



Gemeente Rotterdam

Ingenieursbureau

Blauwe Verbinding

Funderingsberekening brug 5, 7, 13 en leidingenbrug

Projectcode
2012-049-A

Datum
26 oktober 2012

Versie
Definitief 1.0

Opdrachtgever

Adviseur
Ing. D. Zandbergen

Collegiale toets
Ir. D. Wilschut

Paraaf:

Paraaf:

Inhoudsopgave

1.	Projectomschrijving	3
2.	Grond en grondwater	4
2.1	Grondonderzoek	4
2.2	Bodemopbouw	4
3.	Grondwater	5
3.1	Maatgevende waterpeilen	5
4.	Draagvermogen palen	6
4.1	Belastingen	6
4.2	Palenplan	6
4.3	Rekenmethode en parameters	8
4.3.1	Algemeen	8
4.3.2	Drukbelastingen	8
4.3.3	Trekbelastingen	9
4.4	Rekenresultaten	10
4.5	Advies inheidiepten	10
5.	Uitvoeringsaspecten	11
5.1	Monitoring	11
5.2	Benodigde heienergie	11
5.3	Uniformiteit	11
	Bijlage 1 Situatie grondonderzoek	12
	Bijlage 2 Sonderingen	13

1. Projectomschrijving

De Blauwe Verbinding is een open watergang van circa 13 kilometer en vormt de waterverbinding tussen het Zuiderpark in Rotterdam en de Zuidpolder in Barendrecht. Het doel van de Blauwe Verbinding is het aanvoeren van schoon water naar het Zuiderpark.

Naast het aanvoeren van schoon water heeft de Blauwe Verbinding nog twee andere hoofddoelen:

1. het creëren van een recreatieve (vaar)route tussen het Zuiderpark en de Zuidpolder;
2. het vormen van een ecologische verbinding tussen de groengebieden in het stedelijke gebied en (toekomstige) natuurgebieden in het buitengebied.

Deze berekening bevat het gedeelte in het noordelijk tracé, de verbinding Zuidelijk Randpark – Zuiderpark. Dit document richt zich vooral op het voorbereiden en realiseren van de watergang en de bijbehorende kunstwerken.

Bij de verbinding tussen het Zuidelijk Randpark en het Zuiderpark worden de volgende bestaande infrastructuur gekruist (van zuid naar noord):

1. Trambaan Vrijenburg, Zuidelijk Randpark met hierin brug 2b
2. Passage Havenspoorpad, met hierin brug 3 en brug 5. Tevens bevindt zich langs het Havenspoorpad een sluis, bestaande uit twee stuwen.
3. Maeterlinckweg, brug 7 en een leidingenbrug (LB)
4. Keyenburg, brug 13
5. Park ten noorden van Keyenburg, hierin vinden we brug 17
6. Oldegaarde. Oldegaarde wordt nog niet verder uitgewerkt. Aanname is dat de bruggen ter plaatse van de passage Oldegaarde uiterlijk overeenkomen met de brug Keyenburg.

Het ontwerp van de paalfundering van de bruggen 5, 7, 13 en de leidingenbrug worden in dit document gerapporteerd.

2. Grond en grondwater

2.1 Grondonderzoek

Om de opbouw van de ondergrond te verkennen is een grondonderzoek uitgevoerd, bestaande uit sonderingen. De sonderingen zijn gemaakt aan beide landhoofden van ieder bruglocatie (brug 5, 7 en 13, voor de leidingenbrug zijn de gegevens van brug 7 aangehouden daar deze naast elkaar liggen) omdat de bruggen een paalfundering krijgen. De situatie van het grondonderzoek is als bijlage 1 bij dit rapport gevoegd. In bijlage 2 zijn de sonderingen weergegeven.

2.2 Bodemopbouw

Op basis van het uitgevoerde onderzoek is een indeling gemaakt van de voorkomende grondlagen.

Tabel 2.1; Overzicht sonderingen

Brug	Sondering	MV	OK bovenzand	BK veen	OK veen	BK pleistoceen	max diepte
#	#	m NAP	m NAP	m NAP	m NAP	m NAP	m NAP
3	MI 1038*	-2,21	-3,70	-2,21	-7,00	-15,00	-32,00
	MI 1039	-2,31	-2,31	-2,31	-7,00	-15,00	-30,00
7 & LB	MI 1040*	-0,94	-4,00	-4,00	-8,00	-15,50	-30,00
	MI 1041	-0,73	-4,50	-4,50	-8,00	-15,50	-30,00
13	MI 1042	-0,09	-5,00	-5,00	-8,00	-16,00	-30,20
	MI 1043*	-0,12	-5,00	-5,00	-9,00	-16,20	-30,20

* = maatgevende sondering voor betreffende bruglocatie

Het ontwerppeil van de palen t.b.v. de fundering van de genoemde bruggen varieert per brug:

- Brug 5 → -1,5 m NAP
- Brug 7 & LB → -1,6 m NAP
- Brug 13 → -1,6 m NAP

Onder het maaiveld bevindt zich met uitzondering van de locatie van brug 5 een antropogeen zandpakket met een dikte van circa 3,00 m. In Tabel 2.1; Overzicht sonderingen staat de ter plaatse aangetroffen laagscheiding.

Tot een diepte van circa NAP -15,00 m tot NAP -16,00 m wordt het Holocene pakket aangetroffen, bestaande uit samendrukbare klei- en veenlagen. Deze lagen zijn de oorzaak van zettingen in het gebied.

Vanaf circa NAP -15,00 m tot NAP -16,00 m wordt het Pleistocene zand, de draagkrachtige laag aangetroffen. In deze laag zullen de bruggen gefundeerd worden. Hydrologisch gezien is dit het 1^e watervoerende pakket.

Voor de berekeningen is per brug locatie de maatgevende sondering aangehouden.

3. Grondwater

3.1 Maatgevende waterpeilen

De grondwaterstand voor berekening van de fundering is gelijkgesteld aan het singelpeil. Hieronder zijn de belangrijke peilen samengevat. De grondwaterstanden verlopen op en in de omgeving van de bruggen.

Tabel 3.1; Grondwaterpeilen

Peil	Brug 5	Brug 7 & LB	Brug 13
<i>naam</i>	<i>m t.o.v. NAP</i>	<i>m t.o.v. NAP</i>	<i>m t.o.v. NAP</i>
Huidige situatie zonder de Blauwe Verbinding			
Gemiddelde grondwaterstand	onbekend	onbekend	-2,70
Hoge grondwaterstand (GHG)	onbekend		
Na realisatie van de Blauwe Verbinding			
Laagste grondwaterstand*	-3,75	-3,75	-3,75
Gemiddelde grondwaterstand (representatief) **	-2,75	-2,75	-2,75
Hoogste grondwaterstand (best guess)	-2,45	-2,45	-2,45

* Bodempeil (bouwfase)

** Singelpeil

4. Draagvermogen palen

4.1 Belastingen

De belasting op de palen zijn opgegeven door de constructeur en weergegeven in Tabel 4.1.

