

Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.
Water

Aan: Philip de Ruiter
Van: Evy Kleingeld en Martijn Asschert
Datum: Wednesday, 05 May 2021
Kopie:
Ons kenmerk: BG8703-RHD-ZZ-XX-NT-Z-0001
Classificatie: Projectgerelateerd
Goedgekeurd door: Andries Krikken

Onderwerp: Quickscan geohydrologie Rijnkade Arnhem

1 Inleiding

Deze memo gaat in op de geohydrologische aspecten van een dijkverbetering in het centrum van Arnhem. De dijk bestaat uit een verticale keermuur, uitgevoerd als verankerde stalen damwand voorzien van een bekleding. Er staat alleen bij hoogwatersituaties water tegen de keermuur. Maatgevend voor de stabiliteitsberekening is het (grond)waterstandsverschil na de hoogwatersituatie. De snelheid waarmee de grondwaterstand mee stijgt en daalt met de rivierwaterstand is daarvoor bepalend. Een hoogwatersituatie waarbij er daadwerkelijk water tegen de keermuur staat kent een gemiddelde periode van enkele dagen waarin "was en val" optreden.

Deze memo gaat in op de volgende punten:

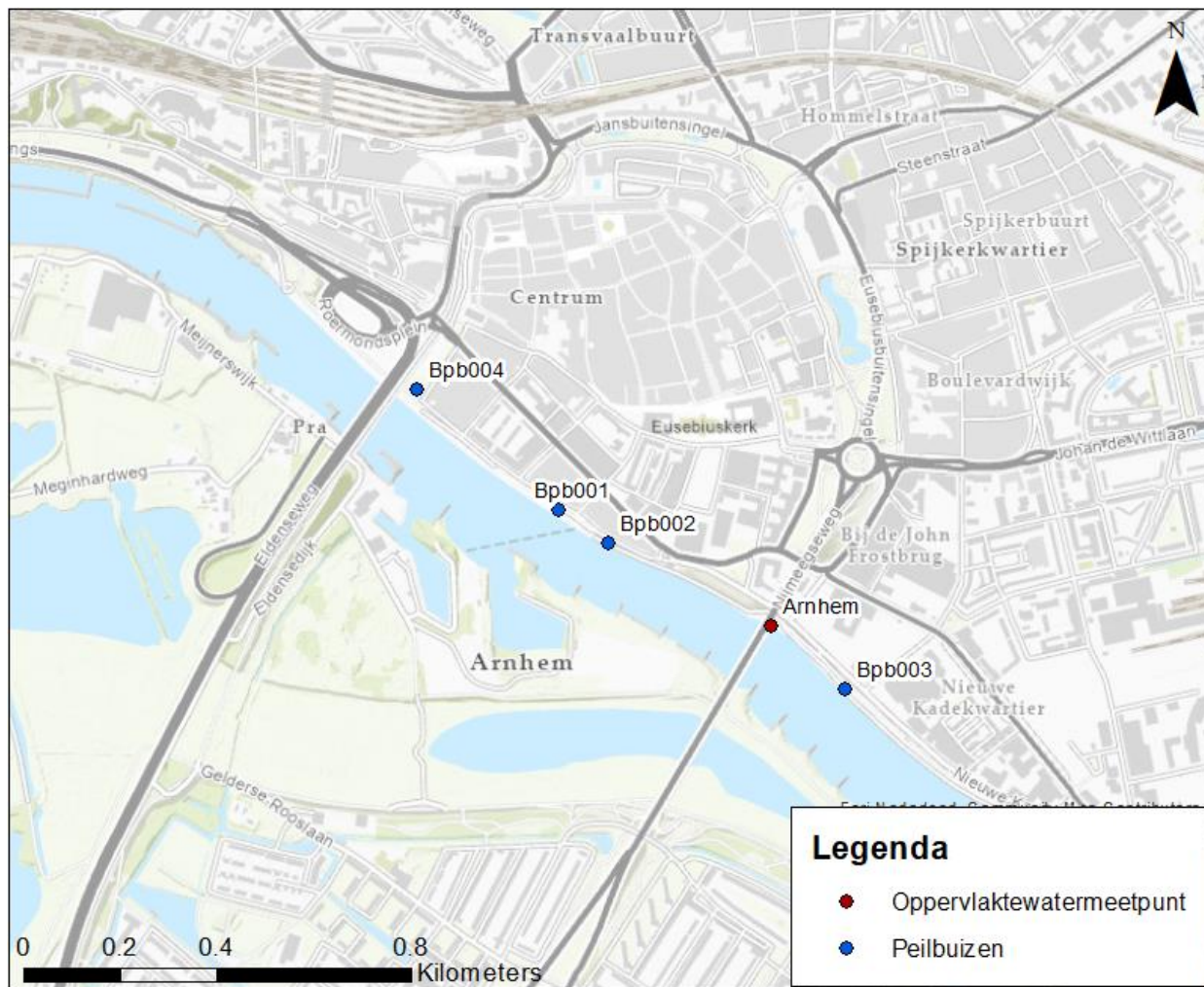
- Te verwachten grondwaterstand achter de kade tijdens hoogwater;
- Snelheid van de respons van de grondwaterstand op stijgend en vallend water buitendijks;
- Aan te houden (grond)waterstandsverschil over de kerende constructie;
- Nut en noodzaak om d.m.v. perforaties in de damwand het (grond)waterstandverschil te minimaliseren.

2 Opbouw ondergrond

De lokale opbouw van de ondergrond is bepaald op basis van de sonderingen en boringen die, in het kader van de dijkverbetering, uitgevoerd zijn door Inpijn-Blokpoel. De boringen en sonderingen die zijn gebruikt voor de interpretatie van de ondergrond ter plaatse van de 4 peilfilters zijn weergegeven in Bijlage 1. Uit deze boringen en sonderingen blijkt dat ter hoogte van de peilbuizen de ondergrond voornamelijk bestaat uit zand (voornamelijk middelgrof) met enkele meters aan afwisselend klei en kleiig zand bovenop. De dikte van deze bovenste laag varieert lokaal tussen de +/- 2 en 6 meter (zie Bijlage 1).

3 Tijdreeksen

In de periode van 9 februari 2021 tot 3 maart 2021 zijn in 4 peilfilters Bpb001 t/m Bpb004 grondwatermetingen uitgevoerd (uurlijkse metingen). Deze metingen vonden plaats gedurende een daling van de buitenwaterstand na een hoogwatersituatie. Figuur 1 toont de locaties van de peilfilters Bpb001 t/m Bpb004.



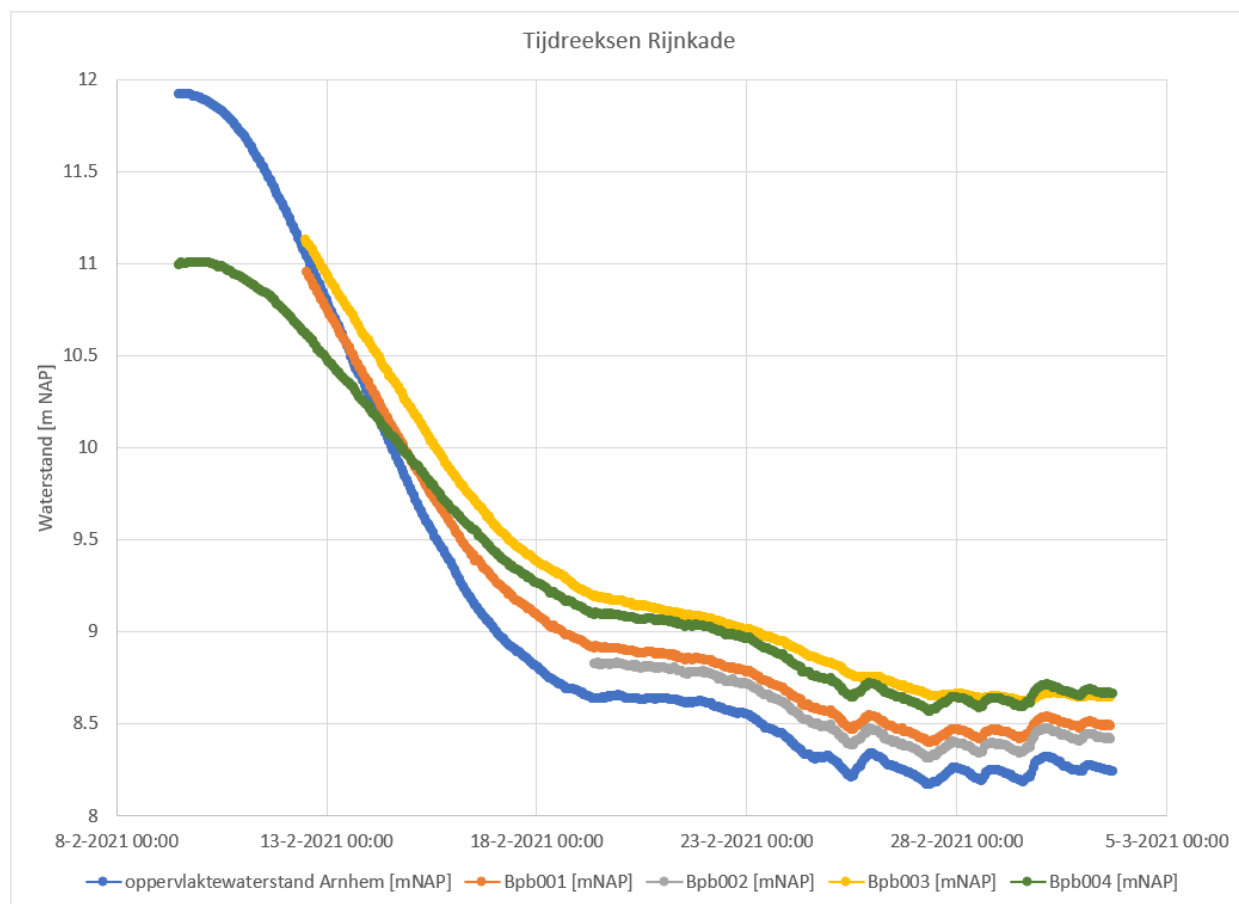
Figuur 1: Locaties peilbuizen en oppervlaktewatermeetpunt.

