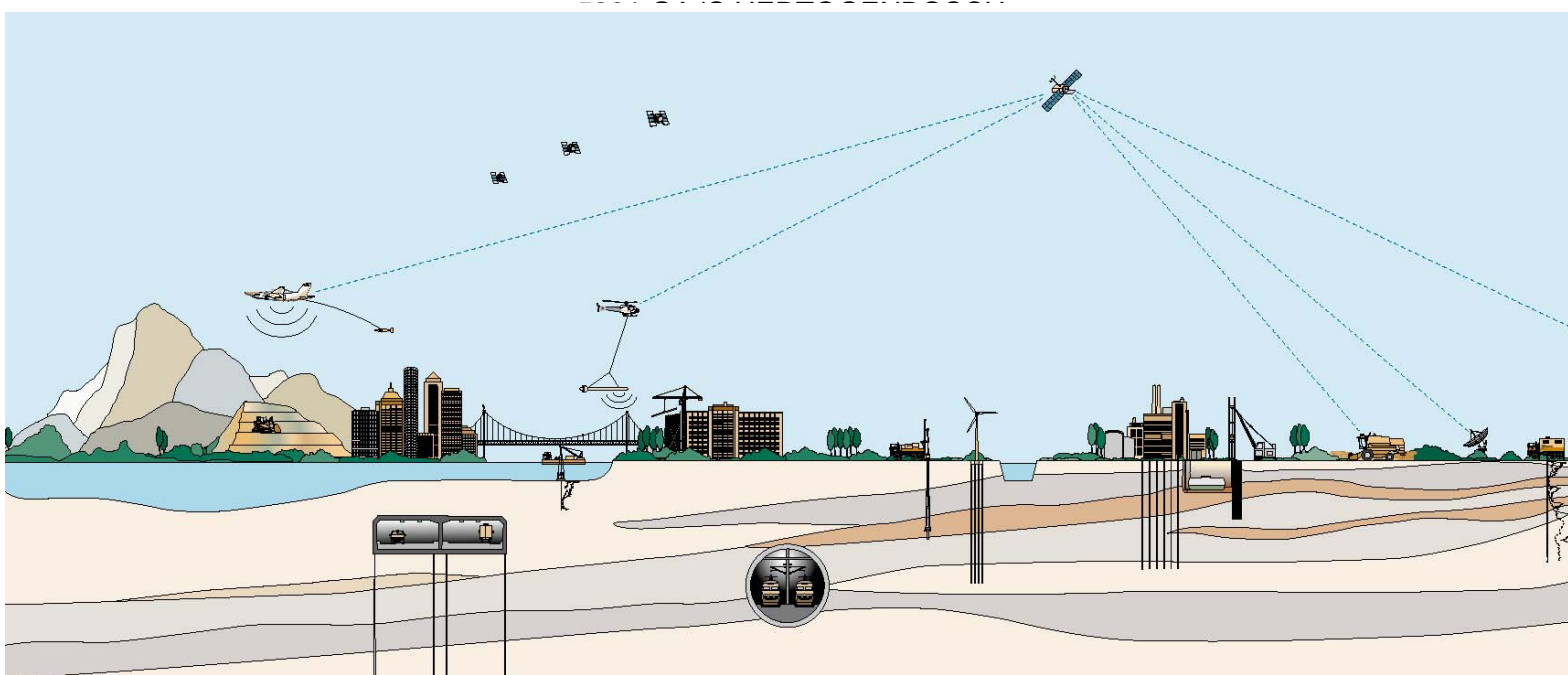


RAPPORT
betreffende

POV PIPING

**UITWERKING
DOORLATENHEIDSMETHODEN 2^E
PROJECTLOCATIE**

Opdrachtnummer:1213-0101-000



RAPPORT
betreffende

POV PIPING

**UITWERKING
DOORLATENHEIDSMETHODEN 2^E
PROJECTLOCATIE**

Opdrachtnummer:1213-0101-000

Opdrachtgever : Waterschap Aa en Maas
Postbus 5049
5201 GA 'S HERTOGENBOSCH

Projectleider : drs. B.M. Berbee

Opgesteld door : ir. G.R. Van Goor
Adviseur Waterbouw

Gecontroleerd door : drs. B.M. Berbee
Adviseur Waterbouw

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
1	21 december 2015	Versie 1 (memo)	BMB
Definitief	29 juni 2016	Definitief	BMB

FILE: 1213-0101-000.R08 Uitwerking doorlatendheidsmethoden 2e projectlocatie

INHOUDSOPGAVE

Blz.

1. INLEIDING	3
2. WESTERVOORT (DIJKPAAL 48-229 TOT 48-230)	4
2.1 Geohydrologische schematisering	4
2.2 Pompproef	5
2.3 Korrelverdelingen	5
2.4 HPT-sonderingen	6
2.5 Minipomp-proeven	6
2.6 Dissipatietesten	7
2.7 Overzicht resultaten Westervoort	8
3. PANNERDEN (DIJKPAAL 48-146 TOT 48-148)	9
3.1 Geohydrologische schematisering	9
3.2 Pompproef	10
3.3 Korrelverdelingen	10
3.4 HPT-sonderingen	11
3.5 Minipomp-proeven	11
3.6 Dissipatietesten	12
3.7 Overzicht resultaten Pannerden	12
4. LOBITH (DIJKPAAL 48-072 TOT 48-073)	13
4.1 Geohydrologische schematisering	13
4.2 Pompproef	13
4.3 Korrelverdelingen	14
4.4 HPT-sonderingen	15
4.5 Minipomp-proeven	15
4.6 Dissipatietesten	16
4.7 Overzicht resultaten Lobith	16
5. OVERZICHT RESULTATEN	17

1. INLEIDING

Op een drietal locaties langs de Rijn zijn, in opdracht van waterschap Rijn en IJssel, HPT-sonderingen met mini-pompproeven uitgevoerd. Op iedere locatie zijn twee HPT-sonderingen en meerdere mini-pompproeven uitgevoerd. Het betreft de volgende locaties:

- Westervoort (dijkpaal 48-229 tot 48-230);
- Pannerden (dijkpaal 48-146 tot 48-148);
- Lobith (dijkpaal 48-072 tot 48-073).

Deze onderzoekslocaties vallen binnen een ander POV-project dat onderzoek doet naar intree weerstanden van het voorland. De locaties vallen binnen het beheergebied van waterschap Rijn en IJssel.

De resultaten van de HPT-sonderingen en mini-pompproeven staan beschreven in de velwerkrapportage met kenmerk: 1215-0052-000.R01. Op iedere locatie zijn diverse boringen en sonderingen en een pompproef door derden uitgevoerd. De resultaten van dit veldonderzoek zijn door waterschap Rijn en IJssel beschikbaar gesteld.

Op basis van het veldwerk zijn de volgende doorlatendheidsbepalingen per locatie uitgewerkt dan wel beschreven:

- Grondwaterkaart van Nederland;
- Korrelverdelingen;
- Pompproeven;
- HPT-sonderingen;
- Mini-pompproeven;
- Dissipatietesten.

