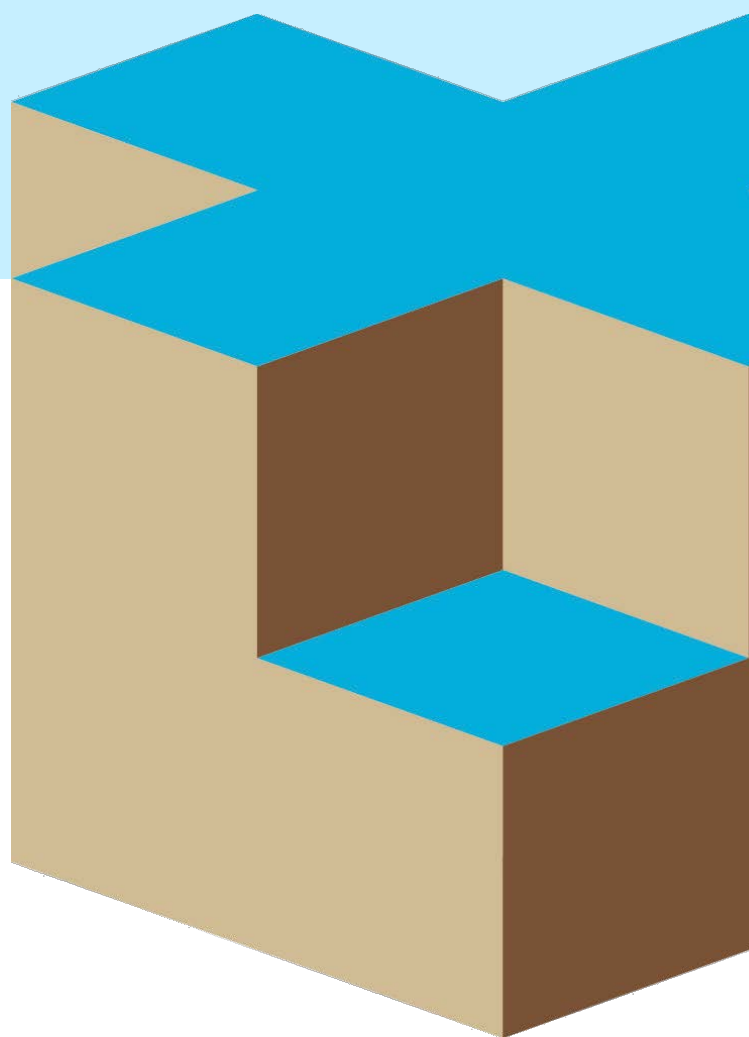


Boortoren en mijnwater unit aan de Ganzenweide te Heerlen





Boortoren en mijnwaterunit aan de Ganzenweide te Heerlen

Opdrachtnummer: 22ZP1153

Rapport betreffende
Resultaten geotechnisch onderzoek
Fundering

Documentnummer
22ZP1153-adv-01

Versie
1.0

Datum rapport
10 oktober 2022

Opdrachtgever
Adviesbureau Brouwers B.V.
Postbus 245
6040 AE Roermond

Opgesteld door:
Ir. G.R.M. Jessen

Gecontroleerd door:
Ir. N.T. Debets



INHOUDSOPGAVE

1. INLEIDING	1
2. PROJECTGEGEVENS	2
2.1 Projectlocatie	2
2.2 Bouwplan	3
2.2.1 <i>Mijnwatercentrale unit</i>	3
2.2.2 <i>Opstelplaat boortoren</i>	3
2.3 Historie projectlocatie	4
2.4 Omgeving	4
2.5 Tot slot	4
3. ONDERZOEK	5
3.1 Inleiding	5
3.2 Sonderingen	5
3.3 Boring	5
3.4 Uitzetten en waterpassen	6
3.5 Foto's	6
4. BODEMOPBOUW EN GRONDWATER.....	7
4.1 Hoogteligging maaiveld	7
4.2 Beschrijving bodemopbouw.....	7
4.3 Grondwater	7
5. FUNDERINGSADVIES	8
5.1 Funderingswijze	8
5.2 Uitgangspunten.....	8
5.2.1 <i>Algemeen</i>	8
5.2.2 <i>Fundering op staal</i>	8
5.2.3 <i>Fundering op palen</i>	8
5.3 Fundering op staal	9
5.3.1 <i>Richtlijnen funderingselementen</i>	9
5.3.2 <i>Voormalige bebouwing / vroegere terreininrichting</i>	9
5.3.3 <i>Sloop bestaande bebouwing</i>	9
5.3.4 <i>Aspecten ontwerp / uitvoering kelder</i>	9
5.3.5 <i>Ontgravingsniveaus voor grondverbetering</i>	10
5.3.6 <i>Draagkracht</i>	10
5.3.7 <i>Vervorming</i>	10
5.3.8 <i>Beddingscoëfficiënt</i>	11
5.3.9 <i>Richtlijnen en kwaliteitszorg uitvoering</i>	11
5.4 Fundering op avegaarpalen.....	12
5.4.1 <i>Beschrijving paalsysteem</i>	12
5.4.2 <i>Paalpuntniveau en draagkracht</i>	12
5.4.3 <i>Vervorming</i>	13
5.4.4 <i>Veercoëfficiënt</i>	13
5.4.5 <i>Richtlijnen uitvoering en kwaliteitszorg avegaarpalen</i>	13



BIJLAGEN:

- A) Situatietekening en foto's
- B) Waterpasstaten
- C) Sondeergrafieken
- D) Boorstaten
- E) Verklaring codering
- F) Berekeningen fundering op staal betonplaat boortoren en kelder
- G) Berekening fundering op staal mijnwaterunit
- H) Berekening fundering op palen mijnwaterunit
- I) Algemene richtlijnen uitvoering grondverbetering
- J) Algemene richtlijnen uitvoering avegaarpalen

VERSIE

1.0 Rapportage

VERZENDLIJST:

- Adviesbureau Brouwers B.V. te Roermond t.a.v. de Dhr. R. Peeters (r.peeters@brouwers.com)



1. INLEIDING

Ten behoeve van "Boortoren en mijnwaterunit aan de Ganzenweide te Heerlen" wordt door ons bureau op verzoek van Adviesbureau Brouwers B.V. uit Roermond in voorliggend rapport een funderingsadvies gegeven. Het advies is gebaseerd op de ons verstrekte projectgegevens en de geotechnisch onderzoeken die op de projectlocatie is uitgevoerd. Dit rapport bevat tevens een beschrijving en de resultaten van het onderzoek.



2. PROJECTGEGEVENS

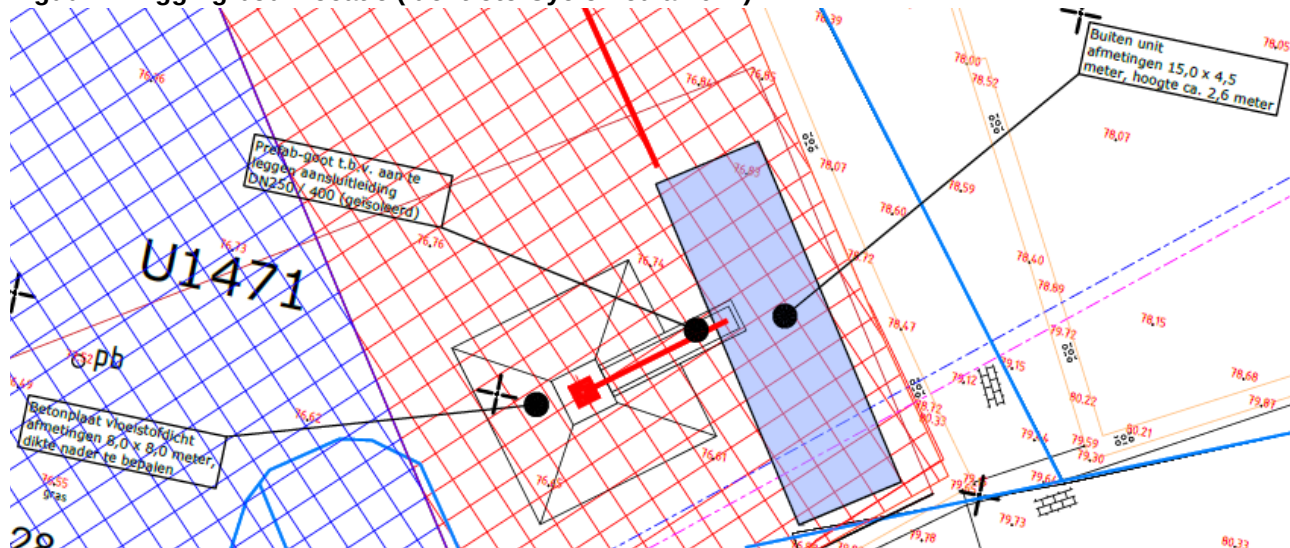
2.1 Projectlocatie

De projectlocatie is gelegen achter op een perceel huisnummer 151 t/m 155 aan de Ganzeweide te Heerlen. De locatie is momenteel deels braakliggend en deels in gebruik als opslagterrein. De projectlocatie bevindt zich in bebouwd gebied.

Voor de ligging van de projectlocatie en nieuwbouw wordt verwezen naar de situatietekening SIT-01 onder bijlage A en de navolgende afbeeldingen.



Figuur 1: Ligging bouwlocatie (luchtfoto Cyclomedia 2021).



Figuur 2: geplande nieuwbouw en opstellocatie



2.2 Bouwplan

2.2.1 Mijnwatercentrale unit

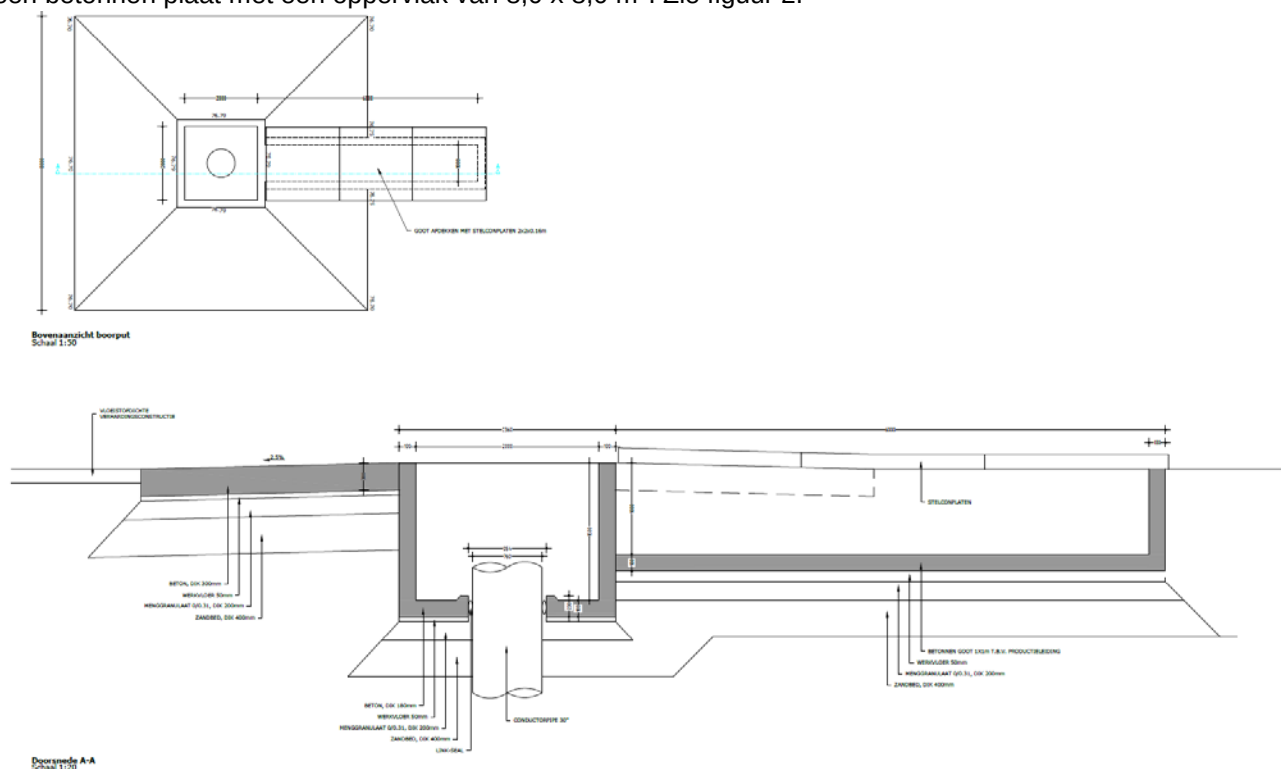
Het plan omvat de bouw van een mijnwater centrale; zie figuur 2. Het betreft een 1-lagig unit, waarin dat als technische ruimte wordt ingericht voor het verpompen, etc. van het mijnwater. In het ontwerp is geen kelder op kruipruimte opgenomen. De unit wordt op maaiveld geplaatst.

Bij de opzet van dit rapport is uitgegaan van de navolgende gegevens:

Grondvlak	: 5,3 x 15,0 m ² .
Peil maaiveld	: 76,8 m+ NAP
Bovenkant vloer	: 76,8 m+ NAP
Aanlegniveau	: 76,6 m+ NAP
Vloerbelasting $F_{S,vloer;rep}$	: 5 kN/m ² (opgave Volantis)

2.2.2 Opstelplaat boortoren

Tevens is er een opstellocatie voor een boortoren voorzien. Deze boortoren zal geplaatst worden op een betonnen plaat met een oppervlak van 8,0 x 8,0 m². Zie figuur 2.



Figuur 3: betonplaat met kelder voor boortoren (bron opdrachtgever).

De betonnen plaat wordt op maaiveld geplaatst. Tevens is er een boorkelder voorzien van 2x2 m² en 1,5 meter diep. Zie figuur 3. Tijdens de boorwerkzaamheden lopen de puntlasten op de betonnen plaat op tot ca. 380 kN. De boorwerkzaamheden duren ca. 2 werkweken. Daarnaast is er 1 week nodig voor de bouw en 1 week voor het afbreken van de boortoren.

Bij de opzet van dit rapport is uitgegaan van de navolgende gegevens:

Grondvlak	: 8,0 x 8,0 m ² .
Bovenkant vloer plaat	: 76,7 tot 76,8 m+ NAP
Aanlegniveau betonplaat	: 76,5 m+ NAP
Bovenkant vloer kelderplaat	: 75,3 m+ NAP
Aanlegniveau betonplaat	: 75,1 m+ NAP
Puntbelasting max.	: 380 kN



2.3 Historie projectlocatie

Omtrent de historie van de projectlocatie zijn ons geen gegevens bekend. Als er om enige reden aanleiding is om te veronderstellen dat sprake kan zijn van bijvoorbeeld geroerde grond of obstakels en verontreinigingen, dan dient te worden nagegaan in hoeverre dit mogelijk een knelpunt is voor het ontwerp of de uitvoering.

2.4 Omgeving

In de omgeving van onderzoekslocatie is sprake van diverse bebouwing. Nadere gegevens omtrent de exacte afstand tot deze bebouwing, de aard, de conditie en funderingswijze van de bebouwing zijn ons niet bekend.

2.5 Tot slot

Geadviseerd wordt om genoemde gegevens alsmede de elders in dit rapport gehanteerde aannamen en uitgangspunten te verifiëren voordat met de resultaten uit dit rapport wordt verder gewerkt.



3. ONDERZOEK

3.1 Inleiding

Op de locatie is gefaseerd een grondonderzoek verricht. In eerste instantie waren er 4 diepsonderingen en een handboring voorzien. Als gevolg van obstakels en vastgepakte bovenlagen kon 1 sondering en de handboring niet uitgevoerd worden. Dit eerste onderzoek is uitgevoerd in 2021 onder opdrachtnummer 02P017638. In de nazomer van 2022 is het resterende onderzoek uitgevoerd, waarbij de geplande boring machinaal is verricht. Hierna zijn de onderzoeken verder toegelicht.

3.2 Sonderingen

Nabij de bouwlocatie zijn met een elektrische conus 4 sonderingen gemaakt. De druksonderingen gemaakt met een elektrische conus conform NEN-EN-ISO 22476-1. Bij de sonderingen is naast de conusweerstand tevens de plaatselijke wrijving gemeten en geregistreerd. De relatie tussen conusweerstand en plaatselijke wrijving, het wrijvingsgetal, geeft beneden het grondwaterniveau een indicatie van de verschillende grondsoorten. Zie tabel 1.

Tabel 1. Verhouding tussen grondsoort en wrijvingsgetal. Opgemerkt wordt dat boven het grondwater grote afwijkingen kunnen voorkomen ten opzichte van genoemde waarden.

Grondsoort	Wrijvingsgetal	Grondsoort	Wrijvingsgetal
Grind	0,2 - 0,5	klei, vast	2,0 - 4,0
Grof zand	0,4 - 0,7	klei, matig vast	3,0 - 5,0
Zand	0,6 - 1,2	klei, slap	4,0 - 6,0
Zand, leemhoudend	1,0 - 1,8	klei, veenhoudend	5,0 - 8,0
Zand, kleihoudend	1,2 - 2,2	veen	5,0 - 10,0
Leem	1,5 - 3,0		

De sonderingen zijn uitgevoerd door een standaard sondeerstelling. De sondeerdiepte reikte tot ca. 20,0 m- maaiveld.

Voor de grafieken van de sonderingen wordt verwezen naar de bijlage C; de locatie van de sondeerpunten is aangegeven op de situatietekening SIT-01 in de bijlage A. Voor een verklaring van de op de tekening gebruikte tekens wordt verwezen naar de "Verklaring Codering" die onder bijlage E aan dit rapport is toegevoegd.

Opmerking

In verband met de vastgepakte lagen zijn een aantal sonderingen eerder gestaakt dan gepland. Daarnaast kon de sondering 03 niet op de geplande locatie uitgevoerd worden, omdat er obstakels aanwezig waren.

3.3 Boring

In 2021 is getracht om een handboring te plaatsen. Als gevolg van de stenige toplaag werd na 3 pogingen slechts een diepte bereikt van 0,2 m- maaiveld. Ter aanvulling op de sonderingen is machinaal een boring uitgevoerd tot een diepte van 4 meter. Tijdens het veldwerk is het grondwaterniveau gepeild.

Voor de profielen van de boringen wordt verwezen naar bijlage D; de locaties van de boorpunten zijn aangegeven op situatietekening SIT-01 in de bijlage A. Voor een verklaring van de op de tekening en de boorprofielen gebruikte tekens wordt verwezen naar de "Verklaring Codering" die onder bijlage E aan dit rapport is toegevoegd.



3.4 Uitzetten en waterpassen

Met behulp van een GNSS-meetsysteem zijn de locaties van de onderzoekspunten uitgezet in RD-coördinaten en is de hoogte van het maaiveld ter plaatse van ieder onderzoekspunt bepaald ten opzichte van NAP. Tevens is de hoogte ingemeten van een aantal andere karakteristieke punten.

Voor de omschrijving van het referentiepunt en voor de resultaten van de inmeting en waterpassing wordt verwezen naar de inmeet- en waterpasstaat bijlage B.

Wij adviseren om na te gaan of het resultaat van onze waterpassing overeenstemt met andere gegevens ten aanzien van de hoogteligging van het terrein.

3.5 Foto's

Tijdens de uitvoering van het veldwerk zijn enkele foto's gemaakt. Voor de foto's en een tekening waarop met pijlen is aangegeven vanuit welke positie en in welke richting de foto's zijn gemaakt wordt verwezen naar bijlage A.



4. BODEMOPBOUW EN GRONDWATER

4.1 Hoogteligging maaiveld

De hoogte van het maaiveld ter plaatse van de meetpunten varieert ten tijde van het onderzoek van ca. 76,6 tot 76,8 m + NAP. Voor meer informatie over de hoogteligging wordt verwezen naar de waterpasstaat bijlage B.

4.2 Beschrijving bodemopbouw

Op basis van de onderzoeksresultaten en onze ervaring in de regio kan de aangetroffen grondslag als volgt geschematiseerd worden:

Van het maaiveld tot ca. 75,5 m+ NAP wordt een geroerde toplaag aangetroffen.

Vervolgens wordt een pakket met holocene beekafzettingen aangetroffen. De bovenlaag bestaat uit samendrukbare klei tot ca. 74,0 m à 74,5 m + NAP met conusweerstand in de orde van 0,3 tot 1,5 MPa. Aan de basis is tot ca. 73,0 m à 73,6 m NAP een laag met los tot vastgepakte zand- en zandgrindafzettingen aangetroffen.

De diepere lagen tot de maximaal verkende diepte van ca. 57 m+ NAP bestaat uit een pakket met tertiaire kleiafzettingen afgewisseld met zandige lagen. Hierin zijn te onderscheiden:

- Tot op een niveau van ca. 67 m+ NAP worden overwegend slappe tot matig stijve zandige kleiafzettingen aangetroffen.
- tot ca. 61,5 m NAP los- tot vastgepakt zandige afzettingen aanwezig.
- stijve kleiige afzettingen tot ca. 58,5 m NAP,
- vast tot zeer vastgepakte zandige afzettingen tot maximaal verkende diepte van 57 ,0 m NAP.

4.3 Grondwater

Op 30 juni 2021 werd tot een diepte van ca. 75 m NAP geen grondwater aangetroffen. Tijdens het sondeerwerk op 2 september stond het grondwaterniveau op ca. 74,6 m NAP. Ook tijdens het boorwerk op 20-09-2022 is het grondwaterniveau gepeild. Er werd een waterstand gemeten van ca. 75,4 m NAP.

Er wordt op gewezen dat dit een momentopname is en dat de stand onder invloed van seizoensafhankelijke factoren zal fluctueren.



5. FUNDERINGSADVIES

5.1 Funderingswijze

Een fundering op staal is mogelijk met een relatief dikke grondverbetering. Als gevolg van de hieraan gekoppelde diepere ontgravingsniveaus zal tevens het grondwaterniveau met een bemaling verlaagd moeten worden. In dit rapport is voor de unit derhalve een fundering op staal en palen uitgewerkt zodat voor de meest economische oplossing gekozen kan worden.

Voor de betonplaat is een fundering op staal uitgewerkt, waarbij dit is opgesplitst voor de plaat op maaiveldniveau en de kelder. Ook bij deze constructies wordt geadviseerd om een grondverbetering aan te brengen en zal de inzet van een bemaling noodzakelijk zijn.

Door de constructeur moet worden nagegaan of de zettingsindicatie acceptabel is. Indien specifieke vervormingseisen aan de vloerplaat worden gesteld dient zo nodig gericht aanvullend onderzoek te worden verricht.

Als alternatief kan worden gedacht aan een fundering op avegaarpalen. Bij een fundering op palen hoeft geen relatief diepe grondverbetering te worden uitgevoerd en dus niet dan wel minder te worden bemalen. Bovendien is een fundering op palen in vergelijking tot een fundering op staal minder zettingsgevoelig.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Algemeen

- Projectgegevens zoals beschreven in hoofdstuk 2.
- Situering nieuwbouw zoals weergegeven op situatietekening.
- Resultaten grondonderzoek zoals beschreven in hoofdstuk 4 en bijgevoegd in de bijlagen.
- Het project is ingedeeld in Geotechnische Categorie 2.
- Funderingselementen worden verticaal centrisch op druk belast.
- De berekening van de draagkracht op druk en de vervorming van de funderingselementen is gebaseerd op NEN 9997-1:2017 (geotechnisch ontwerp van constructies).
- Het terrein zal niet significant worden afgegraven of opgehoogd.

5.2.2 Fundering op staal

- Er is in dit rapport van uitgegaan dat een aanlegniveau van de fundering van:
 - unit 76,6 m NAP,
 - betonplaat boortoren 76,4 m à 76,5 m NAP
 - kelderplaat boortoren 75,0 m NAP.
- Er wordt aangenomen dat beneden de ontgravingsniveaus de oorspronkelijke, op natuurlijke wijze gesedimenteerde bodemopbouw aanwezig is.

5.2.3 Fundering op palen

- Fundering op avegaarpalen.
- Voor de berekening van de draagkracht zijn de navolgende factoren aangehouden.

- paalklasse punt	$\alpha_p = 0,56$
- paalvoetvorm	$\beta = 1,0$
- paalvoetdwarsdoorsnede	$s = 1,0$
- paalklasse schacht	$\alpha_s = 0,006$
- Gegevens over de stijfheid van het bouwwerk zijn niet bekend; deze zijn daarom niet in rekening gebracht.
- Er wordt aangenomen dat de oorspronkelijke, op natuurlijke wijze gesedimenteerde bodemopbouw aanwezig is.



- Er is niet gerekend met negatieve kleeft omdat er in de toekomst geen maaiveldzakkingen van betekenis worden verwacht.
- Het effect van horizontale belastingen op de palen (bijvoorbeeld bij maaiveldniveauverschillen aan weerszijden van de bebouwing) valt niet binnen het kader van de opdracht.
- De in dit rapport berekende draagkracht betreft het geotechnisch draagvermogen dat wordt ontleend aan de ondergrond. Door de constructeur moeten constructieve aspecten van de funderingspalen, waaronder de sterkte, worden beoordeeld.

5.3 Fundering op staal

5.3.1 Richtlijnen funderingselementen

- Toegepast kan worden een fundering op een plaat met vorstranden.
- De keldervloer dient uitgevoerd te worden in gewapend beton.
- In een vereenvoudigd rekenmodel kan als funderingselement het met wapening verzwaarde en/of verdiepte vloergedeelte worden aangehouden waarover lijn- en/of puntlasten voldoende worden gespreid. Deze meewerkende oppervlakken worden hierna beschouwd als stroken en poeren.
- Afmeting en eventueel vereiste wapening van de funderingselementen dient door de constructeur te worden berekend aan de hand van de gegevens uit dit rapport.

