



Geotechnisch Advies

Opbarstberekningen KWA Lopikerwaard

projectnummer 0417961.00
concept
28 augustus 2017

Geotechnisch Advies

Opbarstberekningen KWA Lopikerwaard

projectnummer 0417961.00
documentnummer 20170714-417961-Rap-Geotechnisch Advies opbarstberekningen R0.1
concept revisie 02
28 augustus 2017

Auteurs

J. Prins
D. ter Haar
H. van Meekeren

Opdrachtgever

Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden
Postbus 550
3990 GJ Houten

datum vrijgave	beschrijving revisie 02	goedkeuring	vrijgave
	concept	H. van Meekeren	M.J.M. Berk

Inhoudsopgave

Blz.

1	Inleiding	1
1.1	Algemeen	1
1.2	Doel	1
1.3	Raakvlakdocumenten	2
1.4	Revisiebeheer	2
1.5	Leeswijzer	2
2	Uitgangspunten	3
2.1	Algemene Uitgangspunten	3
2.2	Kadevakindefining en geometrie	3
2.3	Bodemopbouw en grondparameters	4
2.4	Tracédeel A	5
2.5	Tracédeel B	6
2.6	Tracédeel C	6
2.7	Tracédeel D	7
3	Analyse peilbuizen	8
3.1	Beschikbare gegevens	8
3.2	Interpretatie GWS-metingen	9
3.2.1	Tracédeel D	9
3.3	Tracédeel D	11
3.4	Gehanteerde stijghoogten in de berekening	14
3.5	Tracédeel C	17
4	Opbarstberekeningen	19
4.1	Berekeningsmethode	19
4.2	Talud van sloot	19
4.3	Tracédeel D	21
4.4	Tracédeel C	24
4.5	Samenvatting	25
5	Verbetermaatregelen	27
5.1	Analyse tweede watervoerende zandlaag	27
5.2	Ingraven van klei	29
6	Risico's	31
7	Conclusie en aanbevelingen	32
8	Referenties	33

Bijlage 1 Peilbuiswaarnemingen

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Voor een betere zoetwater toevoer in droge perioden is Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (in dit rapport verder HDSR genoemd) bezig om de capaciteit van de bestaande Lopikerwaardroute uit te breiden. Hiervoor worden bestaande watergangen over ca. 14,5 km uitgediept en verbreed.

De Lopikerwaardroute is opgedeeld in 4 tracédelen: A t/m D. In figuur 1-1 is de ligging van deze tracés weergegeven.



figuur 1-1: Overzicht Lopikerwaard, tracédeel A t/m D uit notitie Geodijk.

Op dit moment ontstaan er problemen als door verdroging en verzilting de normale Waterinlaat in de Hollandsche IJssel bij Gouda moet worden stilgelegd.

1.2 Doel

Voor het gehele tracédeel zijn reeds opbarstberekningen uitgevoerd door Geodijk. Alleen is gebleken dat er lokaal zandopduikingen zijn, met name in tracédeel C + D. Dit heeft geleid tot het uitvoeren van aanvullend grondonderzoek met 42 boringen. Antea Nederland is gevraagd om aanvullende berekeningen uit te voeren. Dit rapport richt zich op de controle op opbarsten van de Lopikerwaardroute voor tracédeel A t/m D, waarbij de nieuwste informatie uit het grond- en laboratoriumonderzoek is meegenomen. Indien nodig worden maatregelen aangegeven en uitgewerkt om opbarsten te voorkomen.

1.3 Raakvlakdocumenten

In een eerdere fase is door Geodijk reeds een analyse uitgewerkt van het opbarsten door de Lopikerwaard. Hierop is een second opinion uitgevoerd door Antea Nederland.

- Geodijk – Notitie Opbarstgevoeligheid en stabiliteit KWA – Lopikerwaardroute, kenmerk N01NL1053098C02, d.d. 18 mei 2016 [1]
- Antea Nederland, beoordeling notitie Geodijk, kenmerk 01072016-411185-mem-Geo-01, d.d. 23 juni 2016 [2]

1.4 Revisiebeheer

Tabel 1-1: Revisiebeheer

Revisie	status	Datum	Gewijzigde hoofdstukken	Beschrijving wijzigingen
0.2	Concept	15-09-2017	–	Verwerking opmerkingen HDSR

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 zijn de uitgangspunten van de berekeningen vermeld, gericht op geometrische en geotechnische uitgangspunten per tracédeel. In hoofdstuk 3 zal dieper ingegaan worden op de geanalyseerde peilbuizen in de omgeving en de afgeleide stijghoogte. Vervolgens worden in hoofdstuk 4 de opbarstberekening toegelicht. Tevens worden de mogelijke randeffecten benoemd en wordt een uiteindelijke analyse van het maaiveld en de slootbodem gedaan. Daarna worden in hoofdstuk 5 de berekende maatregelen toegelicht. In hoofdstuk 6 worden de conclusies weergegeven.

2 Uitgangspunten

In dit hoofdstuk zijn de uitgangspunten voor de opbarstberekningen vermeld.

2.1 Algemene Uitgangspunten

Binnen dit onderzoek zijn de volgende stappen doorlopen:

- Eerst is het opbarst risico van de bodem van de nieuwe watergang bepaald
- Vervolgens is het opbarst risico van het naastgelegen maaiveld beschouwd om te voorkomen dat de sloot bodem 'sterker' wordt gemaakt dan ernaast.

2.2 Indeling en geometrie

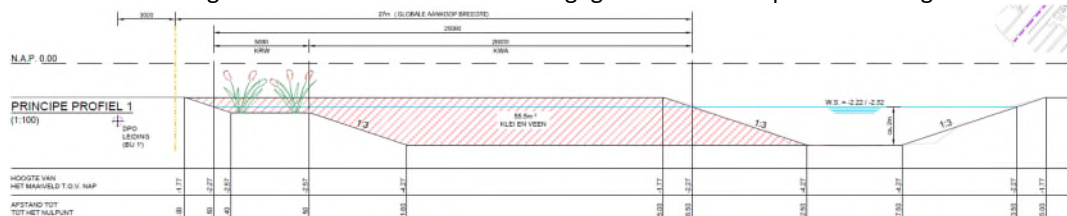
In de notitie van Geodijk zijn een 3-tal varianten opgenomen met diverse dwarsprofielen per tracédeel. Hieruit zijn de breedte van de slootbodembodem, taludhelling en bodemniveau uitgehaald voor de globale geometrie van de watergang. Deze zijn samen met de te hanteren boringen weergegeven in *tabel 2-1*.

tabel 2-1: De slootbodembodem, taludhelling, bodemniveau en het waterpeil in de sloot per tracédeel

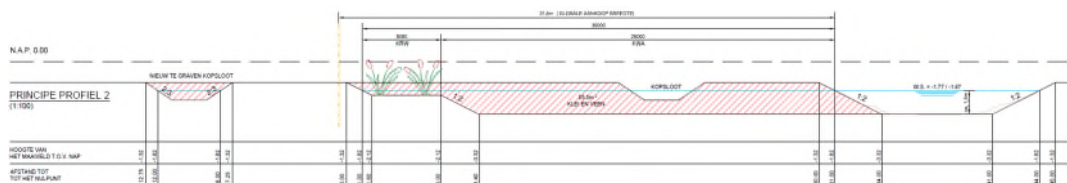
Tracédeel	Lengte [km]	Breedte slootbodembodem* [m]	Talud [-]	Bodemniveau* [m NAP]	winterpeil [m NAP]	Boringen [-]
A	5,78	25,9 – 24,1	1:3	-4,27/-4,57	-2,32	1 t/m 9
B	2,01	32,6 – 31,0	1:3	-3,32/-3,62	-1,87	10 t/m 16
C	3,38	32,6 – 21,1	1:3	-4,12/-4,62	-1,87	17 t/m 26
D	3,30	19,7 – 11,9	1:3	-4,12/-4,62	-1,87	27 t/m 42

*de eerst genoemde breedte/hoogte is ontleend aan Variant 1, de 2^e aan Variant 3.

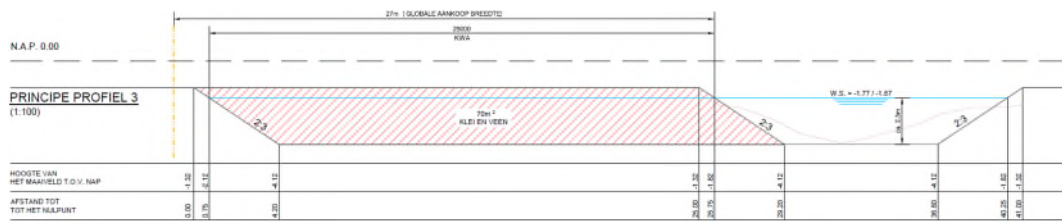
In onderstaande figuren is voor de tracédelen weergegeven welk slootprofiel wordt gehanteerd.



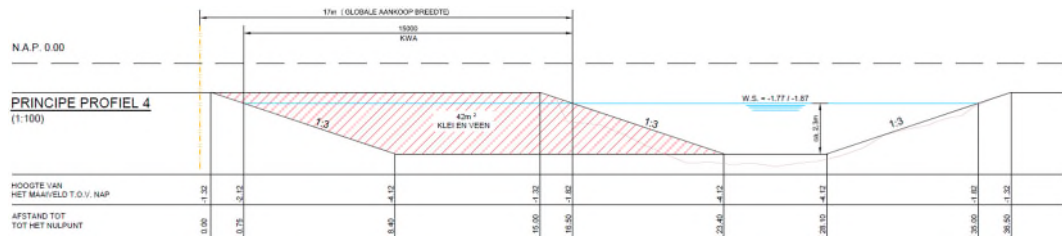
figuur 2-1: Slootprofiel voor tracédeel A; B_{mv} = 39 à 45 m; ws = NAP-2,22/-2,32 m (Variant 1).



figuur 2-2: Slootprofiel voor tracédeel B; B_{mv} = 39 à 45 m; ws = NAP-1,77/-1,87 m (Variant 1).



figuur 2-3: Slootprofiel voor tracédeel C; $B_{mv} = 41$ m; $ws = \text{NAP}-1,77/-1,87$ m (Variant 1).



figuur 2-4: Slootprofiel voor tracédeel D; $B_{mv} = 36,50$ m; $ws = \text{NAP}-1,77/-1,87$ m (Variant 1).

2.3 Bodemopbouw en grondparameters

Voor de second opinion zijn boringen en peilbuizen uit Dinoloket gebruikt om een analyse te doen van de bodemopbouw en de stijghoogten. Dit gaf onvoldoende informatie in met name tracédeel C + D. Er ontbrak informatie over de volumegewichten en het was niet duidelijk of de afsluitende laag rondom NAP-10 m aanwezig was. Daarom is ter plaatse van tracédelen aanvullend grondonderzoek uitgevoerd door Fugro Geoservice BV. Het onderzoek bestaat uit 42 mechanische boringen die gezet zijn tot een diepte van circa 12 m-mv. Tevens zijn in een groot deel van de boringen peilbuizen geplaatst voor de monitoring van de freatische grondwaterstand en de stijghoogte in het watervoerend zandpakket, zie hoofdstuk 3. In figuur 2-5 is de positie van de nieuwe boringen uitgezet over het gehele gebied.



figuur 2-5: Locatie van recent geplaatste boringen.

Om de opbouw en de grondspanningen in de ondergrond te kunnen bepalen zijn per boring in het veld diverse ongeroerde monster gestoken. Deze gestoken monsters zijn in het laboratorium gewogen en de resultaten hieruit zijn meegenomen in de analyse.

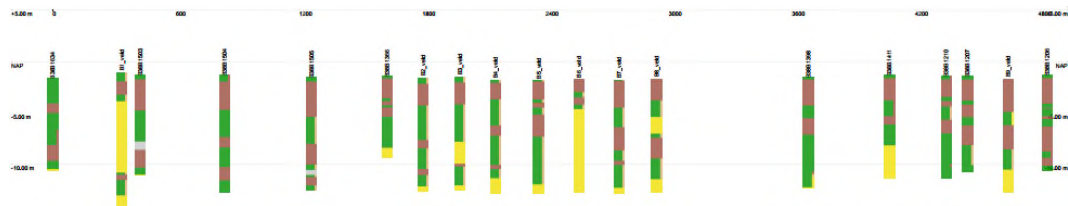
Voor de analyse met de dinoloket-boringen zijn gemiddelde volumegewichten gebruikt. Deze volumegewichten zijn per tracédeel per grondsoort bepaald. In tabel 2-2 zijn deze parameters weergegeven.

tabel 2-2: De gemiddelde volumegewichten per tracédeel en grondsoort

Tracédeel	Veen [kN/m ³]	Klei, humeus [kN/m ³]	Klei [kN/m ³]	Zand / Leem [kN/m ³]
A	10,94	13,06	15,94	19,85
B	11,91		15,35	20,23
C	10,77	13,00	14,27	19,57
D	10,97		15,24	18,55

Het volledige traject van de KWA-Lopikerwaard is opgedeeld in 4 delen. In de volgende paragrafen wordt ingegaan op de globale bodemopbouw per tracédeel. De voorliggende opbarst-analyse is uitgevoerd met de boringen uit DINO-loket en aangevuld met de meest recent geplaatste boringen. Per tracédeel is een afbeelding weergegeven waarbij de boringen qua hoogte t.o.v. NAP zijn geplaatst en in horizontale richting in meters ten opzichte van het voorgaande tracédeel. De grondsoorten zijn aangegeven door middel van kleurcodes (i.e. zand is geel, klei is groen, veen is bruin).

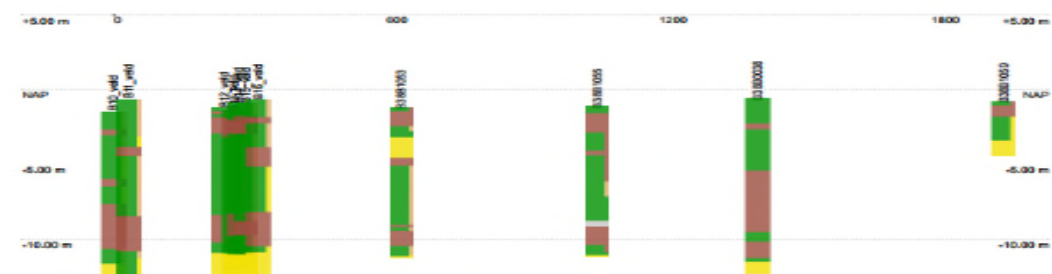
2.4 Tracédeel A



figuur 2-6: Overzicht aanwezige boringen op tracédeel A (B1 t/m B9)

Er bevindt zich in dit tracédeel één boring (B6) waarbij het zand hoog in het bodemprofiel is aangetroffen.

2.5 Tracédeel B



figuur 2-7: Overzicht aanwezige boringen op tracédeel B (B10 t/m B16).

Uit het profiel blijkt wanneer de bodem van de sloot op een niveau van NAP-3,62 m wordt aangelegd, de bodem grotendeels uit klei bestaat. De waterremmende laag is aanwezig tot een diepte van circa NAP-10,0 m.

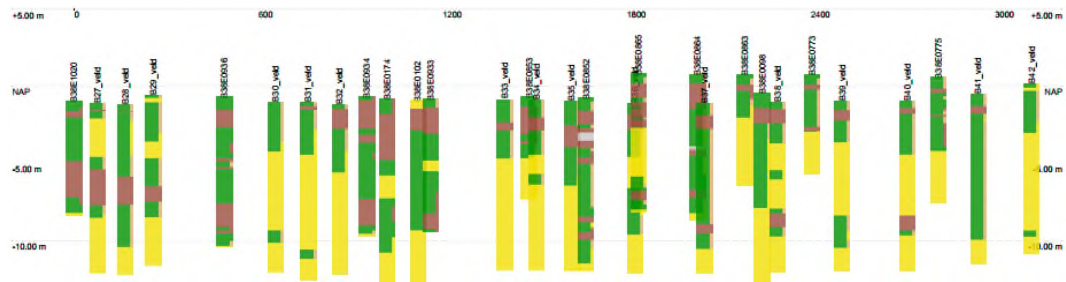
2.6 Tracédeel C



figuur 2-8: Overzicht aanwezige boringen op tracédeel C (B38B1061 t/m B26).

In tracédeel C is een bodemopbouw gevonden die voornamelijk uit veen en klei bestaat tot een diepte van NAP-10,0 m. Wanneer de bodem van de sloot op een niveau van NAP-4,62 m wordt aangelegd, dan bestaat de bodem aan de linkerzijde en rechterzijde van het profiel grotendeels uit klei en in het midden van het profiel uit veen.

2.7 Tracédeel D



figuur 2-9: Overzicht aanwezige boringen op tracédeel D (B38E1020 t/m B42)

Ten opzichte van de overige tracédelen verschilt dit tracédeel doordat het zand veel hoger in het bodemprofiel voorkomt. De zandlaag die aanwezig is, bevindt zich hier al boven de NAP-5,0 m. Uit de afbeelding is vooruitlopend op de nog te maken analyse te zien dat wanneer de waterloop gerealiseerd wordt op NAP-4,62 m de kans aanwezig is, dat grote delen van de bodem het zandpakket aansnijden.

3 Analyse peilbuizen

3.1 Beschikbare gegevens

Voor een nadere detaillering van de stijghoogte in het ontwerp zijn een aantal peilbuizen geplaatst in combinatie met de mechanische boringen. Verder zijn een aantal peilbuizen uit Dinoloket beschikbaar. In tabel 3-1 is een overzicht weergegeven van de peilbuizen per locatie, inclusief de filterdiepten en de meetperiode.

tabel 3-1: Gegevens van de gebruikte peilbuizen.