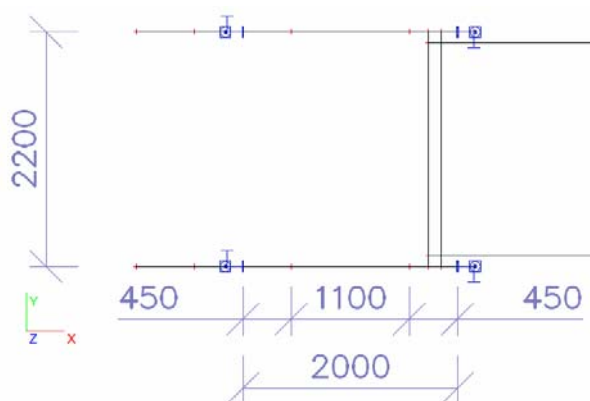
Tabel 4.1; Belastingen

Belastinggeval	Brug	5	7	13	LB
UGT (trek)	kN	125	200	160	25
UGT (druk)	kN	700	525	600	175

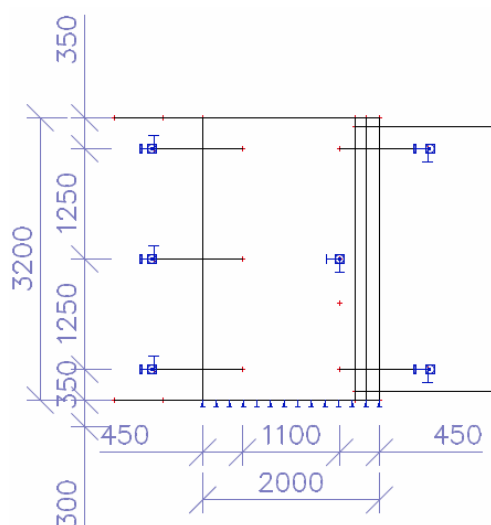
4.2 Palenplan

De palenplannen per brug zijn hieronder aangegeven:

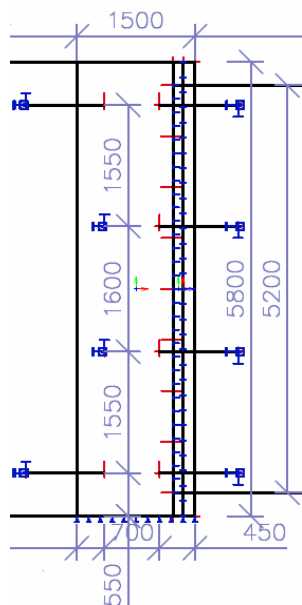
Figuur 4.1; Palenplan brug leidingenbrug (Schoorstand trekpalen 1:10)



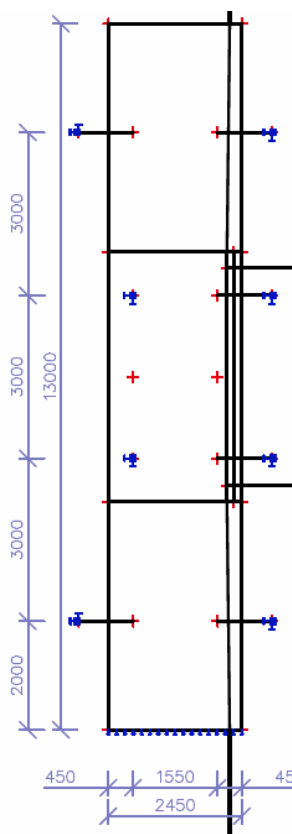
Figuur 4.2; Palenplan brug 7 (Schoorstand trekpalen 1:6)



Figuur 4.3; Palenplan brug 13 (Schoorstand trekpalen 1:6)



Figuur 4.4; Palenplan brug 5 (Schoorstand trekpalen 1:6)



4.3 Rekenmethode en parameters

4.3.1 Algemeen

Het draagvermogen van de palen is bepaald met behulp van het computerprogramma DFoundation. Het paalpuntniveau wordt zodanig gekozen dat wordt voldaan aan de eisen gesteld in NEN9997-1:2011. De palen worden doorgerekend voor druk- en voor trekbelastingen. Geadviseerd wordt de fundering te realiseren met geprefabriceerde betonpalen. Voor de berekeningen wordt aangenomen dat vanaf een ontgraving op het maaiveld tot 0,5 m onder gewenst paalkopniveau zal de palen worden weggeheid. De bouwwerken, de bruggen, zijn als 'stijf' geclassificeerd.

4.3.2 Drukbelastingen

De berekening van negatieve kleef is uitgevoerd volgens:

$$F_{nk,rep} = O_{s,gem} \times \sum_{j=1}^{j=n} d_j \times K_{0,j,k} \times \tan(\delta_{j,rep}) \times \frac{\sigma'_{v,j-1,rep} + \sigma'_{v,j,rep}}{2}$$

De rekenwaarde voor de paalweerstand wordt berekend volgens:

$$R_{c;d} = R_{b;k} / \gamma_b + R_{s;k} / \gamma_s \quad (\text{NEN9997-1:2011; formule 7.5})$$

De karakteristieke waarden $R_{b;k}$ en $R_{s;k}$ zijn bepaald uit:

$$R_{c;k} = (R_{b;k} + R_{s;k}) = \min \left\{ \frac{(R_{c;cal})_{gem}}{\xi_3}, \frac{(R_{c;cal})_{min}}{\xi_4} \right\} \quad (\text{NEN9997-1:2011; formule 7.8})$$

waarin:

$$\xi_3 \text{ en } \xi_4$$

$$F_{nk,rep}$$

correlatiefactoren zijn die afhankelijk zijn van het aantal sonderingen. Negatieve kleef. Deze wordt over de volledige hoogte van het Holocene pakket meegenomen i.v.m. de te verwachten zettingen, waarbij rekening is gehouden met de locatie van de palen.

Onderstaand zijn de berekeningsparameters aangegeven zoals deze voor de constructie zijn gehanteerd.

Tabel 4.2; Factoren voor geprefabriceerde betonpalen op druk belast

Parameter	Waarde	Toelichting
Paaltype		Geprefabriceerde betonpalen, 400 x 400 mm en 300 x 300 mm
γ_b	1,2	Tabel A6 R3c
γ_t	1,2	Tabel A6 R3c
γ_σ	1,2	Tabel A6 R3c
ξ_3	1,20	Tabel A10b gemiddelde; n =2
ξ_4	0,96	Tabel A10b minimum; n =2
α_π	1	Tabel 7c Paalklassefactor punt
α_σ	0,01	Tabel 7c Paalklassefactor schacht;druk
α_τ	0,007	Tabel 7c Paalklassefactor schacht;trek
E-modulus	3×10^7	kN/m ² ; elasticiteitsmodulus van beton
s	1	factor bij verhouding dwarsdoorsnede paal met r=1
β	1	paalvoetvormfactor

4.3.3 Trekbelastingen

Het trekdraagvermogen is berekend volgens NEN9997-1. Het trekdraagvermogen wordt ontleend aan de Pleistocene zandlaag. De maximale trekcapaciteit van een paal in een paalgroep bij een bepaald inheinniveau wordt berekend volgens:

$$R_{s;cal} = \int_0^L q_{c;z;d} * f_1 * f_2 * O_{p;z} * \alpha_t * q_{c;z;d}$$

waarin:

$R_{s;cal}$	maximale trekcapaciteit in kN
f_1	het effect van installatie van naburige palen ($f_1 \geq 1,0$)
f_2	het effect van trekbelasting ($f_2 \leq 1,0$)
$\alpha_{t;z}$	de coëfficiënt voor schachtwrijving op diepte z
$O_{p;z}$	de omtrek van de schacht op diepte z in m
$q_{c;z;d}$	de rekenwaarde voor de conusweerstand op diepte z in kPa
L	de lengte van de paal waarover kleef in rekening wordt gebracht in m

