

FUNDERINGSADVIES  
betreffende

**VERBOUWING FABRIEKSHAL  
FRIESLAND CAMPINA KIEVIT,  
OLIEMOLENWEG 4 TE MEPPEL**

Opdrachtnummer: 6014-0140-000

Opdrachtgever : Feenstra Adviseurs  
Postbus 223  
6920 EW Duiven

Projectleider : ir. W.H.J. van der Velden  
Hoofd Geo-Advies Oost-Nederland

Opgesteld door : ir. J.H.M. Vloemans  
Adviseur Geotechniek

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
1	17 juni 2014	eerste versie	WHV

FILE: 6014-0140-000\_31.R01.doc.

<u>INHOUDSOPGAVE</u>	<u>Blz.</u>
1. ALGEMENE TOELICHTING	1
1.1. Inleiding	1
1.2. Projectomschrijving	1
2. GEOTECHNISCH ONDERZOEK EN BODEMGESTELDHEID	2
2.1. Globale bodemgesteldheid	2
2.2. Grondwaterstanden en stijghoogten	2
3. FUNDERINGSADVIES	3
3.1. Algemeen	3
3.2. Uitgangspunten	3
3.3. Op druk belaste palen	3
4. UITVOERING	6

<u>BIJLAGEN</u>	<u>Nr.</u>
-----------------	------------

Geotechnisch onderzoek

- Situatiekening F-2912-1	
- Situatiekening R-0087-1A	
- Sonderingen F-2912	D25 t/m D29
- Sondering R-0087	D74

Funderingsadvies

- Berekening negatieve kleef	A1
- Berekening en toetsing rekenwaarde netto draagkracht	A2

Uitvoering

- "Uitvoering Heiwerk Stalen Buispalen"	
---	--

## **1. ALGEMENE TOELICHTING**

### **1.1. Inleiding**

Op 10 juni 2014 ontving Fugro GeoServices B.V. te Arnhem van Feenstra Adviseurs te Duiven de opdracht voor het uitbrengen van een funderingsadvies voor het project "Verbouwing fabriekshal Friesland Campina Kievit, Oliemolenweg 4 te Meppel".

Voor dit project is door Fugro onder opdrachtnummers F-2912 en R-0087 reeds geotechnisch onderzoek uitgevoerd, waarvan 6 sonderingen ter plaatse van de voorziene verbouwing. Voor de resultaten hiervan wordt verwezen naar de destijds uitgebrachte rapporten. Ter volledigheid zijn de situatietekeningen en de sonderingen F-2912-D25 t/m D29 en R-0087-D74 toegevoegd in de bijlagen.

Dit rapport bevat:

- een korte projectomschrijving;
- een beschrijving van het uitgevoerde geotechnisch onderzoek en de bodemgesteldheid (hoofdstuk 2);
- een funderingsadvies en berekening van de draagkracht (hoofdstuk 3);
- aanbevelingen met betrekking tot de uitvoering (hoofdstuk 4).

### **1.2. Projectomschrijving**

De bouwlocatie is gelegen aan de Oliemolenweg 4 te Meppel.

Het plan betreft de verbouwing van (een deel van) een bestaande fabriekshal. In de fabriekshal wordt een extra verdiepingsvloer gerealiseerd, welke tot een belastingsverhoging op de fundering leidt. Deze belastingsverhoging wordt opgevangen door extra funderingspalen te plaatsen.

Bovenstaande gegevens zijn door de constructeur verstrekt.

Voor nadere gegevens omtrent de constructie verwijzen wij u naar de berekeningen en tekeningen van de constructeur.

## 2. GEOTECHNISCH ONDERZOEK EN BODEMGESTELDHEID

### 2.1. Globale bodemgesteldheid

De maaiveldniveaus ter plaatse van de sondeerlocaties varieerden ten tijde van het onderzoek van NAP +1,74 m tot NAP +1,52 m.

Op basis van het geotechnisch onderzoek kan de bodemgesteldheid globaal worden geschematiseerd zoals in tabel 2.1 is weergegeven.

*tabel 2-1: Globale bodemgesteldheid*

Diepte in m t.o.v. NAP			Bodembeschrijving	
+1,7 à +1,5	tot	+0,5 à -0,5	ZAND	Los tot matig vast gepakt, toplaag
+0,5 à -0,5	tot	-1,0 à -1,5	KLEI/VEEN	
-1,0 à -1,5	tot	-6,5 à -8,5	ZAND	Los tot vast gepakt, plaatselijk doorsneden met leem- of kleilaagjes
-6,5 à -8,5	tot	-13,0 à -13,5	ZAND	Vast gepakt
-13,0 à -13,5	tot	-16,5 à -17,5	LEEM	Vast, plaatselijk doorsneden met zandlaagjes
-16,5 à -17,5	tot	ca. -18,5	ZAND	Vast gepakt
ca. -18,5			Maximaal verkende diepte	

### 2.2. Grondwaterstanden en stijghoogten

Tijdens de uitvoering van het grondonderzoek is de grondwaterstand aangetroffen op circa NAP +0,75 m (februari 1981) en circa MV -1,7 m (september 1995). Deze grondwaterstanden zijn een éénmalige opname en bedoeld als een oriënterend gegeven. De grondwaterstand kan in de tijd fluctueren onder invloed van weersgesteldheid en de seizoenen.

### 3. FUNDERINGSADVIES

#### 3.1. Algemeen

Gezien de aangetroffen bodemgesteldheid en de aard van de bebouwing komt voor dit project een fundering op palen in aanmerking.

In overleg met de constructeur is uitgegaan van de toepassing van inwendig geheide stalen buispalen. Deze funderingsoplossing is in paragraaf 3.3 nader uitgewerkt. Doorgaans kunnen inwendig geheide stalen buispalen worden aangemerkt als een trillingsarm paalsysteem. De mate waarin trillingen optreden is echter afhankelijk van de gekozen paaldiameter en paalpuntniveau. Zo zal de toepassing van een relatief grote paaldiameter en/of een relatief diep paalpuntniveau in het draagkrachtige zandpakket meer trillingen opwekken dan een relatief kleine paaldiameter en/of een relatief ondiep paalpuntniveau. Teneinde de kans op gevolgschade door trillingen te beperken wordt bij de toepassing van inwendig geheide stalen buispalen geadviseerd te streven naar een zo hoog mogelijk paalpuntniveau. Om nazakkingen van de bestaande palen te voorkomen dient in ieder geval te worden gestreefd naar een paalpuntniveau gelijk aan of hoger dan dat van de bestaande palen.

Het funderingsadvies voor dit project is opgesteld conform de norm geotechniek NEN 9997-1. Het mede op basis van dit advies gemaakte funderingsontwerp dient achteraf te worden getoetst aan de geldende geotechnische normen.

In het ontwerpstadium zijn in het algemeen geen gedetailleerde gegevens beschikbaar met betrekking tot het palenplan, de exacte paalbelastingen, de gebouwstijfheid en de vervormingseisen. Derhalve wordt in dit stadium van het project volstaan met de toetsing van de uiterste grenstoestand (UGT) type B op sterkte. Voor de meeste paaltypen, zoals grondverdringende palen en avegaarpalen met relatief kleine diameter, is deze grenstoestand veelal maatgevend, zodat hiermee ook de andere grenstoestanden worden ondervangen.

Voor de paalfundering is uitgegaan van verticaal, centrisch en op druk belaste palen. Momenten, trekbelastingen en horizontale belastingen zijn niet beschouwd.

#### 3.2. Uitgangspunten

Voor de uitwerking van het funderingsadvies voor dit project zijn de volgende door de opdrachtgever verstrekte uitgangspunten gehanteerd:

- De rekenwaarden (UGT) voor de paalbelastingen vanuit de constructie ( $F_{c,d}$ ) variëren van 350 kN tot 750 kN.
- Het PEIL van de bestaande vloer in de bedrijfshal nieuwbouw bedraagt circa NAP +1,55 m.