In aanvulling op deze grondwatermonitoring zijn de grondwaterstandsgegevens vanuit DINOloket geraadpleegd (www.dinoloket.nl). Er zijn geen peilbuisgegevens beschikbaar in de directe omgeving van de Rijnkade. Peilbuis B40B1744 en B40B1745 staan het dichtst bij de Rijnkade, beiden van deze peilbuizen hebben in Dinoloket geen tijdreeksen beschikbaar.

Het dichtstbijzijnde oppervlaktewatermeetpunt bevindt zich aan de Rijnkade in Arnhem (zie Figuur 1). Dit is een meetpunt van Rijkswaterstaat en de gegevens zijn verkregen via <https://waterinfo.rws.nl/>.

4 Analyse

Figuur 2 toont de gemeten tijdreeksen in de peilbuizen Bpb001 t/m Bpb004 en de oppervlaktewaterstand gemeten bij meetpunt Arnhem. Peilbuis Bpb004 is drooggefallen vanaf 18 februari, deze reeks is aangevuld op basis van de metingen in peilbuis Bpb001 (handmeting aan het einde toont een verschil van 4 cm). Tabel 1 toont de afstand van de peilbuizen tot de Rijn. Peilbuis Bpb002 heeft een te korte tijdreeks om te gebruiken bij de analyse.



Figuur 2: Tijdreeksen grond- en oppervlaktewaterstand in mNAP.

Tabel 1: Afstand peilbuis tot de Rijn in meters.

Peilbuis	Afstand tot Rijn [m]
Bpb001	14
Bpb002	8
Bpb003	8
Bpb004	41

Te verwachten grondwaterstand achter de kade tijdens hoogwater

Tijdens de gemeten hoogwatergolf van februari 2021 is alleen bij peilbuis Bpb004 de grondwaterstand gemeten (deze peilbuis ligt verder van de Rijn af dan de overige peilbuizen, zie Tabel 1).

Uit de sonderingen en boorprofielen ter hoogte van de peilbuizen blijkt dat de ondergrond bestaat uit zand (voornamelijk middelgrof) met enkele meters aan afwisselend klei en kleig zand bovenop. De dikte van deze bovenste laag varieert lokaal tussen de +/- 2 en 6 meter (zie Bijlage 1).

De tijdreeks van Bpb004 laat een demping van +/- 90 cm zien in de grondwaterstand t.o.v. de oppervlaktewaterstand tijdens de hoogwatergolf. De tijdreeksen bij peilbuis Bpb001 en Bpb003 hebben geen metingen tijdens de hoogwatergolf, maar lijken meer mee te bewegen met de oppervlaktewaterstand dan peilbuis Bpb004 (Figuur 2), dit valt af te leiden uit de helling van deze tijdreeksen tijdens de daling na

de hoogwatergolf. De verwachting is dat er tijdens de hoogwatergolf geen tot minimale demping aanwezig was bij peilbuis Bpb001 en Bpb003 van de grondwaterstand t.o.v. de oppervlaktewaterstand. Omdat de bodemopbouw bij al deze peilbuizen gelijkwaardig is, is de meest waarschijnlijke conclusie dat het water van de hoogwatergolf onderlangs stroomt en dat er geen/ weinig invloed is van de klei/ kleiige bovenlaag. De bodemweerstand van de rivier is dan maatgevend voor de relatie tussen de oppervlaktewaterstand en de grondwaterstand. De zichtbare demping bij peilbuis Bpb004 wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat deze peilbuis verder van de Rijn af ligt, en de grondwaterstand daar dus meer wordt beïnvloed door andere omgevingsfactoren.

De gemeten hoogwatergolf tijdens februari 2021 had een piek van +/- NAP +11.90 m. De dijkverbetering aan de Rijnkade wordt ontworpen voor de Waterstand bij Norm (WBN) NAP +14.2 m. Door de beperkte meetreeksen is het niet mogelijk iets te zeggen over/ op te schalen naar de grondwaterstand in een WBN situatie. Gezien het feit dat de verwachte demping ter hoogte van peilbuis Bpb001 en Bpb003 minimaal is, is de verwachting dat de grondwaterstand tijdens een hoogwatergolf grofweg gelijk zal zijn aan de hoogte van de hoogwatergolf.

Snelheid van de respons van de grondwaterstand op stijgend en vallend water buitendijks

De snelheid van het vallen van water na een hoogwatergolf is op de volgende manieren in beeld gebracht:

- Lineaire snelheid van de afname in waterstand van NAP +11.0 m tot NAP +9.5 m;
- Als de oppervlaktewaterstand NAP xx m is, dan is de bijbehorende grondwaterstand NAP xx m [m];
- De grondwaterstand is xx uur later/ eerder hetzelfde als de oppervlaktewaterstand [uren].

Tabel 2 toont de resultaten van deze analyses voor de verschillen in oppervlaktewaterstand en grondwaterstand voor de oppervlaktewaterstanden NAP +11.0, 10.5, 10.0 en 9.5 m. Deze verschillende tijdstippen geven inzicht in de curve van de respons op een daling na een hoogwatergolf. De lineaire snelheid geeft een gemiddelde dalingssnelheid over de gehele periode (van NAP +11.0 tot 9.5 m).

Tabel 2: Resultaten snelheid van het vallen van water.

Meetlocatie	Lineaire snelheid	Oppervlakte-waterstand NAP +11.0m	Oppervlakte-waterstand NAP +10.5m	Oppervlakte-waterstand NAP +10.0m	Oppervlakte-waterstand NAP +9.5m
	[cm/d]	[m]/ [uren]	[m]/ [uren]	[m]/ [uren]	[m]/ [uren]
Bpb001	67	10.9 / -3	10.5 / +2	10.1 / +7	9.7 / +15
Bpb003	55	11.1 / +6	10.7 / +16	10.4 / +25	10.0 / +41
Bpb004	38	10.6 / -56	10.3 / -15	10.1 / +5	9.8 / +28
Oppervlaktewaterstand	82	-	-	-	-

De resultaten in bovenstaande tabel laten zien dat de gemiddelde daling van de grondwaterstand in peilbuis Bpb003 het snelst is, deze peilbuis staat ook het dichtst naast de rivier (Tabel 1). De laagste snelheid wordt gevonden in peilbuis Bpb004, deze staat het verst van de rivier af. Peilbuis Bpb001 en Bpb004 kruisen de oppervlaktewaterstand tussen de NAP +11.0 m en NAP +10.0 m. Peilbuis Bpb003 kruist de oppervlaktewaterstand in de gemeten reeks niet, maar naar verwachting kruist deze reeks de oppervlaktewaterstand bij een hogere waarde voor de oppervlaktewaterstand (zie Figuur 1). Het feit dat peilbuis Bpb003 de hoogste grondwaterstand laat zien, bepaalt dat deze reeks binnen deze analyse wordt gezien als de 'worst case scenario' (van de beschikbare gegevens). Deze peilbuis definieert het grootste verschil in verval over de kering gedurende de dalende trend (grondwaterstand binnenzijde groter als rivierwaterstand).

De snelheid van de respons van de grondwaterstand op stijgend water kan niet worden bepaald omdat hierover geen gegevens beschikbaar zijn.

