdat hier geen gegevens over voorhanden waren. Gelet op het aantal woningen in het invloedsgebied en de ouderdom van de woningen wordt geschat dat dit geldt voor minder dan 5 woningen. Indien gewerkt wordt in een periode met een lage grondwaterstand treedt dit effect niet op. Doordat het invloedsgebied bij variant Noord iets groter is dan bij Midden-Noord is deze kans bij Noord iets groter en daarom beperkt negatief beoordeeld.

In de aanlegfase treden voor de landbouw bij beide varianten geen significante effecten op.

Tijdens aanleg neemt in beide varianten de kwelstroom naar de watergang voor de afwatering van de Bierkamp sterk toe. Voor de afvoer is dit geen probleem. De toename van de kwel kan zich mogelijk uiten in locale instabiliteit van de taluds. Het is daarom van belang de stabiliteit van de taluds (visueel) te monitoren om mogelijke afschuivingen te kunnen detecteren en maatregelen te kunnen nemen.

In de eindsituatie treden in geen van de twee varianten significante effecten op, zowel niet voor bebouwing als voor de landbouw.

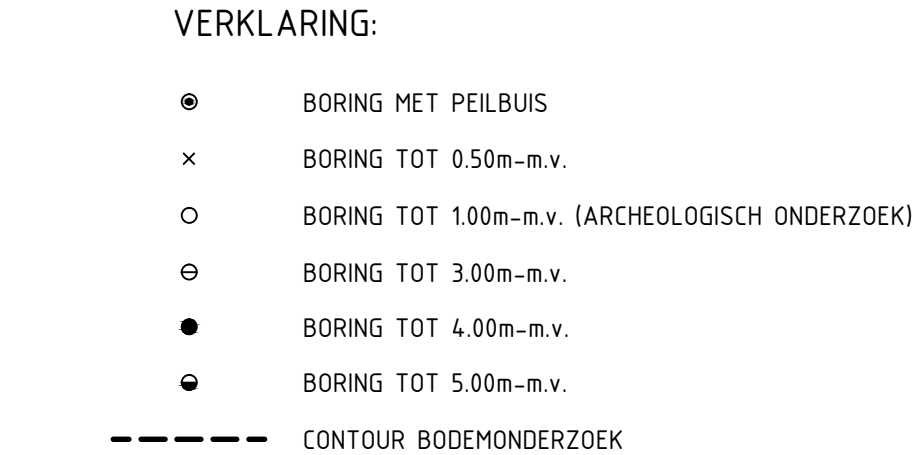
9.3 Risicobeheersing/mitigatie

Het model bevat onzekerheden (hoofdstuk 3) en daarom verdient het aanbeveling de grondwaterstanden te monitoren en middelen achter de hand te hebben om in een crisissituatie in te grijpen. Om het risico van schade door grotere effecten op grondwaterstanden te beperken wordt aangeraden:

- de kwetsbare objecten in beeld te brengen, waaronder de kelders binnen het verwachte invloedsgebied (tijdens de aanleg).
Kelders kunnen mogelijk beïnvloed worden. Gegevens over de aanwezigheid van kelders ontbreken echter. De aanwezigheid dient voorafgaand aan de uitvoering van het werk geïnventariseerd te worden;
- de grondwaterstanden te monitoren;
- bij geconstateerde te grote grondwaterstandsverhogingen:
 - of de aanleg in secties uit te voeren;
 - en/of een afdichtingsmiddel voor de onderwaterbodem aan te brengen. Deze oplossing moet tijdens de aanleg achter de hand gehouden worden;
 - en/of het droogpompen van kelders, mochten er tijdelijk te grote grondwaterstandsverhogingen optreden als gevolg van de aanleg van de tweede kolk;
- een monitoringsplan op te stellen voorafgaand aan de uitvoering van het werk. Dit dient de monitoring zelf te beschrijven en ook wie op welk moment verantwoordelijk is (bij het meten, bij het analyseren en bij het nemen van mitigerende maatregelen).

Bijlage 1

Situering boringen



MATEN IN METERS, TENZIJ ANDERS AANGEGEVEN
MATERIALEN IN MILLIMETERS

Opdrachtgever

RIJKSWATERSTAAT DIRECTIE OOST NEDERLAND  Grontmij

Project

UITBREIDING SLUIZEN EEFDE

Onderdee

SITUATIE BORINGEN DIJK- EN OEVERGEBIED

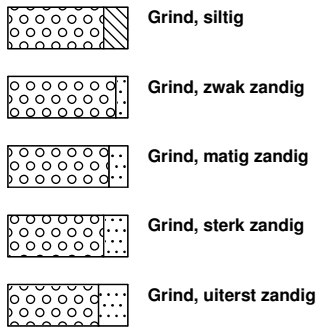
Tekeningnummer	Rev.	Bestandsnaam	Formaat	Schaal	Blad	Aantal
44A62199		44A62199.dwg	5Z	1:2000	2	
Kantoor	Projectnummer	Besteknummer	Datum van uitgave	Get.	Gez.	Acc.
ARNHEM	291914		15-11-2012	DE		

Bijlage 2

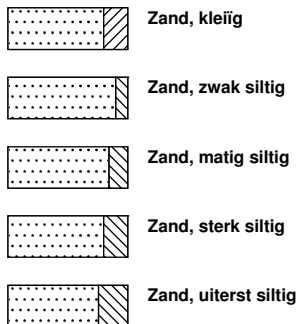
Boorprofielen en legenda

Legenda (conform NEN 5104)