Boring	Tracédeel	Diepte filter 1 [m NAP]	Locatie meting	Diepte filter 2 [m NAP]	Locatie	Periode
B1	A	-13 tot -14	Stijghoogte 2 ^e wvp	-6 tot -7	Stijghoogte 1 ^e wvp	3 maanden
B9	A	-7 tot -8	Freatisch	-13 tot -14	Stijghoogte	3 maanden
B38B0211	A	-2 tot -3	Freatisch	-20 tot -22	Stijghoogte	2003 – 2017
B17	C	-12 tot -13	Stijghoogte	-6,5 tot -7,5	Freatisch	3 maanden
B19	C	-12 tot -13	Stijghoogte	-4,5 tot -5,5	Freatisch	3 maanden
B20	C	-11 tot -12	Stijghoogte	–	–	3 maanden
B38B0095	C	-14 tot -15	Stijghoogte	–	–	1972 – 1975
B21	C	-11 tot -12	Stijghoogte	-2 tot -3	Freatisch	3 maanden
B22	C	-12 tot -13	Stijghoogte	–	–	3 maanden
B23	C	-12 tot -13	Stijghoogte 2 ^e wvp	-4 tot -5	Stijghoogte 1 ^e wvp	3 maanden
B24	C	Onbetrouwbare metingen met stijghoogte 4 m boven maaiveld en grondwaterstand 6 m minus maaiveld. Daarom niet beschouwd.				3 maanden
B25	C	-11 tot -12	Stijghoogte	–	–	3 maanden
B26	C	-11 tot -12	Stijghoogte	–	–	3 maanden
B27	D	-11 tot -12	Stijghoogte 2 ^e wvp	-4 tot -5	Stijghoogte 1 ^e wvp	3 maanden
B38E0061	D	-20,5 tot -21,5	Stijghoogte	–	–	1960 – 2009
B28	D	-11 tot -12	Stijghoogte	-6,5 tot -7,5	Freatisch	3 maanden
B29	D	-10,5 tot -11,5	Stijghoogte	-5,5 tot -6,5	Freatisch	3 maanden
B38E0181	D	-18 tot -20	Stijghoogte	–	–	2004 – 2010
B30	D	-11 tot -12	Stijghoogte 2 ^e wvp	-6 tot -7	Stijghoogte 1 ^e wvp	3 maanden
B31	D	-11,5 tot -12,5	Stijghoogte 2 ^e wvp	-6 tot -7	Stijghoogte 1 ^e wvp	3 maanden
B32	D	-11,5 tot -12,5	Stijghoogte 2 ^e wvp	-6,5 tot -7,5	Stijghoogte 1 ^e wvp	3 maanden
B38E0102	D	-15 tot -17	Stijghoogte	–	–	1974 – 2011
B38E0103	D	-13 tot -15	Stijghoogte	–	–	1974 – 2004
B33	D	-11 tot -12	Stijghoogte	–	–	3 maanden
B34	D	-11 tot -12	Stijghoogte	–	–	3 maanden
B35	D	-11 tot -12	Stijghoogte	–	–	3 maanden
B36	D	-11 tot -12	Stijghoogte 2 ^e wvp	-6 tot -7	Stijghoogte 1 ^e wvp	2 maanden
B38	D	-11 tot -12	Stijghoogte 2 ^e wvp	-7 tot -8	Stijghoogte 1 ^e wvp	3 maanden
B38B0098	D	-32 tot -34	Stijghoogte	–	–	1974 – 2008
B40	D	-11 tot -12	Stijghoogte 2 ^e wvp	-6,5 tot -7,5	Stijghoogte 1 ^e wvp	3 maanden
B42	D	-10 tot -11	Stijghoogte 2 ^e wvp	-5 tot -6	Stijghoogte 1 ^e wvp	3 maanden
B38E0109	D	-14 tot -16	Stijghoogte	–	–	1976 – 1983

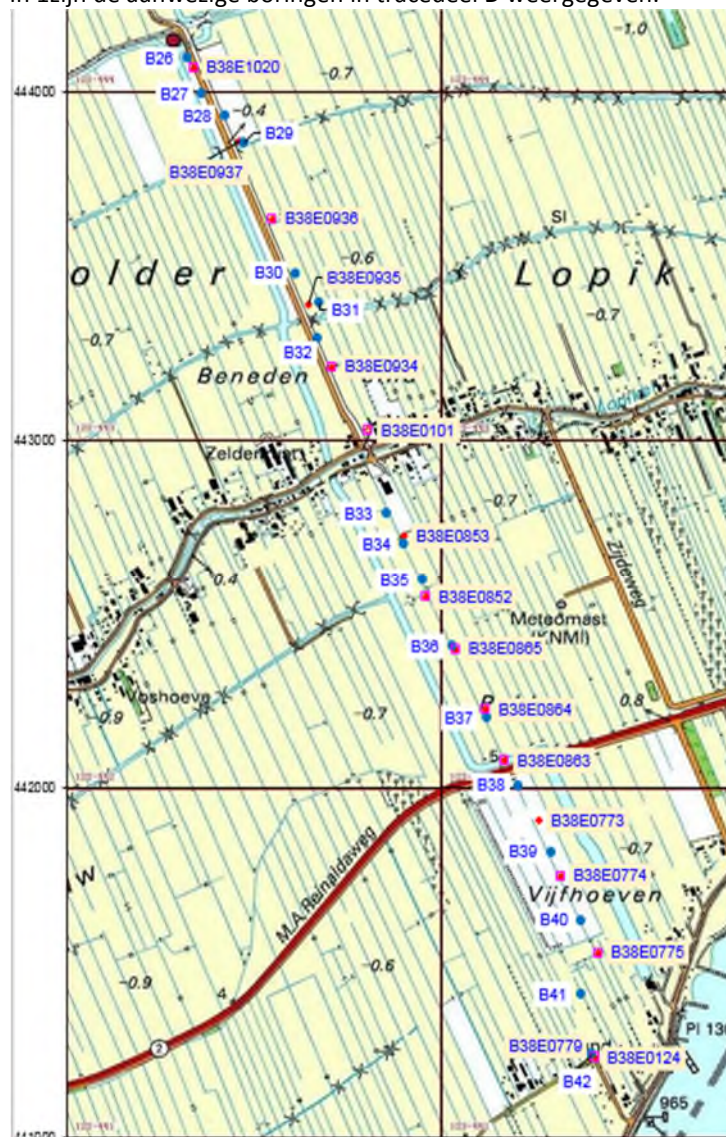
3.2 Tracédeel D

In de peilbuizen die door Fugro zijn geplaatst, zijn de stijghoogten gedurende 3 maanden in 2017 gemeten. Deze meetperiode is te kort om daaruit ontwerp-stijghoogten te bepalen. Wel geven deze metingen inzicht in het aanwezige potentiaalverschil tussen stijghoogte en freatische grondwaterspiegel (=GWS) alsmede het verhang dat over een tracédeel kan optreden.

Beschikbare gegevens uit Dinoloket zijn gebruikt om de extrema in de tijd te kunnen bepalen. De ontwerp-stijghoogten worden per tracédeel bepaald.

3.2.1 Interpretatie GWS-metingen

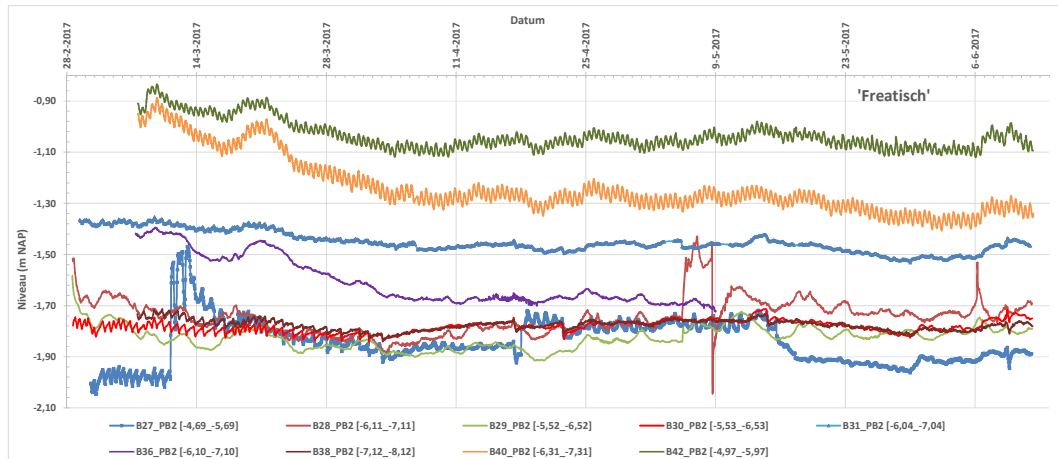
In 1 zijn de aanwezige boringen in tracédeel D weergegeven.



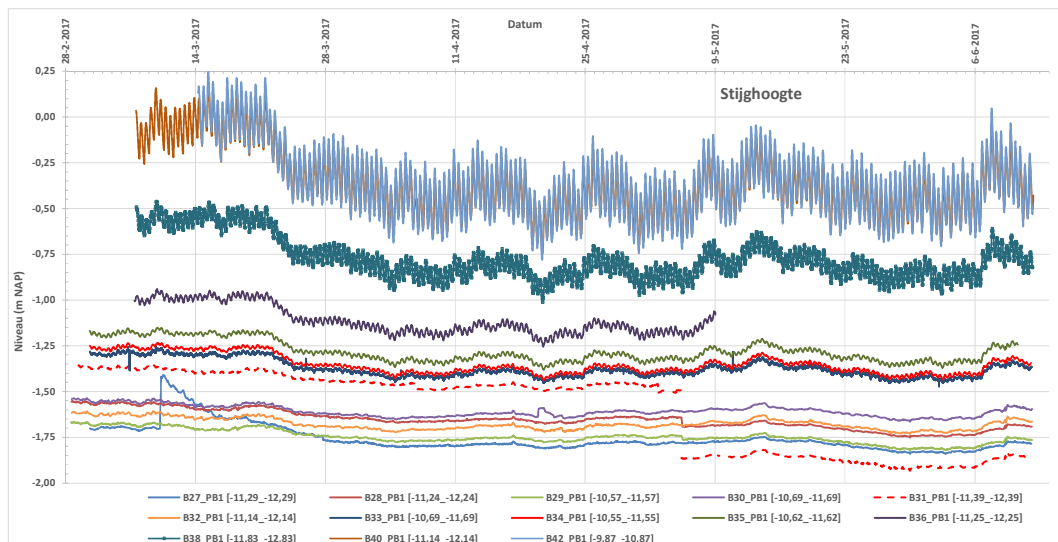
figuur 3-1: Overzicht aanwezige boringen op tracédeel D (B26 t/m B42).

In de boringen B26, B33, B34, en B35 is één peilbuis aangebracht en in de boringen B27 t/m B32, B36, B38, B40 en B42 zijn twee peilbuizen aangebracht.

In figuur 3-2 **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** is het verloop van de freatische of ondiep GWS weergegeven en in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** is het verloop van de stijghoogte afgebeeld. Er blijkt een verhang vanaf de Lek richting polder aanwezig te zijn vanaf Pb42 → Pb 30. Peilbuis Pb31 verstoort dit beeld door een hogere freatische GWS te laten zien dan Pb 36. De overige grondwaterstanden fluctueren tussen NAP-1,70_-1,90 m.



figuur 3-2: 'Freatische GWS' gegevens tracédeel D.



figuur 3-3: Stijghoogte gegevens tracédeel D.

Uit figuur 3-2 en 3-3 blijkt dat de getij-fluctuatie meetbaar is tot in peilbuis Pb34 en uitdempt naarmate de afstand tot de Lek toeneemt. Ook hier is een gradiënt in de stijghoogte aanwezig vanaf de Lek richting polder Pb42 → Pb 30.

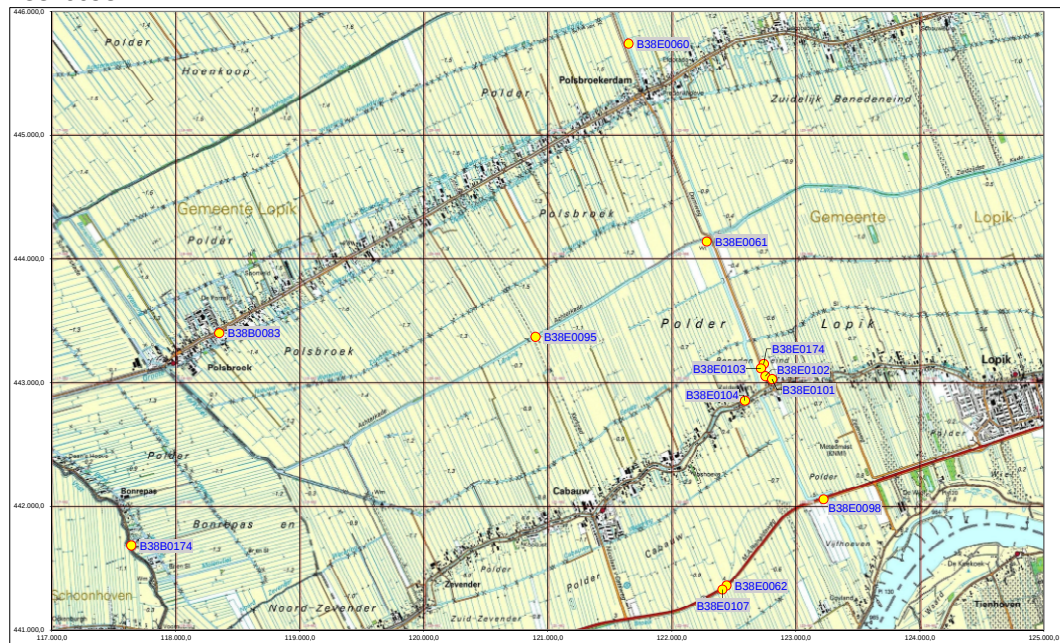
Tevens volgt uit de peilbuisgegevens dat er een verval is over het slecht doorlatend pakket (stijghoogte en freatische grondwaterstand). De volgende verschillen zijn aanwezig:

- B27: → $\Delta H = \text{ca. } 0,10 \text{ m.}$

- B28: $\rightarrow \Delta H = \text{ca. } 0,10 \text{ m.}$
- B29: $\rightarrow \Delta H = \text{ca. } 0,10 \text{ m.}$
- B30: $\rightarrow \Delta H = \text{ca. } 0,20 \text{ m.}$
- B31: Hier missen een aantal stijghoogtemetingen en daarnaast is een vreemde sprong aanwezig van 0,50 m op 5 mei 2017 in de stijghoogte binnen 2 uur tijd. Vóór deze sprong zijn de metingen, GWS en stijghoogte, nagenoeg gelijk aan elkaar. Beide peilbuizen zijn in het zand geplaatst met een dunne kleilaag ertussen. Dit duidt op een hydraulische kortsluiting of een registratie fout. Na de sprong is het verschil groter en wordt het ca. 0,40 m.
- B36: $\rightarrow \Delta H = \text{ca. } 0,50 \text{ m.}$
- B38: $\rightarrow \Delta H = \text{ca. } 1,00 \text{ m.}$
- B40: $\rightarrow \Delta H = \text{ca. } 1,00 \text{ m.}$
- B42: $\rightarrow \Delta H = 0,75 \text{ m tot } 1,00 \text{ m.}$

3.2.2 Interpretatie DINO-metingen

Langs het tracédeel D staan de volgende peilbuizen B38E0060, B38E0061, B38E0102 (=cluster) en B38E0098.



figuur 3-4: Locatie van de peilbuizen uit Dino-loket.

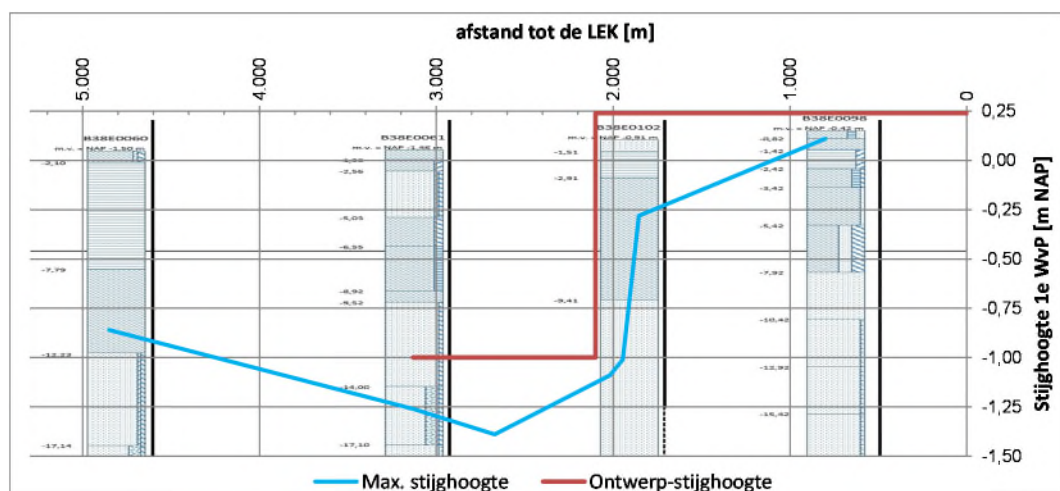
Peilbuis B38E0098 staat ter hoogte van de N210 en van de peilbuizen langs tracédeel D het dichtst bij de Lek. Het filter staat op NAP-31,93_-33,93 m in het 1^e watervoerende pakket (=WvP; zie ook bijlage 1). De meetreeks loopt van 1974-2010. De stijghoogte fluctueert van NAP+0,10 m tot NAP-1,20 m. Opmerkelijk is dat de maxima tot 1987 (NAP+0,11 m) hoger zijn dan daarna NAP-0,23 m.

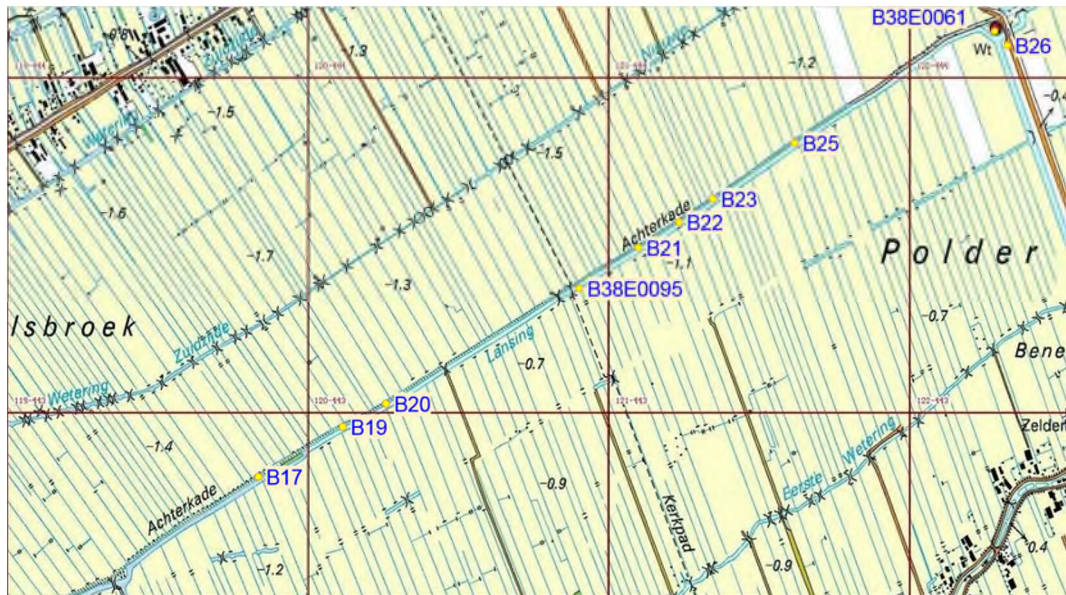
Meer landinwaarts staat een cluster van peilbuizen: B38E0102, 103, 104, B38E1880. De filters staan tussen NAP-11,98 m en NAP-17,28 m in het 1^e WvP (zie bijlage 1). De meetreeks loopt van 1974-2010. De stijghoogte fluctueert van NAP-0,95 m tot NAP-1,95 m. Rond 2000 zijn twee afwijkende extrema gemeten namelijk: NAP-0,28 m en NAP-0,73 m.

In peilbuis B38E1880 is de freatische grondwaterstand (gws) gemeten daar het filter staat tussen NAP-2,54_ -3,54 m. Deze metingen zijn van recente datum 2012-2016 en zijn praktisch gelijk aan de stijghoogte in het 1^e WvP.

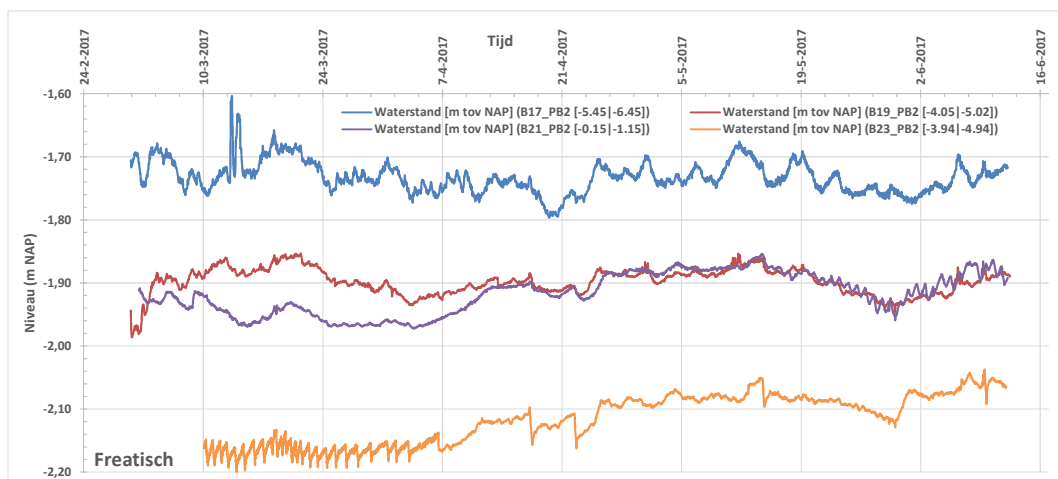
Ter hoogte van overgang van tracédeel C → D staat peilbuis B38E0061 met het filter tussen NAP-20,48_ -21,48 m in het 1^e WvP (zie bijlage 1). De meetreeks loopt van 1960-2009. De stijghoogte fluctueert van NAP-0,91 m tot NAP-2,11 m. In de periode 1973-1976 zijn significant hogere stijghoogten gemeten namelijk: NAP-0,32 m en NAP-0,38 m en een minimum van NAP-1,51 m. In de meetperiode 1977-2009 bedraagt het maximum NAP-1,26 m.