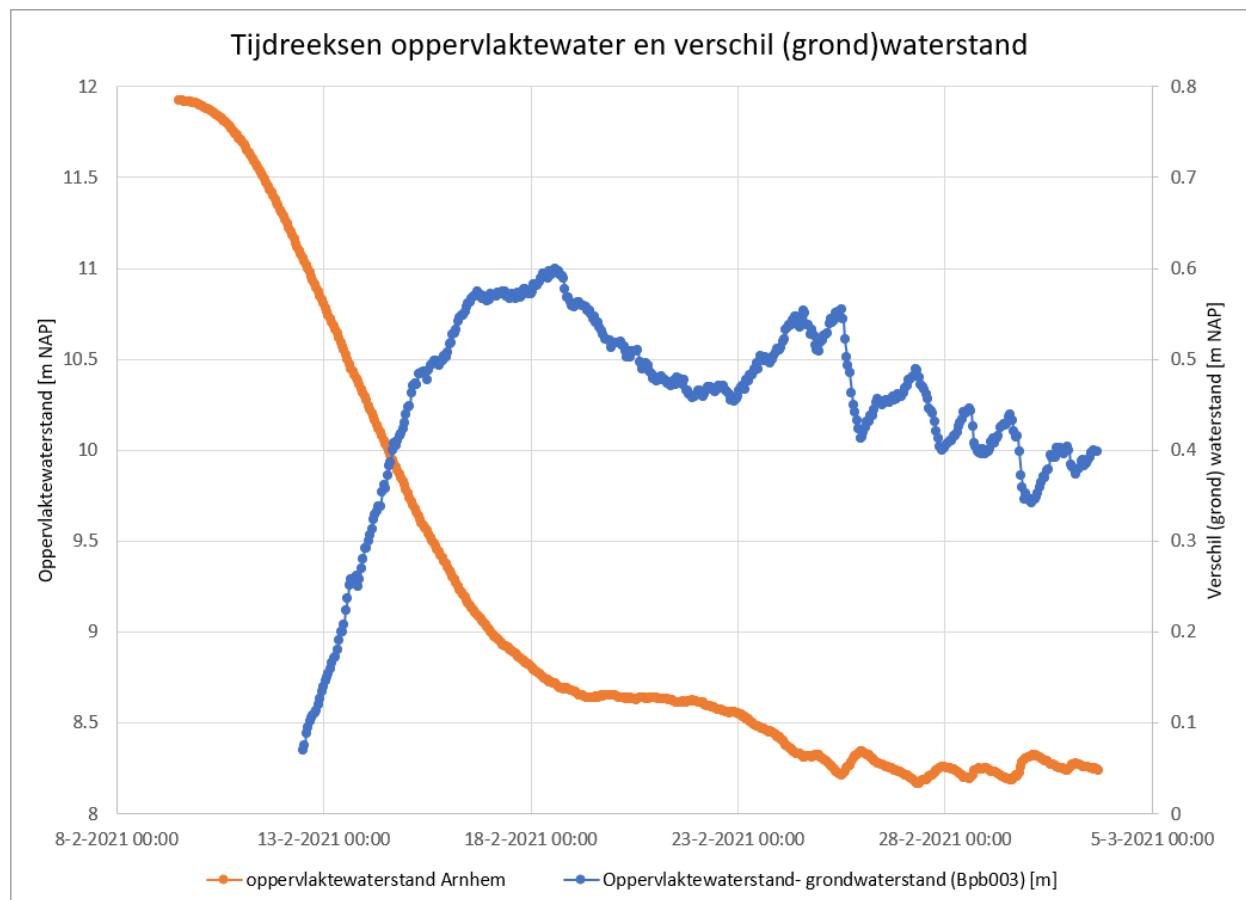
Aan te houden (grond)waterstandsverschil over de kerende constructie

Het (grond)watersverschil is het grootst met peilbuis Bpb003. Figuur 3 laat zien dat het grootste verschil in (grond)waterstand 60 cm is. Dit is het grootst gemeten verschil en daarmee het worst case scenario wat aangehouden kan worden. Dit verschil geldt voor een hoogwatergolf van +/- NAP + 11.90 m, en niet voor een WBN situatie. De conclusie van 60 cm in verschil van (grond)waterstand kan dus niet gebruikt worden ten behoeve van de ontwerpberekeningen. Er heerst een risico, dat dit verschil toeneemt in het geval van een WBN situatie als gevolg van het hoger oplopen van de stijghoogte in het achterland.

Gedurende een WBN situatie kunnen we een worst case aanname maken voor het verschil in oppervlaktewaterstand en grondwaterstand op basis van de volgende aannames:

- De doorvertaling is gemaakt voor peilbuis Bpb03, dit is de peilbuis met het grootste (grond)waterstandsverschil en daarmee de worst case situatie;
- De WBN (NAP + 14.2 m) situatie is circa een factor 1.65 hoger ten opzichte van oppervlaktewaterstand na hoogwater (NAP + 8.25 m) in vergelijking met de huidige gemeten hoogwatergolf (NAP + 11.9 m);
- Door gebrek aan data is aangenomen dat er een lineair verband is tussen de gemeten hoogwatergolf en de WBN situatie (worst case aanname);

Uit deze aannames volgt dat bij het doorvertalen van het gemeten verschil in (grond)waterstand van 60 cm bij peilbuis Bpb03 er maximaal een verschil van circa 1 meter verwacht wordt tussen de (grond)waterstand na het voorkomen van een WBN situatie (vallend water).



Figuur 3: Oppervlaktewaterstand en verschil tussen oppervlaktewaterstand en grondwaterstand in Bpb003.

Nut en noodzaak om d.m.v. perforaties in de damwand het (grond)waterstandverschil te minimaliseren

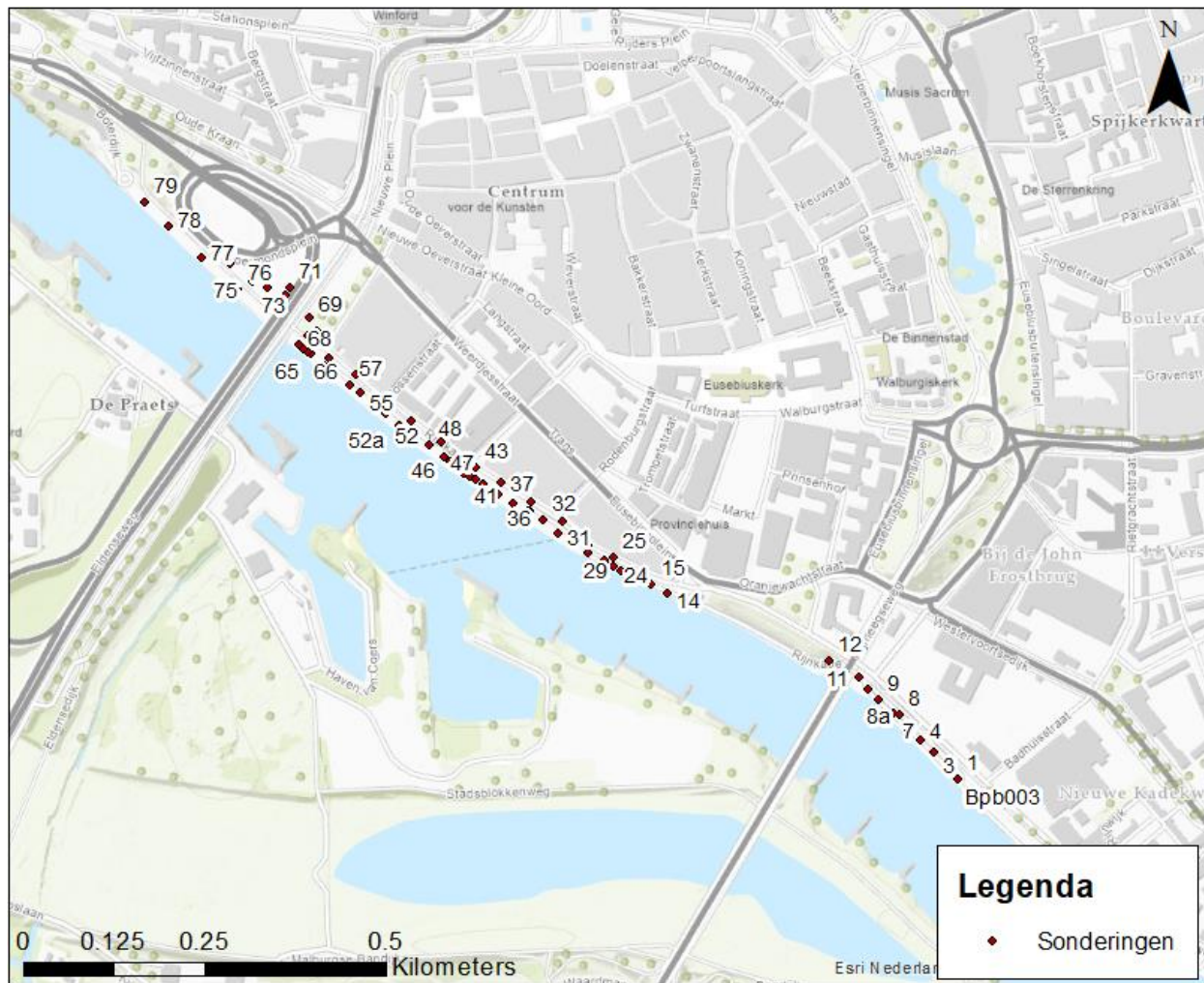
Tijdens een hoogwatergolf heeft het geen meerwaarde om perforaties aan te brengen in de damwand. Het verschil tussen de oppervlaktewaterstand en de grondwaterstand is minimaal (weinig/ geen demping), het aanbrengen van perforaties heeft dan dus ook geen effect. Tijdens de afname van de hoogwatergolf ontstaat er een verschil tussen de oppervlaktewaterstand en de grondwaterstand (zie hierboven). Indien dit stabiliteitsproblemen geeft zou het nuttig kunnen zijn om op de juiste diepte in het watervoerende pakket perforaties te maken om het verschil tussen de oppervlaktewaterstand en de grondwaterstand in een periode na een hoogwatergolf te verkleinen. Deze perforaties zorgen er dan voor dat het water uit het achterland versneld weg kan lopen richting de rivier. Nadeel van deze perforaties is wel dat, in een omgekeerde situatie (tijdens het oplopen van een hoogwatergolf), indien er wel enigszins demping plaatsvindt, deze demping teniet wordt gedaan door de perforaties omdat het water dan ook makkelijker naar het achterland stroomt.