#### 3.3. Op druk belaste palen

Voor het funderingsadvies voor op druk belaste palen is voor diverse schachtafmetingen stalen buispalen op gekozen paalpuntniveaus de rekenwaarde van de draagkracht van de palen bepaald. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in tabel 3-1.

tabel 3-1: Paalpuntniveaus en rekenwaarden van de paal draagkracht

Sondering nr.	Maaiveldhoogte in m t.o.v. NAP	Paalpuntniveau in m t.o.v. NAP	$R_{c,net,d}$ in kN		
			stalen buispalen (inwendig geheid)		
			Ø 219 mm	Ø 273 mm	Ø 324 mm
F-2912-D25	+1,74	-6,0	320	460	610
		-7,0	430	610	800
		-7,5 od	480	680	880
F-2912-D26	+1,61	-6,0	320	450	590
		-7,0 od	430	610	790
F-2912-D27	+1,57	-7,5 #	370	530	690
		-8,0 od	430	600	780
F-2912-D28	+1,60	-6,0	310	450	590
		-7,0	450	650	860
		-7,5 od	480	680	900
F-2912-D29	+1,52	-6,0	240	340	450
		-7,0	280	390	510
		-7,5	310	430	570
		-8,0	350	480	640
		-8,5	400	560	730
R-0087-D74	ca. +1,55 (MV +0,01) *	-6,0 *	420	610	800
		-7,0 od *	490	690	900

Opmerkingen bij de tabel:

$R_{c,net,d}$  = rekenwaarde van de netto draagkracht van de paal, rekening houdend met negatieve kleef  
(=  $R_{c,d} - F_{nk,d}$ ).

od = of dieper

# = dit inheinniveau alleen toepassen bij sterk oplopende kalenders, anders ca. 0,25 à 0,5 m dieper niveau kiezen

\* = Deze sondering is uitgevoerd ten opzichte van het bestaande vloerpeil, waarbij destijds volgens opgave van de opdrachtgever het vloerpeil gelijk was aan circa NAP. Volgens opgave van de opdrachtgever is het vloerpeil recent ingemeten op circa NAP +1,55 m. Deze waarde is derhalve aangenomen voor het maaiveldniveau van de sondering. De aangegeven paalpuntniveaus en draagkrachten zijn voor deze sondering derhalve indicatief. Fugro staat niet in voor de juistheid en/of volledigheid van de door derden verstrekte informatie en gegevens.

Bij het indelen van het palenplan, dient het verschil in paalpuntniveau van naast elkaar gelegde vakken bij voorkeur niet groter dan ca. 2,0 m te worden gekozen.

De in de tabel gepresenteerde waarden voor de paal draagkracht zijn grondmechanische waarden. Door de constructeur dient te worden gecontroleerd of de bijbehorende paalschachtspanningen toelaatbaar zijn. Hierbij kan als bijdrage voor de rekenwaarde van de negatieve kleef ( $F_{nk,d}$ ) 17 kN per m<sup>1</sup> paalomtrek worden gehanteerd. Geadviseerd wordt de haalbaarheid van de gepresenteerde paalpuntniveaus voor inwendig geheid stalen buispalen te verifiëren bij de aannemer.

Bij stalen buispalen met een voetplaat is bij de berekening van de draagkracht ervan uitgegaan dat de diameter van de voetplaat niet noemenswaardig groter is dan de schachtdiameter.

Voorbeeldberekeningen van de rekenwaarde van de negatieve kleef, netto draagkracht van een paal en de toetsing van UGT type B zijn gegeven in de bijlagen A1 en A2.

Om beïnvloeding van de draagkracht van een bestaande paalfundering te voorkomen adviseren wij, bij de toepassing van (inwendige geheide) stalen buispalen met een gelijk of een hoger installatieniveau een minimale h.o.h. afstand van 2 x de nominale voetdiameter van de bestaande palen vermeerderd met 2 x de nominale voetdiameter van de nieuwe palen te hanteren. Indien de nieuwe palen dieper worden geïnstalleerd, adviseren wij een minimale h.o.h. afstand van 3 x de nominale voetdiameter bestaande paal vermeerderd met 3 x de nominale voetdiameter nieuwe paal aan te houden. Op basis van het door de opdrachtgever verstrekte palenplannen van de bestaande bebouwing blijkt de bestaande fundering te bestaan uit avegaarpalen Ø 350 mm met een onbekend paalpuntniveau en avegaarpalen Ø 400 mm met een paalpuntniveau van PEIL -11,0 m.

Bovenaangegeven richtlijnen zijn met name gebaseerd op de onderlinge beïnvloeding van het draagvermogen door grondverdringing. De richtlijnen komen in principe niet overeen met de invloedsgebieden bepaald aan de hand van grenswaarden volgens de meet- en beoordelingsrichtlijn SBR-A voor trillingsschade aan gebouwen. Het invloedsgebied, afgeleid van de grenswaarden uit van SBR-A, wordt bepaald door de 1% overschrijdingskans op schade. De afgeleide invloedsgebieden volgens de SBR-A zijn veelal groter dan de bovenstaande h.o.h. afstanden tussen bestaande en nieuwe palen. De invloedsgebieden of de overschrijdingskansen voor kleinere afstanden (hoger dan 1%) kunnen worden bepaald aan de hand van een trillingsrisicoanalyse. Desgewenst kan Fugro deze werkzaamheden uitvoeren. Verwacht wordt dat het risico op trillingsschade door inwendig heien van stalen buispalen, bij een correcte uitvoering, beperkt is.

Voor de berekening van de rekenwaarde van de maximale draagkracht en de toetsing van de UGT type B volgens 7.6.2.3 van NEN 9997-1 zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

- Het project is geplaatst in geotechnische categorie 2.
- Omdat in dit stadium van het ontwerp de stijfheid van de constructie nog niet exact bekend is, is de stijfheid van de constructie niet in rekening gebracht. Volgens tabel A.10a van NEN 9997-1 is voor de factoren  $\xi_3$  en  $\xi_4$  een waarde van 1,39 gehanteerd.
- Bij de draagkrachtberekeningen is rekening gehouden met het optreden van negatieve kleef langs de paalschacht. Deze kan ontstaan door het optreden van zettingen in de samendrukbare lagen tot een diepte van circa NAP -1,5 m.
- Bij de draagkrachtberekeningen zijn de volgende paalfactoren aangehouden;  
 $\alpha_p = 1,0$   
 $\alpha_s = 0,010$   
 $\beta = 1,0$   
 $s = 1,0$
- Toetsing volgens de UGT type B houdt in dat voldaan moet worden aan:  
 $F_{c;d} \leq (R_{c;d} - F_{nk;d})$ . De vervormingsgrenstoestanden zijn, gezien de zeer geringe zakking van de palen onder invloed van de belasting, niet maatgevend.

#### 4. UITVOERING

De stalen buispalen dienen te worden geïnstalleerd door een gerenommeerd, in dit paalttype gespecialiseerd bedrijf, conform KIWA beoordelingsrichtlijn BRL 1710 1996-07-01 "Het aanbrengen van stalen buissegmentpalen". Toezicht dient plaats te vinden op basis van CUR Aanbeveling 114 "Toezicht op de realisatie van paalfunderingen".

Voor informatie en aanbevelingen met betrekking tot de wijze van uitvoering wordt verwezen naar de bijlage "Uitvoering Heiwerk Stalen Buispalen".

Door het (inwendig) heien van stalen buispalen zullen trillingen worden opgewekt. De invloed van deze trillingen op de bestaande bebouwing is afhankelijk van onder meer de staat en funderingswijze van deze bebouwing. Desgewenst kunnen door Fugro tijdens het heien de trillingen gemeten en op basis van de richtlijnen van de Stichting Bouw Research (SBR) geïnterpreteerd worden.

Opgemerkt wordt dat inwendig geheide stalen buispalen  $\varnothing$  273 mm en  $\varnothing$  324 mm niet zonder meer aan te merken zijn als trillingsarm. Afhankelijk van de afstand van deze palen tot de bestaande bebouwing/fundering dient rekening te worden gehouden met een mogelijk risico op trillings schade. De opdrachtgever heeft het in figuur 4-1 weergegeven concept palenplan aangeleverd en aangegeven dat deze grotere paaldiameters alleen worden toegepast bij de 4-paals poeren in het midden van de nieuwbouw. Aan de randen wordt geadviseerd geen stalen buispalen groter dan  $\varnothing$  219 mm toe te passen.