Er dient een controle berekening te worden uitgevoerd op kluitgewicht. Aangenomen wordt hierbij dat aan de onderzijde van een paalgroep niet het volledige gewicht van het zand kan worden gemobiliseerd voor het ontwikkelen van de draagkracht van de paal. Er wordt vanuit gegaan dat vanaf de paalpunt een kegelvormig breukvlak kan ontstaan. Dit effect wordt in rekening gebracht door het gewicht van de grond in de kegel en cilindervorm te toetsen aan de berekende kraagkracht van de paal in de paalgroep volgens:

$$R_{t;kluit;d} = (V_{kegel} + V_{cilinder}) * \gamma'_d$$

waarin:

$F_{t;kluit;d}$	maximale trekcapaciteit in kN
V_{kegel}	volume van de kegelvormige grondvolume onderaan de paal in m ³
$V_{cilinder}$	volume cilindervormige grondvolume rondom de paal in m ³
γ'_d	de rekenwaarde van het effectief volumiek gewicht van de grond in kN/m ³

Het paalpuntniveau wordt zodanig gekozen dat wordt voldaan aan

$$F_{t;d} \leq R_{t;d} = \frac{R_{t;k}}{\gamma_{s;d} * \gamma_{m;var;gc}}$$

$$R_{t;k} = \min\left(\frac{(R_{s;cal})_{gem}}{\xi_3}; \frac{(R_{s;cal})_{gem}}{\xi_4}\right)$$

waarin:

$R_{t;d}$	de rekenwaarde van de draagkracht van de paal;
$F_{t;d}$	de rekenwaarde van de belasting op de paalkop;
$R_{s;cal}$	de maximale wrijvingskracht;

De trekpalen zijn onder een schoorstand geplaatst van 6:1 (voor leidingenbrug staan deze onder 10:1). Ten behoeve van de berekening is derhalve uitgegaan van een gemiddelde hart op hart afstand van de palen in de zandlaag waar het de positieve kleef wordt gevonden, het pleistoceen.

In onderstaand tabel zijn de berekeningsparameters aangegeven zoals deze voor de constructie zijn gehanteerd.

Tabel 4.3; Factoren voor geprefabriceerde betonpalen op trek belast

Parameter	Waarde	Toelichting
Paaltype		prefab betonpaal 400 x 400 mm
α_t	0.007	Tabel 7c Paalklassefactor schacht;trek
$\gamma_{t;\sigma}$	1,35	materiaalfactor grond 1997-1 tabel 6 annex A.3.3.2 [-]
$\gamma_{\chi^2;\rho;\sigma;\mu}$	1,5	materiaalfactor, functie van variatie in de belasting
ξ_3	1,20	NEN-EN 1997-1:2011, annex A, tabel 10b, n = 2
ξ_4	0,96	NEN-EN 1997-1:2011, annex A, tabel 10b, n = 2

4.4 Rekenresultaten

In onderstaande tabel zijn de resultaten per brug van de berekeningen van de draagkracht voor druk- en trek belastingen weergegeven.

Tabel 4.4; Draagvermogen drukpalen

Brug	sondering	Paaltype	puntniveau	$R_{b;cal;max;i}$	$R_{s;cal;max;i}$	$R_{c;k}$	$F_{nk;d}$	$R_{c;net}$
#	#	mm	NAP -m	kN	kN	kN	kN	kN
5	MI 1038	400 x 400	-19,25	968	591	1559	279	705
7	MI 1040	400 x 400	-16,75	1207	141	1348	171	680
LB	MI 1040	300 x 300	-16,50	583	72	655	128	286
13	MI 1043	400 x 400	-17,25	898	236	1134	108	608

Tabel 4.5; Draagvermogen trekpalen

Brug	sondering	Paaltype	puntniveau	$R_{t;d \min}$	$R_{t;d \text{ avg}}$	$R_{t;d}$	$\xi_{\text{maatg.}}$
#	#	mm	NAP -m	kN	kN	kN	-
5	MI 1038	400 x 400	-19,25	212	212	212	ξ_4
7	MI 1040	400 x 400	-19,00	203	203	203	ξ_4
LB	MI 1040	300 x 300	-16,50	63	63	63	ξ_4
13	MI 1043	400 x 400	-18,75	210	210	210	ξ_4

4.5 Advies inheidiepten

Uit de berekeningen blijkt dat met uitzondering van de leidingbrug de trekbelasting maatgevend is. Omdat de trekbelasting leidt tot een grotere inheidiepte is daarvoor een grotere paaldiameter gekozen. Hierdoor kan volstaan worden met een kleinere inheidiepte, en worden grote paalslankheden voorkomen. Door de grotere afmeting neemt het paal drukdraagvermogen significant toe, meer dan noodzakelijk.

Tabel 4.6; Paalkeuze en inheidiepte per brug

Brug	Paaltype	puntniveau
#	mm	NAP -m
5	400 x 400	-19,25
7	400 x 400	-19,00
LB	300 x 300	-16,50
13	400 x 400	-18,75

5. Uitvoeringsaspecten

5.1 Monitoring

Nabij de projectlocaties zijn binnen 25 meter geen objecten aanwezig. Trillingsmonitoring is derhalve niet noodzakelijk. Mochten er wel objecten aanwezig zijn welke niet in deze scope zijn meegenomen, wordt geadviseerd de verplichting op te nemen de optredende heitruïllingen te meten. Het toelaatbare trillingsniveau volgt uit de SBR-richtlijnen deel A.

5.2 Benodigde heienergie

Om in te kunnen schatten welk materiaal nodig zou zijn is met de heiformule van Sprenger Potma bepaald welke hei-energie nodig is voor het inbrengen van de palen. Uitgegaan is van een Die-seko heiblok (D36).