De doorlatendheid op basis van korrelverdelingen is uitgewerkt voor een drietal methoden: Den Rooijen, Hazen en Kozeny-Carman. De methode Den Rooijen is opgenomen omdat deze in zowel het technisch rapport zandmeevoerende wellen (1999) als in het onderzoeksrapport zandmeevoerende wellen (2012) is opgenomen. Voor Den Rooijen zijn de resultaten gegeven voor zowel de losse, natuurlijke als vaste pakking. De andere twee methodes worden veel gebruikt in de (geohydrologische) praktijk. De resultaten geven inzicht in de spreiding die wordt gevonden op basis van deze methoden gebaseerd op korrelverdelingen.

In de volgende hoofdstukken is per locatie ingegaan op de uitwerking. In bijlage 1 zijn grafieken opgenomen waarin de resultaten van de verschillende doorlatendheidsmethoden zijn opgenomen. Een algemene beschouwing van deze resultaten is opgenomen in hoofdstuk 5.

2. WESTERVOORT (DIJKPAAL 48-229 TOT 48-230)

2.1 Geohydrologische schematisering

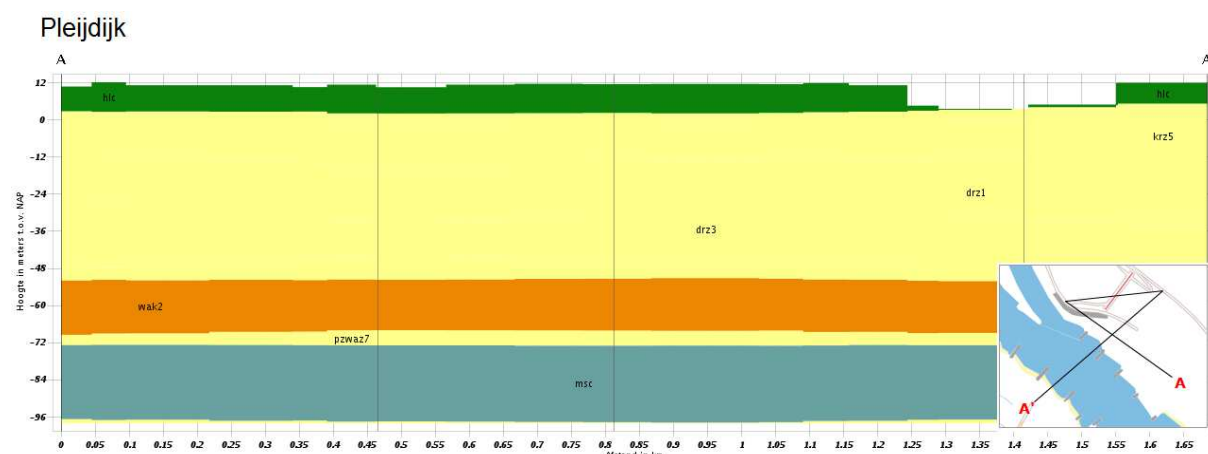
Op basis van het grondonderzoek, gegevens uit REGIS II en de Grondwaterkaart van Nederland (GWKN) is de bodemopbouw geschematiseerd zoals weergegeven in de onderstaande tabel. Een groot verschil tussen de regionale data uit de GWKN en REGIS is de splitsing van de watervoerende lagen tussen NAP +7,5 en -45 m. Volgens de GWKN is een waterremmende laag aanwezig rond NAP -17 en -34 m, REGIS spreekt van een aaneengesloten zandpakket. Het grondonderzoek op locatie gaat echter maximaal tot NAP -17 m (nieuwe sonderingen Fugro), waardoor niet aangetoond kan worden of de scheidende laag aanwezig is. Voor het 1^e watervoerend pakket is op basis van de GWKN een dikte van 25 m aangenomen.

Tabel 2-1: Globale bodemopbouw t.p.v. Pleidijk (Westervoort)

Diepte [ca. NAP m]		Laagdikte [ca. m]	Bodembeschrijving	Laag
+11,0		-	Maaiveld	0
+11,0	tot +9,0 +7,5	2,0 à 3,5	ZAND/KLEI Waterremmende laag	1
+9,0 +7,5	tot -17,0	25	ZAND, matig tot uiterst grof Watervoerend pakket 1	2*
-17	tot -45,0	28	ZAND Watervoerend pakket 2	
-45,0	tot -65**	80 à 100	KLEILAAG Waterremmende laag	4

* Volgens de Grondwaterkaart van Nederland is er een waterremmende laag aanwezig tussen het 1^e en 2^e watervoerend pakket.

** Maximale diepte beschikbaar grondonderzoek: NAP -17 m.



Figuur 2-1: Doorsnede bodemopbouw regionale database REGIS II. Geel is zand, overige kleuren zijn waterremmende lagen

Het 1^e watervoerend pakket bestaat uit zand van de formatie van Kreftenheye (bovenste 15 à 20 m) en het 2^e watervoerend pakket uit de formatie van Drenthe. De transmissiviteit van deze pakketten wordt op basis van de Grondwaterkaart van Nederland geschat op:

- 1.000 à 1.500 m²/d voor het 1^e watervoerend pakket;
- 2.000 m²/d voor het 2^e watervoerend pakket.

De pompproef en overige korrelverdelingen zijn uitgevoerd in het 1^e watervoerend pakket. Bij een dikte van ca. 25 m komt de gemiddelde doorlatendheid voor dit pakket uit op 40 à 60 m/d.

2.2 Pompproef

Op de locatie Westervoort is een pompproef uitgevoerd (Multiconsult, datum rapportage 1 september 2015) in het 1^e watervoerend pakket. Uit deze analyse volgt een transmissiviteit van het 1^e watervoerend pakket (en deklaag volgens Multiconsult) van ca. 1.400 m²/d (~56 m/d). Dit komt goed overeen met de resultaten uit de Grondwaterkaart van Nederland.

Bij de pompproef is gebruik gemaakt van 4 peilbuizen, die zowel diep (2) als ondiep (2) zijn afgesteld. Een groot discussiepunt is de aan/afwezigheid van een kleilaag tussen het 1^e en 2^e watervoerend pakket. In de uitwerking van de pompproef is aan deze laag echter een weerstand toegekend van 1.000 dagen, terwijl deze laag ook (vrijwel) geheel afwezig kan zijn. Deze weerstand kan een significante invloed hebben op de berekende transmissiviteit. Bij het geheel afwezig zijn van de waterremmende laag zal voor het 1^e watervoerend pakket een veel lagere transmissiviteit worden berekend.