5 Conclusie

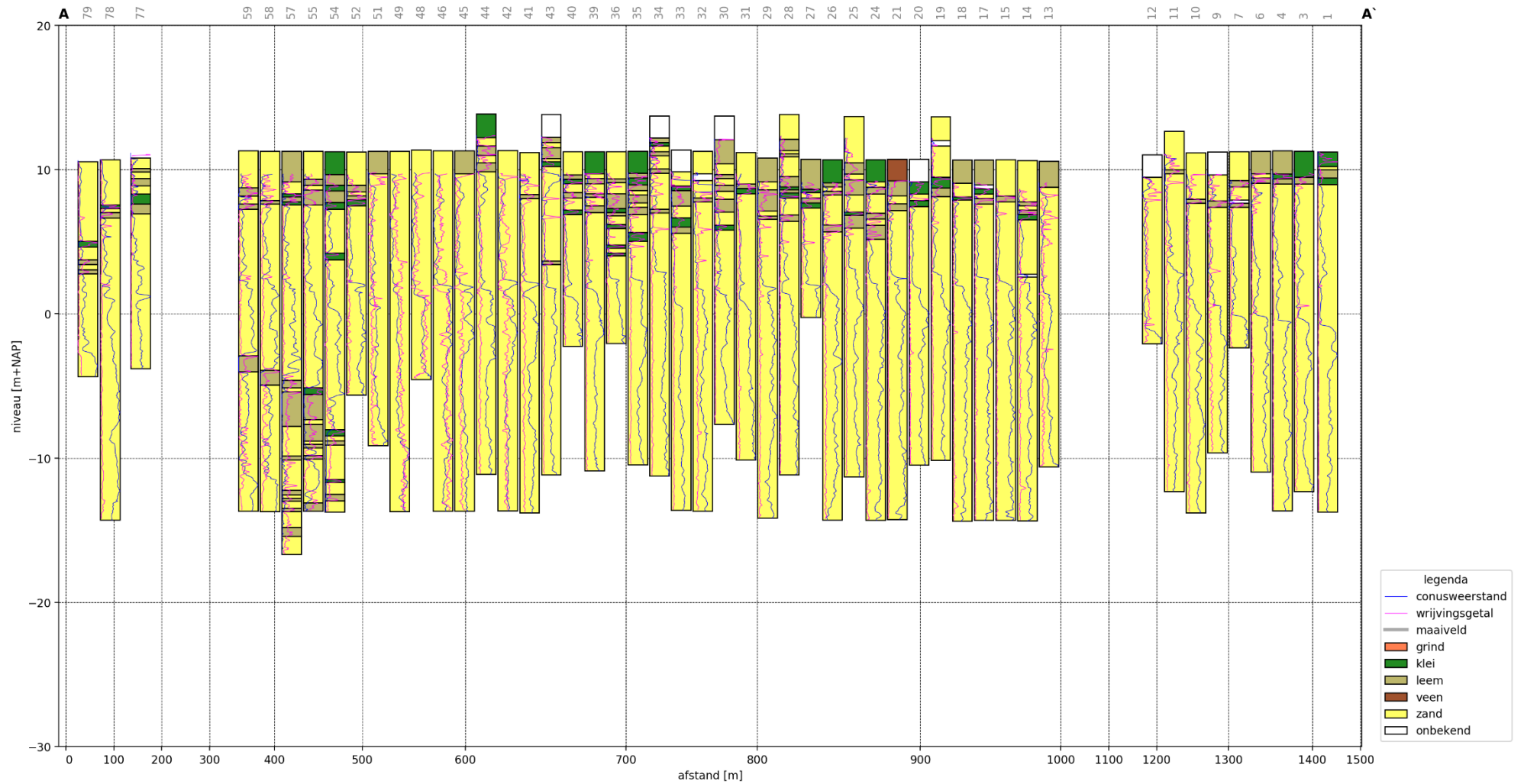
In bovenstaande hoofdstukken is ingegaan op de geohydrologische aspecten relevant voor de dijkverbetering aan de Rijnkade in Arnhem. De beschikbare data is zeer beperkt en bevat alleen informatie over de grondwaterstanden tijdens (1 peilbuis, verder van de rivier) en na (3 peilbuizen) een hoogwatergolf. Op basis van deze gegevens zijn dit de belangrijkste bevindingen:

- De te verwachten grondwaterstand bij hoogwater wordt voornamelijk bepaald door de bodemweerstand van de rivier. De kleiige toplaag heeft weinig/ geen invloed op de grondwaterstand. De met huidige beschikbare data waargenomen/ingeschatte demping van de grondwaterstand dicht achter de kering is zeer minimaal tot significant afwezig. N.B. Er is geen goede volledige set van metingen beschikbaar om harde conclusies te kunnen trekken. De uitwerking is een inschatting op basis van de beschikbare gegevens.
- De snelheid van de respons na een hoogwatergolf varieert voornamelijk door de afstand tot de rivier.
- Het grootste verschil in (grond)waterstand tussen oppervlaktewaterstand en grondwaterstand na een hoogwatergolf is 60 cm (voor een hoogwatergolf van +/- NAP + 11.90m, niet voor een WBN situatie). De conclusie van 60 cm in verschil van (grond)waterstand kan dus niet gebruikt worden ten behoeve van de ontwerpberekeningen. Uit de worst case aannames volgt dat bij het doorvertalen naar een WBN situatie van het gemeten verschil in (grond)waterstand van 60 cm bij peilbuis Bpb03 er in de huidige situatie maximaal een verschil van circa 1 meter verwacht wordt tussen de (grond) waterstand na het voorkomen van een WBN situatie (vallend water).
- Tijdens een hoogwatergolf heeft het geen meerwaarde om perforaties aan te brengen in de damwand. Indien er stabiliteitsproblemen ontstaan na een hoogwatergolf door het (grond)waterverschil zouden er op de juiste diepte in het watervoerende pakket perforaties aangebracht kunnen worden om het verschil in de (grond)waterstand te verkleinen. In een omgekeerde situatie (oplopen van een hoogwatergolf) kunnen perforaties de eventueel aanwezige demping teniet doen.

6 Bijlage 1: Bodemopbouw

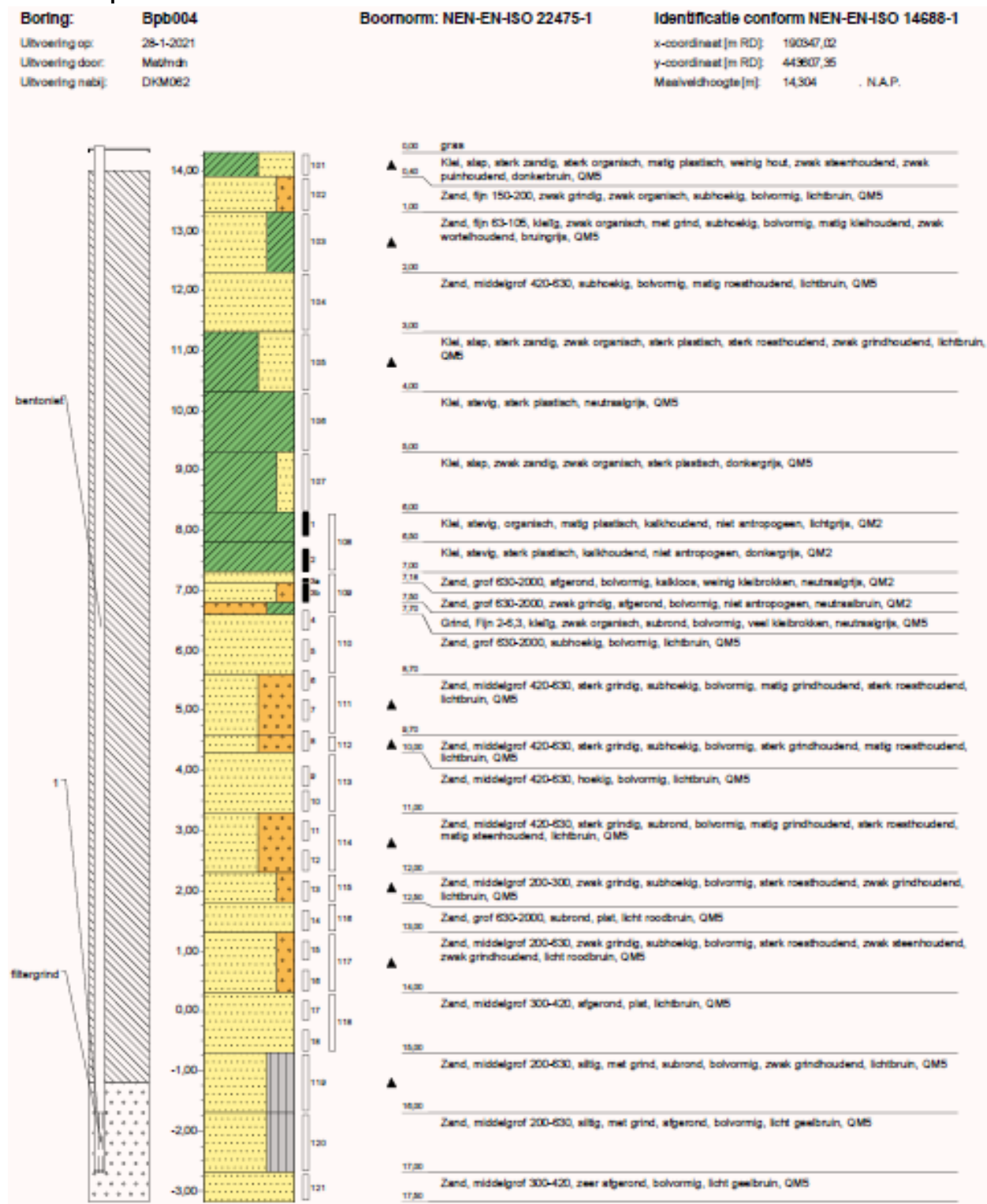


Locaties sonderingen i.h.k.v. de dijkverbetering Rijnkade.