Palen 300 mm; benodigde heienergie circa 85 kNm

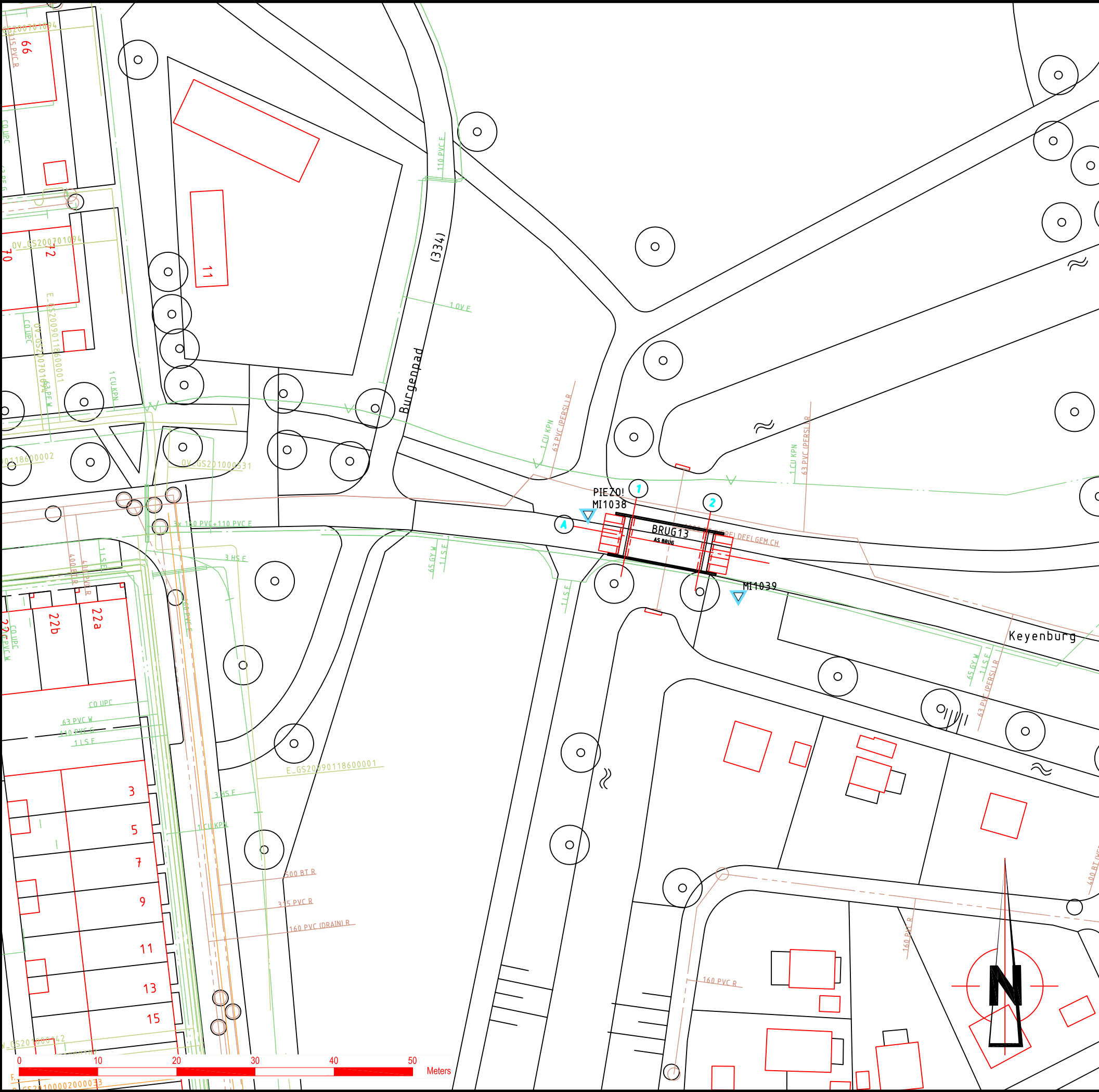
Palen 400 mm; benodigde heienergie circa 105 kNm

Het staat de aannemer vrij zelf een ander geschikt blok toe te passen.

5.3 Uniformiteit

Voor de leidingenbrug is ten opzichte van de andere bruggen een afwijkende paalafmeting gekozen. Voor de leidingenbrug zou binnen het kader van uniformiteit ook een 400 mm x 400 mm genomen kunnen worden. De inheidiepte wijzigt hierdoor wel maar wordt geadviseerd gelijk te houden aan de berekende diepte van de 300 mm x 300 mm.

Bijlage 1 Situatie grondonderzoek

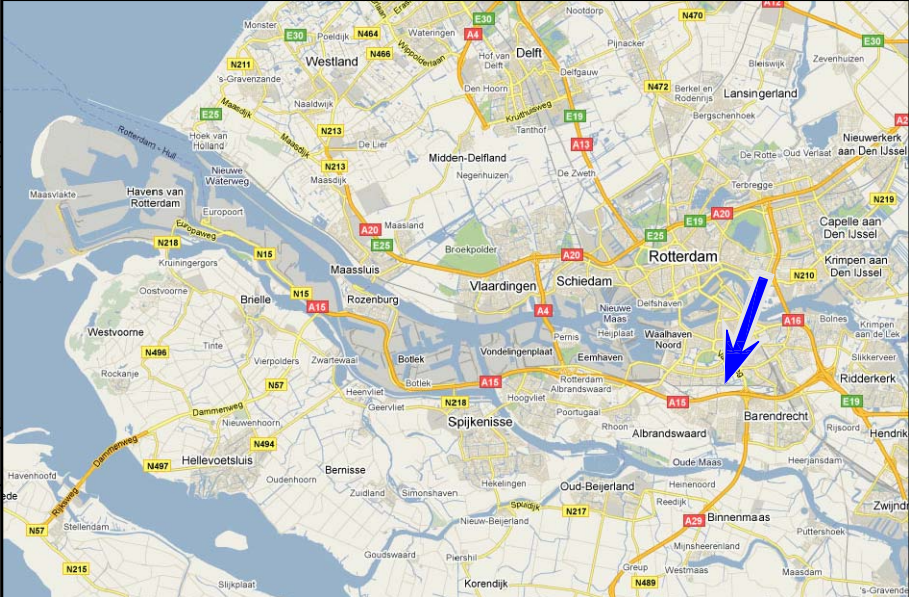


OPMERKINGEN

VERKLARING

 - GEPLANE SONDERING

SITUATIE



VERSIE

c			
b			
a			
Versie	Omschrijving	Tekenaar	Datum
Bestandsnaam : MVJ12015.DWG		Projectcode :	Verwijzing :