5.3.2 Voormalige bebouwing / vroegere terreininrichting

- Geadviseerd wordt om na te gaan of er sprake kan zijn van geroerde grond als gevolg van bijvoorbeeld het slopen van bebouwing, het verwijderen van tanks, of het dempen van vroegere sloten.
- Indien er sprake is van geroerde grond dan dient deze in principe te worden verwijderd en vervangen door goed verdicht zand (zie paragraaf "grondverbetering").

5.3.3 Sloop bestaande bebouwing

- Met de sloop van de bestaande bebouwing dienen de bodemlagen beneden de te verwijderen funderingselementen zo min mogelijk te worden verstoord. Ontgravingen moeten worden aangevuld met goed verdicht zand.

5.3.4 Aspecten ontwerp / uitvoering kelder

- Om lekkage te voorkomen wordt geadviseerd de kelderwanden tot boven de hoogste grondwaterstand uit te voeren in gewapend beton.
- Nagegaan dient te worden of in de meest ongunstige situatie (ook tijdens de bouwphase) het eigen gewicht van de constructie (exclusief de veranderlijke belasting) voldoende is om de opwaartse waterdruk, t.g.v. de hoogste grondwaterstand, tegen de onderkant van de kelder te compenseren.
- Indien het eigen gewicht niet voldoende is dan kan bij kleine kelders worden overwogen om de keldervloer buiten de wanden te laten uitsteken, waarna een verdichte zandaanvulling wordt aangebracht. Voor de evenwichtsberekening kan het gewicht hiervan worden meegenomen.
- Indien het eigen gewicht niet voldoende is dan dienen alternatieven te worden overwogen zoals bijvoorbeeld een verzwaring van de kelder of het toepassen van trekelementen.
- Opgemerkt wordt dat de in dit rapport vermelde grondwaterstandsgegevens niet zonder meer ten grondslag kunnen liggen aan de evenwichtsbeschouwing en de dimensionering van de keldervloer. Hiervoor is een gericht onderzoek nodig.
- Dit onderzoek kan onder meer bestaan uit het opvragen van de grondwaterstanden die in het verleden zijn opgetreden in de meest nabij gelegen peilbuizen van NITG-TNO.
- Bouwputaspecten zoals bijvoorbeeld de bemaling, taludstabiliteit en de kering van grond en grondwater vallen niet binnen het kader van de opdracht en worden in dit rapport dus niet behandeld.
- Ons bureau kan desgewenst hieromtrent nader adviseren.



5.3.5 Ontgravingsniveaus voor grondverbetering

Ter plaatse van de sonderingen hebben de bodemlagen tot de in de tabel vermelde niveaus een te geringe draagkracht. Ligt dit ontgravingsniveau lager dan het aanlegniveau van de funderingselementen dan dient de tussenliggende zone te worden opgevuld met een grondverbetering.

Tabel 1. Ontgravingsniveau ten behoeve van grondverbetering

Onderdeel en sondering nr.	Hoogte maaiveld ¹⁾ [m NAP]	Peil [m NAP]	Aanlegniveau [m NAP]	Ontgravingsniveau [m NAP]
Unit				
002	76,56	76,8	76,,6	75,0 ²⁾
003	76,80	76,8	76,,6	75,0 ²⁾
Betonplaat				
001	76,71	76,7	76,,4	75,2 ²⁾
002	76,56	76,7	76,,4	75,2 ²⁾
003	76,80	76,7	76,,4	75,2 ²⁾
004	76,63	76,7	76,,4	75,2 ²⁾
Kelder				
001	76,71	75,3	75,0	74,5
003	76,80	75,3	75,,0	74,0

1) Niveau ten tijde van onderzoek

2) Op dit niveau is nog slappe grond aanwezig. Wij adviseren om eerst een vlijlaag aan te brengen en vervolgens de grondverbetering. Zie tevens paragraaf uitvoering 5.3.9.

Alle grond dient tot de aangegeven diepte te worden vervangen door een grondverbetering. Tussen en in de omgeving van de sonderingen moet tot dezelfde bodemlagen worden ontgraven zoals aangetroffen ter plaatse van de sonderingen op de hiervoor vermelde niveaus.

Voor meer algemene richtlijnen ten aanzien van de grondverbetering wordt verwezen naar de bijlages.

Opgemerkt wordt dat de werkzaamheden bij voorkeur in een droge periode moeten worden verricht. Bij de hier aangetroffen bodemopbouw kan in een natte periode een onwerkbaar situatie kan ontstaan.

5.3.6 Draagkracht

In de bijlagen F en G is voor een aantal funderingsafmetingen de maximale draagkracht weergegeven. De rekenwaarde van de verticale belasting op een funderingselement moet kleiner zijn dan de draagkracht van de ondergrond ($V_d \leq R_{v,d}$).

Het draagvermogen is afhankelijk van onder meer de gronddekking (t). Onder gronddekking wordt verstaan een permanent aanwezige zandaanvulling die boven aanlegniveau aanwezig is rond het volledige funderingselement en die zich in horizontale richting uitstrekt tot een afstand van tenminste 6 maal de breedte van het funderingselement. Indien dit niet het geval is geldt een lagere draagkracht. Er dient zorg voor te worden gedragen dat de gronddekking te allen tijde aanwezig is gedurende de levensduur de constructie.

5.3.7 Vervorming

De vervormingen binnen de funderingsconstructie dienen zodanig te zijn dat in de bouwconstructie geen uiterste grenstoestand of bruikbaarheidsgrenstoestand wordt overschreden.



Tenzij specifieke vervormingseisen zijn gesteld wordt voor de uiterste grenstoestand veelal een relatieve rotatie β van maximaal 1:100 aangehouden. Voor de bruikbaarheidstoestand wordt in het algemeen aangenomen dat de scheefstand ω en/of de relatieve rotatie β_x de waarde van 1:300 niet mag overschrijden.

Uiterste Grenstoestand:	-Rotatiecriterium:	$\Delta s/l \leq 1:100$
Bruikbaarheidstoestand:	-Rotatiecriterium:	$\Delta s/l \leq 1:300$

Bij overschrijding van de bruikbaarheidstoestand zijn de vervormingen van dien aard dat binnen de bouwconstructie ongewenst verlies aan bruikbaarheid optreedt. In de regel zal deze toestand maatgevend zijn.

Voor het zakkingsverschil kan in eerste instantie tenminste de helft van de berekende maximale zetting worden aangehouden tussen twee funderingselementen met een onderlinge afstand l . Dit in verband met de mogelijke heterogeniteit van de bodem en/of uitvoeringsonvolkomenheden. Indien bijvoorbeeld door belastingvariaties of verschillen in aanlegniveau en funderingsafmeting lokaal een groter zakkingsverschil optreedt, dan moet deze grotere waarde in rekening worden gebracht.

Vervormingen binnen de funderingsconstructie kunnen indicatief worden bepaald aan de hand van de last-zakkingsresultaten die zijn toegevoegd aan bijlagen F en G. Het betreft hier last-zakkingsgrafieken voor vrij liggende funderingselementen waarbij de zakking niet wordt beïnvloed door de aanwezigheid van nabijgelegen funderingselementen.

De berekende zakking komt overeen met een waarde die te verwachten is bij een 30 jaar aanwezige belasting. Indien er sprake is van kortdurende belastingen (< 1 maand), dan zal mogelijk slechts 10 tot 30 % van de berekende zakking optreden.

Er kan van worden uitgegaan dat het onderkelderde gedeelte nauwelijks enige zetting zal ondergaan.

5.3.8 Beddingscoëfficiënt

Voor de statische secant veercoëfficiënt van een funderingselement geldt $k_{v,rep} = F_{s,rep} / s_{bgt}$. De rekenwaarde van de veercoëfficiënt is bepaald als $k_{v,d} = k_{v,rep} / \gamma_{m,k}$ waarbij $\gamma_{m,k} = 1,3$.

Uitgaande van de last-zakkingsgrafiek voor bruikbaarheidstoestand (BGT) is sprake van een niet geheel lineaire veer karakteristiek. In dit rapport is de statische veerstijfheid gepresenteerd voor een vrij gelegen funderingselement bij een representatieve belasting van 80 % van het draagvermogen. Voor de veercoëfficiënten wordt verwezen naar bijlagen F en G.

5.3.9 Richtlijnen en kwaliteitszorg uitvoering

Onder bijlage I zijn met betrekking tot de uitvoering van de grondverbetering algemene richtlijnen gegeven.

Onder meer wordt ingegaan op de werkzaamheden in relatie tot de omgeving, het belang van de controle van uitgangspunten en aannamen, en op aspecten die van toepassing zijn op het werkterrein, de uitvoering en controle van de grondverbetering. Geadviseerd wordt hiervan kennis te nemen.

Ten behoeve van de ontgravings- en funderingswerken is het noodzakelijk dat het grondwaterniveau tot op 0,5 meter minus ontgravingsniveau ofwel plaatselijk tot 73,5 m+ NAP wordt verlaagd.

Tijdens het veldwerk is in een sondeergat het grondwater op niveau van ca. 74,6 m à 75,4 m+ NAP aangetroffen. Wij verwachten derhalve dat er een bemaling nodig is om de werkzaamheden in den droge te kunnen uitvoeren.



Om de nadelige effecten voor de bestaande funderingen (zettingen) door de grondwaterstandsverlaging te beperken, adviseren wij om de afmaling van het grondwater in de tijd zoveel mogelijk te beperken. In hoeverre voor de op staal gebouwde bebouwing in de directe omgeving zettingen en mogelijke zettingsschade zullen optreden is afhankelijk van de funderingswijze van de bestaande bouwwerken, de bestaande bouwlasten, de grondwaterstandsverlaging, de tijdsduur van verlaging en de bodemopbouw. Indien gewenst kunnen wij dit onderzoek in een aanvullende opdracht voor u verzorgen.

Vanwege de weke en verzadigde bodem tot ca. 74,0 à 74,5 m NAP zal zowel bij de ontgravingswerkzaamheden alsmede bij het aanbrengen van de grondverbetering zorgvuldig te werk moeten worden gegaan om een "dolle" ondergrond te voorkomen. De werkingsdiepte van de verdichtingsapparatuur moet zijn afgestemd op de dikte van de aan te brengen lagen van het grondverbeteringspakket.

De ontgravingswerkzaamheden dienen achteruit werkend te geschieden. Het berijden of betreden van de put moet na het ontgraven worden vermeden. Zie ook de richtlijnen grondverbeteringen in de bijlagen.

Waar de ontgravingsniveaus bestaan uit sterk verweekte gedeelten, dan kan alvorens het grondverbeteringspakket aan te brengen, een vlijlaag worden gemaakt middels het inbedden van grove puin, silex of grof grind. Intrillen hiervan moet worden vermeden. Een andere optie zou kunnen zijn het aanbrengen van een geotextiel of zogenaamd wegendoek op ontgravingsniveau.

5.4 Fundering op avegapalen

5.4.1 Beschrijving paalsysteem

- Een avegapaal is een in de grond gevormde paal.
- De paal wordt gemaakt middels een avegaar die bestaat uit een holle as met daar omheen een doorgaand schroefblad.
- De avegaar die aan de onderzijde is voorzien van een losse afdichting (deksel), wordt op maaiveld geplaatst en vervolgens rechtsom draaiend en grondverwijderend op diepte geschroefd.
- De holle buis van de avegaar wordt vervolgens volgepompt met mortel- of betonspecie.
- Ten behoeve van het lossen van het deksel wordt de avegaar circa 0,1 m gelicht, waarna de avegaar stilstaand of langzaam rechtsom roterend uit de grond wordt getrokken en zodoende de paalschacht wordt gevormd. Gedurende dit proces moet het gehele systeem onder een voldoende speciedruk worden gehouden.
- Direct na het vervaardigen van de paalschacht wordt de wapening in de verse specie aangebracht. De paal wordt afgewerkt en de stelling kan worden verplaatst.
- In beginsel dienen de palen gemaakt te worden vanaf een zodanig werkniveau dat de stijghoogte van grondwater in de dieper gelegen watervoerende zandlagen niet hoger is dan de freatische grondwaterstand.
- Voor het opnemen van trekbelasting dienen de palen over de volledige lengte te zijn gewapend.

5.4.2 Paalpuntniveau en draagkracht

Wij adviseren om uit te gaan van een paalpuntniveau van 64,5 m NAP. In de bijlage H wordt per sondering de draagkracht voor een aantal diameters op dit niveau gepresenteerd.

Voor een voldoende draagkracht dient de centrisch aangrijpende maximale paalbelasting kleiner te zijn dan de draagkracht van de palen: $F_{c;d} \leq R_{c;d}$.

Bij de opzet van een palenplan dient het draagvermogen, in beginsel te zijn afgestemd op het maatgevende laagste draagvermogen dat op het niveau voor de relevante omliggende sonderingen is berekend. De vermelde draagkracht betreft het geotechnisch draagvermogen dat wordt ontleend aan de ondergrond. Door de constructeur moeten constructieve aspecten van de funderingspalen, waaronder de sterkte, worden beoordeeld.



5.4.3 Vervorming

De vervormingen binnen de funderingsconstructie dienen zodanig te zijn dat in de bouwconstructie geen uiterste grenstoestand of bruikbaarheidsgrenstoestand wordt overschreden.

Tenzij specifieke vervormingseisen zijn gesteld wordt voor de uiterste grenstoestand veelal een relatieve rotatie β van maximaal 1:100 aangehouden. Voor de bruikbaarheidstoestand wordt in het algemeen aangenomen dat de scheefstand ω en/of de relatieve rotatie β de waarde van 1:300 niet mag overschrijden.

Uiterste Grenstoestand:	-Rotatiecriterium:	$\Delta s/l \leq 1:100$
Bruikbaarheidstoestand:	-Rotatiecriterium:	$\Delta s/l \leq 1:300$

Bij overschrijding van de bruikbaarheidstoestand zijn de vervormingen van dien aard dat binnen de bouwconstructie ongewenst verlies aan bruikbaarheid optreedt. In de regel zal deze toestand maatgevend zijn.

Vervormingen binnen de funderingsconstructie kunnen indicatief worden bepaald aan de hand van de last-zakkingsresultaten die zijn toegevoegd aan bijlage H.

Voor het zakkingsverschil kan in eerste instantie tenminste een derde van de berekende maximale paalkopzakking worden aangehouden tussen twee palen of meerpaalspoeren met een onderlinge afstand l . Indien bijvoorbeeld door belastingvariaties of verschillen in paalpuntniveau lokaal een groter zakkingsverschil optreedt, dan moet deze grotere waarde in rekening worden gebracht.

5.4.4 Veervoëfficiënt

Voor de statische secant veervoëfficiënt van de kop van een vrijstaande op druk belaste paal geldt $k_{v,rep} = F_{c,rep} / s_{1,bgt.}$ waarbij s_1 de paalkopzakking betreft als zijnde de som van s_{el} , de elastische verkorting van de paal en s_b , de zakking van de paalpunt nodig voor het mobiliseren van het paal draagvermogen. De rekenwaarde van de veervoëfficiënt is bepaald als $k_{v,d} = k_{v,rep} / \gamma_{m;k}$ waarbij $\gamma_{m;k} = 1,3$.

Bij concentraties van palen waarbij de hart-op-hart-afstand kleiner is dan tien maal de kleinste paalvoetdoorsnede, dient in principe in de paalkopzakking, de zakking te worden verdisconteerd in de lagen beneden het niveau van vier maal de kleinste dwarsafmeting van de paalpunt.

Voor de veervoëfficiënt geldt in dat geval $k_{v,rep} = F_{c,rep} / (s_{1,bgt.} + s_{2,bgt.})$ waarbij s_2 de extra zakking is als gevolg van het groepseffect in de dieper gelegen lagen.

Uitgaande van de last-zakkingsgrafiek voor de bruikbaarheidstoestand is sprake van een niet lineaire veer karakteristiek. In dit rapport is ter indicatie voor een sondering en een paalpuntniveau met intervallen van 10% de statische veerstijfheid berekend voor een belasting variërend van 10 tot 100 % van de paalcapaciteit.

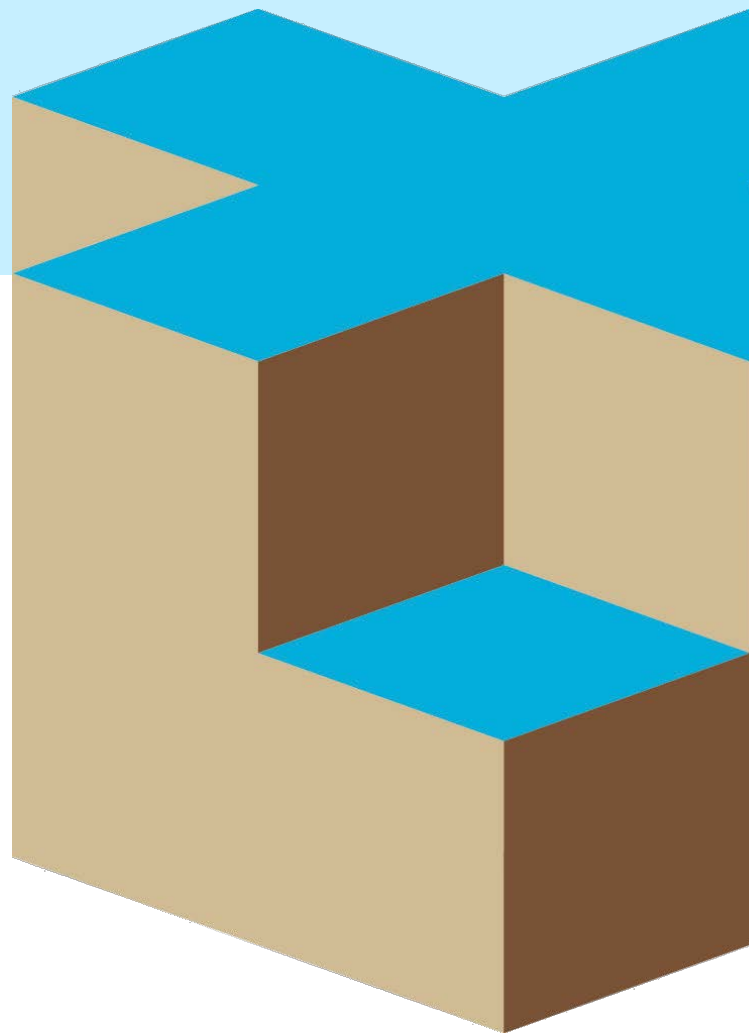
Voor de veervoëfficiënten wordt verwezen naar bijlage H. Opgemerkt wordt dat de gepresenteerde veerstijfheden zijn berekend voor een vrijstaande paal waarbij het hiervoor genoemde groepseffect niet is meegenomen.

5.4.5 Richtlijnen uitvoering en kwaliteitszorg avegaarpalen

Onder bijlage J zijn met betrekking tot de toepassing van een fundering op avegaarpalen algemene richtlijnen gegeven. Onder meer wordt ingegaan op het belang van de controle van uitgangspunten en aannamen en op aspecten die van toepassing zijn op het werkterrein, de uitvoering en controle van de paalkwaliteit. Geadviseerd wordt hiervan kennis te nemen.

Bij toepassing van avegaarpalen vindt normaliter vijf dagen na het aanbrengen van de palen een kwaliteitscontrole plaats die onder meer inhoudt dat de palen akoestisch worden doorgemeten. Deze controle kan desgewenst door ons bureau worden verzorgd.

BIJLAGE A





▼02P017638 ▼22ZP1153



Opdrachtschrijving / locatie:
**Boortoren en mijnwaterkelder
aan de Ganzeweide te Heerlen**

Bewerkt: **CSS**
Datum: **5 oktober 2022**

Omschrijving tekening:
Situatietekening

Schaal: **1:500**
Formaat: **A3**

Opdrachtnummer: **22ZP1153**
Bijlage: **SIT-01**



Project
Opdracht
Betreft

Boortoren en mijnwaterkelder aan de Ganzenweide te Heerlen
22ZP1153
Foto's



F001



F002



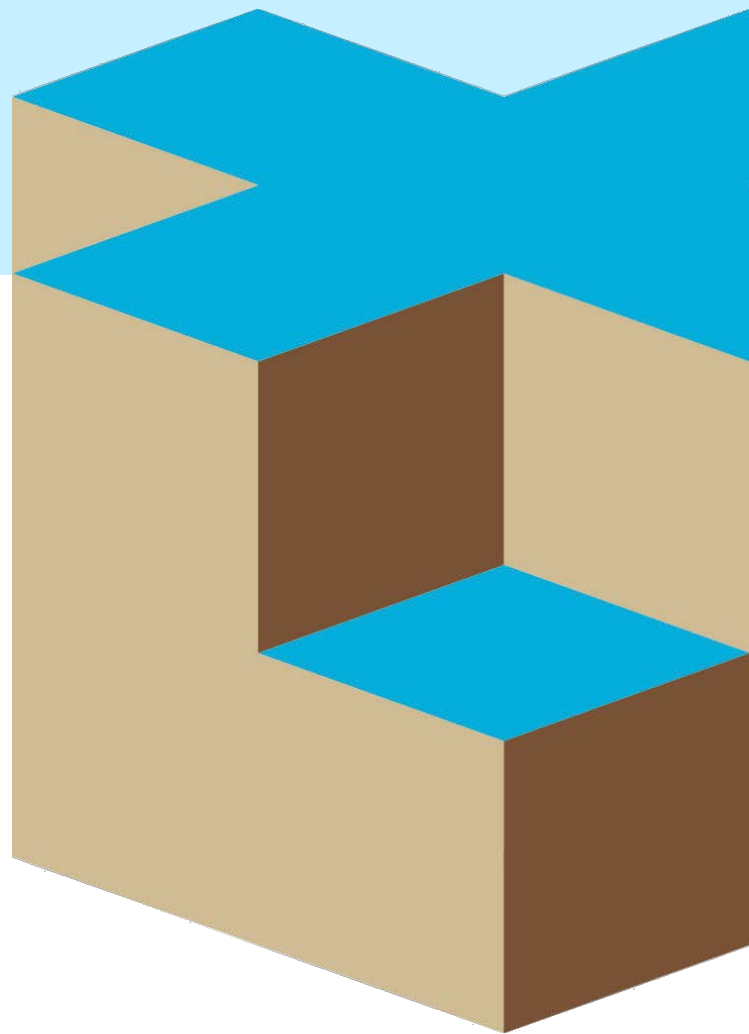
F003



F004

Genomen op: 2 september 2022

BIJLAGE B





OVERZICHT MEETPUNTEN

Meetmethode	Uitgezet en gewaterpast middels dGPS
Datum meting	30 juni 2021
Horizontaal coördinatensysteem (X,Y)	Rijksdriehoeksmeting (RD)
Verticale referentie (Z)	Normaal Amsterdams Peil (NAP)

Meetpunt	X-coördinaat [m]	Y-coördinaat [m]	Hoogte (Z) [m t.o.v. NAP]
DKM001	194416,52	325384,77	76,71
DKM002	194423,86	325392,25	76,80
DKM003 (niet uitgevoerd)	---	---	---
DKM004	194422,40	325372,22	76,63
HB001	194422,10	325372,74	76,64
HB002	194421,70	325371,59	76,61
HB003	194426,95	325390,88	76,77
Grondwaterstand DKM001 (30-06-2021)	---	---	dieper dan 75,01
Dorpel001	---	---	77,90
Kolk001	194395,70	325496,06	77,12
MP001	194389,96	325465,91	77,44
Put001	194475,48	325542,99	77,66

Let op:

Deze waterpasstaat dient om inzicht te geven in de hoogteligging en locaties van de meet- en onderzoeks-punten ten opzichte van een referentiepunt. Grondwaterstanden zijn ter indicatie en kunnen beïnvloed zijn door de uitgevoerde werkzaamheden. De resultaten dienen niet voor andere doeleinden te worden gebruikt.



