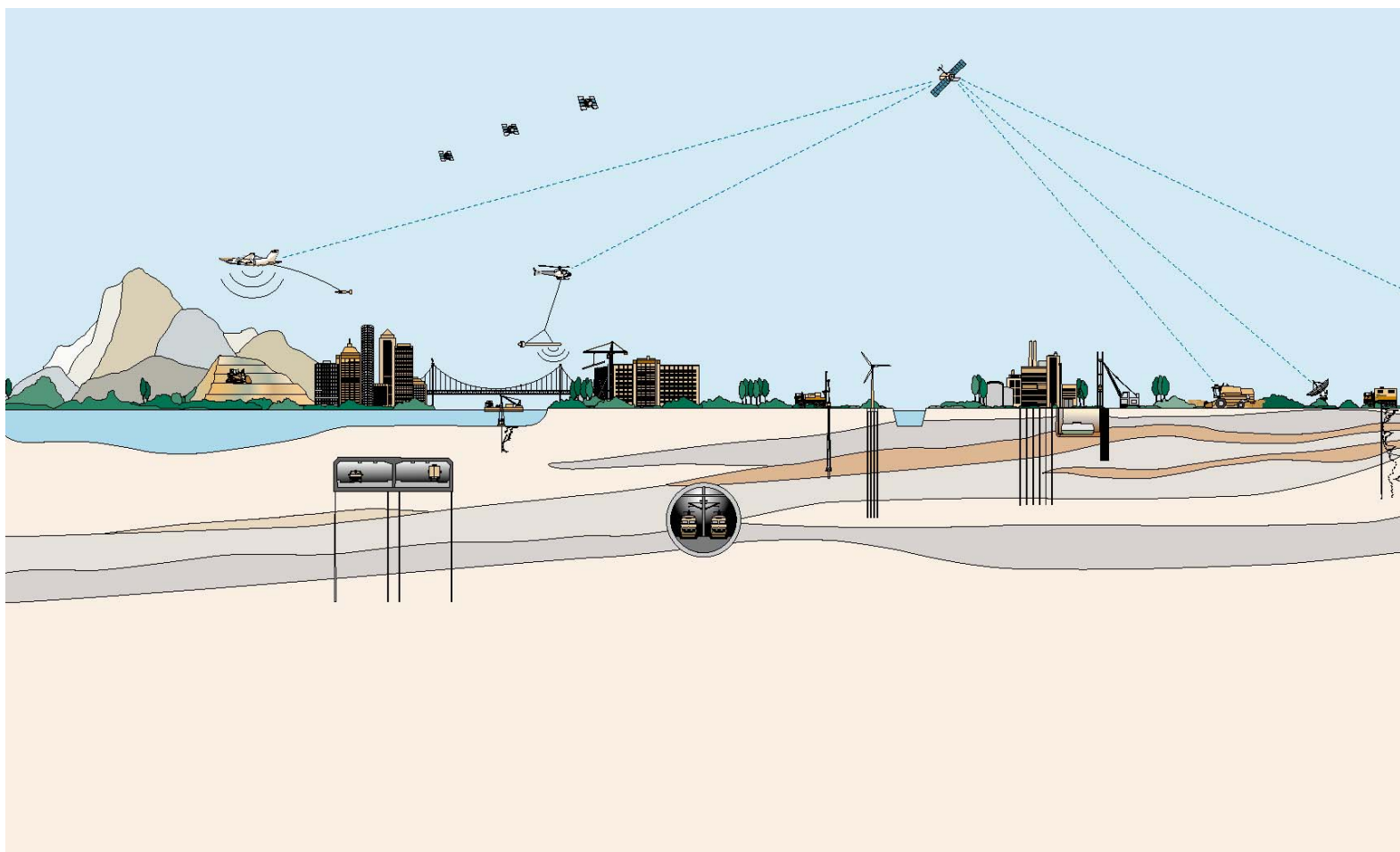


RAPPORT  
betreffende

**VERSTERKING MARKERMEERDIJK  
HOORN – AMSTERDAM**

**ACHTERGRONDRAPPORT  
GRONDPARAMETERS DIJKEN OP VEEN**

Opdrachtnummer: 1214-0007-040



RAPPORT  
betreffende

**VERSTERKING MARKERMEERDIJK  
HOORN – AMSTERDAM**

**ACHTERGRONDRAPPORT  
GRONDPARAMETERS DIJKEN OP VEEN**

Opdrachtnummer: 1214-0007-040

Opdrachtgever : Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier  
Postbus 250  
1700 AG HEERHUGOWAARD

Projectmanager : ing. J.P. Nelemans

Opgesteld door : ir. W.R. Halter  
ir. M. Hinborch  
ing. A.O. Aparicio Sáez  
ir. C. Briele

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
1	23 maart 2015	Analyse laboratoriumonderzoek - 1 <sup>e</sup> concept	
2	3 april 2015	Achtergrondrapport grondparameters, fase 1	
3	25 november 2015	Achtergrondrapport grondparameters, fase 2 concept	

FILE: 1214-0007-040.R07v3

<u>INHOUDSOPGAVE</u>	<u>Blz.</u>
1. INLEIDING	1
1.1. Leeswijzer	1
1.2. Beschikbare informatie en bronnen	2
2. BODEMOPBOUW	3
2.1. Schematisering bodemopbouw	3
2.2. Doorvertaling veenlagen	3
DEEL A – SCHUIFSTERKTE VEEN	4
3. CORRELATIE TUSSEN SCHUIFSTERKTE EN SONDEERWEERSTAND VEEN	5
3.1. Definitie van parameter	5
3.2. Schematisatie in Dijken op Veen-onderzoek Deltares	5
3.3. Bevindingen in aanvullend onderzoek Fugro	5
3.4. Verklaring verschillen DoV en aanvullend onderzoek	7
3.5. Voorstel tot aangepaste schematisatie	8
4. $S_U$ -RATIO VEEN	9
4.1. Definitie van parameter	9
4.2. Schematisatie in Dijken op Veen-onderzoek Deltares	9
4.3. Bevindingen in aanvullend onderzoek Fugro	10
4.4. Verklaring verschillen DoV en aanvullend onderzoek	11
4.5. Voorstel tot aangepaste schematisatie	11
5. STERKTETOENAME-FACTOR VEEN	12
5.1. Definitie van parameter	12
5.2. Schematisatie in Dijken op Veen-onderzoek Deltares	12
5.3. Bevindingen in aanvullend onderzoek Fugro	12
5.4. Verklaring verschillen DoV en aanvullend onderzoek	12
5.5. Voorstel tot aangepaste schematisatie	13
6. PRE-OVERBURDEN PRESSURE VEEN	14
6.1. Definitie van parameter	14
6.2. Schematisatie in Dijken op Veen-onderzoek Deltares	14
6.3. Bevindingen in aanvullend onderzoek Fugro	14
6.4. Verklaring verschillen DoV en aanvullend onderzoek	15
6.5. Voorstel voor schematisatie	15
DEEL B – SCHUIFSTERKTE KLEI	16
7. CORRELATIE TUSSEN SCHUIFSTERKTE EN SONDEERWEERSTAND KLEI	17
7.1. Definitie van parameter	17
7.2. Schematisatie in Dijken op Veen-onderzoek Deltares	17
7.3. Bevindingen in aanvullend onderzoek Fugro	17
7.4. Verklaring verschillen DoV en aanvullend onderzoek	17
7.5. Voorstel tot aangepaste schematisatie	17
8. $S_U$ -RATIO KLEI	18
8.1. Definitie van parameter	18
8.2. Schematisatie in Dijken op Veen-onderzoek Deltares	18
8.3. Bevindingen in aanvullend onderzoek Fugro	18
8.4. Verklaring verschillen DoV en aanvullend onderzoek	19

8.5. Voorstel tot aangepaste schematisatie	19
9. STERKTETOENAME-FACTOR KLEI	20
9.1. Definitie van parameter	20
9.2. Schematisatie in Dijken op Veen-onderzoek Deltares	20
9.3. Bevindingen in onderzoek Fugro	20
9.4. Verklaring verschillen DoV en aanvullend onderzoek	20
Niet van toepassing.	20
9.5. Voorstel voor schematisatie	20
10. PRE-OVERBURDEN PRESSURE KLEI	22
10.1. Definitie van parameter	22
10.2. Schematisatie in Dijken op Veen-onderzoek Deltares	22
10.3. Bevindingen in aanvullend onderzoek Fugro	22
10.4. Verklaring verschillen DoV en aanvullend onderzoek	23
Niet van toepassing.	23
10.5. Voorstel voor schematisatie	23
11. SCHUIFSTERKTE OPHOOGKLEI	24
11.1. Definitie van parameter	24
11.2. Schematisatie in Dijken op Veen-onderzoek Deltares	24
11.3. Bevindingen in aanvullend onderzoek Fugro	24
11.4. Voorstel tot aangepaste schematisatie	24
DEEL C – SCHUIFSTERKTE ZAND	26
12. SCHUIFSTERKTE ZAND	27
12.1. Definitie van parameter	27
12.2. Schematisatie in Dijken op Veen-onderzoek Deltares	27
12.3. Bevindingen in aanvullend onderzoek Fugro	27
12.4. Voorstel tot aangepaste schematisatie	28
DEEL D – SAMENVATTING EN DISCUSSIE	29
13. SAMENVATTING EN DISCUSSIE	30
13.1. Samenvatting grondparameters	30
13.2. Bepaling sterkte bij terreinspanning met t methodes	30
13.3. Meerwaarde van onderscheid tussen verschillende kleisoorten	31
13.4. Aanbevelingen voor vervolgonderzoek	32
<b><u>BIJLAGEN</u></b>	<b><u>Nr.</u></b>
- Doorvertaling veenlagen	1214-0007-040.R12v2-1
- Analyse uitschieters $N_{kt}$ en $N_b$ factoren	2
- Correlatie schuifsterkte en sondeerweerstand veen	3
- Analyse van verschillen tussen gevoelige conus en klasse 1-sonderingen (R14)	4
- Correlatie schuifsterkte en sondeerweerstand klei	5
- Vergelijking sterktebepaling met en zonder sonderingen	6
- Invloed kleisoort op $N_{kt}$ - en $N_b$ -factoren	7

## 1. INLEIDING

In 2014 en 2015 is op een aantal ijkvelden en bij peilbuislocaties aanvullend grond- en laboratoriumonderzoek uitgevoerd ten behoeve van de implementatie van het rekenmodel uit Dijken op Veen voor de versterking van de Markermeerdijk. In voorliggend rapport worden de resultaten van het laboratoriumonderzoek geanalyseerd. Deze worden vergeleken met de eerder door Deltares gevonden resultaten en er wordt geprobeerd om eventuele verschillen te verklaren. Op basis van de analyse worden de gekozen uitgangspunten voor de verschillende rekenparameters voor Dijken op Veen gegeven.

### 1.1. Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de schematisatie van de bodemopbouw voor Dijken op Veen. Vervolgend is aan elke rekenparameter een apart hoofdstuk gewijd (hoofdstukken 3 t/m 12). Elk hoofdstuk is op een vaste manier ingedeeld. Eerst wordt de parameter toegelicht. Daarna wordt aangegeven hoe Deltares deze heeft afgeleid in het Dijken op Veen-onderzoek. Daarna worden de resultaten van Fugro samengevat en wordt een onderlinge vergelijking gemaakt. Verschillen kunnen leiden tot een aangepaste schematisatie van de parameters. Per parameter wordt hiervoor een voorstel gedaan. In dit rapport zijn achtereenvolgens de volgende parameters beschouwd:

#### Deel A – Schuifsterkte veen

- De  $N_{kt}$ - en  $N_b$ -factor van veen. Deze zijn herleid uit de correlatie tussen de sondeerweerstand en de DSS-proeven bij terreinspanning.
- De  $s_u$ -ratio's van veen. Deze zijn herleid uit de DSS-proeven bij 1,5 of 2x de grensspanning.
- De sterktoename-factor van veen. Deze is herleid uit de samendrukkingsproeven.
- De pre-overburden pressure van klei. Deze is herleid uit samendrukkingsproeven.

#### Deel B – Schuifsterkte klei

- De  $N_{kt}$ - en  $N_b$ -factor van klei. Deze zijn herleid uit de correlatie tussen de sondeerweerstand en de triaxiaalproeven bij terreinspanning.
- De  $s_u$ -ratio's van klei. Deze zijn herleid uit triaxiaalproeven bij 2x de grensspanning..
- De sterktoename-factor van klei. Deze is herleid uit de samendrukkingsproeven.
- De pre-overburden pressure van klei. Deze is herleid uit samendrukkingsproeven.
- De schuifsterkte van ophoogklei. Deze is afgeleid uit de gedraineerde schuifsterkte.

#### Deel C – Schuifsterkte zand

- De schuifsterkte van zand. Deze is afgeleid uit literatuur.

#### Deel D – Samenvatting en discussie

- De rekenparameters worden samengevat.
- Er wordt een vergelijking gemaakt tussen twee methodes om de sterkte bij terreinspanning te bepalen.
- De meerwaarde van onderscheid tussen verschillende kleisoorten wordt beschouwd.
- Er worden aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek.

Voor de Oeverdijk zijn ook parameters voor het CSSM-model bepaald met grondonderzoek. Deze zijn separaat gerapporteerd.

## 1.2. Beschikbare informatie en bronnen

De grondparameters zijn gebaseerd op het volgende aanvullende grond- en laboratoriumonderzoek:

- Geotechnisch veldwerk betreffende versterking Markermeerdijk Hoorn – Amsterdam, 8 deelrapport, één per ijkveld/traject, kenmerk 1214-0007-010, 2014 - 2015.
- Geotechnisch veldwerk betreffende monitoring belendingen Markermeerdijk, kenmerk 1214-0007-010, 10 augustus 2015.
- Resultaten van aanvullend laboratoriumonderzoek op veen en klei t.b.v. implementatie Werkwijze Dijken op Veen, 2015.

De volgende rapporten met betrekking tot de grondparameters voor Dijken op Veen zijn eerder door Fugro uitgebracht:

- [1] Ongedraineerde sterkteparameters van klei Markermeerdijk Hoorn – Edam – Amsterdam, kenmerk 1214-0007-000.R02/WRH, Fugro GeoServices B.V., 18 juli 2014.
- [2] Implementatie Dijken op Veen, Analyse laboratoriumonderzoek, 1<sup>e</sup> concept, kenmerk 1214-0007-040.R07, Fugro GeoServices B.V., 12 december 2014.
- [3] Versterking Markermeerdijk Hoorn – Amsterdam (analyse DSS-proeven), 27 januari 2015.
- [4] Doorvertaling grondlagen in dwarsprofiel o.b.v. grondonderzoek Dijken op Veen, kenmerk 1214-0007-040.R12, Fugro GeoServices B.V., 3 februari 2015.
- [5] Correlatie triaxiaalproeven aan sonderingen voor Markermeerdijkklei, kenmerk 1214-0007-040.R24v02/WRH, 11 november 2015.

Er is gebruik gemaakt van de volgende documenten van Deltares:

- [6] Dijken op Veen II Veenprotocol, kenmerk 1208254-013-GEO-0001, oktober 2013.
- [7] Dijken op Veen II Eindrapport Heterogeniteit, versie 01, kenmerk 1208254-019-GEO-0001, Deltares, 30 april 2014.
- [8] Dijken op Veen II DoV werkwijze voor bepaling Macrostabieliteit Markermeerdijk, versie 3, kenmerk 1208254-032-GEO-0001, 2 december 2014.

## **2. BODEMOPBOUW**

### **2.1. Schematisering bodemopbouw**

Voor de bodemopbouw wordt uitgegaan van de schematisatie zoals deze gehanteerd is in de gedraineerde berekeningen voor het dijkontwerp. Op basis van de boringen en sonderingen uit het aanvullende Dijken op Veen-onderzoek wordt de bodemopbouw, waar nodig, aangepast. Voor de aanwezige veenlagen wordt een verder onderscheid gemaakt in veen, gyttja en detritus. Hiervoor wordt de geavanceerde classificatie van de boringen uit het Dijken op Veen-onderzoek gebruikt.

### **2.2. Doorvertaling veenlagen**

In de werkwijze Dijken op Veen wordt onderscheid gemaakt tussen zand, klei, veen, gyttja en detritus. Dit onderscheid wordt direct in kaart gebracht door boringen met een geavanceerde classificatie volgens het Deltaresprotocol [6]. Deze boringen zijn echter niet bij elke sondering en over de volledige dikte van het slappe lagenpakket uitgevoerd. Daarom moet een deel van de grondlagen worden geschematiseerd met standaard sonderingen en/of boringen. Dit gaat gepaard met onzekerheden.

In Fugro rapport 1214-0007-040.R12 (3 februari 2015) is beschreven hoe de laagtoekenning zo precies mogelijk kan worden uitgevoerd op basis van de beschikbare informatie. Een tweede versie van deze rapportage (1214-0007-040.R12v2) is opgenomen in bijlage 1.

## DEEL A – SCHUIFSTERKTE VEEN



### 3. CORRELATIE TUSSEN SCHUIFSTERKTE EN SONDEERWEERSTAND VEEN

#### 3.1. Definitie van parameter

Er is een verband tussen de sterkte van veen en de sondeerweerstand uit een sondering. Dit verband wordt beschreven met de N-factor. Verondersteld wordt dat er een lineair verband is tussen de ongedraineerde schuifsterkte ( $s_u$ ) van veen en de sondeerweerstand ( $q$ ). De  $N_b$ -factor is de verhouding tussen de weerstand van een bolsonde en de ongedraineerde schuifsterkte. De  $N_{kt}$ -factor is de verhouding tussen de conusweerstand van een klasse 1-sondering en de ongedraineerde schuifsterkte. De ongedraineerde schuifsterkte wordt in het laboratorium bepaald in een DSS-proef bij terreinspanning op een monster van dezelfde locatie als waar de sondering is gemaakt.

#### 3.2. Schematisatie in Dijken op Veen-onderzoek Deltares

Deltares heeft in haar Eindrapport Heterogeniteit [7] een  $N_b$ -factor afgeleid van 18,2 op basis van 53 DSS-testen in het achterland. De variatiecoëfficiënt bedraagt daarbij 0,28.

Er is een  $N_{kt}$ -factor afgeleid van 14,6 met een variatiecoëfficiënt van 0,25 op basis van 48 DSS-testen in de kruin en de berm.

Daarnaast is een regionale variatiecoëfficiënt toegepast van 0,14.

#### 3.3. Bevindingen in aanvullend onderzoek Fugro

Ter bepaling van de  $N_{kt}$  en  $N_b$  factor zijn in totaal 266 DSS proeven op veen uitgevoerd. Daarnaast zijn gevoelige conus sonderingen uitgevoerd om een correlatie te kunnen maken tussen de (netto) conusweerstand en de schuifsterkte van het veen zoals bepaald door middel van de DSS proeven. Vergelijking tussen de gemeten netto conusweerstand en de schuifsterkte levert een  $N_{kt}$  factor op in het geval van klasse-1 sonderingen en een  $N_b$  factor in het geval van bolsonderingen. De klasse-1 sonderingen zijn uitgevoerd op de binnenberm en kruin van de waterkering, de bolsonderingen ter plaatse van het achterland, het voorland of het water van het Markermeer.

Uit de DSS proeven is per monster de maximale  $s_u$  waarde bepaald en voor elk monster is op basis van een naastgelegen klasse 1-sondering of bolsondering de conusweerstand ( $q_{net}$  of  $q_{ball}$ ) op de diepte van het genomen monster bepaald.

Aan de hand van de conusweerstand en de maximale  $s_u$  waarde is per monster een  $N_{kt}$  of  $N_b$  factor bepaald. In de berekeningen voor het dijkontwerp wordt gebruik gemaakt van de gemiddelde waarde.

Voor het bepalen van de N-factoren zijn niet alle 266 DSS proeven gebruikt. In eerste instantie zijn de volgende DSS proeven buiten beschouwing gelaten:

- 16 DSS proeven die zijn uitgevoerd bij 1,5x de grensspanning;
- 12 DSS proeven die op de locatie binnenberm zijn uitgevoerd van het IJkveld Floriskoog. Er wordt voor gekozen deze proeven buiten beschouwing te laten, aangezien er onnauwkeurigheden zitten in de bepaling van de terreinspanning waardoor deze te laag is ingeschat;
- 4 monsters zijn na uitvoering van de proef geclassificeerd als klei en worden als zodanig niet meegenomen in de analyse. Eén van de monsters is afkomstig van de binnenberm-locatie van het IJkveld Floriskoog en zou om die reden al niet worden meegenomen.

- 14 monsters waar geen gegevens van de conusweerstand op de betreffende diepten van de DSS proefstukken beschikbaar zijn.