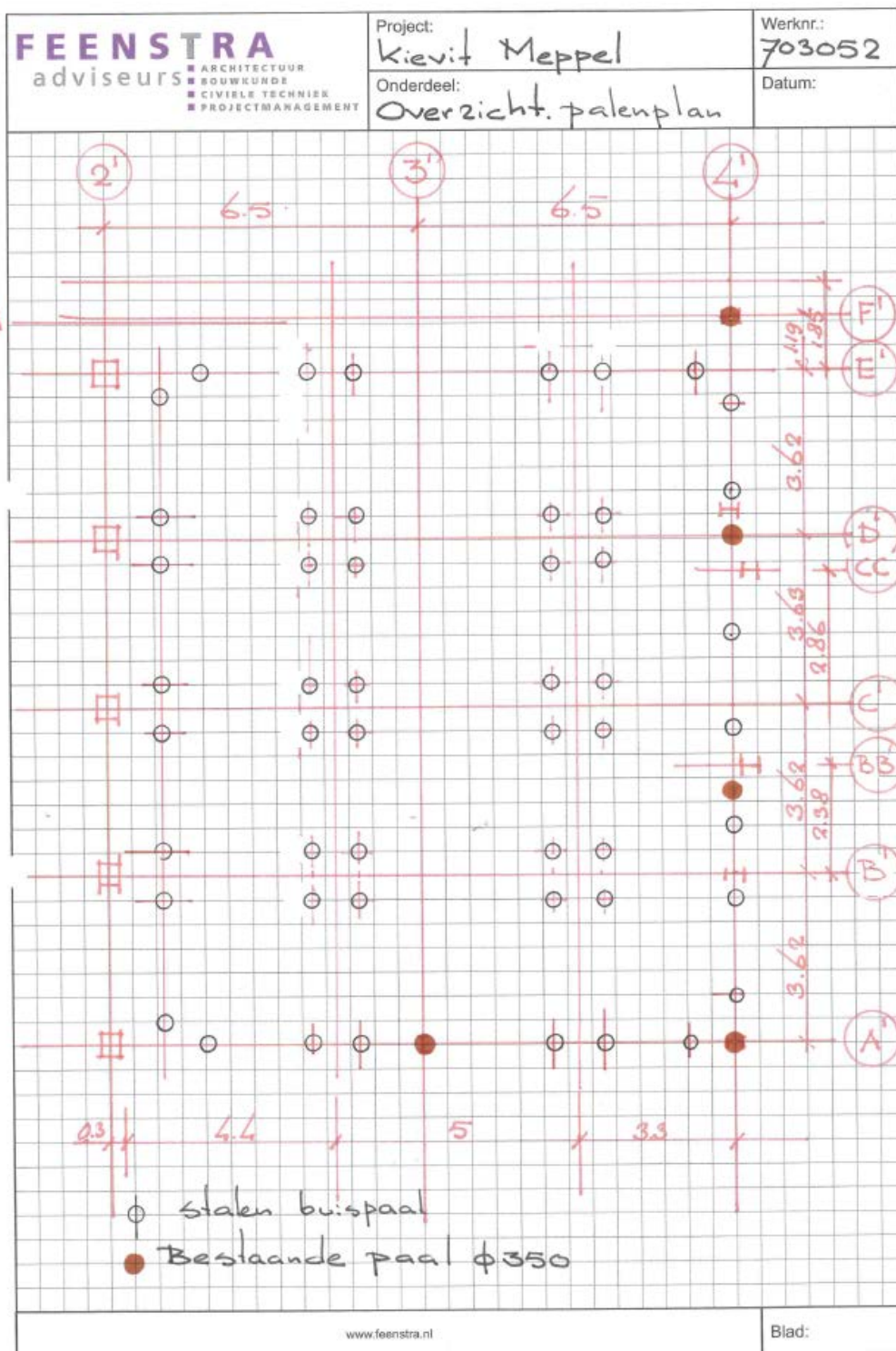
Verwacht wordt dat, indien de bestaande bebouwing in categorie 1 volgens SBR richtlijn A valt, dat het risico op trillings schade beperkt is, wanneer bovengenoemde paalconfiguratie wordt toegepast. Indien de bestaande bebouwing in categorie 2 valt, wordt een groter risico verwacht. Geadviseerd wordt op basis van een trillingsrisicoanalyse de kans op schade nader te bepalen en tijdens de heiwerkzaamheden de trillingen te monitoren

Eventueel zijn aanvullende maatregelen ter beperking van de trillingen, zoals het beperken van de valhoogte, mogelijk. Indien gewenst kan Fugro hier nader op in gaan in een trillingsrisicoanalyse.

Tevens wordt opgemerkt dat de paalafstanden zoals in figuur 4-1 weergegeven niet voldoen aan de geadviseerde afstanden in paragraaf 3.3 om beïnvloeding van de bestaande paalfundering te voorkomen.

Overigens worden, volgens opgave van de opdrachtgever, de wanden op assen 4' en A' verwijderd voordat het heiwerk begint en zullen de bestaande avegaarpalen op deze locaties geen dragende functie meer hebben in zowel de uitvoerings- als eindsituatie. Onduidelijk is voornamelijk hoe de wanden op assen F' en 2' zijn gefundeerd.