In figuur 3-5 zijn de maxima van de ter plaatse gemeten stijghoogten uitgezet tegen de afstand tot de Lek. Als achtergrond van de grafiek zijn de ter plaatse aanwezige boorprofielen weergegeven. Opmerkelijk is de grote daling van de maximum gemeten stijghoogten van NAP-0,25 m naar NAP-1,00 m rondom de Lopikerweg West / Wielsekade (cluster peilbuizen rond B38E0102).





figuur 3-6: Locatie van de peilbuizen van het recente onderzoek en uit Dino-loket.



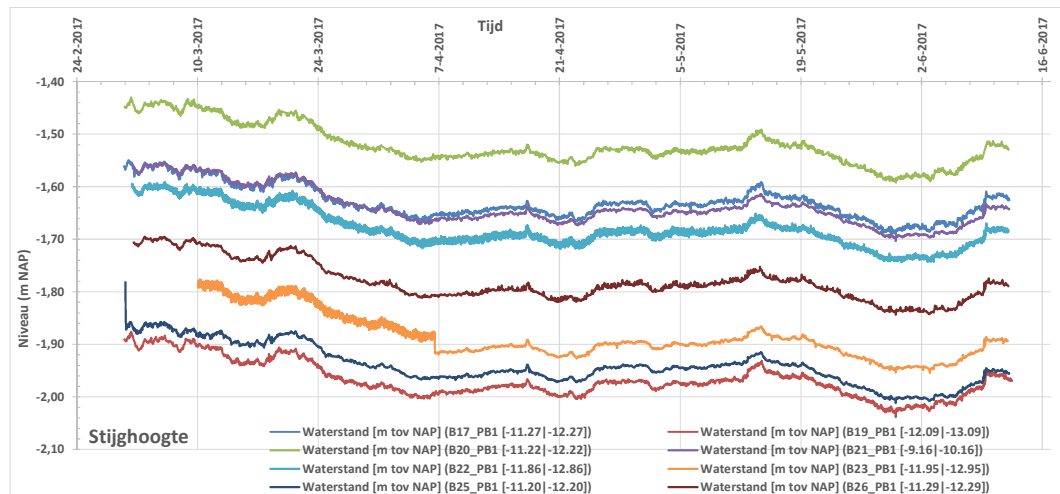
figuur 3-7: Freatische peilbuisgegevens tracédeel C.

In de figuur 3-8 zijn de gemeten stijghoogten weergegeven langs tracédeel C. Uit deze figuur blijkt dat in peilbuis Pb20 de hoogste stijghoogte is gemeten (NAP-1,50 m) en in Pb19 de laagste (NAP-1,90_-2,00 m). Daartussen is de volgorde van hoog naar laag:

Pb20→Pb17/21 →Pb22→Pb26→Pb23→Pb25→Pb19.

Uit de peilbuisgegevens blijkt dat er een verval is over het slecht doorlatend pakket (stijghoogte → freatische grondwaterstand). De volgende verschillen zijn aanwezig:

- B17: → ΔH = ca. 0,10 m.
- B19: → ΔH = ca. 0,10 m
- B21: → ΔH = ca. 0,30 m
- B23: → ΔH = 0,20 à 0,40 m



figuur 3-8: Peilbuisgegevens stijghoogte tracédeel C.

3.3.2 Interpretatie DINO-metingen

Langs het tracédeel C staan van west naar oost de volgende peilbuizen B38B0174, B38E0095 en B38E0061 (zie figuur 3-4).

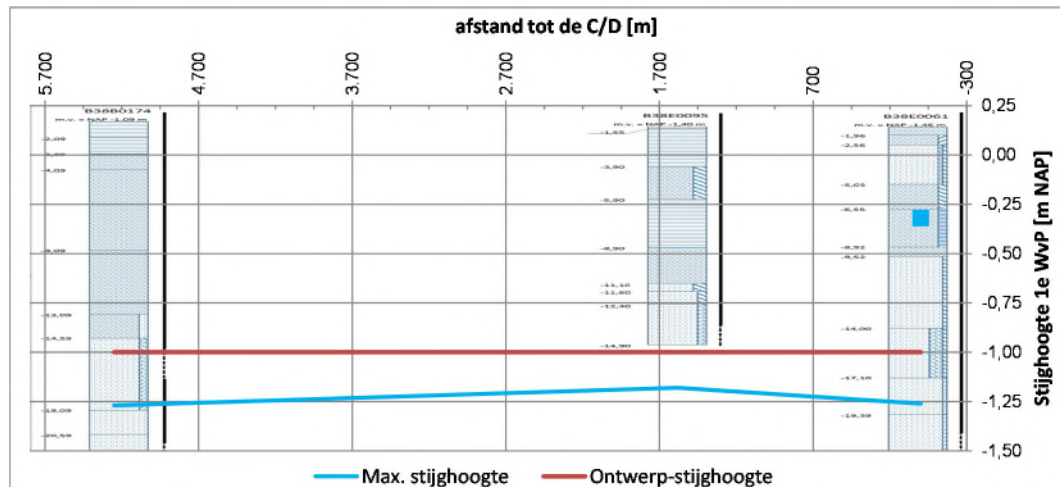
Peilbuis B38B0174 staat richting Schoonhoven met het filter op NAP-8,23_ -10,23 m in het 1^e watervoerende pakket (=WvP; zie ook bijlage 1). De meetreeks loopt van 1991-2011. De stijghoogte fluctueert van NAP-1,27 m tot NAP-1,74 m. Het lijkt of de stijghoogte in de loopt van de tijd licht daalt.

Halverwege tracédeel C staat peilbuis B38E0095 met het filter tussen NAP-13,88_ -14,88 m in het 1^e WvP (zie bijlage 1). De meetreeks loopt slechts van 1972-1974. De stijghoogte fluctueert van NAP-1,54 m tot NAP-1,18 m. De stijghoogte ligt in dezelfde orde van grootte als die van peilbuis B38E0061 in de overeenkomstige meetperiode.

Ter hoogte van overgang van tracédeel C → D staat peilbuis B38E0061 met het filter tussen NAP-20,48_ -21,48 m in het 1^e WvP (zie bijlage 1). De meetreeks loopt van 1960-2009. De stijghoogte fluctueert van NAP-0,91 m tot NAP-2,11 m. In de periode 1973-1976 zijn significant hogere stijghoogten gemeten namelijk: NAP-0,32 m en NAP-0,38 m en een minimum van NAP-1,51 m. In de meetperiode 1977-2009 bedraagt het maximum NAP-1,26 m.

In figuur 3-9 zijn de maxima van de ter plaatse gemeten stijghoogten uitgezet tegen de afstand tot de grens tussen tracédeel C&D. Als achtergrond van de grafiek zijn de ter plaatse aanwezige boorprofielen weergegeven. In de jaren 1973-1976 zijn in peilbuis B38E0061 hogere stijghoogten gemeten (zie blauwe stip in figuur 3-9). Maar omdat vanaf 1977 de stijghoogten in peilbuis B38E0061 beduidend lager liggen (maximum NAP-1,26 m), is voor het hele tracédeel C een ontwerp-stijghoogte gehanteerd van NAP-1,00 m. Dit is circa 0,25 m hoger dan de maximale stijghoogte na 1977:

- NAP-1,00 m tracédeel C

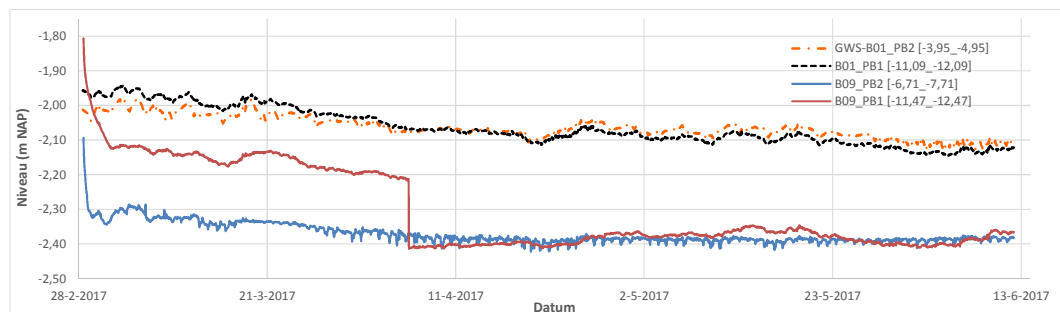


figuur 3-9: Verloop van de maxima van de stijghoogte vanaf C/D tot ca. 5 km westwaarts.

3.4 Tracédeel B & A

3.4.1 Interpretatie GWS-metingen

In de boringen B1 en B9 zijn twee peilbuizen aangebracht (zie figuur 3-11). In figuur 3-10 is het verloop van de freatische of ondiep GWS en het verloop van de stijghoogte afgebeeld. Het blijkt dat er tussen B9 en B1 zowel de GWS als de stijghoogte oploopt van globaal NAP-2,40 m naar NAP-2,10 m. Verder blijken de peilen van de GWS en de stijghoogte nagenoeg aan elkaar gelijk te zijn vanaf april.

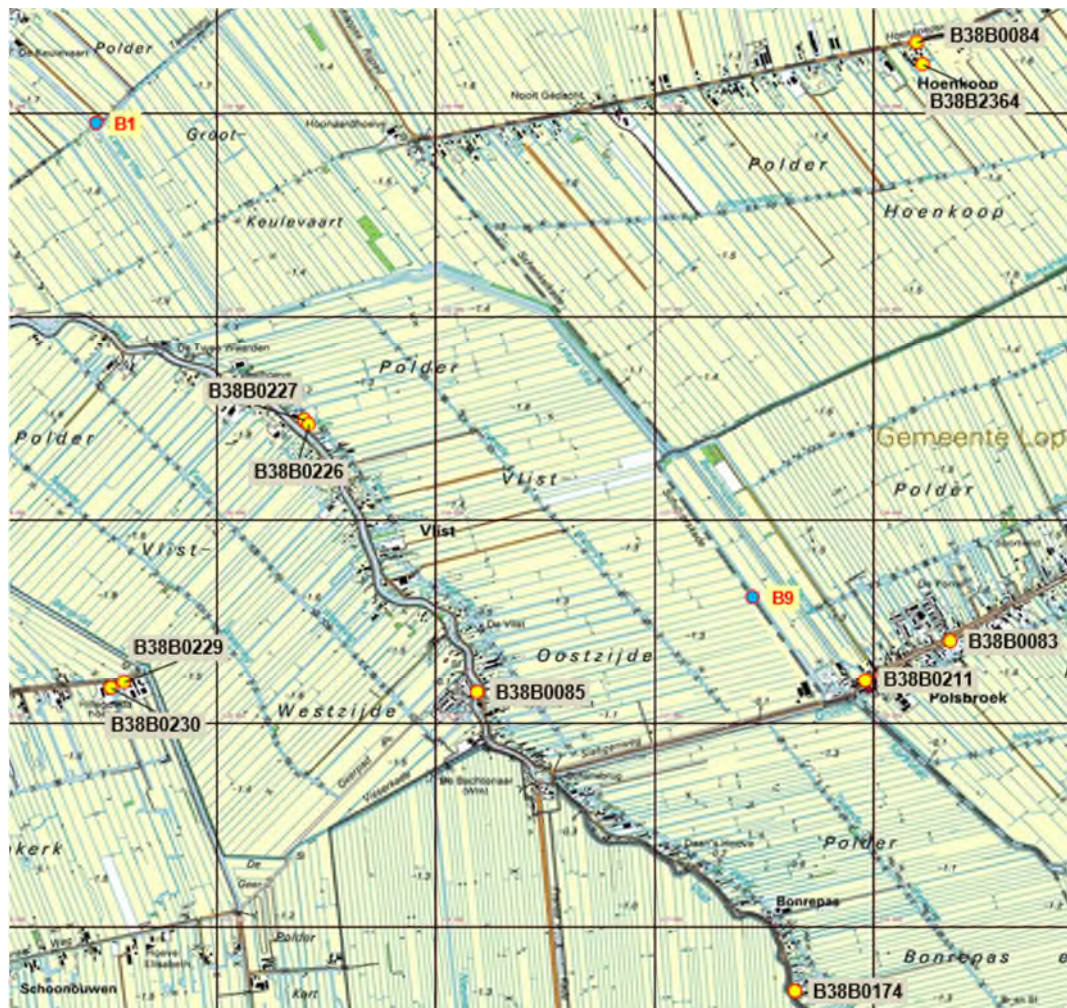


figuur 3-10: Peilbuisgegevens tracédeel A.

3.4.2 Interpretatie DINO-metingen

Rond de tracédelen B&A staan van zuid naar noord de volgende peilbuizen B38B0174, B38B0085, B38B0083/ B38B0211, B38B0226/ B38B0227 en B38B0084/ B38B2364 (zie figuur 3-11).

Peilbuis B38B0174 staat richting Schoonhoven met het filter op NAP-8,23_-10,23 m in het 1^e watervoerende pakket (=WvP; zie ook bijlage 1). De meetreeks loopt van 1991-2011. De stijghoogte fluctueert van NAP-1,27 m tot NAP-1,74 m. Het lijkt of de stijghoogte in de loop van de tijd licht daalt.



figuur 3-11: Locatie van de peilbuizen van het recente onderzoek en uit Dino-loket.

In Polsbroek op de scheiding van tracédeel B en A staat peilbuis B38B0083/211 met het filter tussen NAP-20,70_-21,70 / NAP-20,29_-22,29 m in het 1^e WvP (zie bijlage 1). De meetreeks loopt van 1960-2017. De stijghoogte fluctueert van NAP-1,40 m tot NAP-2,00 m. De maxima van de stijghoogte dalen in de loop van de tijd van NAP-1,40 m naar NAP-1,70 m en liggen iets lager dan die van peilbuis B38E0174.

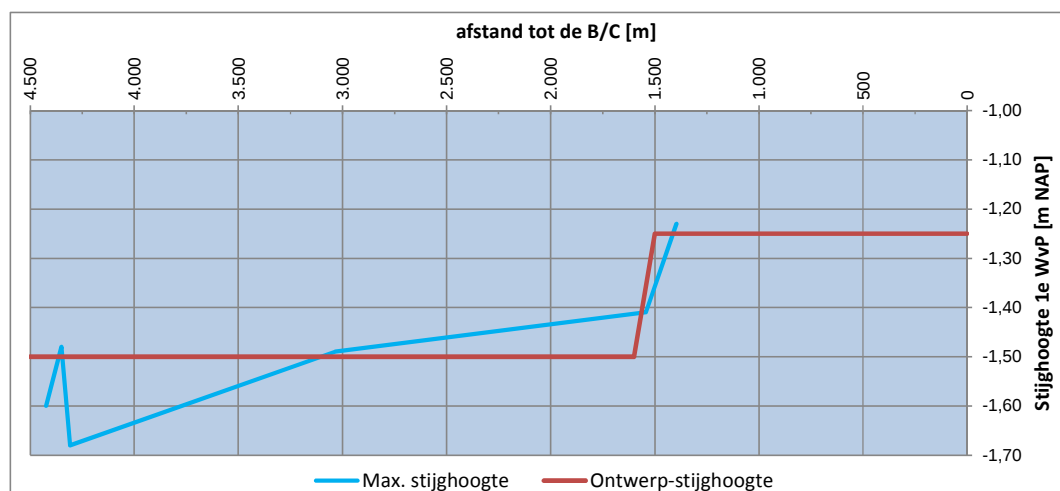
Peilbuis B38B0085 staat in Vlist ten westen van Polsbroek met het filter tussen NAP-17,34_-18,34 m in het 1^e WvP (zie bijlage 1). De meetreeks loopt van 1968-2015. De stijghoogte fluctueert van NAP-1,50 m tot NAP-2,40 m. De maxima van de stijghoogte dalen na 1971 met ca. 0,30 m en in de loop van de tijd dalen de maxima van NAP-2,00 m naar NAP-2,15 m.

Aan de noordkant van Vlist staan twee peilbuizen B38B0226 en B38B0227 dicht op het tracédeel A. Het niveau van de filters is helaas niet vermeld. Wel zijn de stijghoogten in meters t.o.v. NAP vermeld (zie bijlage 1). De eerste meetreeks loopt van 1953-1973 met maxima van NAP-1,50 m. De 2^e meetreeks loopt van 1974-1999 met maxima van NAP-0,10 m. Het stijghoogte fluctueren rond NAP-0,50 m en ligt dus significant hoger dan de 1^e meetreeks.

In Hoenkoop staan de peilbuizen B38B0084 en B38B2364 met de filters tussen NAP-20,64 _-21,64 m in het 1^e WvP (zie bijlage 1) en op NAP-3,07 _-4,07 m in het freatische pakket. De meetreeks loopt van 1960-2007 en de freatische meetreeks van 2012-2017. De stijghoogte fluctueert van NAP-1,60 m tot NAP-2,10 m. De maxima van de stijghoogte dalen in de loop van de tijd van NAP-1,60 m naar NAP-1,85 m. De gemeten freatische grondwaterstanden liggen globaal op hetzelfde niveau als die van de voorgaande stijghoogte-meetreeks.

In figuur 3-12 zijn de maxima van de ter plaatse gemeten stijghoogten uitgezet tegen de afstand tot de grens tussen tracédeel B-C. De gemeten maxima liggen iets boven de voorgestelde ontwerp-stijghoogte maar omdat de stijghoogten een dalende tendens vertonen, is het verdedigbaar om de volgende ontwerp-stijghoogten te hanteren:

- NAP-1,25 m tracédeel B
- NAP-1,50 m tracédeel A



figuur 3-12: Verloop van de maxima van de stijghoogte vanaf B/C tot ca. 5 km noordwaarts.

3.5 Gehanteerde stijghoogten in de berekening

Voor het bepalen van de maatgevende stijghoogte in de ondergrond is Dino-loket geraadpleegd voor langdurige peilbuis-metingen. Op sommige locaties zijn meerdere peilbuizen, op onderling korte afstand van elkaar, aanwezig. Uit deze metingen zijn voor de opbarstberekeningen de volgende ontwerp-stijghoogten per tracédeel afgeleid:

- Tracédeel D zuid: NAP+0,25 m (Lopikerweg west tot Lek).
- Tracédeel D noord: NAP-1,00 m (noord van Lopikerweg west)
- Tracédeel C: NAP-1,00 m
- Tracédeel B: NAP-1,25 m
- Tracédeel A: NAP-1,50 m

4 Opbarstberekningen

De controle tegen opbarsten kan op drie manieren worden bepaald:

- Grenspotentiaal
- NEN 9997-1: 2016
- OI2014

In de volgende paragrafen worden deze methode kort beschreven.