Project Boortoren en mijnwaterkelder aan de Ganzenweide te Heerlen
Opdracht 22ZP1153
Betreft Meetpunten

OVERZICHT MEETPUNTEN

Horizontaal coördinatensysteem (X,Y)
Verticale referentie (Z)

Rijksdriehoeksmeting (RD)
Normaal Amsterdams Peil

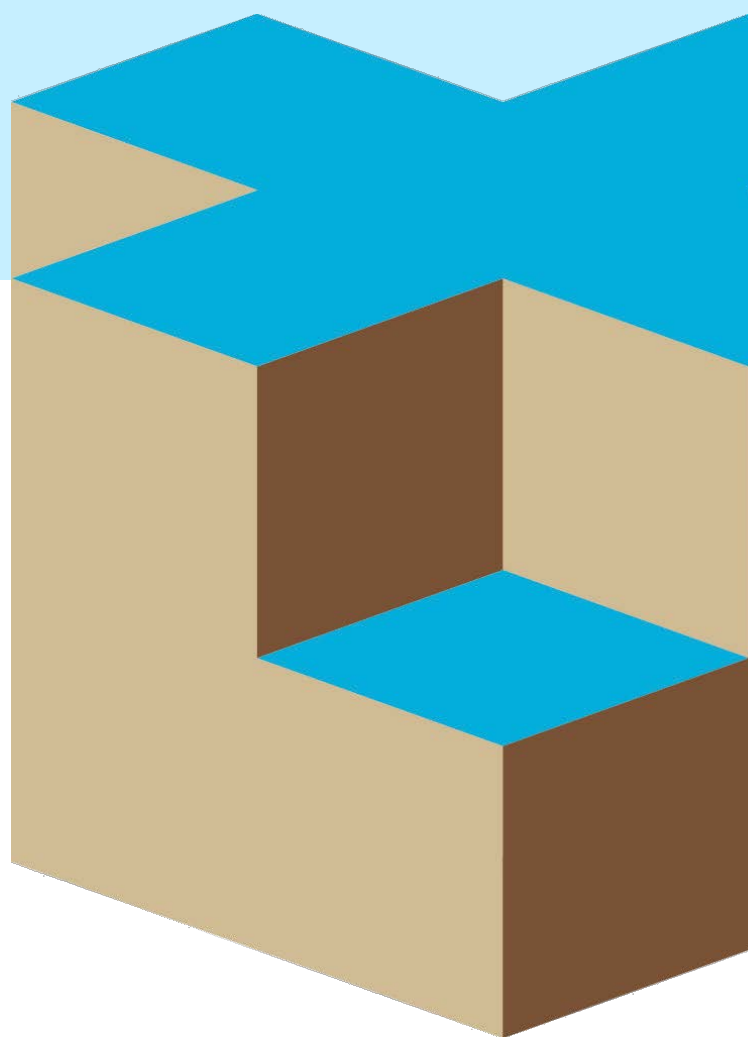
Meetpunt	X-coördinaat [m]	Y-coördinaat [m]	Hoogte (Z) [m t.o.v. NAP]	GWS * [m t.o.v. NAP]	Datum uitvoering
DKM003	194425,73	325377,31	76,56	74,56	02-09-2022
B001	194424,44	325376,15	76,49	75,39	20-09-2022

* Grondwaterstand ten tijde van het onderzoek

Let op:

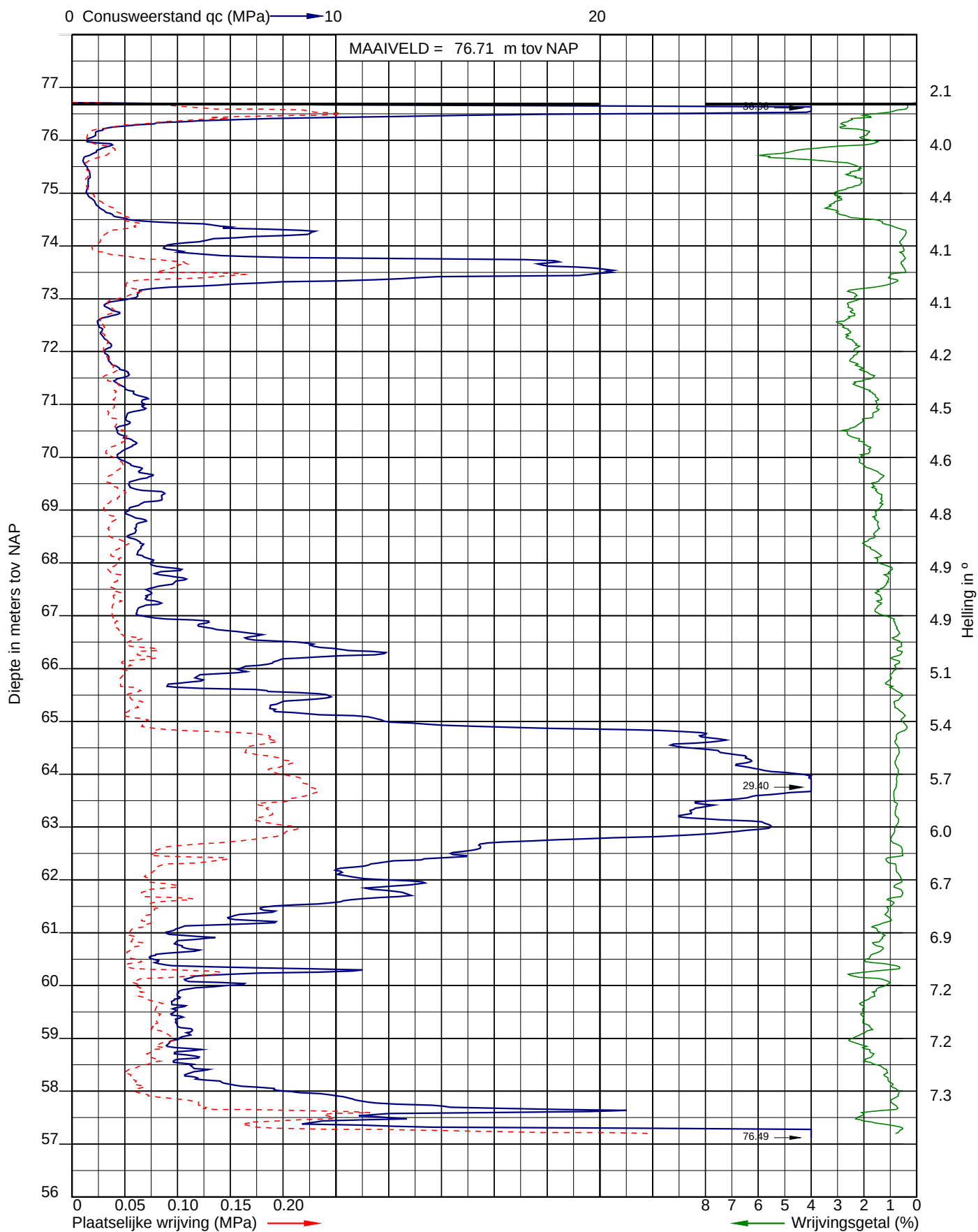
Deze waterpasstaat dient om inzicht te geven in de hoogteligging en locaties van de meet- en onderzoeks-punten ten opzichte van een referentiepunt. Grondwaterstanden zijn ter indicatie en kunnen beïnvloed zijn door de uitgevoerde werkzaamheden. De resultaten dienen niet voor andere doeleinden te worden gebruikt.

BIJLAGE C





Project: Mijnwatercentrale en boorlocatie aan de Ganzeweide te Heerlen
 Opdracht: 02P017638
 Betreft: Sondeergrafiek



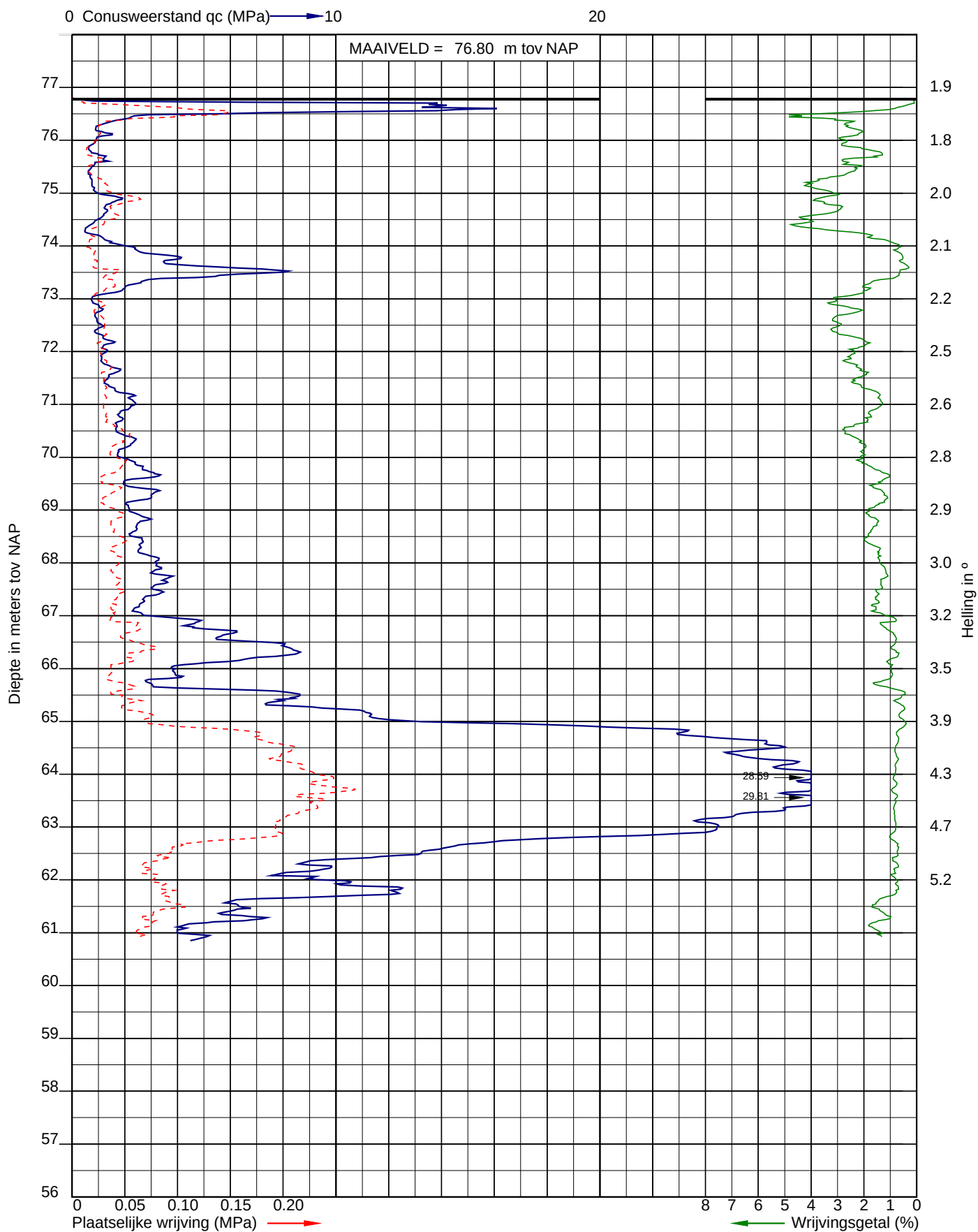
Uitvoeringsdatum: 30-6-2021
 Norm: NEN-EN-ISO 22476-1, toepassingsklasse: 3
 Conusnummer: 060235

X: 194416,518
 Y: 325384,771

DKM001



Project: Mijnwatercentrale en boorlocatie aan de Ganzeweide te Heerlen
 Opdracht: 02P017638
 Betreft: Sondeergrafiek



Uitvoeringsdatum: 30-6-2021

Norm: NEN-EN-ISO 22476-1, toepassingsklasse: 3

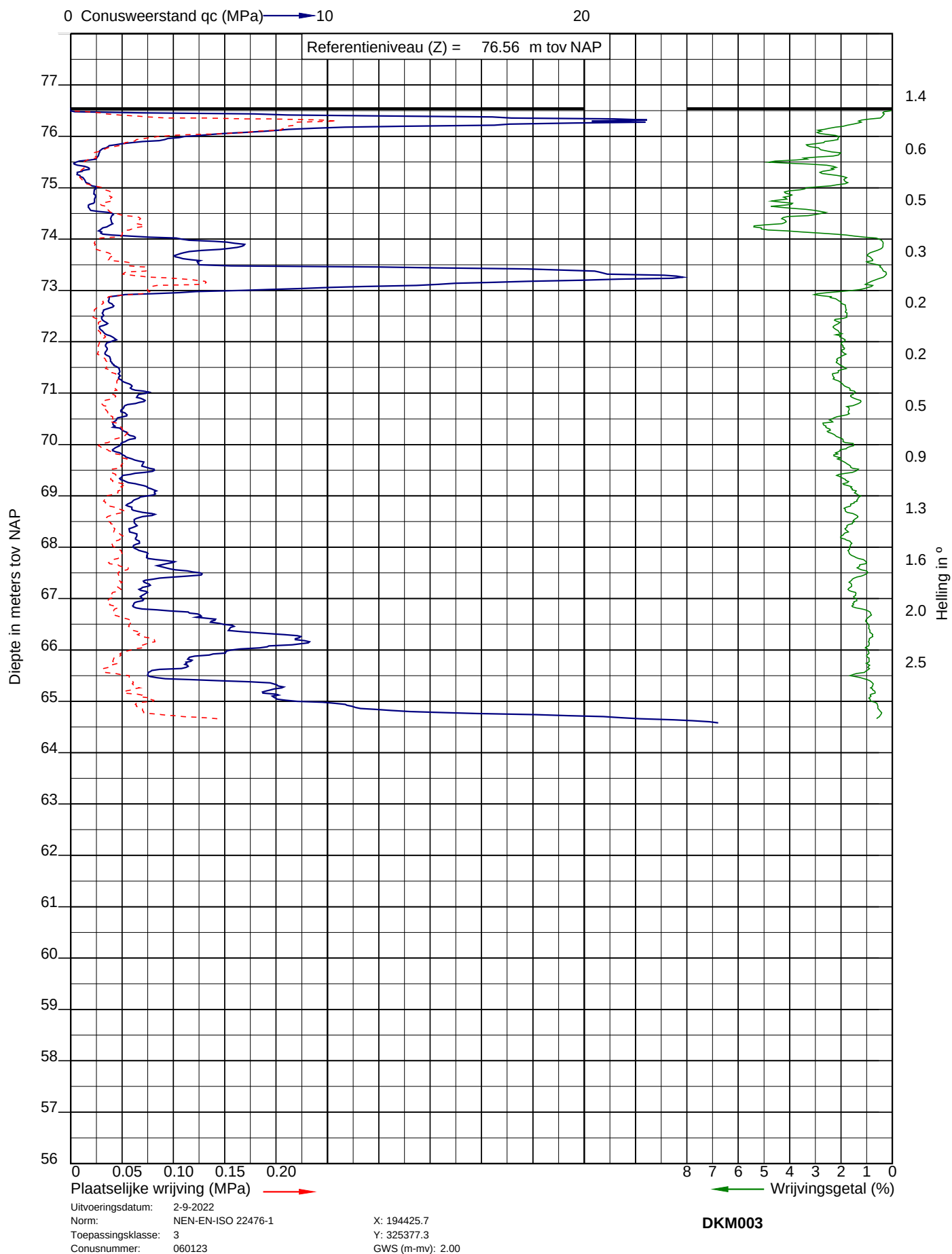
Conusnummer: 060235

X: 194423,855

Y: 325392,252

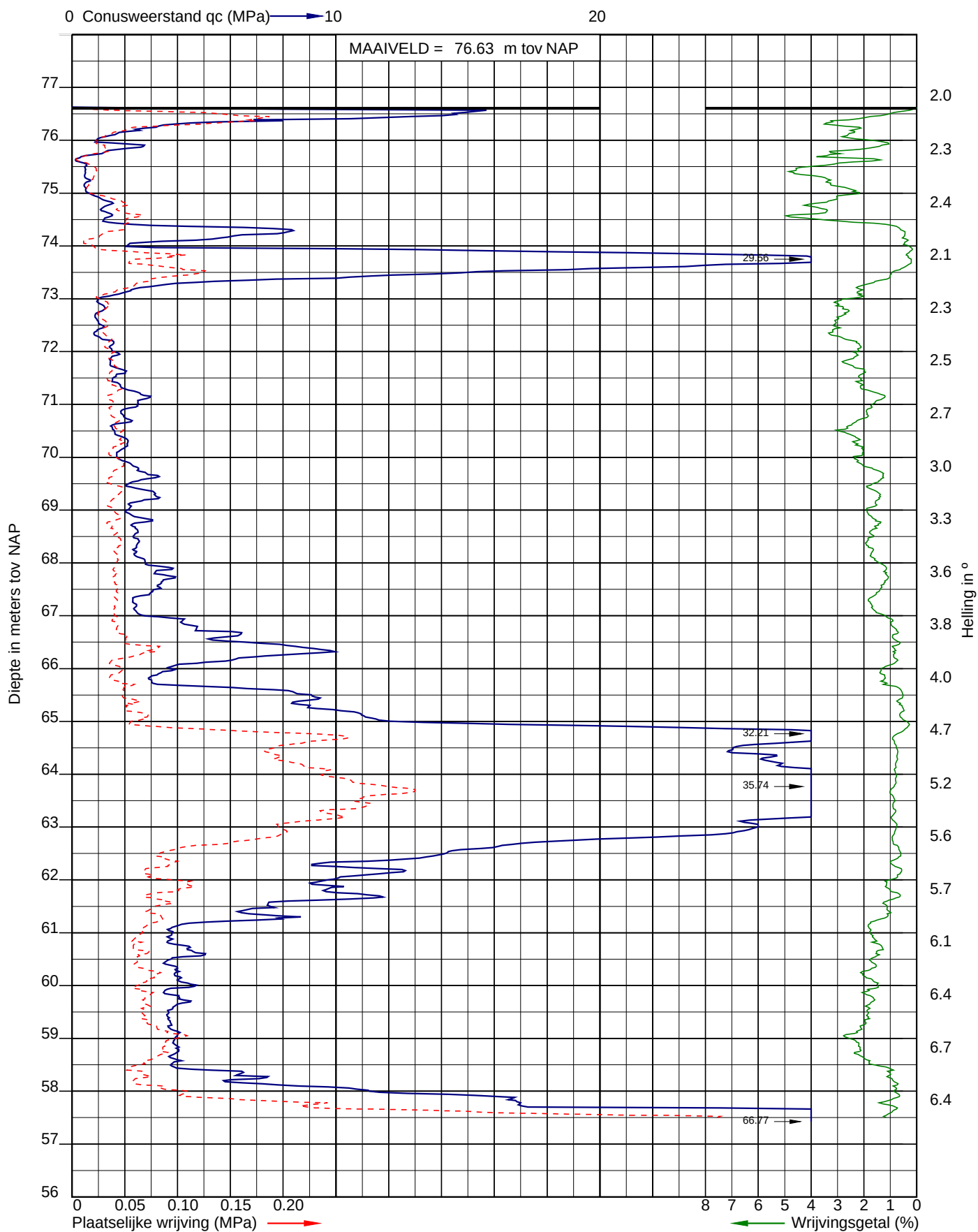


Project: Boortoren en mijnwaterkelder aan de Ganzenweide te Heerlen
 Opdracht: 22ZP1153
 Betreft: Sondeergrafiek





Project: Mijnwatercentrale en boorlocatie aan de Ganzeweide te Heerlen
 Opdracht: 02P017638
 Betreft: Sondeergrafiek

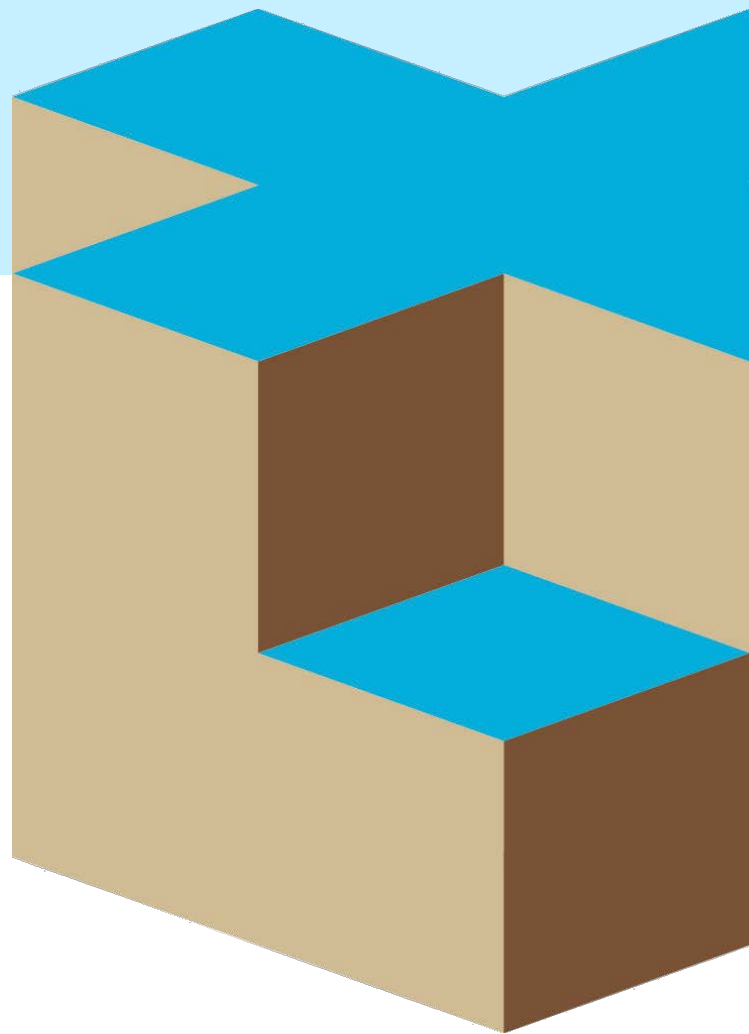


Uitvoeringsdatum: 30-6-2021
 Norm: NEN-EN-ISO 22476-1, toepassingsklasse: 3
 Conusnummer: 060235

X: 194422,397
 Y: 325372,223

DKM004

BIJLAGE D





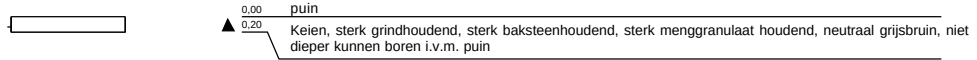
Project: Mijnwatercentrale en boorlocatie aan de Ganzeweide te Heerlen
Opdracht: 02P017638
Betreft: Boorprofiel

Boring:
Uitvoering op: 30-6-2021
Uitvoering door: Geo Veld-S23

Boornorm: NEN-EN-ISO 22475-1

Identificatie conform NEN-EN-ISO 14688-1

x-coördinaat [m RD]: 194422,10
y-coördinaat [m RD]: 325372,73
Referentiehoogte [m]: 76,64 . N.A.P.

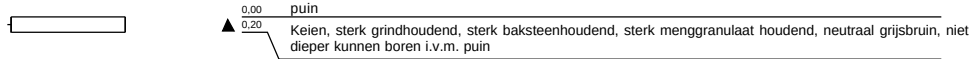


Boring:
Uitvoering op: 30-6-2021
Uitvoering door: Geo Veld-S23

Boornorm: NEN-EN-ISO 22475-1

Identificatie conform NEN-EN-ISO 14688-1

x-coördinaat [m RD]: 194421,71
y-coördinaat [m RD]: 325371,58
Referentiehoogte [m]: 76,61 . N.A.P.

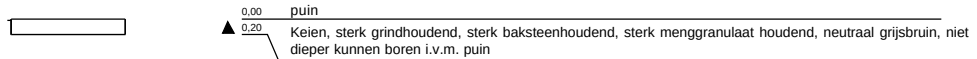


Boring:
Uitvoering op: 30-6-2021
Uitvoering door: Geo Veld-S23

Boornorm: NEN-EN-ISO 22475-1

Identificatie conform NEN-EN-ISO 14688-1

x-coördinaat [m RD]: 194426,95
y-coördinaat [m RD]: 325390,88
Referentiehoogte [m]: 76,77 . N.A.P.



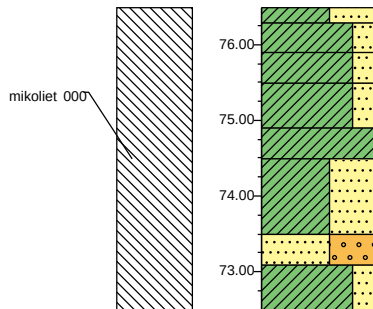


Project: Boortoren en mijnwaterkelder aan de Ganzeweide te heerlen
Opdracht: 22ZP1153
Betreft: Boorprofiel

Boring: B001
Uitvoering op: 20-9-2022
Uitvoering door: BBK

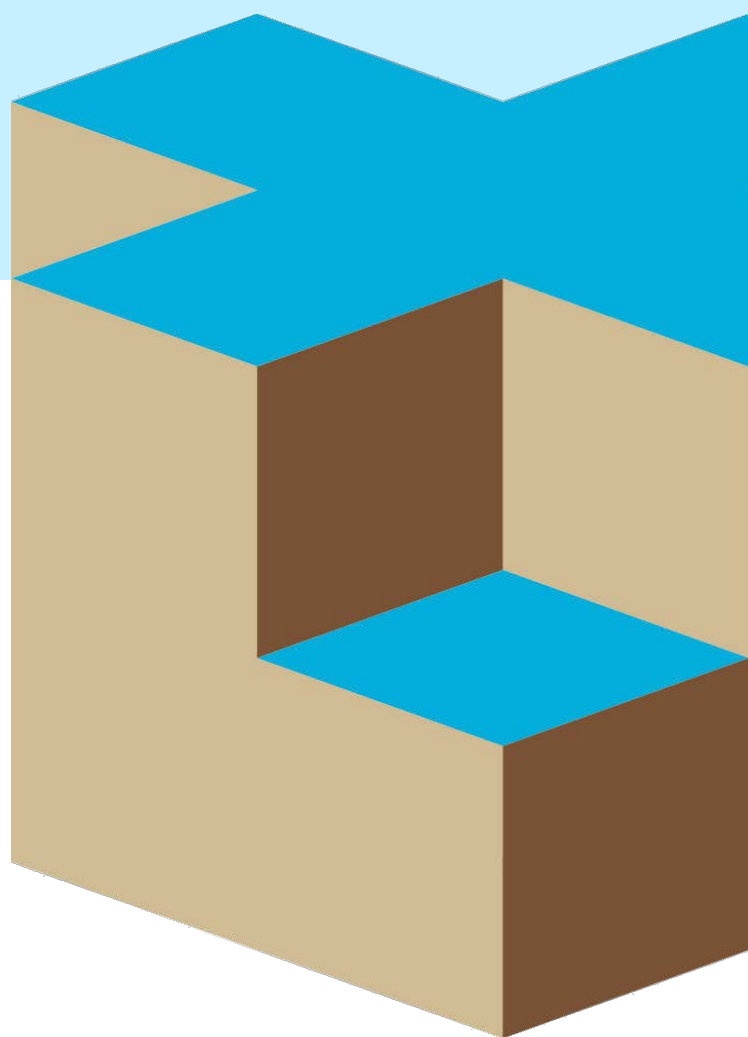
Boornorm: NEN-EN-ISO 22475-1
Grondwaterstand [cm-mv]: 110

Identificatie conform NEN-EN-ISO 14688-1
x-coördinaat [m RD]: 194424.44
y-coördinaat [m RD]: 325376.15
Referentiehoogte [m]: 76.49 . N.A.P.