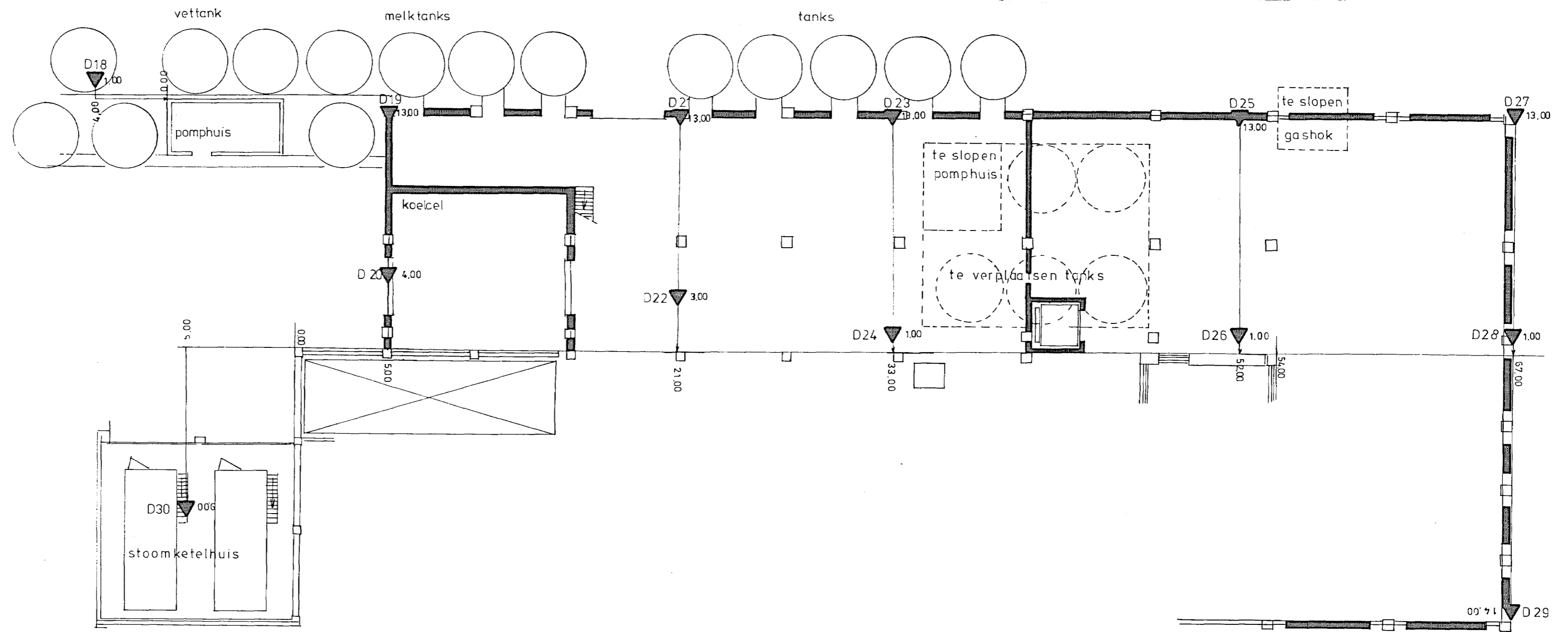




Figuur 4-1: concept palenplan volgens opdrachtgever

bk. drempel ± 1,65 + NAP

☒ put 1,62 + NAP



Grondwaterstand 0,75 + NAP

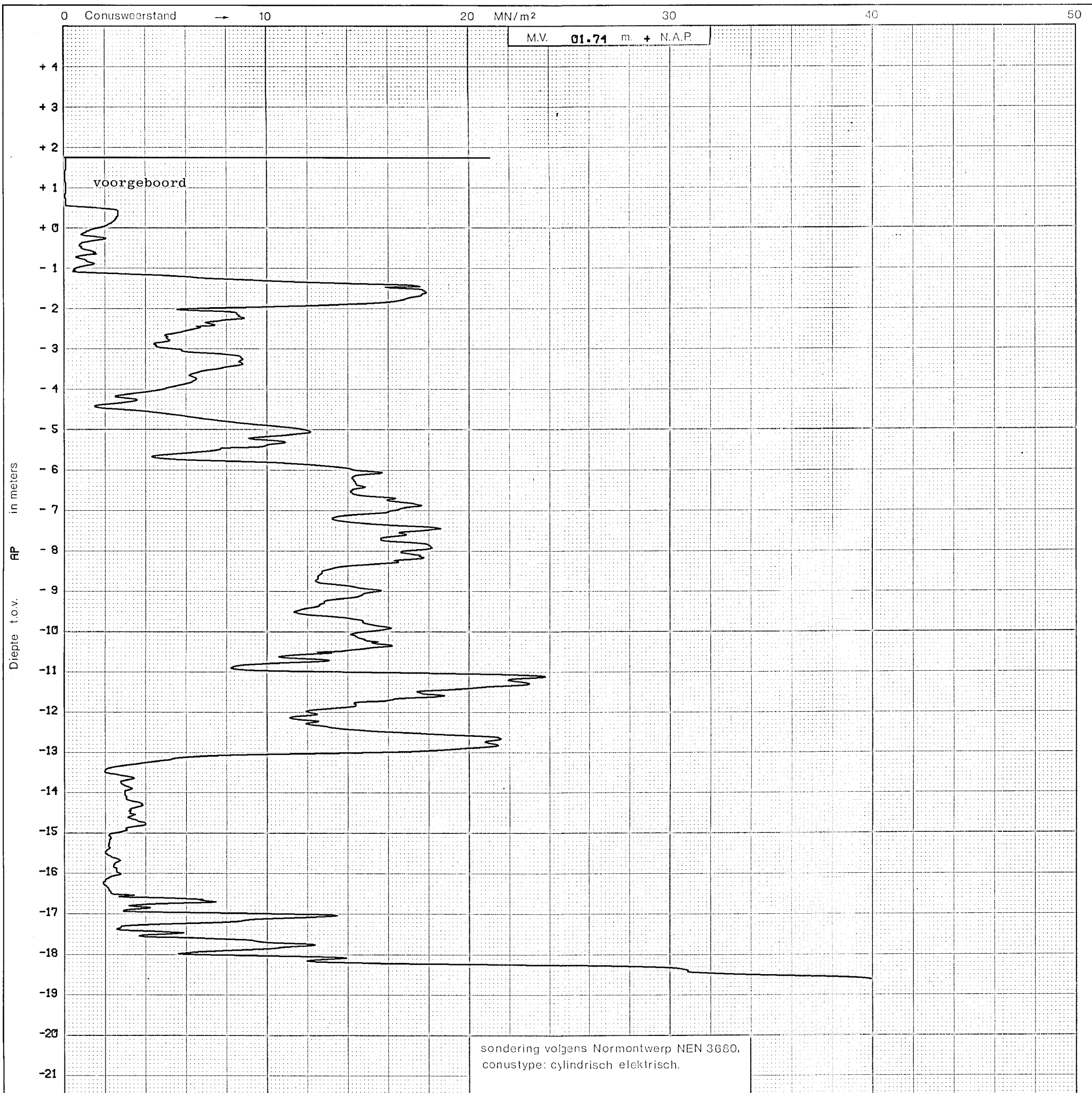
VERKLARING DER TEKENS		
▽D	DIEPSONDERING	
▽DK	SONDERING MET GESOMM. KLEEF	
▽DKM	DIEPSONDERING MET PL. WRIJVING	
▽M	MIDDELZWARE SONDERING	
▽MKM	MIDDELZWARE SONDERING + PL. WRIJVING	
●B	BORING	
SCHAAL 1 : 200		
Get: 17-2-81	1/2L	Opdracht nr.:
Gez: 17-2-81	1/2L	F-2912-1
Gez: 17-2-81	1/2L	



Uitbreiding zuivelfabriek "de Kievit" aan de verlengde Oliemolenweg te Meppel

SITUATIE





UITBREIDING ZUIVELFABRIEK "DE KIEVIT" AD  
VERLENGDE OLIEMOLENWEG TE MEPEL

SONDERING

uitv. BDB

Opdr.nr. F-2912

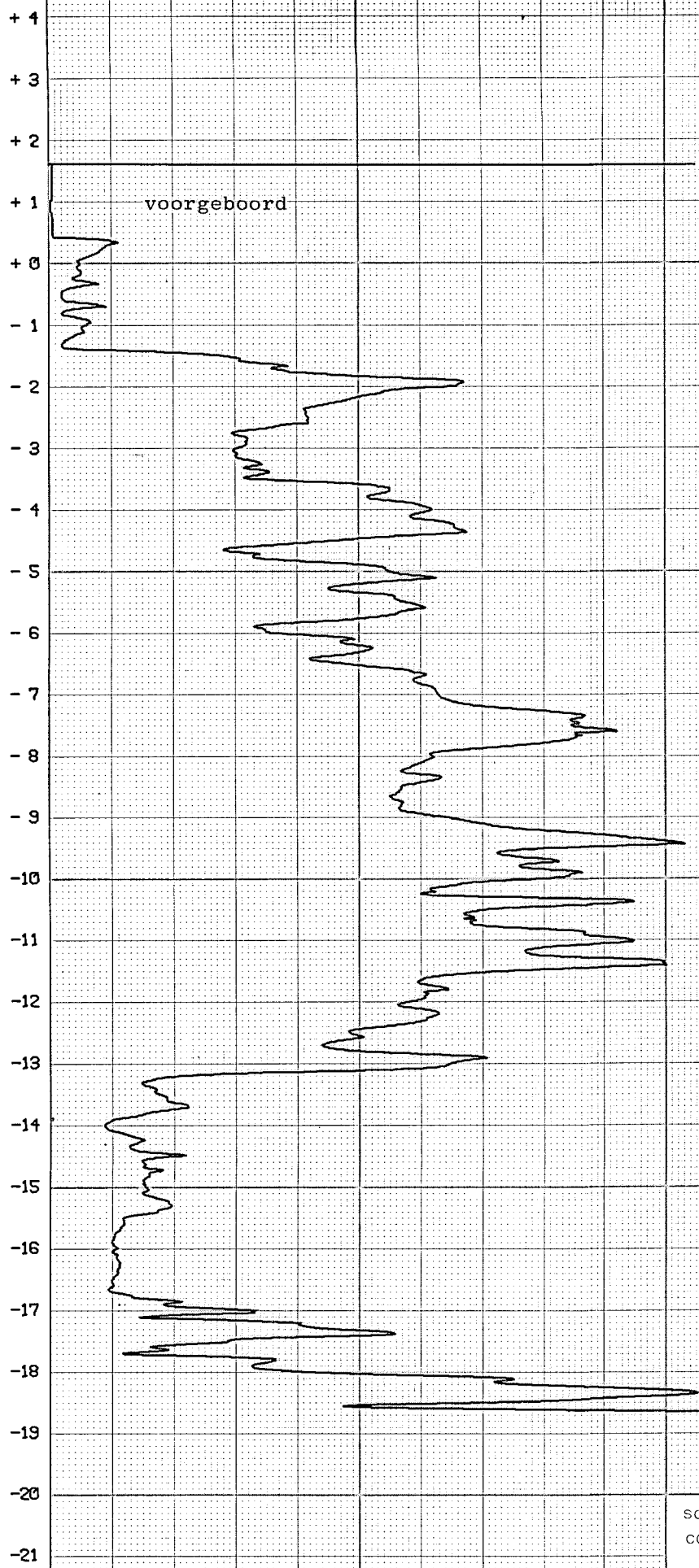
dd. 12-2-81

Sond.nr. D 25

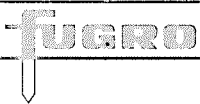
get. 16-2-81

0 Conusweerstand → 10 20 MN/m<sup>2</sup> 30

M.V. 01.61 m. + N.A.P.



sondering volgens Normontwerp NEN 3680,  
conustype: cilindrisch elektrisch.