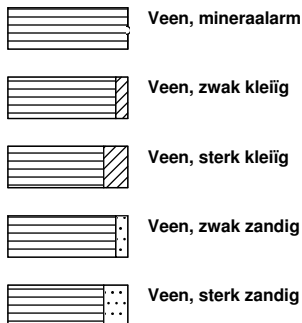
grind



zand



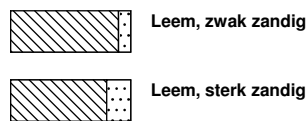
veen



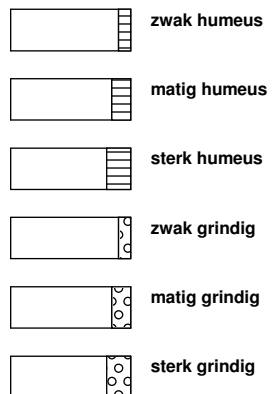
klei



leem



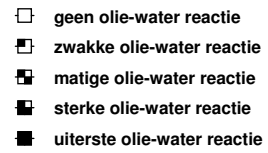
overige toevoegingen



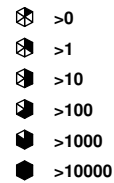
geur



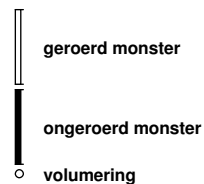
olie



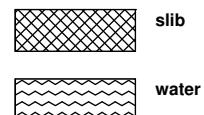
p.i.d.-waarde



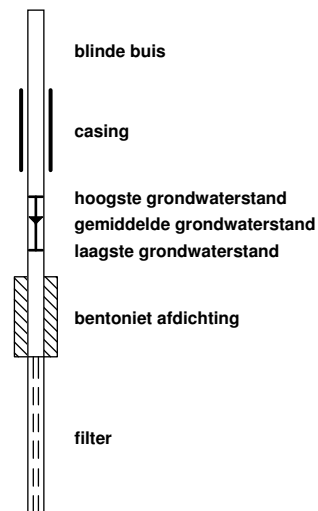
monsters



overig



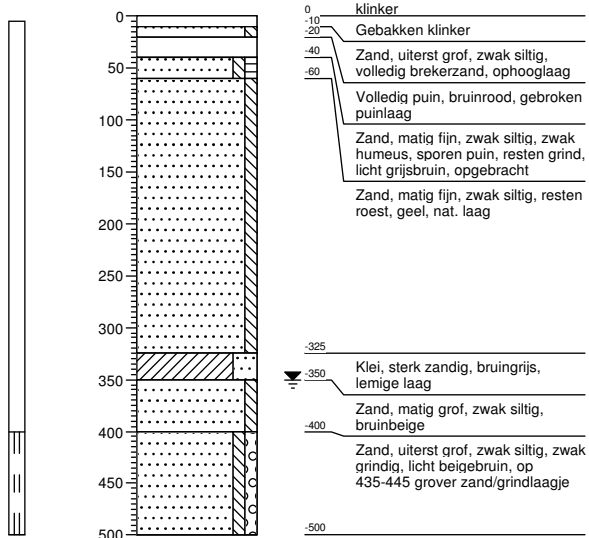
peilbuis



Boring: 01

X:
Y:
Datum: 28-02-2013
GWS: 350
GHG:
GLG:

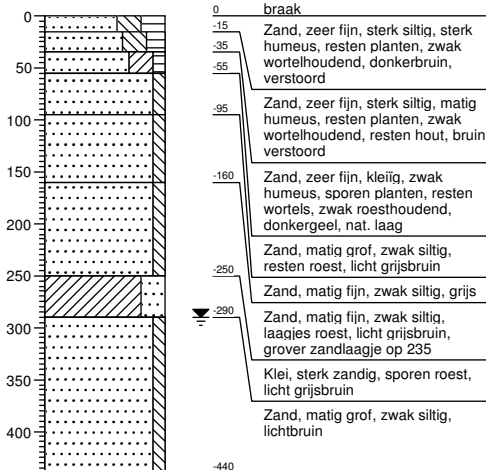
Referentievlaak: maaiveld trottoir links van wit huis no1



Boring: 03

X:
Y:
Datum: 28-02-2013
GWS: 290
GHG:
GLG:

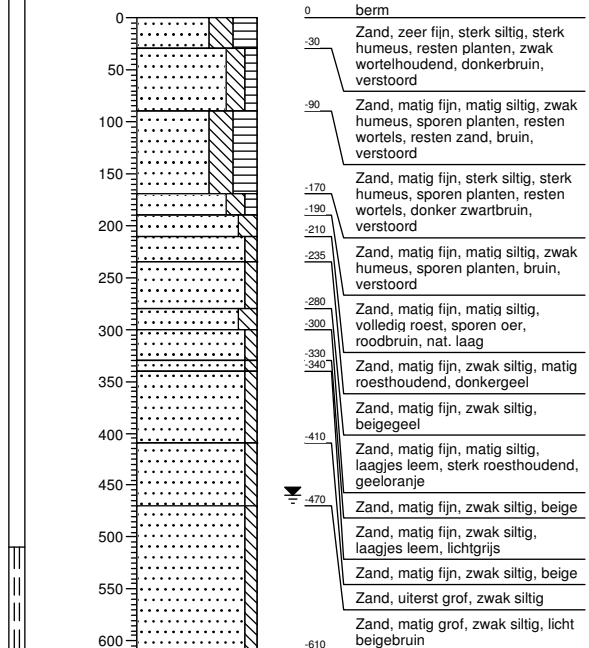
Referentievlaak: maaiveld



Boring: 04

X:
Y:
Datum: 28-02-2013
GWS: 460
GHG:
GLG:

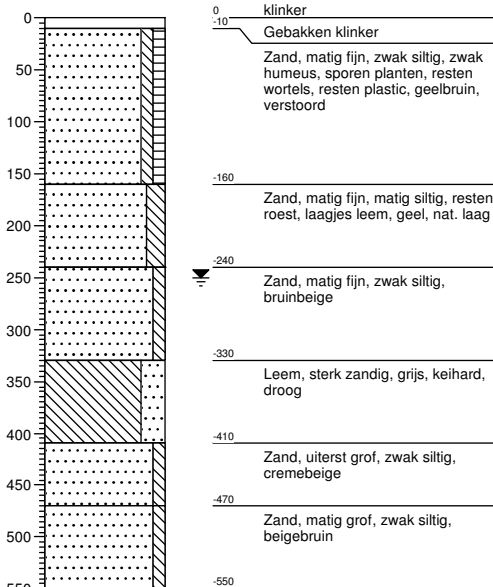
Referentievlaak: maaiveld



Boring: 05

X:
Y:
Datum: 28-02-2013
GWS: 250
GHG:
GLG:

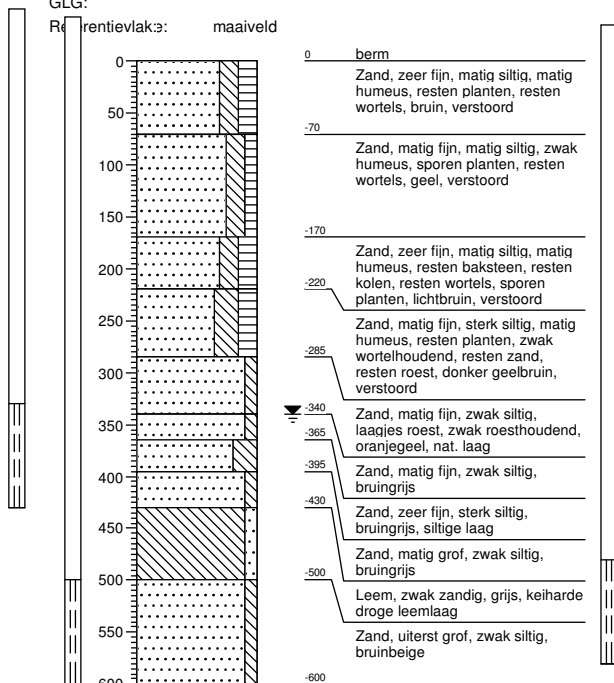
Referentievlaak: maaiveldtoirspitsing



Boring: 06

X:
Y:
Datum: 27-02-2013
GWS: 340
GHG:
GLG:

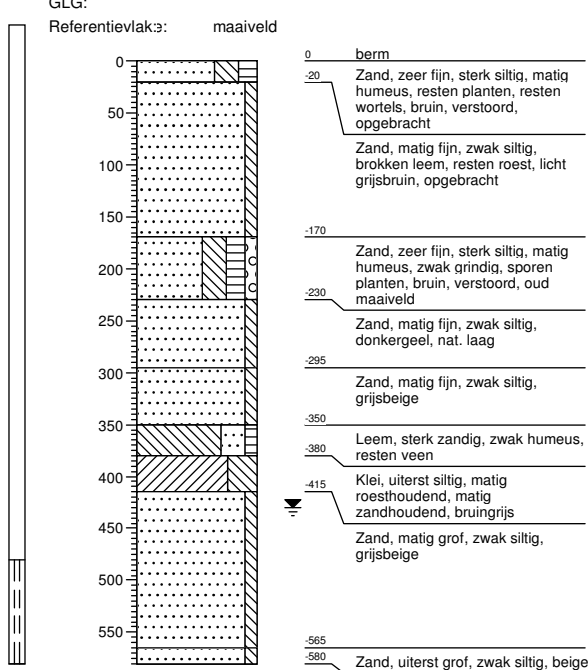
Referentievlaak: maaiveld



Boring: 07

X:
Y:
Datum: 27-02-2013
GWS: 430
GHG:
GLG:

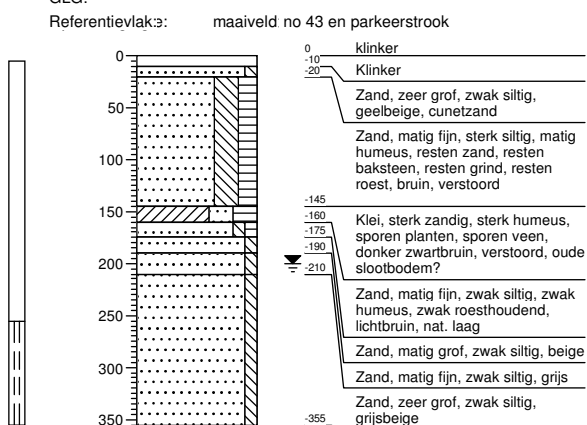
Referentievlaak: maaiveld



Boring: 08

X:
Y:
Datum: 01-03-2013
GWS: 200
GHG:
GLG:

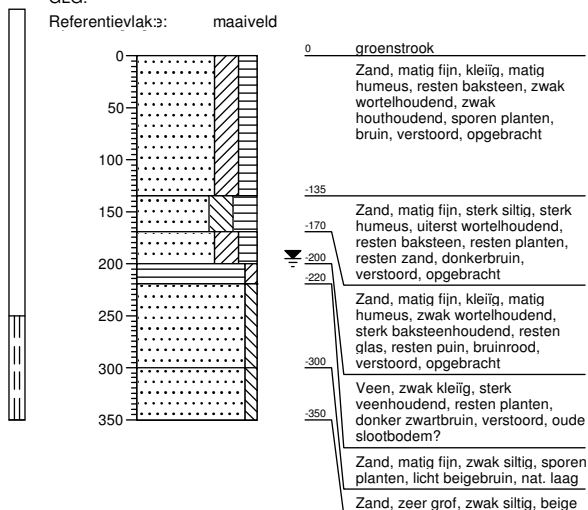
Referentievlaak: maaiveld no 43 en parkeerstrook



Boring: 09

X:
Y:
Datum: 01-03-2013
GWS: 195
GHG:
GLG:

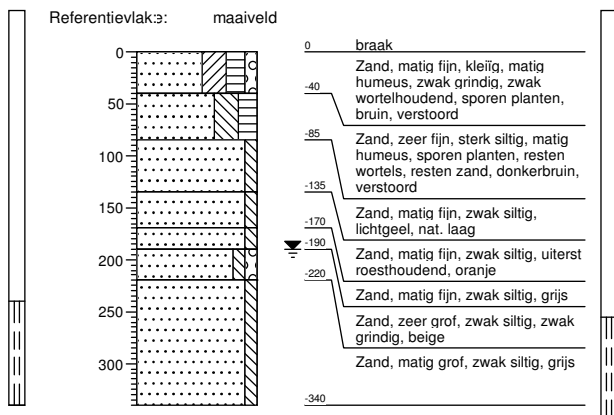
Referentievlaak: maaiveld



Boring: 10

X:
Y:
Datum: 27-02-2013
GWS: 190
GHG:
GLG:

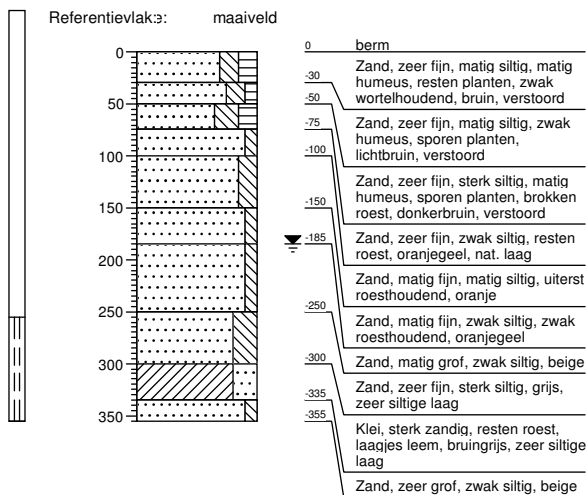
Referentievlak: maaiveld



Boring: 11

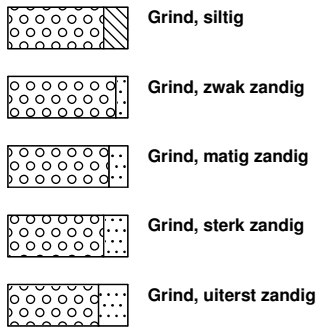
X:
Y:
Datum: 27-02-2013
GWS: 185
GHG:
GLG:

Referentievlak: maaiveld

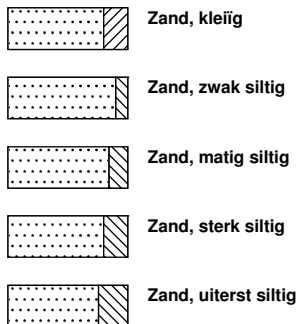


Legenda (conform NEN 5104)