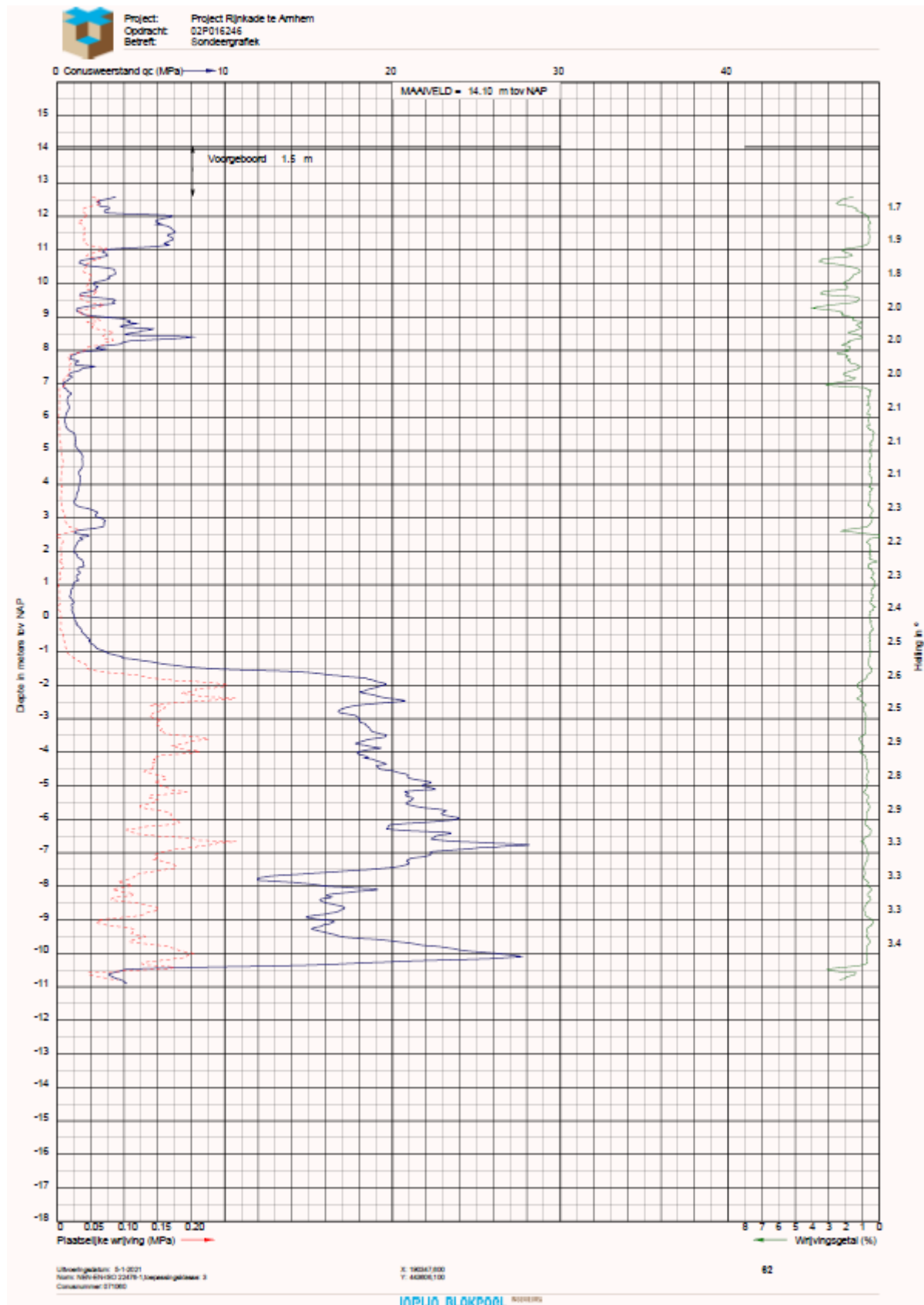


Dwarsdoorsnede van de sonderingen (Inpijn Blokpoel) over de Rijnkade (van noord naar zuid).