0.00	gras
0.20	Klei, slap, sterk zandig, met grind, weinig plastisch, weinig schelpen, donkerbruin, QM5
0.60	Klei, stevig, zwak zandig, met grind, sterk plastisch, donkergrijs, QM5
1.00	Klei, stevig, zwak zandig, met grind, sterk plastisch, resten puin, donker bruingrijs, QM5
1.60	Klei, stevig, zwak zandig, sterk plastisch, standaardbruin, QM5
2.00	Klei, stevig, sterk plastisch, standaard bruingrijs, QM5
	Klei, stevig, sterk zandig, matig plastisch, standaardgrijs, QM5
3.00	
3.40	Zand, middelgrof 200-300, sterk grindig, subrond, bolvormig, standaardgroen, QM5
4.00	Klei, stevig, zwak zandig, sterk plastisch, donkergrijs, QM5

BIJLAGE E





LEGENDA TEKENINGEN EN VERKLARING AFKORTINGEN

SONDERING

▼	D	Sondering zonder kleefmeting
	DKM	Sondering met kleefmeting
	DKMP	Sondering met kleef- en waterspanningsmeting
	DM	Mechanische sondering
	DKMS	Seismische sondering met kleefmeting
	DKMPS	Seismische sondering met kleef- en waterspanningsmeting
	Dma	Magnetometer sondering
	Ma	Magnetometer (zonder conusweerstand)
	DB	Bolsondering
	DT	T-bar sondering
	FVT	Field vane test
	HPT	Hydraulic profiling tool
	DS	Slagsondering
	HM	Handsondering
	SPT	Standaard penetratie test
	DKM-EC	Geleidbaarheidssondering met kleefmeting
	DKMP-EC	Geleidbaarheidssondering met kleef- en waterspanningsmeting

▽ Niet uitgevoerd ▼ fase 2 ▼ fase 3 ▼ fase 4

BORING

●	HB	Handboring
	B	Mechanische boring

○ Niet uitgevoerd

PEILBUIS

●	Bpb	Mechanische boring met peilbuis
	HBpb	Handboring met peilbuis
	PB	Gedrukte peilbuis

MONITORING

⊕	WSM	Waterspanningsmeter
▭	IMB	Inclinometerbuis
	IMS	Inclinometer SAAF
⊞	ZB	Zakbaak
⚙	DFB	Deformatiebout
⚙	SCM	Scheurmeter
⚙	EXM	Extensometer
⚙	TM	Tiltmeter
⚙	TRM	Trillingmeter
⊗	PDPs	Plaatdrukproef (statisch)
	PDPd	Plaatdrukproef (dynamisch)
⊗	PP	Pompput
⊗	PRP	Proefgat
⊗	PRS	Proefsleuf

ALGEMEEN

⚙	Meetpunt: brug, dorpel, kolk, meetbout, put, weg, water
→	Foto
▨	Bestaande bebouwing
↔	0-Punt lokaal assenstelsel



LEGENDA BOORPROFIELEN (conform NEN-EN-ISO 14688-1)

KEIEN / KEITJES

	KEIEN
	KEIEN, met grind
	KEIEN, met zand
	KEIEN, met klei
	KEIEN, met silt

GRIND

	GRIND
	GRIND met keitjes
	GRIND, zwak zandig
	GRIND, sterk zandig
	GRIND, kleilig
	GRIND, siltig

ZAND

	ZAND
	ZAND, met keitjes
	ZAND, zwak grindig
	ZAND, sterk grindig
	ZAND, kleilig
	ZAND, siltig

SILT

	SILT
	SILT, met keitjes
	SILT, zwak grindig
	SILT, sterk grindig
	SILT, zwak zandig
	SILT, sterk zandig

KLEI

	KLEI
	KLEI, met keitjes
	KLEI, zwak grindig
	KLEI, sterk grindig
	KLEI, zwak zandig
	KLEI, sterk zandig

VEEN / HUMUS / DETRITUS

	VEEN
	VEEN, zwak zandig
	VEEN, sterk zandig
	VEEN, kleilig
	VEEN, siltig

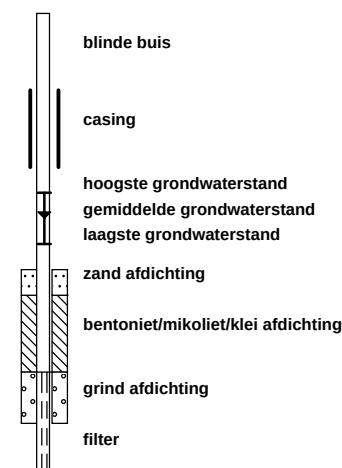
MONSTERS

	geroerd monster
	ongeroerd monster

KWALITEIT MONSTERNAME

QM1 = Ongeroid monster is geheel intact inclusief spanningstoestand
 QM2 = Ongeroid monster geheel intact
 QM3 = Ongeroid monster intact maar monsterverstoring zichtbaar
 QM4 = Monster is ernstig verstoord
 QM5 = Monster is geroerd

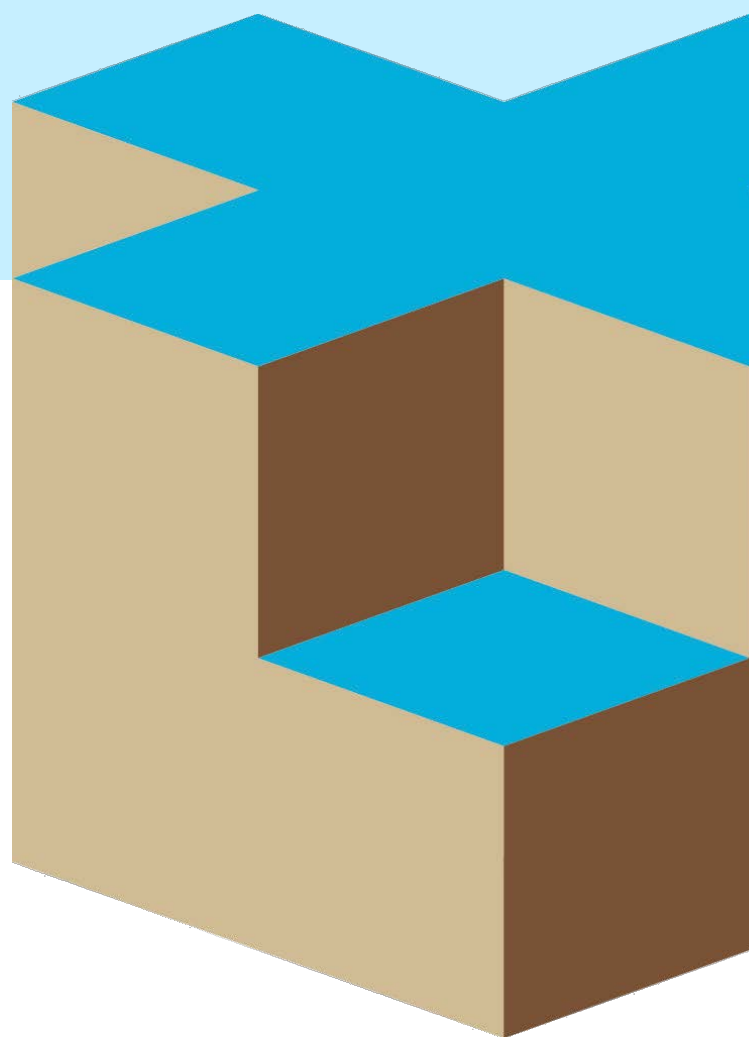
PEILBUIS



OVERIG

- ▲ bijzonder bestanddeel
- ◀ Gemiddeld hoogste grondwaterstand
- ≡ grondwaterstand
- ◆ Gemiddeld laagste grondwaterstand

BIJLAGE F





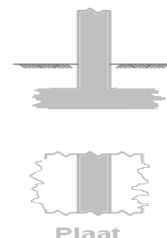
Uitgangspunten berekening fundering op staal

Belastingen

Verticaal, centrisch

Constructie fundering

Funderingstype : plaat
Funderingsafmetingen : zie reketabellen
aanlegniveau plaat : 76,40 m + NAP
Gronddekking : t = 0,40 m



Grondwaterstand (aanname)

Voor berekening draagkracht : 75,80 m + NAP
Voor berekening zetting : 74,50 m + NAP
Voor berekening doorponsen : 75,80 m + NAP

Bodemopbouw en grondparameters

Laag nr.	Grondsoort	Onderzijde laag [m tov NAP]	Laagdikte [m]	γ_k [kN/m ³]	$\gamma_{sat;k}$ [kN/m ³]	ϕ_k [°]	c'_k [kN/m ²]	$c_{u;k}$ [kN/m ²]	$C_{c;k}$ [-]
1	dekking	76,40	0,40	18,0	20,0	32,0	0,00	0,00	0,01
2	menggranulaat	76,15	0,25	19,0	21,5	35,0	0,00	0,00	0,00
3	grondverbetering	75,20	0,95	18,0	20,0	32,0	0,00	0,00	0,01
4	klei	74,90	0,30	10,0	14,0	17,5	1,00	25,00	0,95
5	klei	74,50	0,40	14,0	19,0	27,5	5,00	50,00	0,12
6	leem	74,10	0,40	17,0	19,0	28,0	0,00	0,00	0,07
7	zand	73,50	0,60	17,5	19,5	31,0	0,00	0,00	0,01
8	zand	73,00	0,50	18,5	21,0	34,0	0,00	0,00	0,01
9	leem	71,50	1,50	16,0	18,0	27,0	0,00	0,00	0,10
10	leem	--	--	19,0	21,0	30,0	0,00	0,00	0,04

In de bodem komen cohesieve lagen voor. Bij belasting kunnen in deze lagen tijdelijk wateroverspanningen ontstaan. In dat geval is sprake van een zogenaamde ongedraineerde situatie. Voor zover cohesieve lagen zich bevinden binnen het invloedsgebied van de fundering, is de draagkracht berekend voor zowel de gedraineerde als de ongedraineerde situatie.

Partiële factoren voor grondparameters

γ_{ϕ} = 1,15
 γ_{γ} = 1,10
 γ_c = 1,60



Uitgangspunten berekening fundering op staal

Berekening draagkracht

De draagkracht van de ondergrond wordt berekend op basis van evenwichtsvergelijkingen.

De van toepassing zijnde evenwichtsvergelijking, is afhankelijk van de bodemopbouw, de bodemeigenschappen en het al dan niet aanwezig zijn van wateroverspanningen binnen de invloedsdiepte van de fundering.

Onder de gegeven uitgangspunten geldt dat de volgende evenwichtsvergelijkingen van toepassing zijn.

- 1) Gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau (i)
- 2) Gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau (i) (4 doorponsniveaus)
- 3) Ongedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau (g) (2 doorponsniveaus)

Hierna volgt een tabel met de maatgevende draagvermogens. Tevens zijn de draagvermogens per evenwichtsvergelijking toegevoegd.

Niveau grondverbetering per sondering

zie ook paragraaf "Grondverbetering"

Sondering [nr.]	Maaiveld [m tov NAP]	Ontgravingsniveau* [m tov NAP]
DKM-003	76,56	75,20
02P017638		
DKM-001	76,71	75,20
DKM-002	76,80	75,20
DKM-004	76,63	75,20

* Ontgravingsniveau tbv grondverbetering



Resultaten berekening fundering op staal

Maatgevende draagkracht poeren

De draagkracht van de ondergrond wordt berekend op basis van evenwichtsvergelijkingen.

De van toepassing zijnde evenwichtsvergelijking, is afhankelijk van de bodemopbouw, de bodemeigenschappen en het al dan niet aanwezig zijn van wateroverspanningen binnen de invloedsdiepte van de fundering.

In de tabel is voor de berekende situaties de maatgevende evenwichtsvergelijking en het maatgevend draagvermogen weergegeven.

Poerafmeting B * L [m * m]	Maatgevende evenwichtsvergelijking t = 0,4 m	Draagkracht op aanlegniveau R _d [kN] t = 0,4 m
1,00 * 1,00	1	218
2,00 * 3,00	3a	899
3,00 * 4,00	3a	1679
3,00 * 6,00	3a	2351
3,00 * 8,00	3a	3023 *

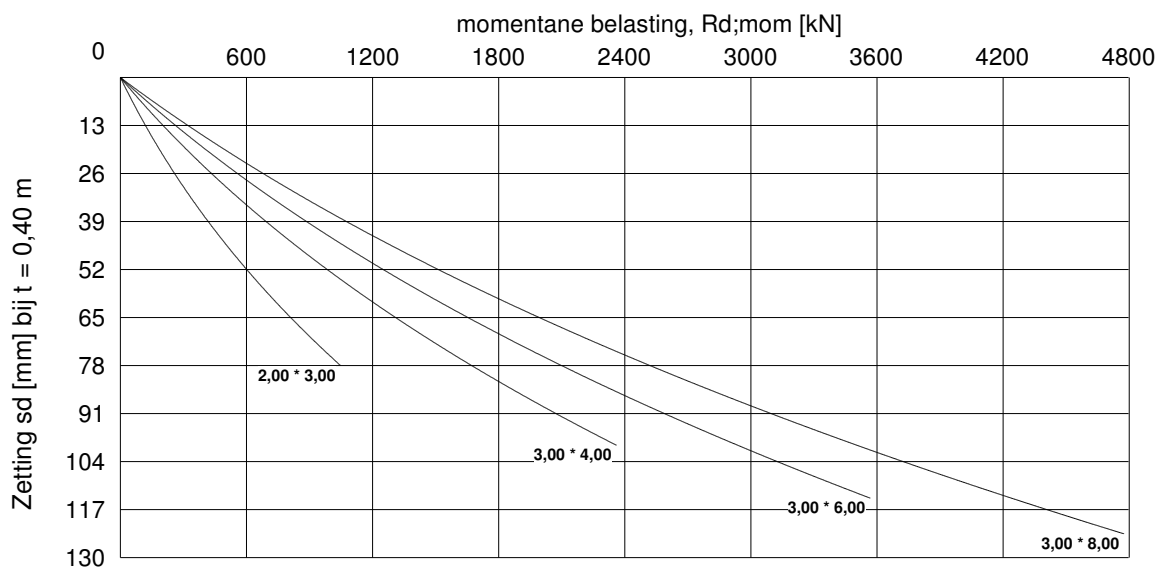
- 1) Gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau (i)
- 2) Gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau (i)
 - 2a) doorponsniveau van 75,20 m + NAP
 - 2b) doorponsniveau van 74,90 m + NAP
 - 2c) doorponsniveau van 74,50 m + NAP
 - 2d) doorponsniveau van 73,00 m + NAP
- 3) Ongedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau (g)
 - 3a) doorponsniveau van 75,20 m + NAP
 - 3b) doorponsniveau van 74,90 m + NAP

Voor de volledige draagkrachtberekening per evenwichtsvergelijking wordt verwezen naar de desbetreffende rekenbladen hierna.

* voor deze situatie is een voorbeeldberekening toegevoegd.



Resultaten berekening fundering op staal

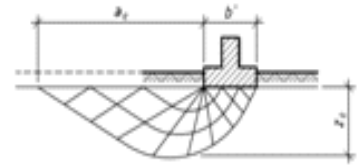
Zetting poeren**Beddingscoëfficiënt poeren**

Poerafmeting B * L [m * m]	Beddingscoëfficiënt bij t = 0,4 m [kN/m ³]	
	k _{v;rep;stat}	k _{v;d;stat}
1,00 * 1,00	3500	3000
2,00 * 3,00	1500	1300
3,00 * 4,00	1500	1100
3,00 * 6,00	1300	1000
3,00 * 8,00	1200	900

**Resultaten berekening fundering op staal****Draagkracht volgens gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau**

Hierna volgen de resultaten van de draagkracht volgens de gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau.

Aangenomen dat er geen sprake is van bodemlagen met wateroverspanningen, is de draagkracht berekend op basis van de gedraineerde evenwichtsvergelijking (i).



Poerafmeting B * L [m * m]	Maximale funderingsdruk aanlegniveau $\sigma'_{\max;d}$ [kN/m ²] t = 0,4 m	Draagkracht op aanlegniveau R_d [kN] t = 0,4 m
1,00 * 1,00	218	218
2,00 * 3,00	219	1312
3,00 * 4,00	246	2953
3,00 * 6,00	248	4464
3,00 * 8,00	249	5974 *

* voor deze situatie is een voorbeeldberekening toegevoegd.

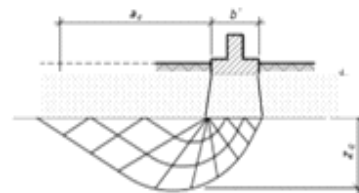
**Resultaten berekening fundering op staal****Draagkracht volgens ongedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau**

Direct beneden het aanlegniveau komen niet cohesieve bodemlagen voor die binnen de invloedsdiepte van de fundering worden gevolgd door cohesieve lagen.

Bij belasting kunnen in de cohesieve lagen tijdelijk wateroverspanningen ontstaan. In dat geval is sprake van een zogenaamde ongedraineerde situatie. Voor deze situatie is de draagkracht berekend op basis van de ongedraineerde evenwichtsvergelijking.

De evenwichtsvergelijking is toegepast op het niveau van de overgang van de niet cohesieve naar de cohesieve laag (g). Het bijbehorende bezwijkmechanisme heet in dit geval "doorponzen". Het niveau waarvoor de evenwichtsvergelijking is opgesteld het "doorponsniveau".

De navolgende resultaten zijn berekend voor een doorponsniveau van 75,20 m + NAP.



Poerafmeting B * L [m * m]	Doorponsoppervlak b' * l' [m * m]	A' [m ²]	Grond op doorponsniveau d [m]	V _{pons} [m ³]	G _{pons} [kN]	maximale funderingsdruk $\sigma'_{\max;d}$ [kN/m ²] t = 0,4 m
1,00 * 1,00	1,34 * 1,34	1,79	1,20	1,6	22,4	220
2,00 * 3,00	2,34 * 3,34	7,80	1,20	8,2	115,0	150
3,00 * 4,00	3,34 * 4,34	14,47	1,20	15,9	222,1	140
3,00 * 6,00	3,34 * 6,34	21,15	1,20	23,5	329,3	131
3,00 * 8,00	3,34 * 8,34	27,82	1,20	31,1	436,5	126

Poerafmeting B * L [m * m]	Draagkracht op doorponsniveau R _{pons;d} [kN] t = 0,4 m	G _{pons} [kN]	Draagkracht op aanlegniveau R _d [kN] t = 0,4 m
1,00 * 1,00	243	22,4	220
2,00 * 3,00	1014	115,0	899
3,00 * 4,00	1902	222,1	1679
3,00 * 6,00	2681	329,3	2351
3,00 * 8,00	3460	436,5	3023 *

* voor deze situatie is een voorbeeldberekening toegevoegd.

**Voorbeeldberekening - poer****Uitgangspunten berekeningen poer**

breedte	B	=	3,00 m
lengte	L	=	8,00 m
dikte	d	=	0,30 m
gronddekking	t	=	0,40 m

Beschrijving berekeningen

In de bodem komen cohesieve lagen voor. Bij belasting kunnen in deze lagen tijdelijk wateroverspanningen ontstaan. In dat geval is sprake van een zogenaamde ongedraineerde situatie. Voor zover cohesieve lagen zich bevinden binnen het invloedsgebied van de fundering, is de draagkracht berekend voor zowel de gedraineerde als de ongedraineerde situatie.

In het voorbeeld worden de navolgende berekeningen uitgevoerd:

- gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau
- gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau 75,20 m + NAP
- gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau 74,90 m + NAP
- gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau 74,50 m + NAP
- gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau 73,00 m + NAP
- ongedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau 75,20 m + NAP
- ongedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau 74,90 m + NAP

$$R_d = \sigma'_{\max;d} \cdot A'$$

$$R_d = \sigma'_{\max;d} \cdot A'_{\text{pons}} - G_{\text{pons;d}} \text{ (in het geval van doorponsen is } G_{\text{pons;d}} \text{ het grondgewicht onder de fundering)}$$

R_d : rekenwaarde weerstand tegen de belasting loodrecht op het funderingsoppervlak in kN

$\sigma'_{\max;d}$: rekenwaarde funderingsdruk op effectief funderingsoppervlak in kN/m²

A' : effectief funderingsoppervlak in m²

voor de gedraineerde toestand

$$\sigma'_{\max;d} = c'_{\text{gem;d}} N_c s_c i_c b_c \lambda_c + \sigma'_{v;z;d} N_q s_q i_q b_q \lambda_q + 0,5 \gamma'_{\text{gem;d}} b' N_\gamma s_\gamma i_\gamma b_\gamma \lambda_\gamma$$

bijdrage cohesie bijdrage gronddekking bijdrage gewicht bodem waarop wordt aangelegd

voor de ongedraineerde toestand

$$\sigma'_{\max;d} = (\pi + 2) \cdot c_{u;d} s_c i_c \lambda_c + \sigma'_{v;z;d} \lambda_q$$

bijdrage cohesie bijdrage gronddekking

$$A' = b' \cdot l'$$

Gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau**Tussenresultaten**

effectieve breedte	b'	=	3,00 m
effectieve lengte	l'	=	8,00 m
effectieve funderingsoppervlak	A'	=	24,00 m ²

effectieve hoek van inwendige wrijving	ϕ'_k	=	29,8 °
invloedsdiepte conform tabel 6.a	z_e	=	4,7 m
gewogen effectieve cohesie	$c'_{\text{gem;d}}$	=	0,4 kPa
verticale korrelspanning aanlegniveau	$\sigma'_{v;z;0;d}$	=	6,5 kN/m ² (bij t = 0,40 m)
gewogen effectief volumiek gewicht	$\gamma'_{\text{gem;d}}$	=	9,4 kN/m ³
rekenwaarde effectieve wrijvingshoek	$\phi'_{\text{gem;d}}$	=	26,5 °

draagkrachtfactoren	$N_c = 23,0$	$N_q = 12,5$	$N_\gamma = 11,4$
vormfactoren	$s_c = 1,2$	$s_q = 1,2$	$s_\gamma = 0,9$
factor helling aanlegniveau	$b_c = 1,0$	$b_q = 1,0$	$b_\gamma = 1,0$
factor helling maaiveld	$\lambda_c = 1,0$	$\lambda_q = 1,0$	$\lambda_\gamma = 1,0$

**Voorbeeldberekening - poer****Resultaten (gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau)**

funderingsdruk	$\sigma'_{\max;d}$	= 11 + 95 + 143 = 249 kN/m ²
rekenwaarde maximale draagkracht	R_d	= 5974 kN

Gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau 75,20 m + NAP

De maximale draagkracht bij doorponsen wordt bepaald voor het maatgevende doorponsniveau van 75,20 m + NAP

Tussenresultaten

effectieve breedte	b'	= 3,34 m		
effectieve lengte	l'	= 8,34 m		
effectieve funderingsoppervlak	A'	= 27,82 m ²		
effectieve hoek van inwendige wrijving	ϕ'_k	= 27,9 °		
invloedsdiepte conform tabel 6.a	z_e	= 5,0 m		
gewogen effectieve cohesie	$c'_{\text{gem};d}$	= 0,5 kPa		
diepte zand tot doorponsniveau	d_{zand}	= 1,20 m		
verticale korrelspanning doorponsniveau	$\sigma'_{v;z;0;d}$	= 21,5 kN/m ² (bij $t = 0,40 \text{ m} + d_{\text{zand}} = 1,20 \text{ m}$)		
gewogen effectief volumiek gewicht	$\gamma'_{\text{gem};d}$	= 6,9 kN/m ³		
rekenwaarde effectieve wrijvingshoek	$\phi'_{\text{gem};d}$	= 24,7 °		
draagkrachtfactoren	$N_c = 20,3$	$N_q = 10,3$	$N_\gamma = 8,6$	
vormfactoren	$s_c = 1,2$	$s_q = 1,2$	$s_\gamma = 0,9$	
factor helling aanlegniveau	$b_c = 1,0$	$b_q = 1,0$	$b_\gamma = 1,0$	
factor helling maaiveld	$\lambda_c = 1,0$	$\lambda_q = 1,0$	$\lambda_\gamma = 1,0$	

Resultaten (gedraineerde evenwichtsvergelijking)

funderingsdruk	$\sigma'_{\max;d}$	= 13 + 259 + 87 = 359 kN/m ²
draagkracht op doorponsniveau	$R_{\text{pons};d}$	= 11078 kN
gewicht grond boven doorponsniveau	$G_{\text{pons};d}$	= 436 kN
draagkracht op aanlegniveau	R_d	= 9556 kN

Ongedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau 75,20 m + NAP

De maximale draagkracht bij doorponsen wordt bepaald voor het maatgevende doorponsniveau van 75,20 m + NAP

Tussenresultaten

effectieve breedte	b'	= 3,34 m		
effectieve lengte	l'	= 8,34 m		
effectieve funderingsoppervlak	A'	= 27,82 m ²		
effectieve hoek van inwendige wrijving	ϕ'_k	= 0,0 °		
invloedsdiepte conform tabel 6.a	z_e	= 2,3 m		
ongedraineerde schuifsterkte	$c_{u;d}$	= 18,5 kPa		
diepte zand tot doorponsniveau	d_{zand}	= 1,20 m		
verticale korrelspanning doorponsniveau	$\sigma'_{v;z;0;d}$	= 21,5 kN/m ² (bij $t = 0,40 \text{ m} + d_{\text{zand}} = 1,20 \text{ m}$)		
vormfactoren	$s_c = 1,1$			
factor helling maaiveld	$\lambda_c = 1,0$	$\lambda_q = 1,0$		

Resultaten (ongedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau)

funderingsdruk	$\sigma'_{\max;d}$	= 103 + 22 = 124 kN/m ²
draagkracht op doorponsniveau	$R_{\text{pons};d}$	= 3505 kN
gewicht grond boven doorponsniveau	$G_{\text{pons};d}$	= 436 kN
draagkracht op aanlegniveau	R_d	= 3023 kN



Voorbeeldberekening - poer

Overzicht rekenresultaten

Gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau	R_d	= 5974 kN
Gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau	R_d	= 9556 kN
Ongedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau	R_d	= 3023 kN

Conclusie

Uit de berekeningsresultaten volgt dat ongedraineerd doorponzen op niveau van 75,20 m + NAP maatgevend is.