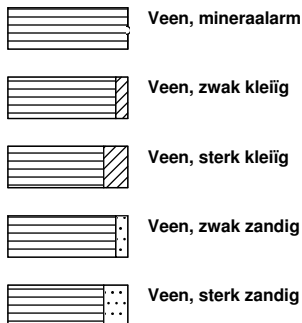
grind



zand



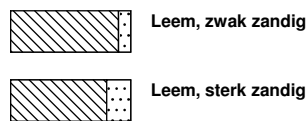
veen



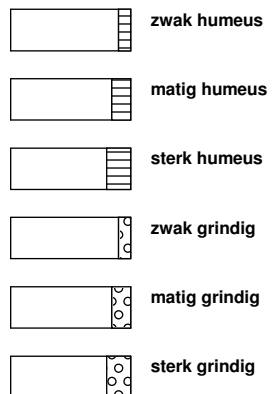
klei



leem



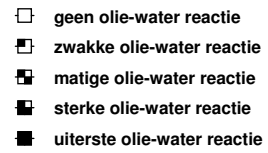
overige toevoegingen



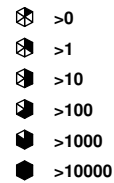
geur



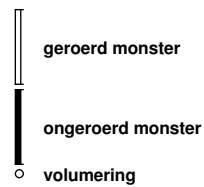
olie



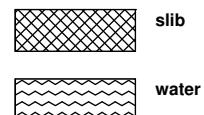
p.i.d.-waarde



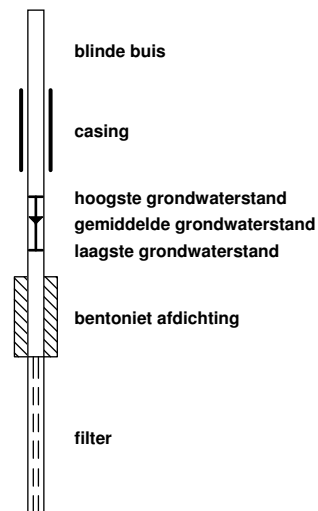
monsters



overig

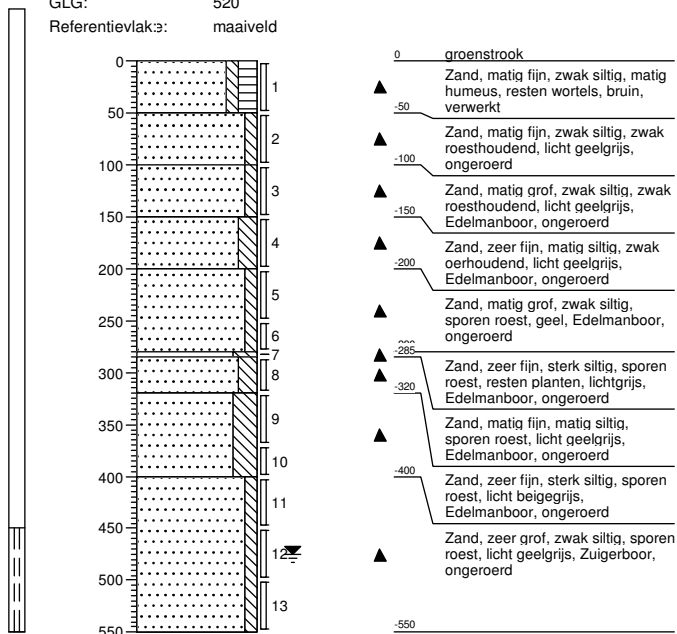


peilbuis



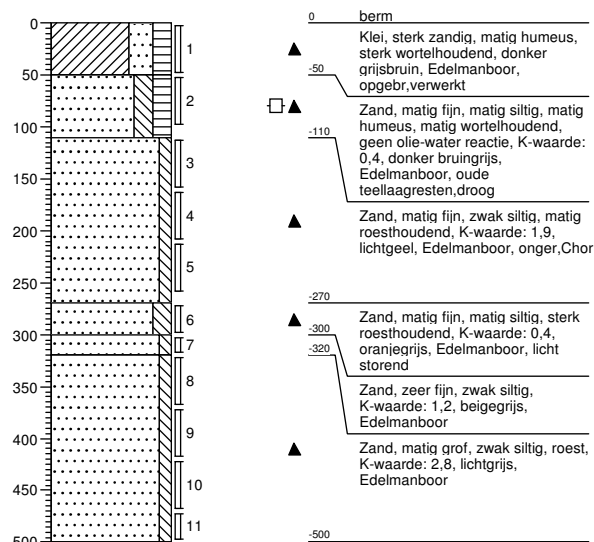
Boring: A01

X:
Y:
Datum: 15-10-2012
GWS: 475
GHG: 120
GLG: 520
Referentievlak: maaiveld



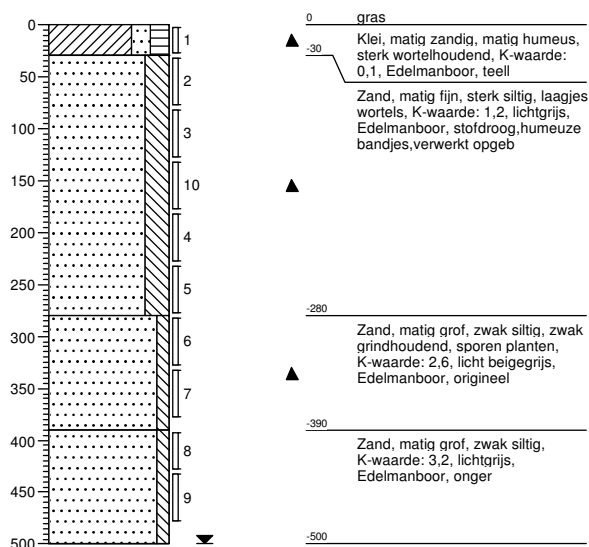
Boring: A02

X:
Y:
Datum: 12-10-2012
GWS: 490
GHG: 490
GLG:
Referentievlak: maaiveldroog



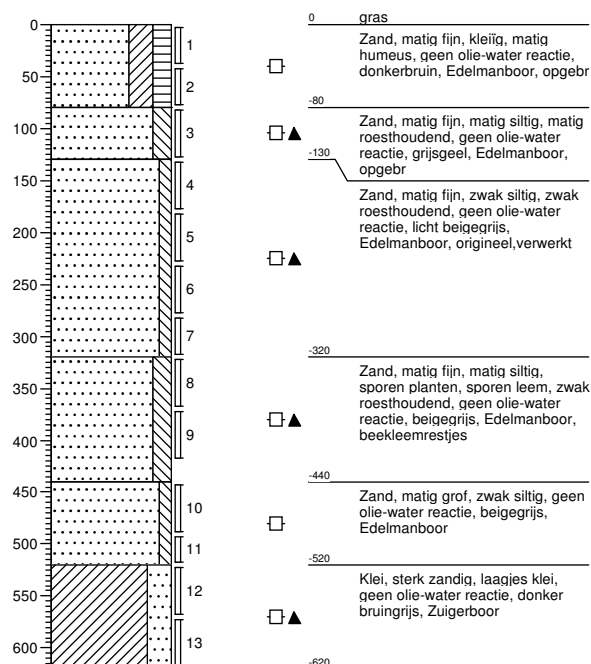
Boring: A04

X:
Y:
Datum: 12-10-2012
GWS: 500
GHG: 460
GLG:
Referentievlak: maaiveld



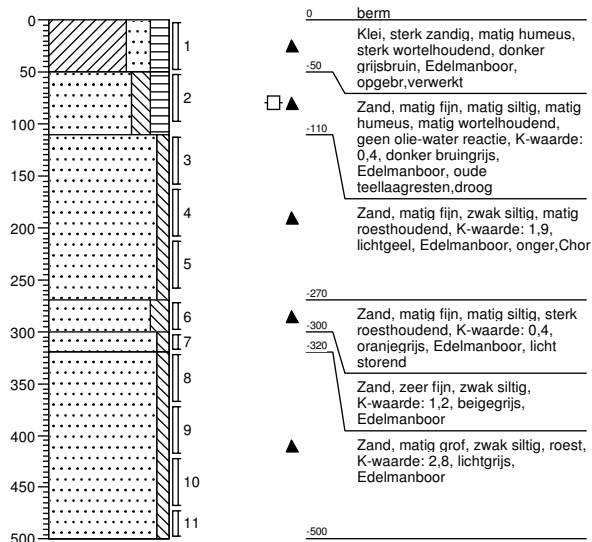
Boring: A17

X: 212486,39
Y: 463846,71
Datum: 12-10-2012
GWS: 320
GHG: 320
GLG: 500
Referentievlak: maaiveld