4.1 Berekeningsmethoden

4.1.1 Zandmeevoerende Wellen

In het Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen {TRZW} wordt in paragraaf 4.1.2 de methode beschreven hoe de grenspotentiaal wordt bepaald. Daaruit is de volgende formule afgeleid:

$$\gamma_{\text{opb}} = \{ (h_{\text{mv}} - h_{\text{p}}) \cdot \gamma_{\text{v}} + (h_{\text{p}} - h_{\text{zand}}) \cdot \gamma_{\text{nat}} \} / \{ (\phi_{\text{z;g}} - h_{\text{zand}}) \cdot \gamma_{\text{w}} \}$$

γ_{opb}	veiligheidsfactor tegen opbarsten	[-]
h_{mv}	het maaiveldniveau of slootbodern	[m NAP]
h_{p}	freatische grondwaterstand of polderpeil	[m NAP]
h_{zand}	het niveau van de bovenkant van de watervoerende (zand)laag	[m NAP]
$\phi_{\text{z;g}}$	de stijghoogte	[m NAP]
γ_{w}	volumegewicht water	[kN/m ³]
γ_{v}	vochtige volumegewicht van de afdekkende grondlaag	[kN/m ³]
γ_{nat}	natte volumegewicht van de afdekkende grondlaag	[kN/m ³]

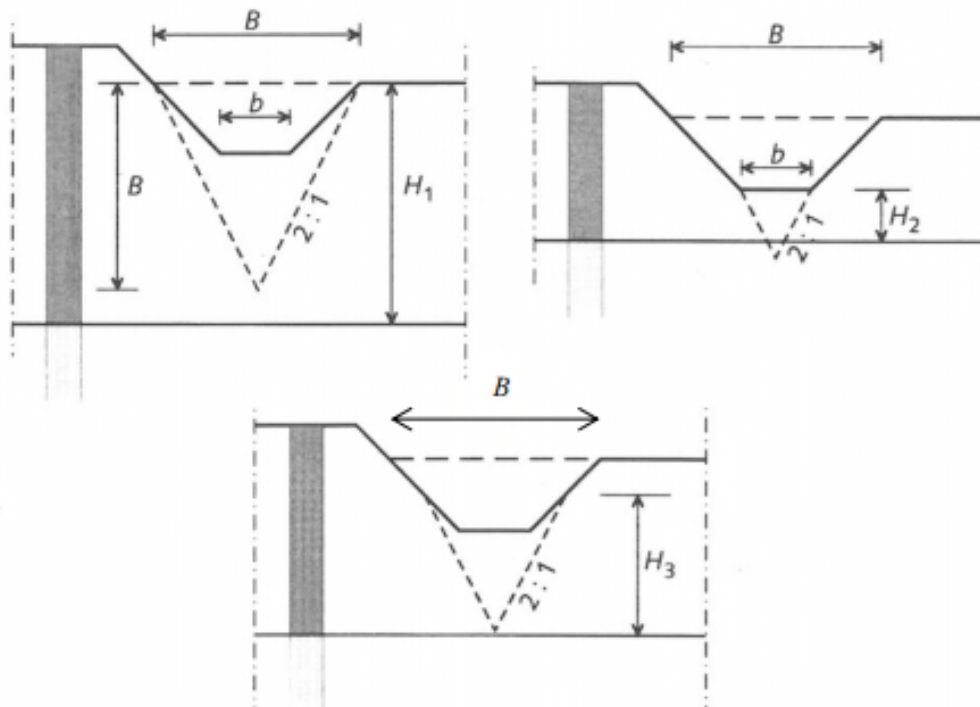
Wanneer de opbarstveiligheid $\gamma_{\text{opb}} < 1,0$ dan is er gevaar voor opbarsten. Wanneer de opbarstveiligheid ligt tussen $1,0 < \gamma_{\text{opb}} < 1,11$ dan is er gevaar voor opdrijven en bij een veiligheidsfactor $\gamma_{\text{opb}} \geq 1,11$ dan is het ontwerp veilig.

De situatie die ontstaat bij $\gamma_{\text{opb}} = 1,11$ is gelijk aan die gevonden wordt bij de methode uit de NEN 9997 waarbij een partiële belastingfactor van $\gamma_{\text{G;Stb}} = 0,90$ wordt gehanteerd.

Invloed sloottalud

In de TRZW staat op bladzij 53 beschreven hoe de invloed van (sloot)taluds kan worden meegenomen in de opbarstberekningen. De effectieve laagdikte van een sloot wordt als volgt bepaald (zie figuur 4-1):

1. In het geval dat de breedte van de sloot op maaiveldniveau B [m] kleiner is dan de totale deklaagdikte buiten de sloot H_1 [m], en als de geometrie van de sloot binnen de driehoek valt die met de breedte van de sloot op maaiveldniveau de spanningsspreiding van 2:1 (verhouding verticaal : horizontaal) weergeeft, is de effectieve laagdikte d_{eff} gelijk aan de totale laagdikte: $B < H_1 \rightarrow d_{\text{eff}} = H_1$.
2. Als de breedte van de slootbodern b [m] groter is dan de deklaagdikte in het midden van de sloot H_2 [m], dan dient de deklaagdikte in het midden van de sloot als effectieve laagdikte d_{eff} te worden gebruikt: $b > H_2 \rightarrow d_{\text{eff}} = H_2$.
3. In alle andere gevallen wordt de effectieve deklaagdikte d_{eff} bepaald door het snijpunt van de sloottaludhelling en een 2:1 helling beginnend aan de onderkant van de deklaag in het midden van de sloot: $d_{\text{eff}} = H_3$.



figuur 4-1: Bepaling van effectieve laagdikte d_{eff} voor opbarsten.

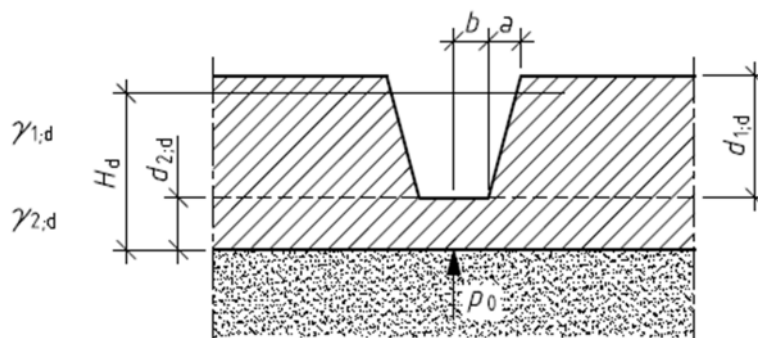
Per boring kan bepaald worden of het 2D-effect van toepassing is op de doorsnede. De ontwerp-bodem Breedte van het waterlopen varieert van 19-32 m in variant 1 en van 12-31 m in variant 3. Deze breedte is dermate groot ten opzichte van de resterende dikte van de deklaag onder de slootbodem dat de bijdrage in verticaal evenwicht marginaal is.

4.1.2 NEN 9997-1: 2016

In de NEN 9997-1: 2016 wordt in hoofdstuk 10 een methode beschreven voor het ontwerpen van veilige bouwputten tegen opbarsten.

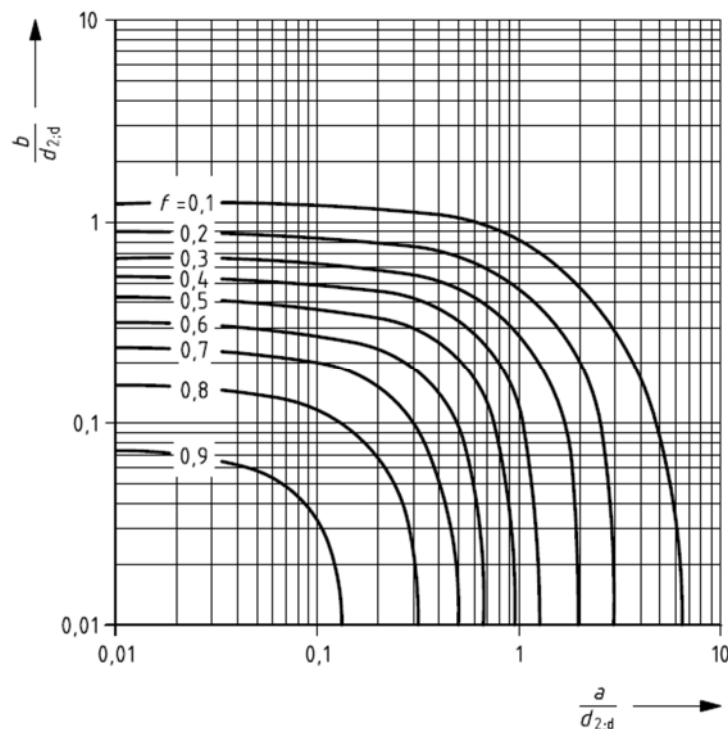
Bij sloten met beperkte bodembreedte (zie figuur 4-2) dragen de grondlagen aan weerszijden van de sloot bij tot een extra neerwaartse druk. Dit heeft een gunstig effect ten aanzien van de veiligheid tegen opbarstgevaar. De extra verticale tegendruk kan worden berekend met de theorie van Boussinesq of met de volgende formule:

$$u_{z;d} \leq \gamma_{2;d} * d_{2;d} + f * \gamma_{1;d} * d_{1;d}$$



figuur 4-2: Opbarsten van de bodem van een sloot volgens NEN 9997-2016 Hfdst 10.

$u_{z;d}$	is de rekenwaarde van de grondwaterdruk in de te bemalen watervoerende laag juist onder de afsluitende laag op diepte z beneden de slootbodem	[kN/m ²]
d	is de laagdikte	[m]
$\gamma_{1;d}$	is de rekenwaarde van het volumegewicht van de grond van laag d_1 ,	[kN/m ³]
$\gamma_{2;d}$	is de rekenwaarde van het volumegewicht van de grond van laag d_2 ,	[kN/m ³]
f	factor, zie figuur 4-3	[-]
a	is de breedte van de helling	[m]
b	is de halve breedte van de bodem	[m]



figuur 4-3: Factor 'f' voor de spreiding van de 'belasting' onder de bodem van de sloot.

Per boring kan bepaald worden of het 2D-effect van toepassing is op de doorsnede. De ontwerp-bodem Breedte van het waterlopen varieert van 19-32 m in variant 1 en van 12-31 m in variant 3. Deze breedte is dermate groot ten opzichte van de resterende dikte van de deklaag onder de slootbodem resulteert in een verhouding $b/d_{2;d} \geq 1,0$ en bij een talud van 1:3 in $a/d_{2;d} \geq 1,0$ hetgeen resulteert in een waarde voor $f \leq 0,10$ zodat de bijdrage aan het verticaal evenwicht in het hart van de watergang marginaal is.

4.1.3 OI2014

Een andere benadering is weergegeven in het OI2014 [3]:

$$\gamma_{opb} = \frac{\gamma_{nat} - \gamma_w}{\gamma_w \cdot (\phi_z - h_p)} (h_{mv} - h_{zand})$$

Waarin:

γ_{opb}	veiligheidsfactor tegen opbarsten	[-]
----------------	-----------------------------------	-----

ϕ_z	stijghoogte direct onder de afdekkende laag	[m NAP]
h_p	freatische grondwaterstand of polderpeil	[m NAP]
h_{mv}	het maaiveldniveau of slootbodern	[m NAP]
h_{zand}	het niveau van de bovenkant van de watervoerende (zand)laag	[m NAP]
γ_w	volumegewicht water	[kN/m ³]
γ_{nat}	natte volumegewicht van de afdekkende grondlaag	[kN/m ³]
r_{exit}	damping- of responsfactor; in dit geval 1,0	[-]
γ_{up}	veiligheidsfactor mechanisme opbarsten	[-]
γ_b	schematiseringsfactor, in dit geval 1,1	[-]
$\gamma_{opb;toets}$	toetsfactor: $= r_{exit} * \gamma_{up} * \gamma_b = 1,0 * 1,2 * 1,1 = 1,32$	[-]

De transportroute Lopik-Haastrecht behoort tot de IPO-klasse I (Normklasse 1/10). De veiligheidsfactor voor opbarsten is vastgesteld op $\gamma_{up} = 1,20$.

Invloed sloottalud

De invloed van (sloot)taluds wordt op dezelfde wijze bepaald als in 4.1.1 Zandmeevoerende Wellen is beschreven.

4.1.4 Gekozen methode

Voor een 2-tal boringen (B21 en B35) is de opbarstveiligheid volgens de drie beschreven methoden bepaald.

tabel 4-1: Opbarstveiligheden volgens drie methoden.

boring	ϕ_z stijghoogte m NAP	h_p slootpeil m NAP	h_{mv} slootbodern m NAP	h_z bk zand m NAP	grond kolom kN/m ²	TRZW γ_{opb} -	NEN 9997 γ_{opb} -	OI2014 γ_{opb} -
B21	-1,00	-1,78	-4,62	-10,36	65,02	1,00	0,91	1,14
B35	0,25	-1,78	-4,62	-6,49	12,66	0,77	0,70	0,27
				toetsfactor		1,11	1,00	1,32

Uit tabel 4-1 blijkt, dat de methoden uit de TRZW en de NEN enkel de belastingfactor $\gamma_{G;stb} = 0,9$ van elkaar verschillen. Echter de methode van OI2014 geeft sterk uiteenlopende resultaten. Omdat de opbarstveiligheden volgens de methode TRZW en NEN een beter gevoel geven wanneer een bodern opbarst of niet, is gekozen om de opbarstveiligheden te bepalen volgen de methode NEN 9997 met een belastingfactor $\gamma_{G;stb} = 1,00$ omdat daarbij de invloed van de sloottaluds eenvoudig is te bepalen.

Voor elke tracédeel is de opbarstveiligheid berekend met het slootbodernniveau van Variant 1 en Variant 3. De situatie die ontstaat bij $\gamma_{opb} = 1,11$ is gelijk aan die gevonden wordt bij de methode uit de NEN 9997 waarbij een partiële belastingfactor van $\gamma_{G;stb} = 0,90$ wordt gehanteerd.

4.2 Tracédeel D

Voor tracédeel D is voor elke boring een berekening uitgevoerd. De diepte van de slootbodern waarmee gerekend wordt is voor Variant 1: NAP-4,12 m en dat van Variant 3: NAP-4,62 m.

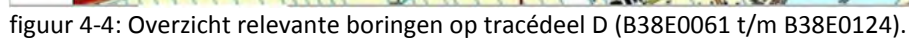
De resultaten van de opbarst-analyse zijn te vinden in tabel 4-2.

tabel 4-2: Berekeningsresultaten Variant 1&3 voor tracédeel D bij een slootpeil van NAP-1,87m.

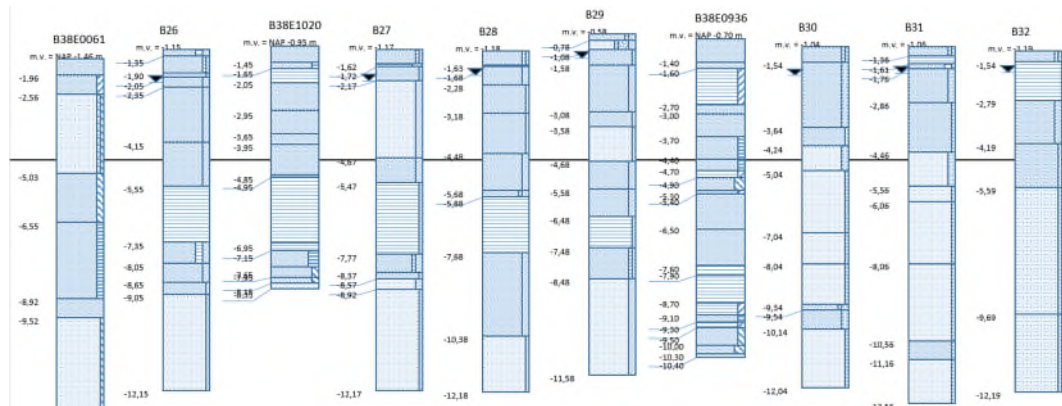
Boring	stijghgt m NAP	ok-klei m NAP	$\gamma_{mv,opb} < 1,11$ -	sloot bodem	$\gamma_{mv,sloot}$ -	sloot bodem	$\gamma_{mv,sloot}$ -	maatregel	
								zand	m
B38E0061	-1,00	-9,52	>>	Variant 1: slootbodem = NAP-4,12 m	1,33	Variant 3: slootbodem = NAP-4,62 m	1,27		
B26	-1,00	-9,05	>>		1,16		1,11		
B38E1020	-1,00	-8,15	>>		1,05		1,01		
B27	-1,00	-8,57	>>		1,13		1,06	1,25 m	132
B28	-1,00	-10,38	>>		1,24		1,20		
B29	-1,00	-8,48	>>		1,09		1,02	1,00 m	215
B38E0936	-1,00	-10,30	>>		1,18		1,15		
B30	-1,00	-10,14	>>		1,49		1,43		
B31	-1,00	-11,16	>>		1,55		1,50		
B32	0,25	-5,59	>>		0,88		0,79		
B38E0934	0,25	-9,50	>>		1,01		0,98		
B38E0101	0,25	-10,70	>>		1,06		1,03		
B33	0,25	-4,66	>>		0,66		0,57		
B34	0,25	-6,41	>>		0,96		0,89		
B35	0,25	-6,49	1,08		0,79		0,77		
B38E0852	0,25	-11,45	>>		1,12		1,10		
B36	0,25	-9,60	1,06		0,99		0,98		
B38E0865	0,25	-8,00	>>		1,04		0,99		
B38E0864	0,25	-8,25	>>		0,97		0,96		
B37	0,25	-10,57	1,08		0,97		0,96	1,50 m	207
B38	0,25	-9,75	>>		1,11		1,07	1,50 m	269
B39	0,25	-10,49	>>		1,27		1,24		
B38E0774	0,25	-7,95	>>		1,11		1,06		
B40	0,25	-9,66	>>		1,11		1,09	1,00 m	517
B41	0,25	-9,97	>>		1,08		1,06		
B42	0,25	-9,74	>>		1,34		1,29		
B38E0124	0,25	-11,20	>>		1,32		1,30		

Het blijkt dat op veel plaatsen de opbarstveiligheid ($\gamma_{opb,toets} \geq 1,11$) onvoldoende is. Op een 3-tal plaatsen, B35, B36 en B37, is deze zelfs niet haalbaar omdat de opbarstveiligheid van het naast gelegen maaiveld zelf kleiner is dan de toetswaarde (zie 3^e kolom in tabel 4-2).

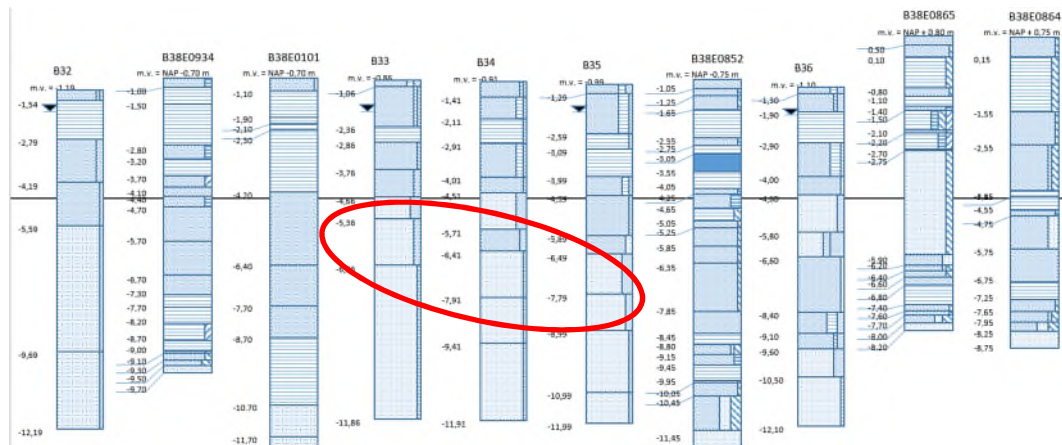
Het tracédeel ten noorden van de Lopikerweg West (boringen B38E0061_B38E0934) kan praktisch zonder problemen worden uitgevoerd volgens variant 1 waarbij een slootbodem NAP-4,12 m geldt.



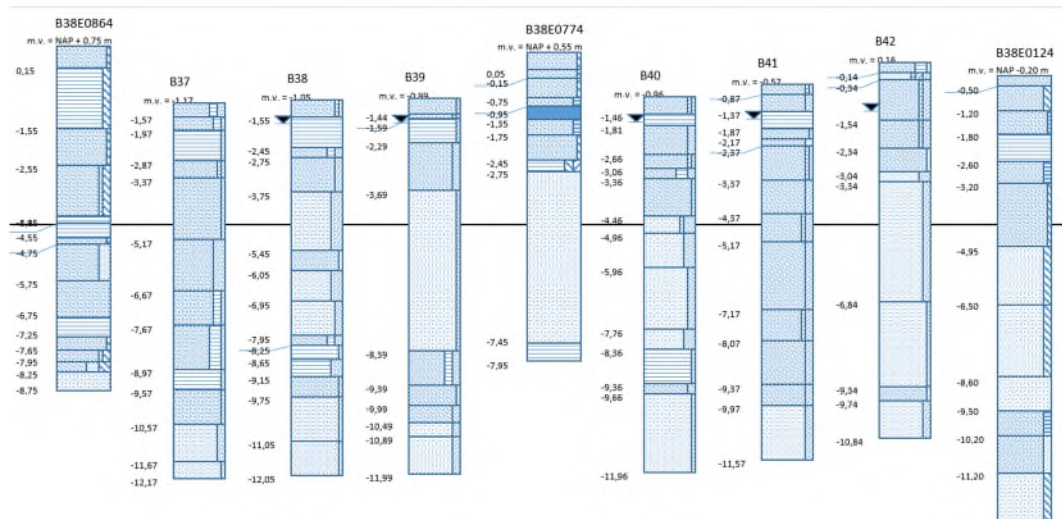
Daarnaast blijkt in de boringen B35 en B37 lichte klei ($\gamma_{\text{nat}} = 12,1\text{-}14 \text{ kN/m}^3$) onder de slootbodem voor te komen waardoor er onvoldoende contragewicht aanwezig is.



figuur 4-5: Boringen op tracédeel D (B37E0061 – B32).



figuur 4-6: Boringen op tracédeel D (B32 – B38E0864).



figuur 4-7: Boringen op tracédeel D (B38E0864 – B38E0124).