Toelichting

Toelichting bodemopbouw en grondparameters

subscript, k	: representatieve / karakteristieke waarde	
subscript, d	: rekenwaarde (design)	
volumiek gewicht bij natuurlijk vochtgehalte	: γ	[par. 2.4]
verzadigd volumiek gewicht	: γ_{sat}	[par. 2.4]
effectieve hoek van inwendige wrijving	: ϕ'	
cohesie	: c'	[par. 2.4]
ongedraineerde schuifsterkte	: c_u	
primaire samendrukkingsindex	: C_c	[par. 2.4]
secundaire samendrukkingsindex	: C_α	[par. 2.4]
poriëngetal	: e	[par. 2.4]
dikte laag, j	: d_j	[par. 2.4]

Partiële factoren voor grondparameters

voor de hoek van inwendige wrijving ($\tan \phi'$)	: γ_ϕ	[A.3.2, tabel A.4a]
voor volumiek gewicht	: γ_γ	[A.3.2, tabel A.4a]
voor de effectieve cohesie	: $\gamma_{c'}$	[A.3.2, tabel A.4a]

Toelichting berekening weerstand

rekenwaarde maximale draagkracht	: $R_d = \sigma'_{\text{max}} * A'$	[par. 6.5]
bij doorponsen	: $R_d = R_{\text{pons;d}} - G_{\text{pons;d}}$	[par. 6.5]
gewicht grond boven doorponsniveau	: $G_{\text{pons;d}}$	
maximale funderingsdruk gedraineerd	: $\sigma'_{\text{max}} = c'_{\text{gem}} N_c s_c i_c b_c \lambda_c + \sigma'_{v;z} N_q s_q i_q b_q \lambda_q + 0,5 \gamma'_{\text{gem}} b' N_\gamma s_\gamma i_\gamma b_\gamma \lambda_\gamma$	[par. 6.5]
maximale funderingsdruk ongedraineerd	: $\sigma'_{\text{max}} = (\pi + 2) * c_{u;d} s_c i_c \lambda_c + \sigma'_{v;z;d} \lambda_q$	[par. 6.5.2.2]
effectief funderingsoppervlak	: $A' = b' * l'$	
effectieve breedte	: b'	
effectieve lengte	: l'	
gewogen effectieve cohesie	: c'_{gem}	
verticale korrelspanning aanlegniveau	: $\sigma'_{v;z}$	
gewogen effectief volumiek gewicht	: γ'_{gem}	
draagkrachtfactoren	: $N_c; N_q; N_\gamma$	
vormfactoren	: $s_c; s_q; s_\gamma$	
factor helling belasting	: $i_c; i_q; i_\gamma$	
factor helling maaiveld	: $\lambda_c; \lambda_q; \lambda_\gamma$	
factor helling aanlegniveau	: $b_c; b_q; b_\gamma$	

Toelichting berekening zetting

totale zetting	: $s = s_1 + s_2$	[par. 6.6.2]
primaire zetting	: $s_1 = \sum C_c / (1+e) * d_j * \log((\sigma'_{v;z;0} + \Delta \sigma'_{v;z}) / \sigma'_{v;z;0})$	[par. 6.6.2]
secundaire zetting	: $s_2 = \sum C_\alpha * d_j * \log(t_\infty / t_1)$	[par. 6.6.2]

Bron

Eurocode 7-1 (NEN 9997 - 1 + C2 : 2017)



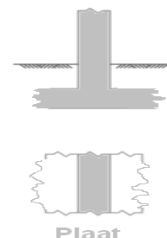
Uitgangspunten berekening fundering op staal

Belastingen

Verticaal, centrisch

Constructie fundering

Funderingstype : plaat
Funderingsafmetingen : zie rekentabellen
aanlegniveau plaat : 75,00 m + NAP
Gronddekking : $t = 0,40$ m



Grondwaterstand (aanname)

Voor berekening draagkracht : 75,80 m + NAP
Voor berekening zetting : 74,50 m + NAP
Voor berekening doorponsen : 75,50 m + NAP

Bodemopbouw en grondparameters

Laag nr.	Grondsoort	Onderzijde laag [m tov NAP]	Laagdikte [m]	γ_k [kN/m ³]	$\gamma_{sat;k}$ [kN/m ³]	ϕ_k [°]	c'_k [kN/m ²]	$c_{u;k}$ [kN/m ²]	$C_{c;k}$ [-]
1	dekking	75,00	1,80	18,0	20,0	32,0	0,00	0,00	0,01
2	menggranulaat	74,80	0,20	19,0	21,5	35,0	0,00	0,00	0,00
3	zand	74,00	0,80	18,0	20,0	32,0	0,00	0,00	0,01
4	zand	73,50	0,50	17,5	19,5	31,0	0,00	0,00	0,01
5	zand	73,30	0,20	18,5	20,5	33,0	0,00	0,00	0,01
6	zand	73,10	0,20	15,0	17,0	28,0	0,00	0,00	0,10
7	Klei, zandig	72,30	0,80	15,0	17,0	26,0	0,00	0,00	0,14
8	Klei, sterk zandig	71,30	1,00	19,0	21,0	30,0	0,00	0,00	0,04
9	zand	--	--	15,0	17,0	28,0	0,00	0,00	0,10

Voor de berekening van de draagkracht is aangenomen dat er binnen het invloedsgebied van de fundering geen sprake is van bodemlagen waarin als gevolg van de belasting, wateroverspanningen aanwezig zijn. Met andere woorden er is sprake van een zogenaamde "gedraineerde situatie".

Partiële factoren voor grondparameters

γ_{ϕ} = 1,15
 γ_{γ} = 1,10
 γ_c = 1,60



Uitgangspunten berekening fundering op staal

Berekening draagkracht

De draagkracht van de ondergrond wordt berekend op basis van evenwichtsvergelijkingen.

De van toepassing zijnde evenwichtsvergelijking, is afhankelijk van de bodemopbouw, de bodemeigenschappen en het al dan niet aanwezig zijn van wateroverspanningen binnen de invloedsdiepte van de fundering.

Onder de gegeven uitgangspunten geldt dat de volgende evenwichtsvergelijkingen van toepassing zijn.

- 1) Gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau (i)
- 2) Gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau (i) (3 doorponsniveaus)

In dit geval is gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau maatgevend.

Niveau grondverbetering per sondering

zie ook paragraaf "Grondverbetering"

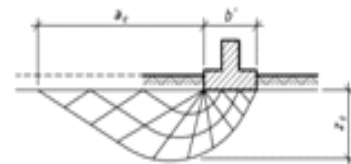
Sondering [nr.]	Maaiveld [m tov NAP]	Ontgravingsniveau* [m tov NAP]
DKM-003	76,56	74,00
02P017638		
DKM-001	76,71	74,50

* Ontgravingsniveau tbv grondverbetering

**Resultaten berekening fundering op staal****Draagkracht volgens gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau**

Hierna volgen de resultaten van de draagkracht volgens de gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau.

Aangenomen dat er geen sprake is van bodemlagen met wateroverspanningen, is de draagkracht berekend op basis van de gedraineerde evenwichtsvergelijking (i).



Strookafmeting B [m]	Maximale funderingsdruk aanlegniveau $\sigma'_{\max;d}$ [kN/m ²] t = 0,4 m	Draagkracht op aanlegniveau R _d [kN/m] t = 0,4 m
0,20	86	17
0,30	90	27
0,40	94	38
0,50	99	50
0,60	105	63
0,70	110	77 *

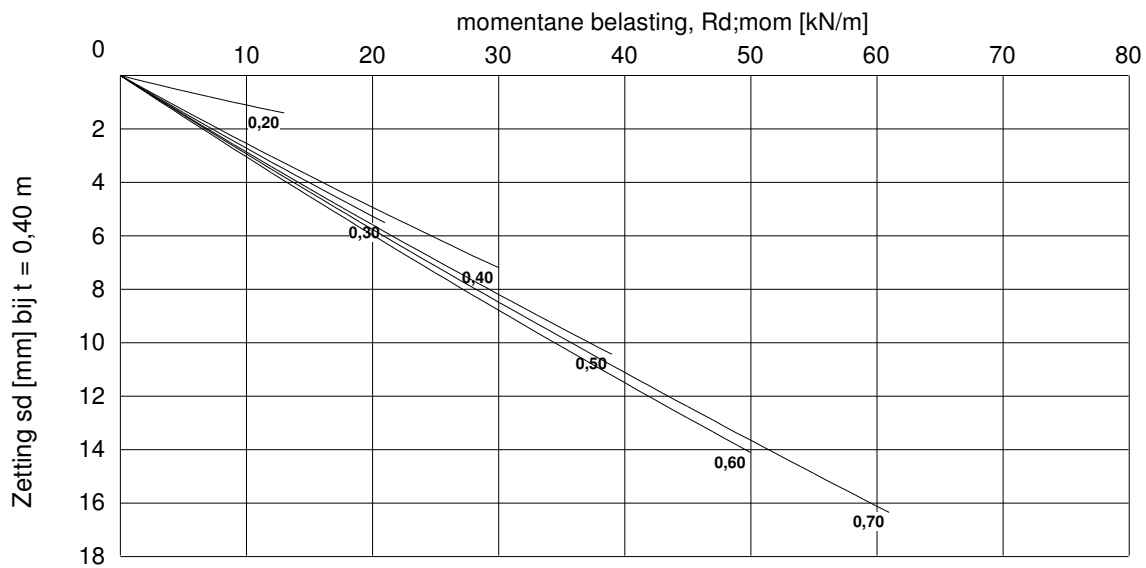
* voor deze situatie is een voorbeeldberekening toegevoegd.

Poerafmeting B * L [m * m]	Maximale funderingsdruk aanlegniveau $\sigma'_{\max;d}$ [kN/m ²] t = 0,4 m	Draagkracht op aanlegniveau R _d [kN] t = 0,4 m
2,00 * 2,00	143	571
2,20 * 2,20	147	710
2,40 * 2,40	151	870
2,60 * 2,60	155	1049
2,80 * 2,80	159	1247
3,00 * 3,00	163	1465 *

* voor deze situatie is een voorbeeldberekening toegevoegd.



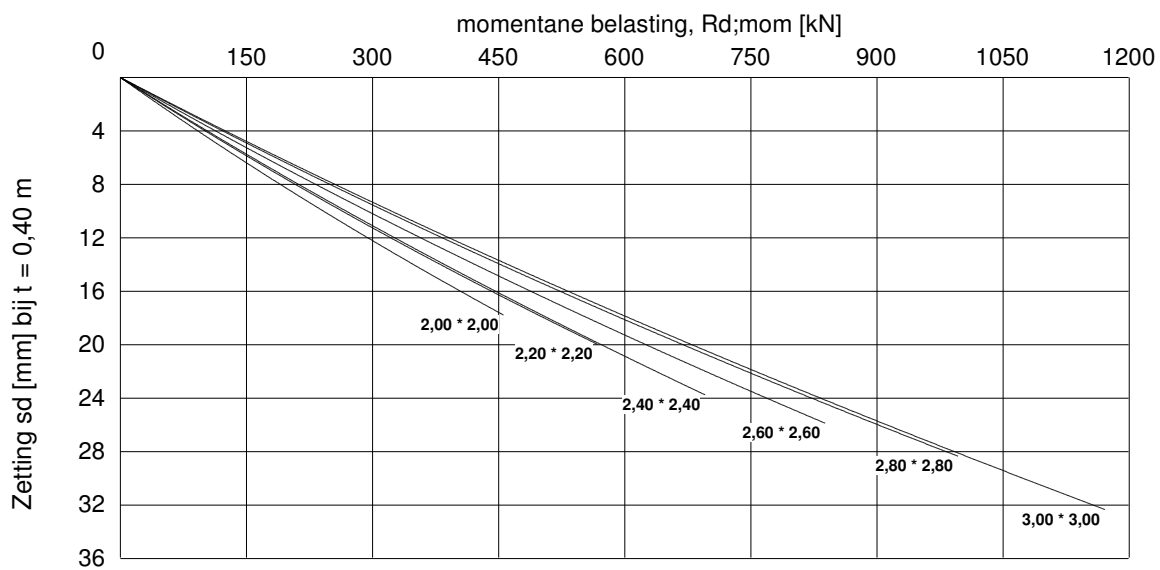
Resultaten berekening fundering op staal

Zetting stroken**Beddingscoëfficiënt stroken**

Strookafmeting B [m]	Beddingscoëfficiënt bij $t = 0,4$ m [kN/m ³]	
	$k_{v;rep;stat}$	$k_{v;d;stat}$
0,20	34000	26000
0,30	9000	7000
0,40	8000	6000
0,50	6000	4500
0,60	4500	3500
0,70	4000	3000



Resultaten berekening fundering op staal

Zetting poeren**Beddingscoëfficiënt poeren**

Poerafmeting B * L [m * m]	Beddingscoëfficiënt bij t = 0,4 m [kN/m ³]	
	k _{v;rep;stat}	k _{v;d;stat}
2,00 * 2,00	4500	3500
2,20 * 2,20	4500	3500
2,40 * 2,40	4000	3000
2,60 * 2,60	3500	2500
2,80 * 2,80	3500	2500
3,00 * 3,00	3000	2500

**Voorbeeldberekening - strook****Uitgangspunten berekeningen strook**

breedte	B	=	0,70 m
dikte	d	=	0,20 m
gronddekking	t	=	0,40 m

Beschrijving berekeningen

Voor de berekening van de draagkracht is aangenomen dat er binnen het invloedsgebied van de fundering geen sprake is van bodemlagen waarin als gevolg van de belasting, wateroverspanningen aanwezig zijn. Met andere woorden er is sprake van een zogenaamde "gedraineerde situatie".

In het voorbeeld wordt de navolgende berekening uitgevoerd:

- gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau

$$R_d = \sigma'_{\max;d} \cdot A'$$

R_d : rekenwaarde weerstand tegen de belasting loodrecht op het funderingsoppervlak in kN

$\sigma'_{\max;d}$: rekenwaarde funderingsdruk op effectief funderingsoppervlak in kN/m²

A' : effectief funderingsoppervlak in m²

voor de gedraineerde toestand

$$\sigma'_{\max;d} = \underbrace{c'_{\text{gem;d}} N_c s_c i_c b_c \lambda_c}_{\text{bijdrage cohesie}} + \underbrace{\sigma'_{v;z;0;d} N_q s_q i_q b_q \lambda_q}_{\text{bijdrage gronddekking}} + \underbrace{0,5 \gamma'_{\text{gem;d}} b' N_\gamma s_\gamma i_\gamma b_\gamma \lambda_\gamma}_{\text{bijdrage gewicht bodem waarop wordt aangelegd}}$$

$$A' = b' \cdot l'$$

Gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau**Tussenresultaten**

effectieve breedte	b'	=	0,70 m
effectieve lengte	l'	=	1,00 m
effectieve funderingsoppervlak	A'	=	0,70 m ²

effectieve hoek van inwendige wrijving	ϕ'_k	=	32,9 °
invloedsdiepte conform tabel 6.a	z_e	=	1,2 m
gewogen effectieve cohesie	$c'_{\text{gem;d}}$	=	0,0 kPa
verticale korrelspanning aanlegniveau	$\sigma'_{v;z;0;d}$	=	3,3 kN/m ² (bij t = 0,40 m)
gewogen effectief volumiek gewicht	$\gamma'_{\text{gem;d}}$	=	8,6 kN/m ³
rekenwaarde effectieve wrijvingshoek	$\phi'_{\text{gem;d}}$	=	29,3 °

draagkrachtfactoren	$N_c = 28,6$	$N_q = 17,0$	$N_\gamma = 18,0$
vormfactoren	$s_c = 1,0$	$s_q = 1,0$	$s_\gamma = 1,0$
factor helling aanlegniveau	$b_c = 1,0$	$b_q = 1,0$	$b_\gamma = 1,0$
factor helling maaiveld	$\lambda_c = 1,0$	$\lambda_q = 1,0$	$\lambda_\gamma = 1,0$

Resultaten (gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau)

funderingsdruk	$\sigma'_{\max;d}$	=	0 + 56 + 54 = 110 kN/m ²
rekenwaarde maximale draagkracht	R_d	=	77 kN/m

**Voorbeeldberekening - poer****Uitgangspunten berekeningen poer**

breedte	B	=	3,00 m
lengte	L	=	3,00 m
dikte	d	=	0,20 m
gronddekking	t	=	0,40 m

Beschrijving berekeningen

Voor de berekening van de draagkracht is aangenomen dat er binnen het invloedsgebied van de fundering geen sprake is van bodemlagen waarin als gevolg van de belasting, wateroverspanningen aanwezig zijn. Met andere woorden er is sprake van een zogenaamde "gedraineerde situatie".

In het voorbeeld worden de navolgende berekeningen uitgevoerd:

- gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau
- gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau 73,30 m + NAP
- gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau 73,10 m + NAP
- gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau 71,30 m + NAP

$$R_d = \sigma'_{\max;d} \cdot A'$$

$$R_d = \sigma'_{\max;d} \cdot A'_{\text{pons}} - G_{\text{pons;d}} \quad (\text{in het geval van doorponzen is } G_{\text{pons;d}} \text{ het grondgewicht onder de fundering})$$

R_d : rekenwaarde weerstand tegen de belasting loodrecht op het funderingsoppervlak in kN

$\sigma'_{\max;d}$: rekenwaarde funderingsdruk op effectief funderingsoppervlak in kN/m²

A' : effectief funderingsoppervlak in m²

voor de gedraineerde toestand

$$\sigma'_{\max;d} = c'_{\text{gem;d}} N_c s_c i_c b_c \lambda_c + \sigma'_{v;z;d} N_q s_q i_q b_q \lambda_q + 0,5 \gamma'_{\text{gem;d}} b' N_\gamma s_\gamma i_\gamma b_\gamma \lambda_\gamma$$

bijdrage cohesie bijdrage gronddekking bijdrage gewicht bodem waarop wordt aangelegd

$$A' = b' \cdot l'$$

Gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau**Tussenresultaten**

effectieve breedte	b'	=	3,00 m
effectieve lengte	l'	=	3,00 m
effectieve funderingsoppervlak	A'	=	9,00 m ²
effectieve hoek van inwendige wrijving	ϕ'_k	=	30,4 °
invloedsdiepte conform tabel 6.a	z_e	=	4,9 m
gewogen effectieve cohesie	$c'_{\text{gem;d}}$	=	0,0 kPa
verticale korrelspanning aanlegniveau	$\sigma'_{v;z;0;d}$	=	3,3 kN/m ² (bij t = 0,40 m)
gewogen effectief volumiek gewicht	$\gamma'_{\text{gem;d}}$	=	7,6 kN/m ³
rekenwaarde effectieve wrijvingshoek	$\phi'_{\text{gem;d}}$	=	27,0 °
draagkrachtfactoren	$N_c = 24,0$	$N_q = 13,2$	$N_\gamma = 12,5$
vormfactoren	$s_c = 1,5$	$s_q = 1,5$	$s_\gamma = 0,7$
factor helling aanlegniveau	$b_c = 1,0$	$b_q = 1,0$	$b_\gamma = 1,0$
factor helling maaiveld	$\lambda_c = 1,0$	$\lambda_q = 1,0$	$\lambda_\gamma = 1,0$

Resultaten (gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau)

funderingsdruk	$\sigma'_{\max;d}$	=	0 + 63 + 100 = 163 kN/m ²
rekenwaarde maximale draagkracht	R_d	=	1465 kN

**Voorbeeldberekening - poer****Gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau 73,30 m + NAP**

De maximale draagkracht bij doorponsen wordt bepaald voor het maatgevende doorponsniveau van 73,30 m + NAP

Tussenresultaten

effectieve breedte	b'	=	3,48 m
effectieve lengte	l'	=	3,48 m
effectieve funderingsoppervlak	A'	=	12,10 m ²
effectieve hoek van inwendige wrijving	ϕ'_k	=	28,0 °
invloedsdiepte conform tabel 6.a	z_e	=	5,2 m
gewogen effectieve cohesie	$c'_{gem;d}$	=	0,0 kPa
diepte zand tot doorponsniveau	d_{zand}	=	1,70 m
verticale korrelspanning doorponsniveau	$\sigma'_{v,z;0;d}$	=	17,3 kN/m ² (bij $t = 0,40$ m + $d_{zand} = 1,70$ m)
gewogen effectief volumiek gewicht	$\gamma'_{gem;d}$	=	6,4 kN/m ³
rekenwaarde effectieve wrijvingshoek	$\phi'_{gem;d}$	=	24,8 °

draagkrachtfactoren	$N_c = 20,5$	$N_q = 10,5$	$N_\gamma = 8,8$
vormfactoren	$s_c = 1,5$	$s_q = 1,4$	$s_\gamma = 0,7$
factor helling aanlegniveau	$b_c = 1,0$	$b_q = 1,0$	$b_\gamma = 1,0$
factor helling maaiveld	$\lambda_c = 1,0$	$\lambda_q = 1,0$	$\lambda_\gamma = 1,0$

Resultaten (gedraineerde evenwichtsvergelijking)

funderingsdruk	$\sigma'_{max;d}$	=	0 + 257 + 69 = 326 kN/m ²
draagkracht op doorponsniveau	$R_{pons;d}$	=	5057 kN
gewicht grond boven doorponsniveau	$G_{pons;d}$	=	180 kN
draagkracht op aanlegniveau	R_d	=	3763 kN

Overzicht rekenresultaten

Gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau	R_d	=	1465 kN
Gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau	R_d	=	3763 kN

Conclusie

Uit de berekeningsresultaten volgt dat gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau maatgevend is.