2.3 Korrelverdelingen

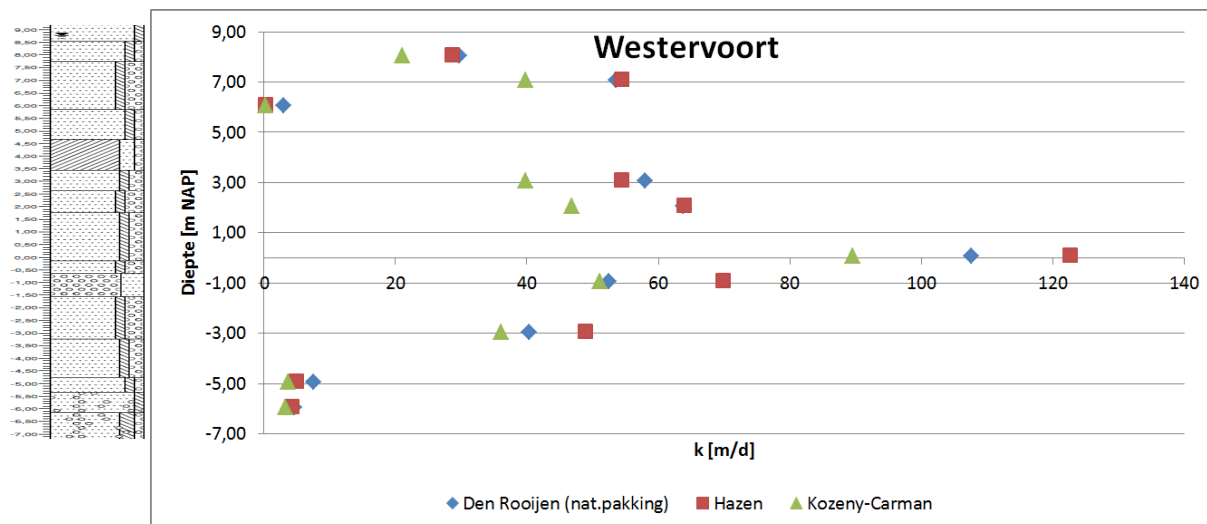
Op de locatie Westervoort zijn door derden zevingen uitgevoerd voor mengmonsters uit de boringen MB01. De doorlatendheid varieert sterk op basis van de korrelverdelingen. De resultaten van de mengmonsters 5, 9, 10, 13 en 15 liggen binnen de verwachte range van 40-60 m/d (o.b.v. de pompproef en de GWKN). De gemiddelde doorlatendheid op basis van de verschillende methoden liggen aan de lage kant van de range van doorlatendheden op basis van de Grondwaterkaart van Nederland.

Tabel 2-2: Overzicht gegevens en berekende doorlatendheden uit de korrelverdelingen van boring MB01

Boringnr.	Meng-monster nr.	Beschrijving	B.k. monster [m NAP]	O.k. monster [m NAP]	Doorlatendheidsbepaling				
					Den Rooijen (1992) [m/d]			Hazen modified [m/d]	Kozeny-Carman (1953) [m/d]
					losse pakking (c ₀ =1,5E+04)	natuurlijke pakking (c ₀ =1,2E+04)	vaste pakking (c ₀ =1,0E+04)		
MB01-Westervoort	4	ZAND, ug	8,06	7,06	38	30	24	29	21
MB01-Westervoort	5	ZAND, ug	7,06	6,06	70	54	43	55	40
MB01-Westervoort	6	ZAND, zg	6,06	5,06	4	3	2	0	0
MB01-Westervoort	9	ZAND, ug	3,06	2,06	74	58	47	55	40
MB01-Westervoort	10	ZAND, ug	2,06	1,06	83	64	51	64	47
MB01-Westervoort	12	ZAND, ug	0,06	-0,94	149	108	80	123	90
MB01-Westervoort	13	ZAND, ug	-0,94	-1,94	71	53	40	70	51
MB01-Westervoort	15	ZAND, zg	-2,94	-3,94	56	40	29	49	36
MB01-Westervoort	17	ZAND, zg	-4,94	-5,94	10	7	6	5	4
MB01-Westervoort	18	ZAND, mg	-5,94	-6,94	6	5	4	4	3
Aantal waarnemingen:					10	10	10	10	10
Gemiddelde waarde:					56	42	33	45	33

In de onderstaande figuur is eveneens het verloop van de doorlatendheid over de diepte getoond. Op basis van de korrelverdelingen is de bodem tussen NAP -1,0 en +1,0 m het meest doorlatend. De overige (lage) doorlatendheden worden met name bepaald door het relatief grote aandeel van de fijne fracties. Er lijkt een verband te zijn tussen de berekende doorlatendheid op basis van de korrelverdelingen en de classificatie van de grondlagen. De uiterst grove lagen geven daarbij de hoogste doorlatendheid. Wat echter opvalt is dat zeer grove en matige grove zanden een relatief lage doorlatendheid opleveren van 4 tot circa

10 m/d met uitzondering van mengmonster 15. Volgens het ORZW (2012) zou men op basis van deze korrelgrootteklassen een doorlatendheid verwachten rond de 85 m/dag.



Figuur 2-2: Overzicht doorlatendheden berekend uit de korrelverdelingen. De doorlatendheden zijn uitgezet tegen de diepte.

2.4 HPT-sonderingen

Op deze locatie zijn twee HPT-sonderingen uitgevoerd en verwerkt tot continue doorlatendheidsprofielen. Op basis van deze profielen is voor het 1^e watervoerend pakket, de gemiddelde doorlatendheid bepaald. Dit is gedaan door de gemiddelde doorlatendheid van de HPT-sonderingen te bepalen. Op basis van de sondeerresultaten is gecontroleerd of de metingen in het 1^e watervoerend pakket zijn uitgevoerd.

De resultaten van HPT48-230+10A geven op een aantal dieptes zeer grote doorlatendheden. Deze doorlatendheden zijn dermate hoog (>200 m/d) dat zij buiten het toepassingsbereik van de HPT-sondering liggen en derhalve niet gebruikt kunnen worden voor een zinvolle interpretatie van een gemiddelde doorlatendheid over de diepte.

Tabel 2-3: Gemiddelde doorlatendheid 1^e WVP op basis van HPT-sonderingen Westervoort

HPT sondeernummer	Diepte waarover middeling heeft plaatsgevonden [m NAP]	Gemiddelde doorlatendheid [m/d]
HPT48-229+65E	7,50 - -16,50	41
HPT48-230+10A	7,50 - -16,00	107*
	Gemiddeld:	41

* Groot aantal meetwaarden buiten toepassingsbereik HPT-systeem (>200 m/d)

2.5 Minipomp-proeven

Voor de verschillende locaties zijn meerdere minipomp-proeven (MPT-test) met het HPT systeem uitgevoerd op variërende diepten. De MPT-test is een injectieproef waarbij het injectiedebiet elke 5 minuten stapsgewijs wordt verhoogd. Hiermee is voor verschillende diepten de doorlatendheid bepaald, de resultaten zijn opgenomen in onderstaande tabel. Voor de betekenis van de formatieaanduiding wordt verwezen naar rapportage 1215-0052-000.R01.