Later is bij 18 monsters een afwijkend consolidatieverloop vastgesteld (zie ook memo: 1214-0007-012.M02 en verslag overleg 17-02-2015: 1214-0007-012.M03). Deze monsters (deels overlappend met al uitgesloten monsters) zijn ook buiten beschouwing gelaten.

Op basis van bovenstaande zijn 203 DSS proeven meegenomen ter bepaling van de gemiddelde  $N_{kt}$  en  $N_b$  factor. Uit een nadere analyse is gebleken dat enkele monsters een opvallend hoge of lage  $N_{kt}$  of  $N_b$  factor hebben ten opzichte van het gemiddelde. Daarom is een statistische analyse uitgevoerd, waarbij gezocht is naar een statistische en/of fysische verklaring van de uitschieters in de N-factoren. De resultaten van de analyse zijn gegeven in bijlage 2.

Op basis van de analyse zijn 6 monsters niet meegenomen bij de uiteindelijke bepaling van de N-factoren. Bij deze 6 monsters is een duidelijke fysische verklaring gevonden voor de hoge of lage N-waarde. Hiervan is 1 monster genomen in de kruin, dus weglaten hiervan heeft invloed op de  $N_{kt}$  factor. De andere 5 monsters zijn genomen in het achterland, voorland of water. Deze hebben invloed op de  $N_b$  factor.

In onderstaande tabel 3-1 zijn de  $N_{kt}$  en  $N_b$  factoren gepresenteerd, met en zonder afwijkende proeven. In de tabel zijn ook de variatiecoëfficiënten  $VC_{N_{kt}}$  en  $VC_{N_b}$  gegeven.

Tabel 3-1:  $N_{kt}$  en  $N_b$  factoren en

Aantal monsters	Gevoelige conus-sonderingen		Bolsonderingen	
	$N_{kt}$	$VC_{N_{kt}}$	$N_b$	$VC_{N_b}$
219 proeven, incl. afwijkend consolidatieverloop	17,3	0,52	21,3	0,50
203 monsters, excl. afwijkend consolidatieverloop met uitschieters	16,4	0,43	20,4	0,47
197 monsters, excl. afwijkend consolidatieverloop, zonder de 6 uitschieters	<b>15,8</b>	<b>0,40</b>	<b>19,8</b>	<b>0,44</b>

Als de afwijkende proeven en de uitschieters worden weggelaten vindt Fugro een  $N_b$ -factor van 19,8 op basis van 141 DSS-testen in het achterland, het voorland en het water. Dit is circa 10% hoger dan in het Eindrapport Heterogeniteit [7], ofwel 10% lagere sterkte bij een gelijke sondeerweerstand. De variatiecoëfficiënt is ongeveer 60% groter, wat duidt op een grotere spreiding in de  $N_b$ -factor.

Er is een  $N_{kt}$ -factor afgeleid van 15,8 op basis van 56 DSS-testen in de kruin en de berm. Dit is circa 10% hoger dan in het Eindrapport Heterogeniteit [7], ofwel 10% lagere sterkte bij een gelijke sondeerweerstand. De variatiecoëfficiënt is ongeveer 60% groter, wat duidt op een grotere spreiding in de  $N_{kt}$ -factor.

In bijlage 3 zijn grafieken voor de correlatie tussen de sondeerweerstand en ongedraineerde schuifsterkte weergegeven. Daarin is tevens onderscheid gemaakt naar ijkveld, laboratorium, veensoort en locatie in de dijk.

Er is verder globaal gecontroleerd of de regionale variatiecoëfficiënt moet worden aangepast op basis van het aanvullende grondonderzoek. Er geldt:

$$VC_{\text{regionaal}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_{\text{sonderingen}}} \sum_{j=1}^{n_{\text{metingen};i}} \left( \frac{q}{N \times s_{u,\text{gelineariseerd};i}} - 1 \right)^2}{\sum_{i=1}^{n_{\text{sonderingen}}} n_{\text{metingen};i}}}$$

- $VC_{\text{regionaal}}$  = variatiecoëfficiënt op de ruimtelijke variabiliteit.  
 $n_{\text{sonderingen}}$  = het aantal sonderingen, die gekoppeld zijn aan een nabijgelegen boring.  
 $n_{\text{metingen};i}$  = het aantal gebruikte metingen per sondering, in de veen laag. Gemeten om de 0,02 m.  
 $q$  = de conusweerstand op de diepte van het genomen monster.  
 $N$  = de gemiddelde  $N_{kt}$  of  $N_b$  factor.  
 $s_{u,\text{gelineariseerd};i}$  = de gemiddelde conusweerstand per sondering in de veenlaag.

Op basis van het Eindrapport Heterogeniteit [5] is een waarde  $VC_{\text{regionaal}} = 0,14$  aangehouden.

De gevoeligheid van de parameter is globaal beschouwd met de volgende resultaten:

- Een 2x zo hoge waarde van  $VC_{\text{regionaal}}$  leidt tot afname van de  $s_u$ -waarden met 5 à 10%
- Een 4x zo hoge waarde van  $VC_{\text{regionaal}}$  leidt tot afname van de  $s_u$ -waarden met ca. 25%
- Een 2x zo lage waarde van  $VC_{\text{regionaal}}$  leidt tot toename van de  $s_u$ -waarden met ca. 2%

Er wordt verwacht dat door uitmiddeling per sondering (overschatting en onderschatting) per saldo de waarde op basis van het aanvullend qua orde grootte gelijk zal zijn aan de waarde die door Deltares is afgeleid. De invloed op de sterkte van veen is dan zeer beperkt. Voor de regionale spreiding wordt daarom  $VC_{\text{regionaal}} = 0,14$  aangehouden.

### 3.4. Verklaring verschillen DoV en aanvullend onderzoek

In het algemeen kunnen de volgende mogelijke verklaringen worden gegeven voor de verschillen tussen het Eindrapport Heterogeniteit [7] en de later uitgevoerde correlatiestudie:

- De boringen zijn verspreid over meerdere locaties. Nieuw is, dat er monsters zijn gestoken in het voorland en in de waterbodem. Bovendien zijn er meer ijkvelden beschouwd. Uit de analyse van de data blijkt dat het ijkveld of de locatie ten opzichte van de dijk van significante invloed kunnen zijn op de correlatiefactor. Dit is overigens geen nieuw inzicht, want uit de bestaande proevenverzameling blijkt ook dat er locatie-afhankelijke variaties in sterkte aanwezig zijn.
- De verhouding tussen het aantal veenmonsters en gyttjamonsters was mogelijk anders. Uit de analyse van de data blijkt dat het veentype van invloed kan zijn op de correlatiefactor.
- Er kan een verschil zijn in de monsternamen en/of -behandeling. Eerder werd de Begemann-boortechiek toegepast, nu is er gepulst en zijn de monsters gestoken door middel van piston sampling. Het kan niet worden uitgesloten dat de kwaliteit van de verschillende monsters en de nauwkeurigheid van de verschillende proeven anders zijn. Hier zijn echter geen concrete aanwijzingen voor.

Specifiek voor de  $N_{kt}$ -factoren kunnen nog de volgende verklaringen worden genoemd:

- Bij het dijklichaam is het lastiger om precies de terreinspanning te bepalen dan naast de dijk. Door Deltares zijn de terreinspanningen op een andere wijze bepaald dan door Fugro door elke monsterbus apart te wegen. Fugro heeft gebruik gemaakt van de proevenverzameling uit eerder onderzoek gecombineerd met volume gewicht-bepalingen op diverse monsters. Dit verschil in aanpak was een bewuste, vooraf gemaakte keuze,

die relatie houdt met de keuze van de boor- en monsternamemethode en het aantal te beproeven monsters.

- Er kan een systematisch verschil zitten tussen de DSS-proeven van Fugro en Deltares bij hoge consolidatiespanningen. Daarbij worden "hoge consolidatiespanningen" met nadruk genoemd, omdat er bij de bolsonderingen bij lage consolidatiespanningen geen significante verschillen worden gevonden in de trendlijnen. Er zijn echter geen concrete aanwijzingen voor verschillen.
- Naar aanleiding van de evaluatie van de klasse 1-sonderingen (ofwel gevoelige conus sonderingen) uit het DoV-onderzoek is de werkwijze op details aangepast. Mogelijk zijn de klasse-1 sonderingen op een andere manier uitgevoerd of verwerkt, dan in de eerdere fase waardoor andere correlaties worden gevonden met DSS-resultaten.

In bijlage 4 is een vergelijking gemaakt tussen gevoelige conus sonderingen en klasse 1-sonderingen.

### **3.5. Voorstel tot aangepaste schematisatie**

Voorgesteld wordt om de  $N_b$ -factoren en  $N_{kt}$ -factoren met bijbehorende variatiecoëfficiënten van Fugro over te nemen, omdat deze zijn bepaald op basis van een grotere en representatievere verzameling DSS-proeven en omdat deze zijn gekoppeld aan de sonderingen die voor de implementatie zullen worden gebruikt. Dit is een veilige aanpak, omdat dit leidt tot lagere veensterktes dan de  $N_b$ -factoren en  $N_{kt}$ -factoren uit het DoV-onderzoek.

De proeven met een afwijkend consolidatieverloop en de fysisch verklaarbare uitschieters worden buiten beschouwing gelaten. Dit leidt tot een  $N_{kt}$ -factor van 15,8 met een variatiecoëfficiënt van 0,40 en een  $N_b$ -factor van 19,8 met een variatiecoëfficiënt van 0,44.

De regionale variatiecoëfficiënt wordt niet aangepast, hiervoor wordt de door Deltares afgeleide waarde van 0,14 aangehouden.

## 4. S<sub>u</sub>-RATIO VEEN

### 4.1. Definitie van parameter

De sonderingen die bij de huidige situatie zijn uitgevoerd, zijn als gevolg van de verwachte spanningstoename niet geschikt om de sterkte van de toekomstige, te ontwerpen, situatie vast te stellen. In plaats daarvan wordt uitgegaan van laboratoriumproeven, waarbij de schuifsterkte-ratio voor normaal geconsolideerde condities is bepaald. Aan de hand van de s<sub>u</sub>-ratio S wordt de rekenwaarde van de ongedraineerde schuifsterkte s<sub>u</sub> voor de toekomstige situatie vastgesteld. De s<sub>u</sub>-ratio is de verhouding tussen de ongedraineerde schuifsterkte en de consolidatiespanning.

### 4.2. Schematisatie in Dijken op Veen-onderzoek Deltares

De schuifsterkte-ratio wordt bepaald aan de hand van DSS-proeven waarbij de consolidatiespanning ruim boven de oorspronkelijke grensspanning ligt. De schuifsterkte-ratio wordt, conform de DoV werkwijze [8], als volgt bepaald:

$$S = \left( \frac{s_u}{\sigma'_{vc}} \right)_{nc}$$

Met: S = s<sub>u</sub>-ratio [-]  
 s<sub>u</sub> = ongedraineerde schuifsterkte [kN/m<sup>2</sup>]  
 σ'<sub>vc</sub> = verticale consolidatiespanning toegepast in de proef [kN/m<sup>2</sup>]

Op basis van meerdere laboratoriumproeven wordt een proevenverzameling opgesteld, op basis waarvan de verwachtingswaarde en standaardafwijking van de s<sub>u</sub>-ratio worden bepaald. Verondersteld wordt de beschouwde parameter lognormaal is verdeeld. Dit wordt als een toepasselijkere verdeling gezien dan een normale verdeling, omdat een schuifsterkteparameter hierin geen negatieve waarde kan hebben. Vervolgens wordt de karakteristieke waarde als volgt bepaald:

$$\ln(S_{kar}) = \ln(S_{gem} - T^{n-1} \sigma_S \sqrt{\frac{1}{n} + \Gamma^2})$$

Met: S<sub>kar</sub> = karakteristieke 95% ondergrenswaarde van s<sub>u</sub>-ratio S [-]  
 S<sub>gem</sub> = gemiddelde waarde van s<sub>u</sub>-ratio S [-]  
 T<sup>n-1</sup> = student T factor voor n-1 vrijheidsgraden [-]  
 n = aantal proeven [-]  
 σ<sub>S</sub> = standaardafwijking van S [kN/m<sup>2</sup>]  
 Γ<sup>2</sup> = spreidingsreductiefactor, Γ<sup>2</sup> = 0,25 [-]

Uiteindelijk kan de rekenwaarde van de ongedraineerde schuifsterkte, die in de berekeningen wordt toegepast, worden bepaald met:

$$S_d = \frac{S_{kar}}{\gamma_m}, \quad s_{u,d} = S_d \cdot \sigma'_{vu}$$

Met: S<sub>d</sub> = rekenwaarde van s<sub>u</sub>-ratio S [-]  
 s<sub>u,d</sub> = rekenwaarde van de ongedraineerde schuifsterkte s<sub>u</sub> [kN/m<sup>2</sup>]  
 γ<sub>m</sub> = materiaalfactor [-]  
 σ'<sub>vu</sub> = verticale effectieve spanning na realisatie van de dijkverzwaring onder

### dagelijkse omstandigheden

In de documenten van Deltares is geen uitwerking gegeven van de  $s_u$ -ratio voor het ontwerp. In het rapport met voorbeeldberekeningen worden de volgende waarden toegepast voor het ontwerp:

- Uitdam Noord:  $S_{kar} = 0,51$  voor veen A en  $S_{kar} = 0,52$  voor veen A2/A3
- Uitdam Zuid:  $S_{kar} = 0,48$  voor veen A en  $S_{kar} = 0,59$  voor veen kleilig/gyttja/detritus

Verder zijn door Deltares de resultaten van DSS-proeven uit het DoV onderzoek voor Katwoude beschikbaar gesteld. Op basis hiervan is de volgende waarde van de  $s_u$ -ratio berekend:

- Katwoude:  $S_{gem} = 0,49$  en  $S_{kar} = 0,47$  voor veen

### 4.3. Bevindingen in aanvullend onderzoek Fugro

Ten behoeve van het dijkversterkingsontwerp dient de  $s_u$ -ratio bepaald te worden. Hiervoor is een analyse uitgevoerd van de  $s_u$ -ratio uit de volgende 21 DSS-proeven:

- 11 proeven door Fugro uitgevoerd bij aanvullend onderzoek Fugro;
- 4 proeven door Deltares uitgevoerd bij aanvullend onderzoek Fugro;
- 6 proeven door Deltares uitgevoerd voor het Dijken op Veen onderzoek.

In tabel 4.1 zijn de berekende gemiddelde en karakteristieke waarden van S gegeven. Hierbij is onderscheid gemaakt naar grondsoort (detritus, gyttja en veen). Daarnaast is voor alle grondsoorten bij elkaar onderscheid gemaakt naar laboratorium (Fugro, Deltares).

Tabel 4-1: Vergelijking  $s_u$ -ratio detritus, gyttja en veen

Grondsoort	Laboratorium	Aantal proeven	$s_u$ -ratio $S_{gem}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$s_u$ -ratio $S_{kar}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Aanvullend onderzoek:				
Detritus	Fugro/Deltares	10	0,41 (SD=0,04)	0,37
Gyttja	Fugro/Deltares	10	0,36 (SD=0,09)	0,27
Veen	Fugro/Deltares	15	0,53 (SD=0,10)	0,43
Onderzoek DoV:				
Veen	Deltares DoV	6	0,49	0,47
SD = Standaarddeviatie				

Uit de analyse van de proefresultaten blijkt dat er een grote spreiding is in de  $s_u$ -ratio. De karakteristieke waarde van S varieert van 0,27 (gyttja) tot 0,43 (veen). Verder vallen de volgende punten op:

- Vooral bij gyttja is een grote spreiding te zien is. Dit leidt tot een lage karakteristieke waarde van S.
- De waarden van S voor detritus en gyttja zijn lager dan voor veen. Dit leidt tot een lagere sterkte voor detritus en gyttja.
- De proeven die door Deltares voor het DoV onderzoek zijn uitgevoerd, zijn uitgevoerd bij een lage consolidatiespanning. De spreiding in de proefresultaten is klein, wat leidt tot een karakteristieke waarde die dicht bij het gemiddelde ligt.
- De spreiding in de proeven die door Fugro en Deltares zijn uitgevoerd bij het aanvullend onderzoek is relatief groot.

#### 4.4. Verklaring verschillen DoV en aanvullend onderzoek

Zowel door Fugro als door Deltares zijn DSS-proeven uitgevoerd. De volgende verschillen worden gevonden:

- De proeven die door Deltares uit het DoV-onderzoek beschikbaar zijn gesteld, zijn allemaal op dezelfde locatie (Katwoude) uitgevoerd. De consolidatiespanning en  $s_u$  liggen voor deze proeven heel dicht bij elkaar. Hierdoor is de spreiding klein, wat leidt tot een karakteristieke waarde van  $S$  die dicht bij het gemiddelde ligt.
- De karakteristieke waarden van  $S$  die in het voorbeeldrapport van Deltares zijn gegeven ( $S_{kar} = 0,48$  à  $0,52$  voor veen en  $S_{kar} = 0,59$  voor gyttja/detritus), zijn significant hoger dan de waarden die bij het aanvullende onderzoek worden gevonden ( $S_{kar} = 0,43$  voor veen en  $S_{kar} = 0,27$  en  $0,37$  voor respectievelijk gyttja/detritus). Vooral het verschil bij gyttja/detritus is opvallend, aangezien door Deltares hogere waarden dan voor veen worden gevonden en door Fugro juist lagere waarden.

De volgende verklaringen kunnen de verschillen tussen Dijken op Veen en het aanvullende grondonderzoek mogelijk verklaren:

- De proeven voor het aanvullende onderzoek zijn op meerdere locaties uitgevoerd en er zijn meer proeven uitgevoerd. Hierdoor is ook een grotere spreiding in de resultaten te verwachten. De waarden uit de voorbeeldberekeningen zijn bepaald per locatie, zodat de spreiding waarschijnlijk kleiner is.
- De DSS-proeven voor DoV zijn uitgevoerd bij 2x de grensspanning, de proeven uit het aanvullende onderzoek deels bij 1,5x de grensspanning. In principe hoort dit niet tot grote verschillen in de waarde van  $S$  te leiden, aangezien deze constant is boven de grensspanning. Het kan echter zijn dat dit, onder andere door onzekerheid in de bepaling van de grensspanning, wel tot verschillen leidt.
- De spreiding in de proeven die door Deltares zijn uitgevoerd voor het aanvullend onderzoek is groter dan in de proeven voor DoV. Dit kan mogelijk voortkomen uit een verschil in de monsternamen en/of -behandeling. Het kan niet worden uitgesloten dat de kwaliteit van de verschillende monsters en de nauwkeurigheid van de verschillende proeven anders zijn. Hier zijn echter geen concrete aanwijzingen voor [6].

#### 4.5. Voorstel tot aangepaste schematisatie

Voorgesteld wordt om karakteristieke waarden uit het aanvullend grondonderzoek mee te nemen, omdat dit gebaseerd is op veel meer proeven van meer verspreide locaties dan het Dijken op Veen-onderzoek:

Detritus:	$S_{kar} = 0,37$
Gyttja:	$S_{kar} = 0,27$
Veen:	$S_{kar} = 0,43$

## 5. STERKTETOENAME-FACTOR VEEN

### 5.1. Definitie van parameter

In het Dijken op Veen rekenmodel wordt het verloop van de sterkte van veen voor korrelspanningen lager dan de grensspanning onder andere bepaald door de m-waarde, ofwel de sterkte toename factor. De sterkte toename factor kan worden bepaald uit samendrukkingsproeven.

### 5.2. Schematisatie in Dijken op Veen-onderzoek Deltares

De variatie op de m-waarde, bepaald uit samendrukkingsproeven, is laag en niet veensoort afhankelijk. Er wordt een gemiddelde waarde gevonden van circa 0,77. Er wordt een laag karakteristieke waarde van 0,723 voorgesteld.

### 5.3. Bevindingen in aanvullend onderzoek Fugro

De tot 2014 door Fugro uitgevoerde samendrukkingsproeven zijn vooral gericht op het bepalen van samendrukkingsparameters voor de bij de versterking van de Markermeerdijk verwachte ophogingen. De hierin gehanteerde belastingtrappen zijn niet geschikt voor het bepalen van de m-waarde.

In 2015 zijn 12 aanvullende samendrukkingsproeven op veen uitgevoerd. Daaruit resulteren de volgende m-waarden:

Tabel 5-1: Sterktetoename-factor per veensoort

Grondsoort	Aantal	m [-]		
		gemiddeld	standaarddeviatie	karakteristiek
Veen	4	0,89	0,08	0,76
Detritus	4	0,92	0,04	0,87
Gyttja	4	0,91	0,05	0,83

### 5.4. Verklaring verschillen DoV en aanvullend onderzoek

De door Deltares bepaalde waarden lijken niet representatief voor detritus en gyttja, omdat de door Fugro bepaalde volumieke gewichten en watergehalten afwijkend zijn (zie tabel 5-1). Deze zijn dus niet onderling vergelijkbaar. Het lijkt erop dat Deltares het onderzoek vooral heeft gericht op niet-verslagen veen of de volumieke gewichten en watergehalten anders heeft bepaald.