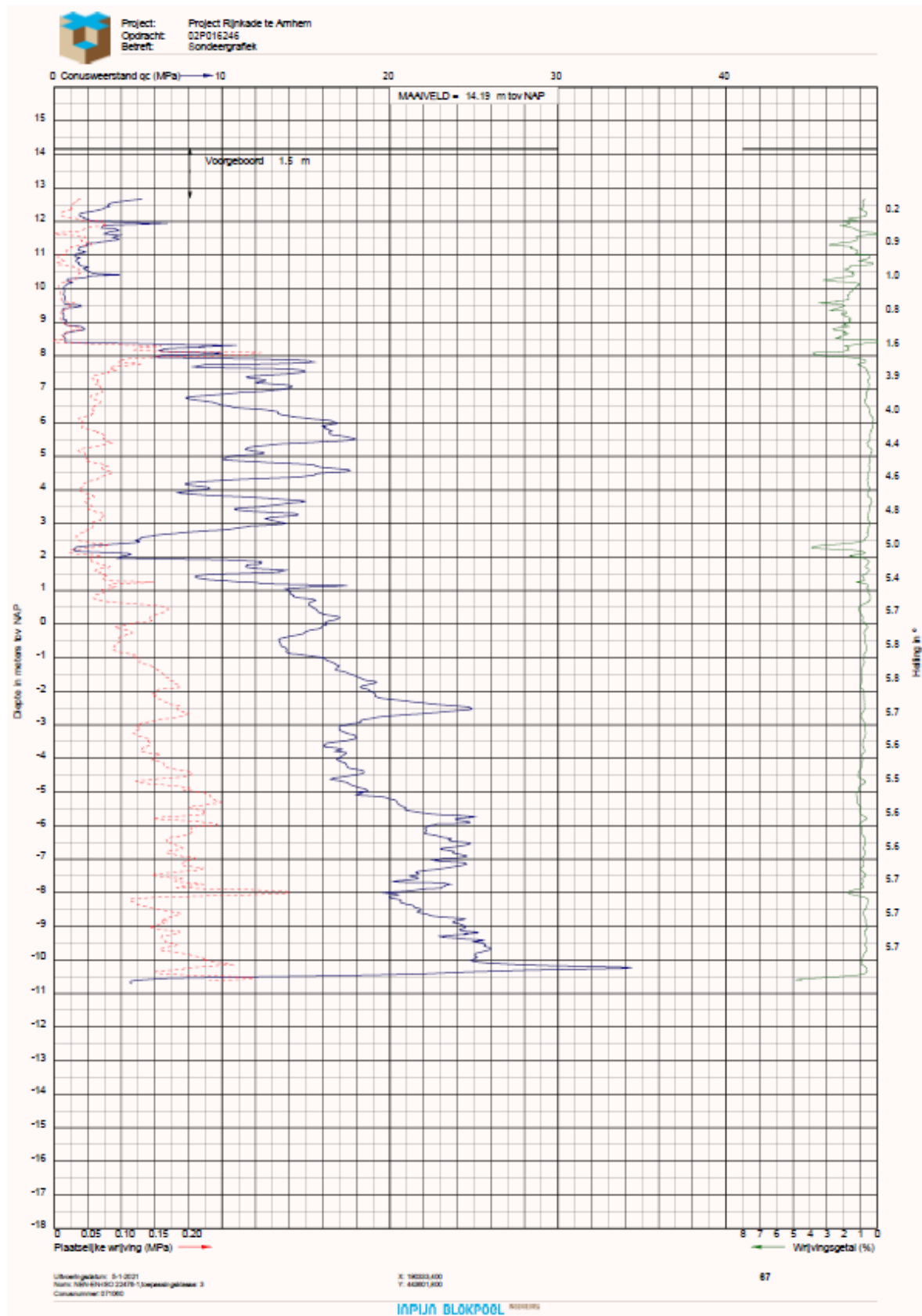
Peilbuis Bpb004



Bodemopbouw in peilbuis Bpb004

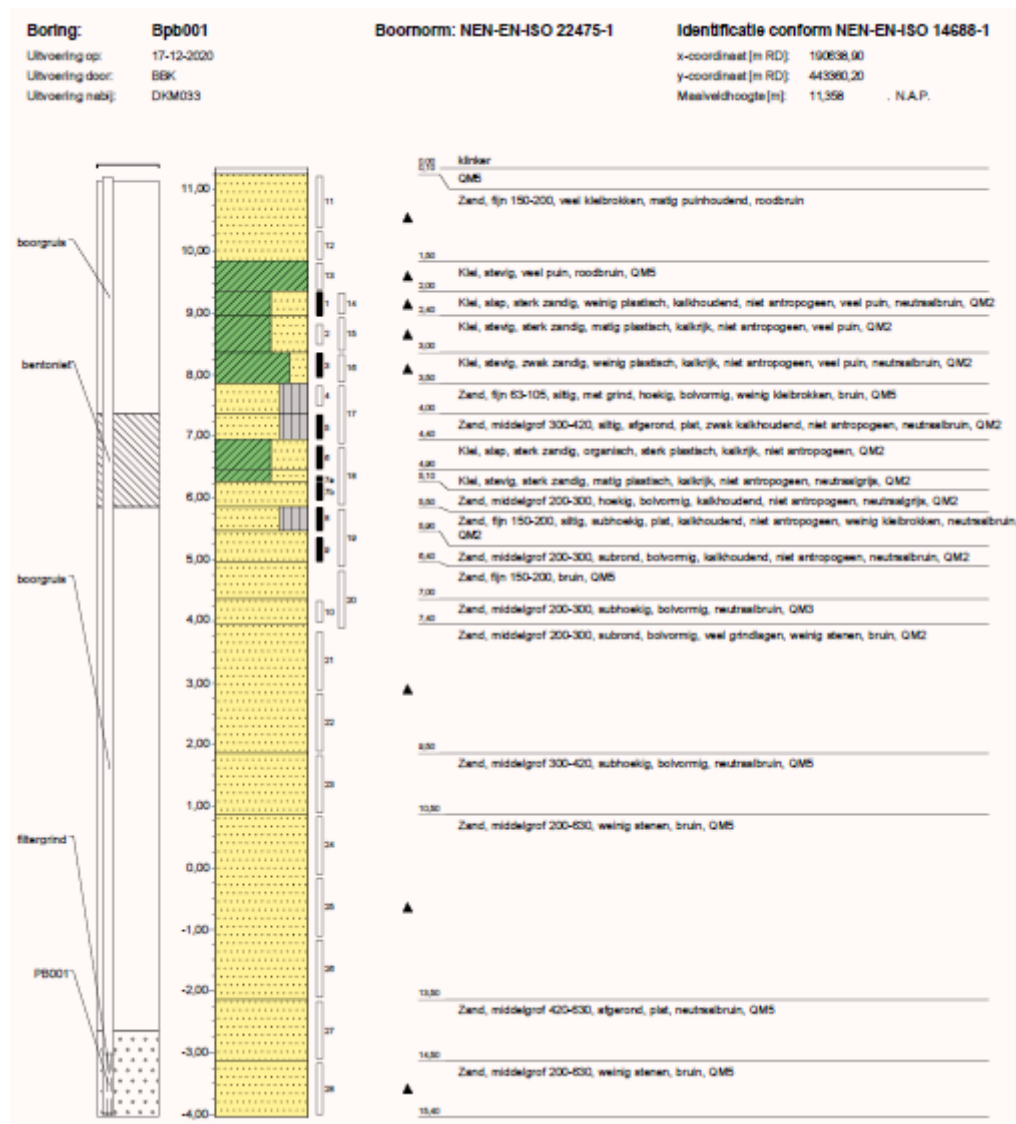


Sondering op locatie 62 (hoge kade)

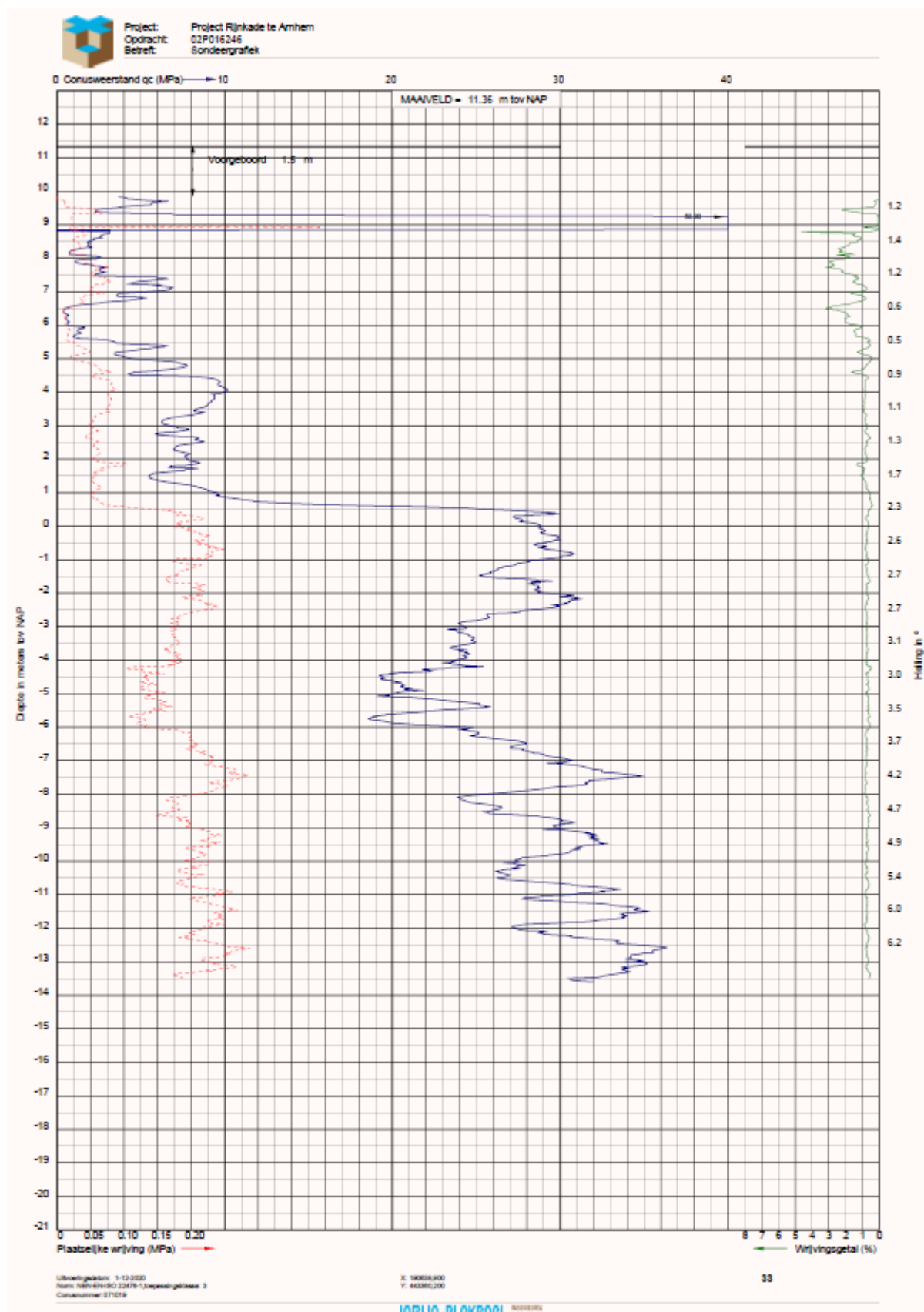


Sondering op locatie 67 (hoge kade)