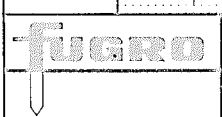
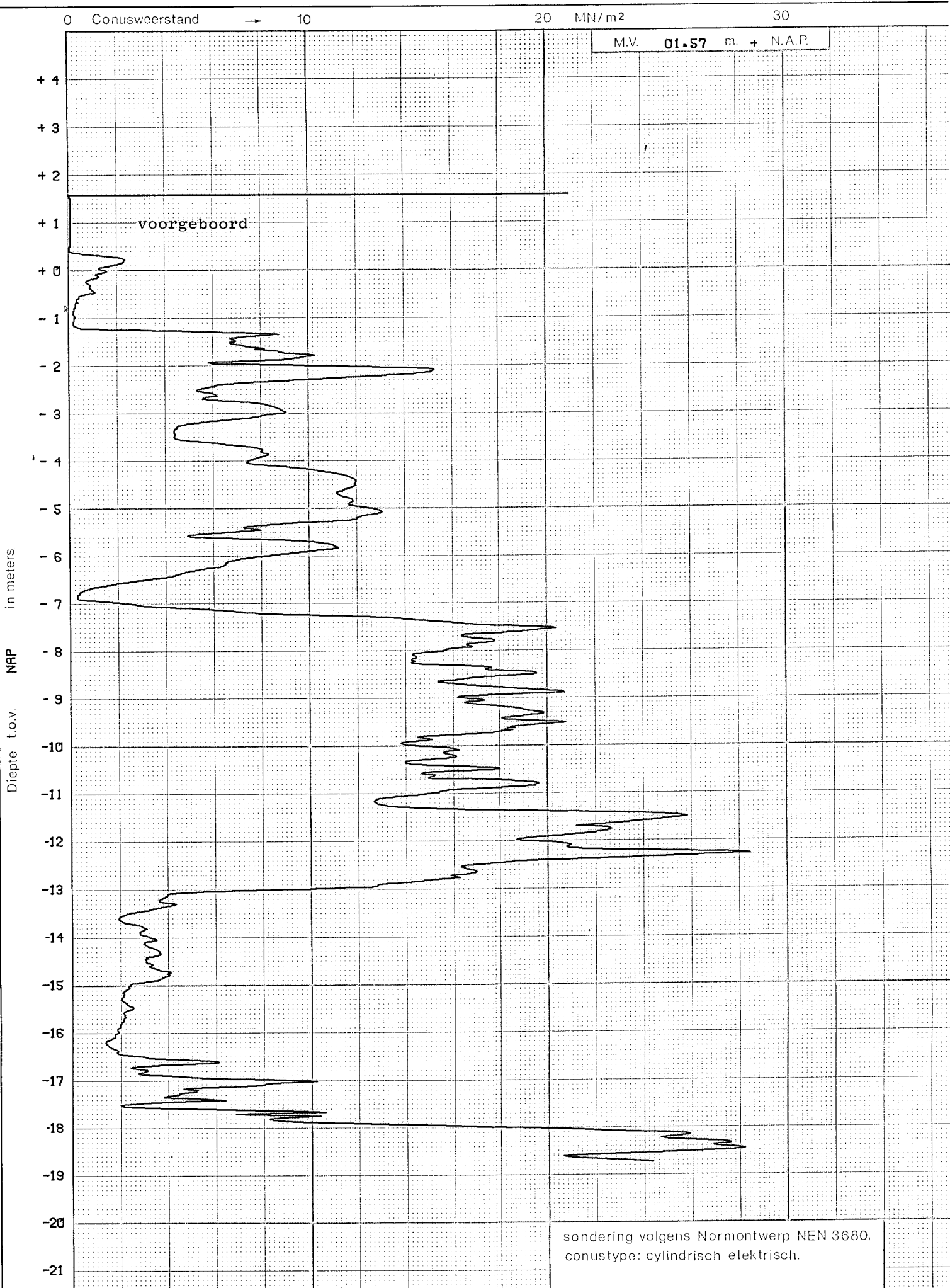


UITBREIDING ZUIVELFABRIEK "DE KIEVIT" AD  
VERLENGDE OLIEMOLENWEG TE MEPEL

SONDERING

uitv: BDB  
dd: 11-2-81  
get: 16-2-81

Opdr.nr F-2912  
Sond.nr D 26



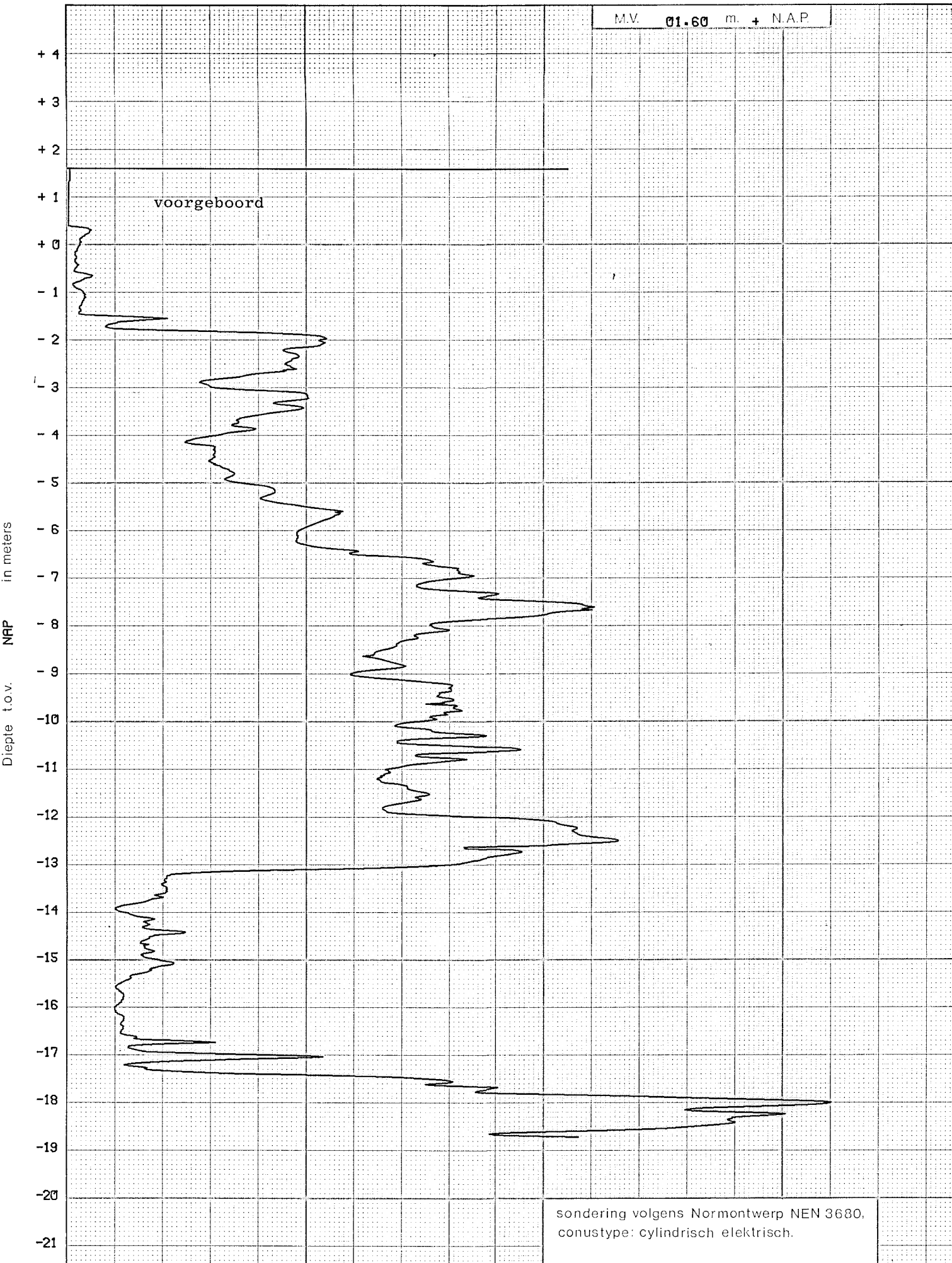
UITBREIDING ZUIVELFABRIEK "DE KIEVIT" AD  
VERLENGDE OLIEMOLENWEG TE MEPEL  
SONDERING

uitv: BDB  
dd.: 12-2-81  
get: 16-2-81

Opdr.nr. F-2912  
Sond.nr. D 27

0 Conusweerstand → 10 20 MN/m<sup>2</sup> 30

M.V. 01.60 m. + N.A.P.



sondering volgens Normontwerp NEN 3680,  
conustype: cilindrisch elektrisch.



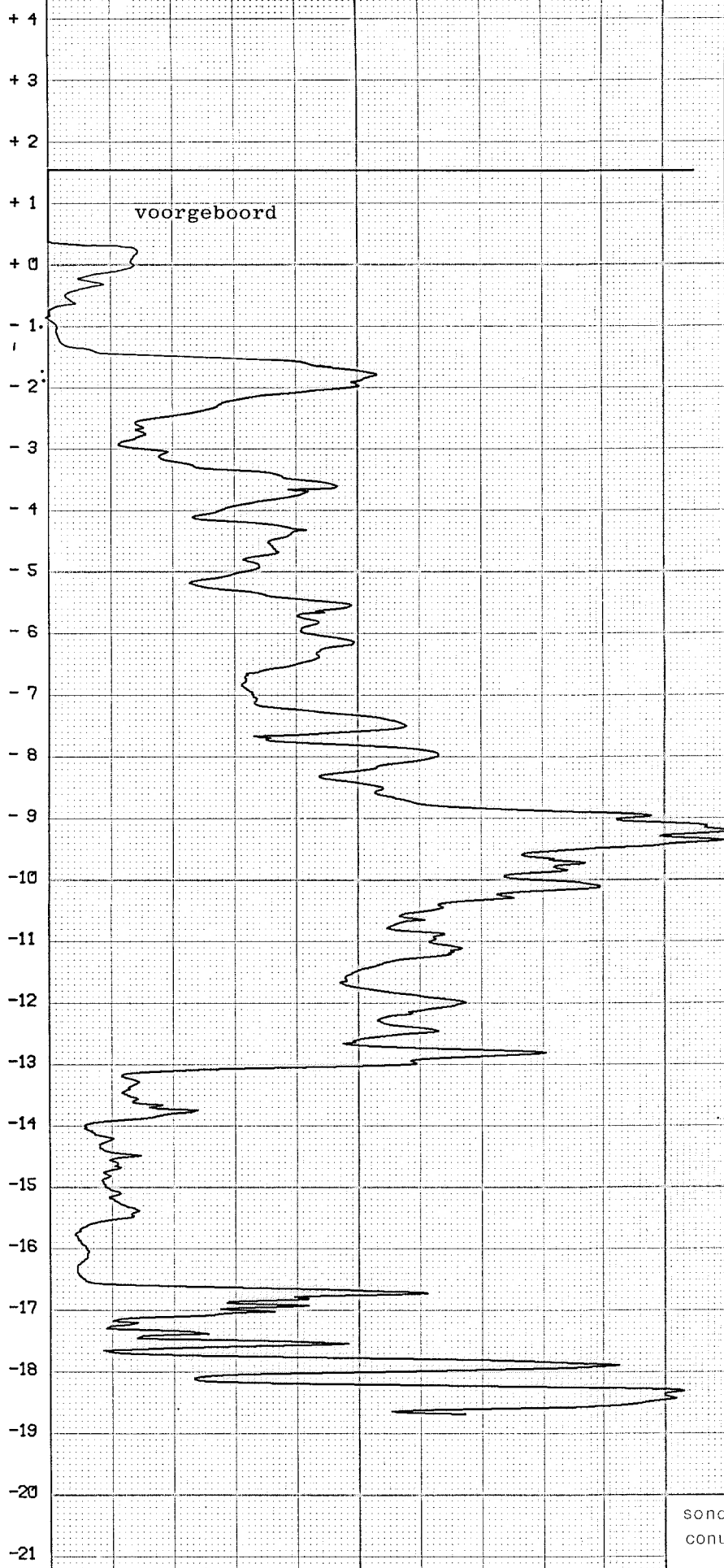
UITBREIDING ZUIVELFABRIEK "DE KIEVIT" AD  
VERLENGDE OLIEMOLENWEG TE MEPPEL  
SONDERING