Tabel 5-2: Vergelijking volumiek gewicht en watergehalte detritus, gyttja en veen

Grondsoort	Laboratorium	Volumiek gewicht [kN/m <sup>3</sup> ]	Watergehalte* [% (m/m)]
Detritus	Fugro	12,0	177
Gyttja	Fugro	12,7	147
Veen	Fugro	9,8	632
Veen	Deltares	10,1	483

\* Mogelijk wordt het watergehalte iets anders bepaald bij Deltares en Fugro



### 5.5. Voorstel tot aangepaste schematisatie

De resultaten van het aanvullend laboratoriumonderzoek worden overgenomen, omdat hierin onderscheid wordt gemaakt tussen veen, detritus en gyttja:

Detritus:  $m_{kar} = 0,87$   
Gyttja:  $m_{kar} = 0,83$   
Veen:  $m_{kar} = 0,76$

## 6. PRE-OVERBURDEN PRESSURE VEEN

### 6.1. Definitie van parameter

In het CSSM-model is de Pre-Overburden Pressure (POP) een belangrijke rekenparameter voor het bepalen van de sterkte van veen onder een ophoging. De POP-waarde van een monster geeft aan in hoeverre dit monster in het verleden is belast.

Omdat de grensspanning niet voor ieder dwarsprofiel en voor iedere veenlaag apart bepaald kan worden is uitgegaan van een POP-waarde. Het is een gegeven dat de terreinspanning in de huidige situatie ( $\sigma'_{v,i}$ ) altijd onder de grensspanning ( $\sigma'_{vc}$ ) ligt. De grensspanning wordt bepaald met:

$$\sigma'_{vc} = \sigma'_{v,i} + \text{POP}$$

### 6.2. Schematisatie in Dijken op Veen-onderzoek Deltares

Het Dijken op Veen-onderzoek is gebaseerd op het CSSM-model, maar er hoeft geen waarde te worden aangenomen voor de POP, omdat dit is omzeild door te werken met correlaties met sonderingen.

Tijdens latere overleggen is door Deltares de verwachting uitgesproken dat de POP in het achterland en het voorland hoger is dan onder de dijk, omdat dit al langere tijd geen extra belasting heeft gehad en er daardoor meer tijd is geweest voor "ageing". Verder is de bevinding van Deltares dat de methode Becker tot de beste bepaling van de grensspanning uit een samendrukkingsproef leidt.

### 6.3. Bevindingen in aanvullend onderzoek Fugro

In eerste instantie zijn de volgende POP-waarden aangehouden op basis van expert judgement:

- Achterland: 5 kN/m<sup>2</sup>
- Voorland/water: 5 kN/m<sup>2</sup>
- Teen: 5 kN/m<sup>2</sup>
- Kruin: 10 kN/m<sup>2</sup>
- Berm: 10 kN/m<sup>2</sup>

Voor voorland, achterland en water is hierbij de aanname gedaan dat de grondwaterstand in het verleden van 0,5 m lager heeft gestaan. Dit leidt tot een toename van de korrelspanning met 5 kPa. In het dijklichaam (kruin en berm) hebben zich in het verleden mogelijk grondwaterstandsverlagingen van 1,0 m voorgedaan, waardoor de pre-overburden pressure hoger is ingeschat (10 kPa).

Om de aangenomen waarden te verifiëren is een analyse uitgevoerd om de POP te bepalen op basis van samendrukkingsproeven. De POP-waarden zijn bepaald voor 338 monsters uit het DoV-onderzoek en uit de onderzoeken voor de planstudies voor de Markermeerdijken (Fugro projectnummers 1204-0058-000 en 1204-0098-000). Tijdens de uitgevoerde labonderzoeken zijn de POP-waarden niet expliciet bepaald. De terreinspanning en de grensspanning zijn wel berekend, het verschil tussen deze twee spanningen is gelijk aan de POP.

Grensspanningen kunnen op verschillende manieren worden berekend, met verschillende uitkomsten als gevolg. De grensspanningen bij de oude onderzoeken zijn met behulp van de methode Koppejan en de isotachenmethode berekend. Bij het onderzoek DoV Fugro is tevens gebruik gemaakt van de methode Becker. Daarnaast is het onderzoek DoV Deltares beschouwd om de verschillen tussen de twee methoden te analyseren. De resultaten van de analyse zijn gegeven in bijlage 8.

Uit de analyse blijkt dat de gemiddelde POP-waarden voor alle dijken en voor de verschillende locaties in het dwarsprofiel rond de  $4 \text{ kN/m}^2$  liggen als wordt gerekend met de methode Koppejan. Voor het achterland, voorland en de teen was de aangenomen POP-waarde ( $5 \text{ kN/m}^2$ ) dus een goede inschatting. Voor de kruin en de berm was uitgegaan van een hogere POP, uit de berekeningen volgt echter dat ook op deze locaties een POP van ongeveer  $4 \text{ kN/m}^2$  wordt gevonden. Als wordt gerekend met de methode Becker om de grensspanning te bepalen kunnen de POP-waarden sterk variëren.

Benadrukt wordt dat de pre-overburden-pressures, zoals gemeten in deze samendrukkingsproeven afhankelijk kunnen zijn van de keuze van de belastingtrappen, net als bij de bepaling van de m-waarden. De tot 2014 door Fugro uitgevoerde samendrukkingsproeven zijn vooral gericht op het bepalen van samendrukkingsparameters voor de bij de versterking van de Markermeerdijk verwachte ophogingen. De hierin gehanteerde belastingtrappen zijn niet geschikt voor het bepalen van de POP-waarde.

In 2015 zijn 12 aanvullende samendrukkingsproeven op veen uitgevoerd. Daaruit resulteren de volgende POP-waarden:

Tabel 6-1: Sterktetoename-factor per veensoort

Grondsoort	Aantal	POP [-]		
		gemiddeld	standaarddeviatie	karakteristiek
Veen	4	17 kPa	15 kPa	2 kPa
Detritus	4	25 kPa	12 kPa	11 kPa
Gyttja	4	25 kPa	14 kPa	10 kPa

#### 6.4. Verklaring verschillen DoV en aanvullend onderzoek

Er is geen sprake van verschillen, omdat er in het Dijken op Veen-onderzoek van Deltares geen waarden zijn genoemd voor de POP.

#### 6.5. Voorstel voor schematisatie

De resultaten van het aanvullend laboratoriumonderzoek worden overgenomen, omdat hierin onderscheid wordt gemaakt tussen veen, detritus en gyttja:

Detritus:  $\text{POP}_{\text{kar}} = 11 \text{ kPa}$   
 Gyttja:  $\text{POP}_{\text{kar}} = 10 \text{ kPa}$   
 Veen:  $\text{POP}_{\text{kar}} = 2 \text{ kPa}$

## DEEL B – SCHUIFSTERKTE KLEI

## 7. CORRELATIE TUSSEN SCHUIFSTERKTE EN SONDEERWEERSTAND KLEI

### 7.1. Definitie van parameter

Er is een verband tussen de sterkte van klei en de sondeerweerstand uit een sondering. Dit verband wordt beschreven met de N-factor. Verondersteld wordt dat er een lineair verband is tussen de ongedraineerde schuifsterkte ( $s_u$ ) van klei en de sondeerweerstand ( $q$ ). De  $N_b$ -factor is de verhouding tussen de weerstand van een bolsonde en de ongedraineerde schuifsterkte. De  $N_{kt}$ -factor is de verhouding tussen de conusweerstand van een klasse 1-sondering en de ongedraineerde schuifsterkte. De ongedraineerde schuifsterkte van klei wordt in het laboratorium bepaald in een triaxiaalproef bij terreinspanning op een monster van dezelfde locatie als waar de sondering is gemaakt.

### 7.2. Schematisatie in Dijken op Veen-onderzoek Deltares

In het Dijken op Veen-onderzoek is geen onderzoek gedaan naar de correlatie tussen de schuifsterkte en de sondeerweerstand van klei.

### 7.3. Bevindingen in aanvullend onderzoek Fugro

Er zijn in totaal 69 triaxiaalproeven uitgevoerd op klei bij terreinspanningen. De sterktes bij 25% axiale rek zijn per proef gerelateerd aan de sondeerweerstand zoals gemeten in klasse-1 en bolsonderingen. Daarbij is verder een identieke aanpak gevolgd zoals bij veen, zoals is beschreven in hoofdstuk 3.

Voor een uitgebreide beschrijving van de bevindingen wordt verwezen naar bijlage 5.

### 7.4. Verklaring verschillen DoV en aanvullend onderzoek

Er is geen sprake van verschillen, omdat er in het Dijken op Veen-onderzoek van Deltares geen waarden zijn genoemd voor de  $N_{kt}$  en  $N_b$  van klei.

### 7.5. Voorstel tot aangepaste schematisatie

Het aanvullende onderzoek leidt tot een  $N_{kt}$ -factor van 16,1 met een variatiecoëfficiënt van 0,37 en een  $N_b$ -factor van 15,2 met een variatiecoëfficiënt van 0,40.

Bij de doorvertaling van  $N_{kt}$ - en  $N_b$ - factoren naar representatieve waarden voor de schuifsterkte worden in de Werkwijze Dijken op Veen een aantal aannames gedaan die specifiek gelden voor veen. Dit heeft betrekking op zaken als de laagdikte, de transformatieonzekerheid en de verticale correlatielengte. Er moet nog worden nagegaan of deze aannames ook representatief zijn voor klei. Daarnaast moeten mogelijk andere materiaalfactoren worden gebruikt.

## 8. $S_u$ -RATIO KLEI

### 8.1. Definitie van parameter

In het nieuwe Dijken op Veen rekenmodel wordt de schuifsterkte van klei bepaald door de schuifsterkteratio  $S$ , die wordt bepaald door de in proeven bepaalde schuifsterkte te delen door de initiële verticale consolidatiespanning. Voor overgeconsolideerde klei, onder de grensspanning ( $OCR < 1$ ) speelt de sterkte-toename-factor  $m$  ook een rol.

### 8.2. Schematisatie in Dijken op Veen-onderzoek Deltares

Het Dijken op Veen-onderzoek was niet gericht op klei. In de voorbeeldberekening zijn de sterkteparameters gebaseerd op de rapportage Grensverleggend Toetsen, een voorafgaand aan Dijken op Veen door Deltares uitgevoerd onderzoek voor een dijkprofiel tussen Hoorn en Edam, weergegeven. Daarin is voor diverse kleilagen een relatie gelegd tussen de verwachtingswaarde van de schuifsterkte  $s_u$  en de korrelspanning  $\sigma'_{v0}$ :

#### Kruin

- Dijkmateriaal:  $s_u = 15,0 + 0,34 \sigma'_{v0}$
- Klei siltig en of zandig:  $s_u = 11,1 + 0,33 \sigma'_{v0}$  alternatief  $s_u = 0,081 q$
- Klei humeus:  $s_u = 11,5 + 0,47 \sigma'_{v0}$

#### Berm

- Dijkmateriaal:  $s_u = 15,0 + 0,34 \sigma'_{v0}$
- Klei siltig en of zandig:  $s_u = 9,0 + 0,22 \sigma'_{v0}$
- Klei humeus:  $s_u = 7,0 + 0,42 \sigma'_{v0}$

#### Achterland

- Klei siltig en of zandig:  $s_u = 1,7 + 0,72 \sigma'_{v0}$
- Klei humeus:  $s_u = 7,0 + 0,42 \sigma'_{v0}$

### 8.3. Bevindingen in aanvullend onderzoek Fugro

Fugro heeft in rapport [1] schuifsterkteparameters voor alle onderscheidde kleilagen in de Markermeerdijk afgeleid bij eindrek en piekrek op basis van reeds beschikbare meertraps triaxiaalproeven. Achteraf bleek dat daarin is uitgegaan van een andere definitie van de schuifsterkteratio dan in het Dijken op Veen-onderzoek, namelijk van de verhouding tussen de schuifspanning  $t$  en de gemiddelde effectieve spanning  $s'$ .

Het vermoeden van Deltares is dat isotrope meertraps triaxiaalproeven niet geschikt zijn om schuifsterkteparameters op klei te bepalen voor ongedraineerd rekenen. Daarom zijn ter controle 40 anisotrope enkeltraps triaxiaalproeven uitgevoerd, verdeeld over drie kleilagen. De helft hiervan is ongeveer bij de terreinspanning uitgevoerd, de andere helft is bij een aantal keer de terreinspanning en ruim boven de grensspanning uitgevoerd. Steeds zijn twee boven elkaar gelegen monsters beproefd, één bij lage en één bij hoge spanning. Deze proeven zijn tot 15% axiale rek uitgevoerd conform NEN5117. Analyse van deze proevenserie geeft geen bevredigende resultaten, omdat in het CSSM-model de schuifsterkte bij 25% axiale rek nodig is, die afwijkt van de sterkte bij 15% axiale rek. Dit gegeven werd pas duidelijk na afronding van de proeven

In 2015 zijn circa 50 aanvullend anisotrope triaxiaalproeven op klei uitgevoerd tot meer dan 25% axiale rek. Daaruit volgen de resultaten uit tabel 8-1.

Tabel 8-1: Schuifsterkteratio per kleisoort

Grondsoort	Aantal	S [-]		
		gemiddeld	standaarddeviatie	karakteristiek
KLEI, Antropogeen	11	0,38	0,22	0,21
KLEI, Calais	9	0,30	0,03	0,27
KLEI, Duinkerke	5	0,30	0,12	0,18
KLEI, Humeus	15	0,28	0,09	0,19
KLEI, Siltig	6	0,26	0,04	0,21

#### 8.4. Verklaring verschillen DoV en aanvullend onderzoek

Er is niet in detail beschouwd hoe de sterktes zijn bepaald in het rapport Grensverleggend Toetsen, maar er zijn een aantal vermoedens waarom de sterkte daarin hoger is aangenomen dan nu uit de proeven blijkt:

- De schuifsterktes uit Grensverleggend Toetsen zijn gebaseerd op kleimonsters op een relatief noordelijk gelegen dijkvak. Uit het overige grondonderzoek blijkt echter dat de sterkte van klei naar het zuiden toe lager wordt.
- Bij Grensverleggend Toetsen wordt er van uitgegaan dat klei bij een korrelspanning van nul al een zekere sterkte heeft. Dit leidt tot een grotere sterkte dan in het Dijken op Veenrekenmodel, omdat daarin is aangenomen dat de sterkte nul is bij een korrelspanning van nul. Bij lage korrelspanningen is overigens te zien dat het verschil minder is, dit wordt veroorzaakt door het effect van overconsolidatie.
- Het is niet bekend of bij Grensverleggend Toetsen is uitgegaan van de pieksterkte of de sterkte bij eindrek. In het eerste geval zal dit tot te hoge sterktes leiden.

#### 8.5. Voorstel tot aangepaste schematisatie

Voorgesteld wordt om de karakteristieke waarden uit tabel 8-1 aan te houden, omdat dit is gebaseerd op actuele inzichten.

Klei, antropogeen	$S_{kar} = 0,21$
Klei, calais	$S_{kar} = 0,27$
Klei, duinkerke	$S_{kar} = 0,18$
Klei, humeus	$S_{kar} = 0,19$
Klei, siltig	$S_{kar} = 0,21$

## 9. STERKTETOENAME-FACTOR KLEI

### 9.1. Definitie van parameter

In het nieuwe Dijken op Veen rekenmodel wordt het verloop van de sterkte van klei voor korrelspanningen, lager dan de grensspanning, onder andere bepaald door de sterktoename-factor. Dit wordt ook wel de m-waarde genoemd. De sterktoename-factor kan worden bepaald uit samendrukkingsproeven.

### 9.2. Schematisatie in Dijken op Veen-onderzoek Deltares

In het Dijken op Veen-onderzoek is geen gebruik gemaakt een sterktoename-factor voor het bepalen van de sterkte van klei. Hierin is gebruik gemaakt van een direct, lineair, verband tussen de korrelspanning en de sterkte.

### 9.3. Bevindingen in onderzoek Fugro

Omdat voor het Dijken op Veen-onderzoek geen uitgebreid onderzoek op klei is uitgevoerd, is voor de bepaling van de m-waarde voor klei in eerste instantie gebruik gemaakt van oud Fugro onderzoek (uitgevoerd voor 2009). Hierbij is voor het traject Hoorn – Edam onderscheid gemaakt tussen Klei antropogeen, Klei Calais en Klei Duinkerke. Voor het traject Edam – Amsterdam zijn Klei humeus en Klei zandig onderscheiden. Uit het onderzoek volgen onderstaande bevindingen:

- De gemiddelde m-waarde voor het traject Hoorn – Edam bedraagt 0,91 met een standaarddeviatie van 0,13.
- De gemiddelde m-waarde voor het traject Edam – Amsterdam bedraagt 0,93 met een standaarddeviatie van 0,04.

Benadrukt wordt dat de belastingtrappen in de beschikbare samendrukkingsproeven van voor 2009 zijn gebaseerd op de aanwezige korrelspanningen en verwachte toename hierin. Voor een nauwkeurige bepaling van de m-waarde moeten de samendrukkingsproeven waarschijnlijk bij andere belastingtrappen worden uitgevoerd.

Daarom zijn in 2015 aanvullende samendrukkingsproeven uitgevoerd bij belastingtrappen conform het STOWA-protocol. De resultaten zijn weergegeven in tabel 9-1.

Tabel 9-1: Sterktetoename-factor per kleisoort

Grondsoort	Aantal	m [-]		
		gemiddeld	standaarddeviatie	karakteristiek
KLEI, Antropogeen	12	0,88	0,09	0,78
KLEI, Calais	9	0,92	0,06	0,86
KLEI, Duinkerke	8	0,93	0,05	0,87
KLEI, Humeus	7	0,90	0,05	0,85
KLEI, Siltig	7	0,86	0,07	0,77

### 9.4. Verklaring verschillen DoV en aanvullend onderzoek

Niet van toepassing.

### 9.5. Voorstel voor schematisatie

Voorgesteld wordt om de karakteristieke waarden uit tabel 9-1 aan te houden:



Klei, antropogeen	$m_{kar} = 0,78$
Klei, calais	$m_{kar} = 0,86$
Klei, duinkerke	$m_{kar} = 0,87$
Klei, humeus	$m_{kar} = 0,85$
Klei, siltig	$m_{kar} = 0,77$

## 10. PRE-OVERBURDEN PRESSURE KLEI

### 10.1. Definitie van parameter

In de nieuwe rekenmethodiek van Dijken op Veen is de Pre Overburden Pressure (POP) een belangrijke rekenparameter voor het bepalen van de sterkte van klei onder een ophoging. De POP-waarde van een monster geeft aan in hoeverre dit monster in het verleden is belast.

Omdat de grensspanning niet voor ieder dwarsprofiel en voor iedere kleilaag apart bepaald kan worden is uitgegaan van een POP-waarde. Het is een gegeven dat de terreinspanning in de huidige situatie ( $\sigma'_{v,i}$ ) altijd onder de grensspanning ( $\sigma'_{vc}$ ) ligt. De grensspanning wordt bepaald met:

$$\sigma'_{vc} = \sigma'_{v,i} + \text{POP}$$

### 10.2. Schematisatie in Dijken op Veen-onderzoek Deltares

In het Dijken op Veen-onderzoek is geen gebruik gemaakt van een POP voor het bepalen van de sterkte van klei. Hierin is gebruik gemaakt van een direct verband tussen de korrelspanning en de sterkte.

Tijdens latere overleggen is door Deltares de verwachting uitgesproken dat de POP in het achterland en het voorland hoger is dan onder de dijk, omdat dit al lagere tijd geen extra belasting heeft gehad en er daardoor meer tijd is geweest voor "ageing". Verder is de bevinding van Deltares dat de methode Becker tot de beste bepaling van de grensspanning uit een samendrukkingsproef leidt.

### 10.3. Bevindingen in aanvullend onderzoek Fugro

In eerste instantie zij de volgende POP-waarden aangehouden op basis van expert judgement:

- Achterland: 5 kN/m<sup>2</sup>
- Voorland/water: 5 kN/m<sup>2</sup>
- Teen: 5 kN/m<sup>2</sup>
- Kruin: 10 kN/m<sup>2</sup>
- Berm: 10 kN/m<sup>2</sup>

Voor voorland, achterland en water is hierbij de aanname gedaan dat de grondwaterstand in het verleden van 0,5 m lager heeft gestaan. Dit leidt tot een toename van de korrelspanning met 5 kPa. In het dijklichaam (kruin en berm) hebben zich in het verleden mogelijk grondwaterstandsverlagingen van 1,0 m voorgedaan, waardoor de pre-overburden pressure hoger is ingeschat (10 kPa).