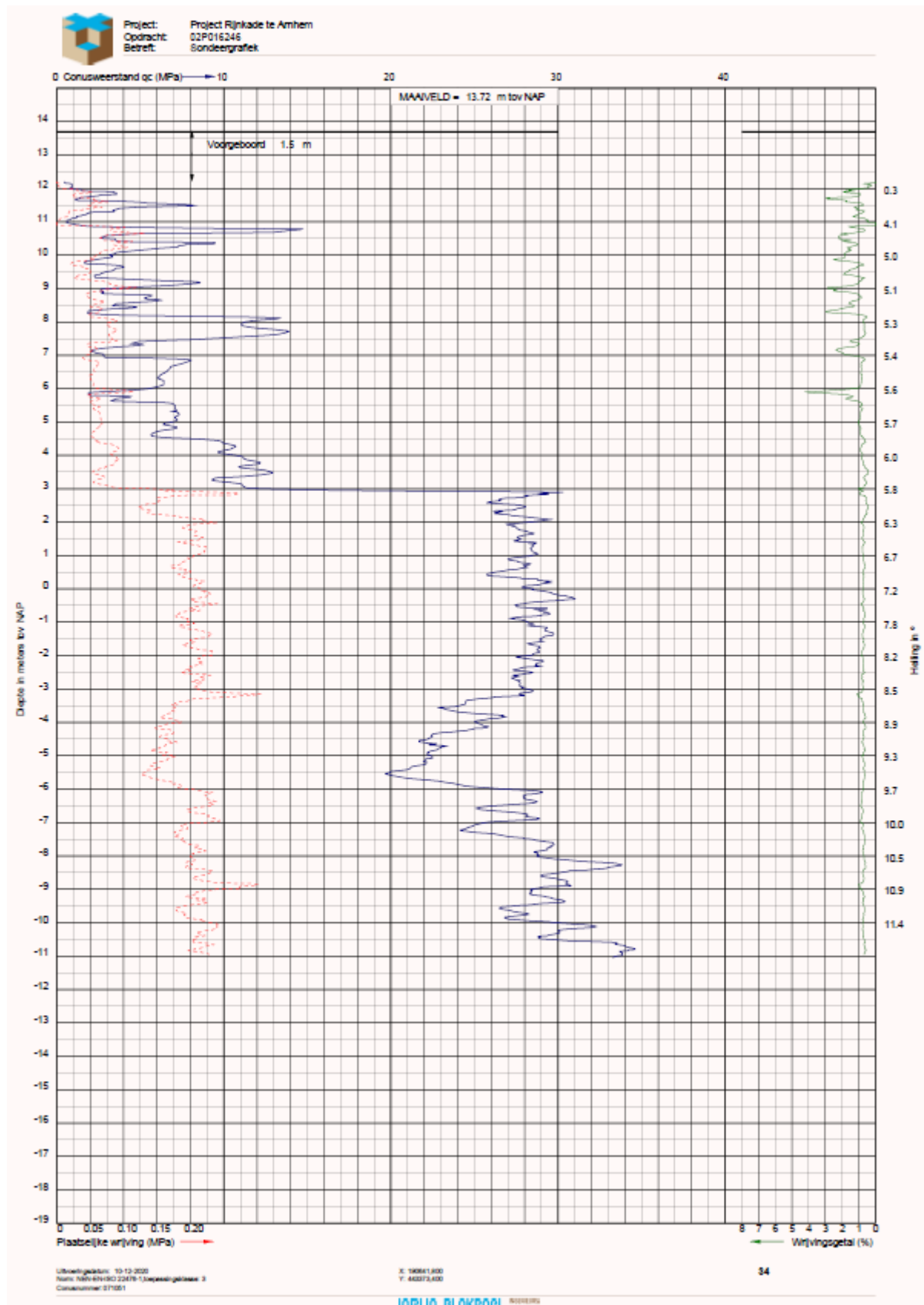
Peilbuis Bpb001



Bodemopbouw in peilbuis Bpb001

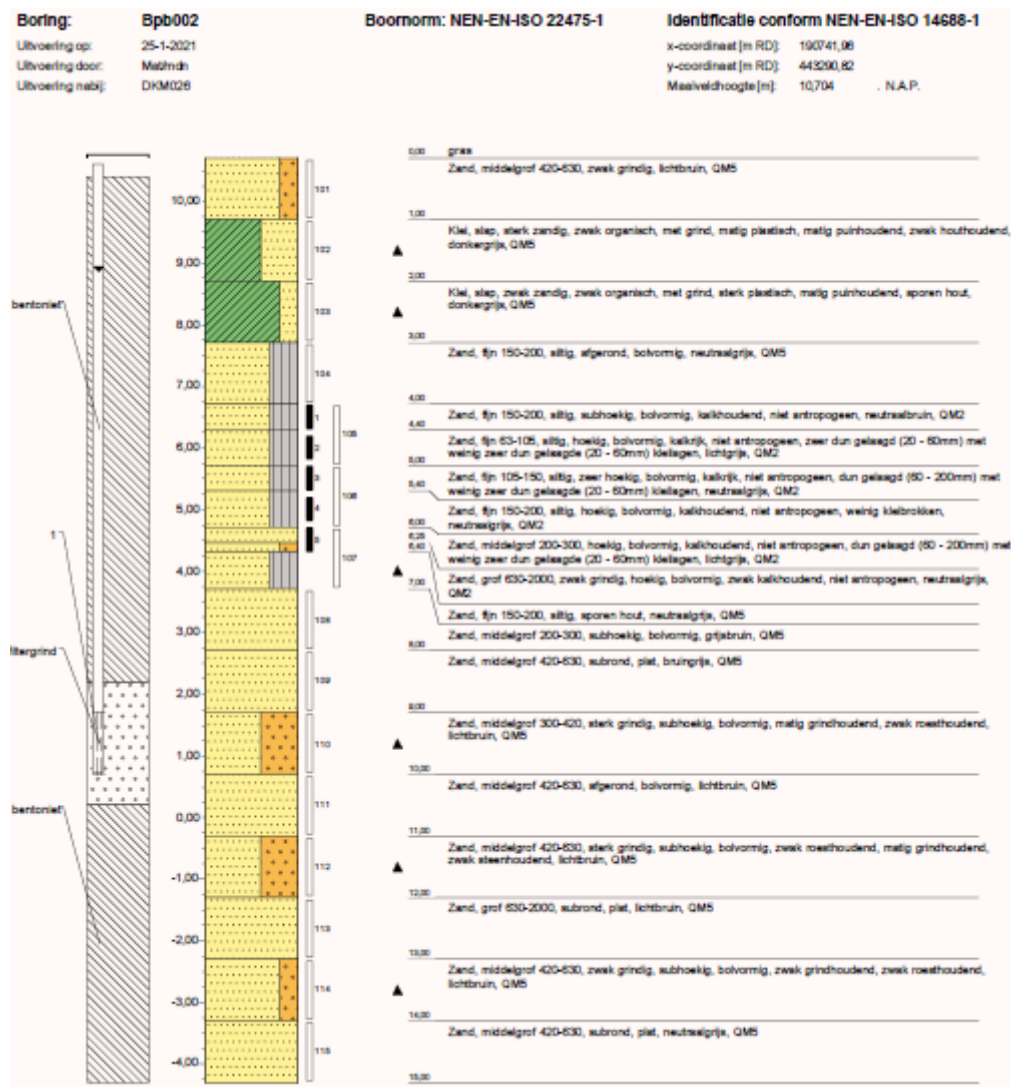


Sondering op locatie 33 (lage kade)

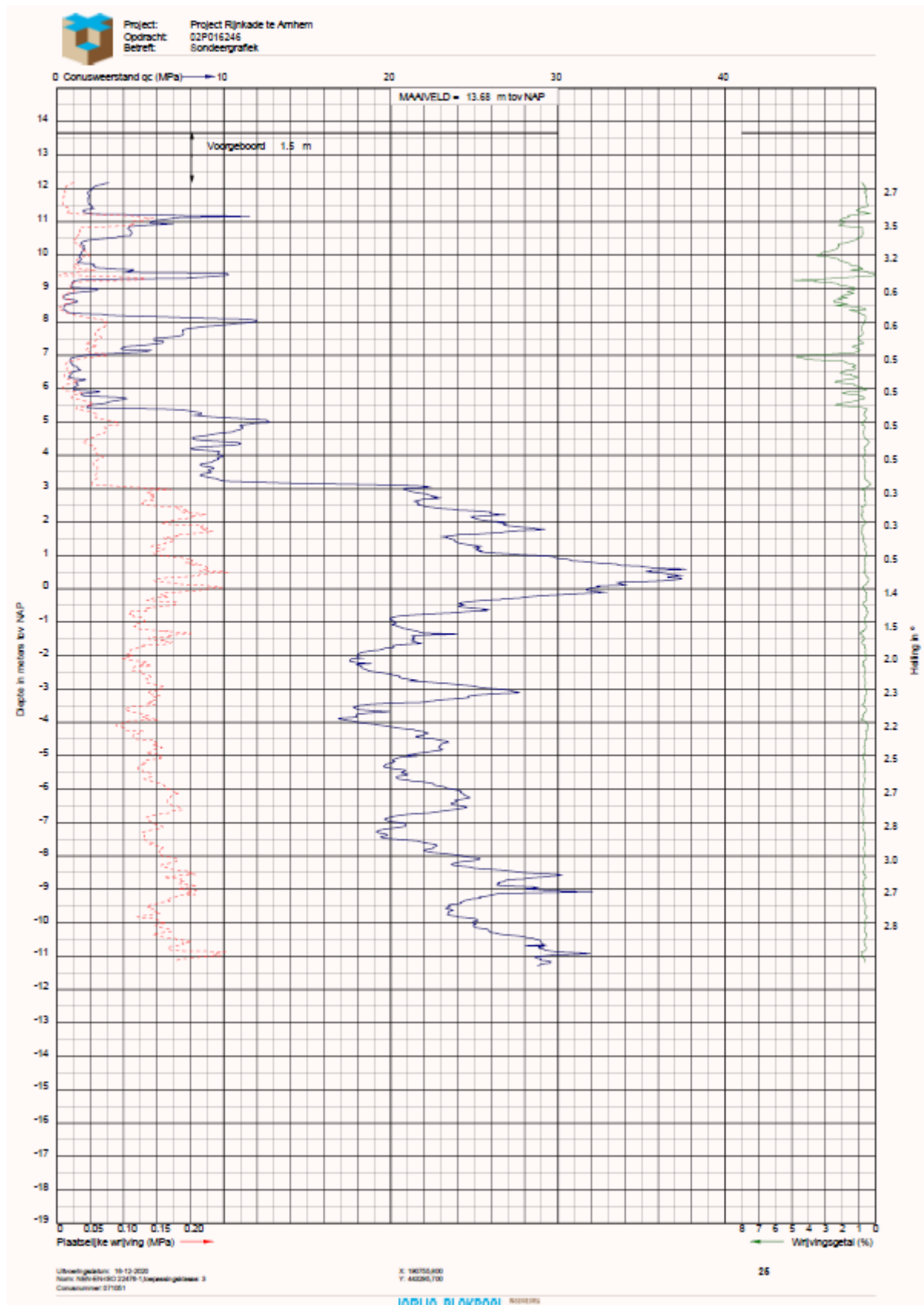


Sondering op locatie 34 (hoge kade)