uitv. BDB  
dd. 12-2-81  
get. 16-2-81

Opdr.nr. F-2912  
Sond.nr. D 28

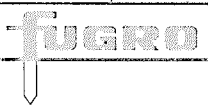
0 Conusweerstand → 10 20 MN/m<sup>2</sup> 30

M.V. 01.52 m. + N.A.P.



voorgeboord

sondering volgens Normontwerp NEN 3680.  
conustype: cilindrisch elektrisch.



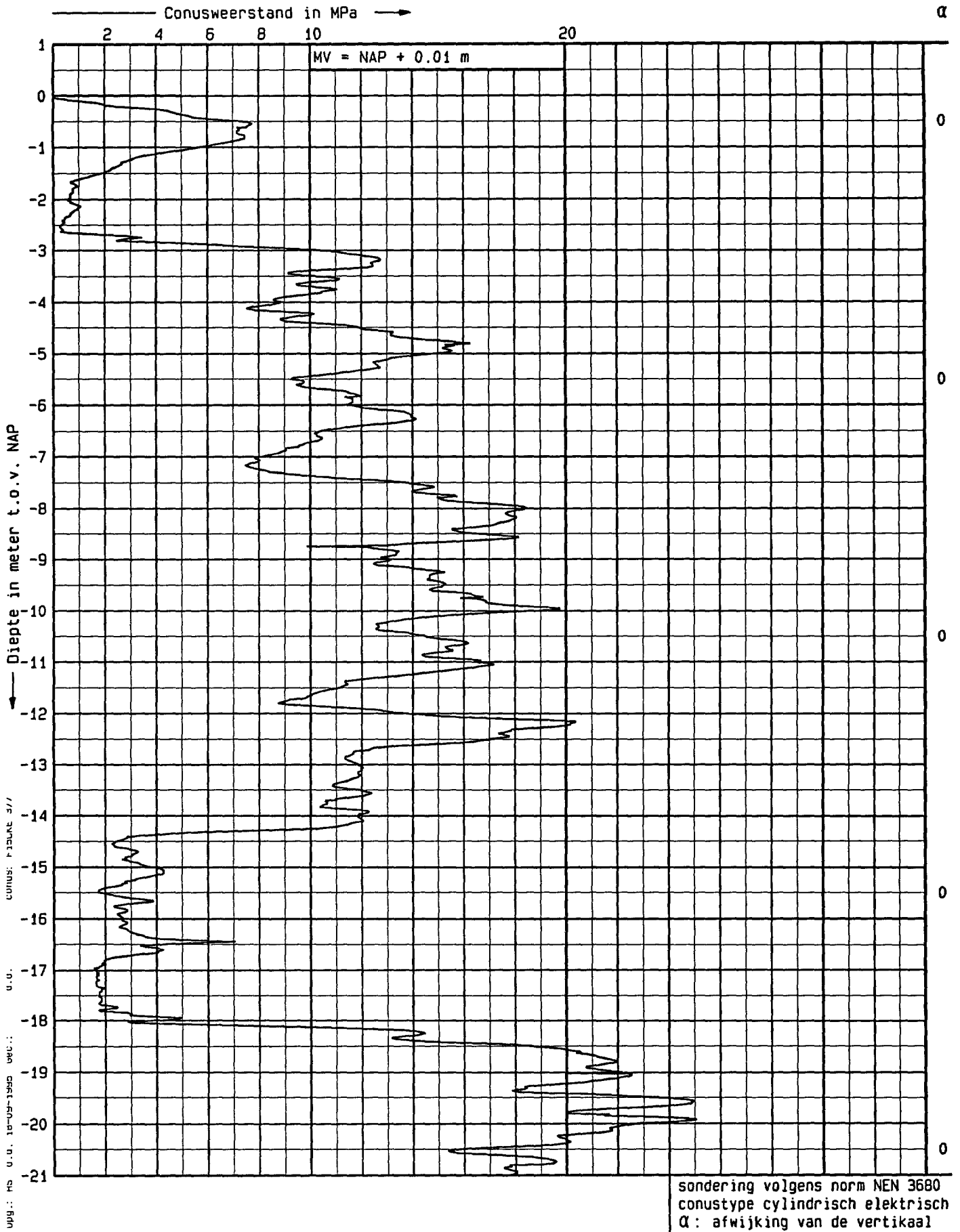
UITBREIDING ZUIVELFABRIEK "DE KIEVIT" AD  
VERLENGDE OLIEMOLENWEG TE MEPEL

SONDERING

uitv. BDB  
dd. 12-2-81  
get. 16-2-81

Opdr.nr F-2912  
Sond.nr D 29

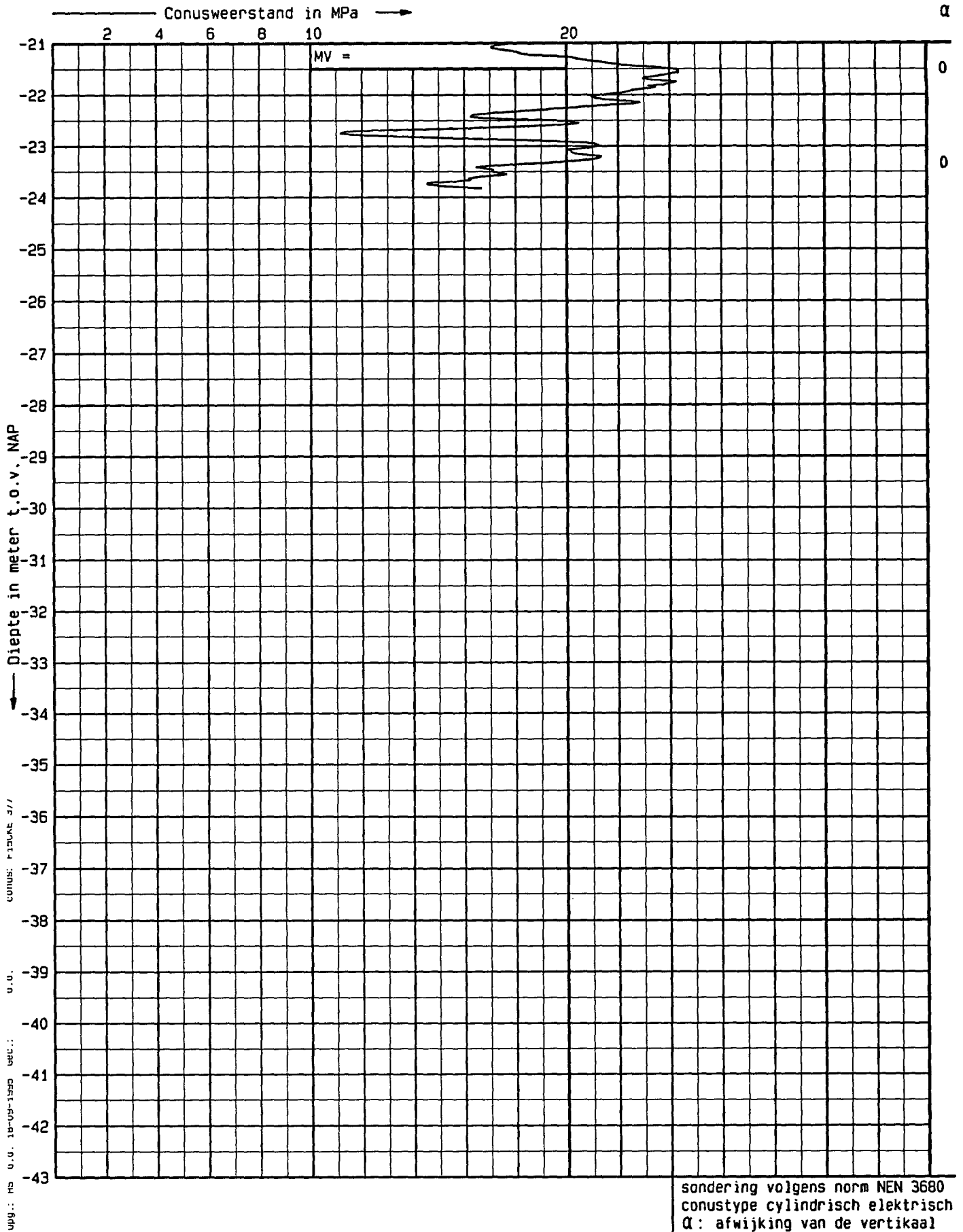




SONDERING

UITBREIDING MAGAZIJN AAN DE KIEVIT TE MEPEL

Opdr. R0087  
Sond. D 74 I



SONDERING

UITBREIDING MAGAZIJN AAN DE KIEVIT TE MEPEL

Opdr. R0087  
 Sond. D 74 II

## Uitgangspunten

- gehanteerde sondering : F-2912-D29
- paaltype : Stalen buispalen (inwendig geheid)
- schachtdiameter : Ø 324 mm

## Berekening negatieve kleef

De *representatieve waarde* van de maximale negatieve kleefbelasting op een alleenstaande paal volgens 7.3.2.2 NEN 9997-1 bedraagt:

$$F_{nk;rep} = \sum (d_i \cdot K_{o;i} \cdot \tan \delta_i \cdot \sigma'_{v;gem;i}) \cdot O_s$$

$$= 17 \text{ kN}$$

waarin:

$d_i$	= dikte van de betreffende laag	in dit geval: zie tabel
$K_{o;i} \cdot \tan \delta_i$	= product van de karakteristieke waarde van de neutrale gronddruk factor en de tangens van de wrijvingshoek tussen paal en grond voor de betreffende laag	0,25
$\sigma'_{v;gem;i}$	= karakteristieke waarde van de gemiddelde effectieve verticale spanning in de betreffende laag i	zie tabel
$O_s$	= omtrek van de paalschacht	zie tabel

laag	van / tot [m t.o.v. NAP]	dikte $d$ [m]	$\gamma_{i;rep}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\sigma'_{v;i;gem}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$K_{o;i} \cdot \tan \delta_i$ [-]	$O_s$ [m]	$F_{nk;rep,i}$ [kN]
ZAND	+1,5 / 0,0	1,5	18,0	13,5	0,25	1,018	5,2
KLEI	0,0 / -1,5	1,5	6,0	31,5	0,25	1,018	12,0
						Totaal	17,2

De *rekenwaarde* van de maximale negatieve kleefbelasting op een alleenstaande paal bedraagt:

$$F_{nk;d} = F_{nk;rep} \cdot \gamma_{i;nk}$$

$$= 17,2 \text{ kN}$$

waarin:

$\gamma_{i;nk}$	= partiële factor voor de negatieve kleef (7.3.2.2(b) van NEN 9997-1)	in dit geval: 1,0 -
-----------------	---	------------------------

## BEREKENING NEGATIEVE KLEEF

Verbouwing fabriekshal Friesland Campina Kievit,  
Oliemolenweg 4 te Meppel

Opdr. : 6014-0140-000  
Bijl. : A1

## Uitgangspunten

- gehanteerde sondering : F-2912-D29
- paaltype : Stalen buispalen (inwendig geheid)
- paalpuntniveau : NAP -7,5 m
- schachtdiameter : Ø 324 mm

## Maximale draagkracht van de paalpunt

De *maximale puntweerstand* volgens 7.6.2.3(e) van NEN 9997-1 bedraagt:

$$q_{b,max} = \frac{1}{2} \cdot \alpha_p \cdot \beta \cdot s \cdot ((q_{c,I,gem} + q_{c,II,gem})/2 + q_{c,III,gem})$$

$$= 7,0 \text{ MPa. } (\leq 15 \text{ MPa, limietwaarde conform NEN 9997-1})$$

waarin:

		in dit geval:
$q_{c,I,gem}$	= de gemiddelde waarde van de conusweerstand over traject I (0,7 à 4 x $D_{eq}$ onder de punt)	9,0 MPa