Tabel 2-4 Doorlatendheid op basis van minipomp-proeven Westervoort

Locatie	Dijkpaal	MV [m+ NAP]	Diepte [m+ NAP]	Formatie	Gemiddelde doorlatendheid [m/d]
Westervoort	48-229+65E	10,58	6,08	HLC	26
Westervoort	48-229+65E	10,58	0,09	KRE	79
Westervoort	48-229+65E	10,58	-13,91	DRE	16
Westervoort	48-230-10A	11,02	5,02	HLC	20
Westervoort	48-230-10A	11,02	0,03	KRE	150*
Westervoort	48-230-10A	11,02	-16,42	DRE	20

* Deze waarden betreffen schattingen: boven ca. 100 m/d wordt de MPT methode minder nauwkeurig.

2.6 Dissipatietesten

Bij de HPT-sonderingen zijn diverse dissipatietesten uitgevoerd, meestal als eerste stap van een mini-pompproef. Uit het drukverloop kan op veel verschillende methoden de doorlatendheid worden bepaald. In dit onderzoek zijn er twee gehanteerd.

- Directe fysische benadering (van Baars & van de Graaf, 2007)
Deze methode berekent de doorlatendheid als functie van de tijd die nodig is om tot 100% dissipatie te komen ($t_{100\%}$). Door de auteur wordt aangegeven dat deze methode specifiek voor organische kleien is ontwikkeld en dat voorzichtigheid betracht moet worden bij toepassing in niet-organische bodems zoals pure klei en zand. In het artikel wordt niet toegelicht waarom de methode hier ongeschikt voor is.
- Indirecte correlatiemethode (Parez & Fauriel, 1988)
Door (Parez & Fauriel, 1988) is een correlatiemethode opgesteld om doorlatendheid af te leiden uit de tijd tot 50% dissipatie ($t_{50\%}$). De correlatie loopt via laboratoriumtesten. De methode werkt op basis van dezelfde principes van dissipatie als hiervoor beschreven.

In onderstaande tabel zijn de resultaten voor deze locatie weergegeven.

Tabel 2-5: Resultaten k-bepaling o.b.v. dissipatietesten Westervoort

Locatie	Sondering	Dissipatie-test	Testdiepte [m+NAP]	k methode van Baars & v/d Graaf [m/d]	k methode Parez & Fauriel [m/d]
Westervoort	HPT48-229+65E	1	6,08	8,72E-04	1,8E+01
		2	0,09	9,78E-06	1,1E-01
		3	-13,91	2,00E-03	1,5E+01
		4	-16,90	6,29E-05	7,2E-01
	HPT48-230+10A	1	5,02	8,01E-04	1,4E+01
		2	0,03	6,77E-04	1,7E+01
		3	-16,42	8,15E-05	5,2E-01
			gemiddeld:	6,44E-04	9,3E+00

De resultaten op basis van de dissipatietesten geven lage doorlatendheden. Dit is in lijn met de bevindingen op de locatie Doeveren langs de Maas ten aanzien van dit type testen.

2.7 Overzicht resultaten Westervoort

De resultaten van de verschillende doorlatendheidsmethoden zijn opgenomen in bijlage 1 en beschreven in hoofdstuk 5.

3. PANNERDEN (DIJKPAAL 48-146 TOT 48-148)

3.1 Geohydrologische schematisering

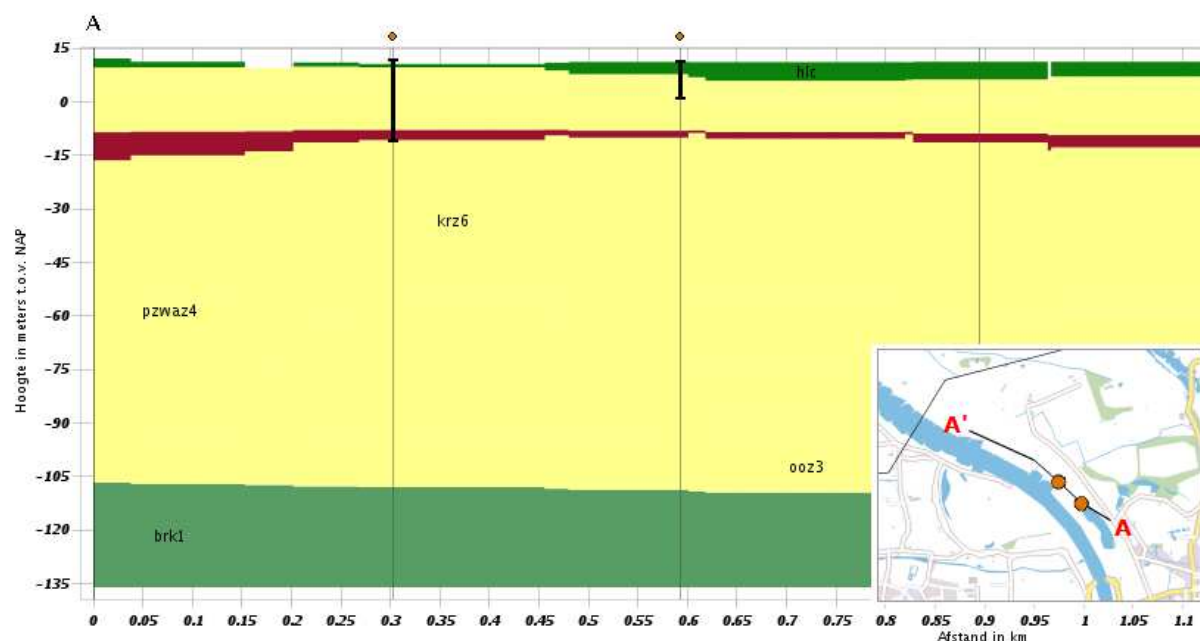
Op basis van het grondonderzoek dat is uitgevoerd door Multiconsult en Fugro en gegevens uit REGIS II, is de bodemopbouw geschematiseerd zoals is weergegeven in de onderstaande tabel.

Tabel 3-1: Globale bodemopbouw Pannerden, dijkpaal 149

Diepte [ca. NAP m]	Laagdikte [ca. m]	Bodembeschrijving	Laag
+12,5	-	Maaiveld	0
+12,5 tot +6,0 à +5,0*	7 à 8	KLEI, zwak tot matig zandig Waterremmende laag	1
+6,0 à +5,0* tot -7,0 à -7,5	12 à 13	ZAND, matig tot uiterst grof Watervoerend pakket 1	2
-7,0 à -7,5 tot -9,5 à -10,0	2,5	KLEI Waterremmende laag	3
-9,5 à -10,0 tot -105**	80 à 100	ZAND Watervoerend pakket 2	4

* Ter plaatse van dijkpaal 146 en 148 ligt de scheiding tussen laag 1 en 2 op ca. NAP +10,5 m.