Toelichting

Toelichting bodemopbouw en grondparameters

subscript, k	: representatieve / karakteristieke waarde	
subscript, d	: rekenwaarde (design)	
volumiek gewicht bij natuurlijk vochtgehalte	: γ	[par. 2.4]
verzadigd volumiek gewicht	: γ_{sat}	[par. 2.4]
effectieve hoek van inwendige wrijving	: ϕ'	
cohesie	: c'	[par. 2.4]
ongedraineerde schuifsterkte	: c_u	
primaire samendrukkingsindex	: C_c	[par. 2.4]
secundaire samendrukkingsindex	: C_α	[par. 2.4]
poriëngetal	: e	[par. 2.4]
dikte laag, j	: d_j	[par. 2.4]

Partiële factoren voor grondparameters

voor de hoek van inwendige wrijving ($\tan \phi'$)	: γ_ϕ	[A.3.2, tabel A.4a]
voor volumiek gewicht	: γ_γ	[A.3.2, tabel A.4a]
voor de effectieve cohesie	: $\gamma_{c'}$	[A.3.2, tabel A.4a]

Toelichting berekening weerstand

rekenwaarde maximale draagkracht	: $R_d = \sigma'_{\text{max}} \cdot A'$	[par. 6.5]
bij doorponsen	: $R_d = R_{\text{pons;d}} - G_{\text{pons;d}}$	[par. 6.5]
gewicht grond boven doorponsniveau	: $G_{\text{pons;d}}$	
maximale funderingsdruk	: $\sigma'_{\text{max}} = c'_{\text{gem}} N_c s_c i_c b_c \lambda_c + \sigma'_{v;z} N_q s_q i_q b_q \lambda_q + 0,5 \gamma'_{\text{gem}} b' N_\gamma s_\gamma i_\gamma b_\gamma \lambda_\gamma$	[par. 6.5]
effectief funderingsoppervlak	: $A' = b' \cdot l'$	
effectieve breedte	: b'	
effectieve lengte	: l'	
gewogen effectieve cohesie	: c'_{gem}	
verticale korrelspanning aanlegniveau	: $\sigma'_{v;z}$	
gewogen effectief volumiek gewicht	: γ'_{gem}	
draagkrachtfactoren	: $N_c; N_q; N_\gamma$	
vormfactoren	: $s_c; s_q; s_\gamma$	
factor helling belasting	: $i_c; i_q; i_\gamma$	
factor helling maaiveld	: $\lambda_c; \lambda_q; \lambda_\gamma$	
factor helling aanlegniveau	: $b_c; b_q; b_\gamma$	

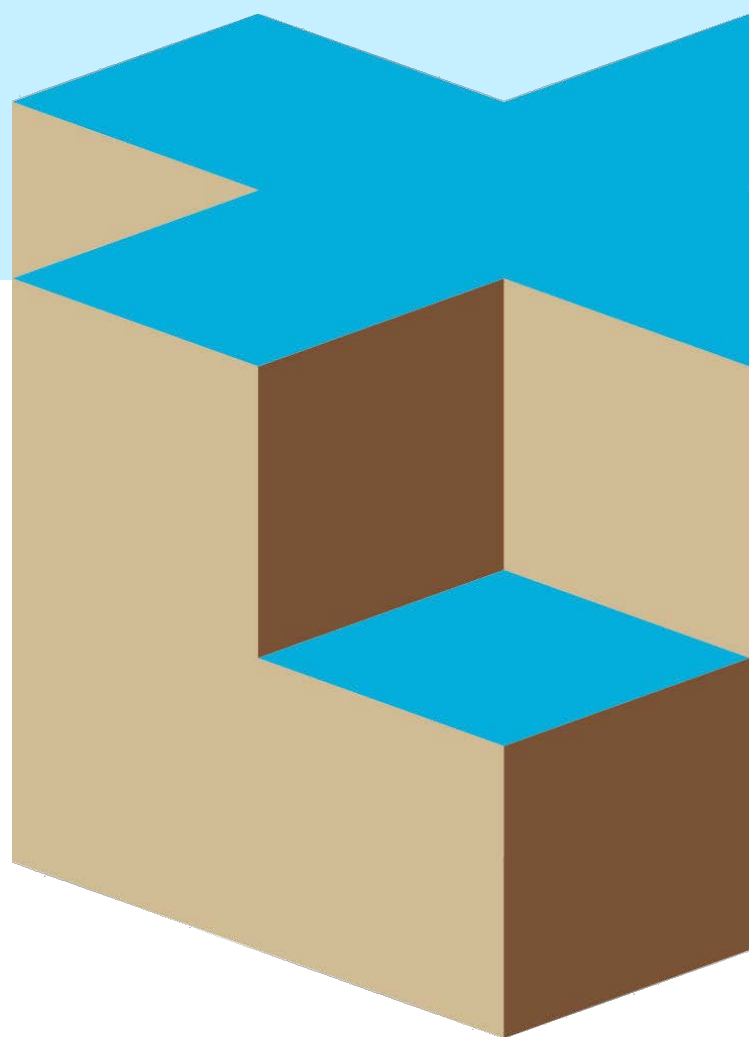
Toelichting berekening zetting

totale zetting	: $s = s_1 + s_2$	[par. 6.6.2]
primaire zetting	: $s_1 = \sum C_c / (1+e) \cdot d_j \cdot \log((\sigma'_{v;z;0} + \Delta \sigma'_{v;z}) / \sigma'_{v;z;0})$	[par. 6.6.2]
secundaire zetting	: $s_2 = \sum C_\alpha \cdot d_j \cdot \log(t_\infty / t_1)$	[par. 6.6.2]

Bron

Eurocode 7-1 (NEN 9997 - 1 + C2 : 2017)

BIJLAGE G





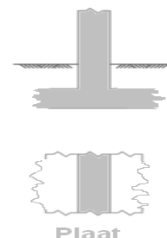
Uitgangspunten berekening fundering op staal

Belastingen

Verticaal, centrisch

Constructie fundering

Funderingstype : plaat
Funderingsafmetingen : zie rekentabellen
aanlegniveau plaat : 76,60 m + NAP
Gronddekking : t = 0,40 m



Grondwaterstand (aanname)

Voor berekening draagkracht : 75,50 m + NAP
Voor berekening zetting : 74,60 m + NAP
Voor berekening doorponsen : 75,00 m + NAP

Bodemopbouw en grondparameters

Laag nr.	Grondsoort	Onderzijde laag [m tov NAP]	Laagdikte [m]	γ_k [kN/m ³]	$\gamma_{sat;k}$ [kN/m ³]	ϕ_k [°]	c'_k [kN/m ²]	$c_{u;k}$ [kN/m ²]	$C_{c;k}$ [-]
1	dekking	76,60	0,60	18,0	20,0	32,0	0,00	0,00	0,01
2	grondverbetering	75,00	1,60	18,5	20,5	33,0	0,00	0,00	0,01
3	klei	74,50	0,50	14,0	19,0	27,5	5,00	50,00	0,12
4	klei, slap	74,00	0,50	12,0	16,0	22,5	3,00	40,00	0,32
5	zandgrind	73,20	0,80	17,5	19,5	31,0	0,00	0,00	0,01
6	klei, zandig	71,30	1,90	16,0	18,0	27,0	0,00	0,00	0,10
7	zand	68,50	2,80	17,5	19,5	31,0	0,00	0,00	0,01
8	zand	67,00	1,50	17,5	19,5	31,0	0,00	0,00	0,01
9	zand	66,00	1,00	18,0	20,0	32,0	0,00	0,00	0,01
10	zand	65,50	0,00	18,5	20,5	33,0	0,00	0,00	0,01
11	zand	--	--	18,5	20,5	33,0	0,00	0,00	0,01

In de bodem komen cohesieve lagen voor. Bij belasting kunnen in deze lagen tijdelijk wateroverspanningen ontstaan. In dat geval is sprake van een zogenaamde ongedraineerde situatie. Voor zover cohesieve lagen zich bevinden binnen het invloedsgebied van de fundering, is de draagkracht berekend voor zowel de gedraineerde als de ongedraineerde situatie.

Partiële factoren voor grondparameters

$$\gamma_{\phi} = 1,15$$

$$\gamma_{\gamma} = 1,10$$

$$\gamma_{c'} = 1,60$$



Uitgangspunten berekening fundering op staal

Berekening draagkracht

De draagkracht van de ondergrond wordt berekend op basis van evenwichtsvergelijkingen.

De van toepassing zijnde evenwichtsvergelijking, is afhankelijk van de bodemopbouw, de bodemeigenschappen en het al dan niet aanwezig zijn van wateroverspanningen binnen de invloedsdiepte van de fundering.

Onder de gegeven uitgangspunten geldt dat de volgende evenwichtsvergelijkingen van toepassing zijn.

- 1) Gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau (i)
- 2) Ongedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau (g) (2 doorponsniveaus)

In dit geval is gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau maatgevend.

Niveau grondverbetering per sondering

zie ook paragraaf "Grondverbetering"

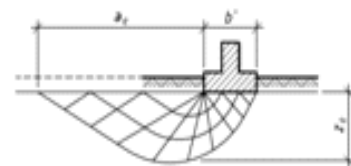
Sondering [nr.]	Maaiveld [m tov NAP]	Ontgravingsniveau* [m tov NAP]
DKM-003	76,56	75,00
02P017638		
DKM-002	76,80	75,00

* Ontgravingsniveau tbv grondverbetering

**Resultaten berekening fundering op staal****Draagkracht volgens gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau**

Hierna volgen de resultaten van de draagkracht volgens de gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau.

Aangenomen dat er geen sprake is van bodemlagen met wateroverspanningen, is de draagkracht berekend op basis van de gedraineerde evenwichtsvergelijking (i).



Strookafmeting B [m]	Maximale funderingsdruk aanlegniveau $\sigma'_{\max;d}$ [kN/m ²] t = 0,4 m	Draagkracht op aanlegniveau R_d [kN/m] t = 0,4 m
0,30	160	48
0,40	175	70
0,50	191	95 *
0,60	206	124
0,70	221	155
0,80	234	187
0,90	246	221
1,00	256	256

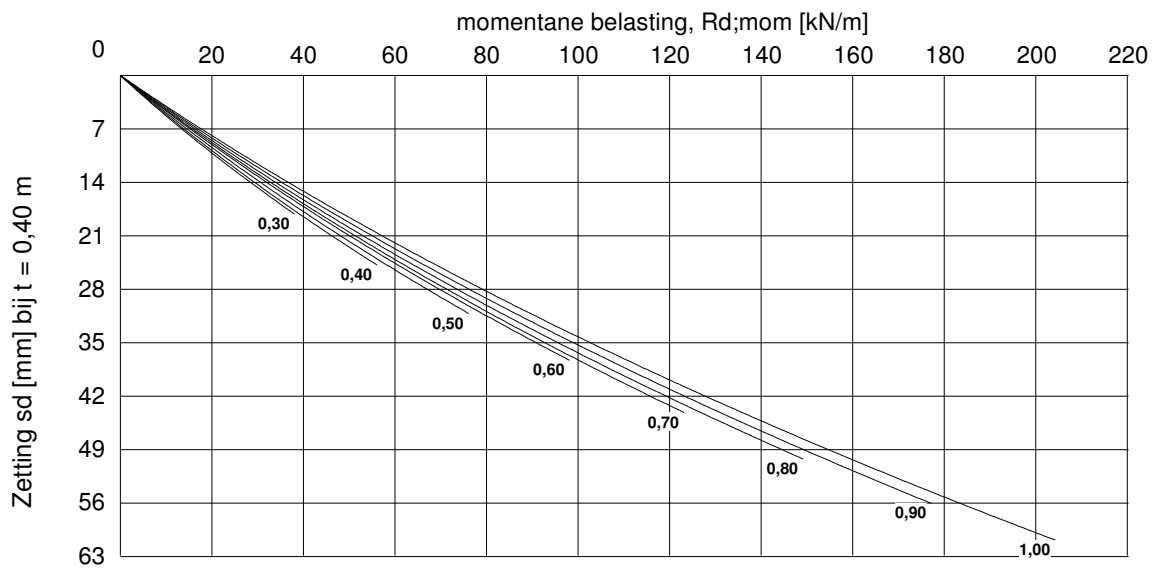
* voor deze situatie is een voorbeeldberekening toegevoegd.

Poerafmeting B * L [m * m]	Maximale funderingsdruk aanlegniveau $\sigma'_{\max;d}$ [kN/m ²] t = 0,4 m	Draagkracht op aanlegniveau R_d [kN] t = 0,4 m
0,30 * 0,30	201	18
0,40 * 0,40	212	34
0,50 * 0,50	223	56
0,60 * 0,60	234	84
0,70 * 0,70	244	120
0,80 * 0,80	253	162 *
0,90 * 0,90	262	212
1,00 * 1,00	269	269

* voor deze situatie is een voorbeeldberekening toegevoegd.



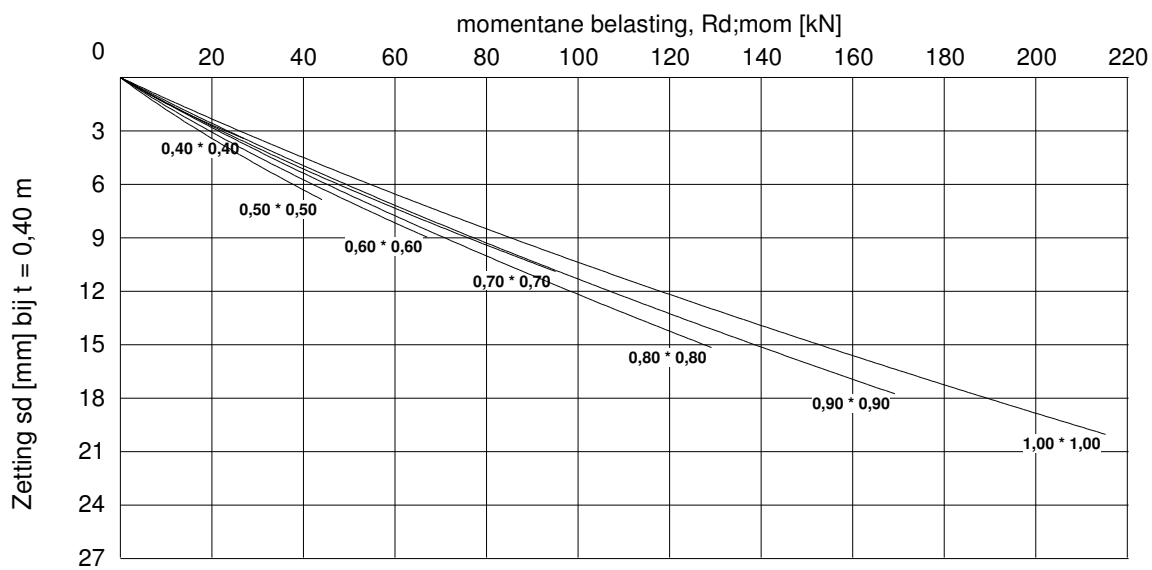
Resultaten berekening fundering op staal

Zetting stroken**Beddingscoëfficiënt stroken**

Strookafmeting B [m]	Beddingscoëfficiënt bij t = 0,4 m [kN/m ³]	
	k _{v,rep;stat}	k _{v;d;stat}
0,30	5000	4000
0,40	4000	3000
0,50	3500	3000
0,60	3000	2500
0,70	3000	2500
0,80	2500	2000
0,90	2500	2000
1,00	2500	2000



Resultaten berekening fundering op staal

Zetting poeren**Beddingscoëfficiënt poeren**

Poerafmeting B * L [m * m]	Beddingscoëfficiënt bij $t = 0,4$ m [kN/m ³]	
	$k_{v;rep;stat}$	$k_{v;d;stat}$
0,30 * 0,30	49000	37000
0,40 * 0,40	36000	28000
0,50 * 0,50	19000	15000
0,60 * 0,60	15000	12000
0,70 * 0,70	13000	10000
0,80 * 0,80	10000	8000
0,90 * 0,90	9000	7000
1,00 * 1,00	8000	6000



Voorbeeldberekening - strook

Uitgangspunten berekeningen strook

breedte	B	=	0,50 m
dikte	d	=	0,20 m
gronddekking	t	=	0,40 m

Beschrijving berekeningen

In de bodem komen cohesieve lagen voor. Bij belasting kunnen in deze lagen tijdelijk wateroverspanningen ontstaan. In dat geval is sprake van een zogenaamde ongedraineerde situatie. Voor zover cohesieve lagen zich bevinden binnen het invloedsgebied van de fundering, is de draagkracht berekend voor zowel de gedraineerde als de ongedraineerde situatie.

In het voorbeeld worden de navolgende berekeningen uitgevoerd:

- gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau
- ongedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau 75,00 m + NAP
- ongedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau 74,50 m + NAP

$$R_d = \sigma'_{\max;d} * A'$$

$$R_d = \sigma'_{\max;d} * A'_{\text{pons}} - G_{\text{pons;d}} \text{ (in het geval van doorponzen is } G_{\text{pons;d}} \text{ het grondgewicht onder de fundering)}$$

R_d : rekenwaarde weerstand tegen de belasting loodrecht op het funderingsoppervlak in kN

$\sigma'_{\max;d}$: rekenwaarde funderingsdruk op effectief funderingsoppervlak in kN/m²

A' : effectief funderingsoppervlak in m²

voor de gedraineerde toestand

$$\sigma'_{\max;d} = c'_{\text{gem;d}} N_c s_c i_c b_c \lambda_c + \sigma'_{v;z;d} N_q s_q i_q b_q \lambda_q + 0,5 \gamma'_{\text{gem;d}} b' N_\gamma s_\gamma i_\gamma b_\gamma \lambda_\gamma$$

bijdrage cohesie bijdrage gronddekking bijdrage gewicht bodem waarop wordt aangelegd

voor de ongedraineerde toestand

$$\sigma'_{\max;d} = (\pi + 2) * c_{u;d} s_c i_c \lambda_c + \sigma'_{v;z;d} \lambda_q$$

bijdrage cohesie bijdrage gronddekking

$$A' = b' * l'$$

Gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau

Tussenresultaten

effectieve breedte	b'	=	0,50 m
effectieve lengte	l'	=	1,00 m
effectieve funderingsoppervlak	A'	=	0,50 m ²

effectieve hoek van inwendige wrijving	ϕ'_k	=	33,0 °
invloedsdiepte conform tabel 6.a	z_e	=	0,9 m
gewogen effectieve cohesie	$c'_{\text{gem;d}}$	=	0,0 kPa
verticale korrelspanning aanlegniveau	$\sigma'_{v;z;0;d}$	=	6,5 kN/m ² (bij t = 0,40 m)
gewogen effectief volumiek gewicht	$\gamma'_{\text{gem;d}}$	=	16,8 kN/m ³
rekenwaarde effectieve wrijvingshoek	$\phi'_{\text{gem;d}}$	=	29,5 °

draagkrachtfactoren	$N_c = 28,9$	$N_q = 17,3$	$N_\gamma = 18,4$
vormfactoren	$s_c = 1,0$	$s_q = 1,0$	$s_\gamma = 1,0$
factor helling aanlegniveau	$b_c = 1,0$	$b_q = 1,0$	$b_\gamma = 1,0$
factor helling maaiveld	$\lambda_c = 1,0$	$\lambda_q = 1,0$	$\lambda_\gamma = 1,0$

Resultaten (gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau)

funderingsdruk	$\sigma'_{\max;d}$	=	0 + 113 + 77 = 191 kN/m ²
rekenwaarde maximale draagkracht	R_d	=	95 kN/m



Voorbeeldberekening - strook

Ongedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau 74,50 m + NAP

De maximale draagkracht bij doorponzen wordt bepaald voor het maatgevende doorponsniveau van 74,50 m + NAP

Tussenresultaten

effectieve breedte	b'	=	1,09 m
effectieve lengte	l'	=	1,00 m
effectieve funderingsoppervlak	A'	=	1,09 m ²
effectieve hoek van inwendige wrijving	ϕ'_k	=	0,0 °
invloedsdiepte conform tabel 6.a	z_e	=	0,8 m
ongedraineerde schuifsterkte	$c_{u;d}$	=	29,6 kPa
diepte zand tot doorponsniveau	d_{zand}	=	2,10 m
verticale korrelspanning doorponsniveau	$\sigma'_{v;z;0;d}$	=	37,1 kN/m ² (bij $t = 0,40$ m + $d_{zand} = 2,10$ m)
vormfactoren	s_c	=	1,0
factor helling maaiveld	$\lambda_c = 1,0$	$\lambda_q = 1,0$	

Resultaten (ongedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau)

funderingsdruk	$\sigma'_{max;d}$	=	152 + 37 = 189 kN/m ²
draagkracht op doorponsniveau	$R_{pons;d}$	=	394 kN/m
gewicht grond boven doorponsniveau	$G_{pons;d}$	=	26 kN/m
draagkracht op aanlegniveau	R_d	=	180 kN/m

Overzicht rekenresultaten

Gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau	R_d	=	95 kN/m
Ongedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau	R_d	=	180 kN/m

Conclusie

Uit de berekeningsresultaten volgt dat gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau maatgevend is.

**Voorbeeldberekening - poer****Uitgangspunten berekeningen poer**

breedte	B	=	0,80 m
lengte	L	=	0,80 m
dikte	d	=	0,20 m
gronddekking	t	=	0,40 m

Beschrijving berekeningen

In de bodem komen cohesieve lagen voor. Bij belasting kunnen in deze lagen tijdelijk wateroverspanningen ontstaan. In dat geval is sprake van een zogenaamde ongedraineerde situatie. Voor zover cohesieve lagen zich bevinden binnen het invloedsgebied van de fundering, is de draagkracht berekend voor zowel de gedraineerde als de ongedraineerde situatie.

In het voorbeeld worden de navolgende berekeningen uitgevoerd:

- gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau
- ongedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau 75,00 m + NAP
- ongedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau 74,50 m + NAP

$$R_d = \sigma'_{\max;d} * A'$$

$$R_d = \sigma'_{\max;d} * A'_{\text{pons}} - G_{\text{pons;d}} \text{ (in het geval van doorponzen is } G_{\text{pons;d}} \text{ het grondgewicht onder de fundering)}$$

R_d : rekenwaarde weerstand tegen de belasting loodrecht op het funderingsoppervlak in kN

$\sigma'_{\max;d}$: rekenwaarde funderingsdruk op effectief funderingsoppervlak in kN/m²

A' : effectief funderingsoppervlak in m²

voor de gedraineerde toestand

$$\sigma'_{\max;d} = c'_{\text{gem;d}} N_c s_c i_c b_c \lambda_c + \sigma'_{v;z;d} N_q s_q i_q b_q \lambda_q + 0,5 \gamma'_{\text{gem;d}} b' N_\gamma s_\gamma i_\gamma b_\gamma \lambda_\gamma$$

bijdrage cohesie bijdrage gronddekking bijdrage gewicht bodem waarop wordt aangelegd

voor de ongedraineerde toestand

$$\sigma'_{\max;d} = (\pi + 2) * c_{u;d} s_c i_c \lambda_c + \sigma'_{v;z;d} \lambda_q$$

bijdrage cohesie bijdrage gronddekking

$$A' = b' * l'$$

Gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau**Tussenresultaten**

effectieve breedte	b'	=	0,80 m
effectieve lengte	l'	=	0,80 m
effectieve funderingsoppervlak	A'	=	0,64 m ²

effectieve hoek van inwendige wrijving	ϕ'_k	=	33,0 °
invloedsdiepte conform tabel 6.a	z_e	=	1,4 m
gewogen effectieve cohesie	$c'_{\text{gem;d}}$	=	0,0 kPa
verticale korrelspanning aanlegniveau	$\sigma'_{v;z;0;d}$	=	6,5 kN/m ² (bij t = 0,40 m)
gewogen effectief volumiek gewicht	$\gamma'_{\text{gem;d}}$	=	16,4 kN/m ³
rekenwaarde effectieve wrijvingshoek	$\phi'_{\text{gem;d}}$	=	29,5 °

draagkrachtfactoren	$N_c = 28,9$	$N_q = 17,3$	$N_\gamma = 18,4$
vormfactoren	$s_c = 1,5$	$s_q = 1,5$	$s_\gamma = 0,7$
factor helling aanlegniveau	$b_c = 1,0$	$b_q = 1,0$	$b_\gamma = 1,0$
factor helling maaiveld	$\lambda_c = 1,0$	$\lambda_q = 1,0$	$\lambda_\gamma = 1,0$

Resultaten (gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau)

funderingsdruk	$\sigma'_{\max;d}$	=	0 + 169 + 85 = 253 kN/m ²
rekenwaarde maximale draagkracht	R_d	=	162 kN



Voorbeeldberekening - poer

Ongedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau 75,00 m + NAP

De maximale draagkracht bij doorponzen wordt bepaald voor het maatgevende doorponsniveau van 75,00 m + NAP

Tussenresultaten

effectieve breedte	b'	=	1,25 m
effectieve lengte	l'	=	1,25 m
effectieve funderingsoppervlak	A'	=	1,56 m ²
effectieve hoek van inwendige wrijving	ϕ'_k	=	0,0 °
invloedsdiepte conform tabel 6.a	z_e	=	0,9 m
ongedraineerde schuifsterkte	$c_{u;d}$	=	37,0 kPa
diepte zand tot doorponsniveau	d_{zand}	=	1,60 m
verticale korrelspanning doorponsniveau	$\sigma'_{v;z;0;d}$	=	33,5 kN/m ² (bij $t = 0,40$ m + $d_{zand} = 1,60$ m)
vormfactoren	$s_c = 1,2$		
factor helling maaiveld	$\lambda_c = 1,0$	$\lambda_q = 1,0$	

Resultaten (ongedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau)

funderingsdruk	$\sigma'_{max;d}$	=	229 + 33 = 262 kN/m ²
draagkracht op doorponsniveau	$R_{pons;d}$	=	923 kN
gewicht grond boven doorponsniveau	$G_{pons;d}$	=	31 kN
draagkracht op aanlegniveau	R_d	=	378 kN

Overzicht rekenresultaten

Gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau	R_d	=	162 kN
Ongedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op doorponsniveau	R_d	=	378 kN

Conclusie

Uit de berekeningsresultaten volgt dat gedraineerde evenwichtsvergelijking toegepast op aanlegniveau maatgevend is.