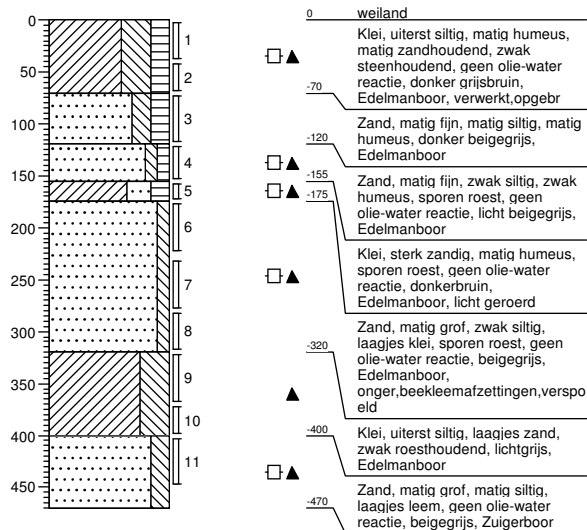
Boring: A2

X:
Y:
Datum: 12-10-2012
GWS:
GHG: 490
GLG:
Referentievlak: maaiveldroog



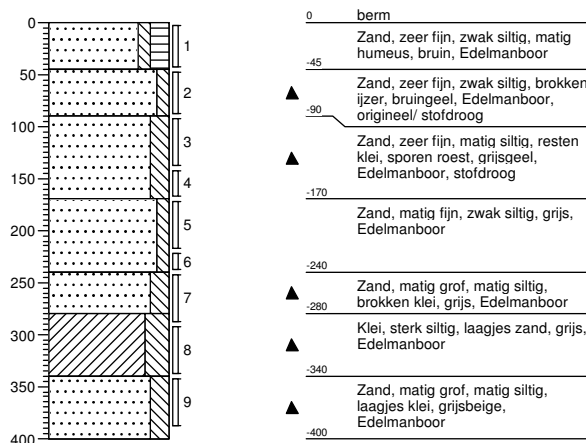
Boring: A27

X:
Y:
Datum: 11-10-2012
GWS:
GHG: 230
GLG: 370
Referentievlak: maaiveld



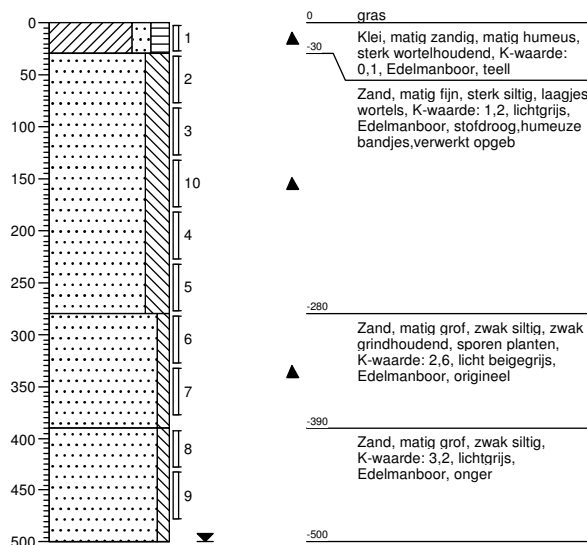
Boring: A28

X:
Y:
Datum: 24-9-2012
GWS:
GHG: 220
GLG: 390
Referentievlak: maaiveld



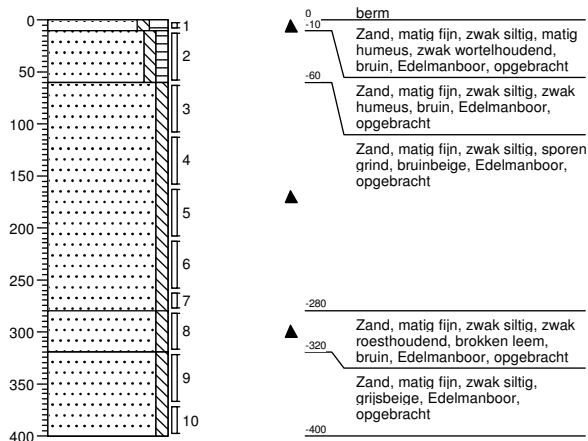
Boring: A4

X:
Y:
Datum: 12-10-2012
GWS: 500
GHG: 460
GLG:
Referentievlak: maaiveld



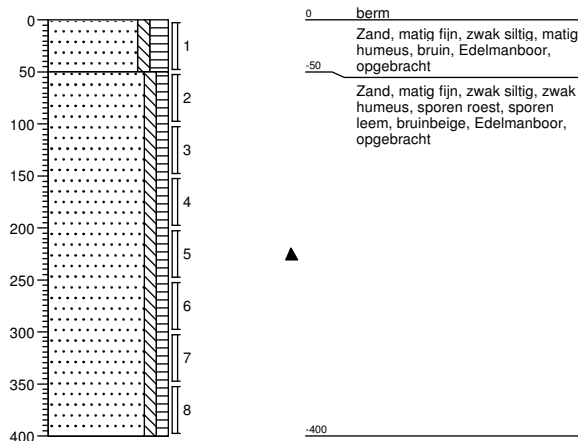
Boring: A46

X:
Y:
Datum: 25-9-2012
GWS:
GHG:
GLG:
Referentievlak: maaiveld



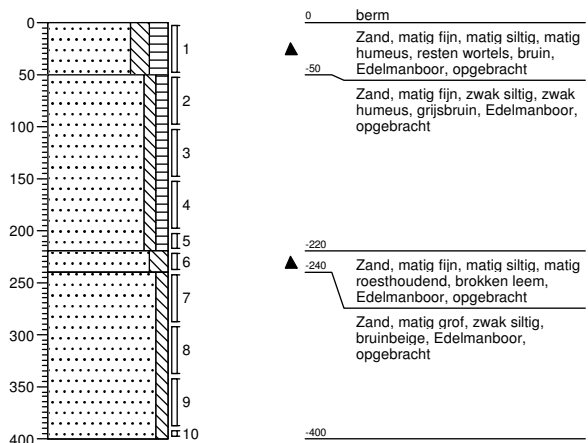
Boring: A47