Om de aangenomen waarden te verifiëren is een analyse uitgevoerd om de POP te bepalen op basis van samendrukkingsproeven. De POP-waarden zijn bepaald voor 338 monsters uit het DoV-onderzoek en uit de onderzoeken voor de planstudies voor de Markermeerdijken (Fugro projectnummers 1204-0058-000 en 1204-0098-000). Tijdens de uitgevoerde labonderzoeken zijn de POP-waarden niet expliciet bepaald. De terreinspanning en de grensspanning zijn wel berekend, het verschil tussen deze twee spanningen is gelijk aan de POP.

Grensspanningen kunnen op verschillende manieren worden berekend, met verschillende uitkomsten als gevolg. De grensspanningen bij de oude onderzoeken zijn met behulp van de methode Koppejan en de isotachenmethode berekend. Bij het onderzoek DoV Fugro is tevens gebruik gemaakt van de methode Becker. Daarnaast is het onderzoek DoV Deltares beschouwd om de verschillen tussen de twee methoden te analyseren.

Uit de analyse blijkt dat de gemiddelde POP-waarden voor alle dijken en voor de verschillende locaties in het dwarsprofiel rond de 4 kN/m<sup>2</sup> liggen als wordt gerekend met de methode Koppejan. Voor het achterland, voorland en de teen was de aangenomen POP-waarde (5 kN/m<sup>2</sup>) dus een goede inschatting. Voor de kruin en de berm was uitgegaan van een hogere POP, uit de berekeningen volgt echter dat ook op deze locaties een POP van ongeveer 4 kN/m<sup>2</sup> wordt gevonden. Als wordt gerekend met de methode Becker om de grensspanning te bepalen kunnen de POP-waarden sterk variëren.

Benadrukt wordt dat de pre-overburden-pressures, zoals gemeten in de tijdens de planstudie uitgevoerde samendrukkingsproeven afhankelijk kunnen zijn van de keuze van de belastingtrappen, net als bij de bepaling van de m-waarden. Daarom zijn in 2015 aanvullende samendrukkingsproeven uitgevoerd bij belastingtrappen conform het STOWA-protocol. De resultaten zijn weergegeven in tabel 10-1.

Tabel 10-1: POP per kleisoort

Grondsoort	Aantal	POP [-]		
		gemiddeld	standaarddeviatie	karakteristiek
KLEI, Antropogeen	11	33 kPa	15 kPa	20 kPa
KLEI, Calais	9	24 kPa	11 kPa	10 kPa
KLEI, Duinkerke	7	30 kPa	20 kPa	13 kPa
KLEI, Humeus	7	29 kPa	20 kPa	12 kPa
KLEI, Siltig	7	22 kPa	11 kPa	10 kPa

#### 10.4. Verklaring verschillen DoV en aanvullend onderzoek

Niet van toepassing.

#### 10.5. Voorstel voor schematisatie

Voorgesteld wordt om de karakteristieke waarden uit tabel 10-1 aan te houden:

Klei, antropogeen	POP <sub>kar</sub> = 20 kPa
Klei, calais	POP <sub>kar</sub> = 10 kPa
Klei, duinkerke	POP <sub>kar</sub> = 13 kPa
Klei, humeus	POP <sub>kar</sub> = 12 kPa
Klei, siltig	POP <sub>kar</sub> = 10 kPa

## 11. SCHUIFSTERKTE OPHOOGKLEI

### 11.1. Definitie van parameter

De schuifsterkte van ophoogklei wordt gerelateerd aan de korrelspanning met een rekenkundig verband. Het wordt hoger naarmate de korrelspanning toeneemt.

### 11.2. Schematisatie in Dijken op Veen-onderzoek Deltares

In het Dijken op Veen-onderzoek zijn de sterkteparameters gebaseerd op de rapportage Grensverleggend Toetsen, een voorafgaand aan Dijken op Veen door Deltares uitgevoerd onderzoek voor een dijkprofiel tussen Hoorn en Edam. Daarin is voor diverse kleilagen een relatie gelegd tussen de schuifsterkte  $s_u$  en de korrelspanning  $\sigma'_{v0}$ , namelijk  $s_u = 15 + 0,34 \sigma'_{v0}$ .

Er is geen onderscheid gemaakt tussen de antropogene klei (in het verleden aangebracht ophoogmateriaal) en nieuw ophoogmateriaal. Daarnaast is geen onderscheid gemaakt tussen bermmateriaal en kruinmateriaal.

### 11.3. Bevindingen in aanvullend onderzoek Fugro

De aanname dat ophoogklei dezelfde sterkte heeft als antropogene klei wordt niet reel geacht, mede omdat uit eerder onderzoek is gebleken dat de eigenschappen van antropogene klei in de Markermeerdijk variëren en dat de antropogene klei veelal niet voldoet aan de materiaaleisen en verdichtingseisen die aan ophoogklei worden gesteld. Daarom is het uitgangspunt aangepast.

Bij de Zuiderdijk van Drechterland is de ongedraineerde schuifsterkte in ophoogklei gemeten met veldvinproeven. De Zuiderdijk van Drechterland is het gedeelte van de Markermeerdijk tussen Hoorn en Enkhuizen. De ophoogklei is relatief recent, tussen 2007 en 2013 aangebracht. Het is goed mogelijk dat tussen Hoorn en Amsterdam ongeveer hetzelfde type klei en dezelfde aanbrengmethode worden toegepast en een zelfde kleisterkte wordt verkregen. De resultaten van deze veldvinproeven zijn door Fugro gerapporteerd op 26 juni 2015. In de veldvinproeven wordt een gemiddelde ongedraineerde schuifsterkte gevonden van circa 50 kPa. De gemeten waarde lijkt nauwelijks afhankelijk van de diepte. Bij 90% van de proeven ligt deze waarde tussen de 25 en 75 kPa. Op basis daarvan is een representatieve ondergrenswaarde van de ongedraineerde schuifsterkte van 25 kPa vastgesteld voor de ophoogklei. Het wordt afgeraden om deze waarde over te nemen in berekeningen, omdat te weinig bekend is over het verband tussen sterkte uit vinproeven en uit anisotrope triaxiaalproeven voor Nederlandse omstandigheden. Bovendien moeten bij deze in-situ manier van sterktebepaling mogelijk andere aspecten zoals de vorming van trekscheuren in de modellering van de stabiliteit worden meegenomen.

### 11.4. Voorstel tot aangepaste schematisatie

Voorlopig is uitgegaan van een rekenwaarde voor de schuifsterkteratio  $S$  van 0,37. Hierbij is de oude 'schuifsterkte-ratio' als volgt gecorrigeerd voor respectievelijk de veranderde materiaalfactor en schadefactor:

$$S_d = (85,84 \text{ kN/m}^2 / 200 \text{ kN/m}^2) * (1,09 / 1,20) * (1,08 / 1,13) = 0,37$$

Voor de representatieve waarde geldt dan:  $S_{rep} = 0,37 * 1,09 = 0,40$

De effectieve cohesie uit de oorspronkelijke uitgangspunten is hierin verwaarloosd. Dat is een conservatieve aanname. De geldigheid van deze fit dient nog te worden geverifieerd.

## DEEL C – SCHUIFSTERKTE ZAND

## 12. SCHUIFSTERKTE ZAND

### 12.1. Definitie van parameter

Zand wordt in de werkwijze Dijken op Veen gedraineerd gemodelleerd, omdat het een doorlatend materiaal is. De schuifsterkte van zand wordt uitgedrukt met de effectieve hoek van inwendige wrijving. Sterk zand wordt gekenmerkt door een hoge hoek van inwendige wrijving.

### 12.2. Schematisatie in Dijken op Veen-onderzoek Deltares

In het Dijken op Veen-onderzoek is van dezelfde gedraineerde parameters uitgegaan als in het dijkversterkingsontwerp. Hierin is de sterkte van zand aangegeven met een sigma-tau-curve. Het verloop van deze curve wordt volledig bepaald door de hoek van inwendige wrijving. De hoeken van inwendige wrijving zijn gebaseerd op standaard waarden uit tabel 1 van NEN 6740. De volgende representatieve waarden zijn gehanteerd:

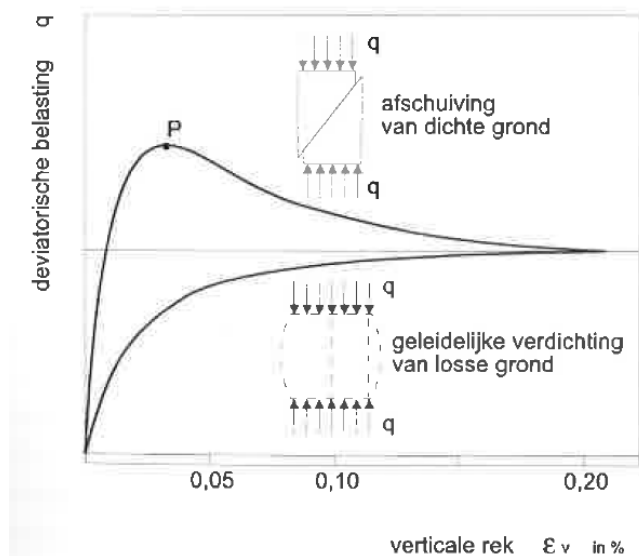
- Zand, los gepakt en Calais:  $\varphi_{rep} = 30,0^\circ$
- Zand, ophoogmateriaal en Antropogeen:  $\varphi_{rep} = 32,5^\circ$
- Zand, Pleistoceen:  $\varphi_{rep} = 35,0^\circ$

### 12.3. Bevindingen in aanvullend onderzoek Fugro

In het aanvullend grondonderzoek is de sterkte van zand niet onderzocht. Wel is er door middel van een bureaustudie beschouwd in hoeverre het overnemen van de ontwerpparameters in Dijken op Veen tot een goede schematisatie leidt. In de werkwijze Dijken op Veen moet namelijk de critical state sterkte van zand worden gebruikt bij eindrek, terwijl de ontwerpberekeningen zijn gebaseerd op de vigerende leidraden waarbij moet worden uitgegaan van de sterkte bij 2 à 5% rek in een gedraineerde triaxiaalproef bij de juiste initiële dichtheid en spanningscondities.

De juistheid van de standaard waarden uit tabel 1 van NEN 6740 valt lastig te verifiëren, omdat er in de praktijk nauwelijks triaxiaalproeven op zand worden uitgevoerd. Dit komt doordat het moeilijk is om een onverstoord, ongeroerd zandmonster te steken en doordat de hoek van inwendige wrijving goed kan worden bepaald door middel van ervaringsgetallen en correlaties. Er zijn echter een aantal aanwijzingen om aan te nemen dat de waarden uit tabel 1 van NEN 6740 niet representatief zijn voor de critical state sterkte van zand.

Ten eerste is bekend dat zand afhankelijk van de pakking bij belasting dilatant of contractant gedrag vertoont. De sterkte van vast gepast zand zal na belasting door dilatantie in de schuifzone toenemen tot een pieksterkte en daarna afnemen tot de critical state sterkte. Dilatantie is geforceerde volumevergroting om afschuiving mogelijk te maken. De sterkte van hetzelfde zand zal, als het los gepakt is, na belasting door contactantie toenemen tot dezelfde critical state sterkte. Bij grote rek is de sterkte van los en vastgepakt zand dus hetzelfde (zie figuur 12-1).



Figuur 12-1: Verband tussen deviatorische belasting en verticale rek bij los en vastgepakt zand (Bron: Handboek Zandboek, CROW 2004)

Ten tweede volgt uit het artikel “The strenght and dilatancy of sands” van Bolton (Géotechnique 36, nr. 1, 1986) dat de hoek van inwendige wrijving van zand in de critical state voornamelijk afhankelijk is van het type zandmineraal. De hogere sterkte van vastgepakt zand wordt verklaard door dilatantie. Benadrukt wordt dat dit effect wegvalt bij hoge rekken en alleen mag worden meegenomen in berekeningen waarin progressief falen gegarandeerd kan worden uitgesloten.

Een derde aanwijzing staat in het artikel “Critical state friction angle of sands” van Sadrekarimi en Olson (Géotechnique 61, nr. 9, 2011). Hierin wordt dieper op dit onderwerp ingegaan en zijn diverse ter controle uitgevoerde laboratoriumproeven beschreven. Hieruit volgt ook dat de hoek van inwendige wrijving van zand in de critical state constant is en onafhankelijk is van de initiële pakking en het spanningspad en hoofdzakelijk afhankelijk is van het type zandmineraal en de hoekigheid van de zandkorrels.

#### 12.4. Voorstel tot aangepaste schematisatie

Zand in Nederland bestaat hoofdzakelijk uit kwartszand. Volgens het eerder genoemde artikel van Bolton is de hoek van inwendige wrijving van kwartszand in de critical state gelijk aan  $\varphi = 33^\circ$  met een marge van  $\pm 1^\circ$ , onafhankelijk van de pakkingsdichtheid. Daarom wordt bij de Markermeerdijk in de werkwijze Dijken op Veen voorgesteld wordt om voor alle zandsoorten uit te gaan van een representatieve hoek van inwendige wrijving van  $\varphi = 32^\circ$ .

Volgens Bolton zou deze aanname bij wijze van routine moeten worden geverifieerd met enkele eenvoudige laboratoriumtesten. In dit geval wordt echter voorgesteld om dit achterweg te laten, omdat de nieuwe waarde weinig afwijkt van de huidige ontwerpuitgangspunten en de invloed van kleine afwijkingen in de hoek van inwendige wrijving op de stabiliteitsfactor beperkt is.



## DEEL D – SAMENVATTING EN DISCUSSIE

## 13. SAMENVATTING EN DISCUSSIE

### 13.1. Samenvatting grondparameters

Op basis van het aanvullende grond- en laboratoriumonderzoek worden de volgende parameters voorgesteld:

Tabel 13.1 – Samenvatting grondparameters Markermeerdijk voor Werkwijze Dijken op Veen

Grondsoort	$N_{kt}$	$VC(N_{kt})$	$N_b$	$VC(N_b)$	$m_{kar}$	$POP_{kar}$	$S_{kar}$	$\varphi'_{kar}$	$c'_{kar}$
VEEN	15,8	0,40	19,8	0,44	0,76	2 kPa	0,43	-	-
DETRITUS	15,8	0,40	19,8	0,44	0,87	11 kPa	0,37	-	-
GYTTJA	15,8	0,40	19,8	0,44	0,83	10 kPa	0,27	-	-
KLEI, Antropogeen	16,1	0,37	15,2	0,40	0,78	20 kPa	0,21	-	-
KLEI, Calais	16,1	0,37	15,2	0,40	0,86	10 kPa	0,27	-	-
KLEI, Duinkerke	16,1	0,37	15,2	0,40	0,87	13 kPa	0,18	-	-
KLEI, Humeus	16,1	0,37	15,2	0,40	0,85	12 kPa	0,19	-	-
KLEI, Siltig	16,1	0,37	15,2	0,40	0,77	10 kPa	0,21	-	-
OphoogKLEI	-	-	-	-	-	-	0,40	-	-
ZAND	-	-	-	-	-	-	-	32°	-

$N_{kt}$	Correlatiefactor klasse 1-sondering
$VC(N_{kt})$	Variatiecoëfficiënt klasse 1-sondering
$N_b$	Correlatiefactor bolsondering
$VC(N_b)$	Variatiecoëfficiënt bolsondering
$m_{kar}$	Sterktetoenamefactor
$POP_{kar}$	Pre-Overburden Pressure
$S_{kar}$	Schuifsterkteratio (bij klei zijn enkele proeven nog niet verwerkt)
$\varphi'_{kar}$	Hoek van inwendige wrijving
$c'_{kar}$	Effectieve cohesie

### 13.2. Bepaling sterkte bij terreinspanning met t methodes

Er zijn binnen de Werkwijze Dijken op Veen drie manieren om de sterkte van klei en veen bij de terreinspanning te bepalen:

1. Via een correlatie tussen DSS- of triaxiaalproeven bij terreinspanning en sonderingen ( $N_{kt}$ - en  $N_b$ -factoren).
2. Zonder sonderingen met behulp van de sterkttename-factor ( $m$ ), de pre-overburden pressure ( $POP$ ) en schuifsterkteratio ( $S$ ).
3. Direct uit DSS- en triaxiaalproeven bij terreinspanning.

Een vergelijking tussen methode 1 en 2 is mogelijk door voor een specifiek dwarsprofiel de macrostabiliteit voor beide methodes te berekenen. Voor alle drie de methodes kan echter ook een generieke vergelijking worden gemaakt door de sterkte uit te zetten tegen de terreinspanning. In bijlage 6 zijn beide methodes generiek met elkaar vergeleken voor vier situaties:

1. Klei bij gemiddelde waarden (methode 1, 2 en 3).
2. Klei bij karakteristieke waarden (methode 1 en 2).
3. Veen bij gemiddelde waarden (methode 1, 2 en 3).
4. Veen bij karakteristieke waarden (methode 1 en 2).

In elke grafiek is het verband tussen de sterkte en de terreinspanning weergegeven.

Bij methode 1. met sondering is eerst de correlatie bepaald tussen de netto conusweerstand en de terreinspanning. Daarbij is een trendlijn vastgesteld die het beste verband weergeeft tussen deze twee parameters. Vervolgens is het verband tussen sterkte en terreinspanning verkregen door de netto conusweerstand te delen door de  $N_{kt}$ -factor. Dit geeft een gemiddeld sterkteverloop. De locatieafhankelijke variatie van de sterkte in een sondering komt hierin dus niet naar voren.

Er is alleen gekeken naar het verband tussen sterkte en terreinspanning bij het gebruik van klasse 1-sonderingen, omdat voor dit type sonderingen het spanningsverloop in de diepte al was uitgerekend bij de correctie van de gemeten conusweerstand naar netto conusweerstand. Dit is niet gedaan voor de bolsonderingen, omdat hier het spanningsverloop nog per sondering zou moeten worden berekend.

Bij methode 2. zonder sonderingen is onderscheid gemaakt tussen verschillende klei- of veensoorten. Het verloop van de grafiek volgt direct uit de formule waarin de drie sterkteparameters en de terreinspanning zijn ingevuld.

Bij methode 3. is een lineaire trendlijn bepaald tussen de beschikbare proeven. Deze exercitie is alleen voor gemiddelde waarden uitgevoerd

Uit de vergelijking blijkt dat:

- Bij een toename van de terreinspanning neemt de sterkte ook toe, behalve bij klei als de sterkte via een correlatie met sonderingen wordt bepaald.
- Een directe bepaling van de sterkte bij proeven bij de terreinspanning (methode 1. en 3.) leidt bij lage terreinspanningen tot hogere sterktes dan een indirecte bepaling via de sterkte-toename-factor, de pre-overburden pressure en schuifsterkteratio (methode 2.). Bij hoge terreinspanningen kan dit andersom zijn.
- De afname van gemiddelde sterkte naar karakteristieke sterkte is groter bij een directe bepaling van de sterkte bij proeven bij de terreinspanning (methode 1. en 3.) dan bij een indirecte bepaling via de sterkte-toename-factor, de pre-overburden pressure en schuifsterkteratio (methode 2.).

### 13.3. Meerwaarde van onderscheid tussen verschillende kleisoorten

In hoofdstuk 7 is een correlatie gelegd tussen de schuifsterkte van klei uit triaxiaalproeven en sondeerweerstand. Dit is in bijlage 5 gepresenteerd in grafieken. In bijlage 7 zijn dezelfde grafieken nogmaals weergegeven, maar is onderscheid gemaakt naar kleisoort. Het doel van deze exercitie is om te onderzoeken of verschillende kleisoorten structureel leiden tot anderen  $N_{kt}$ - en  $N_b$ -factoren. Als dit zo is, dan zou het ontwerp kunnen worden geoptimaliseerd door per kleisoort een aparte factor vast te stellen. Mogelijk zou dan vervolgens, door het uitvoeren van meer proeven per kleisoort, de spreiding kunnen worden verkleind.

In de grafieken valt op dat er significante verschillen zitten tussen de  $N_{kt}$ - en  $N_b$ -factoren per kleilaag. Deze verschillen lijken echter gebaseerd op toeval. Zo valt op dat humeuze klei gemiddeld een veel lagere  $N_{kt}$ -factor heeft dan antropogene klei, maar dat humeuze klei juist een veel hogere  $N_b$ -factor heeft dan antropogene klei. Dat is een tegenstrijdig resultaat. Verder is te zien dat er per kleisoort sprake is van een beperkte steekproef met een grote spreiding. Het weglaten van een willekeurig punt kan leiden tot een significant andere ligging van de trendlijn. Verder valt op dat een gemiddeld hoge conusweerstand in het algemeen

leidt tot een hogere  $N_{kt}$ - of  $N_b$ -factor, maar dit valt niet direct terug te vertalen naar kleisoorten.