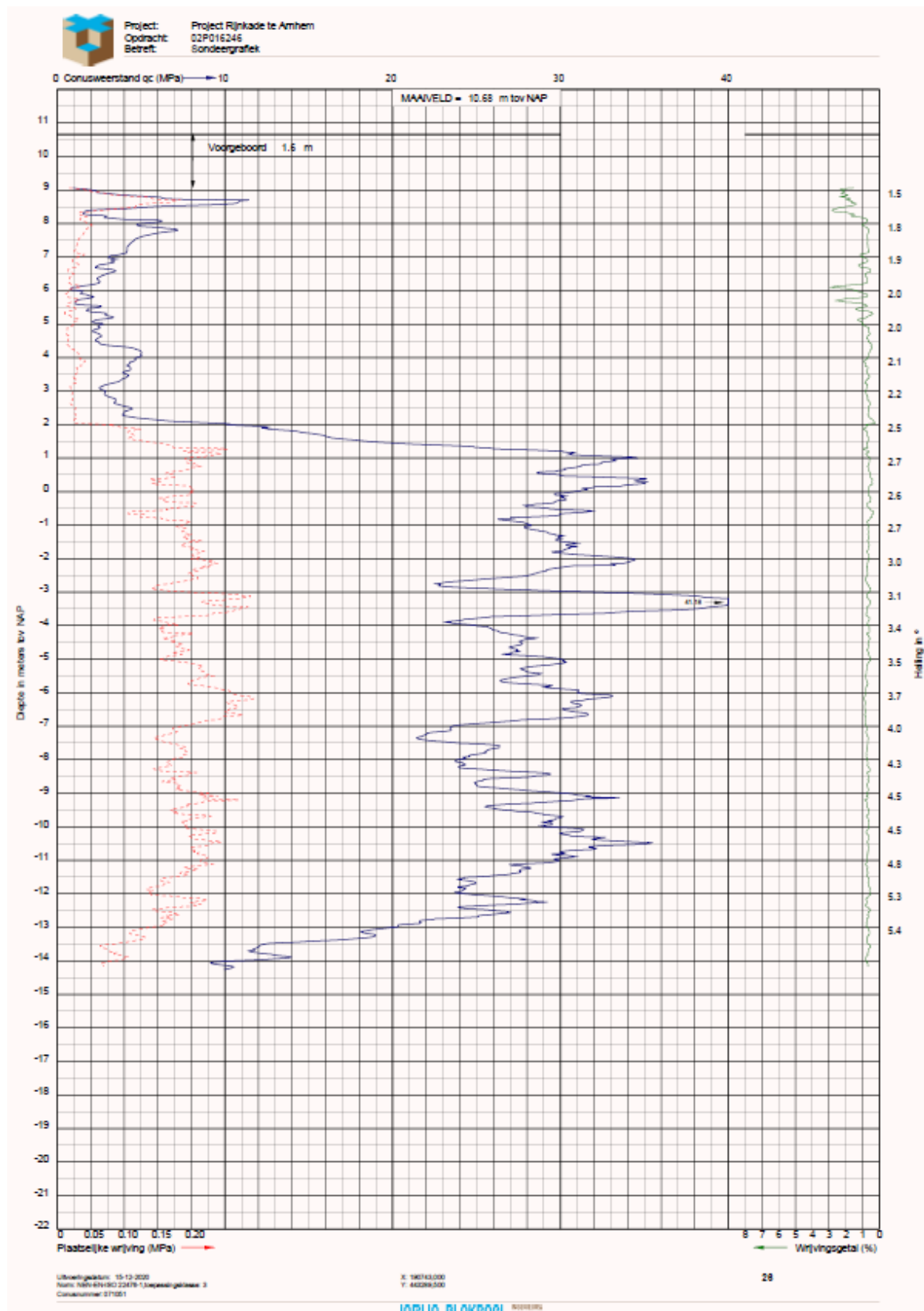
Peilbuis Bpb002



Bodemopbouw in peilbuis Bpb002

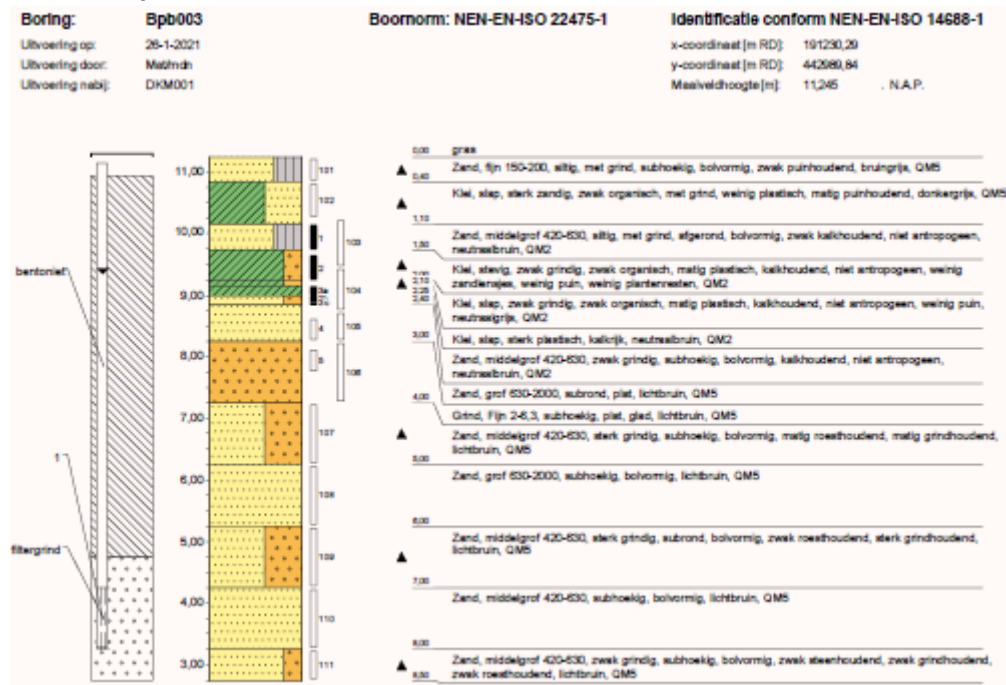


Sondering op locatie 25 (hoge kade)

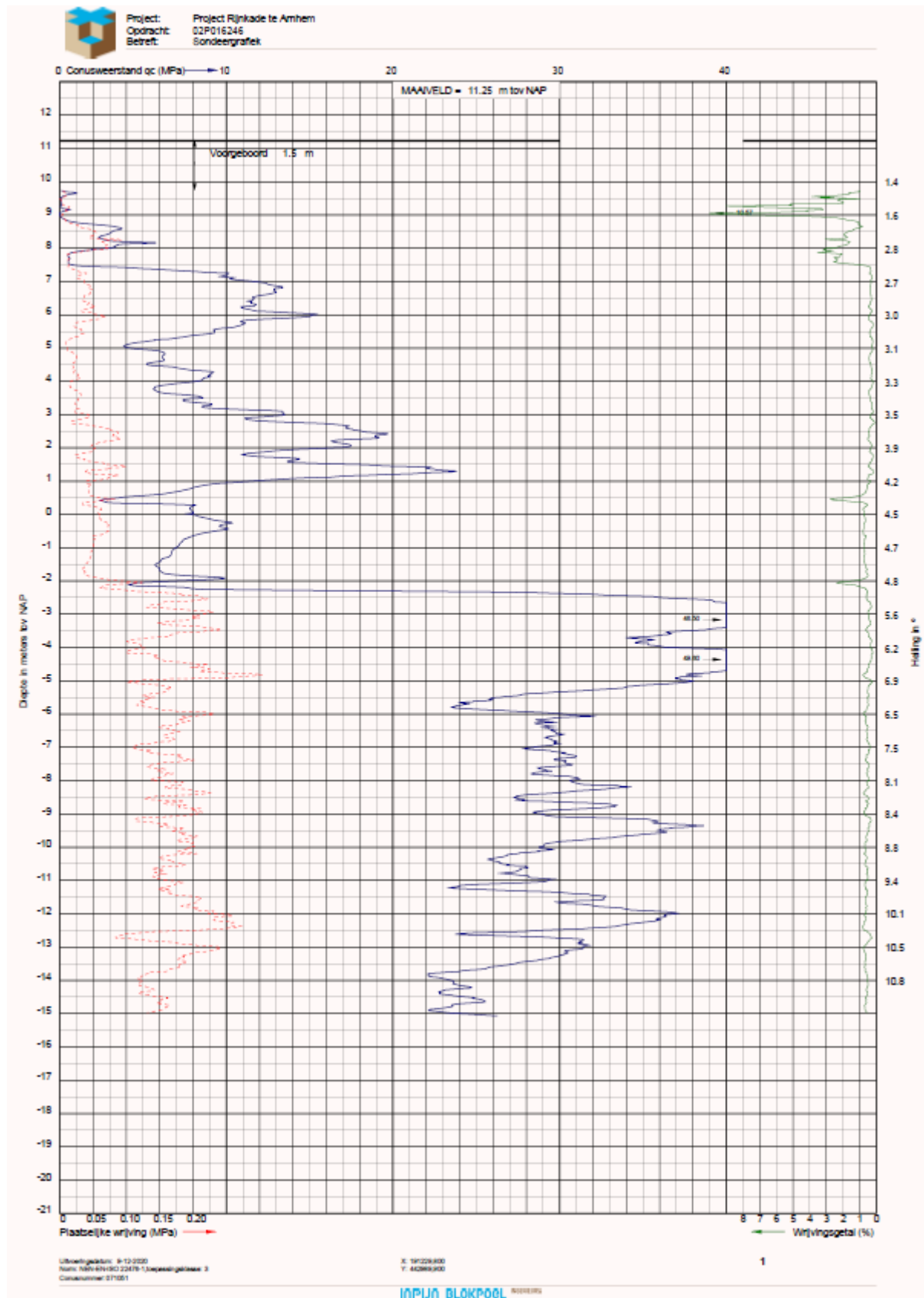


Sondering op locatie 26 (lage kade)

Peilbuis Bpb003



Bodemopbouw in peilbuis Bpb003



Sondering op locatie 1 (lage kade)