$q_{c,II,gem}$	= de minimale waarde van de conusweerstand over traject II (0,7 à 4 x $D_{eq}$ onder de punt)	6,8 MPa
$q_{c,III,gem}$	= de gemiddelde minimale waarde van de conusweerstand over traject III (8 x $D_{eq}$ boven de punt)	6,1 MPa
$\alpha_p$	= paalklassefactor (tabel 7.c, NEN 9997-1)	1,0 -
$\beta$	= factor voor de paalvoetvorm	1,0 -
$s$	= factor voor de vorm van de dwarsdoorsnede van de paalvoet	1,0 -

De *maximale draagkracht* van de paalpunt volgens 7.6.2.3(c) van NEN 9997-1 bedraagt:

$$R_{b,cal,max;i} = A_{punt} \cdot q_{b,max;i}$$

$$= 577 \text{ kN}$$

waarin:

$A_{punt}$	= oppervlak van de paalvoet	in dit geval: 0,0824 m <sup>2</sup>
------------	-----------------------------	--

## Maximale paalschachtwrijving

De *maximale paalschachtwrijving* volgens 7.6.2.3(c) van NEN 9997-1 bedraagt:

$$q_{s;\max} = \alpha_s \cdot q_{c;z;a} = 0,067 \text{ MPa}$$

waarin: in dit geval:

$\alpha_s$	= factor voor de invloed van de uitvoering en het paaltype (tabel 7.c, NEN 9997-1)	0,010 -
$q_{c;z;a}$	= de gemiddelde waarde van de conusweerstand over het traject waarover schachtwrijving wordt berekend	6,7 MPa

De *maximale schachtwrijvingskracht* volgens 7.6.2.3(c) van NEN 9997-1 bedraagt:

$$R_{s;\text{cal};\max;i} = O_{s;\Delta L;\text{gem}} \cdot \Delta L \cdot q_{s;\max} = 409 \text{ kN}$$

waarin: in dit geval:

$O_{s;\Delta L;\text{gem}}$	= gemiddelde omtrek van de paalschacht	1,018 m
$\Delta L$	= traject voor berekening schachtwrijving	6,0 m

## Maximale draagkracht

De *maximale draagkracht* van de paal volgens 7.6.2.3(c) van NEN 9997-1 bedraagt:

$$R_{c;\text{cal}} = R_{b;\text{cal};\max;i} + R_{s;\text{cal};\max;i} = 986 \text{ kN}$$

De  *karakteristieke waarde* van de maximale draagkracht van de paal volgens 7.6.2.3(5) van NEN 9997-1 bedraagt:

$$R_{c;k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c;\text{cal}})_{\text{gem}}}{\xi_3} ; \frac{(R_{c;\text{cal}})_{\text{min}}}{\xi_4} \right\} = 709 \text{ kN}$$

waarin: in dit geval:

$\xi_3$ en $\xi_4$	= correlatiefactor volgens tabel A.10a van NEN 9997-1	1,39 -
--------------------	---	--------

Voor de *rekenwaarde* van de maximale draagkracht van de paal kan volgens 7.6.2.3(3) en (4) van NEN 9997-1 worden aangehouden:

$$R_{c;d} = R_{c;k} / \gamma_R = 591 \text{ kN}$$

waarin: in dit geval:

$\gamma_R$	= $\gamma_b = \gamma_s$ = partiële factor volgens tabel A.6 t/m A.8 van NEN 9997-1	1,20 -
------------	---	--------

### BEREKENING EN TOETSING REKENWAARDE NETTO DRAAGKRACHT

Voor de UGT geldt volgens 7.6.2.1(1) van NEN 9997-1:

$$F_{c;d} < R_{c;d}$$

Voor de UGT type B kan het zakkingscriterium dat in 2.4.9(b) van NEN 9997-1 is gegeven, worden vervangen door:

$$F_{c;d} + F_{nk;d} < R_{c;d}$$

waarin:			in dit geval:
$F_{c;d}$	=	rekenwaarde van de belasting in kN	
$F_{nk;d}$	=	rekenwaarde van de negatieve kleeftbelasting	591 kN
$R_{c;d}$	=	rekenwaarde van de maximale draagkracht van de paal	17 kN

Voor de meeste paaltypen, zoals grondverdringende palen met relatief kleine diameter, is de UGT type B maatgevend, zodat hiermee ook de andere grenstoestanden worden ondervangen.