Samenvattend kan worden gesteld dat bij de huidige proeven onderscheid per kleisoort geen meerwaarde biedt, omdat dan met grote spreidingen moet worden gerekend. Het is onzeker of na het uitvoeren en correleren van meer triaxiaalproeven dit onderscheid wel tot meerwaarde leidt.

#### **13.4. Aanbevelingen voor vervolgonderzoek**

Bij de doorvertaling van  $N_{kt}$ - en  $N_b$ - factoren van klei naar representatieve waarden voor de schuifsterkte worden in de Werkwijze Dijken op Veen een aantal aannames gedaan die specifiek gelden voor veen. Dit heeft betrekking op zaken als de laagdikte, de transformatieonzekerheid en de verticale correlatielengte. Er moet nog worden nagegaan of deze aannames ook representatief zijn voor klei. Daarnaast moeten mogelijk andere materiaalfactoren worden gebruikt.

De voorgestelde schematisatie van de sterkte van ophoogklei moet nog worden geverifieerd.

De keuze van de methode om de schuifsterkte bij terreinspanning te bepalen lijkt van grote invloed op de uitkomst van de stabiliteitsanalyses. Aanbevolen wordt om nader te onderzoeken waar deze verschillen vandaan komen.

Briefrapport  
betreffende

**DOORVERTALING GRONDLAGEN IN  
DWARSPROFIEL O.B.V.  
GRONDONDERZOEK DIJKEN OP VEEN**

Opdrachtnummer: 1214-0007-040

Projectmanager : ing. J.P. Nelemans  
Opgesteld door : ing. A.O. Aparicio Sáez  
Adviseur Geotechniek  
ir. W.R. Halter  
Senior Adviseur Waterbouw

Archimedesbaan 13  
Postbus 1471  
3430 BL Nieuwegein  
tel.: 030-6028175

Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier  
Postbus 250  
1700 AG HEERHUGOWAARD

T.a.v. de heer A. Roos

Onze ref.: 1214-0007-040.R12v2

Nieuwegein, 3 april 2015

Betreft: Doorvertaling grondlagen in dwarsprofiel o.b.v. grondonderzoek Dijken op Veen

Geachte heer Roos,

Het grondonderzoek voor het project Markemeerdijk heeft bestaan uit:

- Standaard sonderingen,
- Boringen met standaard geotechnische classificatie volgens NEN 5104.
- Klasse 1-sonderingen.
- Bolsonderingen.
- Handboringen in de binnenteen met geavanceerde classificatie volgens het veenprotocol van Deltares (ook wel geologische classificatie genoemd).
- Een combinatie van klasse 1- en bolsonderingen en mechanische boringen met geavanceerde veenclassificatie bij ijkvelden.

De standaard sonderingen en boringen zijn tussen 1995 en 2013 uitgevoerd in verschillende fases ten behoeve van de toetsing en het verbeterontwerp van de Markermeerdijk. De speciale sonderingen (klasse 1 en met bol) en boringen met geavanceerde veenclassificatie zijn in 2014 uitgevoerd ten behoeve van de doorvertaling van de werkwijze Dijken op Veen. De opzet van dit grondonderzoek is in het voorjaar van 2014 vastgesteld door HHNK na advies van Deltares.

Op basis van de speciale sonderingen en handboringen met geavanceerde veenclassificatie is onderscheid te maken tussen:

- De geotechnische grondlagen, zand, veen en klei.
- Klei- en veenlagen, aangepast volgens het veenprotocol van Deltares, wat inhoudt dat sommige voorheen als klei geclassificeerde grondlagen nu worden beschouwd als veen of gyttja/detritus.
- Veen en gyttja/detritus.
- Detritus en gyttja.
- Overige specifieke kenmerken van veen.

### **Belang van een goede schematisatie**

In de werkwijze Dijken op Veen wordt onderscheid gemaakt tussen zand, klei, veen, gyttja en detritus. Dit onderscheid wordt direct in kaart gebracht door boringen met een geavanceerde classificatie volgens het Deltaresprotocol. Deze boringen zijn echter niet bij elke sondering en over de volle dikte van het slappe lagenpakket uitgevoerd, omdat dit te veel geld en tijd zou kosten. Daarom moet een deel van de grondlagen worden geschematiseerd met standaard sonderingen en/of boringen. Dit gaat gepaard met onzekerheden.

Het doel van dit rapport is om te beschrijven hoe de laagtoekenning zo precies mogelijk kan worden uitgevoerd op basis van de beschikbare informatie.

In geval van twijfel over de laagtoekenning, worden de volgende schematisatiekeuzes gemaakt:

- Bij twijfel tussen zand en veen/klei, wordt de voor dat geval maatgevende keuze gemaakt. Dit zal echter weinig voorkomen, omdat dit onderscheid goed valt te maken.
- Grondlagen die volgens de geotechnische classificatie als klei worden aangeduid, maar in de geologische classificatie als veen, gyttja of detritus, worden in de berekeningen als veen, gyttja of detritus geschematiseerd. In geval van twijfel over de geologische classificatie is de geotechnische classificatie leidend.
- Grondlagen die volgens de geotechnische classificatie als veen worden aangeduid, waarvan geen geologische classificatie beschikbaar is en die op basis van andere kenmerken ook niet bij een bepaald veentype kunnen worden ingedeeld, worden als gyttja / detritus geschematiseerd. Gyttja en detritus hebben hogere materiaalfactoren dan veen en zijn daardoor een conservatieve aanname.
- Bij twijfel tussen gyttja en detritus wordt een grondlaag aangeduid als gyttja/detritus. Vooralsnog heeft dit, net als andere specifieke veenkenmerken, geen invloed op de wijze van schematiseren van de sterkte.

#### **Schematisatie klei- en veenlagen bij Markermeerdijk o.b.v. beschikbaar grondonderzoek**

Met behulp van de geavanceerde veenclassificatie van de handboring is het mogelijk om de laagscheidingen in een nabijgelegen klasse 1-sondering aan te merken. Het specifieke onderscheid tussen detritus en gyttja kan echter niet gemaakt worden op basis van alleen een klasse 1-sondering.

Bij een bolsondering wordt alleen de conusweerstand geregistreerd en niet het wrijvingsgetal. Het onderscheid tussen veen- en kleilagen is niet mogelijk aangezien de conusweerstand veelal gelijk zijn.

Vervolgens is de vraag gerezen of de speciale sonderingen kunnen worden doorvertaald naar de standaard sonderingen en boringen.

In tabel 1 is het beschikbare grondonderzoek uitgezet tegen het onderscheid wat gemaakt kan worden tussen de verschillende grondlagen.

Tabel 1: Schematisatie klei- en veenlagen bij Markermeerdijk o.b.v. beschikbaar grondonderzoek

Beschikbaar grondonderzoek	Geotechnisch onderscheid tussen grondlagen	Aangepast onderscheid tussen klei- en veenlagen	Onderscheid tussen veen en gyttja/detritus	Onderscheid tussen detritus en gyttja
Standaard sonderingen en boringen	Direct afleesbaar	Niet mogelijk	Niet mogelijk	Niet mogelijk
Bolsonderingen	Onderscheid tussen zand en klei/veen mogelijk	Niet mogelijk	Niet mogelijk	Niet mogelijk
Klasse 1-sonderingen	Direct afleesbaar	Direct afleesbaar	Direct afleesbaar	Niet mogelijk
Bolsonderingen en handboring in teen met veenclassificatie	Direct afleesbaar	Onderscheid mogelijk over de lengte van de handboring	Onderscheid mogelijk over de lengte van de handboring	Onderscheid mogelijk over de lengte van de handboring
Klasse 1-sonderingen en handboring in teen met veenclassificatie	Direct afleesbaar	Direct afleesbaar	Direct afleesbaar	Onderscheid mogelijk over de lengte van de handboring
Speciale sonderingen en boringen bij ijkvelden	Direct afleesbaar	Direct afleesbaar	Direct afleesbaar	Direct afleesbaar

### Standaard sonderingen en boringen

Uit een standaard sondering en de standaard classificatie van de boringen is duidelijk onderscheid te maken tussen zand, veen en klei. Het is echter niet mogelijk om een aangepast onderscheid tussen veen en klei volgens het veenprotocol van Deltares te maken of onderscheid tussen veen en gyttja/detritus, omdat de conusweerstand daarvoor te onnauwkeurig is.

### Onderscheid tussen de grondlagen bij een standaard sondering

Uit het sondeerbeeld van een standaard sondering kan bij de Markermeerdijk onderscheid gemaakt worden tussen zand, klei en veen op basis van de conusweerstand, de wrijvingsweerstand en het wrijvingsgetal. In tabel 2 zijn per grondsoort de waardes gepresenteerd.



*Tabel 2: Schematisatie onderscheid tussen grondlagen o.b.v. standaard sonderingen*

Grondsoort	Conusweerstand [MPa]	Wrijvingweerstand [MPa]	Wrijvingsgetal [%]
Zand	$\geq 1,0$	$\geq 0,01$	0,5 - 1,5
Klei	$\leq 1,0$	$\leq 0,025$	1,5 - 4
Veen	$\leq 1,0$	0,025 - 0,05	5 - 10
Gyttja/detritus	-	-	-

\* Opgemerkt wordt dat de schaal van de wrijvingsweerstand afhankelijk is van de schaal van de conusweerstand, waardoor het lastiger is waarden eraan te koppelen. Als geheugensteun kan doorgaans het volgende worden aangehouden:

- De wrijvingsweerstand van zand volgt het patroon van de conusweerstand alleen met lagere waarden.
- De wrijvingsweerstand van klei is beduidend lager dan de conusweerstand.
- De wrijvingsweerstand van veen ligt hoger dan de conusweerstand.

### **Bolsonderingen**

Een bolsondering meet alleen een nauwkeuriger verloop van de conusweerstand.

Aan de hand van een bolsondering valt alleen onderscheid te maken tussen zand- en veen- /kleilagen. Onderscheid tussen veen en klei is echter veelal niet mogelijk, aangezien veen en klei vergelijkbare conusweerstand kunnen hebben. Daardoor is verder onderscheid tussen de klei- en veenlagen in gyttja/detritus ook niet mogelijk.

#### Onderscheid tussen de grondlagen bij een bolsondering

Uit het sondeerbeeld van een bolsondering kan bij de Markermeerdijk alleen onderscheid gemaakt worden tussen zand en klei/veen op basis van de conusweerstand. In tabel 3 zijn per grondsoort de waarden gepresenteerd.

*Tabel 3: Schematisatie onderscheid tussen grondlagen o.b.v. bolsonderingen*

Grondsoort	Conusweerstand [MPa]	Wrijvingweerstand [MPa]	Wrijvingsgetal [%]
Zand	$\geq 0,8$	-	-
Klei	$\leq 0,8$	-	-
Veen	$\leq 0,8$	-	-
Gyttja/detritus	-	-	-

### **Klasse 1-sonderingen**

Net als bij een normale sondering is ook hier het onderscheid tussen zand, klei en veen mogelijk. Aangezien een klasse 1-sondering nauwkeuriger is, is het mogelijk om op basis van de conusweerstand, de wrijvingsweerstand en het wrijvingsgetal een aangepast onderscheid tussen klei en veen te maken en onderscheid tussen veen en gyttja/detritus. Onderscheid tussen gyttja en detritus is echter niet mogelijk.

#### Onderscheid tussen de grondlagen bij een klasse 1-sondering

Uit het sondeerbeeld van een klasse 1-sondering kan bij de Markermeerdijk onderscheid gemaakt worden tussen zand, klei, veen en gyttja/detritus op basis van de conusweerstand, de wrijvingsweerstand en het wrijvingsgetal. In tabel 4 zijn per grondsoort de waardes gepresenteerd.

Tabel 4: Schematisatie onderscheid tussen grondlagen o.b.v. klasse 1-sonderingen

Grondsoort	Conusweerstand [MPa]	Wrijvingweerstand [MPa]	Wrijvingsgetal [%]
Zand	$\geq 1,5$	0,030 - 0,070	1 - 1,5
Klei	$\leq 0,8$	0,005 - 0,030	1,5 - 5
Veen	0,5 - 1	0,045 - 0,100	7 - 10
Gyttja/detritus	0,4 - 0,8	0,020 - 0,050	4 - 7

\* Opgemerkt wordt dat de schaal van de wrijvingweerstand afhankelijk is van de schaal van de conusweerstand, waardoor het lastiger is waarden aan te koppelen. Als geheugen steun kan doorgaans het volgende worden aangehouden:

- De wrijvingweerstand van zand volgt het patroon van de conusweerstand alleen met lagere waarden.
- De wrijvingweerstand van klei is beduidend lager dan de conusweerstand.
- De wrijvingweerstand van veen ligt hoger dan de conusweerstand.

### Bolsonderingen en handboring in de teen met geavanceerde veenclassificatie

Met behulp van de geavanceerde veenclassificatie van de handboring valt, over de lengte van de handboring onderscheid te maken tussen alle veenlagen. Aan de hand van de bolsondering is echter alleen onderscheid te maken tussen zand en klei/veen.

Omdat bij een bolsondering veen en klei niet is te onderscheiden, kan aan de hand van één bolsondering en een geavanceerde veenclassificatie van een handboring geen doorvertaling gemaakt worden naar overige bolsonderingen in het betreffende dwarsprofiel.

### Klasse 1-sonderingen en handboring in teen met geavanceerde veenclassificatie

Uit de klasse 1-sondering is al onderscheid te maken tussen de eerste vier punten. Als gevolg van de handboring in de teen met veenclassificatie is ook onderscheid te maken tussen gyttja en detritus. Bij uitvoering van een klasse 1-sondering en een handboring valt dus het totale onderscheid te maken. Een doorvertaling naar een locatie in het dwarsprofiel waar alleen een klasse 1-sondering is uitgevoerd is mogelijk, echter er is ter plaatse geen onderscheid te maken tussen gyttja en detritus.

### Speciale sonderingen en boringen bij ijkvelden

Hiervoor geldt hetzelfde als bij een klasse 1-sondering met handboring. Door veenclassificatie van de boring is onderscheid te maken tussen alle vier de punten, omdat overal boringen met veenclassificatie beschikbaar zijn.

In het vertrouwen u hiermee voldoende te hebben geïnformeerd, verblijven wij.

Met vriendelijke groet,  
Fugro GeoServices B.V.

ir. W.R. Halter  
Senior Adviseur Waterbouw

BIJLAGE 2

**ANALYSE UITSCHIETERS  $N_{KT}$  EN  $N_B$  FACTOREN**

Fugro project Nr.: 1214-0007-040

## ANALYSE UITSCHIETERS $N_{kt}$ EN $N_b$ FACTOREN

In het kader van de versterking van de Markermeerdijken zijn, ter bepaling van de  $N_{kt}$  en  $N_b$  factor, in totaal 266 DSS proeven op veen uitgevoerd. Daarnaast zijn gevoelige conus sonderingen uitgevoerd om een correlatie te kunnen maken tussen de (netto) conusweerstand en de schuifsterkte van het veen zoals bepaald door middel van de DSS proeven. Vergelijking tussen de gemeten netto conusweerstand en de schuifsterkte levert een  $N_{kt}$  factor op in het geval van klasse-1 sonderingen en een  $N_b$  factor in het geval van bolsonderingen. De klasse-1 sonderingen zijn uitgevoerd op de binnenberm en kruin van de waterkering, de bolsonderingen ter plaatse van het achterland, het voorland of op het water van het Markermeer.

De volgende DSS proeven zijn bij het afleiden van de  $N_{kt}$  en  $N_b$  factoren buiten beschouwing gelaten:

- 16 DSS proeven die zijn uitgevoerd bij 1,5x de grensspanning;
- 12 DSS proeven die op de locatie binnenberm zijn uitgevoerd van het IJkveld Floriskoog. Er wordt voor gekozen deze proeven buiten beschouwing te laten, aangezien er onnauwkeurigheden zitten in de bepaling van de terreinspanning waardoor deze te laag is ingeschat;
- 4 monsters zijn na uitvoering van de proef geclassificeerd als klei en worden als zodanig niet meegenomen in de analyse. Eén van de monsters is afkomstig van de binnenberm-locatie van het IJkveld Floriskoog en zou om die reden al niet worden meegenomen.
- 18 monsters waarbij een afwijkend consolidatieverloop is waargenomen (zie ook memo: 1214-0007-012.M02 en verslag overleg 17-02-2015: 1214-0007-012.M03);
- 14 monsters waar geen gegevens van de conusweerstand op de betreffende diepten van de DSS proefstukken beschikbaar zijn. Zo is bijvoorbeeld sondering BCPT28-130A, nabij boring B28-130A niet op diepte gekomen.

Op basis van bovenstaande zijn er  $266 - 16 - 12 - 3 - 18 - 14 = 203$  DSS proeven meegenomen ter bepaling van de gemiddelde  $N_{kt}$  en  $N_b$  factor.

Uit de DSS proeven is per monster de maximale  $s_u$  waarde bepaald en voor elk monster is op basis van een naastgelegen klasse 1-sondering of bolsondering de conusweerstand ( $q_{net}$  of  $q_{ball}$ ) op de diepte van het genomen monster bepaald.

Aan de hand van de conusweerstand en de maximale  $s_u$  waarde is per monster een  $N_{kt}$  of  $N_b$  factor bepaald. In de berekeningen voor het dijkontwerp zal gebruik worden gemaakt van de gemiddelde waarde.

De gemiddelde  $N_{kt}$  bedraagt 16,4 op basis van 57 monsters.

De gemiddelde  $N_b$  bedraagt 20,4 op basis van 146 monsters.

### De uitschieters

Uit nadere analyse van de  $N_{kt}$  en  $N_b$  per monster is gebleken dat enkele monsters een opvallend hoge of lage  $N_{kt}$  of  $N_b$  factor hebben ten opzichte van het berekende gemiddelde.

De volgende monsters zijn aangemerkt als uitschieter:

- B22-3+90KR st4             $N_{kt} = 49,5$         (hoge waarde)
- B28-146A st7-1            $N_b = 7,0$             (lage waarde)

- B28-146A st8-1  $N_b = 7,4$  (lage waarde)
- B28-130+90A st7-2  $N_b = 7,6$  (lage waarde)
- B28-132+90A st5-1  $N_b = 45,4$  (hoge waarde)
- B28-127+90W st5-2  $N_b = 50,4$  (hoge waarde)
- B22-3+90A st1-1  $N_b = 48,2$  (hoge waarde)
- B22-3+90A st1-2  $N_b = 45,1$  (hoge waarde)

Voor de uitschieters is geprobeerd een statistische- en/of een fysische verklaring te geven. Op deze wijze kan worden bekeken of de uitschieters in statistische zin ook zijn te duiden als uitschieters of dat er een fysische verklaring kan worden gevonden voor het (afwijkende) resultaat.

### **Statistische analyse**

Door het uitvoeren van een statistische analyse kan op basis van een (beperkte) hoeveelheid data een voorspelling wordt gedaan over een groter geheel en de betrouwbaarheid daarvan. Dit wordt gedaan omdat het veelal onmogelijk is om de data van het geheel volledig mee te nemen.

Voor dit project houdt dat in dat op basis van de  $s_u$  waarden uit de DSS proeven en de bijbehorende conusweerstanden van 203 monsters iets gezegd wordt over de gemiddelde  $N_{kt}$  en  $N_b$  factor voor het hele projectgebied.

Hieronder volgt een korte uitleg van de te doorlopen stappen voor het opstellen van een statistische vergelijking, daarbij wordt gerefereerd aan figuur 1 ( $N_{kt}$ ) en figuur 2 ( $N_b$ ).

#### De waarnemingen en het gemiddelde

Allereerst worden de  $s_u$  waarden uit de DSS proeven en de bijbehorende conusweerstanden van 203 monsters in een grafiek tegen elkaar uitgezet. Dit zijn de blauwe punten in figuur 1 (57 monsters ter bepaling van de  $N_{kt}$  factor) en figuur 2 (146 monsters ter bepaling van de  $N_b$  factor). De verhouding tussen de  $s_u$  waarde en de conusweerstand is het gemiddelde (de zwarte lijn).

#### Betrouwbaarheidsinterval

Vervolgens wordt op basis van de hoeveelheid beschikbare data (203 DSS proeven) vastgesteld hoe groot de kans is dat deze data ook elders in het projectgebied of bij herhaling van de proeven wordt gevonden. Het betrouwbaarheidsinterval bedraagt bijvoorbeeld 90%, 95% of 99% afhankelijk van het vertrouwen in de data en de hoeveelheid beschikbare data. Immers hoe meer data beschikbaar is hoe dichter de uitkomst de werkelijkheid benaderd (100%) en hoe minder spreiding er in de data zal zitten.