** Maximale diepte grondonderzoek Multiconsult /Fugro verkende diepte: NAP -23 m.



Figuur 3-1: Doorsnede bodemopbouw regionale database REGIS II. Geel is zand, overige kleuren zijn waterremmende lagen

Het 1^e watervoerend pakket bestaat uit zand van de formatie van Kreftenheye. De transmissiviteit van dit pakket wordt op basis van de Grondwaterkaart van Nederland geschat tussen de 1.000 m²/dag en 1.500 m²/dag. Bij een dikte van ca. 12 m komt dit neer op een gemiddelde doorlatendheid van ca. 80 à 125 m/d.

3.2 Pompproef

Op de locatie Pannerden is door derden een pompproef uitgevoerd en uitgewerkt (datum rapportage 27 augustus 2015) in het 1^e watervoerend pakket. Uit deze analyse volgt een transmissiviteit van het 1^e watervoerend pakket van ca. 1500 m²/d. Bij een laagdikte van ca. 12 m komt dit neer op ca. 125 m/d. Dit komt goed overeen met de resultaten uit de Grondwaterkaart van Nederland.

Opgemerkt wordt dat bij de analyse van de pompproef gebruik is gemaakt van 1 peilbuis op afstand (MB02) en 1 direct naast de onttrekkingsbron. Twee andere peilbuizen PB62 en PB63 (wegdrukpeilbuizen) werden op basis van de meetresultaten minder betrouwbaar geacht. Tevens zijn geen peilbuizen geplaatst in het diepere 2^e watervoerend pakket, waardoor de weerstand tussen de beide watervoerende pakketten (van laag 3) niet kan worden bepaald. Dit maakt het lastig om een betrouwbare waarde voor de transmissiviteit voor het 1^e watervoerend pakket te bepalen, aangezien uit deze pompproef alleen een parameter wordt afgeleid die afhankelijk is van zowel de transmissiviteit als de weerstand. De afgeleide waarde ligt echter wel in de lijn der verwachting.

Opgemerkt wordt dat bij de locatie Pannerden diverse restgeulen, deels met klei gevuld, voorkomen. Er is niet aangegeven of, en zo ja, hoe, hiermee rekening is gehouden bij de uitwerking van de pompproef.

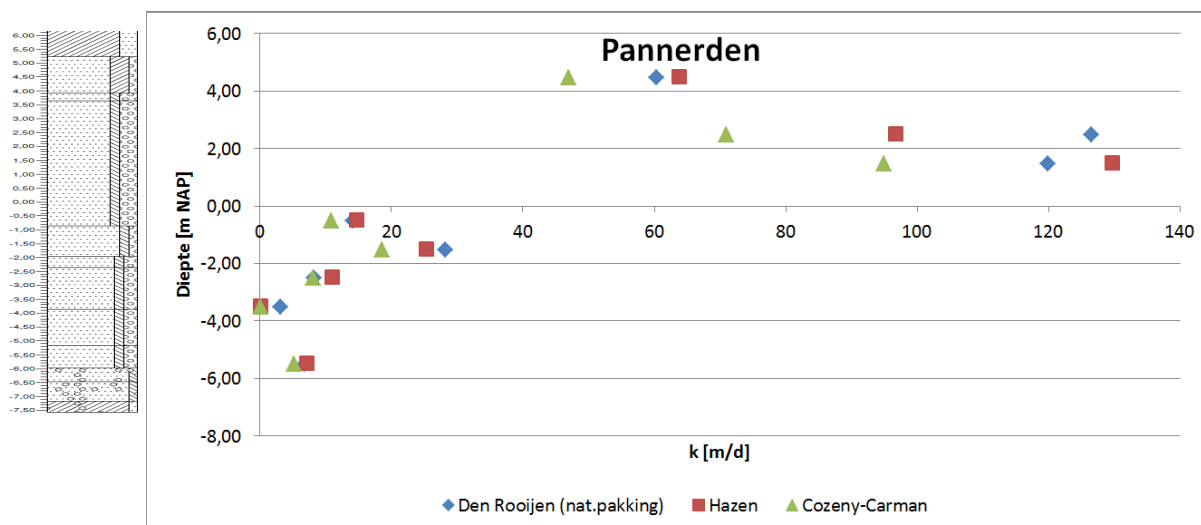
3.3 Korrelverdelingen

Op de locatie Pannerden zijn door derden zevingen uitgevoerd voor mengmonsters uit de boringen MB02. De doorlatendheid varieert sterk op basis van de korrelverdelingen. De resultaten van de mengmonsters 9, 11 en 12 geven de verwachte hoge doorlatendheden van >50 m/d. De gemiddelde doorlatendheid die volgt uit de verschillende methoden is echter significant lager dan de waarde uit de pompproef en de Grondwaterkaart van Nederland.

Tabel 3-2: Overzicht gegevens en berekende doorlatendheden uit de korrelverdelingen van boring MB02

Boringnr.	Meng-monster nr.	Beschrijving	B.k. monster [m NAP]	O.k. monster [m NAP]	Den Rooijen (1992) [m/d]			Hazen modified [m/d]	Kozeny-Carman (1953) [m/d]
					losse pakking (c ₀ =1,5E+04)	natuurlijke pakking (c ₀ =1,2E+04)	vaste pakking (c ₀ =1,0E+04)		
MB02-Pannerden	9	ZAND, ug	4,48	3,48	79	60	48	64	47
MB02-Pannerden	11	ZAND, ug	2,48	1,48	162	127	103	97	71
MB02-Pannerden	12	ZAND, ug	1,48	0,48	157	120	95	130	95
MB02-Pannerden	14	ZAND, mg	-0,52	-1,52	18	14	12	15	11
MB02-Pannerden	15	ZAND, zg	-1,52	-2,52	37	28	23	26	19
MB02-Pannerden	16	ZAND, ug	-2,52	-3,52	11	8	7	11	8
MB02-Pannerden	17	ZAND, ug	-3,52	-4,52	4	3	3	0	0
MB02-Pannerden	19	ZAND, zg	-5,52	-6,52	9	7	6	7	5
Aantal waarnemingen:					8	8	8	8	8
Gemiddelde waarde:					60	46	37	44	32

In de onderstaande figuur is eveneens het verloop van de doorlatendheid over de diepte getoond. Op basis van de korrelverdelingen is de bodem tussen NAP +0,0 en +5,0 m het meest doorlatend. De overige (lage) doorlatendheden worden met name bepaald door het relatief grote aandeel van de fijne fracties. Ook is de boorbeschrijving voor de gepresenteerde dieptes weergegeven. Er lijkt geen relatie te zijn tussen de berekende doorlatendheid op basis van de korrelverdelingen en de in de boorstaat opgenomen classificatie.



Figuur 3-2: Overzicht doorlatendheden berekend uit de korrelverdelingen

3.4 HPT-sonderingen

Op deze locatie zijn twee HPT-sonderingen uitgevoerd en verwerkt tot continue doorlatendheidsprofielen. Op basis van deze profielen is voor het 1^e watervoerend pakket, de gemiddelde doorlatendheid bepaald. Dit is gedaan door de gemiddelde doorlatendheid van de HPT-sonderingen te bepalen. Op basis van de sondeerresultaten is gecontroleerd of de metingen in het 1^e watervoerend pakket zijn uitgevoerd.