X:
Y:
Datum: 25-9-2012
GWS:
GHG:
GLG:
Referentievlak: maaiveld



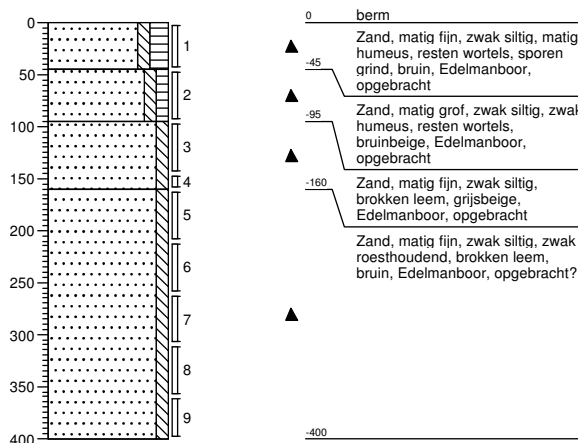
Boring: A48

X:
Y:
Datum: 25-9-2012
GWS:
GHG:
GLG:
Referentievlak: maaiveld



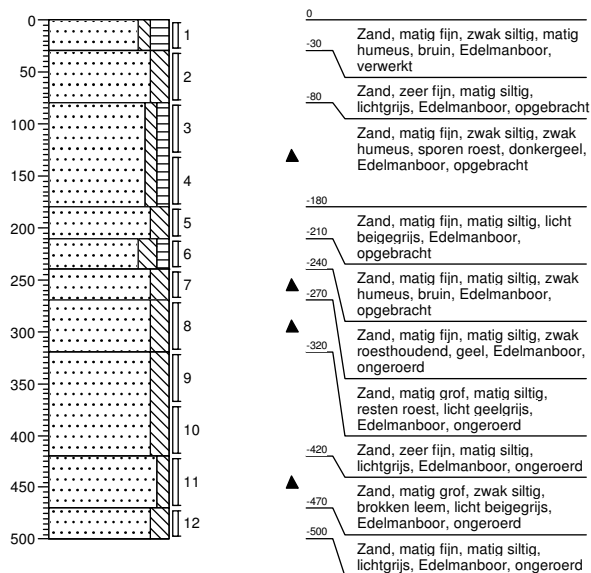
Boring: A49

X:
Y:
Datum: 25-9-2012
GWS:
GHG:
GLG:
Referentievlak: maaiveld



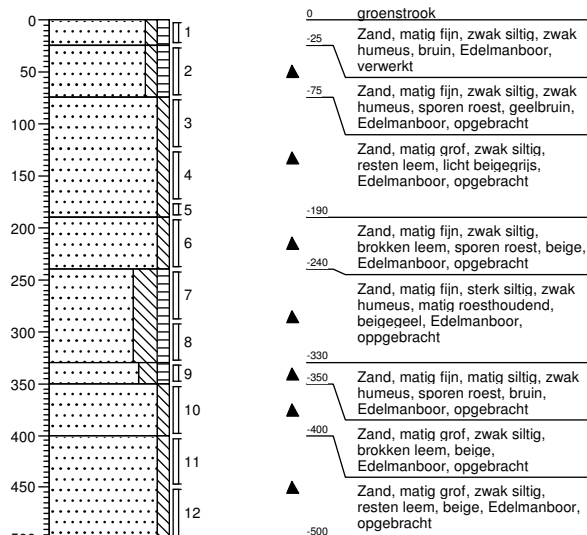
Boring: D01

X:
Y:
Datum: 15-10-2012
GWS:
GHG:
GLG:
Referentievlak: maaiveld



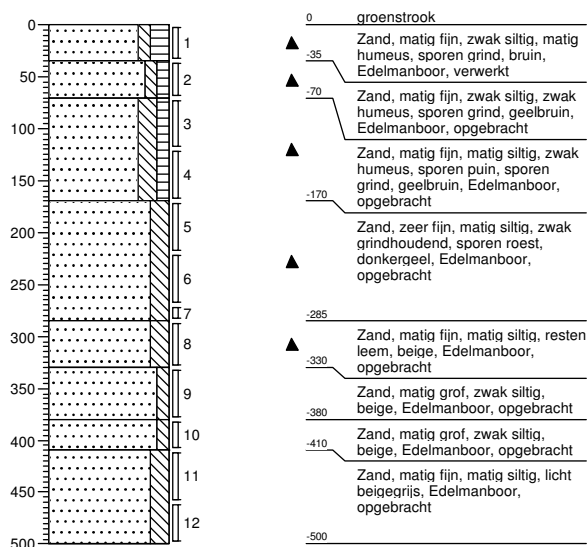
Boring: D03

X:
Y:
Datum: 12-10-2012
GWS:
GHG:
GLG:
Referentievlak: maaiveld



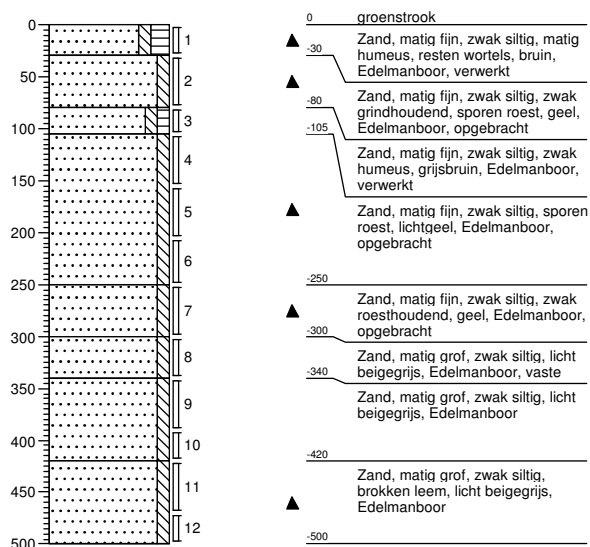
Boring: D05

X:
Y:
Datum: 12-10-2012
GWS:
GHG:
GLG:
Referentievlak: maaiveld