Veelal wordt een 95% betrouwbaarheidsinterval toegepast, omdat dit ongeveer gelijk is aan het interval op minder dan twee keer de standaardafwijking van de verwachtingswaarde bij een normale verdeling. In deze briefrapportage is ook uitgegaan van een 95% betrouwbaarheidsinterval.

#### Standaarddeviatie

Daarna wordt aan de hand van de 203 monsters en het 95% betrouwbaarheidsinterval een range vastgesteld waarbinnen de waarnemingen van de monsters wordt verwacht. Aangenomen wordt dat maximaal 5% van alle waarnemingen buiten dit gebied valt en wordt

aangemerkt als potentiële uitschieter. Deze range geldt voor de beschikbare data (203 monsters), maar ook voor eventuele aanvullende- of herhalingsproeven. Stel dat de 203 proeven (of een deel daarvan) 100 maal wordt herhaald, dan zal elke keer een andere gemiddelde  $N_{kt}$  en  $N_b$  factor worden gevonden, echter 95% (betrouwbaarheidsinterval) daarvan zal binnen de range liggen en 5% buiten de range.

#### Verwacht hoge- en lage gemiddelde

Op basis van de 57 en 146 monsters is een gemiddelde  $N_{kt}$  en  $N_b$  factor bepaald (de zwarte lijn). Indien de proeven bijvoorbeeld 100 maal herhaald wordt, zullen andere gemiddelden worden gevonden. De ene keer zullen hogere  $N_{kt}$  en  $N_b$  factoren worden gevonden en de andere keer lagere.

Met de beschikbare data (203 monsters) kan een verwacht hoog gemiddelde (gele lijn) en verwacht laag gemiddelde (blauwe lijn) worden bepaald. Zoals hiervoor vermeld, wordt verwacht dat bij herhaling van de proeven 95% van de nieuwe  $N_{kt}$  en  $N_b$  factor binnen de gele en blauwe lijn ligt en 5% daarbuiten (uitschieter).

#### Verwachte maximale boven- en ondergrens voor de data

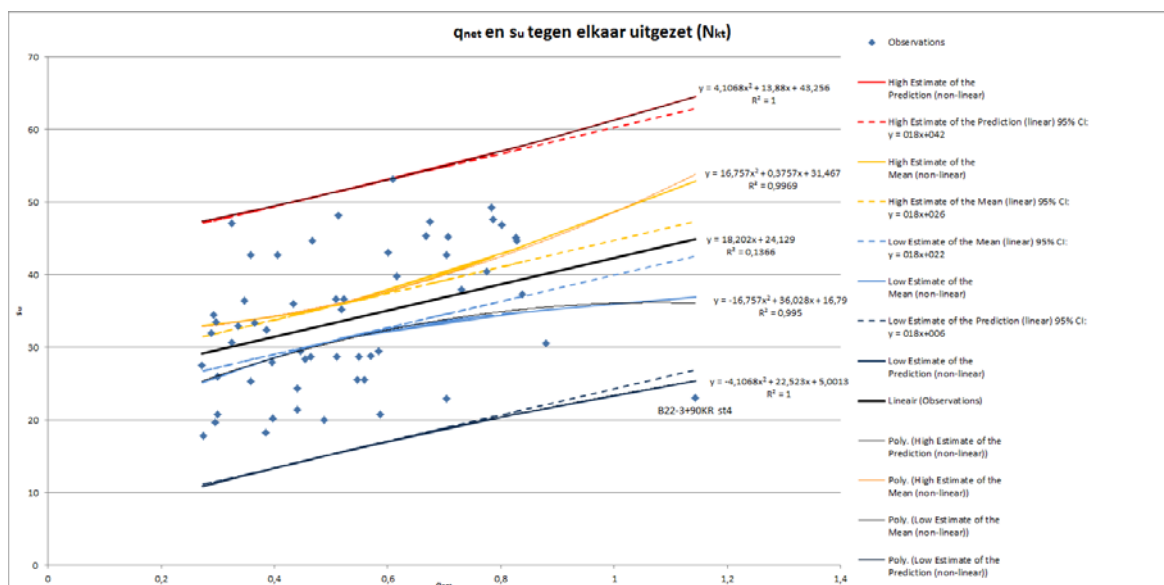
Op basis van de 57 en 146 monsters wordt eveneens een maximale boven- en ondergrens bepaald waartussen 95% van de alle data ligt. Als de proeven worden herhaald zal de 95% data van die proeven binnen deze range vallen (de rode en donder blauwe lijnen). De data die buiten deze range ligt (5%) wordt aangemerkt als potentiële uitschieter.

#### Samengevat

Kort gezegd wordt op basis van een beperkte hoeveelheid monsters (203 proeven) een verwachtingswaarde van het gemiddelde bepaald voor het gehele project. Omdat het onmogelijk is om precies het werkelijke gemiddelde te bepalen op basis van een beperkte hoeveelheid monsters zit er een bepaalde onzekerheid in de beschikbare data. Deze onzekerheid wordt in de analyse opgenomen door toepassing van een bepaald betrouwbaarheidsinterval, in dit geval van 95% en een standaarddeviatie (de range waarbinnen je verwacht dat je data correct is). Daarnaast geeft een 95% betrouwbaarheidsinterval aan dat verwacht wordt dat de data binnen dit intervalcorrect is. De 5% van de data buiten het 95% betrouwbaarheidsinterval wordt als potentiële uitschieter gekenmerkt. Hierop wordt een nadere analyse uitgevoerd om te bepalen of de data correct is of dat de proeven mogelijk niet correct zijn uitgevoerd.

#### Bepaling $N_{kt}$ factoren

In figuur 1 zijn de  $s_u$  waarden uit de DSS proeven uitgezet tegen de  $q_{net}$  (conusweerstand) ter bepaling van de  $N_{kt}$  factor (klasse 1-sonderingen). De grafiek is aan het eind van de bijlage in het groot opgenomen.

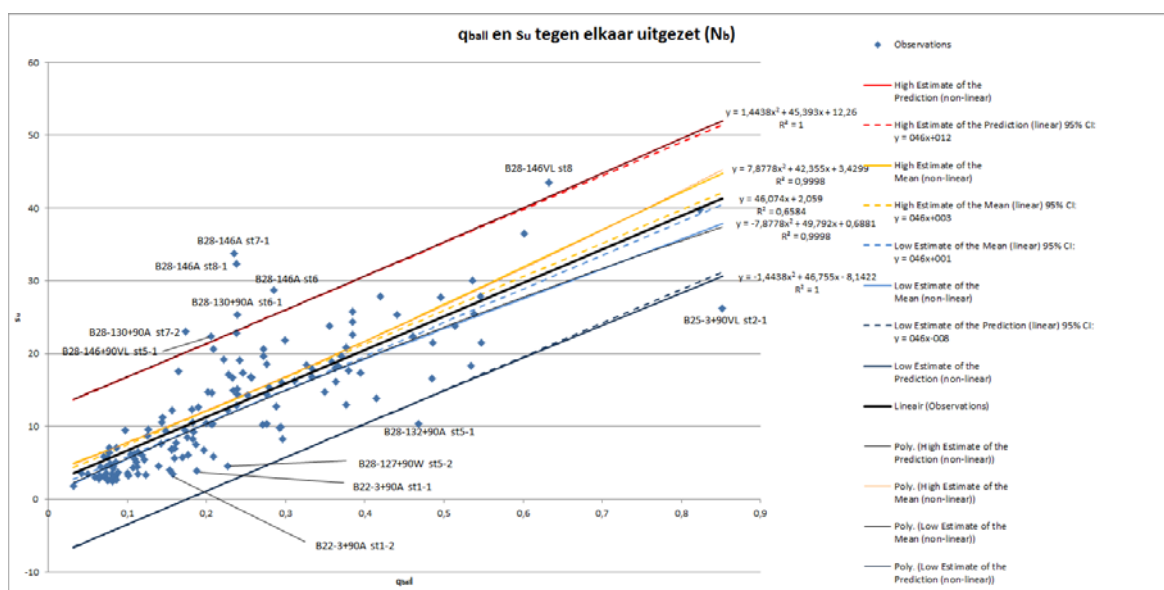


Figuur 1: Verwachtingswaarden bij een 95% betrouwbaarheidsinterval voor de bepaling van  $N_{kt}$

Uit figuur 1 blijkt dat één monster buiten het verwachtingsinterval ligt, onder de verwachte maximale ondergrens. Dit betreft monster B22-3+90KR st4, welke reeds was aangemerkt als uitschieter vanwege een opvallend hoge  $N_{kt}$  factor van 49,5. De reden waarom dit een uitschieter is kan niet worden vastgesteld op basis van de statistische analyse en zal worden behandeld in het hoofdstuk “Fysische verklaring”.

### Bepaling $N_b$ factoren

Ook hier geldt dat de  $s_u$  uit de DSS proeven zijn uitgezet tegen de  $q_{net}$  (conusweerstand) ter bepaling van de  $N_b$  factor (bolsondering) in figuur 2. De grafiek is aan het eind van de bijlage in het groot opgenomen.



Figuur 2: Verwachtingswaarden bij een 95% betrouwbaarheidsinterval voor de bepaling van  $N_b$

De monsters B28-146A st7-1, B28-146A st8-1, B28-130+90A st7-2 waren vooraf aangemerkt als uitschieters, omdat voor deze monsters op basis van expert judgement een lage  $N_b$  factor werd gevonden. Uit de grafiek in figuur 2 blijkt ook dat deze monsters buiten de 95% verwachtingswaarde vallen.

Daarnaast worden nog 4 monsters gevonden die boven de verwachte maximale bovengrens vallen, te weten B28-146+90VL st5, B28-130+90A st6-1, B28-146A st6 en B28-146VL st8.

B28-132+90A st5-1 heeft een hoge  $N_b$  factor en valt ook buiten de verwachte maximale ondergrens. Daarnaast blijkt dat ook monster B25-3+90VI st2-1 buiten de verwachte maximale ondergrens ligt.

Monsters B28-127+90W st5-2 en B22-3+90A st1-1 en st2-1 vielen op voorhand op vanwege een hoge  $N_b$  factor, maar uit de grafiek blijkt dat deze waarden wel binnen het verwachtingsinterval liggen.

### Fysische verklaring

Op basis van de statistische analyse zijn de volgende monsters aangemerkt als uitschieters:

Tabel 1: Uitschieters uit statistische analyse

Monster		$s_u$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_{net}$ of $q_{ball}$ [MPa]	$N_{kt}$ of $N_b$ [-]
B22-3+90KR (enige $N_{kt}$ )	st4	23,1	1,143	49,5
B25-3+90 VL	st2-1	26,2	0,852	32,5
B28-130+90 A	st6-1	25,3	0,239	9,4
B28-130+90 A	st7-2	23,0	0,174	7,6
B28-132+90 A	st5-1	10,3	0,468	45,4
B28-132+90 A	st6	28,7	0,285	9,9
B28-146 A	st7-1	33,7	0,235	7,0
B28-146 A	st8-1	32,3	0,238	7,4
B28-146 VL	st8	43,5	0,633	14,6
B28-146+90 VL	st5	10,4	0,206	19,8

Daarnaast zijn de volgende monsters aangemerkt als uitschieter, omdat daarbij een opvallend hoge  $N_b$  factor wordt gevonden. Opgemerkt wordt dat deze monsters volgens de statistische analyse niet als uitschieter zijn aangemerkt en binnen de range vallen die statistisch is bepaald (binnen de rode en donker blauwe lijn in figuur 2).

Tabel 2: Uitschieters met met hoge  $N_b$

Monster		$s_u$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_{net}$ of $q_{ball}$ [MPa]	$N_{kt}$ of $N_b$ [-]
B28-127+90W	st5-2	4,5	0,227	50,4
B22-3+90A	st1-1	3,9	0,188	48,2
B22-3+90A	st1-2	3,5	0,158	45,1

Er zijn enkele fysische verklaringen te noemen waardoor de laatste drie monsters toch als uitschieters zijn aangemerkt:



- In het sondeerbeeld is over de hoogte van het genomen monster een piek of dal in de conusweerstand waar te nemen, waardoor lokaal een hogere of lagere conusweerstand wordt gevonden.
- Het veenmonster bevindt zich net boven een kleilaag. De kleilaag heeft dan al invloed op de conus waardoor er een vertekend beeld ontstaat van de sondeerweerstand.
- Een derde mogelijke verklaring kan zijn dat er een verloop in hoogte zit in de betreffende grondlaag, waardoor bijvoorbeeld de veenlaag op de sondering op een ander niveau ligt dan in de boring is aangetroffen.

De uitschieters/extremen worden hieronder individueel behandeld, waarbij enkele mogelijke fysische oorzaken worden gegeven. Hierbij is alleen gekeken naar mogelijke oorzaken in de sondering en niet naar mogelijke oorzaken bij de DSS-proef.

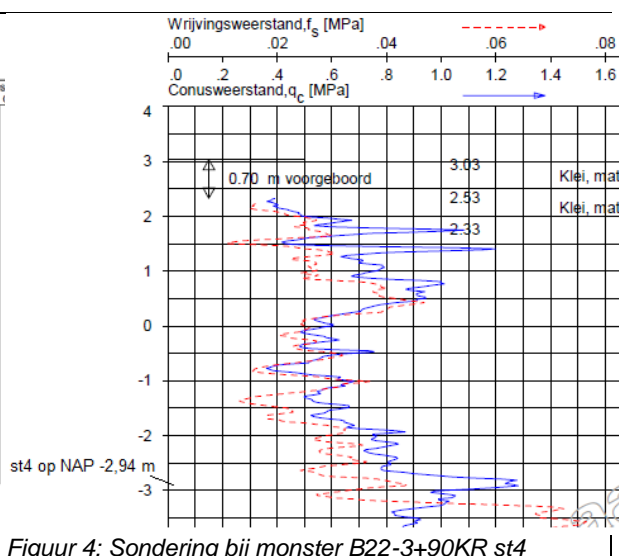
Als er een duidelijke fysische oorzaak is voor een uitschieter, wordt dit aangegeven. In dit geval zal het monster niet worden meegenomen bij de definitieve bepaling van de  $N_{kt}$  en  $N_b$  factoren.

### Monster B22-3+90KR st4

Dit monster is geclassificeerd al zijnde volledig gyttja (zie figuur 3). De maximale  $s_u$  waarde uit de DSS proef voor dit monster bedraagt 23,1 kPa. De conusweerstand die bij dit monster hoort bedraagt 1,14 MPa (zie figuur 4), wat de hoogst gevonden conusweerstand is bij alle monsters.

Lithologie		%Lu	%Za	%Os
Diepte (cm)	Grondsoort	M63	%Si	%Gr
0 - 80	klei			
80 - 100	klei			
100 - 300	klei			
300 - 305	gyttja			
305 - 315	klei	20		
315 - 340	klei	30		
340 - 355	gyttja			
355 - 365	gyttja			
365 - 385	geen monster			
385 - 390	gyttja			
390 - 400	detritus			
400 - 405	klei	15		
405 - 425	klei	15		
425 - 440	klei	30		
440 - 450	gyttja			
450 - 453	klei	30		
453 - 470	detritus			
470 - 490	gyttja			
490 - 520	klei	35		
520 - 533	gyttja			
533 - 550	gyttja			
550 - 555	veen			
555 - 620	gyttja			
620 - 635	geen monster			
635 - 640	klei	35		

Figuur 3: Lithologie van monster B22-3+90KR st4



Figuur 4: Sondering bij monster B22-3+90KR st4

Uit het sondeerbeeld valt op dat ter plaatse van het genomen monster de conusweerstand hoger is. Deze hogere conusweerstand resulteert zodoende in een hogere  $N_{kt}$  factor. Mogelijk zit hier lokaal een andere grondsoort dan veen of gyttja.

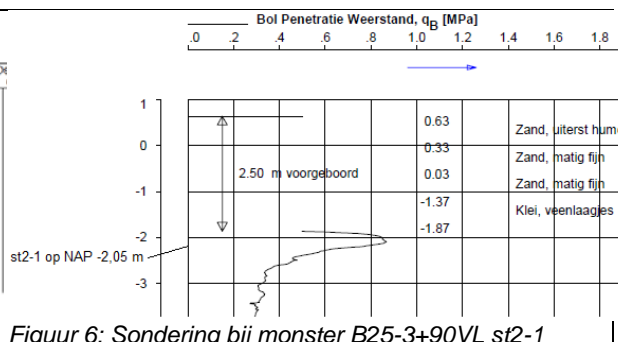
De piek in de sondeerweerstand is zodanig hoog dat monster B22-3+90KR st4 buiten beschouwing wordt gelaten.

### Monster B25-3+90VL st2-1

Dit monster is als detritus geassocieerd (zie figuur 5). De maximale  $s_u$  waarde uit de DSS proef voor dit monster bedraagt 26,2 kPa. De conusweerstand die bij dit monster hoort bedraagt 0,85 MPa (zie figuur 6).

Lithologie				
Diepte (cm)	Omschrijving	%Lu	%Za	%Oe
Grondsoort		M63	%Si	%Gr
0 - 80	veen matig zandig, zwart, veenmosveen			
80 - 120	veen zwak zandig, zwart			
120 - 140	detritus zwak kleilig, grijs-bruin, insluitsets zand, opgebrachte grond			
140 - 160	detritus zwart-grijs, insluitsets klei, opgebrachte grond			
160 - 170	klei zwak humeus, grijs-zwart, weinig detritus, opgebrachte grond			
170 - 220	zand grijs-zwart, Zand: matig grof, detrituslagen, opgebrachte grond			
220 - 260	zand donker-grijs, Zand: matig grof, spoor detritus, insluitsets klei			
260 - 267	detritus zwak kleilig, zwart, spoor wortelresten			
267 - 280	detritus kleilig, donker-grijs			
280 - 290	detritus kleilig, donker-bruin-grijs, Opm.: veenbandjes			
290 - 300	zand grijs-bruin, Zand: matig grof, spoor detritus			
300 - 325	klei sterk siltig, grijs-zwart, matig stevig, spoor detritus, detrituslagen	30		
325 - 350	gyttja grijs, veel niet, spoor detritus			
350 - 365	gyttja grijs, weinig niet, spoor detritus			
365 - 380	gyttja grijs, spoor niet			
380 - 395	zandig veen, humeus met lichte detritus			

Figuur 5: Lithologie van monster B25-3+90VL st2-1



Figuur 6: Sondering bij monster B25-3+90VL st2-1

De detrituslaag is ca. 0,3 m dik en wordt opsloten door zand. De boven- en onderliggende zandlaag kan een verklaring zijn voor de hogere conusweerstand. Verder zit het monster aan de bovenzijde van de sondering, net onder tot waar is voorgeboord. Over het algemeen worden aan de bovenzijde van een sondering relatief hoge en onnauwkeurige conusweerstand gevonden. Dit kan o.a. verklaard worden doordat de ondiepe grondlagen veelal boven de grondwaterstand liggen, zodat de sondering niet nauwkeurig is.

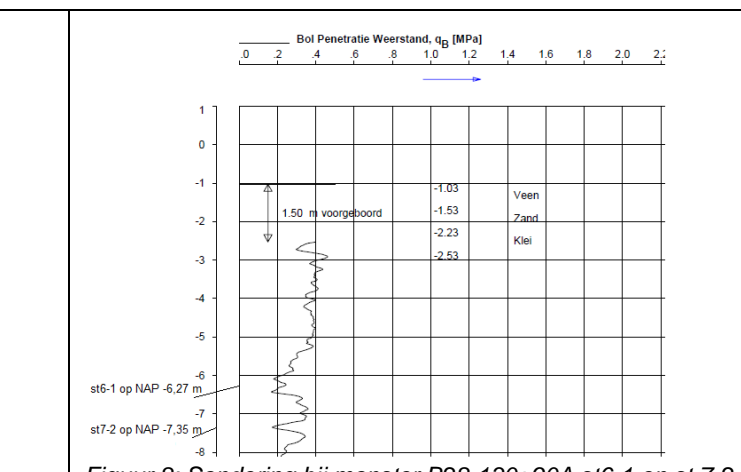
De invloed van de zandlagen en het feit dat het monster aan de bovenzijde van de sondering is gesitueerd, is reden om monster B253+90VL st2-1 buiten beschouwing te laten.

### Monsters B28-130+90A st6-1 en st7-2

Beide monsters zijn als veen geassocieerd (zie figuur 7). De maximale  $s_u$  waarden uit de DSS proeven voor deze monsters bedragen 25,3 en 23,0 kPa. De conusweerstand die bij deze monsters horen bedragen 0,24 en 0,17 MPa (zie figuur 8).