De opbarstveiligheid van de huidige sloten is voor het traject B32-B41 gecontroleerd met de geometrie die ontleend is aan profiel 4 van Variant 1&3: een bodembreedte van de sloot $B_{\text{bodem}} = 6$ m, een slootbodemniveau van NAP-4,60 m en taluds onder een helling van 1:3.

Het blijkt dat de opbarstveiligheid voor de huidige geometrie van de sloten ook royaal beneden de norm ligt en dat de smallere sloot slechts leidt tot gemiddeld 0,01 hogere opbarstveiligheid (zie tabel 4-4). Dit betekent dat de huidige sloten ook reeds kwellen en dat de bredere sloten de kwel zullen vergroten: $q_{\text{kwel;nw}} = B_{\text{nw}}/B_{\text{huidig}} * q_{\text{kwel;huidig}}$.

Variant 1 $q_{\text{kwel;nw}} = 27,70/6,00 * q_{\text{kwel;huidig}} = 4,6 * q_{\text{kwel;huidig}}$

Variant 3 $q_{\text{kwel;nw}} = 16,40/6,00 * q_{\text{kwel;huidig}} = 2,7 * q_{\text{kwel;huidig}}$

tabel 4-3: Berekeningsresultaten huidige situatie en in Variant3 voor tracédeel D bij een slootpeil van NAP-1,87m

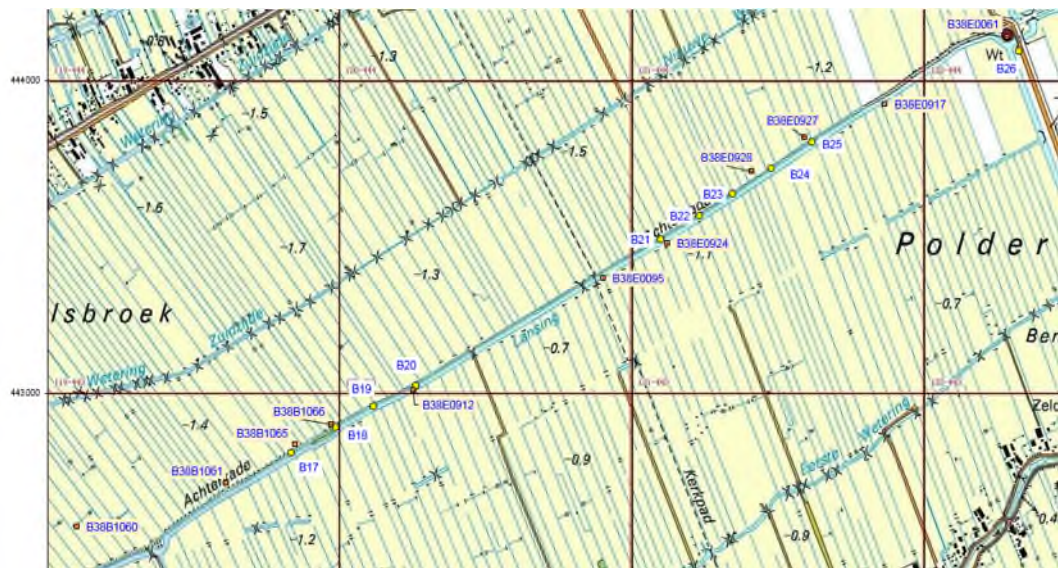
Boring	stijghgt m NAP	ok-klei m NAP	$\gamma_{\text{mv;Huidig}}$ -	$\gamma_{\text{mv;Var.3}}$ -
B32	0,25	-5,59	0,79	0,79
B33	0,25	-4,66	0,57	0,57
B34	0,25	-6,41	0,90	0,89
B35	0,25	-6,49	0,77	0,77
B36	0,25	-9,60	0,99	0,98
B37	0,25	-10,57	0,97	0,96
B38	0,25	-9,75	1,10	1,07
B39	0,25	-10,49	1,26	1,24
B40	0,25	-9,66	1,11	1,09
B41	0,25	-9,97	1,09	1,06

4.3 Tracédeel C

Voor tracédeel C is voor elke boring een berekening uitgevoerd. De diepte van de slootbodembodem waarmee gerekend wordt, is voor Variant 1: NAP-4,12 m en dat van Variant 3: NAP-4,62 m.

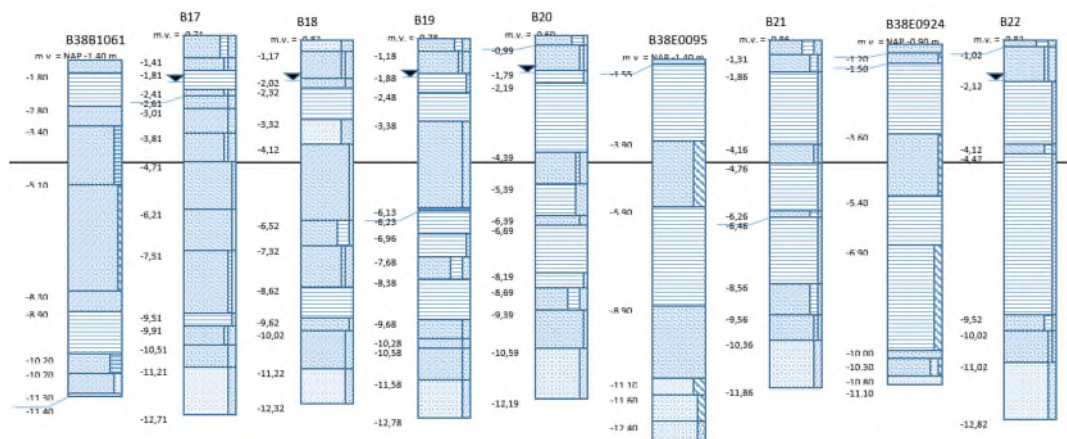
De opbarstveiligheid van tracédeel B is berekend met het slootbodembodemniveau van Variant 1: NAP-3,32 m en dat van Variant 3: NAP-3,62 m hetgeen bijna een meter hoger is dan in de ander tracédelen.

In figuur 4-8 is de locatie van de boorpunten weergegeven.

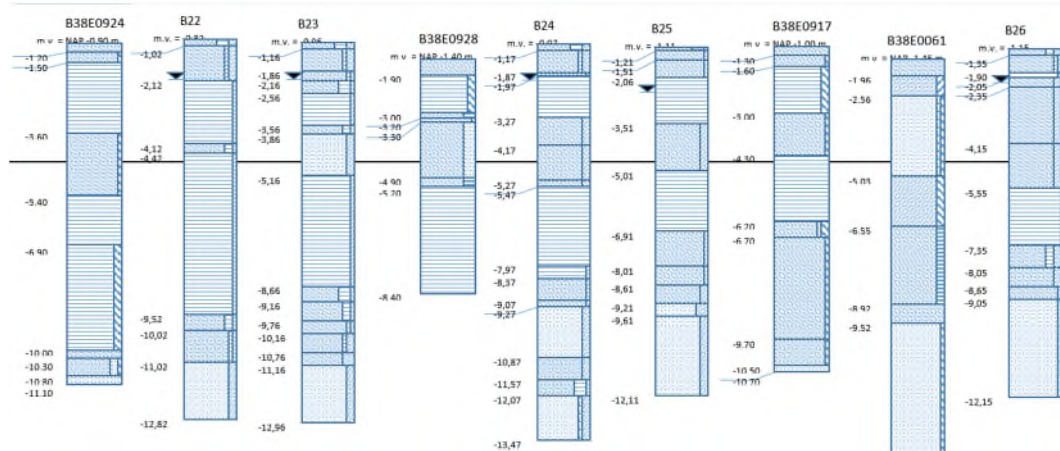


Figuur 4-8 locatie boorpunten

Om een goed overzicht te krijgen van de boringen ter plaatse van tracédeel B zijn de boringen weergegeven in een lengteprofiel. Deze lengteprofielen zijn weergegeven in figuur 4-9



figuur 4-9: Boringen op eerste deel tracédeel C (B38B1061 – B22).



figuur 4-8: Boringen op tracédeel C (B38E0924 – B26).

Van B38B1061 tot B19 blijkt een zandig kleiige grondslag aanwezig met hier en daar een veenlaag. Vanaf boring B20-B38E0917 wordt het veenpakket dikker en komt dicht onder de slootbodembodem te liggen. Wanneer de watergangen worden verdiept zoals in variant 3 leidt dit tot opbarsten (zie tabel 4-4).

De klei onder de slootbodembodem is in de boringen B20-B23 en B25 licht ($\gamma_{\text{nat}} = 12,1-14 \text{ kN/m}^3$). Een praktische maatregel is om dit te vervangen door een laag zand. Het grondwerk zal ivm opbarstgevaar in den-natte moeten worden uitgevoerd zodat het verdichten van klei onderwater problemen kan opleveren en los gestort zand is dan altijd nog zwaarder dan onverdichte klei. De resultaten van de opbarst-analyse zijn te vinden in tabel 4-4.

Het blijkt dat op een aantal plaatsen de opbarstveiligheid ($\gamma_{\text{opb,toets}} \geq 1,11$) onvoldoende is.

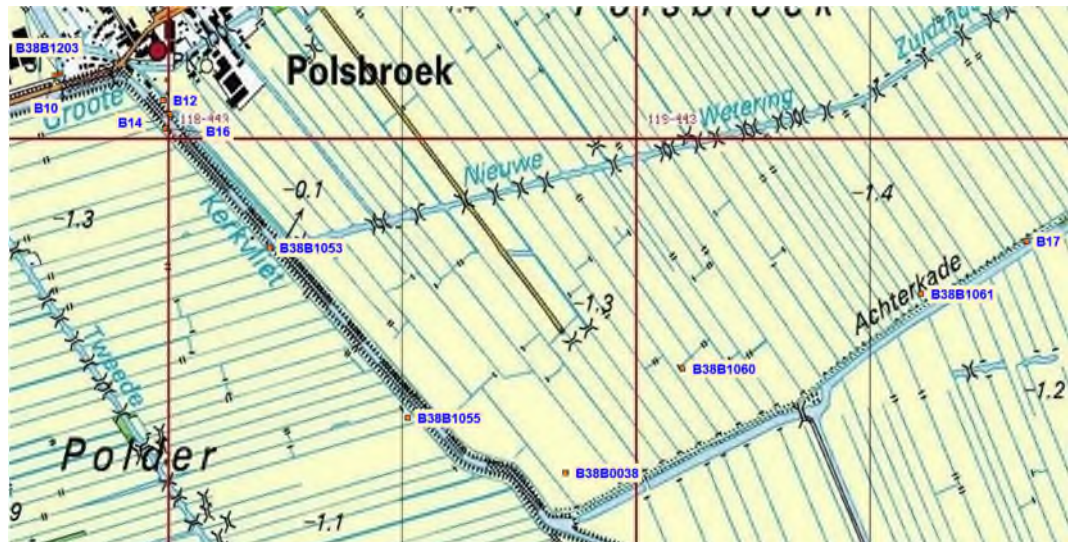
tabel 4-4: Berekeningsresultaten Variant 1&3 voor tracédeel C bij een slootpeil van NAP-1,87m.

Boring	stijghgt m NAP	ok-klei m NAP	$\gamma_{\text{mv,opb}} < 1,11$	sloot bodembodem	$\gamma_{\text{mv,sloot}}$	sloot bodembodem	$\gamma_{\text{mv,sloot}}$	maatregel	
			-		-		-	zand	m
B38B1061	-1,00	-11,30	>>	Variant 1: slootbodembodem = NAP-4,12 m	1,19	Variant 3: slootbodembodem = NAP-4,62 m	1,31		
B17	-1,00	-11,21	>>		1,31		1,30		
B18	-1,00	-11,22	>>		1,21		1,18		
B19	-1,00	-11,58	>>		1,15		1,12		
B20	-1,00	-10,59	>>		1,09		1,08	0,75 m	910
B38E0095	-1,00	-11,10	>>		1,12		1,10		
B21	-1,00	-10,36	>>		1,02		1,00	1,50 m	960
B38E0924	-1,00	-10,80	>>		1,03		1,00		
B22	-1,00	-11,02	>>		0,99		0,99		
B23	-1,00	-11,16	>>		1,15		1,10	0,75 m	147
B24	-1,00	-12,07	>>		1,30		1,26		
B25	-1,00	-9,21	>>		1,11		1,08	0,75 m	293
B38E0917	-1,00	-10,50	>>		1,14		1,13		
B38E0061	-1,00	-9,52	>>		1,33		1,27		
B26	-1,00	-9,05	>>		1,16		1,11		

4.4 Tracédeel B

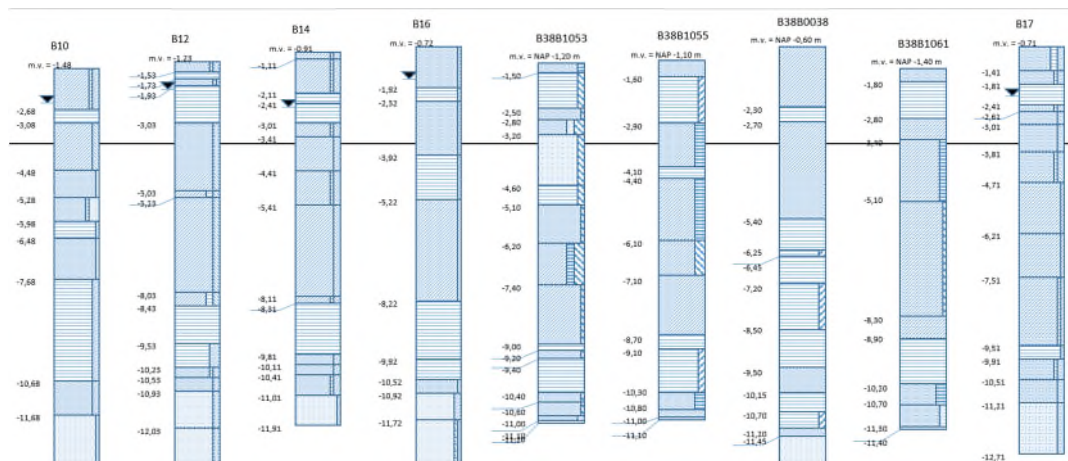
De opbarstveiligheid van tracédeel B is berekend met het slootbodemniveau van Variant 1: NAP-3,32 m en dat van Variant 3: NAP-3,62 m hetgeen bijna een meter hoger is dan in de ander tracédelen.

In figuur 4-11 is de locatie van de boorpunten weergegeven.



figuur 4-9: Overzicht aanwezige boringen op tracédeel B (B10 t/m B17).

Om een goed overzicht te krijgen van de boringen ter plaatse van tracédeel B zijn de boringen weergegeven in een lengteprofiel. Dit lengteprofiel is weergegeven in figuur 4-12.



figuur 4-10: Boringen op tracédeel B (B10 – B17).

Vanaf boring B20-B38E0917 wordt het veenpakket dikker en komt dicht onder de slootbodembodem te liggen. Dit resulteert in opdrijven/opbarsten (zie 4-5) wanneer de watergang wordt verdiept tot NAP-4,62 m.

De resultaten van de opbarst-analyse zijn te vinden in tabel 4-5.

Het blijkt dat in geen geval er een opbarst-risico ontstaat.

tabel 4-5: Berekeningsresultaten Variant 1&3 voor tracédeel B bij een slootpeil van NAP-1,87m.

Boring	stijghgt m NAP	ok-klei m NAP	$\gamma_{mv,opb} < 1,11$ -	sloot bodem	$\gamma_{mv,sloot}$ -	sloot bodem	$\gamma_{mv,sloot}$ -	maatregel	
								klei/zand	m
B38B1634	-1,50	-10,40	>>	Variant 1: slootbodem = NAP-4,27 m	1,21	Variant 3: slootbodem = NAP-4,57 m	1,21		
B1	-1,50	-12,98	>>		1,62		1,60		
B38B1503	-1,50	-11,00	>>		1,19		1,19		
B38B1504	-1,50	-12,70	>>		1,27		1,27		
B38B1505	-1,50	-12,50	>>		1,19		1,18		
B38B1362	-1,50	-12,20	>>		1,30		1,28		
B2	-1,50	-12,08	>>		1,24		1,24		
B3	-1,50	-12,03	>>		1,35		1,34		
B4	-1,50	-11,35	>>		1,29		1,27		
B5	-1,50	-11,97	>>		1,26		1,26		
B38B1533	-1,50	-12,00	>>		1,29		1,27		
B6	-1,50	-4,69	>>		0,87		0,78	2,80 m	119
B38B1541	-1,50	-8,30	>>		1,20		1,17		
B7	-1,50	-12,18	>>		1,23		1,23		
B8	-1,50	-11,43	>>		1,27		1,25		
B38B1406	-1,50	-8,30	>>		1,24		1,21		
B38B1400	-1,50	-11,30	>>		1,23		1,22		
B38B1398	-1,50	-12,20	>>		1,31		1,29		
B38B1411	-1,50	-8,10	>>		1,18		1,15		
B38B1210	-1,50	-11,40	>>		1,29		1,28		
B38B1207	-1,50	-10,70	>>		1,18		1,18		
B9	-1,50	-10,52	>>		1,06		1,05	1,00 m	258
B38B1206	-1,50	-10,60	>>		1,14		1,13		
B10	-1,50	-11,68	>>		1,33		1,49		

Het blijkt in alle boringen geen opbarst gevaar is, daar de opbarstfactor $\gamma_{opb} \geq 1,11$ dan (zie tabel 4-5).

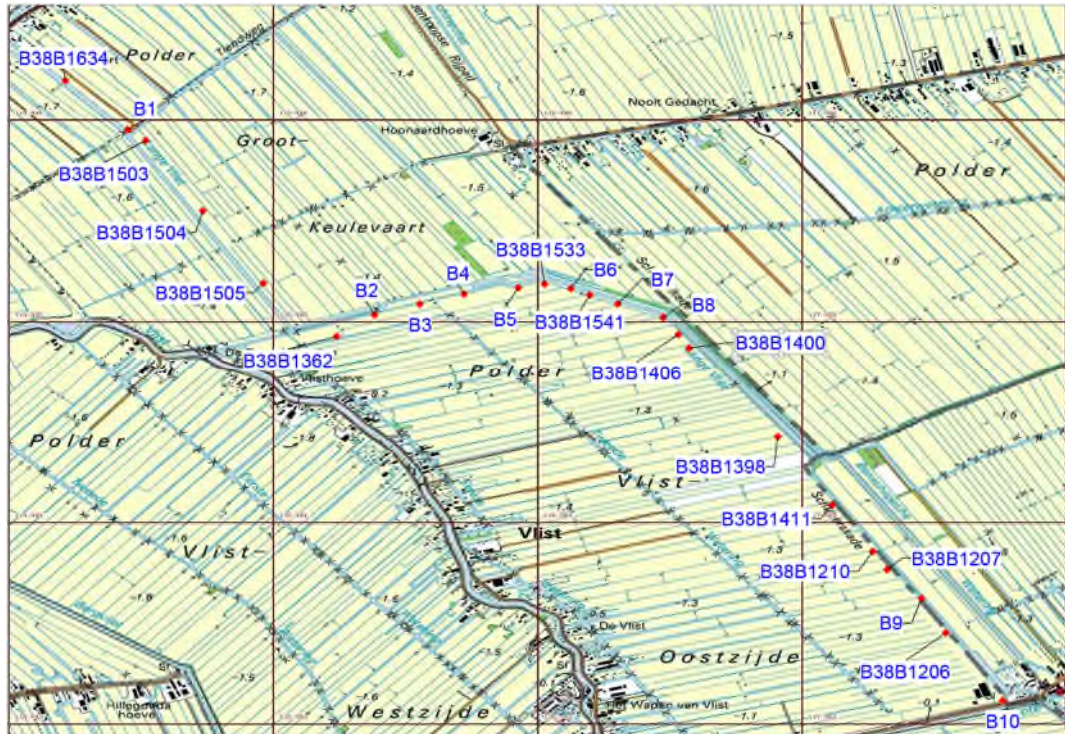
Het blijkt dat wanneer de waterloop wordt verdiept tot NAP-4,62 m de opbarstfactor nog groter is dan toetsfactor $\gamma_{opb,toets} = 1,11$ (zie tabel 4-6).

tabel 4-6: Resultaten voor tracédeel B bij een ws = NAP-1,87m en bodem = NAP-4,12/-2,62 m.