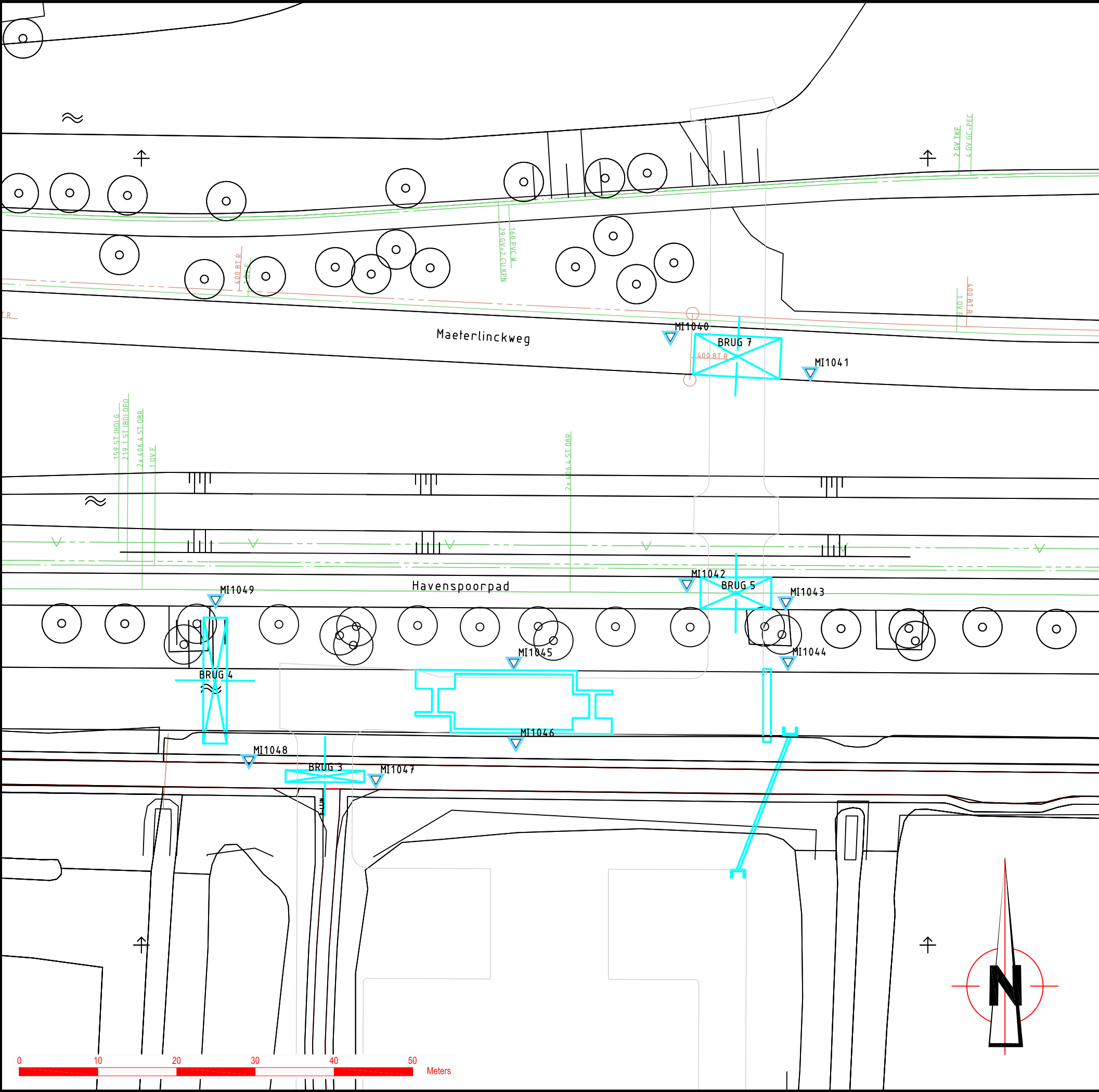


Gemeente Rotterdam
Gemeentewerken
Ingenieursbureau

Galvanistraat 15
Postbus 6633
3002 AP ROTTERDAM
Telefoon : 010 489 9709
Telefax : 010 489 9720

De Blauwe Verbinding

Situatietekening tbv Grondonderzoek		Geografische code :	
		Formaat :	A3
		Schaal :	1:500
BLAD 2 VAN 5	Getekend : M. Kreischer 22-06-2012	Gecontroleerd :	Geautoriseerd :
		Tekeningnr. : MVJ12 - 015 - 1 Wijk/projectcode - Soort - Volgnr.	

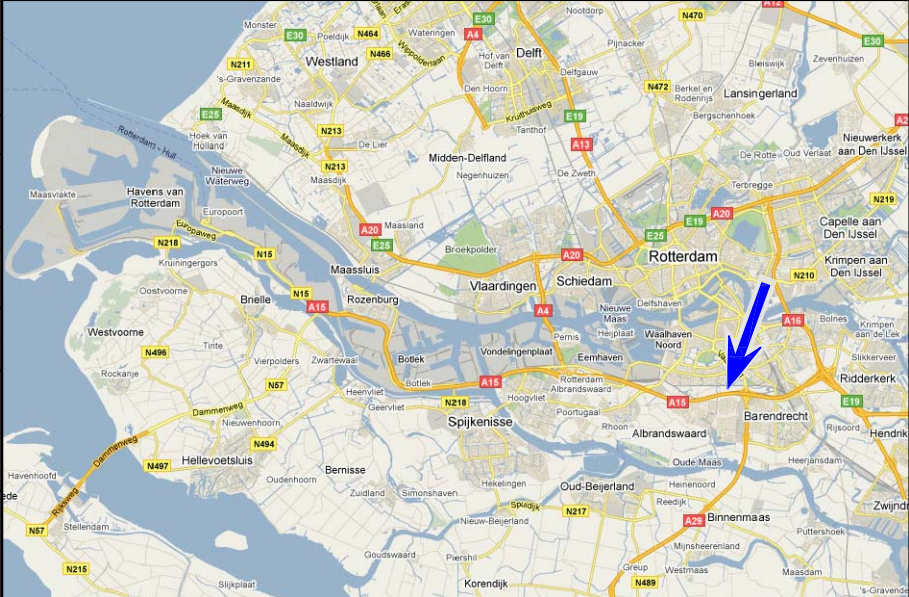


OPMERKINGEN

VERKLARING

▽ - GEPLANE SONDERING

SITUATIE



VERSIE

c			
b			
a			
Versie	Omschrijving	Tekenaar	Datum
Bestandsnaam : MVJ12015.DWG		Projectcode :	Verwijzing :



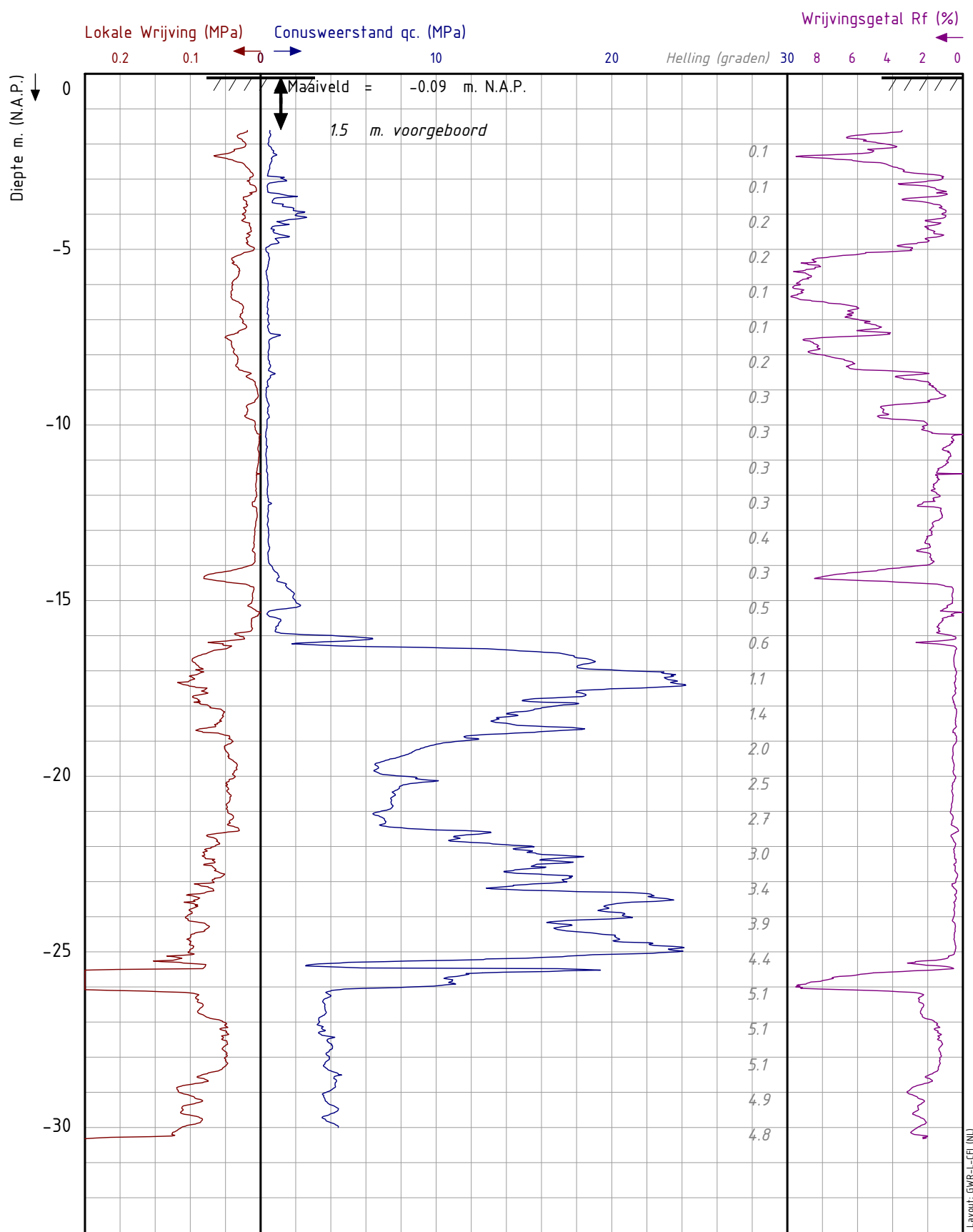
Gemeente Rotterdam
Gemeentewerken
Ingenieursbureau

Galvanistraat 15
Postbus 6633
3002 AP ROTTERDAM
Telefoon : 010 489 9709
Telefax : 010 489 9720

De Blauwe Verbinding

Situatietekening tbv Grondonderzoek		Geografische code :	
		Formaat :	A3
		Schaal :	1:500
BLAD 2 VAN 5	Getekend : M. Kreischer 22-06-2012	Gecontroleerd :	Geautoriseerd :
		Tekeningnr. : MVJ12 - 015 - 1 Wijk/projectcode - Soort - Volgnr.	