Bovenstaande formule kan worden bewerkt tot de volgende voorwaarde:

$$F_{c;d} < R_{c;net;d}$$

waarin:			in dit geval:
$R_{c;net;d}$	=	$R_{c;d} - F_{nk;d}$	
	=	de rekenwaarde van de netto draagkracht van de paal, rekening houdend met de negatieve kleeftbelasting	574 kN

Indien aan de bovenstaande voorwaarde wordt voldaan, dan bezwijkt de grond rondom de paal niet. De vervormingen van de paalkop zullen hierbij ook beperkt zijn.

In tabel 3-1 zijn de waarden gepresenteerd van  $R_{c;net;d}$ .

---

**BEREKENING EN TOETSING REKENWAARDE NETTO DRAAGKRACHT**

**Algemene richtlijnen**

Voor algemene richtlijnen betreffende het aanbrengen van stalen buispalen wordt verwezen naar de beoordelingsrichtlijn BRL 1710 d.d. 01-07-1996 van KIWA inclusief wijzigingsblad d.d. 15-07-2000. Toezicht dient plaats te vinden op basis van CUR Aanbeveling 114 "Toezicht op de realisatie van paalfunderingen". In het bijzonder dient op de volgende aspecten te worden gelet.

**Heivolgorde**

De eerste paal van het project dient te worden geheid ter plaatse van een sondering aangezien de draagkracht van de palen berekend is met behulp van sonderingen.

De relatie van het heigedrag met het sondeerbeeld kan worden vastgesteld door het aantal slagen per 0,25 m paalzakking te registreren (kalenderen). Het bij de eerste sondering gevonden kalenderbeeld wordt als maatstaf voor de overige palen genomen. Van iedere paal dient derhalve, over het traject in de draagkrachtige zandlaag, de kalender te worden opgenomen. Voor iedere volgende sondering is het noodzakelijk om het kalenderbeeld te controleren en znodig de maatstaf bij te stellen.

Bij een verschil in inheinniveau tussen de sonderingen, verdient het aanbeveling het heiwerk aan te vangen bij het diepste niveau. Aangezien dan van "laag naar hoog" wordt geheid is een betere controle mogelijk op het benodigde inheinniveau voor de overige palen.

Bij het heien van grote groepen palen dient "van binnen naar buiten" te worden gewerkt. Door het verdichten van zandlagen, kan een andere volgorde onnodig zwaar heiwerk tot gevolg hebben.

**Advies en berekening**

De uitgangspunten die bij het berekenen van de draagkracht zijn gehanteerd, dienen op het werk te worden gecontroleerd. Aan de volgende zaken dient aandacht te worden besteed:

- Diameter schacht en wanddikte van de buis.
- Paalvorm: glad, verbrede voetplaat, gladde buisvoet, buisvoet met verbrede voetplaat of uitgeheide bolvoet.
- Paallengte en paalpuntniveau.

**Heiblok-paal-draagkracht verhouding**

Doorgaans wordt gezocht naar een verhouding heiblok-paal-draagkracht die een eindkalender oplevert van 15 à 25 slagen per 0,25 m.

Stalen buispalen worden meestal op diepte gebracht door middel van inwendig heien, dat wil zeggen met een heiblok in de buis. De diameter van het heiblok kan derhalve niet groter zijn dan de inwendige diameter van de stalen buis, hetgeen bijna altijd een relatief slank blok oplevert. De diameter van het blok moet niet te groot worden gekozen aangezien anders heii-energie verloren gaat, namelijk door wrijving van het blok langs de buiswand en/of doordat de lucht niet voldoende snel langs het blok kan ontsnappen (luchtkussen- of zuigereffect). Het benodigde gewicht van het heiblok moet daarom in de lengte gezocht worden en/of (soms) in de toepassing van een loden kern. In verhouding met normale geheide palen, zoals bijvoorbeeld prefab betonpalen, is er doorgaans sprake van een licht heiblok, resulterend in relatief hoge kalenderwaarde. Dit suggereert een goede "stuit", hetgeen niet per definitie het geval hoeft te zijn. Het is sterk af te raden om zonder overleg met de geotechnisch adviseur af te wijken van het voorgeschreven paalpuntniveau. Het kan voorkomen dat lagen, die alleen met zwaar heiwerk zijn te passeren, toch niet voldoende draagkrachtig zijn.

**Afwijkende kalenderwaarden**

Een afwijkende kalenderwaarde kan worden veroorzaakt door de bodemopbouw, maar ook andere factoren kunnen hiervoor aanleiding zijn. Een oorzaak kan bijvoorbeeld worden gezocht in de opbouw van de paal; een stalen buispaal met een verbrede voetplaat kan onder sommige omstandigheden afwijkende kalenderwaarden geven. Verder kan de kalenderwaarde worden beïnvloed door de volgende factoren:

- De valhoogte van het heiblok is niet constant.
- De grindprop in de paal wisselt per paal in vastheid.
- De paal staat krom of scheef.
- Er treedt tijdelijke wateroverspanning op onder de paalpunt tijdens het heien.

Bij een lage kalenderwaarde kan sprake zijn van een te lage draagkracht. Bij twijfel is het noodzakelijk contact op te nemen met de constructeur en de grondmechanisch adviseur. In onderling overleg kan dan tot één of meer van de volgende maatregelen worden besloten:

- Het na-heien van palen, waarbij over een traject van 0,25 m het aantal slagen per 0,05 m paalzakking wordt geregistreerd; op deze wijze kan worden onderzocht in hoeverre wateroverspanning de oorzaak is.
- Het uitvoeren van controlesonderingen, om te onderzoeken in hoeverre een afwijkende bodemopbouw de oorzaak is.
- Het plaatsen van een extra paal.

De diepte van de bovenkant van de draagkrachtige zandlaag op de hei-lokatie kan afwijken van het uitgevoerde grondonderzoek. Indien geen controlesonderingen kunnen worden gemaakt, kan het juiste paalpuntniveau als volgt worden bepaald:

- Uit het advies wordt afgeleid hoe diep de paalpunt in de draagkrachtige zandlaag staat.
- Aan de hand van de kalenders van de op of nabij een sondering geheide paal, wordt bepaald bij welke kalenderwaarde de paalpunt de zandlaag raakt. Deze kalenderwaarde wordt in principe voor het gehele werk aangehouden. Alleen als er van heiblok wordt gewisseld, dient een andere representatieve kalenderwaarde te worden vastgesteld.
- De paal wordt vervolgens tot de uit het advies afgeleide diepte in de zandlaag geheid. Indien deze diepte gering is, bijvoorbeeld 0,3 à 0,4 m, dienen bij het kalenderen geen tochten van 0,25 m te worden aangehouden maar tochten van 0,05 m of 0,10 m.

### **Controle van de uitvoering**

Van ieder paal dienen de relevante gegevens te worden geregistreerd. Dit betreft niet alleen de kalenderwaarden en het uiteindelijke paalpuntniveau, doch ook gegevens over het gewicht van het heiblok, de valhoogte, de heivolgorde en het tijdstip van wijzigen van samenstelling van de grindprop. Het paalpuntniveau dient bij voorkeur te worden vastgesteld ten opzichte van NAP.

Tevens dient te worden vastgelegd hoe de palen zijn samengesteld wat betreft de schachtafmeting, de wanddikte van de buis, de afmeting van de voetplaat en/of van de buisvoet.

Als gevolg van obstakels in de grond kan de punt van de stalen buispaal uit de goede richting verlopen. De buispaal kan dan gebogen in de grond komen te staan. Een zekere afwijking van de ideale lijn (verticale stand) wordt geaccepteerd, zie art. 5.12 van BRL 1710.

De controle op de grootte van de buiging van de paal kan worden uitgevoerd door het in de paal laten zakken van een lamp. Een gedeelte van de op de bodem van de paal aanwezige grindprop moet nog te zien zijn. Door berekening dient te worden aangetoond dat de paalschacht voldoende draagkracht heeft en of extra wapening nodig is.

Als de paal het gewenste paalpuntniveau heeft bereikt, dient de paalschacht te worden gevuld met betonmortel en dient een kopnet te worden aangebracht.

Voordat beton wordt gestort, dient gecontroleerd te worden dat de paal schoon is en dat er geen water in staat. In een paal waar water staat mag geen beton worden gestort.

In dit verband wordt opgemerkt dat een paal tijdens het heiproces al lek kan raken. In principe is het niet altijd nodig een lekkende paal geheel af te keuren. Het lek dient echter wel in een zo vroeg mogelijk stadium te worden gedicht. Indien dergelijke lekken zich voordoen, moet de constructeur van het werk hiervan op de hoogte worden gebracht.

Uit het voorgaande kan worden opgemaakt dat tijdens het heien van stalen buispalen met vele factoren rekening moet worden gehouden. Deskundig toezicht tijdens het heien van dit type palen is dan ook gewenst.