Tabel 3-3: Gemiddelde doorlatendheid 1^e WVP op basis van HPT-sonderingen Pannerden

HPT sondeernummer	Diepte waarover middeling heeft plaatsgevonden [m NAP]	Gemiddelde doorlatendheid [m/d]
HPT48-146+50D	7,80 - -8,00	80
HPT48-148C	9,00 - -4,00	75
	Gemiddeld:	78

3.5 Minipomp-proeven

Voor de verschillende locaties zijn meerdere minipomp-proeven (MPT-test) met het HPT systeem uitgevoerd op variërende diepten. De MPT-test is een injectieproef waarbij het injectiedebiet elke 5 minuten stapsgewijs wordt verhoogd. Hiermee is voor verschillende diepten de doorlatendheid bepaald, de resultaten zijn opgenomen in onderstaande tabel. Voor de betekenis van de formatieaanduiding wordt verwezen naar rapportage 1215-0052-000.R01.

Tabel 3-4 Doorlatendheid op basis van minipomp-proeven in m/d Pannerden

Locatie	Dijkpaal	Mv [m+ NAP]	Diepte [m+ NAP]	Formatie	Gemiddelde doorlatendheid [m/d]
Pannerden	48-146+50D	12,54	6,94	HLC	69
Pannerden	48-146+50D	12,54	-0,05	KRE	150*
Pannerden	48-146+50D	12,54	-6,06	KT1	52
Pannerden	48-148C	16,66	6,96	HLC	33
Pannerden	48-148C	16,66	-0,04	KRE	200*

* Deze waarden betreffen schattingen: boven ca. 100 m/d wordt de MPT methode minder nauwkeurig.

3.6 Dissipatietesten

Bij de HPT-sonderingen zijn diverse dissipatietesten uitgevoerd. Uit het drukverloop kan op veel verschillende methoden de doorlatendheid worden bepaald. In dit onderzoek zijn er twee gehanteerd.

- Directe fysische benadering (van Baars & van de Graaf, 2007)
Deze methode berekend de doorlatendheid als functie van de tijd die nodig is om tot 100% dissipatie te komen ($t_{100\%}$). Door de auteur wordt aangegeven dat deze methode specifiek voor organische kleien is ontwikkeld en dat voorzichtigheid betracht moet worden bij toepassing in niet-organische bodems zoals pure klei en zand. Er wordt niet toegelicht waarom de methode hier ongeschikt voor is.
- Indirecte correlatiemethode (Parez & Fauriel, 1988)
Door (Parez & Fauriel, 1988) is een correlatiemethode opgesteld om doorlatendheid af te leiden uit de tijd tot 50% dissipatie ($t_{50\%}$). De correlatie loopt via laboratoriumtesten. De methode werkt op basis van dezelfde principes van dissipatie als hiervoor beschreven.

In onderstaande tabel zijn de resultaten voor deze locatie weergegeven.

Tabel 3-5: Resultaten k-bepaling o.b.v. dissipatietesten Pannerden

Locatie	Sondering	Dissipatie-test	Testdiepte [m+NAP]	k methode van Baars & v/d Graaf [m/d]	k methode Parez & Fauriel [m/d]
Pannerden	HPT48-146+50D	1	6,94	7,34E-04	4,9E+00
		2	-0,05	9,78E-04	1,5E+01
		3	-6,06	8,81E-04	1,6E+01
	HPT48-148C	1	6,96	1,26E-04	4,4E+00
		2	-0,04	8,01E-04	1,2E+01
		3	-6,04	8,01E-05	3,8E+00
			gemiddeld:	6,00E-04	9,4E+00

3.7 Overzicht resultaten Pannerden

De resultaten van de verschillende doorlatendheidsmethoden zijn opgenomen in bijlage 1 en beschreven in hoofdstuk 5.

4. LOBITH (DIJKPAAL 48-072 TOT 48-073)

4.1 Geohydrologische schematisering

Op basis van het beschikbare grondonderzoek en gegevens uit REGIS II is de bodemopbouw geschematiseerd zoals is weergegeven in de onderstaande tabel.

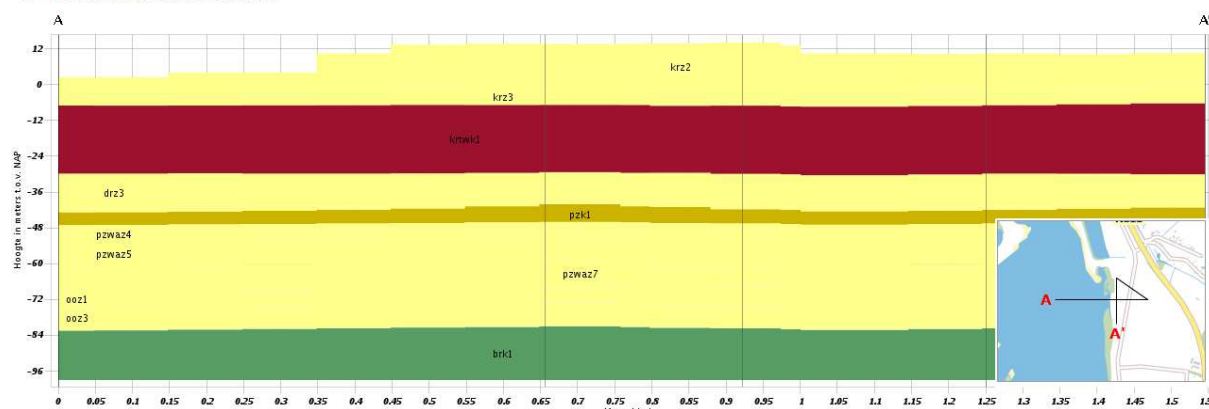
Tabel 4-1: Globale bodemopbouw Lobith

Diepte [ca. NAP m]	Laagdikte [ca. m]	Bodembeschrijving	Laag
+13,2 à +13,0	-	Maaiveld	0
+13,2 à +13,0 tot +11,2 à +10,5	2	KLEI/ZAND Waterremmende laag	1
+11,2 à +10,5 tot -7,5 à -9,0	19 (17 m watervoerend)	ZAND, matig tot uiterst grof Watervoerend pakket 1	2
-7,5 à -9,0 tot -30,0	22	KLEI/VEEN Waterremmende laag	3
-30,0 tot -44,0**	14	ZAND Watervoerend pakket 2	4

* Ter plaatse van dijkpaal 146 en 148 ligt de scheiding tussen laag 1 en 2 op ca. NAP +10,5 m.