Lithologie					
Diepte (cm)	Omschrijving	%Lu	%Za	%Oe	Ca
Grondsoort		M63	%Si	%Gr	
0 - 80	zwak zandig, zwart, veenmosveen				
80 - 90	detritus donker-grijs, spoor plantenresten, insluitsets klei				
90 - 110	gyttja grijs, spoor wortelresten, insluitsets detritus, Opm.: schuin gelaagd				
110 - 130	gyttja donker-bruin, zegge, insluitsets veen, Opm.: schuin gelaagd				
130 - 165	gyttja donker-grijs, weinig niet, insluitsets detritus				
165 - 195	detritus donker-grijs-bruin, insluitsets klei				
195 - 275	detritus kleilig, grijs-bruin, insluitsets veen				
275 - 335	detritus sterk kleilig, zwart-grijs, insluitsets klei				
335 - 396	gyttja grijs-zwart, insluitsets detritus				
396 - 405	detritus zwak kleilig, zwart-grijs, spoor plantenresten, Opm.: schuin gelaagd				
405 - 430	gyttja bruin-grijs				
430 - 440	detritus donker-bruin, spoor wortelresten				
440 - 450	detritus donker-grijs, weinig wortelresten				
450 - 465	gyttja grijs, spoor niet, spoor netelstolonen				
465 - 475	detritus donker-bruin-grijs				
475 - 485	gyttja bruin-grijs, spoor wortelresten				
485 - 490	veen rood-bruin, Veen: matig amorf, veenmosveen, spoor zegge, Opm.: matig vezelig, matige treksterkte				
490 - 505	veen zwart, Veen: sterk amorf, mossveen, spoor wollegras, spoor heide, Opm.: matig vezelig, matige treksterkte				
505 - 545	veen rood-bruin, Veen: matig amorf, veenmosveen, spoor wollegras, spoor heide, spoor zegge, Opm.: matig vezelig, matige treksterkte				
545 - 565	veen donker-bruin, Veen: sterk amorf, mossveen, spoor heide, spoor zegge, Opm.: matig vezelig, lage treksterkte				
565 - 590	geen monster				
590 - 595	veen rood-bruin, Veen: zwak amorf, wollegrasveen, spoor zegge, Opm.: sterk vezelig, hoge treksterkte, schuin gelaagd				
595 - 645	veen rood-bruin, Veen: matig amorf, veenmosveen, spoor zegge, spoor heide, Opm.: matig vezelig, hoge treksterkte, schuin gelaagd				
645 - 655	gyttja donker-groen-grijs, spoor niet, detrituslagen, Opm.: schuin				

Figuur 7: Lithologie van monster B28-130+90A st6-1 en st 7-2

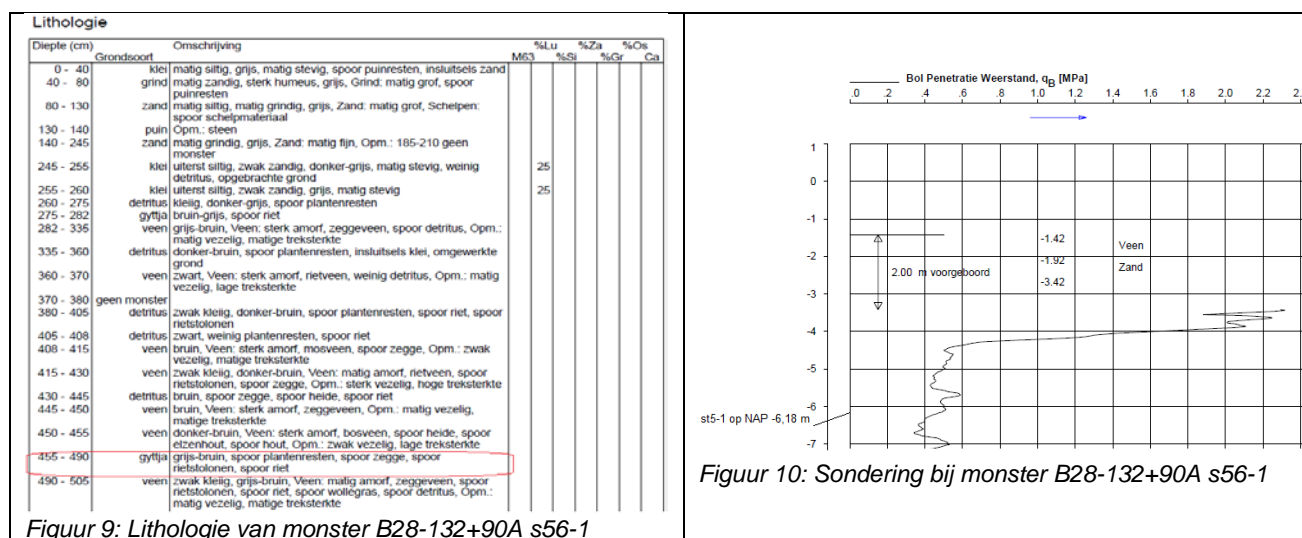


Figuur 8: Sondering bij monster B28-130+90A st6-1 en st 7-2

Ter plaatse van beide monsters is een kleine teruggang in de conusweerstand waar te nemen, wat in een lage  $N_b$  factor resulteert. De teruggang is echter beperkt en geen reden om de monsters buiten beschouwing te laten.

### Monster B28-132+90A st5-1

Dit monster is als gyttja geclassificeerd (zie figuur 9). De maximale  $s_u$  waarde uit de DSS proef voor dit monster bedraagt 10,3 kPa. De conusweerstand die bij dit monster hoort bedraagt 0,47 MPa (zie figuur 10).



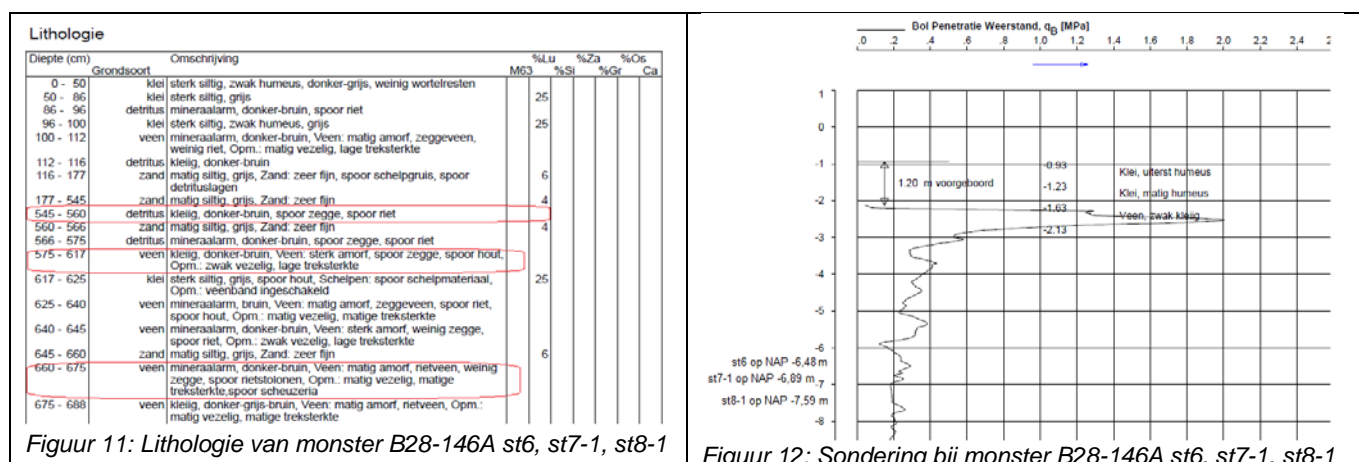
Figuur 9: Lithologie van monster B28-132+90A s56-1

Figuur 10: Sondering bij monster B28-132+90A s56-1

Op basis van de conusweerstand is niks opvallends waar te nemen, zoals een uitschieter in de conusweerstand. Er is dus geen reden om dit monster buiten beschouwing te laten.

### Monsters B28-146A st6, st7-1 en st8-1

Monster B28-146A st6 is als detritus geclassificeerd, de overige 2 monsters (st7-1 en st8-1) zijn als veen geclassificeerd (zie figuur 11). De maximale  $s_u$  waarden uit de DSS proeven voor deze monsters bedragen 28,7, 33,7 en 32,3 kPa. De conusweerstand die bij deze monsters horen bedragen 0,28, 0,23 en 0,24 (zie figuur 12).



Figuur 11: Lithologie van monster B28-146A st6, st7-1, st8-1

Figuur 12: Sondering bij monster B28-146A st6, st7-1, st8-1

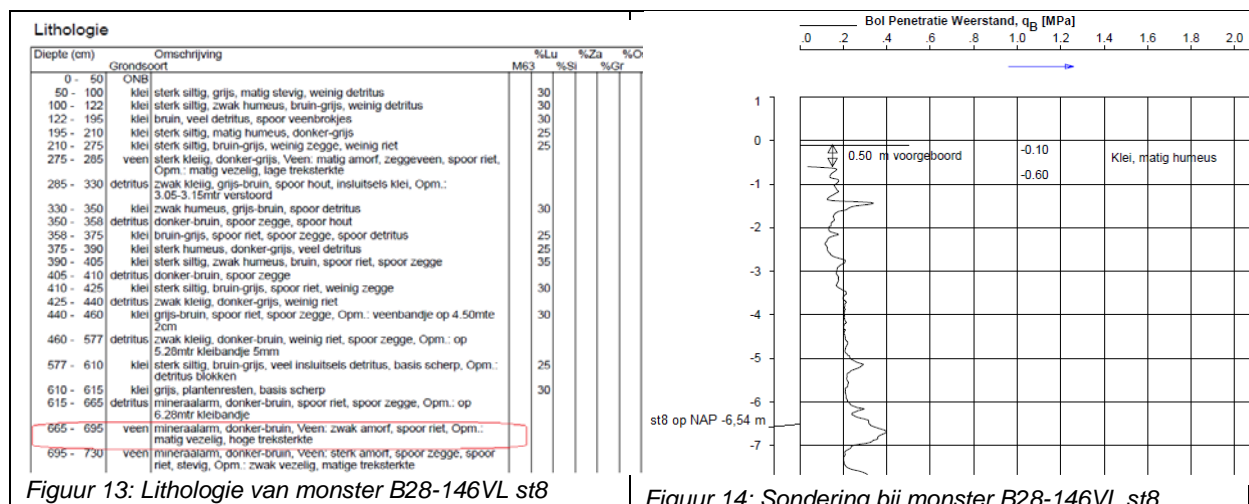
Monster st6 is genomen aan de onderzijde van eenzandlaag. Waarschijnlijk heeft deze zandlaag invloed op de DSS-proef of sondeerweerstand. Om deze reden wordt monster st6 buiten beschouwing gelaten.

Onder monster 7-1 is een dunne kleilaag aanwezig en de laag waarin het monster is gestoken is ook geclassificeerd als veen, kleilig. De waarde van  $s_u$  en de sonderingweerstand zijn echter niet heel afwijkend. Daarom wordt dit monster wel meegenomen in de analyse.

Net boven monster st8-1 is een dun zandlaagje aanwezig. De conusweerstand uit het sondeerbeeld toont echter geen opvallendheden. Daarom wordt dit monster wel meegenomen in de analyse.

### Monster B28-146VL st8

Dit monster is als veen geclassificeerd (zie figuur 13). De maximale  $s_u$  waarde uit de DSS proef voor dit monster bedraagt 43,5 kPa. De conusweerstand die bij dit monster hoort bedraagt 0,63 MPa (zie figuur 14).



Figuur 13: Lithologie van monster B28-146VL st8

Figuur 14: Sondering bij monster B28-146VL st8

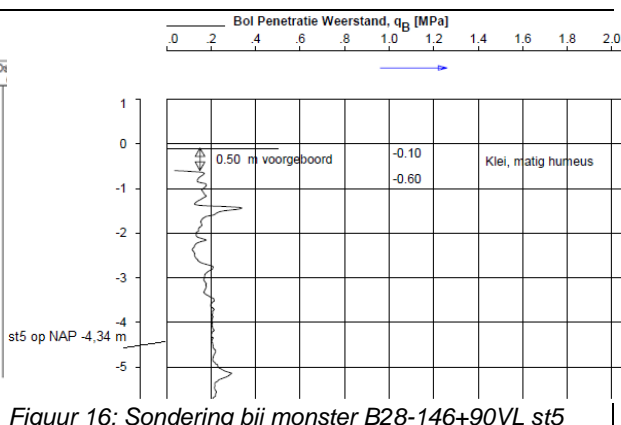
In de sondering is ter hoogte van het monster een kleine toename van de conusweerstand waar te nemen. Dit is echter geen opvallende piek. Daarom wordt dit monster wel meegenomen in de analyse.

### Monster B28-146+90VL st5

Dit monster is als veen geclassificeerd (zie figuur 15). De maximale  $s_u$  waarde uit de DSS proef voor dit monster bedraagt 10,4 kPa. De conusweerstand die bij dit monster hoort bedraagt 0,21 MPa (zie figuur 16).

Lithologie						
Diepte (cm)	Grondsoort	Omschrijving	M63	%Lu	%Za	%Or
0 - 20	klei	grijs, weinig riet, weinig wortelresten	20			
20 - 85	klei	grijs, spoor rietstolonen, spoor riet, veenbrokjes	25			
85 - 100	klei	zwak humeus, bruin-grijs	30			
100 - 114	klei	matig humeus, bruin, spoor riet	20			
114 - 132	klei	zwak humeus, grijs-bruin, spoor riet	25			
132 - 179	detritus	donker-bruin, spoor riet, spoor zegge				
179 - 215	klei	zwak humeus, donker-grijs, weinig riet	25			
215 - 231	klei	zwak humeus, donker-grijs, spoor riet	20			
231 - 237	puin	mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, spoor zegge,				
237 - 253	veen	weinig hout, Opm.: zwak vezelig, lage treksterkte				
253 - 305	geen monster	Opm.: zakjes, kleilig veen, grijsbruin, slap				
305 - 310	veen	mineraalarm, donker-bruin, Veen: sterk amorf, weinig zegge,				
		spoor riet, Opm.: zwak vezelig, lage treksterkte, spoor				
		schweuzeria				
310 - 390	veen	mineraalarm, donker-bruin, Veen: zwak amorf, zeggeveen,				
		spoor riet, Opm.: matig vezelig, matige treksterkte, spoor				
		schweuzeria				
390 - 460	veen	mineraalarm, donker-bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen,				
		weinig riet, Opm.: matig vezelig, matige treksterkte, spoor				
		schweuzeria				
460 - 495	veen	mineraalarm, Veen: sterk amorf, spoor zegge, spoor riet,				
		Opm.: spoor schweuzeria, tot 4,85mtr paraline in monster				

Figuur 15: Lithologie van monster B28-146+90VL st5



Figuur 16: Sondering bij monster B28-146+90VL st5

Op basis van de conusweerstand en boorbeschrijving is niks opvallends waar te nemen. Daarom wordt dit monster wel meegenomen in de analyse.

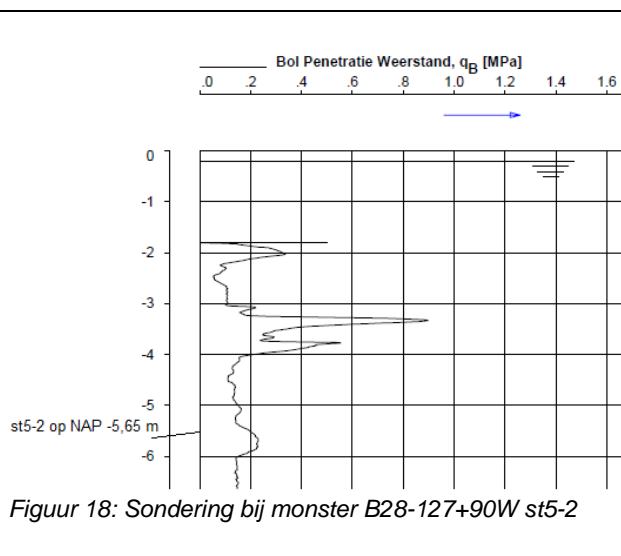
Hieronder zijn nog drie monsters opgenoemd die wel binnen het verwachtingsinterval valt uit de statistische analyse maar wel een opvallend hoge  $N_b$  factor geven.

### Monster B28-127+90W st5-2

Dit monster is als veen geclassificeerd (zie figuur 17). De maximale  $s_u$  waarde uit de DSS proef voor dit monster bedraagt 4,5 kPa. De conusweerstand die bij dit monster hoort bedraagt 0,23 MPa (zie figuur 18).

Lithologie						
Diepte (cm)	Grondsoort	Omschrijving	M63	%Lu	%Za	%Os
0 - 30	schelpen	grijs, veel puinresten, Opm.: basis puin				
30 - 75	klei	sterk siltig, grijs, zeer slap, Schelpen: weinig schelpmateriaal	20			
75 - 85	klei	sterk siltig, grijs, slap, Schelpen: spoor schelpmateriaal	20			
85 - 130	klei	sterk siltig, donker-grijs, slap, Schelpen: spoor schelpmateriaal, weinig puinresten, weinig detrituslagen, Opm.: top schelpen	20			
130 - 180	klei	sterk siltig, donker-grijs, slap, schelpgrijs, veel zandlagen, veel detrituslagen, Opm.: grijs-achtig	20			
180 - 185	detritus	donker-bruin-zwart, erosieve top				
185 - 220	veen	donker-bruin-zwart, Veen: sterk amorf, Scheuchzeriaveen, Opm.: matig vezelig, matige treksterkte				
220 - 245	veen	donker-bruin, Veen: matig amorf, mosveen, spoor zegge, spoor galigaan, spoor heide, Opm.: matig vezelig, lage treksterkte				
245 - 265	veen	donker-bruin, Veen: sterk amorf, spoor zegge, Opm.: zwak vezelig, lage treksterkte				
265 - 275	veen	donker-bruin, Veen: zwak amorf, zeggeveen, weinig mossen, Opm.: matig vezelig, hoge treksterkte				
275 - 305	veen	donker-bruin, Veen: matig amorf, Scheuchzeriaveen, veel wortelresten, Opm.: matig vezelig, lage treksterkte				
305 - 315	veen	bruin, Veen: zwak amorf, zeggeveen, veel Menyanthes, spoor riet, Opm.: matig vezelig, lage treksterkte				
315 - 330	veen	donker-bruin, Veen: sterk amorf, Scheuchzeriaveen, spoor riet, weinig zegge, Opm.: matig vezelig, lage treksterkte				
330 - 355	veen	donker-bruin, Veen: sterk amorf, weinig riet, weinig zegge, Opm.: matig vezelig, lage treksterkte				
355 - 370	veen	donker-bruin, Veen: matig amorf, rietveen, Opm.: matig vezelig, lage treksterkte				
370 - 410	klei	uiterst siltig, grijs, weinig riet, Opm.: top sterk humeus	30			
410 - 495	klei	uiterst siltig, zwak humeus, grijs, spoor rietwortels, spoor detrituslagen	30			
495 - 515	gytja	sterk kleilig, grijs-bruin, spoor riet, weinig detritus				
515 - 525	detritus	donker-bruin-zwart, veel hout, veel insluitels klei				
525 - 535	gytja	grijs-bruin, veel Menyanthes, veel detritus, basis scherp				
535 - 580	klei	sterk siltig, grijs, spoor riet, matig slap	20			
580 - 610	klei	sterk siltig, spoor riet, spoor detritus, basis scherp	20			
610 - 615	gytja	grijs-bruin, weinig riet				
615 - 670	klei	sterk siltig, grijs, spoor riet, spoor detritus	20			
670 - 700	klei	sterk siltig, grijs, weinig detrituslagen	25			

Figuur 17: Lithologie van monster B28-127+90W st5-2



Figuur 18: Sondering bij monster B28-127+90W st5-2

Het monster is genomen op een diepte van NAP -5,65 m, net boven een kleilaag. Daarnaast is een (kleine) piek in de sondeerweerstand te zien. Omdat onzeker is wat de invloed van de kleilaag is, wordt dit monster buiten beschouwing gelaten.

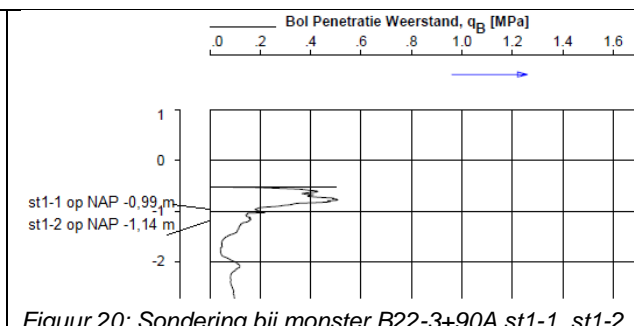
### Monsters B22-3+90A st1-1 en st1-2

Monster st1-1 is als veen geclassificeerd en monster st1-2 als detritus (zie figuur 19).