Toelichting

Toelichting bodemopbouw en grondparameters

subscript, k	: representatieve / karakteristieke waarde	
subscript, d	: rekenwaarde (design)	
volumiek gewicht bij natuurlijk vochtgehalte	: γ	[par. 2.4]
verzadigd volumiek gewicht	: γ_{sat}	[par. 2.4]
effectieve hoek van inwendige wrijving	: ϕ'	
cohesie	: c'	[par. 2.4]
ongedraineerde schuifsterkte	: c_u	
primaire samendrukkingsindex	: C_c	[par. 2.4]
secundaire samendrukkingsindex	: C_α	[par. 2.4]
poriëngetal	: e	[par. 2.4]
dikte laag, j	: d_j	[par. 2.4]

Partiële factoren voor grondparameters

voor de hoek van inwendige wrijving ($\tan \phi'$)	: γ_ϕ	[A.3.2, tabel A.4a]
voor volumiek gewicht	: γ_γ	[A.3.2, tabel A.4a]
voor de effectieve cohesie	: $\gamma_{c'}$	[A.3.2, tabel A.4a]

Toelichting berekening weerstand

rekenwaarde maximale draagkracht	: $R_d = \sigma'_{\text{max}} * A'$	[par. 6.5]
bij doorponsen	: $R_d = R_{\text{pons;d}} - G_{\text{pons;d}}$	[par. 6.5]
gewicht grond boven doorponsniveau	: $G_{\text{pons;d}}$	
maximale funderingsdruk gedraineerd	: $\sigma'_{\text{max}} = c'_{\text{gem}} N_c s_c i_c b_c \lambda_c + \sigma'_{v;z} N_q s_q i_q b_q \lambda_q + 0,5 \gamma'_{\text{gem}} b' N_\gamma s_\gamma i_\gamma b_\gamma \lambda_\gamma$	[par. 6.5]
maximale funderingsdruk ongedraineerd	: $\sigma'_{\text{max}} = (\pi + 2) * c_{u;d} s_c i_c \lambda_c + \sigma'_{v;z;d} \lambda_q$	[par. 6.5.2.2]
effectief funderingsoppervlak	: $A' = b' * l'$	
effectieve breedte	: b'	
effectieve lengte	: l'	
gewogen effectieve cohesie	: c'_{gem}	
verticale korrelspanning aanlegniveau	: $\sigma'_{v;z}$	
gewogen effectief volumiek gewicht	: γ'_{gem}	
draagkrachtfactoren	: $N_c; N_q; N_\gamma$	
vormfactoren	: $s_c; s_q; s_\gamma$	
factor helling belasting	: $i_c; i_q; i_\gamma$	
factor helling maaiveld	: $\lambda_c; \lambda_q; \lambda_\gamma$	
factor helling aanlegniveau	: $b_c; b_q; b_\gamma$	

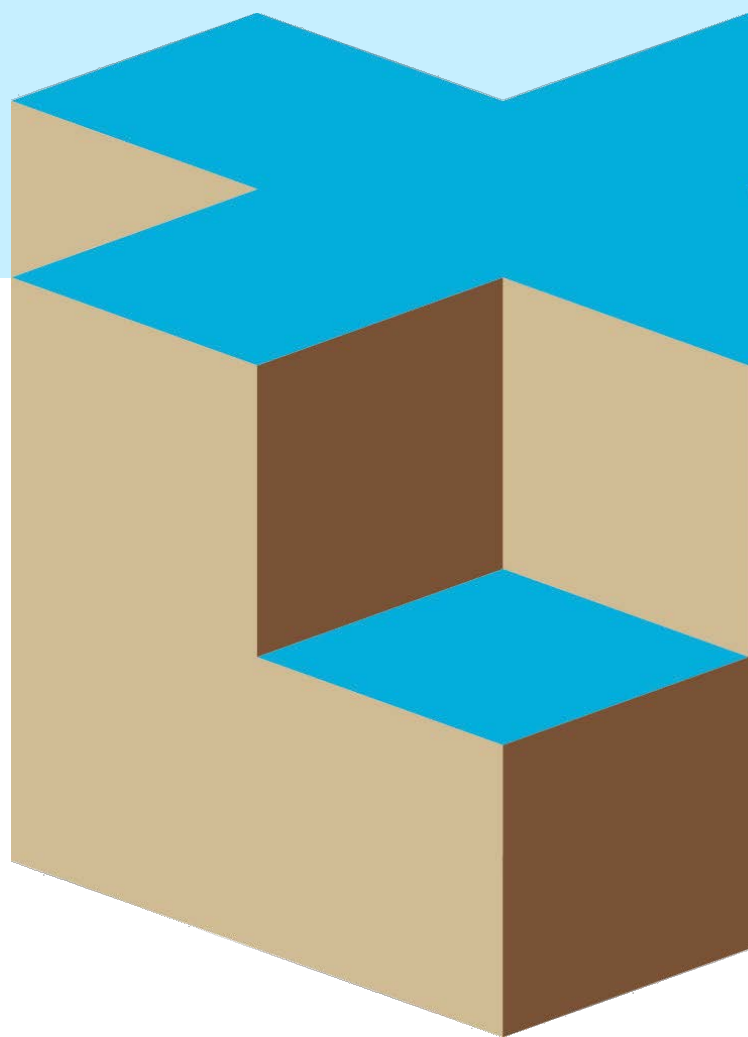
Toelichting berekening zetting

totale zetting	: $s = s_1 + s_2$	[par. 6.6.2]
primaire zetting	: $s_1 = \sum C_c / (1+e) * d_j * \log((\sigma'_{v;z;0} + \Delta \sigma'_{v;z}) / \sigma'_{v;z;0})$	[par. 6.6.2]
secundaire zetting	: $s_2 = \sum C_\alpha * d_j * \log(t_\infty / t_1)$	[par. 6.6.2]

Bron

Eurocode 7-1 (NEN 9997 - 1 + C2 : 2017)

BIJLAGE H





Rekenwaarde maximum draagkracht in kN per sondering

Berekening volgens Eurocode 7-1 (NEN 9997 - 1 + C2 : 2017)

Paaltype : **Avegaarpaal**

Paalklassefactor punt	: $\alpha_p = 0,56$	Bouwmerk	: niet stijf
Paalvoetvormfactor	: $\beta = 1,0$	Aantal sonderingen	: $N = 1$
Paalvoetdwarsdoorsnedefactor	: $s = 1,0$	ξ -factor	: $\xi_3 = 1,39$; $\xi_4 = 1,39$
Paalklassefactor schacht	: $\alpha_s = 0,006$	Materiaalfactor	: $\gamma_b = \gamma_s = 1,20$
Geen negatieve kleef berekend			

Paalafmeting : **0,300 m**

Sonderingen	Hoogte m.v. [m tov NAP]	Paalpunt [m tov NAP]	$R_{c;d}$ [kN]	$q_{b;max}$ [MPa]	$R_{b;cal}$ [kN]	$R_{s;cal}$ [kN]
Project 22ZP1153						
DKM003	76,56	64,50	-	-	-	-
Project 02P017638						
DKM001	76,71	64,50	463	7,5	528	243
DKM002	76,80	64,50	449	7,7	542	208
DKM004	76,63	64,50	468	7,7	546	235

*1

*1) Het draagvermogen kan niet worden berekend op basis van de 4D8D-methode omdat de sondering niet reikt tot voldoende diepte beneden het paalpuntniveau.

Paalafmeting : **0,350 m**

Sonderingen	Hoogte m.v. [m tov NAP]	Paalpunt [m tov NAP]	$R_{c;d}$ [kN]	$q_{b;max}$ [MPa]	$R_{b;cal}$ [kN]	$R_{s;cal}$ [kN]
Project 22ZP1153						
DKM003	76,56	64,50	-	-	-	-
Project 02P017638						
DKM001	76,71	64,50	596	7,4	711	284
DKM002	76,80	64,50	589	7,7	740	242
DKM004	76,63	64,50	611	7,7	745	274

*1

*1) Het draagvermogen kan niet worden berekend op basis van de 4D8D-methode omdat de sondering niet reikt tot voldoende diepte beneden het paalpuntniveau.

Paalafmeting : **0,400 m**

Sonderingen	Hoogte m.v. [m tov NAP]	Paalpunt [m tov NAP]	$R_{c;d}$ [kN]	$q_{b;max}$ [MPa]	$R_{b;cal}$ [kN]	$R_{s;cal}$ [kN]
Project 22ZP1153						
DKM003	76,56	64,50	-	-	-	-
Project 02P017638						
DKM001	76,71	64,50	751	7,4	928	324
DKM002	76,80	64,50	742	7,6	961	277
DKM004	76,63	64,50	768	7,7	968	313

*1

*1) Het draagvermogen kan niet worden berekend op basis van de 4D8D-methode omdat de sondering niet reikt tot voldoende diepte beneden het paalpuntniveau.

Toelichting

Maximum puntweerstand	: $q_{b;max} = 0,5 * \alpha_p * \beta * s * (0,5[q_{c;I;gem} + q_{c;II;gem}] + q_{c;III;gem})$	[par. 7.6.2.3(e)]
Maximum draagkracht punt	: $R_{b;cal} = A_b * q_{b;max}$	[par. 7.6.2.3(e)]
Maximum schachtwrijvingskracht	: $R_{s;cal} = O_p * \Delta L * \alpha_s * q_{c;z;a}$	[par. 7.6.2.3]
Rekenwaarde maximum draagkracht	: $R_{c;d} = (R_{b;cal} / \xi) / \gamma_b + (R_{s;cal} / \xi) / \gamma_s$	[par. 7.6.2.3]
Rekenwaarde negatieve kleef	: $F_{nk;d} = F_{nk} * \gamma_{f,nk}$	[par. 7.3.2.2]
Rekenwaarde netto draagkracht	: $R_{c;dnetto} = R_{c;d} - F_{nk;d}$	[par. 7.6.2.3]

**Berekening volgens Eurocode 7-1 (NEN 9997 - 1 + C2 : 2017)**

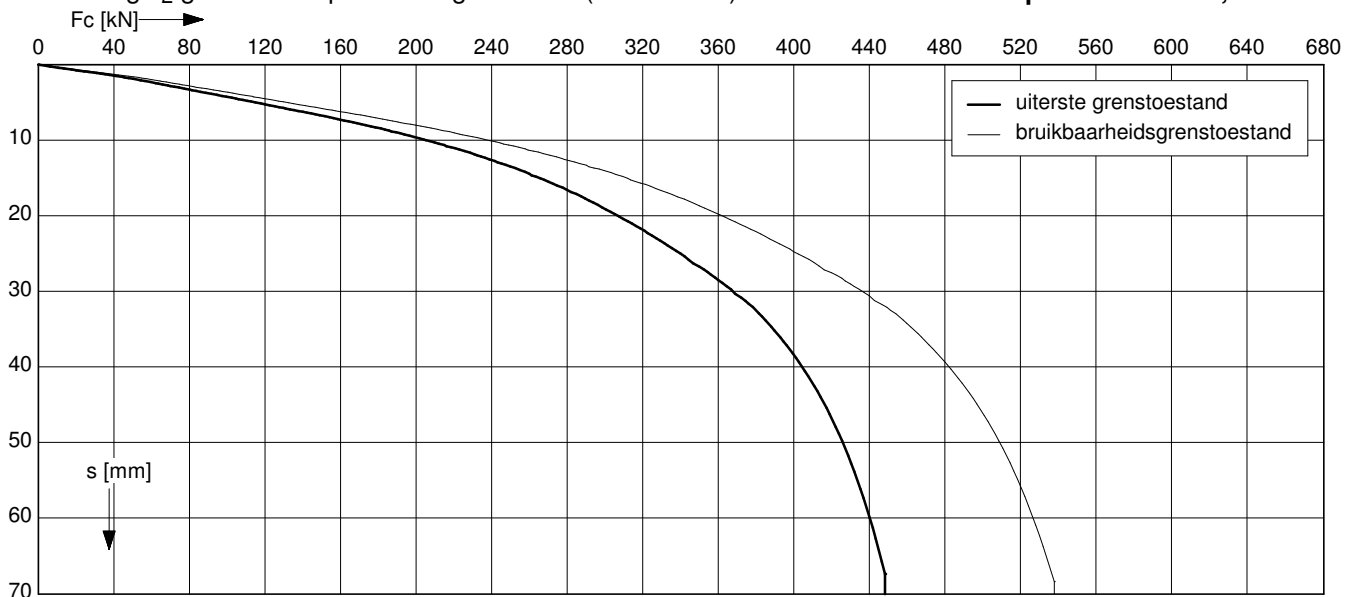
Paaltype : Avegaarpaal

Sonderingen: DKM002 (02P017638)

Berekening s_2 gebaseerd op sondering DKM002 (02P017638)

Paalafmeting : 0,300 m

Paalpuntniveau : 64,50 m tov NAP

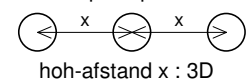
**Uiterste grenstoestand**

$F_{c;d}$	$s_{b;d}$	$s_{el;d}$	$s_{1;d}$	$s_{2;d}$	s_d	$k_{v;d}$ paal vrijstaand
[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN/mm]
449	58,0	4,0	62,0	5,3	67,4	19
405	31,6	3,6	35,1	4,8	39,9	21
360	20,8	3,1	23,9	4,3	28,2	24
315	14,4	2,7	17,1	3,7	20,9	25
270	9,7	2,3	12,1	3,2	15,3	27
225	6,7	1,9	8,6	2,7	11,3	29
180	4,6	1,6	6,2	2,1	8,3	30
135	3,1	1,2	4,3	1,6	5,9	31
90	1,9	0,8	2,7	1,1	3,7	35
45	0,6	0,4	1,0	0,5	1,6	40

Configuratie paalgroep

voor bepaling s_2

3-paalspoer



hoh-afstand x : 3D

Bruikbaarheidsgrenstoestand

$F_{c;rep}$	s_b	s_{el}	s_1	s_2	s	$k_{v;rep}$ paal vrijstaand
[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN/mm]
346	11,5	2,5	14,0	4,1	18,1	25
311	8,9	2,2	11,1	3,7	14,8	28
277	7,0	2,0	9,0	3,3	12,2	31
242	5,6	1,7	7,3	2,9	10,2	33
207	4,4	1,5	5,9	2,5	8,3	35
173	3,4	1,2	4,7	2,1	6,7	37
138	2,6	1,0	3,6	1,6	5,2	38
104	1,8	0,7	2,5	1,2	3,8	41
69	1,0	0,5	1,5	0,8	2,3	46
35	0,4	0,3	0,7	0,4	1,1	52

Toelichting

Paalbelasting	:	F_c	[par. 7.7.1]
Rekenwaarde negatieve kleef	:	$F_{nk;d}$	[par. 7.3.2.2]
Netto paalbelasting	:	$F_{c;netto} = F_c - F_{nk}$	[par. 7.3.2.2]
Rekenwaarde zakking boveinde paal	:	$s_{1;d} = s_{punt;d} + s_{el;d}$	[par. 7.6.4.2]
Rekenwaarde samendrukking diepere lagen	:	$s_{2;d}$	[par. 7.6.4.2]
Rekenwaarde paalkopzakking	:	$s_d = s_{1;d} + s_{2;d}$	[par. 7.6.4.2]
Representatieve statische secant veercoëfficiënt	:	$k_{v;rep}$ paal vrijstaand = $F_{c;rep} / s_1$	
	:	$k_{v;rep}$ paal in groep = $F_{c;rep} / (s_1 + s_2)$	

**Berekening volgens Eurocode 7-1 (NEN 9997 - 1 + C2 : 2017)**

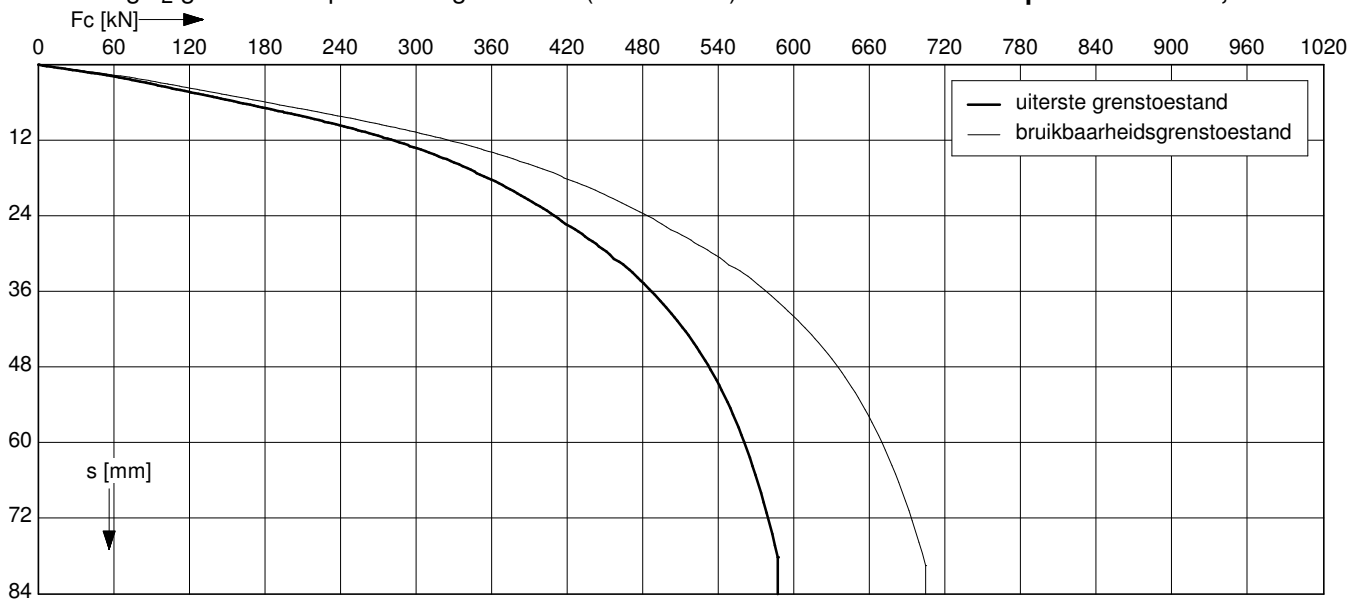
Paaltype : Avegaarpaal

Sonderingen: DKM002 (02P017638)

Berekening s_2 gebaseerd op sondering DKM002 (02P017638)

Paalafmeting : 0,350 m

Paalpuntniveau : 64,50 m tov NAP

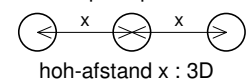
**Uiterste grenstoestand**

$F_{c;d}$	$s_{b;d}$	$s_{el;d}$	$s_{1;d}$	$s_{2;d}$	s_d	$k_{v;d}$ paal vrijstaand
[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN/mm]
589	67,7	3,9	71,6	6,6	78,2	22
530	37,5	3,5	41,0	5,9	46,9	25
471	24,2	3,1	27,3	5,3	32,6	28
412	16,7	2,7	19,4	4,6	24,0	31
353	11,3	2,3	13,5	4,0	17,5	33
294	7,6	1,9	9,5	3,3	12,8	34
236	5,2	1,5	6,7	2,6	9,3	36
177	3,6	1,1	4,7	2,0	6,7	38
118	2,1	0,8	2,9	1,3	4,2	45
59	0,7	0,4	1,1	0,7	1,8	48

Configuratie paalgroep

voor bepaling s_2

3-paalspoer

**Bruikbaarheidsgrenstoestand**

$F_{c;rep}$	s_b	s_{el}	s_1	s_2	s	$k_{v;rep}$ paal vrijstaand
[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN/mm]
453	13,3	2,4	15,7	5,1	20,8	29
408	10,2	2,2	12,3	4,6	16,9	33
362	7,9	1,9	9,9	4,1	13,9	37
317	6,2	1,7	7,9	3,6	11,5	40
272	4,9	1,4	6,4	3,0	9,4	43
227	3,9	1,2	5,1	2,5	7,6	44
181	2,9	1,0	3,9	2,0	5,9	47
136	2,0	0,7	2,7	1,5	4,2	50
91	1,1	0,5	1,6	1,0	2,6	58
45	0,5	0,3	0,7	0,5	1,2	63

Toelichting

Paalbelasting	:	F_c	[par. 7.7.1]
Rekenwaarde negatieve kleef	:	$F_{nk;d}$	[par. 7.3.2.2]
Netto paalbelasting	:	$F_{c;netto} = F_c - F_{nk}$	[par. 7.3.2.2]
Rekenwaarde zakking bovineinde paal	:	$s_{1;d} = s_{punt;d} + s_{el;d}$	[par. 7.6.4.2]
Rekenwaarde samendrukking diepere lagen	:	$s_{2;d}$	[par. 7.6.4.2]
Rekenwaarde paalkopzakking	:	$s_d = s_{1;d} + s_{2;d}$	[par. 7.6.4.2]
Representatieve statische secant veercoëfficiënt	:	$k_{v;rep}$ paal vrijstaand = $F_{c;rep} / s_1$	
	:	$k_{v;rep}$ paal in groep = $F_{c;rep} / (s_1 + s_2)$	

**Berekening volgens Eurocode 7-1 (NEN 9997 - 1 + C2 : 2017)**

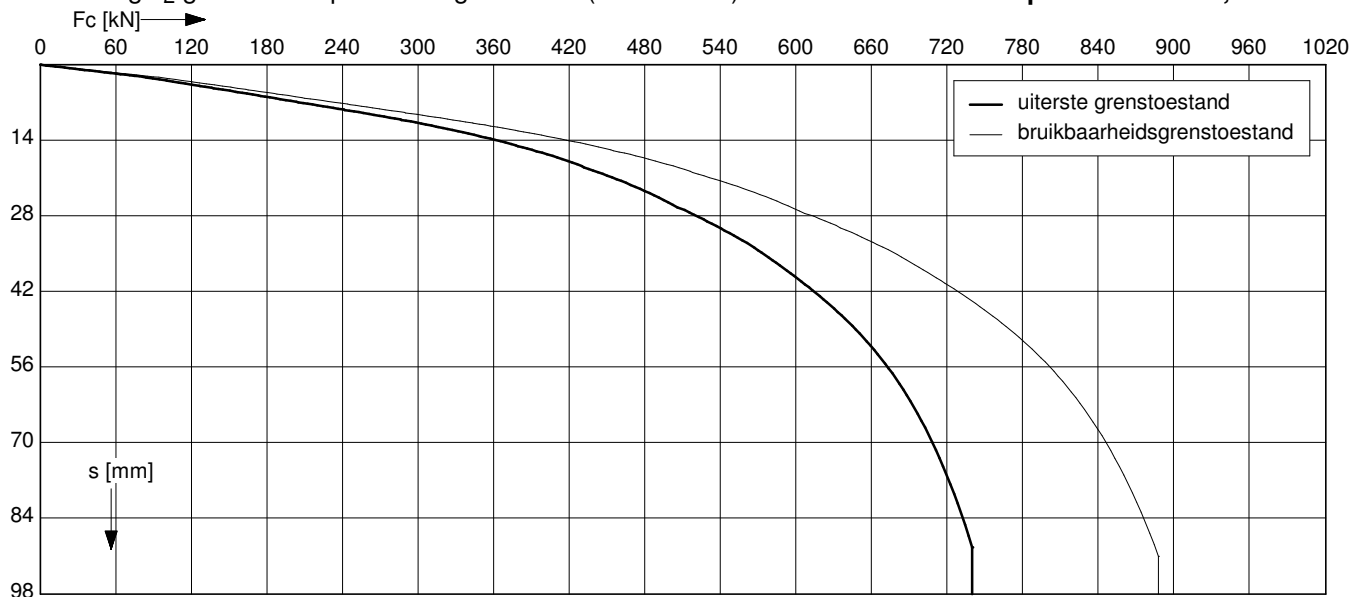
Paaltype : Avegaarpaal

Sonderingen: DKM002 (02P017638)

Berekening s_2 gebaseerd op sondering DKM002 (02P017638)

Paalafmeting : 0,400 m

Paalpuntniveau : 64,50 m tov NAP

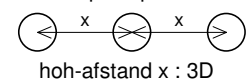
**Uiterste grenstoestand**

$F_{c;d}$	$s_{b;d}$	$s_{el;d}$	$s_{1;d}$	$s_{2;d}$	s_d	$k_{v;d}$ paal vrijstaand
[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN/mm]
742	77,3	3,8	81,2	8,3	89,4	25
668	43,6	3,4	47,0	7,4	54,5	29
594	28,6	3,0	31,6	6,6	38,2	33
520	19,2	2,6	21,8	5,8	27,5	36
445	12,7	2,2	14,9	5,0	19,8	38
371	8,5	1,8	10,3	4,1	14,5	40
297	5,8	1,5	7,3	3,3	10,6	42
223	4,0	1,1	5,1	2,5	7,6	45
148	2,3	0,7	3,0	1,7	4,7	53
74	0,8	0,4	1,2	0,8	2,0	57

Configuratie paalgroep

voor bepaling s_2

3-paalspoer

**Bruikbaarheidsgrenstoestand**

$F_{c;rep}$	s_b	s_{el}	s_1	s_2	s	$k_{v;rep}$ paal vrijstaand
[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN/mm]
571	15,0	2,3	17,4	6,3	23,7	33
514	11,6	2,1	13,7	5,7	19,4	37
457	8,9	1,9	10,8	5,1	15,8	42
400	7,0	1,6	8,6	4,4	13,1	46
343	5,5	1,4	6,9	3,8	10,7	50
286	4,4	1,2	5,5	3,2	8,7	52
228	3,2	0,9	4,2	2,5	6,7	55
171	2,2	0,7	2,9	1,9	4,8	59
114	1,2	0,5	1,7	1,3	2,9	68
57	0,5	0,2	0,8	0,6	1,4	74

Toelichting

Paalbelasting	:	F_c	[par. 7.7.1]
Rekenwaarde negatieve kleef	:	$F_{nk;d}$	[par. 7.3.2.2]
Netto paalbelasting	:	$F_{c;netto} = F_c - F_{nk}$	[par. 7.3.2.2]
Rekenwaarde zakking boveinde paal	:	$s_{1;d} = s_{punt;d} + s_{el;d}$	[par. 7.6.4.2]
Rekenwaarde samendrukking diepere lagen	:	$s_{2;d}$	[par. 7.6.4.2]
Rekenwaarde paalkopzakking	:	$s_d = s_{1;d} + s_{2;d}$	[par. 7.6.4.2]
Representatieve statische secant veercoëfficiënt	:	$k_{v;rep}$ paal vrijstaand = $F_{c;rep} / s_1$	
	:	$k_{v;rep}$ paal in groep = $F_{c;rep} / (s_1 + s_2)$	



Voorbeeldberekening gebaseerd op sondering DKM002 (02P017638) Berekening volgens Eurocode 7-1 (NEN 9997 - 1 + C2 : 2017)

Paaltype : Avegaarpaal
Paalpuntniveau : 64,5 meter tov NAP

paalafmeting : 0,300 m

Correctie conusweerstand bij ontgraving

Geen ontgraving, geen correctie van de conusweerstand.