Boring	stijghgt m NAP	ok-klei m NAP	$\gamma_{mv;opb} < 1,11$ -	sloot bodem	$\gamma_{mv;sloot}$ -	sloot bodem	$\gamma_{mv;sloot}$ -
B38B1203	-1,25	-11,10	>>	slootbodem = NAP-4,12 m	1,36	slootbodem = NAP-4,62 m	1,33
B10	-1,25	-11,68	>>		1,36		1,31
B12	-1,25	-10,93	>>		1,27		1,24
B14	-1,25	-11,01	>>		1,25		1,23
B16	-1,25	-10,92	>>		1,27		1,25
B38B1053	-1,25	-11,10	>>		1,30		1,25
B38B1055	-1,25	-11,00	>>		1,27		1,25
B38B0038	-1,25	-11,45	>>		1,17		1,14
B38B1061	-1,25	-11,30	>>		1,22		1,19
B17	-1,00	-11,21	>>		1,31		1,30

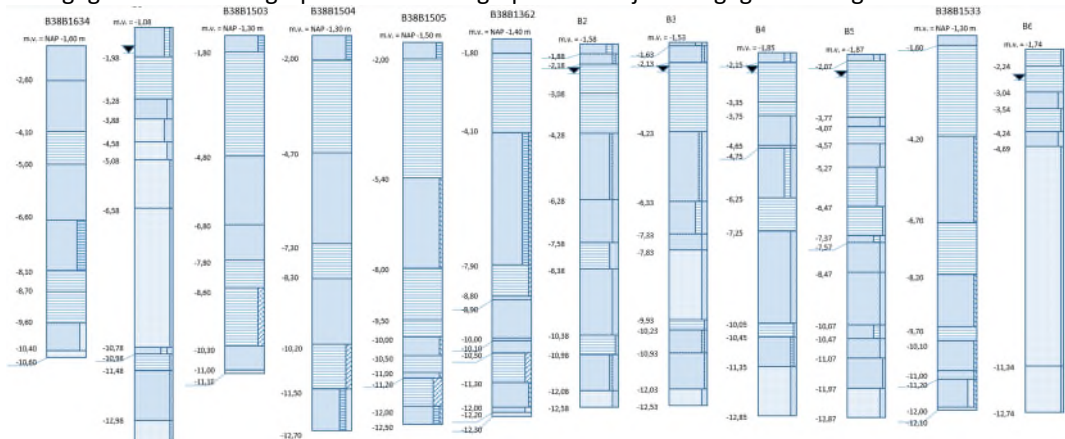
4.5 Tracédeel A

De opbarstveiligheid van tracédeel A is berekend met het slootbodemniveau van Variant 1: NAP-4,27 m en dat van Variant 3: NAP-4,57 m hetgeen bijna een meter lager is dan in tracédeel B. In figuur 4-13 is de locatie van de boorpunten weergegeven.

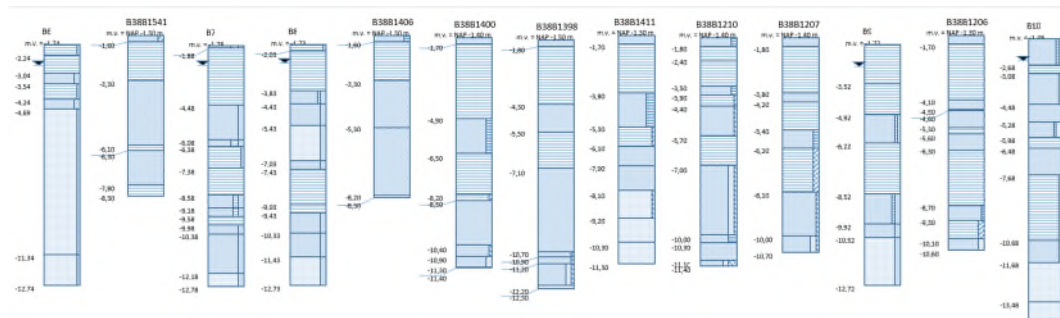


figuur 4-11: Overzicht aanwezige boringen op tracédeel A (B38B1634 t/m B10).

Om een goed overzicht te krijgen van de boringen ter plaatse van tracédeel A zijn de boringen weergegeven in een lengteprofiel. Deze lengteprofielen zijn weergegeven in figuur 4-14 en 4-15



figuur 4-12: Boringen op tracédeel A (B10 – B6).



figuur 4-13: Boringen op tracédeel A (B6 – B10).

In boring B6 ontbreekt de slecht doorlatende laag rond NAP-10 m (zie figuur 4-11 en figuur 4-12). Aangezien de bodem van de sloot op NAP-4,57 m komt de liggen impliceert dit dat er bijna geen klei achter blijft. Of te wel de sloot staat bijna in direct contact met het watervoerende pakket.

De andere locatie die niet voldoet is B9 (zie figuur 4-13). Onder de slootbodemb bevindt zich veen en lichte klei $\gamma_{\text{nat;klei}} = 13,9 \text{ kN/m}^3$. Wanneer de aanwezige grond over een dikte van 1 m wordt vervangen door los zand dan is de opbarstveiligheid groter dan de toetsfactor $\gamma_{\text{opb;toets}} = 1,11$.

De resultaten van de opbarst-analyse zijn te vinden in *tabel 4-7*.

Het blijkt dat op een twee plaatsen de opbarstveiligheid ($\gamma_{\text{opb;toets}} \geq 1,11$) onvoldoende is.

tabel 4-7: Berekeningsresultaten Variant 1&3 voor tracédeel A bij een slootpeil van NAP-2,32m.

Boring	stijghgt m NAP	ok-klei m NAP	$\gamma_{mv;opb} < 1,11$ -	sloot bodem	$\gamma_{mv;sloot}$ -	sloot bodem	$\gamma_{mv;sloot}$ -	maatregel	
								klei/zand	m
B38B1634	-1,50	-10,40	>>	Variant 1: slootbodem = NAP-4,27 m	1,21	Variant 3: slootbodem = NAP-4,57 m	1,21		
B1	-1,50	-12,98	>>		1,62		1,60		
B38B1503	-1,50	-11,00	>>		1,19		1,19		
B38B1504	-1,50	-12,70	>>		1,27		1,27		
B38B1505	-1,50	-12,50	>>		1,19		1,18		
B38B1362	-1,50	-12,20	>>		1,30		1,28		
B2	-1,50	-12,08	>>		1,24		1,24		
B3	-1,50	-12,03	>>		1,35		1,34		
B4	-1,50	-11,35	>>		1,29		1,27		
B5	-1,50	-11,97	>>		1,26		1,26		
B38B1533	-1,50	-12,00	>>		1,29		1,27		
B6	-1,50	-4,69	>>		0,87		0,78	2,80 m	119
B38B1541	-1,50	-8,30	>>		1,20		1,17		
B7	-1,50	-12,18	>>		1,23		1,23		
B8	-1,50	-11,43	>>		1,27		1,25		
B38B1406	-1,50	-8,30	>>		1,24		1,21		
B38B1400	-1,50	-11,30	>>		1,23		1,22		
B38B1398	-1,50	-12,20	>>		1,31		1,29		
B38B1411	-1,50	-8,10	>>		1,18		1,15		
B38B1210	-1,50	-11,40	>>		1,29		1,28		
B38B1207	-1,50	-10,70	>>		1,18		1,18		
B9	-1,50	-10,52	>>		1,06		1,05	1,00 m	258
B38B1206	-1,50	-10,60	>>		1,14		1,13		
B10	-1,50	-11,68	>>		1,33		1,49		

4.6 Samenvatting

In de vorige paragrafen zijn de resultaten van de opbarst-analyse gepresenteerd. Voor het huidige maaiveld blijkt dat deze slechts op 3 locaties, in tracédeel D, niet voldoet aan de opbarstveiligheid ($\gamma_{\text{opb;toets}} \geq 1,11$).

In het algemeen geldt dat Variant 1 minder problemen oplevert (zie tabel 4-8) dan Variant 3 waarbij de slootbodem dieper komt te liggen. Dit komt vooral tot uiting in tracédeel D.

tabel 4-8: Locaties/trajecten die NIET voldoen aan de opbarstveiligheid bij variant 1&3.

tracédeel	omschrijving	Variant 1	Variant 3
D	Lek-Lopikerweg W	B38E0101-B38	B32-B41
	noord v. Lopikerweg	B38E1020	B38E1020-B29
		B29	
C	-	B20	B20-B23
		B21-B22	
B	-	-	-
A	-	B6	B6
		B9	B9

In het traject ten zuiden van de Lopikerweg West ligt het zand dermate ondiep dat de slootbodems bij het ontwerp-stijghoogte altijd kwellen.

Ten noorden van de Lopikerweg West treedt bij uitvoeringsvariant 1 slechts op twee plaatsen instabiliteit op (boringen B38E1020 en B29). Bij uitvoeringsvariant 3 wordt het traject B38E1020-B27-B28-B29 instabiel.

In tracédeel C treedt een zelfde beeld op dat het gebied waarover problemen optreden in Variant 3 uitgestrekter worden van bij uitvoeringsvariant 1.

Tot slot zijn er in tracédeel A twee locaties waar onvoldoende opbarstveiligheid aanwezig is.

5 Maatregelen

In het vorige hoofdstuk is de analyse van de opbarstveiligheid gepresenteerd. Een aantal geboorde locaties voldoet niet aan de veiligheidseisen zoals vastgesteld in de uitgangspunten. Op het moment dat er een mogelijkheid kan zijn tot kwel, opdrijven en/of opbarsten zijn er verschillende beheersmaatregelen mogelijk om de veiligheid van de sloot te verbeteren. Deze zijn uitgewerkt in dit hoofdstuk.

5.1 Algemene maatregelen

Maatregel 1: Opzetten waterpeil in watergang

Door het waterpeil tijdens een hoogwater (met een hoog stijghoogte niveau) op te zetten, wordt de neerwaartse druk op de bodem van de watergang verhoogd. Naar verwachting is dit in de praktijk lastig te creëren door diverse onzekerheden. De enige mogelijkheid die wordt gezien is om het waterpeil continu hoger te hanteren. Voor nu is het onbekend wat de invloed is van het verhogen van het waterspiegel op het waterpeil in de rest van het gebied.

Maatregel 2: De bodem van de watergang volgens Variant 1 i.p.v. 3

Door het bodemniveau van de watergang hoger te kiezen neemt de neerwaartse druk toe op de onderkant slecht doorlatende grondlagen. Dit is een variant die reeds één van de varianten is geweest in het voorontwerp. Wanneer de watergang tevens verbreedt wordt, blijft de afvoercapaciteit gelijk. In tabel 4-2 en tabel 4-4 zijn voor deeltraject C en D reeds het verschil in veiligheidsfactoren weergegeven tussen een bodemniveau van de watergang van NAP-4,12 m en NAP-4,62 m.

Conclusie:

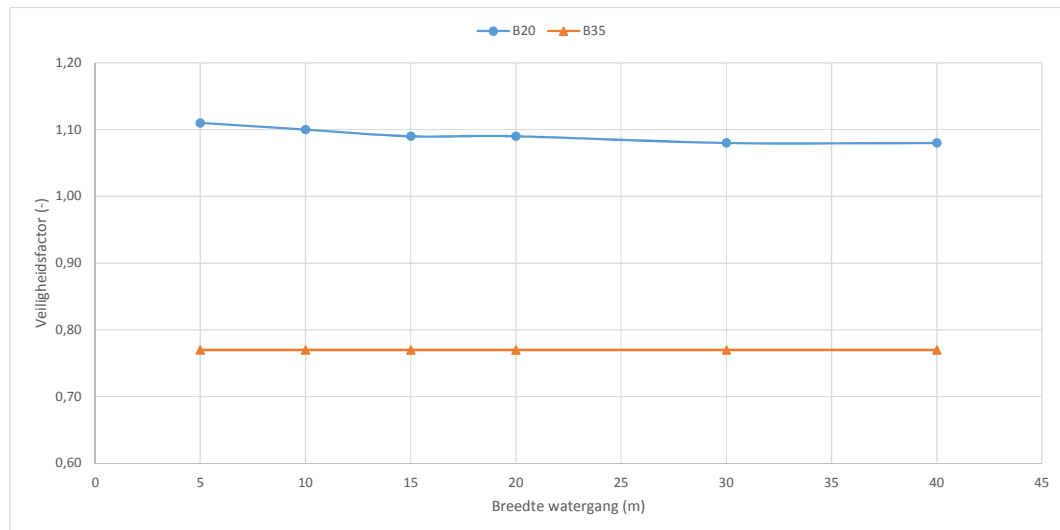
De veiligheidsfactoren nemen zeer wisselend toe. Dit komt voornamelijk door de grondsoort die wordt aangetroffen in de extra 0,50 m. Bestaat dit uit klei met een redelijk volumegewicht, dan neemt de veiligheidsfactor met ca. 10% toe. Zal deze 0,50 m uit veen bestaan of zeer slappe klei, dan blijft de toename beperkt tot maximaal 5%.

Maatregel 3: smallere meerdere watergangen

Deze maatregel is voornamelijk geënt om de invloed van de taluds op de neerwaartse druk op de bodem van de watergang te benutten. Door de watergang smaller te maken dragen de taluds meer bij aan de neerwaartse belasting in het midden van de watergang.

In het huidige ontwerp is ca. 20 m breedte aangehouden voor de watergang.

Bij boring B20 (tracédeel C) en B35 (tracédeel D) is gekeken naar de effecten van een versmalling van de watergang van 40 → 5 m, zie figuur 5-1. Uit de huidige resultaten volgt een veiligheidsfactor van 1,09 voor B20 en 0,77 voor B35 bij een ontgravingsniveau van NAP-4,62 m.



figuur 5-1: Invloed bodembreedte watergang op veiligheidsfactor.

Conclusie:

- Bij B20 varieert de veiligheidsfactor tussen 1,08 en 1,11
- Bij B35 blijft de veiligheidsfactor gelijk aan 0,77 voor elke breedte van de watergang.

Hieruit wordt geconcludeerd dat versmalling van de watergang zeer beperkte invloed heeft op het opbarsten. Pas bij watergangen smaller dan 5 m wordt de invloed significant groter, alleen dat is voor dit ontwerp niet reëel.

Maatregel 4: Verzwaring van de bodem van de watergang.

De eerste gedachte was om klei te gebruiken als ingraving om de neerwaartse druk op de bodem van de watergang te verhogen en hydraulische kortsluiting te voorkomen. Uit de berekeningen blijkt dat er nog een redelijk tekort is aan neerwaartse belasting. Daarom is een tweede alternatief bedacht en dat is het aanbrengen van zand. Voordelen zijn dat dit zwaarder is dan klei en gemakkelijker onder water toe te passen dan klei. Het zal duidelijk zijn dat wanneer het watervoerend pakket wordt aangesneden (=kortsluiting) dit geen oplossing is.

In Tracédeel C blijft na het graven van de watergang er een afsluitende laag aanwezig van veen of klei. Voor Tracédeel D zijn er meerdere plekken waarbij de bodem van de watergang insnijdt in het watervoerend pakket. Voor de uitwerking van deze maatregel wordt verwezen naar paragraaf 5.2.

Maatregel 5: Het plaatsen van stijghoogte-ontspanners.

Door langs of in de watergang peilbuizen te plaatsen tot in het watervoerend pakket die overspannen water kunnen afvoeren wanneer de stijghoogte hoger wordt dan de bovenkant peilbuis, kan de wateroverdruk onder de bodem van de watergang worden beheerst. Nadeel is het beheer van de peilbuizen en vooral hoe beschadiging te voorkomen, o.a. bij opschoon werkzaamheden daarnaast moet het ingestroomde grondwater worden afgevoerd. Vooralsnog is deze optie buiten beschouwing gelaten, vanwege allerlei onzekerheden.

Maatregel 6: Het toepassen van een filter op de bodem van de watergang

Dit is geen maatregel om opbarsten te voorkomen, maar om uitspoeling van de bodem van de watergang te voorkomen wanneer opbarsten plaatsvindt. Met name bij aanwezigheid van zand direct onder de bodem van de watergang wordt door het plaatsen van een filter voorkomen dat

er zanduitspoeling plaatsvindt. Het te kiezen filter kan granulair van opbouw zijn of een geballast geotextiel dient daarom wel grondkerend te zijn, maar waterdoorlatend zodat de wateroverdruk weg kan. Deze maatregel wordt toegepast waarbij de bodem van de watergang insnijdt in de zandlaag en liggen geen berekeningen aan ten grondslag.

5.2 Uitwerking kansrijke maatregelen

Uit de benoemde maatregelen zijn een aantal geselecteerd ter voorkoming van opbarsten. In een aantal varianten is gekozen voor een combinatie van maatregelen. Onderstaande varianten zijn beschouwd waarbij de nadruk wordt gelegd op het verzwaren van de bodem van de watergang:

- Optie 1: zanddikte bij slootbodem NAP -4,62 m en ws = NAP -1,87 m.
- Optie 2: zanddikte bij slootbodem NAP -4,62 m en ws = NAP -1,37 m.
- Optie 3: zanddikte bij slootbodem NAP -4,12 m en ws = NAP -1,87 m.
- Optie 4: zanddikte bij slootbodem NAP -4,12 m en ws = NAP -1,37 m.

In tabel 5-1 en tabel 5-2 zijn de uitkomsten gepresenteerd voor tracédeel D en C.

tabel 5-1: Berekeningsresultaten opties verbetermaatregelen voor tracédeel D.

Maatregelen Tracédeel D									
Boring	Origineel	Optie 1	SF	Optie 2	SF	Optie 3	SF	Optie 4	SF
B26	1,11	som voldoet net niet met 1,109	1,109	n.v.t.	1,17	n.v.t.	1,16	n.v.t.	1,22
B27	1,06	1,25 m zand ingraven	1,13	n.v.t.	1,13	n.v.t.	1,13	n.v.t.	1,19
B29	1,02	1 m zand ingraven	1,11	0,5 m ingraven	1,13	1 m zand ingraven	1,13	n.v.t.	1,15
B32	1,01	Zandpakket zit zeer dicht onder bodem watergang. Opties zijn n.v.t.							
B33	0,57	Zandpakket zit zeer dicht onder bodem watergang. Opties zijn n.v.t.							
B34	0,89	Zandpakket zit zeer dicht onder bodem watergang. Opties zijn n.v.t.							
B35	0,77	Zandpakket zit zeer dicht onder bodem watergang. Opties zijn n.v.t.							
B36	0,98	Zandpakket zit zeer dicht onder bodem watergang. Opties zijn n.v.t.							
B37	0,96	Zandpakket zit zeer dicht onder bodem watergang. Opties zijn n.v.t.							
B38	1,07	Geen haalbare oplossing	n.v.t.	n.v.t.	1,12	n.v.t.	1,11	n.v.t.	1,13
B40	1,09	1,5 m zand ingraven	1,11	n.v.t.	1,14	n.v.t.	1,11	n.v.t.	1,16
B41	1,06	1 m zand ingraven	1,12	n.v.t.	1,11	0,5 m zand ingraven	1,11	n.v.t.	1,13

Opgemerkt wordt dat bij B26 net niet voldaan wordt in het huidige ontwerp, maar dit is dusdanig minimaal dat zonder maatregelen voldoende veiligheid is tegen opbarsten.

tabel 5-2: Berekeningsresultaten opties verbetermaatregelen voor tracédeel C.