** Maximale diepte grondonderzoek Multiconsult /Fugro verkende diepte: NAP -9,0 m.

's Gravenwaardsedam



Figuur 4-1: Doorsnede bodemopbouw regionale database REGIS II. Geel is zand, overige kleuren zijn waterremmende lagen

Het 1^e watervoerend pakket bestaat uit zand van de formatie van Kreftenheye. De transmissiviteit van dit pakket wordt op basis van de Grondwaterkaart van Nederland geschat tussen de 600 m²/dag en 800 m²/dag. Bij een watervoerende dikte van het 1^e watervoerend pakket van ca. 17 m (NAP +10 tot -7 m) komt dit neer op een doorlatendheid van ca. 35 à 50 m/d.

4.2 Pompproef

Op de locatie Lobith is door derden een pompproef uitgevoerd (Multiconsult, datum rapportage 28 augustus 2015) in het 1^e watervoerend pakket. Uit deze analyse volgt een transmissiviteit van het 1^e watervoerend pakket van ca. 2.100 m²/d (~124 m/d). Dit ligt ruim boven de waarden uit de Grondwaterkaart van Nederland.

Bij de uitwerking van deze pompproef zou sprake moeten zijn van een freatische zandlaag. Hier is rekening mee gehouden, er is echter een grote variatie aan doorlatendheden aangehouden voor de bovenste meters van het zandpakket, variërend tussen 0 en 150 m/d. Tevens dient de bergingscoëfficiënt bij een freatische zandlaag rond de 15 à 25% te liggen, maar bij de verschillende uitwerkingen worden waarden tussen de 1,7 en 28% aangehouden. Vermoedelijk is de invloed hiervan gering. Het bovenstaande suggereert wel dat aan de te fitten parameters geen grenswaarden zijn opgelegd, waardoor de berekende doorlatendheid met enige terughoudendheid toegepast zou mogen worden.

Tevens zou de enige verticale toestroom van grondwater van onderaf moeten komen bij deze pompproef. Aangezien de onderste kleilaag als ondoorlatend is geschematiseerd, is de toestroom geblokkeerd. Dit resulteert in een overschatting van de transmissiviteit van de zandlaag.

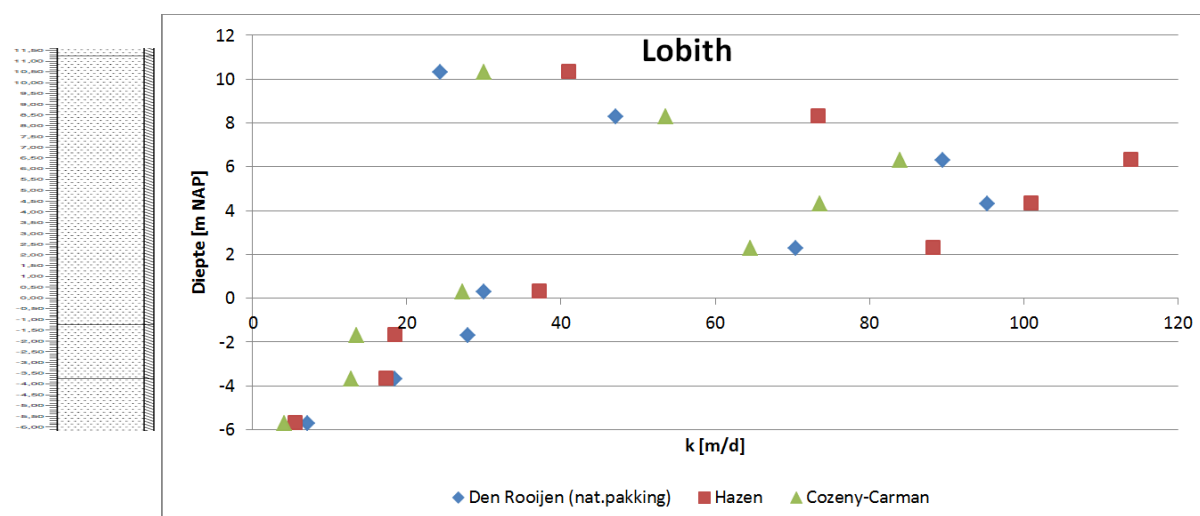
4.3 Korrelverdelingen

Op de locatie Lobith zijn door derden zevingen uitgevoerd voor mengmonsters uit de boringen MB03. De doorlatendheid varieert sterk op basis van de korrelverdelingen. De gemiddelde doorlatendheid die volgt uit de verschillende methoden liggen ongeveer in de range van waarden uit de Grondwaterkaart van Nederland.

Tabel 4-2: Overzicht gegevens en berekende doorlatendheden uit de korrelverdelingen van boring MB03

Boringnr.	Meng-monster nr.	Beschrijving	B.k. monster [m NAP]	O.k. monster [m NAP]	Doorlatendheidsbepaling				
					Den Rooijen (1992) [m/d]			Hazen modified [m/d]	Kozeny-Carman (1953) [m/d]
					losse pakking (c ₀ =1,5E+04)	natuurlijke pakking (c ₀ =1,2E+04)	vaste pakking (c ₀ =1,0E+04)		
MB03 - Lobith	4	ZAND, ug	10,3	9,3	34	24	18	41	30
MB03 - Lobith	6	ZAND, ug	8,3	7,3	66	47	34	73	54
MB03 - Lobith	8	ZAND, ug	6,3	5,3	122	90	68	114	84
MB03 - Lobith	10	ZAND, ug	4,3	3,3	128	95	73	101	74
MB03 - Lobith	12	ZAND, ug	2,3	1,3	94	70	55	88	65
MB03 - Lobith	14	ZAND, ug	0,3	-0,7	39	30	24	37	27
MB03 - Lobith	16	ZAND, zg	-1,7	-2,7	35	28	23	19	14
MB03 - Lobith	18	ZAND, mg	-3,7	-4,7	23	18	15	17	13
MB03 - Lobith	20	ZAND, mg	-5,7	-6,7	9	7	6	6	4
Aantal waarnemingen:					9	9	9	9	9
Gemiddelde waarde:					61	46	35	55	40

In de onderstaande figuur is eveneens het verloop van de doorlatendheid over de diepte getoond. Op basis van de korrelverdelingen is de bodem tussen NAP +1,0 en +8,0 m het meest doorlatend. De overige (lage) doorlatendheden worden met name bepaald door het relatief grote aandeel van de fijne fracties. In dit geval lijkt er geen enkele relatie te zijn tussen de korrelgrootteclassificatie en de berekende doorlatendheid op basis van de korrelverdelingen.



Figuur 4-2: Overzicht doorlatendheden berekend uit de korrelverdelingen

4.4 HPT-sonderingen

Op deze locatie zijn twee HPT-sonderingen uitgevoerd en verwerkt tot continue doorlatendheidsprofielen. Op basis van deze profielen is voor het 1^e watervoerend pakket, de gemiddelde doorlatendheid bepaald. Dit is gedaan door de gemiddelde doorlatendheid van de HPT-sonderingen te bepalen. Op basis van de sondeerresultaten is gecontroleerd of de metingen in het 1^e watervoerend pakket zijn uitgevoerd.