Berekening maximum puntweerstand

$$q_{b,max} = 0,5 * \alpha_p * \beta * s * (0,5[q_{c,I,gem} + q_{c,II,gem}] + q_{c,III,gem}) \quad [\text{par. 7.6.2.3(e)}]$$

Paalklassefactor : $\alpha_p = 0,56$ (f)
 Paalvoetvormfactor : $\beta = 1,0$ (g)
 Paalvoetdwarsdoorsnedefactor : $s = 1,0$ (h)
 Traject I / II / III : 25,7 / 25,1 / 2,0 MPa

$$q_{b,max} = 7,7 \text{ MPa}$$

Berekening maximum schachtwrijving

$$R_{s,cal} = O_p * \Delta L * \alpha_s * q_{c,z;a} \quad [\text{par. 7.6.2.3(e)}]$$

Startdiepte schachtwrijving : 74 m tov NAP
 paalklassefactor : $\alpha_s = 0,006$ [tabel 7.d]
 O_p : omtrek dwarsdoorsnede paalschacht
 ΔL : traject schachtwrijving

diepte [m tov NAP]	$q_{c,z;a}$ [MPa]	O_p [m]	ΔL [m]	$R_{s,cal}$ [kN]	$\Sigma R_{s,cal}$ [kN]
72,95	3,4	0,94	1,0	20	20
71,90	1,1	0,94	1,0	6	26
70,85	1,7	0,94	1,0	10	36
69,80	2,0	0,94	1,0	12	48
68,75	2,6	0,94	1,0	15	64
67,70	2,8	0,94	1,0	17	80
66,65	3,5	0,94	1,0	21	101
65,60	5,5	0,94	1,0	33	134
64,55	11,7	0,94	1,0	69	203
64,50	15,0	0,94	0,1	4	208

Berekening maximum draagkracht

$$R_{c,cal} = A_b * q_{b,max} + R_{s,cal} \quad [\text{par. 7.6.2.3(e)}]$$

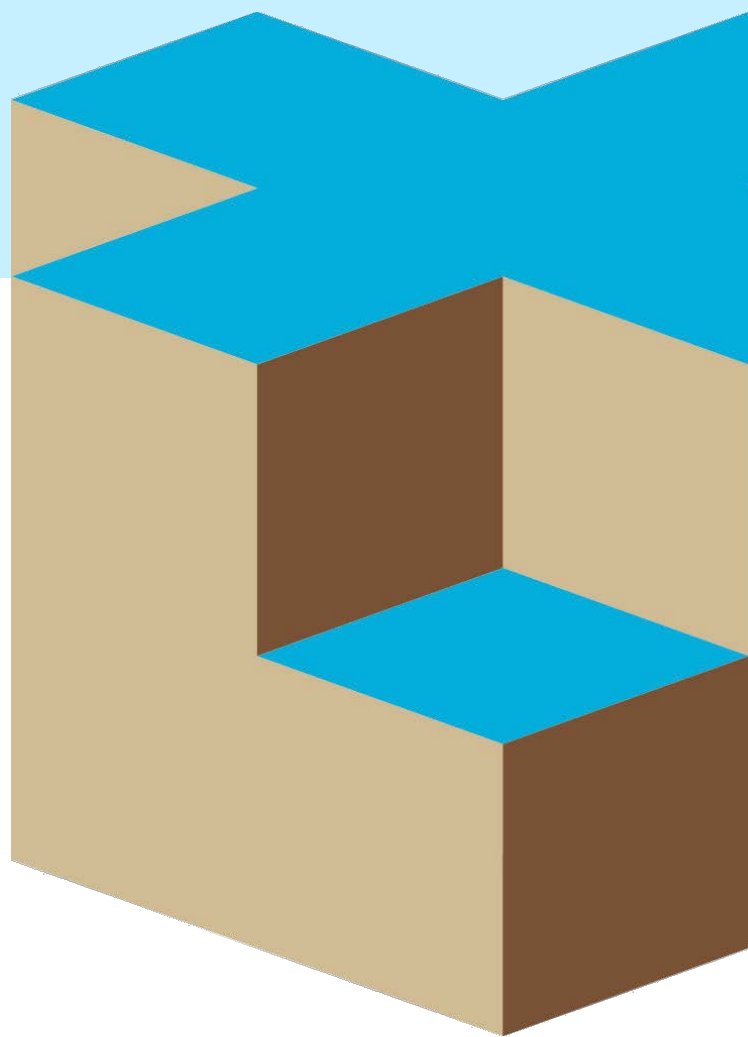
Oppervlakte paalpunt : $A_b = 0,0707 \text{ m}^2$

$$R_{c,cal} = 542 + 208 = 750 \text{ kN}$$

Berekening negatieve kleef

Geen negatieve kleef berekend

BIJLAGE I





Controle uitgangspunten

Voorafgaand aan de uitvoering moet worden gecontroleerd:

- de relatie tussen: bouwpeil, maaiveldhoogte, ontgravingsniveaus, aanlegniveau's, gronddekking en grondwaterstand t.o.v. Ref/NAP,
- de afmetingen van de fundering en de gronddekking,
- de geschiktheid van het materiaal voor de grondverbetering,
- overige relevante uitgangspunten geotechnische rapportages.

Nabijgelegen bebouwing en infrastructuur

Nagegaan moet worden of de werkzaamheden (graven, verdichten en eventueel bemalen) met een aanvaardbaar minimaal risico voor nabij gelegen bebouwing en infrastructuur kunnen worden uitgevoerd. Voor wat betreft bebouwing is hiervoor informatie noodzakelijk omtrent de constructieve opbouw, de funderingswijze en de bouwkundige staat. Bij negatieve effecten kan het nodig zijn om de uitvoeringswijze of de funderingswijze aan te passen. Zo nodig kan de omgeving voor wat betreft deformaties en trillingen worden gemonitord.

Werkerterrein/bouwput

- De ligging van kabels en leidingen dient in beeld te zijn gebracht.
- De ondergrond dient vrij te zijn van obstakels en verstoringen die van invloed kunnen zijn op het graafwerk en het aanbrengen van een grondverbetering.
- Eventuele taluds dienen voldoende flauw te worden ontgraven.
- Voor verdere aanwijzingen met betrekking tot de graafwerkzaamheden wordt verwezen naar publicatieblad P25 van de Arbeidsinspectie.

Kwaliteitseisen grondverbeteringsmateriaal

Zand als aanvulmateriaal voor een goede grondverbetering, dient aan de volgende criteria te voldoen:

- Korrelfractie kleiner dan 0,016 mm, lager dan 5 gewichtsprocenten.
- Korrelfractie kleiner dan 0,063 mm lager, dan 5 tot 10 gewichtsprocenten. Het lage percentage geldt voor grondverbeteringen, waaraan strenge eisen worden gesteld.
- Gelijkmaticheidscoëfficiënt D_{60}/D_{10} van de zandfractie tenminste 2.
- D_{60} = korreldiameter met een zeefdoorval van 60 gewichtsprocenten.
- D_{10} = korreldiameter met een zeefdoorval van 10 gewichtsprocenten.
- Humusgehalte ten hoogste 3 gewichtsprocenten.
- Korrelvorm bij voorkeur enigszins hoekig.
- Niet te droog en niet te nat. Over het algemeen wordt een goede verdichting verkregen bij een vochtpercentage van ongeveer 6 à 12%. Het optimale vochtpercentage is door middel van proctorproeven nauwkeuriger te bepalen.

Het is niet uitgesloten dat een voldoende verdichting kan worden bereikt met zand dat niet geheel aan deze criteria voldoet. Eén en ander zal in dat geval echter proefondervindelijk moeten worden vastgesteld. Veelal is bij zand met een afwijkende samenstelling een grotere inspanning vereist om tot een voldoende resultaat te komen.



Uitvoering ontgraving en verdichting

- Ontgraving over een zodanig grondvlak dat de belasting zich in de grondverbetering kan spreiden onder een hoek van ten minste 45° vanuit de rand van de fundering.
- Aftrillen ontgravingsvlak met lichte trilplaat wanneer lagen dicht onder het ontgravingsvlak zijn verstoord of ontspannen. Dit is alleen mogelijk wanneer op of dicht onder het ontgravingsniveau geen cohesieve grond aanwezig is en de drooglegging voldoende is.
- Grondverbetering aanbrengen in lagen met een dikte van hooguit 0,3 m.
- Elke laag mechanisch verdichten door middel van trilapparatuur in minimaal vier gangen, kruislings en overlappend (geen verdichting door aanplempen of inwateren).
- Bij inzet van te zware verdichtingsapparatuur kan de bovenste ca. 0,15 m (beneden aanlegniveau) onvoldoende zijn verdicht. Deze laag in dat geval na verdichten met een lichte trilplaat.
- In de praktijk dient de laagdikte mede te worden afgestemd op het type en de kwaliteit van de trilapparatuur, alsmede op de kwaliteit van het aanvulmateriaal en het te verdichten oppervlak. Ter indicatie onderstaande gegevens voor wat betreft de aan te wenden verdichtingsapparatuur.

Gewicht trilplaat [kN]	Centrifugekracht [kN]	Capaciteit [m ² /uur]	Laagdikte [m]
1,5 à 2	15	200	0,15
2 à 3,5	30	300	0,20
3,5 à 5	40	400	0,30

Controle verdichting

De kwaliteit en verdichting van de grondverbetering dient in overeenstemming te zijn met de uitgangspunten van het ontwerp. In het algemeen kan controle op de verdichting op de navolgende wijzen worden uitgevoerd:

- Handsonderingen in combinatie met handboor. Voordeel is dat de sonderingen op eenvoudige wijze kunnen worden verricht, zodat controle mogelijk is zowel gaande het werk alsook na afloop. Handsonderingen kennen daarentegen beperkingen voor wat betreft, het meetbereik (drukcapaciteit), de nauwkeurigheid van de gemeten conusweerstand en de diepte. Bovendien kunnen handsonderingen niet worden uitgevoerd beneden de grondwaterspiegel en in grofkorrelige pakketten. Handsonderingen dienen bij voorkeur niet tijdens of na hevige regen te worden uitgevoerd.
- Elektrische sonderingen. Voordeel is dat conusweerstand nauwkeurig worden gemeten en dat er geen beperking is voor wat betreft het meetbereik en de diepte in relatie tot de grondwaterstand. Deze sonderingen vereisen echter wel de inzet van materieel zoals bijvoorbeeld een truck of een minirupsvoertuig.
- Slagsonderingen. Voordeel is de geschiktheid voor metingen in bijvoorbeeld grofkorrelige en gestabiliseerde pakketten en de eenvoudige uitvoering met een compact mobiel apparaat zonder ballast of verankering. Een beperking kan zijn de geringere nauwkeurigheid.
- Plaatdrukproeven. Voordeel is dat deze methode niet alleen geschikt is voor zandlagen maar ook voor grofkorrelige en gestabiliseerde lagen met een dikte van ca. 0,3 tot 0,9 m. De methode geeft daarbij niet alleen inzicht in de verdichting maar ook in de beddingscoëfficiënt van de ondergrond. De proef leent zich daarmee ook voor de controle van de beddingscoëfficiënten die zijn aangehouden voor bijvoorbeeld een vloerberekening.
- Dichtheidsbepalingen overeenkomstig RAW-methodiek met behulp van steekringen, nucleaire meetapparatuur, zandvervangingsmethode e.d. Een beperking is de bewerkelijkheid van de uitvoering in relatie tot het beperkte volume dat wordt gecontroleerd. De methoden zijn meer gebruikelijk in de grond- en wegebouw en minder in de utiliteitsbouw.



In een grondverbetering bestaande uit verdicht zand worden over het algemeen de volgende weerstanden gemeten:

- Elektrische sonderingen met conusoppervlak 10 of 15 cm²: weerstand gelijkmatig oplopend met 1 MPa per 10 cm tot ten minste 10 MPa op 1,0 m diepte en minimaal 10 MPa in de diepere lagen.
- Handsonderingen met een conusoppervlak van 1 cm²: weerstand gelijkmatig oplopend met 1 MPa per 10 cm tot ten minste 6 MPa op 0,6 m diepte.
- Lichte slagsonderingen (valgewicht 10 kg): slagintensiteit (aantal slagen per 10 cm) gelijkmatig oplopend met 3 slagen per 10 cm tot ten minste 15 slagen per 10 cm op 0,5 m diepte.

Naast controle van de grondverbetering dient tevens de grondslag waarop de grondverbetering wordt aangebracht in de controle te worden betrokken. Afhankelijk van de situatie kan het raadzaam zijn om bij de beoordeling de kennis en ervaring van een geotechnisch adviseur te betrekken.

Grondwater/bemaling

Tijdens de werkzaamheden dient de put of sleuf droog te zijn. Bovendien dient de grondwaterstand zich buiten de invloedssfeer van de verdichtingsapparatuur te bevinden. Wanneer de grondwaterstand te hoog is, kan afhankelijk van de waterdoorlatendheid van het toegepaste zand, de ondergrond en de gebruikte verdichtingsapparatuur, een "drijfzand"-situatie ontstaan waardoor verdichting onmogelijk wordt.

Over het algemeen volstaat een grondwaterstand van 0,5 m beneden het werkniveau. Zo nodig moet een bemaling worden aangebracht

Bij een bemaling dient de grondwaterspiegel niet meer te worden verlaagd dan noodzakelijk. De verlaging dient te worden gehandhaafd tot het moment dat een stijging niet ten koste gaat van de kwaliteit van de grondverbetering.

Het onttrekken en lozen van grondwater is aan wet- en regelgeving gebonden. Daarbij geldt voor de bemaling evenals voor de graaf- en verdichtingswerkzaamheden dat deze geen negatieve effecten mogen veroorzaken voor de omgeving. Desgewenst kan ons bureau u hierover nader informeren.

Milieu

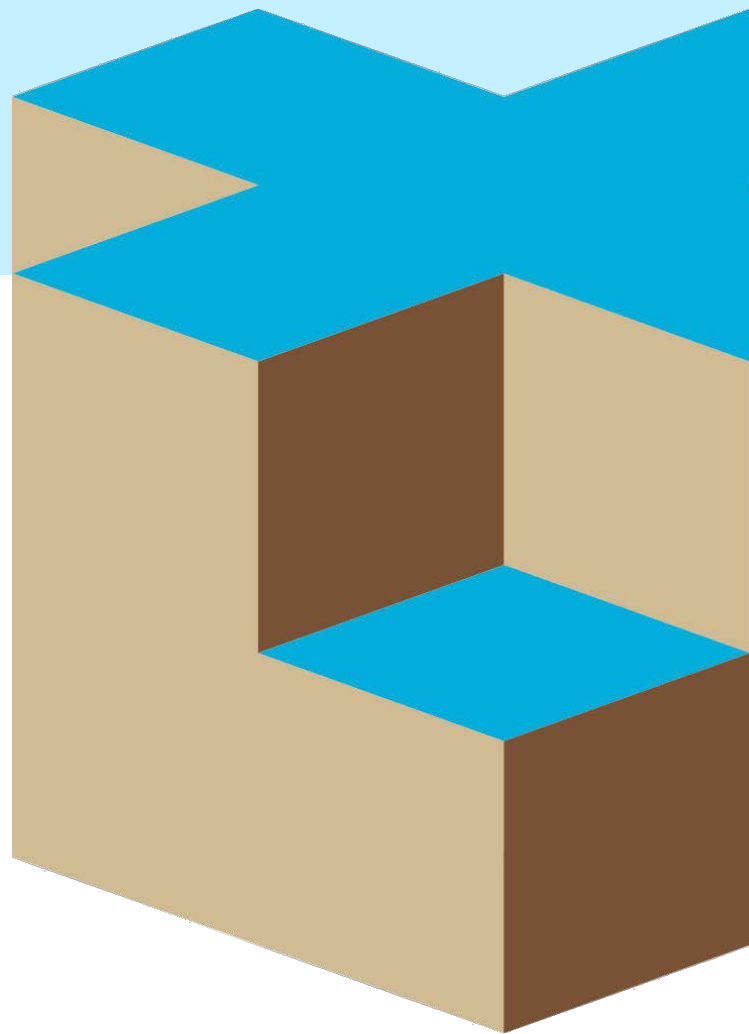
Er wordt op gewezen dat milieuaspecten mede met betrekking tot aan- en afvoer van grond, grondverbeteringsmateriaal en lozing van grondwater niet binnen het kader van deze opdracht vallen.

Tot slot

Voor meer richtlijnen wordt verwezen naar:

1. NEN 9997-1 (algemene regels geotechnisch ontwerp) en -2 (grondonderzoek en beproeving).
2. Standaard RAW,
3. Publicatieblad P25,
4. DIN18134-300 (plaatdrukproeven),
5. ISO22476 (lichte slagsonderingen)
6. CROW-rapport 05-01 (verdichtingscontrole via handsonderingen)

BIJLAGE J





Controle uitgangspunten

Voorafgaand aan de uitvoering moet worden gecontroleerd:

- de relatie tussen: maaiveldhoogte, werkhoogte, bouwpeil t.o.v. Ref/NAP,
- diameter avegaar en te realiseren paallengte in relatie tot grondonderzoek en funderingsadvies,
- overige relevante uitgangspunten geotechnische rapportages.

Uitvoering in relatie tot omgeving

Voor zover het in het advies niet aan de orde is gesteld, dient te worden nagegaan of de palen gemaakt kunnen worden zonder risico's voor bebouwing en infrastructuur in de omgeving. Hiertoe is informatie noodzakelijk omtrent de constructieve opbouw van bebouwing en infra en over de funderingswijze. Uiteraard is ook de bouwkundige staat van belang.

Werkerrein/bouwput

Het werkkerrein dient dermate droog en stabiel te zijn dat verantwoord kan worden gewerkt.

Voorkomen moet worden dat eenmaal gemaakte palen beschadigen doordat deze horizontaal worden belast door bijvoorbeeld het manoeuvreren van materieel of door graafwerk rond de paal. Dit geldt vooral bij gedeeltelijk gewapende palen.

Let op: in beginsel dienen de palen gemaakt te worden vanaf een zodanig werkniveau dat er geen potentiaalsprong is tussen de freatische grondwaterspiegel en de stijghoogte van het grondwater in dieper gelegen watervoerende lagen (hydrostatisch verloop vanaf het werkniveau).

De ondergrond dient vrij te zijn van obstakels en verstoringen die van invloed kunnen zijn op de uiteindelijke paalkwaliteit. De ligging van kabels en leidingen dient in beeld te zijn gebracht.

Uitvoering in relatie tot bodemopbouw

De aanwezigheid van slappe lagen beneden maaiveld legt beperkingen op aan de vervaardiging van avegaarpalen. Van belang is dat de uitvoerende partij aantoonbare expertise heeft in vergelijkbare grondslag. De expertise dient eruit te bestaan dat men de betonsamenstelling en uitvoering (wijze van trekken, treksnelheid en betontoevoer) weet af te stemmen op de beperkte steundruk van de boorgatwand. Dit om 1) het beton omhoog te kunnen krijgen en het oververbruik te beperken, 2) te komen tot een schachtdoorsnede die zich laat controleren door middel van akoestisch doormeten en 3) te komen tot een paalschacht via welke de belasting op de diepere zandlagen kan worden overgedragen.

Paalafstanden

Het maken van een paal mag de verse schacht van een naburige paal niet beïnvloeden. Wanneer twee palen onmiddellijk na elkaar worden vervaardigd moet volgens NEN-EN 1536 de onderlinge hart op hart afstand ten minste vier maal de paaldiameter bedragen met een minimum van 2 m. Een kleinere afstand is toegestaan indien de tijd tussen het maken van de nieuwe paal en de naburige paal zodanig lang is dat de naburige paal voldoende is uitgehard (minstens 4 uur).

Tijdens de uitvoering van de palen moet het niveau van de specie in de reeds gemaakte naburige paal worden gecontroleerd. Wanneer er nazakking of oppersing wordt geconstateerd, moet een andere uitvoeringsvolgorde of een langere verhardingstijd worden aangehouden. De paal waarbij oppersing of nazakking is geconstateerd moet, indien geen vervangende paal wordt gemaakt, na verharding worden gecontroleerd.

Overige uitvoeringsaspecten

- Op de avegaar moet een markering worden aangebracht waaruit de juiste paallengte kan worden afgeleid.
- De avegaar dient voordat met het boren wordt begonnen te worden gecontroleerd op rechtheid en rechtstand, dan wel op de juiste schoorstand. Tevens dient het functioneren van de klep aan de onderzijde van de avegaar te worden gecontroleerd.
- De volgorde van uitvoering dient zodanig te zijn dat door het aanbrengen van een paal, de positie, de draagkracht en de integriteit van nabij gelegen palen niet negatief wordt beïnvloed.



- De eerste paal moet zo dicht mogelijk bij of op een sondering worden gemaakt.
- Het inboren moet geleidelijk geschieden met zo min mogelijk opwaarts grondtransport. Hiervoor dient de boormotor voldoende vermogen te leveren opdat een zo gering mogelijke schraapfactor wordt verkregen.
- De schraapfactor is het aantal omwentelingen van de boor dat nodig is om de boor over de lengte van eenmaal de spoed te doen zakken. Als indicatie geldt dat een schraapfactor van 2 à 3 veelal voldoet.
- Zodra de avegaar op diepte is en gevuld is met beton onder voldoende overdruk mag, indien nodig, deze avegaar maximaal 0,1 meter worden gelicht om de deksel te lossen.
- De avegaar behoort tijdens het trekken óf dezelfde draairichting te hebben als bij het boren óf stil te staan.
- De treksnelheid dient in overeenstemming te zijn met de speciëtoevoer, zodanig dat een continu gevulde schacht verzekerd is. Met name in bodemlagen met een lage sondeerweerstand en een geringere stabiliteit van de boorgatwand is dit van belang.
- De betondruk moet gemeten en continu geregistreerd worden. Bij het meten aan de bovenzijde van de avegaar zal tijdens het trekken een continue overdruk van 10-20 kN/m² over het algemeen voldoende zijn. Bij toepassing van een avegaar met grote binnenbuisdiameter (type buisschroefpaal) dient de buis tot tenminste het werkniveau met beton gevuld te zijn.
- Na het vervaardigen van een paal moet de verwerkte hoeveelheid beton worden vergeleken met de berekende inhoud.
- Aan de hand van de opgeboorde grond ter plaatse van de punt wordt inzicht verkregen in grondsoort ter hoogte van het gekozen paalpuntniveau. Deze grond moet overeenkomen met hetgeen kan worden afgeleid uit het grondonderzoek.

Vastlegging uitvoeringgegevens

- Datum en nummer palenplan en overige relevante werktekeningen.
- Conditie werkterrein.
- Werkniveau t.o.v. Ref/NAP, aanwezigheid eventuele bemalingen.
- Ingezet materieel.
- Samenstelling boorploeg.
- Vermogen boormotor (oliedruk, toerental).
- Rechtheid avegaar, positie en functioneren van de klep.
- Boorvolgorde met data.
- Paaltype, schachtafmeting, paalpuntniveau en wapening(code).
- Samenstelling specie (sterkteklasse, milieuklasse, cementgehalte, hulpstoffen e.d.).
- Datum en tijdstip vervaardiging palen.
- Bereikt paalpuntniveau t.o.v. Ref/NAP.
- Schraapfactor per eenheid van diepte.
- Draaimoment en axiale druk per eenheid van diepte.
- Speciedrukstaten en plaats van meting per eenheid van diepte.
- Specieverbruik in relatie tot theoretisch paalvolume /mixerwissel.
- Inboor- en treksnelheid (begintijd en eindtijd boren en trekken).
- Wijze van trekken (draaiend of stilstaand).
- Opgeboorde grond ter plaatse van de paalpunt.
- Wijze afwerking paalkoppen.
- Bijzonderheden tijdens uitvoering (verschoven piketten, verloop van de avegaar, plaatsafwijkingen, scheefstand, onderbrekingen tijdens trekken of het niet lossen van de deksel en de vervolgens gehanteerde werkwijze, water en/of grond in de boorbuis, stagnatie tijdens uitvoering paal, mee omhoog trekken of wegzakken van de wapening, veranderingen in specieniveau van nabijgelegen palen, plaatsafwijkingen, welpalen, bleeding, rijp op de wapening e.d.).



Controle

Door middel van akoestisch doormeten dient de integriteit van palen te worden beoordeeld. Deze metingen kunnen desgewenst door ons bureau worden uitgevoerd vanaf 5 dagen na productie. De meetgegevens geven informatie over o.a. discontinuïteiten, zoals scheuren, insnoeringen en uitstulpingen, over de lengte van de paal en over de kwaliteit van de paalkop.

Aan palen waarbij tijdens de uitvoering bijzonderheden werden geconstateerd dient tijdens de kwaliteitscontrole extra aandacht te worden besteed. Visuele controle van de paalkop kan plaatsvinden door deze vrij te graven. Hiervoor dient de paal wel voldoende te zijn gewapend.

Indien twijfel bestaat ten aanzien van het draagvermogen van een paal kan afhankelijk van de situatie worden nagesondeerd binnen 1,0 m van de paal, of kan een paal worden proefbelast.

Boortoezicht

Gezien de vele factoren die het installatieproces en daarmee de kwaliteit van de palen kunnen beïnvloeden wordt geadviseerd om per project na te gaan of onafhankelijk deskundig boortoezicht gewenst is. Desgewenst kan toezicht door ons bureau worden verzorgd.

Milieu

Er wordt op gewezen dat milieu-aspecten met betrekking tot eventuele aan- en afvoer van grond en lozing van grondwater niet binnen het kader van deze opdracht vallen.

Tot slot

Voor meer algemene richtlijnen wordt verwezen naar:

- NEN-EN 1536 “uitvoering van bijzonder geotechnisch werk –boorpalen”,
 - CUR-aanbeveling 109 “akoestisch doormeten van betonnen funderingspalen”,
 - CUR 2004-1 “beoordelingssysteem voor de begaanbaarheid van bouwterreinen”,
 - CUR-aanbeveling 114 “toezicht op de realisatie van paalfunderingen”.
 - CROW Funderingshandboek
-
- NVN 6724 “in de grond gevormde funderingselementen van beton of mortel”, formeel ingetrokken.
 - BRL-2356 van het KIWA met bijlage A/B, formeel ingetrokken.

Juli 2022

INPIJN-BLOKPOEL SPECIALIST IN:

Grondonderzoek
Geotechnisch laboratoriumonderzoek
Geotechnisch advies

Geohydrologisch advies
Monitoring
Milieutechniek

Voor meer informatie zie: www.inpijn-blokpoel.com

Vestiging Son

Ekkersrijt 2058
5692 BA Son
(0499) 47 17 92
post@inpijn-blokpoel.com

Vestiging Groningen

Postbus 2601
9704 CP Groningen
(088) 012 18 00
noord@inpijn-blokpoel.com

Vestiging Waddinxveen

Mercuriusweg 18
2741 TA Waddinxveen
(0182) 61 00 13
west@inpijn-blokpoel.com

Vestiging Hoofddorp

Kromme Spieringweg 250B
2141 BR Vijfhuizen
(023) 565 57 78
hoofddorp@inpijn-blokpoel.com