Maatregelen Tracédeel C									
Boring	Origineel	Optie 1	SF	Optie 2	SF	Optie 3	SF	Optie 4	SF
B20	1,08	0,75 m zand ingraven	1,14	n.v.t.	1,14	0,50 m zand ingraven	1,13	n.v.t.	1,14
B21	1,00	1,50 m zand ingraven	1,14	1 m zand ingraven	1,15	1,50 m zand ingraven	1,14	0,75 m zand ingraven	1,12
B22	0,99	1,50 m zand ingraven	1,12	1,25 m zand ingraven	1,15	1,50 m zand ingraven	1,12	1 m zand ingraven	1,13
B23	1,10	0,75 m zand ingraven	1,12	n.v.t.	1,15	n.v.t.	1,15	n.v.t.	1,20
B25	1,08	0,75 m zand ingraven	1,13	n.v.t.	1,14	n.v.t.	1,11	n.v.t.	1,17
B26	1,11	som voldoet net niet met 1,109	1,109	n.v.t.	1,17	n.v.t.	1,16	n.v.t.	1,22

Voor het deel B32 t/m B37 zijn er weinig mogelijkheden om maatregelen toe te passen. Veelal is de watervoerende zandlaag direct onder de bodem van de watergang aanwezig en heeft een ingraving geen nut. In deze situaties zijn stijghoogte-ontspanners de enige manier om de opwaartse druk te verminderen. Een andere mogelijkheid is om een voldoende zwaar filter toe te passen en kwel te accepteren uit het watervoerend pakket in de watergang zoals ook in de huidige situatie het geval is.

In tracédeel A is onvoldoende veiligheid tegen opbarsten ter plaatse van B6 en B9.

In boring B6 resteert er na graven van de nieuwe waterloop (bodemniveau NAP -4,57 m) nog slechts 0,07 m klei

Wanneer er een laag klei met een volumegewicht van 17 kN/m³ onder de slootbodem wordt aangebracht (zie tabel 5-3) dan is er een laag van minimaal 1,85 m nodig. Wanneer wordt

uitgegaan van 15 kN/m³ omdat klei onderwater niet of moeilijk te verdichten is, is een laag van minimaal 2,80 m nodig.

tabel 5-3: Berekeningsresultaten bij kleiafdichtin in B6

B 6	niveau m NAP	γ kN/m ³	Neerwaarts kPa	Opwaarts kPa		niveau m NAP	γ kN/m ³	Neerwaarts kPa	Opwaarts kPa
stijghoogte	-1,50					-1,50			
ws	-2,32					-2,32			
slootbodern	-4,57	9,81	22,1			-4,57	9,81	22,1	
ok klei	-6,42	17,0	53,5	48,3		-7,37	15,0	64,1	57,6
opbarstveiligheid			1,11			opbarstveiligheid			1,11

In boring B9 ligt er onder de nieuwe slootbodern een laag veen van 0,35 m en lichte klei ($\gamma_{\text{nat}} = 13,8 \text{ kN/m}^3$). Door een grond verzwaring in de vorm van (los) zand aan te brengen van 1 m dikte wordt voldaan aan de gewenste opbarstveiligheid.

6 Conclusie en aanbevelingen

Voor een betere zoetwater toevoer in droge perioden is Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden bezig om de capaciteit van de bestaande Lopikerwaardroute uit te breiden. Hiervoor worden bestaande watergangen over ca. 14,5 km uitgediept en verbreed. De Lopikerwaardroute is opgedeeld in 4 tracédelen: A t/m D.

Uit eerder onderzoek is gebleken dat er lokaal gevaar voor opbarsten verwacht mocht worden. Maar omdat er geen lokaal gemeten volumegewichten beschikbaar waren en omdat op diverse plaatsen het beschikbare onderzoek niet tot de gewenste diepte reikte, is besloten om aanvullend grondonderzoek uit te voeren.

Dit **aanvullende grondonderzoek** heeft geresulteerd in 42 boringen die zijn uitgevoerd tot 11 m-mv zodat de aanwezigheid van een slecht doorlatende laag kon worden aangetoond. Tevens zijn in deze boringen ongeroerde grondmonsters gestoken waarmee het gewicht van de grondkolom bepaald kan worden. Van de gemeten volumegewichten is van elke grondsoort per tracédeel het gemiddelde bepaald. Deze gemiddelde volumegewichten zijn gebruikt bij de opbarstberekningen die zijn uitgevoerd met Dino-loket boringen. Daarnaast zijn peilbuizen geplaatst waarin de stijghoogte gemeten is gedurende 3 maanden (28 februari – 12 juni 2017). Hieruit is afgeleid of er verschil is tussen de freatische grondwaterstand en de stijghoogte. Tevens zijn de gemeten stijghoogten gebruikt ter bepaling van de maxima.

Uit de beschikbare stijghoogte- en de peilbuismetingen van Dino-loket zijn de **ontwerp-stijghoogten** bepaald. Deze zijn per tracédeel afgeleid:

- Tracédeel D zuid: NAP+0,25 m (Lopikerweg west tot Lek).
- Tracédeel D noord: NAP–1,00 m (noord van Lopikerweg west)
- Tracédeel C: NAP–1,00 m
- Tracédeel B: NAP–1,25 m
- Tracédeel A: NAP–1,50 m

De **opbarstberekningen zijn uitgevoerd volgens de methode NEN 9997** met een belastingfactor $\gamma_{G, stb} = 1,00$. De redenen daarvoor zijn:

- de invloed van de sloottaluds is eenvoudig te bepalen
- deze methode is gelijk aan die in Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen (TRZW) wordt beschreven
- de uitkomsten van de methoden uit de NEN en de TRZW en NEN geven een beter gevoel wanneer een bodem opbarst of niet in tegenstelling tot die van OI2014

Uit de **opbarstberekningen** blijkt dat er in tracédeel B geen problemen zijn, in tracédeel A op twee locaties en in tracédeel C en D treedt er over grotere lengte opbarsten op. In het algemeen geldt dat Variant 1 (ondiepere waterlopen) minder problemen oplevert (zie tabel 6-1) dan Variant 3 waarbij de slootbodem dieper komt te liggen. Dit komt vooral tot uiting in tracédeel D.

tabel 6-1: Locaties/trajecten die NIET voldoen aan de opbarstveiligheid bij variant 1&3.

tracédeel	omschrijving	Variant 1	Variant 3
D	Lek-Lopikerweg W	B38E0101-B38	B32-B41
	noord v. Lopikerweg	B38E1020	B38E1020-B29
		B29	
C	-	B20	B20-B23
		B21-B22	
B	-	-	-
A	-	B6	B6
		B9	B9

Het blijkt dat de opbarstveiligheid voor de huidige geometrie van de sloten in tracédeel D (traject B32-B41) royaal beneden de norm ligt. Dit betekent dat de huidige sloten ook reeds kwellen en dat de bredere sloten de kwel zullen vergroten: $q_{kwel;nw} = B_{nw}/B_{huidig} * q_{kwel;huidig}$.

$$\text{Variant 1} \quad q_{kwel;nw} = 27,70/6,00 * q_{kwel;huidig} = 4,6 * q_{kwel;huidig}$$

$$\text{Variant 3} \quad q_{kwel;nw} = 16,40/6,00 * q_{kwel;huidig} = 2,7 * q_{kwel;huidig}$$

Om de opbarstveiligheid te vergroten zijn meerdere **maatregelen** mogelijk. Maatregelen zoals 'het ondieper maken van de waterloop' zijn buiten beschouwing gelaten omdat dit mogelijk invloed heeft op de afvoercapaciteit. Een andere maatregel is het 'tijdelijk verhogen van het waterpeil'. Het blijkt dat deze maatregel op sommige locaties een adequate oplossing is om te voldoen aan de opbarstveiligheid.

Wanneer de maatregelen zoals 'grondverzwaring' ter plaatse van een boring nodig is, dan begint de maatregel op 2/3 van de afstand tussen twee boringen vóór de boring die onvoldoende opbarst veiligheid heeft.

Tracédeel A

Om ter plaatse van boring B6 aan de vereiste opbarstveiligheid te voldoen, is een laagklei beneden de slootbodem nodig van:

1,85 m nodig met een volumegewicht van 17 kN/m³

2,80 m nodig met een volumegewicht van 15 kN/m³ over een lengte van 119 m.

Ter plaatse van boring B9 wordt aan de vereiste opbarstveiligheid voldaan door een grond verzwaring in de vorm van (los) zand aan te brengen ter dikte van 1 m over een lengte van 258 m.

Tracédeel C

Voor tracédeel C lijkt de meest voor de hand liggende maatregel 'grondverzwaring' te zijn omdat rond NAP-10 m een slecht doorlatende laag aanwezig is. Bij deze maatregel wordt de aanwezige grond, klei en veen, beneden de slootbodem vervangen door zand.

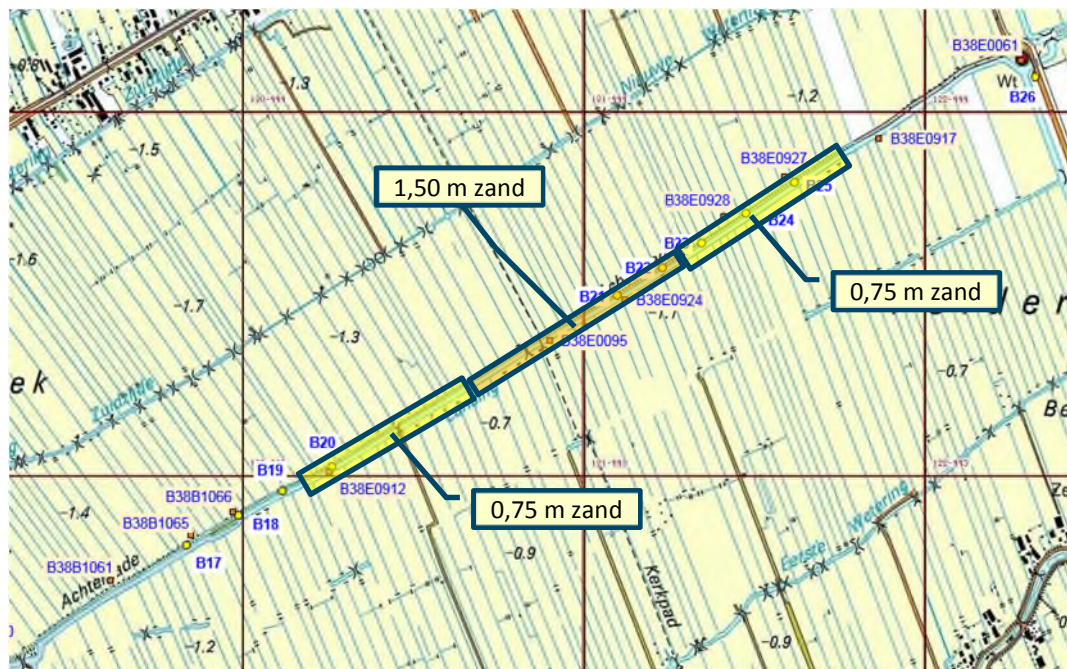
In figuur 6-1 zijn de trajecten aangegeven waar en met welke dikte er grondverzwaring moet worden toegepast (zie ook tabel 4-4). De totale lengte waarover maatregelen moeten worden uitgevoerd bedraagt 2.310 m

Tracédeel D

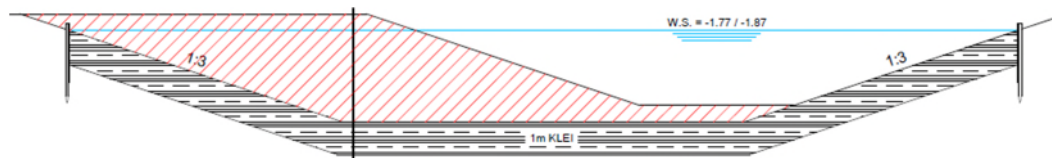
Voor het noordelijke traject van D (B27-B29) en het meest zuidelijke traject (B40-B41) lijkt de meest voor de hand liggende maatregel 'grondverzwaring' te zijn omdat rond NAP-10 m een slecht doorlatende laag aanwezig is.

In figuur 6-3 zijn de trajecten aangegeven waar en met welke dikte er grondverzwaring moet worden toegepast (zie ook tabel 4-2). De totale lengte waarover maatregelen worden uitgevoerd

Voor het deel B32 t/m B37 zijn er weinig mogelijkheden om maatregelen toe te passen. Veelal is de watervoerende zandlaag direct onder de bodem van de watergang aanwezig en heeft een 'grondverzwaring' geen nut. In deze situaties zijn stijghoogte-ontspanners de enige manier om de opwaartse druk te verminderen. Indien er gevaar bestaat dat er bodem materiaal zal worden getransporteerd (erosie) dan is een mogelijkheid om een voldoende zwaar filter toe te passen en kwel te accepteren uit het watervoerend pakket in de watergang zoals ook in de huidige situatie het geval is.



De grondverzwaring dient ter plaatse van de bodem te worden aangebracht. Ter plaatse van de taluds is ook verzwaring nodig. Deze kan uitwiggend worden uitgevoerd vanaf de slootbodembodem naar de waterspiegel. Maar een constante dikte is waarschijnlijk praktischer. Ter hoogte van de waterspiegel is een betuining aan te raden. Wanneer zand wordt toegepast dan is een talud van 1:3 stabiel maar wanneer er grondwateruitreedt dan is een talud van 1:4 te preferen of het toepassen van een bekleding, bijvoorbeeld een beton bolkkenmat met daaronder een geotextiel.



Normaal zand op de bodem van de waterloop is stabiel tot een stroomsnelheid van $\leq 0,30$ m/s. Wanneer het fijn zand betreft is het erosiegevoeliger.



Nadat het conceptrapport is besproken met HDSR, is er oude informatie van de Ruilverkaveling Lopikerwaard uit 1984 beschikbaar gekomen

Hierbij is een geotechnisch lengteprofiel langs de wetering gebaseerd op elektromagnetisch onderzoek, geverifieerd met grondboringen, vanaf de Lekdijk tot voorbij Lopikerweg.

Gebruik van dit geotechnisch lengteprofiel leidt tot optimalisatie van het ontwerp.

Tevens is bij deze informatie aangegeven dat er filterputten langs de hoofdwatgang zijn aan gebracht die opbarsten van de afdeklaag voorkomen. Wanneer de watgang wordt verbreed of verdiept dient van te voren nagegaan te worden of de filters gehandhaafd kunnen worden of dat er nieuwe geplaatst moeten worden.

Blad 42 van 43

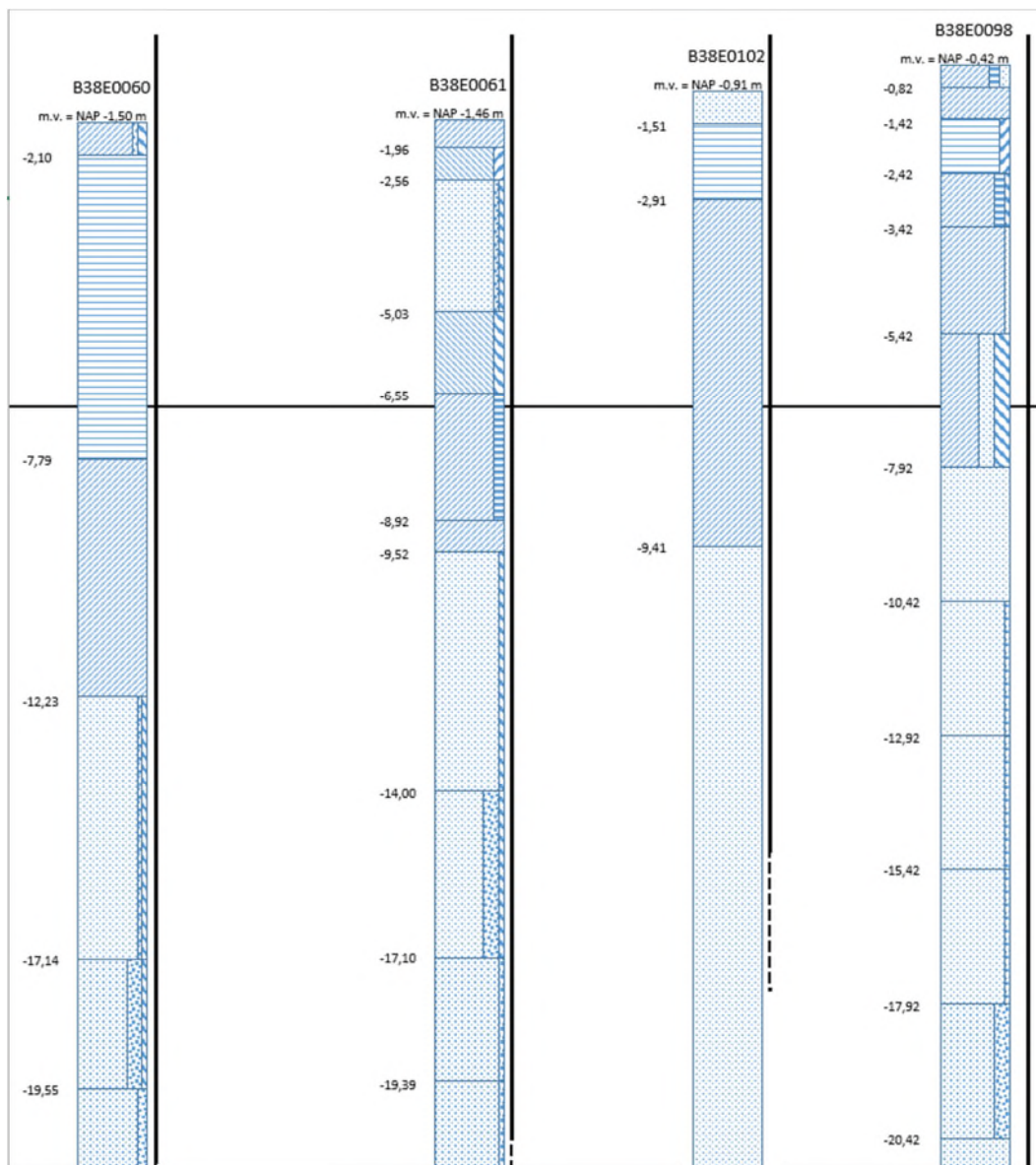
7 Referenties

- [1] Geodijk, „Opbarstgevoeligheid en stabiliteit KWA - Lopikerwaardroute,” 2016.
- [2] H. v. Meekeren, „Second opinion KWA-Lopikerwaardroute + voorstel aanvullend grondonderzoek,” Antea Group, Heerenveen, 23 juni 2016.
- [3] Rijkswaterstaat, „Handreiking ontwerpen met overstromingskansen,” Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Februari 2017.
- [4] Nederlands Normalisatie-instituut, „NEN 9997-1 (nl),” NEN, Delft, juni 0216.