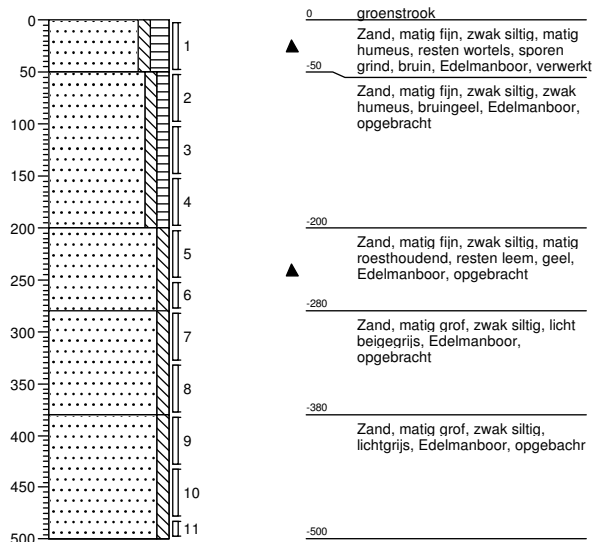
Boring: D07

X:
Y:
Datum: 11-10-2012
GWS:
GHG:
GLG:
Referentievlak: maaiveld



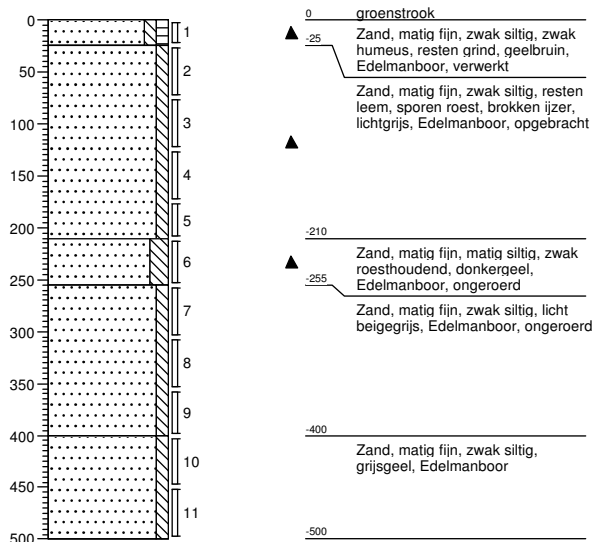
Boring: D09

X:
Y:
Datum: 11-10-2012
GWS:
GHG:
GLG:
Referentievlaak: maaiveld



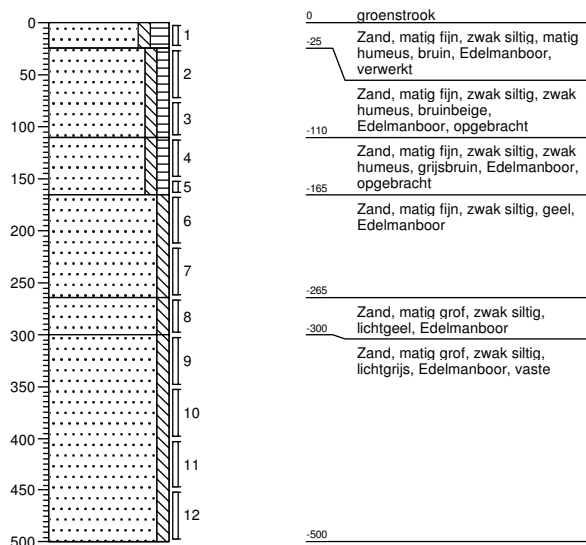
Boring: D11

X:
Y:
Datum: 11-10-2012
GWS:
GHG:
GLG:
Referentievlaak: maaiveld



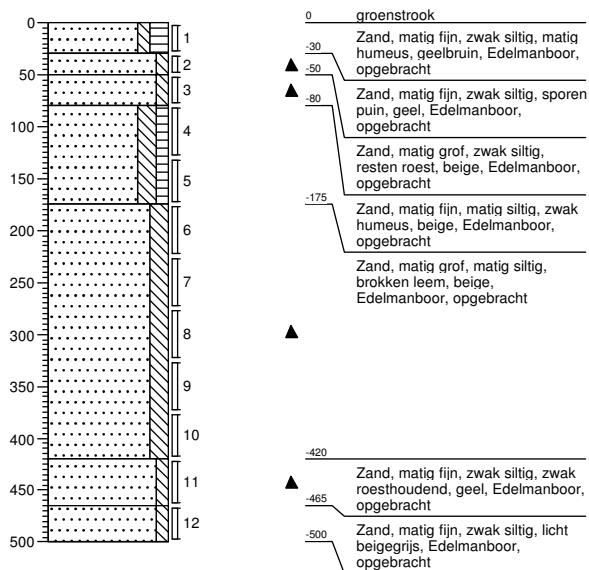
Boring: D15

X:
Y:
Datum: 10-10-2012
GWS:
GHG:
GLG:
Referentievlaak: maaiveld



Boring: D18

X:
Y:
Datum: 10-10-2012
GWS:
GHG:
GLG:
Referentievlaak: maaiveld



Boring: D19

X:

Y:

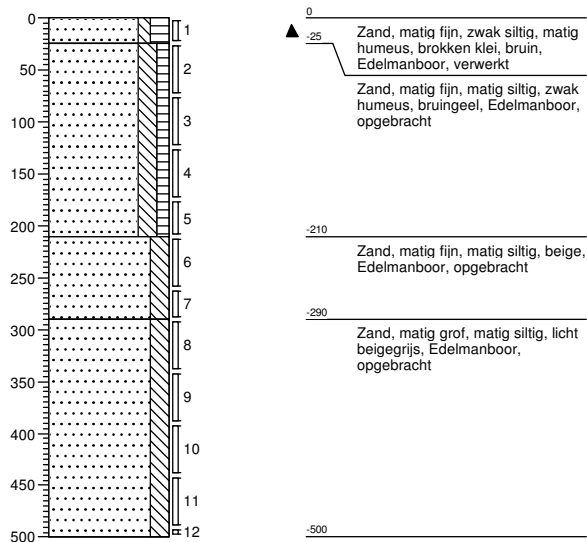
Datum: 15-10-2012

GWS:

GHG:

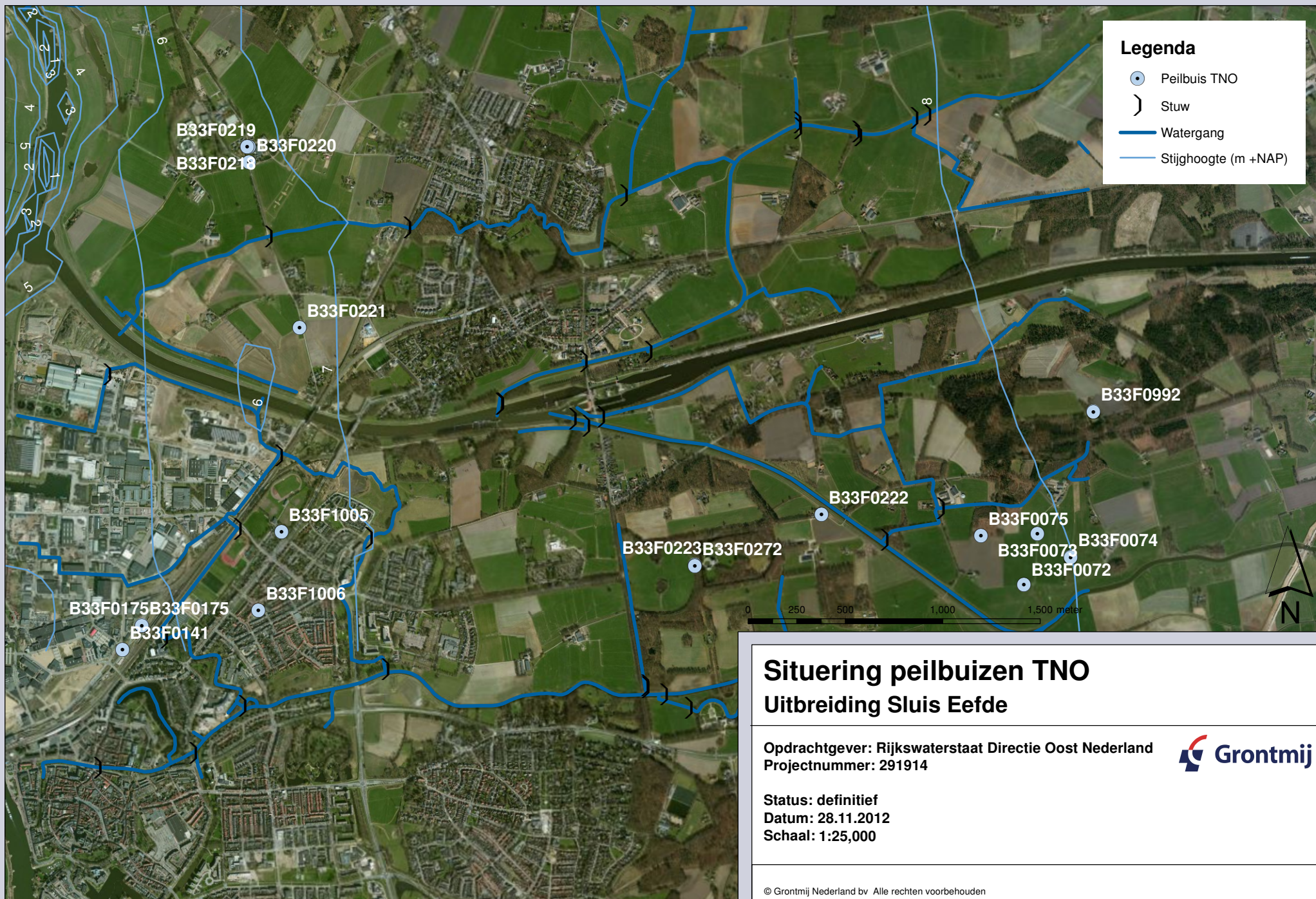
GLG:

Referentievlak: maaiveld



Bijlage 3

Situering peilbuizen TNO



Bijlage 4

Situering peilbuizen lokaal meetnet



Situering monitoringspeilbuizen
Uitbreiding Sluis Eefde

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat - Directie Oost
Projectnummer: 291914

Status: definitief
Datum: 21.03.2013
Schaal: 1:2,500
Formaat: A3
Tekeningnummer: 000
Get: [xx] - Gec: [xx]

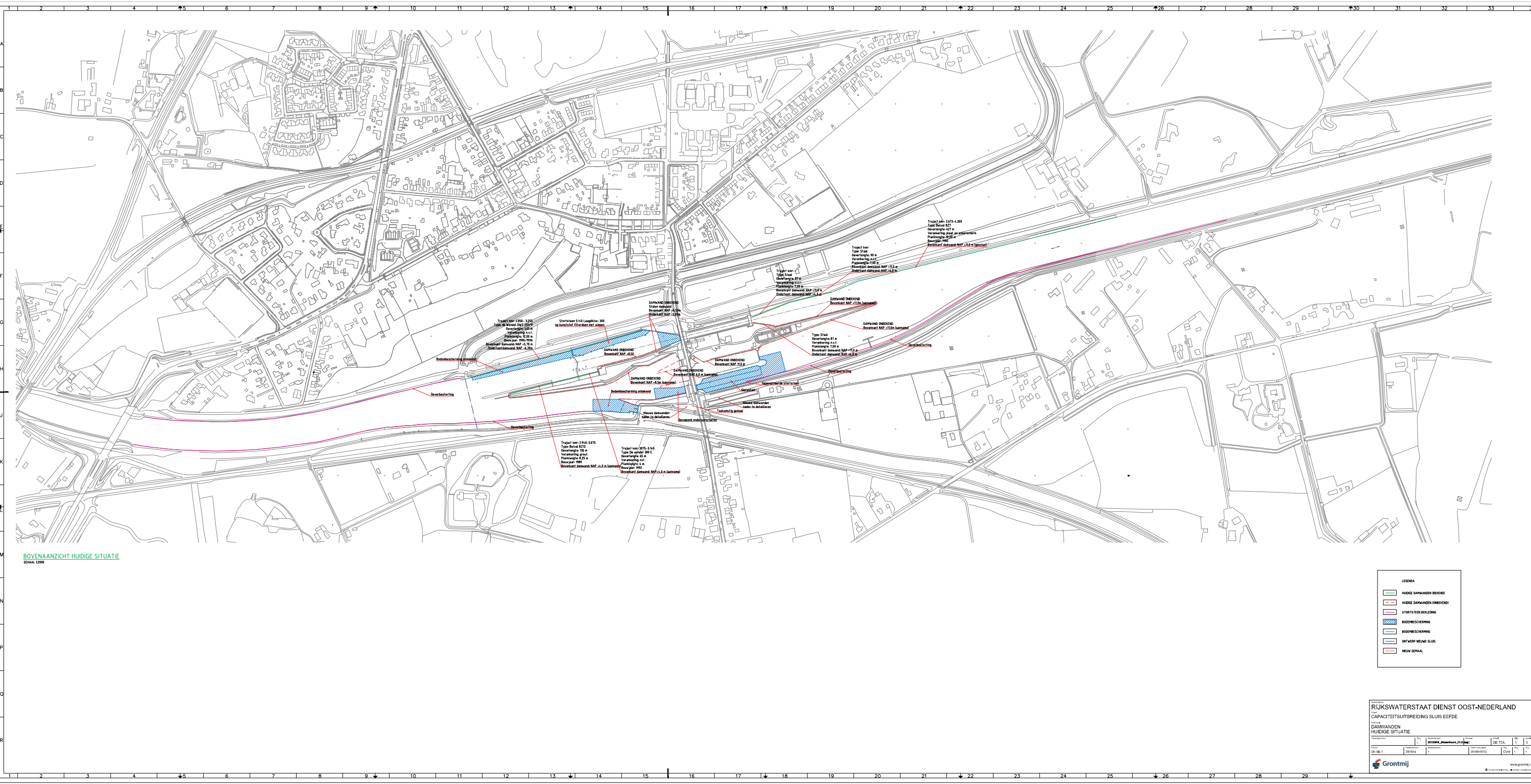


Noordwest
Locaties: Alkmaar,
Amersfoort, Lelystad

Robijnstraat 11, 1812 RB Alkmaar
Postbus 214, 1800 AE Alkmaar
T +31 72 547 57 57
F +31 72 547 57 50
noordwest@grontmij.nl
www.grontmij.nl

Bijlage 5

Situering damwanden variant 0



LEGENDA

- HUIDIGE DAMWANDEN (BROEKEN)
- HUIDIGE DAMWANDEN (ONBROEKEN)
- STORTSTEEN BOKLEIDING
- BOODWESCHERING
- BOODWESCHERING
- ONTWERP NIEUWE SLUIS
- NIETWIP GEMAA

RIJKSWATERSTAAT DIENST OOST-NEDERLAND

CAPACITEITSUITBREIDING SLUIS EEFDE

DAMWANDEN
HUIDIGE SITUATIE

Project	Bestanddeel	Opdrachtgever	Opdracht	Opdrachtgever	Opdracht
RIJKSWATERSTAAT DIENST OOST-NEDERLAND	Capaciteitsuitbreiding Sluis Eefde	Grontmij	Grontmij	Grontmij	Grontmij

Grontmij

www.grontmij.nl