Bijlage 2 Sonderingen



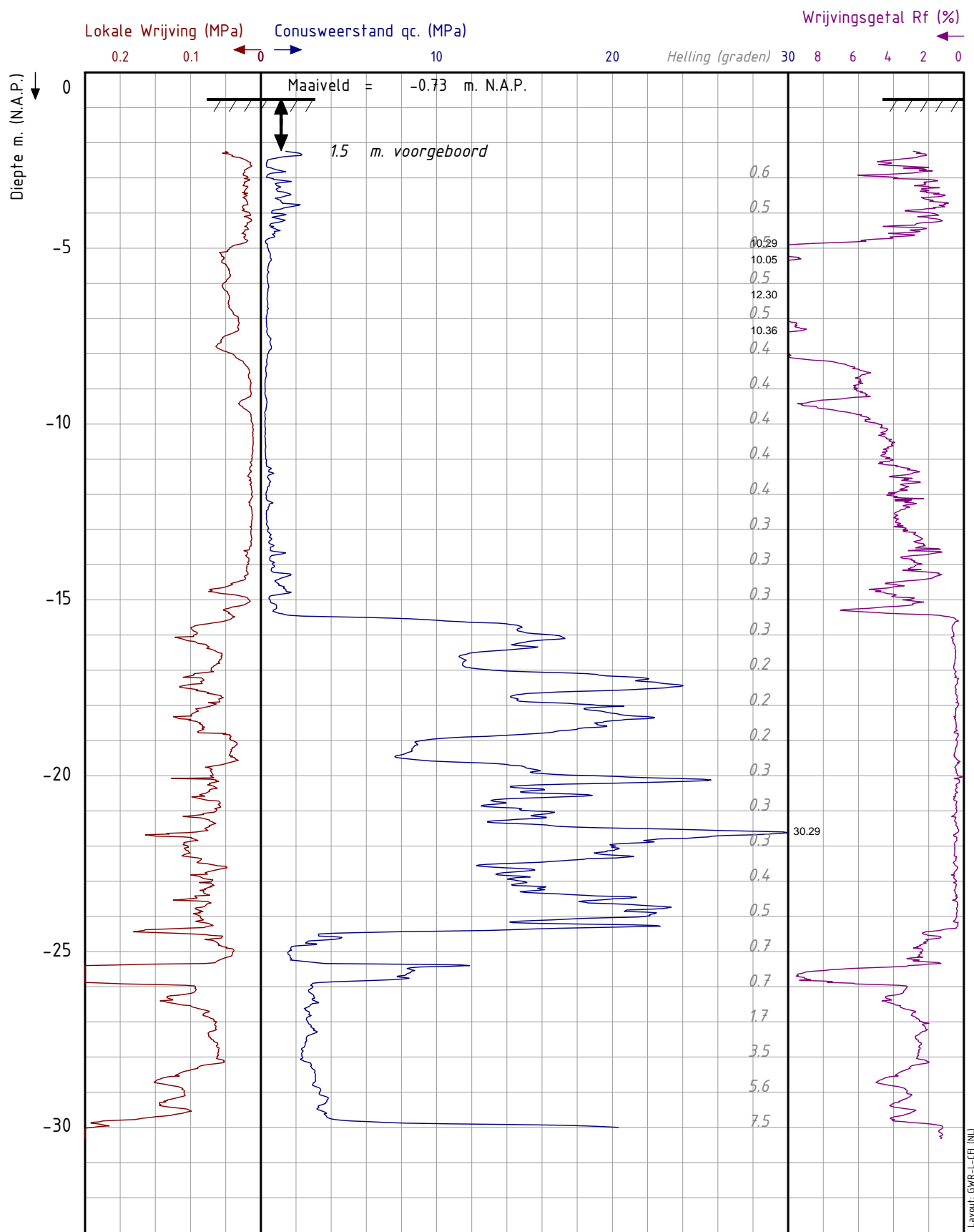
Project : De Blauwe Verbinding
 Dossier : 2012-049
 Lokatie : Rotterdam
 Paraaf :

Datum : 6-7-2012
 Maaiveld : -0.091 m. N.A.P.
 coördinaten in RD-stelsel
 X : 94369.28 Y : 431547.23
 Opmerking 1:

SONDERING:

MI1042

Pagina 1/1

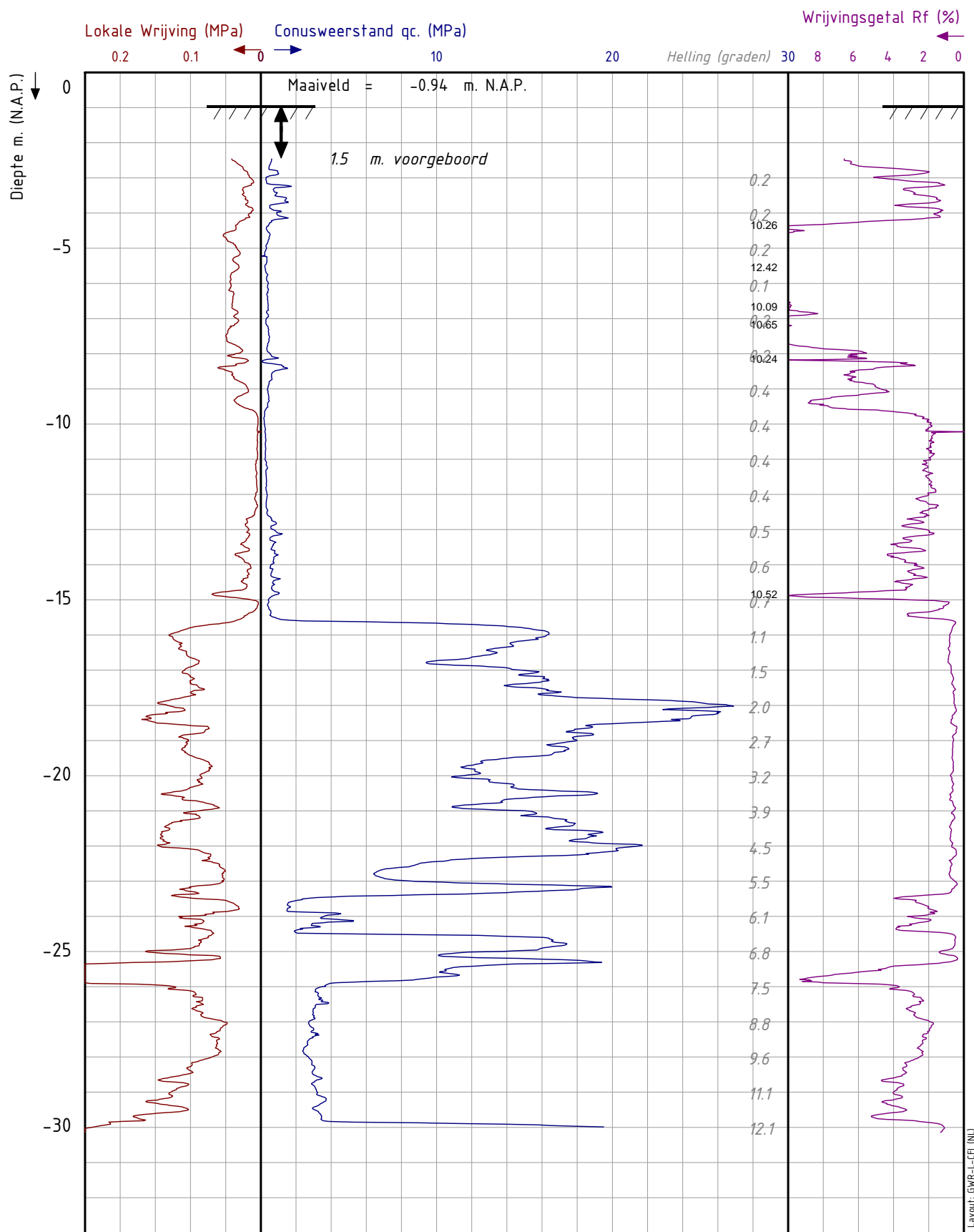


Project : De Blauwe Verbinding
 Dossier : 2012-049
 Lokatie : Rotterdam
 Paraaf :

Datum : 13-7-2012
 Maaiveld : -0.73 m. N.A.P.
 coördinaten in RD-stelsel
 X : 94384.90 Y : 431571.03
 Opmerking 1:

SONDERING:
MI1041

Pagina 1/1



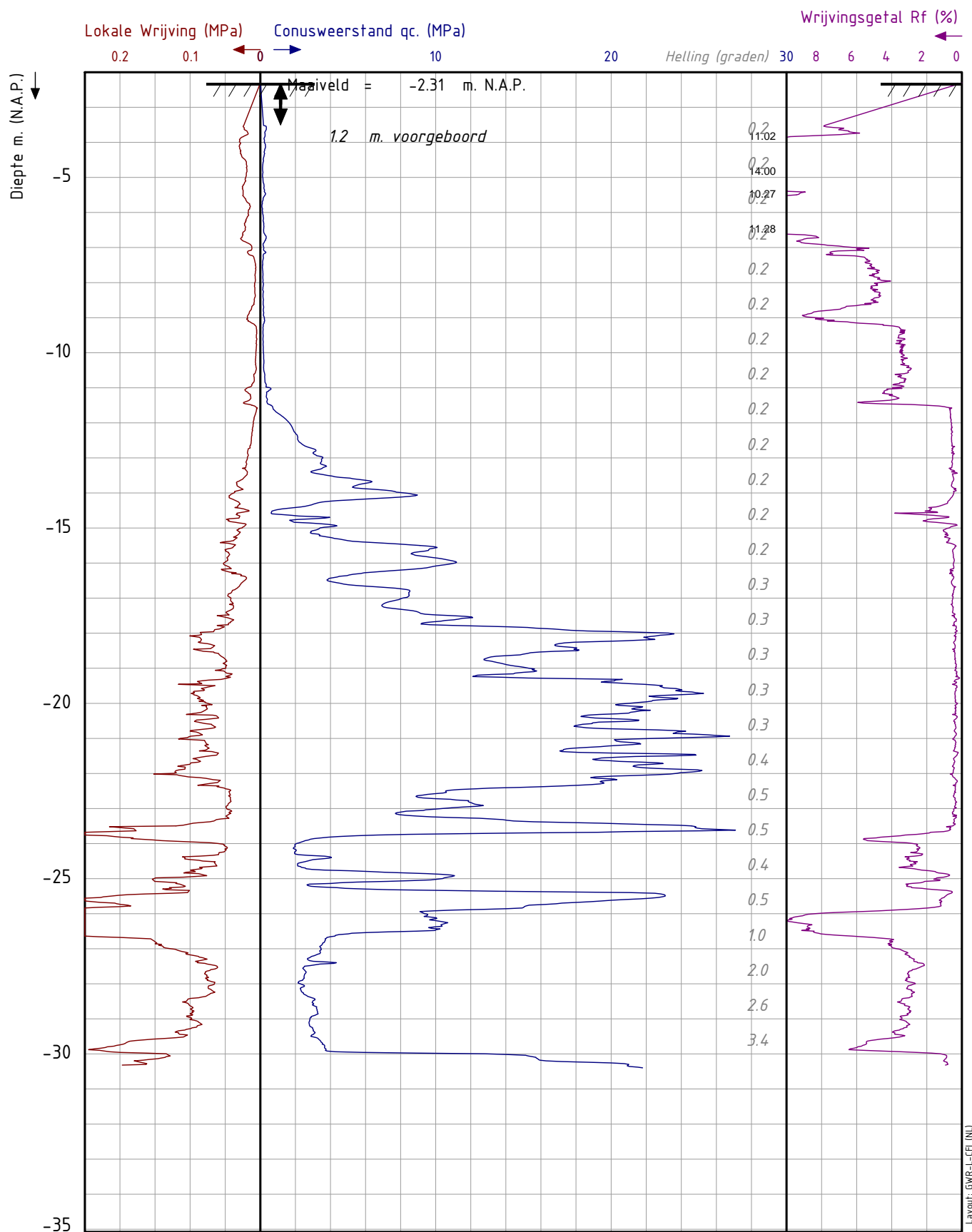
Project : De Blauwe Verbinding
 Dossier : 2012-049
 Lokatie : Rotterdam
 Paraaf :

Datum : 3-7-2012
 Maaiveld : -0.94 m. N.A.P.
 coördinaten in RD-stelsel
 X : 94367.44 Y : 431580.85
 Opmerking 1:

SONDERING:

MI1040

Pagina 1/1



Project : De Blauwe Verbinding
 Dossier : 2012-049
 Lokatie : Rotterdam

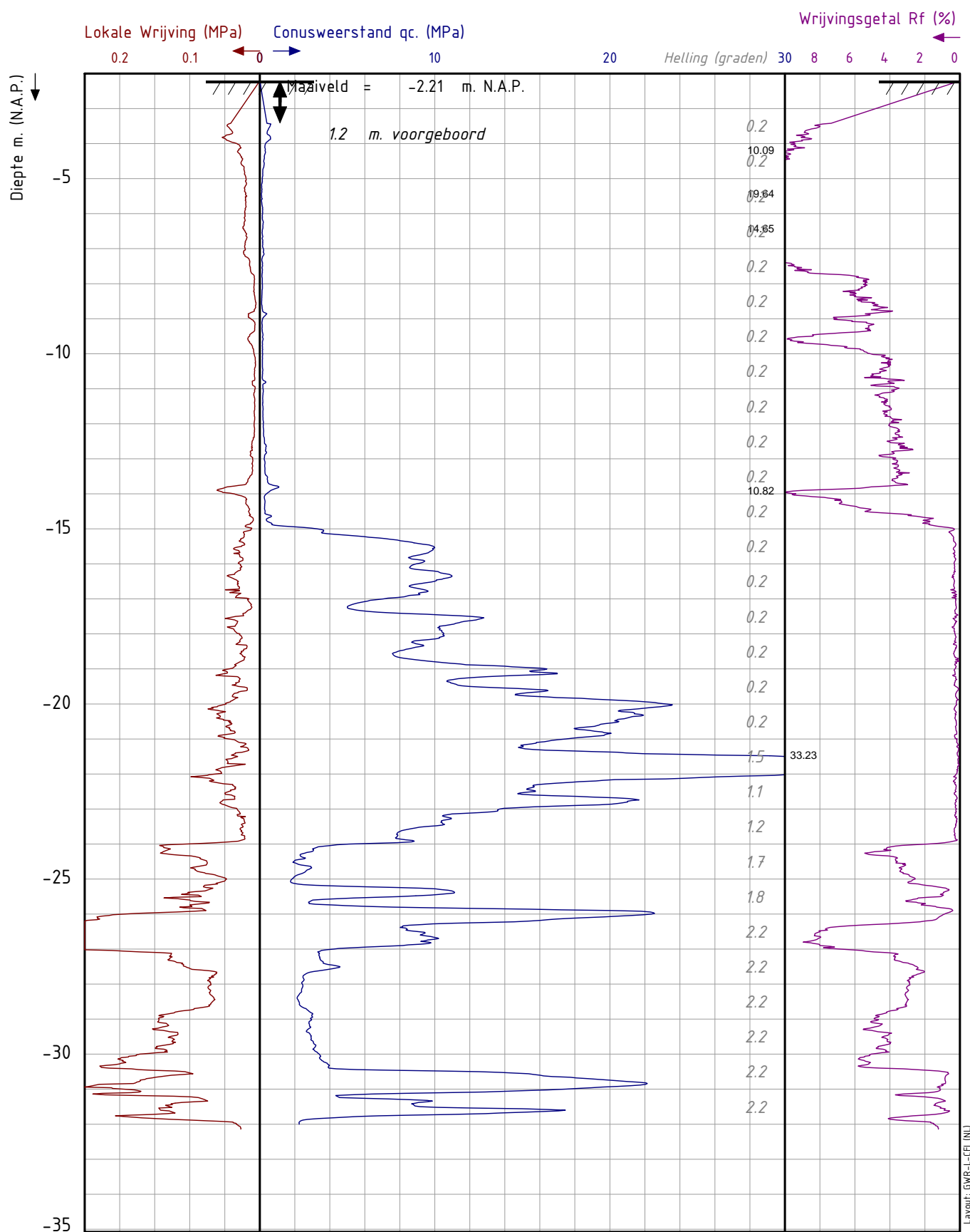
Paraaf :

Datum : 16-7-2012
 Maaiveld : -2.307 m. N.A.P.
 coördinaten in RD-stelsel
 X : 94051.16 Y : 431889.10
 Opmerking 1:

SONDERING:

MI1039

Pagina 1/1



Project : De Blauwe Verbinding
 Dossier : 2012-049
 Lokatie : Rotterdam

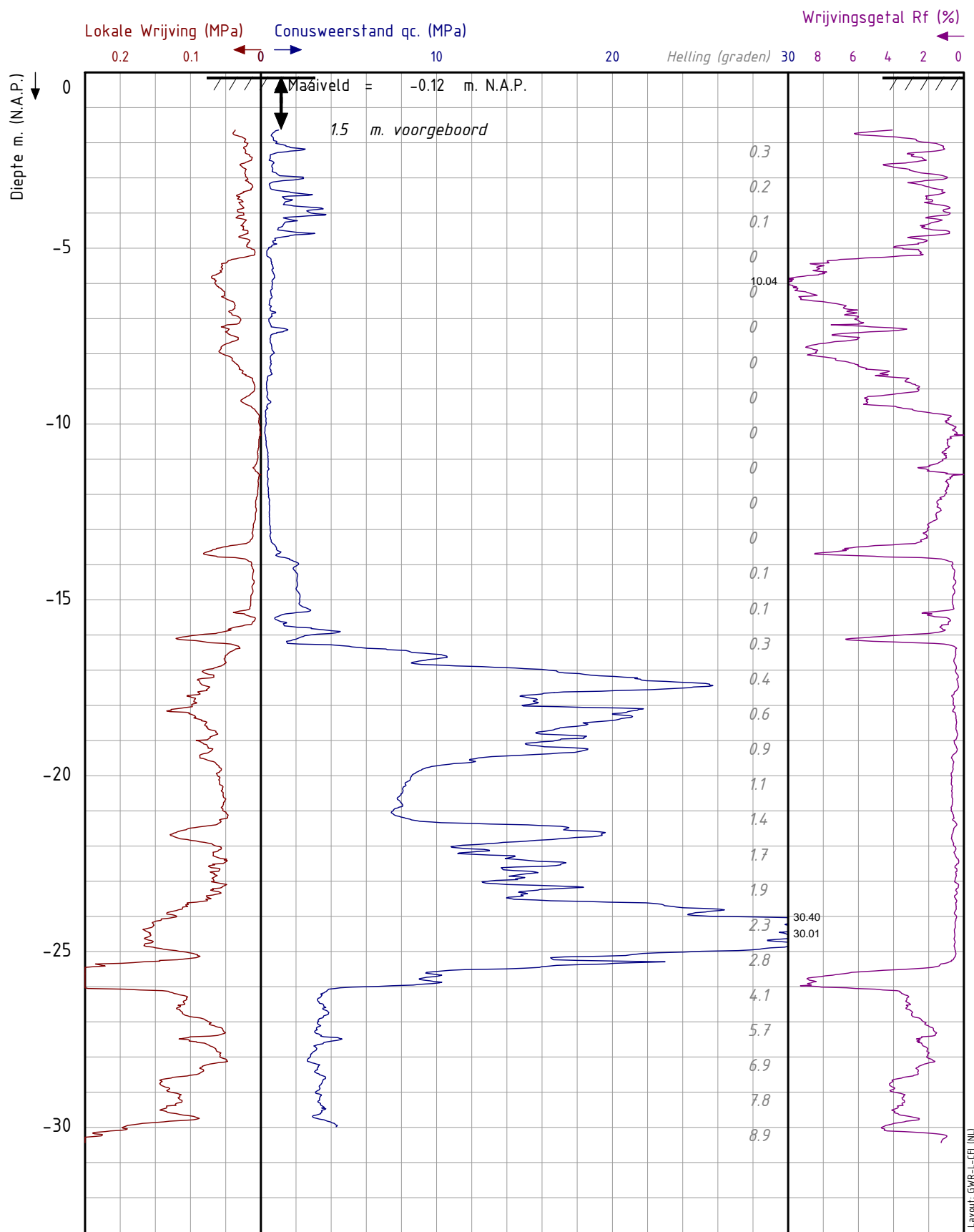
Paraaf :

Datum : 16-7-2012
 Maaiveld : -2.21 m. N.A.P.
 coördinaten in RD-stelsel
 X : 94026.03 Y : 431900.83
 Opmerking 1:

SONDERING:

MI1038

Pagina 1/1



Project : De Blauwe Verbinding
 Dossier : 2012-049
 Lokatie : Rotterdam

Paraaf :

Datum : 6-7-2012
 Maaiveld : -0.117 m. N.A.P.
 coördinaten in RD-stelsel
 X : 94381.95 Y : 431543.68
 Opmerking 1:

SONDERING:

MI1043

Pagina 1/1