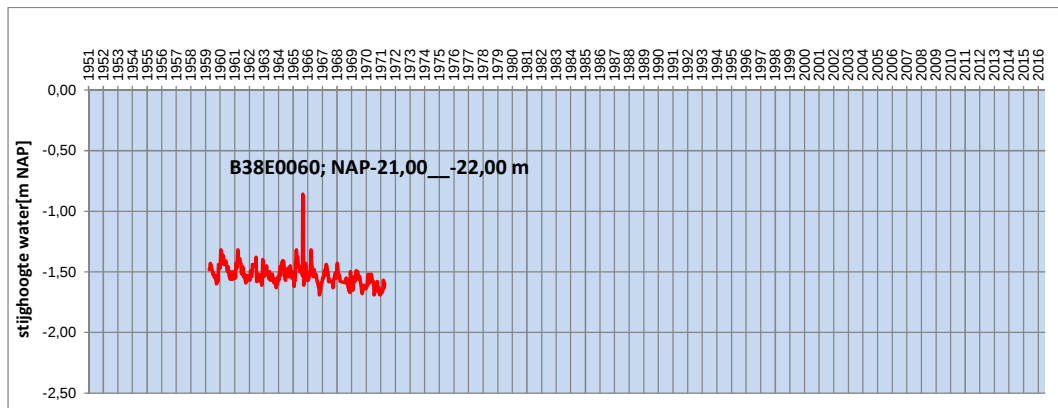
Bijlage 1 Peilbuiswaarnemingen

Dino-loket langdurige metingen

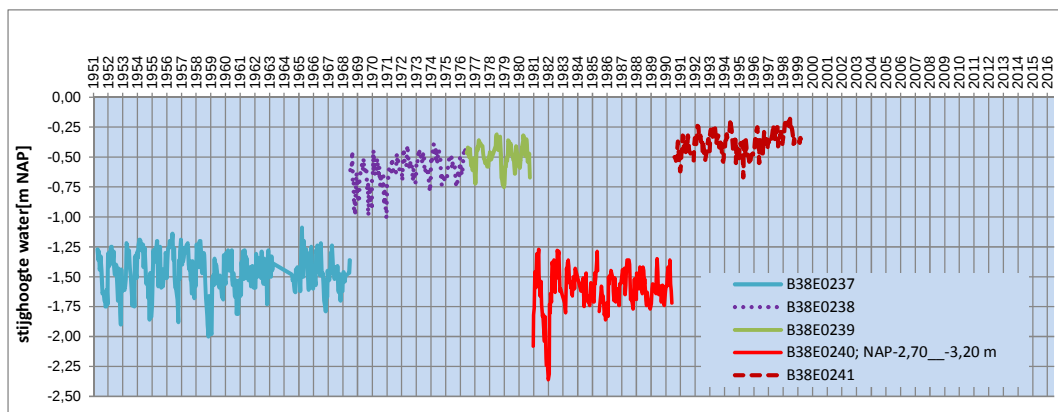
Positie van de Dino-loket peilbuizen waarvan de bodemopbouw bekend is.



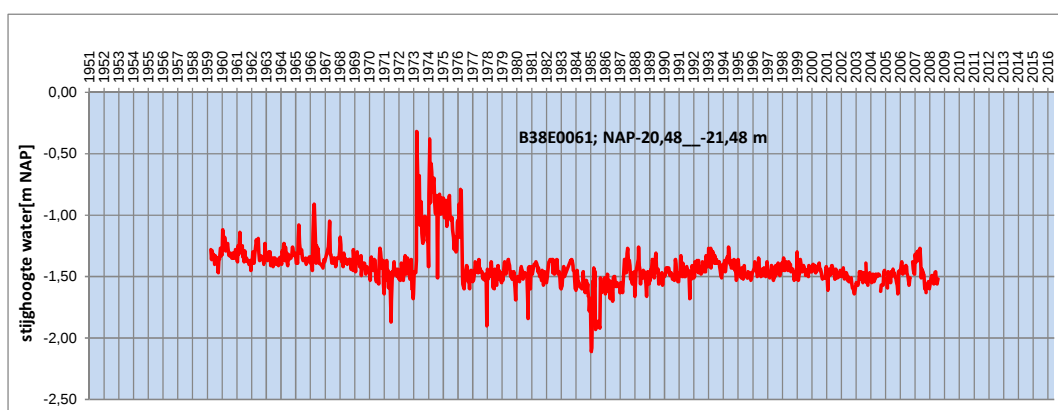
Boorprofielen langs tracédeel D, inclusief globale aanduiding van de filterdiepte.



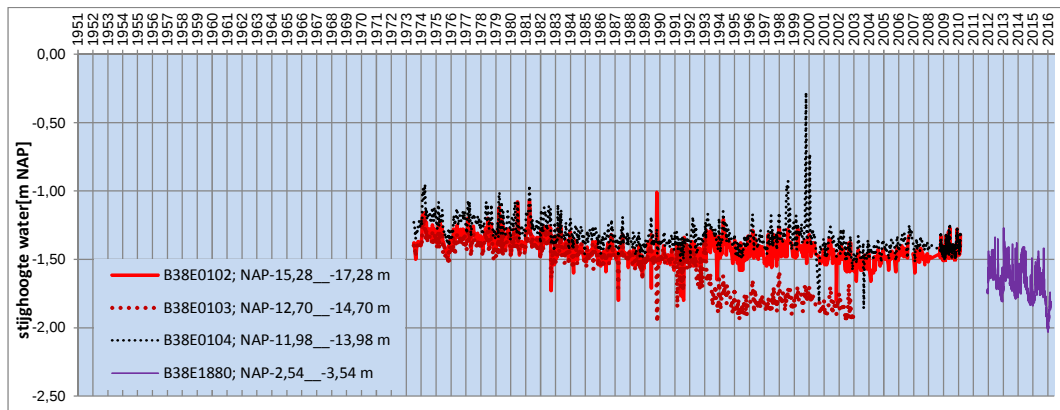
Peilbuis B38E0060; stijghoogte metingen in het 1^e watervoerende pakket.



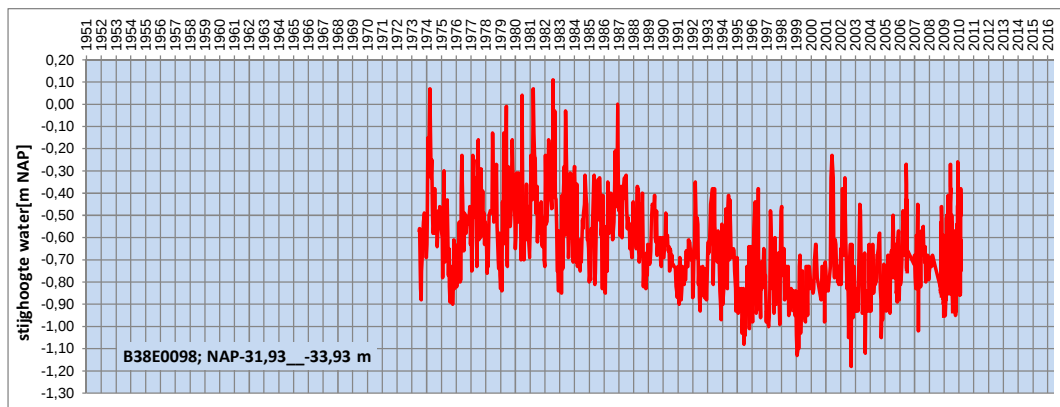
Deze peilbuizen staan t.h.v. Polsbroekerdam; de filterdiepte van de overige peilbuizen is onbekend.



Peilbuis B38E0061 t.h.v. knikpunt van tracédeel C-D;
stijghoogte metingen in het 1^e watervoerende pakket.

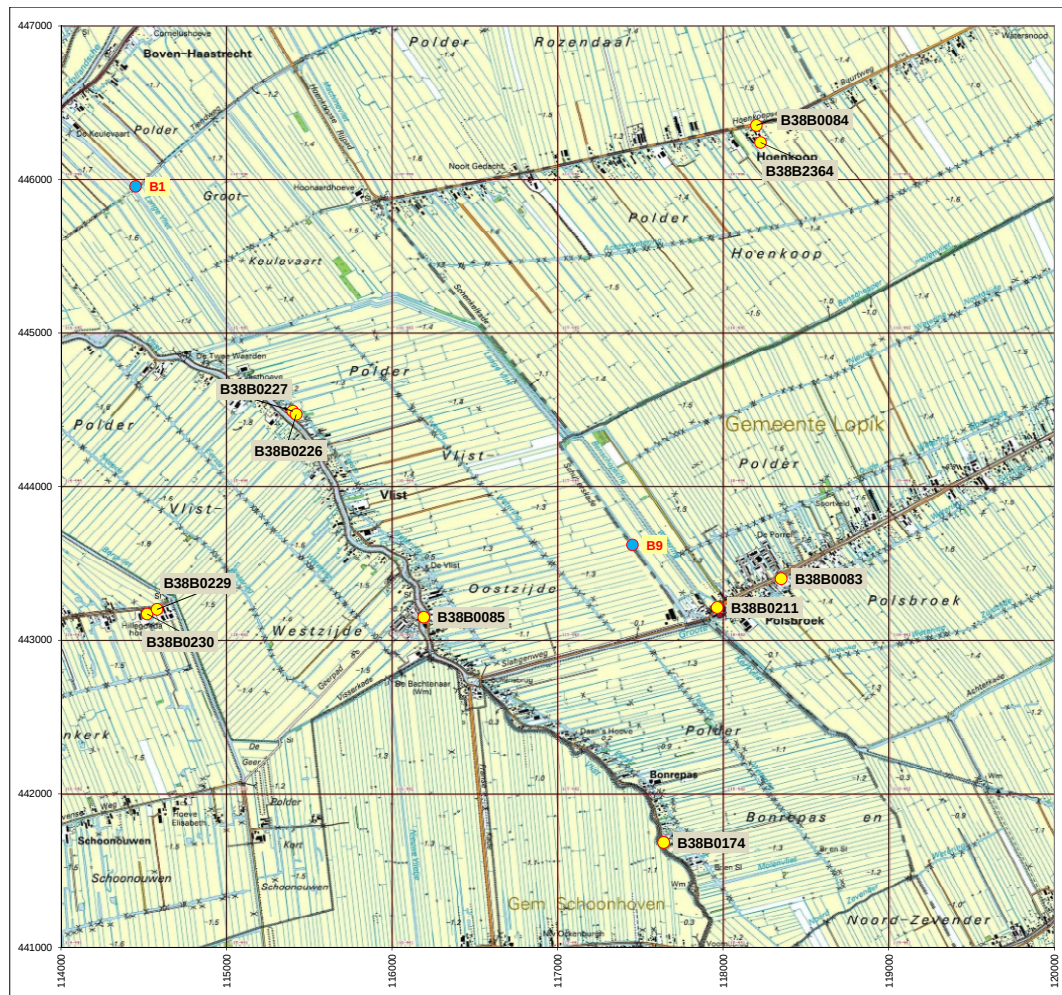


Cluster peilbuizen nabij snijpunt tracédeel D met de Lopikerweg West / Wielsekade;
stijghoogte metingen in het 1^e watervoerende pakket.

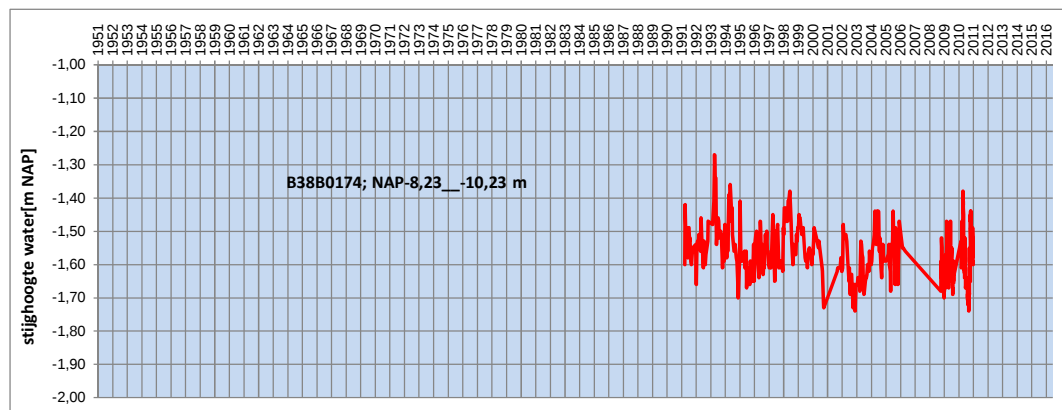


Peilbuis B38E0098 in tracédeel D t.h.v. N210;
stijghoogte metingen in het 1^e watervoerende pakket.

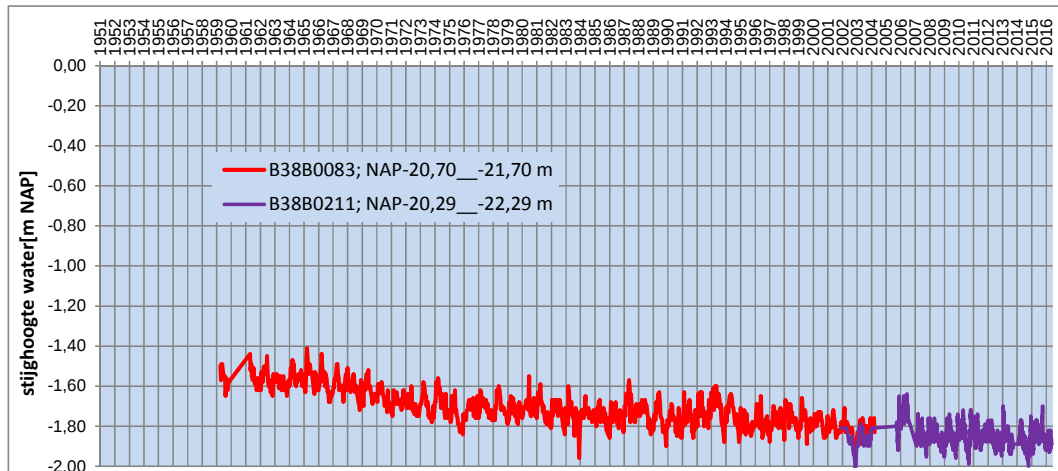
Tracédeel B&A



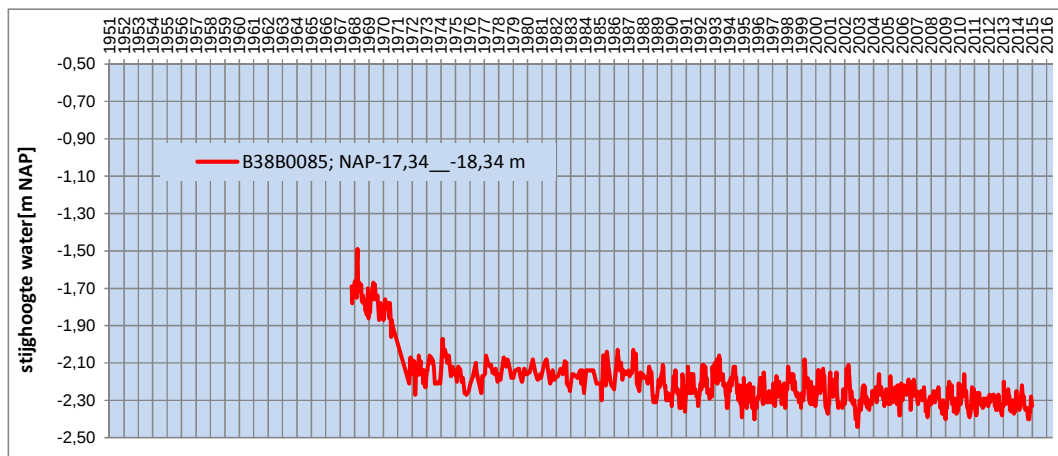
Positie van de Dino-loket peilbuizen.



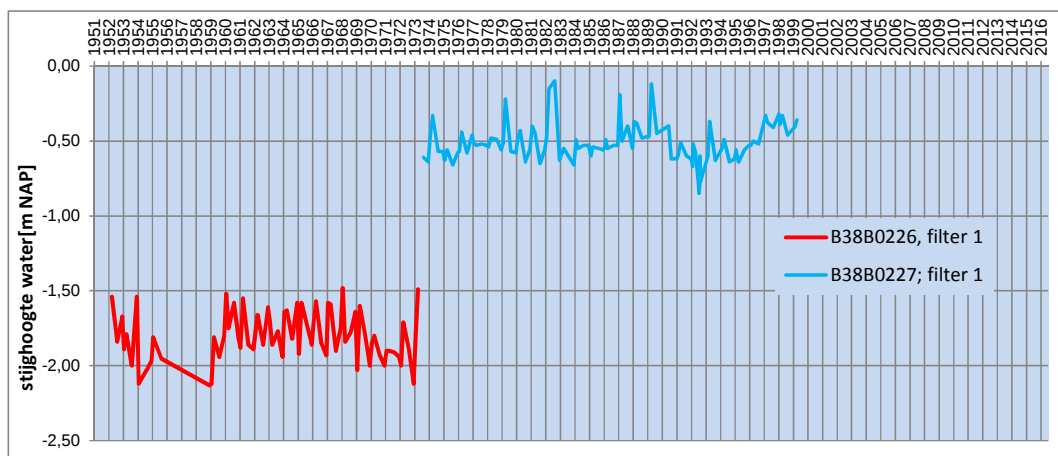
Peilbuizen B38B0174 in tracédeel B/A (richting Schoonhoven);
metingen van de GWS en de stijghoogte in het 1^e en 2^e watervoerende pakket zijn
praktisch aan elkaar gelijk (onderling verschil gemiddeld= 0,08 m en maximaal = 0,28 m).



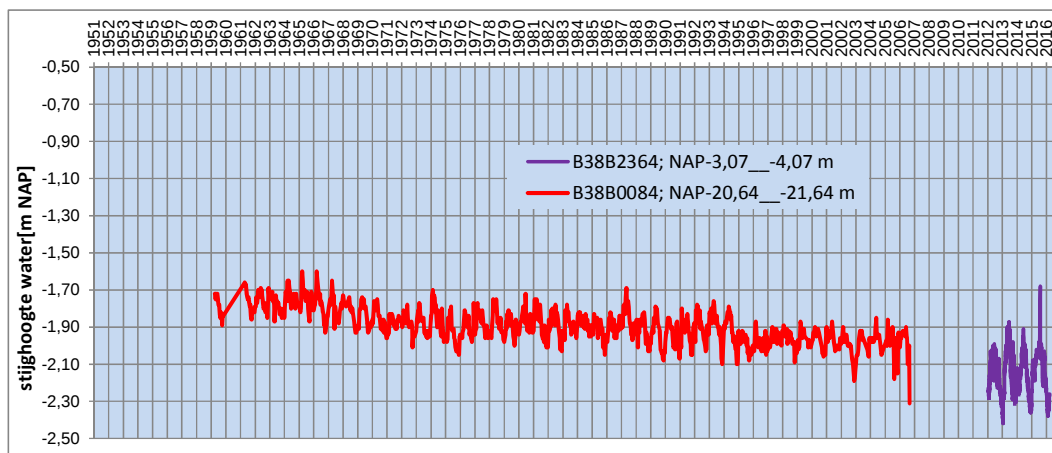
Peilbuizen B38B0083 en B38B0211 in tracédeel B/A (Polsbroek);
stijghoogte metingen in het 1^e watervoerende pakket.



Peilbuis B38B0085 in tracédeel B/A (Vlist);
stijghoogte metingen in het 1^e watervoerende pakket.



Peilbuizen B38B0226 en B38B0227 in tracédeel A (Vlist);
stijghoogte metingen in het 1^e watervoerende pakket en freatische grondwaterstand?



Peilbuizen B38B0084 en B38B2364 in tracédeel A (Hoenkoop);
stijghoogte metingen in het 1^e watervoerende pakket en freatische grondwaterstand.

Over Antea Group

Van stad tot land, van water tot lucht; de adviseurs en ingenieurs van Antea Group dragen in Nederland sinds jaar en dag bij aan onze leefomgeving. We ontwerpen bruggen en wegen, realiseren woonwijken en waterwerken. Maar we zijn ook betrokken bij thema's zoals milieu, veiligheid, assetmanagement en energie. Onder de naam Oranjewoud groeiden we uit tot een allround en onafhankelijk partner voor bedrijfsleven en overheden. Als Antea Group zetten we deze expertise ook mondiaal in. Door hoogwaardige kennis te combineren met een pragmatische aanpak maken we oplossingen haalbaar én uitvoerbaar. Doelgericht, met oog voor duurzaamheid. Op deze manier anticiperen we op de vragen van vandaag en de oplossingen van de toekomst. Al meer dan 60 jaar.

Contactgegevens

Beneluxweg 125
4904 SJ OOSTERHOUT
Postbus 40
4900 AA OOSTERHOUT

E. peggy.leemans@anteagroup.com

www.anteagroup.nl

Copyright © 2017

Niets uit deze uitgave mag worden
verveelvoudigd en/of openbaar worden
gemaakt door middel van druk, fotokopie,
elektronisch of op welke wijze dan ook,
zonder schriftelijke toestemming van de
auteurs.