Tabel 4-3: Gemiddelde doorlatendheid 1^e WVP op basis van HPT-sonderingen Lobith

HPT sondeernummer	Diepte waarover middeling heeft plaatsgevonden [m NAP]	Gemiddelde doorlatendheid [m/d]
HPT48-072+15E	8,60 - -7,00	77
HPT48.073B	8,60 - -8,50	76
Gemiddeld:		77

4.5 Minipomp-proeven

Voor de verschillende locaties zijn meerdere minipomp-proeven (MPT test) met het HPT systeem uitgevoerd op variërende diepten. De MPT test is een injectieproef waarbij het injectiedebiet elke 5 minuten stapsgewijs wordt verhoogd. Hiermee is voor verschillende diepten de doorlatendheid bepaald, dit is weergegeven in onderstaande tabel. Voor de betekenis van de formatieaanduiding wordt verwezen naar rapportage 1215-0052-000.R01.

Tabel 4-4 Doorlatendheid op basis van minipomp-proeven in m/d.

Locatie	Dijkpaal	Mv [m+ NAP]	Diepte [m+ NAP]	Formatie	Gemiddelde doorlatendheid [m/d]
Lobith	48-073B	13,61	-4,98	KT1	68
Lobith	48-072+15E	13,55	7,95	HLC	58
Lobith	48-072+15E	13,55	-4,25	KT1	19

4.6 Dissipatietesten

Bij de HPT-sonderingen zijn diverse dissipatietesten uitgevoerd, meestal als eerste stap van een mini-pompproef. Uit het drukverloop kan op veel verschillende methoden de doorlatendheid worden bepaald. In dit onderzoek zijn er twee gehanteerd.

- Directe fysische benadering (van Baars & van de Graaf, 2007)
Deze methode berekend de doorlatendheid als functie van de tijd die nodig is om tot 100% dissipatie te komen ($t_{100\%}$). Door de auteur wordt aangegeven dat deze methode specifiek voor organische kleien is ontwikkeld en dat voorzichtigheid betracht moet worden bij toepassing in niet-organische bodems zoals pure klei en zand. Er wordt niet toegelicht waarom de methode hier ongeschikt voor is.
- Indirecte correlatiemethode (Parez & Fauriel, 1988)
Door (Parez & Fauriel, 1988) is een correlatiemethode opgesteld om doorlatendheid af te leiden uit de tijd tot 50% dissipatie ($t_{50\%}$). De correlatie loopt via laboratoriumtesten. De methode werkt op basis van dezelfde principes van dissipatie als hiervoor beschreven.

In onderstaande tabel zijn de resultaten voor deze locatie weergegeven.

Tabel 4-5: Resultaten k-bepaling o.b.v. dissipatietesten Lobith

Locatie	Sondering	Dissipatie-test	Testdiepte [m+NAP]	k methode van Baars & v/d Graaf [m/d]	k methode Parez & Fauriel [m/d]
Lobith	HPT48-072+15E	1	7,95	7,72E-05	2,7E-01
		2	-4,25	6,57E-04	4,6E+00
	HPT48-073B	1	8,01	2,94E-05	7,6E-01
		2	-4,98	8,01E-04	4,9E+00
		3	-8,87	2,20E-04	2,9E+00
				gemiddeld:	3,57E-04

4.7 Overzicht resultaten Lobith

De resultaten van de verschillende doorlatendheidsmethoden zijn opgenomen in bijlage 1 en beschreven in hoofdstuk 5.

5. OVERZICHT RESULTATEN

In bijlage 1 zijn de resultaten van de verschillende doorlatendheidsmethoden per locatie in grafiekvorm opgenomen. Vanwege het lognormale gedrag van doorlatendheden is gekozen voor een log-normale verdeling. Let dus op de log-schaal van de verticale as waarop de doorlatendheid is uitgezet. Op basis van deze resultaten worden de volgende observaties gemaakt:

Dissipatietesten

De doorlatendheidsbepaling op basis van de dissipatietesten resulteren in lage berekende doorlatendheden. Op basis van de methode volgens Van Baars & Van de Graaf zijn doorlatendheden bepaald kleiner dan 1 m/d. Deze methode is ook ontwikkeld voor organische kleien. Het fysisch model wat gebruikt wordt is in principe echter onafhankelijk van de grondsoort en zou dus ook voor zand toepasbaar moeten zijn.

Toepassing van de (empirische) methode van Perez & Fauriel resulteert weliswaar in hogere en meer realistischere doorlatendheden, maar relatief gezien liggen de berekende doorlatendheden aan de lage kant ten opzichte van de overige methoden. Het afleiden van de doorlatendheid op basis van dissipatietesten zal leiden tot een onderschatting van de doorlatendheid.

Korrelverdelingsmethoden

Binnen de korrelverdelingsmethoden lijkt de methode volgens Cozeny-Carman de laagste doorlatendheid te geven en Hazen de hoogste. Over het algemeen ligt de berekende doorlatendheid op basis van Den Rooijen hier tussenin. De berekende doorlatendheid op basis van de korrelverdelingen komen voor het bovenste deel van het watervoerend pakket redelijk overeen met het doorlatendheidsprofiel op basis van de HPT-sonderingen. De korrelverdelingsmethoden laten een sterke afname in doorlatendheid zien voor het diepere deel van het watervoerend pakket. Hoewel deze afname ook terug is te zien in de doorlatendheidsprofielen, is de teruggang hier minder uitgesproken aanwezig. De doorlatendheidsprofielen laten af en toe wel een sterke terugname in doorlatendheid zien, maar deze zijn qua diepte en grootte niet direct te relateren aan de lage doorlatendheid berekend op basis van de korrelverdelingen. Hierbij wordt echter opgemerkt dat de locaties van het grondonderzoek niet gelijk zijn en de ondergrond qua laagopbouw en dieptes van de lagen lokaal kunnen verschillen.

Doorlatendheidsprofielen op basis van HPT-sonderingen incl. MPT-testen

Gemiddeld genomen sluit het doorlatendheidsprofiel op basis van de HPT-sonderingen aan op de waarden uit de Grondwaterkaart van Nederland. Dit geldt in mindere mate voor de locatie Lobith waar op basis van de Grondwaterkaart relatief lage doorlatendheden zijn bepaald. Het doorlatendheidsprofiel op deze locatie lijkt beter aan te sluiten op de doorlatendheid zoals die is bepaald bij de uitwerking van de pompproef, temeer als men zich realiseert dat de bij de uitwerking van de pompproef de doorlatendheid waarschijnlijk is overschat.

De HPT-sondering in combinatie met de mini-pompproeven (MPT) levert een continu doorlatendheidsprofiel van de ondergrond. De HPT-sondering levert een Q/P-relatie (Q=debiet; P=druk) van de ondergrond. Op basis van de mini-pompproeven is dit vertaald naar een absoluut doorlatendheidsprofiel. De resultaten van de mini-pompproeven liggen dan ook in hetzelfde bereik als de doorlatendheidsprofielen.