De maximale  $s_u$  waarden uit de DSS proeven voor deze monsters bedragen 3,9 en 3,5 kPa. De conusweerstand die bij deze monsters horen zijn 0,19 en 0,16 MPa (zie figuur 20).

Lithologie		Omschrijving		%Lu	%Za	%Os
Diepte (cm)	Grondsoort			M63	%Sl	%Gr
0 - 65	veen	kleilig, bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, weinig riet, Opm.: matig vezelig, lage treksterkte				
65 - 85	detritus	kleilig, grijs-bruin, spoor riet				
85 - 90	gyfjla	bruin-grijs, spoor riet, spoor rietstolonen				
90 - 105	veen	donker-grijs, Veen: zwak amorf, rietveen, weinig rietstolonen, Opm.: sterk vezelig, hoge treksterkte				
105 - 115	veen	donker-bruin, Veen: zwak amorf, wollegrasveen, Opm.: sterk vezelig, hoge treksterkte				
115 - 120	veen	bruin, Veen: zwak amorf, mosveen, Opm.: matig vezelig, hoge treksterkte				
120 - 125	veen	rood-bruin, Veen: matig amorf, wollegrasveen, spoor zegge, Opm.: matig vezelig, matige treksterkte				
125 - 130	veen	donker-bruin, Veen: matig amorf, zeggeveen, Opm.: matig vezelig, lage treksterkte				

*Figuur 19: Lithologie van monster B22-3+90A st1-1 en st1-2*



Beide monsters st1-1 en st1-2 zijn genomen in de toplaag rond de grondwaterstand. Hierdoor geeft de sondeerweerstand geen betrouwbaar beeld. Dit is reden om beide monsters buiten beschouwing te laten.

### Conclusie

Op basis van een statistische analyse op 203 monsters worden totaal 10 monsters als uitschieters aangemerkt (ca. 5%). Deze uitschieters liggen buiten het 95% betrouwbaarheidsinterval. Dit kan een aanwijzing zijn dat er een fysische oorzaak is voor de hoge of lage waarde. Daarnaast zijn voorafgaande aan de statistische analyse nog 3 overige monsters als opvallend aangemerkt, maar uit de statistische analyse is gebleken dat deze binnen de verwachtingswaarde liggen. Van de 10 uitschieters en de 3 overige opvallende monsters is nagegaan of er een fysische oorzaak is te vinden voor het afwijkende resultaat. De resultaten hiervan zijn samengevat in tabel 3.

*Tabel 3: Mogelijke oorzaken voor afwijkingen in uitschieters*

Monster	Mogelijke oorzaak voor afwijking	Meenemen in analyse?
B22-3+90KR st4	Lokale hoge piek in sondeerweerstand t.p.v. monster	Nee
B25-3+90 VL st2-1	Zandlaag boven en onder detrituslaag en monster aan bovenzijde sondering	Nee
B28-130+90 A st6-1	Beperkte lokale teruggang in sondeerweerstand	Ja
B28-130+90 A st7-2	Beperkte lokale teruggang in sondeerweerstand	Ja
B28-132+90 A st5-1	Geen duidelijke oorzaak	Ja
B28-146 A st6	Monster genomen aan onderzijde zandlaag	Nee
B28-146 A st7-1	Dunne kleilaag onder monster, geen afwijkingen in sondeerweerstand	Ja
B28-146 A st8-1	Dunne zandlaag boven monster, geen afwijking in sondeerweerstand	Ja
B28-146 VL st8	Kleine toename in sondeerweerstand	Ja
B28-146+90 VL st5	Geen duidelijke oorzaak	Ja
B28-127+90W st5-2	Kleilaag onder monster	Nee
B22-3+90A st1-1	Monster bevindt zich aan bovenzijde sondering	Nee
B22-3+90A st1-2	Monster bevindt zich aan bovenzijde sondering	Nee

Op basis van de analyse van de 13 uitschieters en opvallende monsters worden 6 monsters niet meegenomen bij het bepalen van de  $N_{kt}$  en  $N_b$  factoren. Voor deze 6 monsters is een duidelijke fysische reden gevonden voor een afwijkend resultaat. Bij de overige 7 monsters is dit niet het geval. Deze monsters worden dus wel meegenomen.

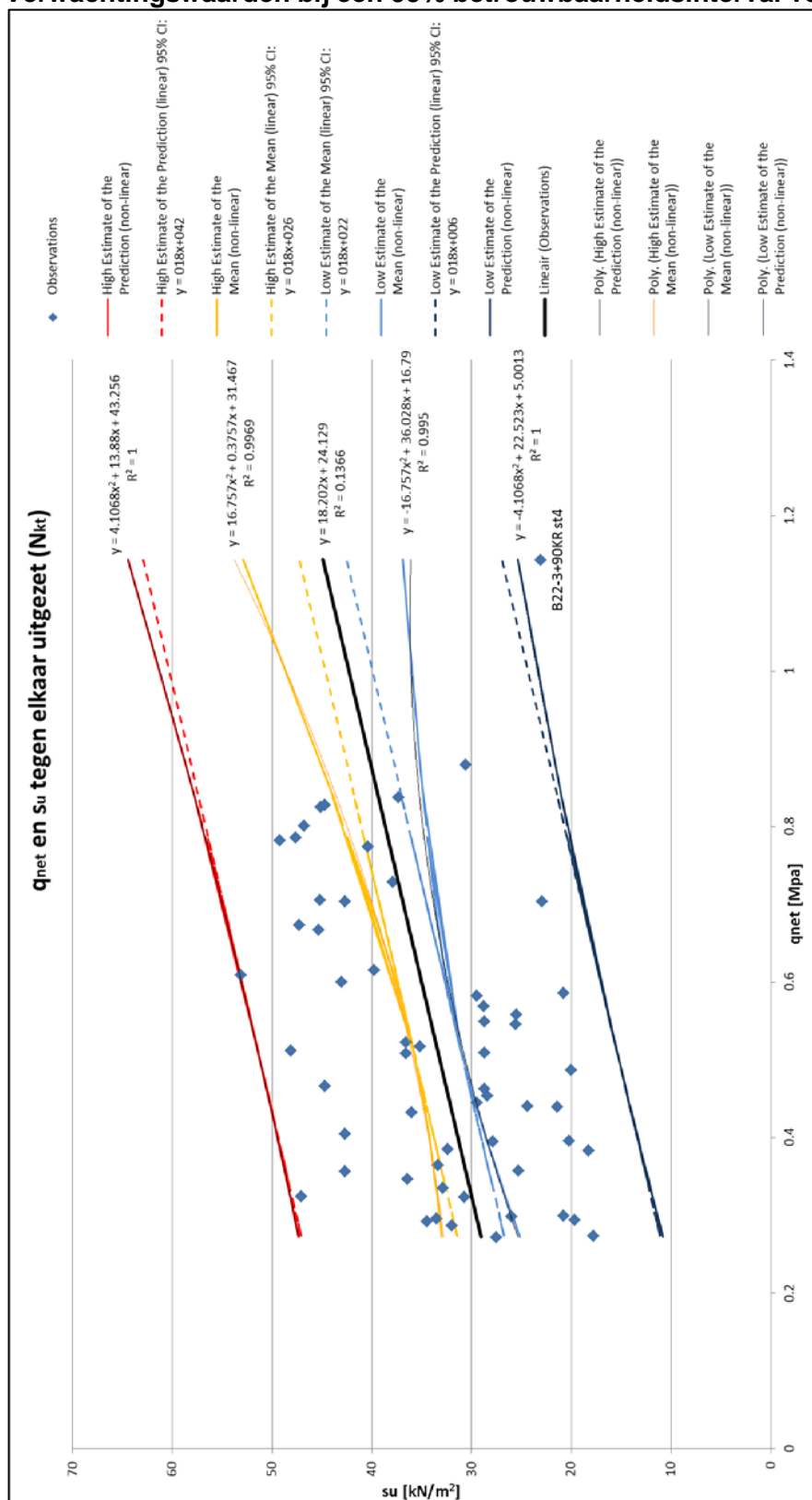
In onderstaande tabel zijn de  $N_{kt}$  en  $N_b$  factoren gepresenteerd op basis van de 203 monsters en bij het niet meenemen van de 6 monsters.

*Tabel 4:  $N_{kt}$  en  $N_b$  factor o.b.v. 203 monsters en zonder de uitschieters*

	O.b.v. de 203 monsters	O.b.v. 197 monster (zonder 6 uitschieters)	O.b.v. 95% betrouwbaarheidsinterval (zonder 13 uitschieters)
$N_{kt}$	16,4	15,8	15,8
$N_b$	20,4	19,8	20,0

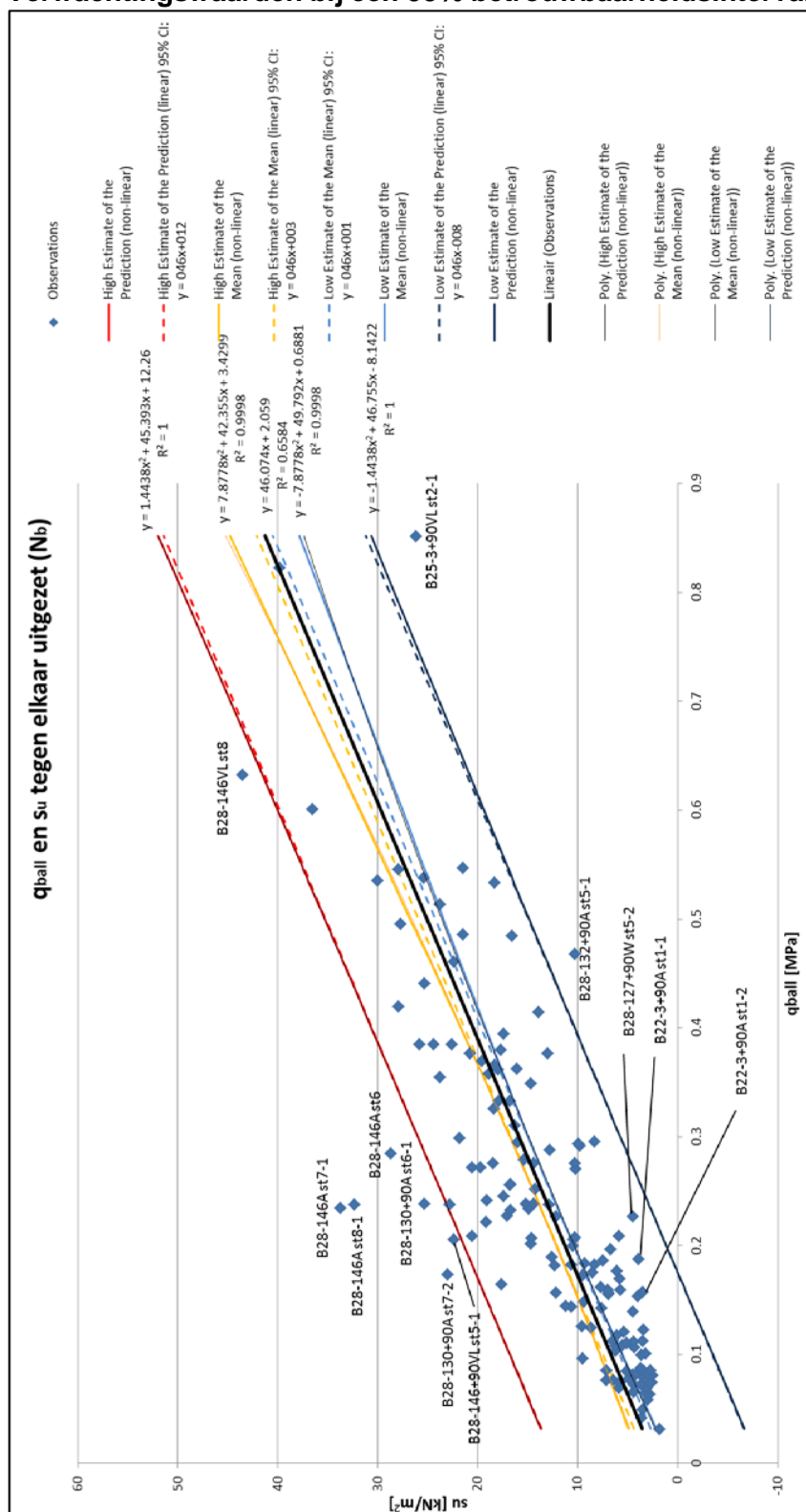
Als de uitschieters worden genegeerd, dan komen de  $N_{kt}$  en  $N_b$  factor dichterbij de buurt van de factoren die eerder in het onderzoek Dijken op Veen zijn afgeleid. Deze bedroegen respectievelijk 14,6 en 18,2.

### Verwachtingswaarden bij een 95% betrouwbaarheidsinterval voor de bepaling van $N_{kt}$





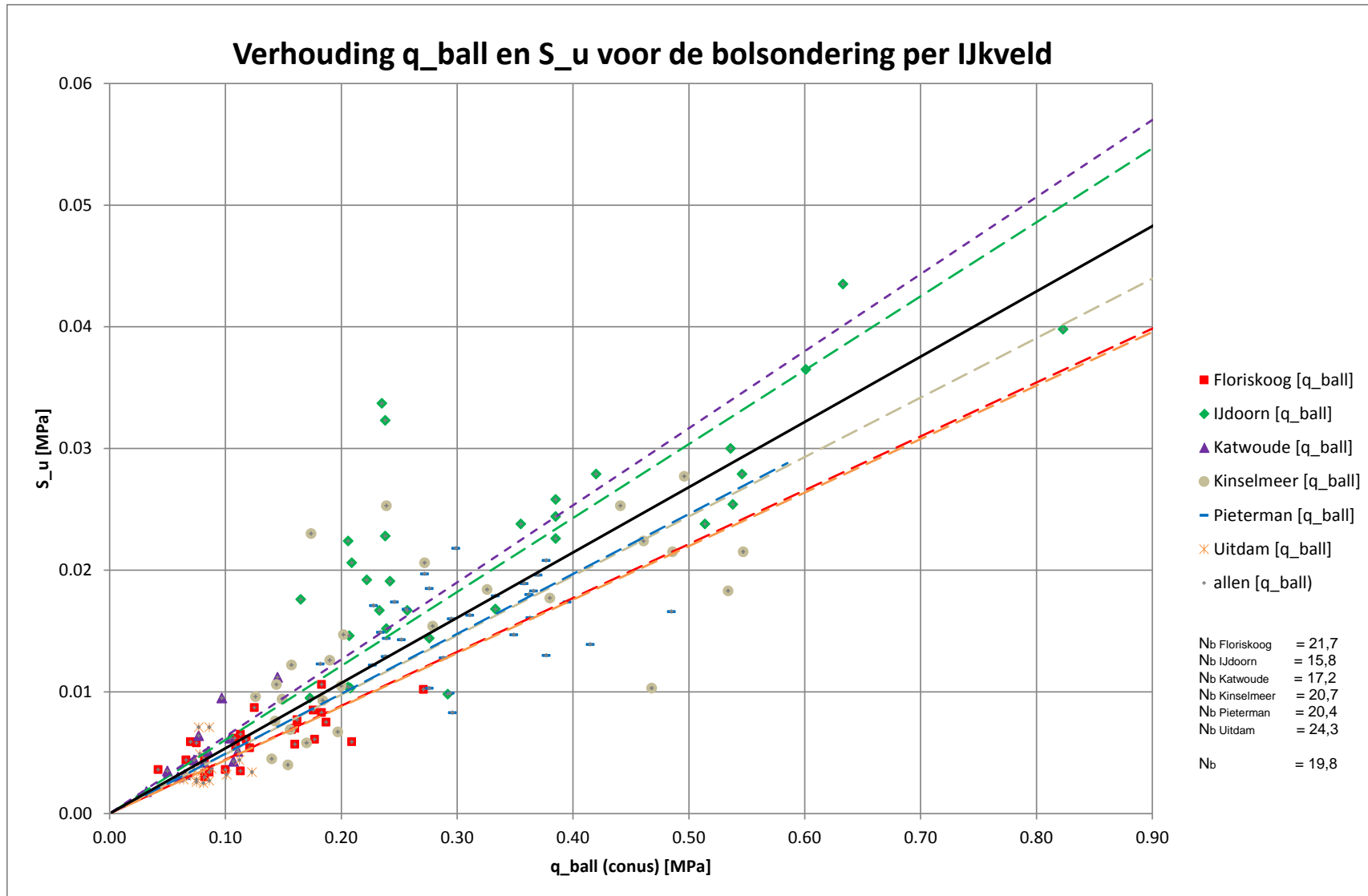
### Verwachtingswaarden bij een 95% betrouwbaarheidsinterval voor de bepaling van $N_b$

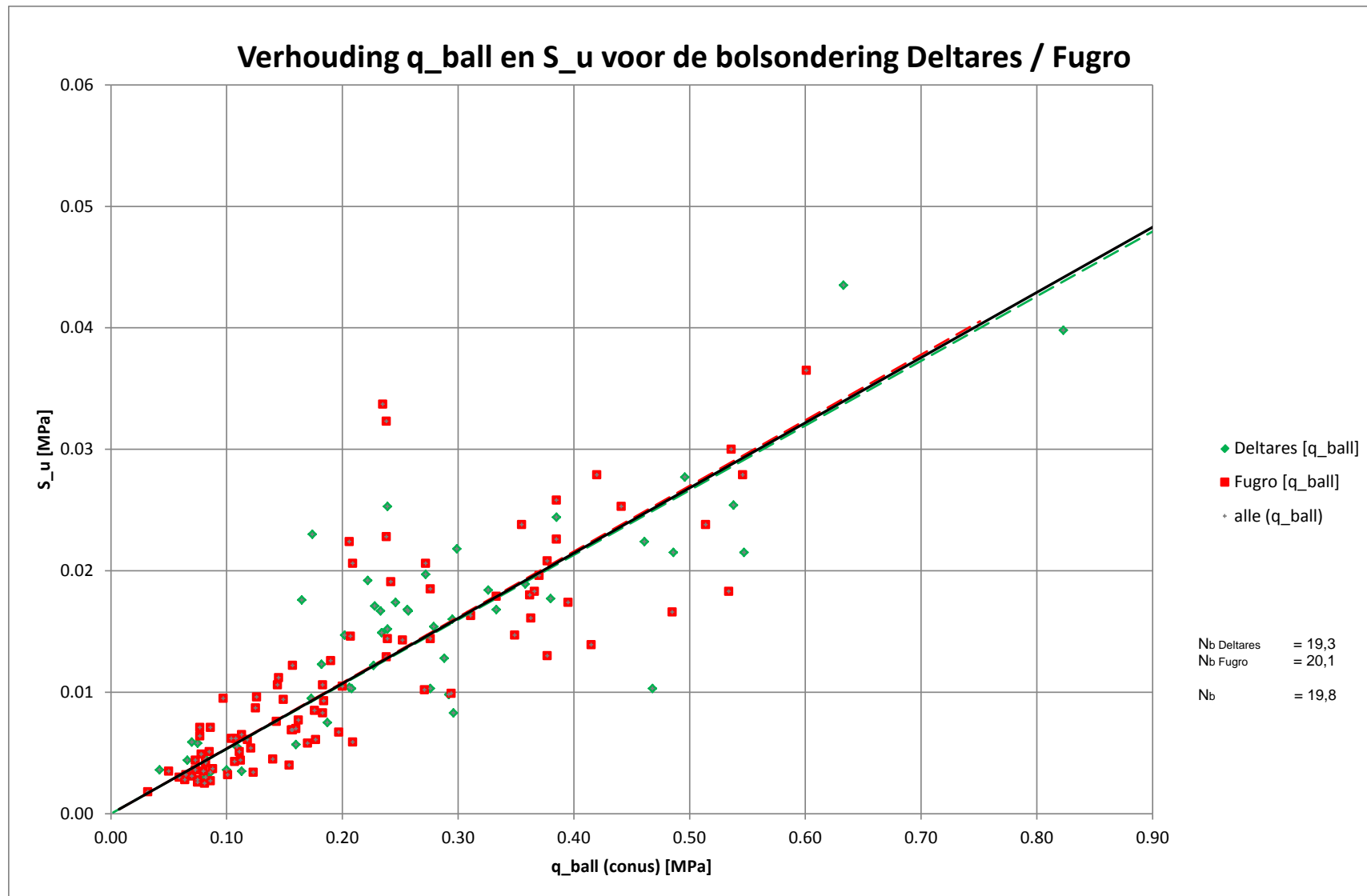


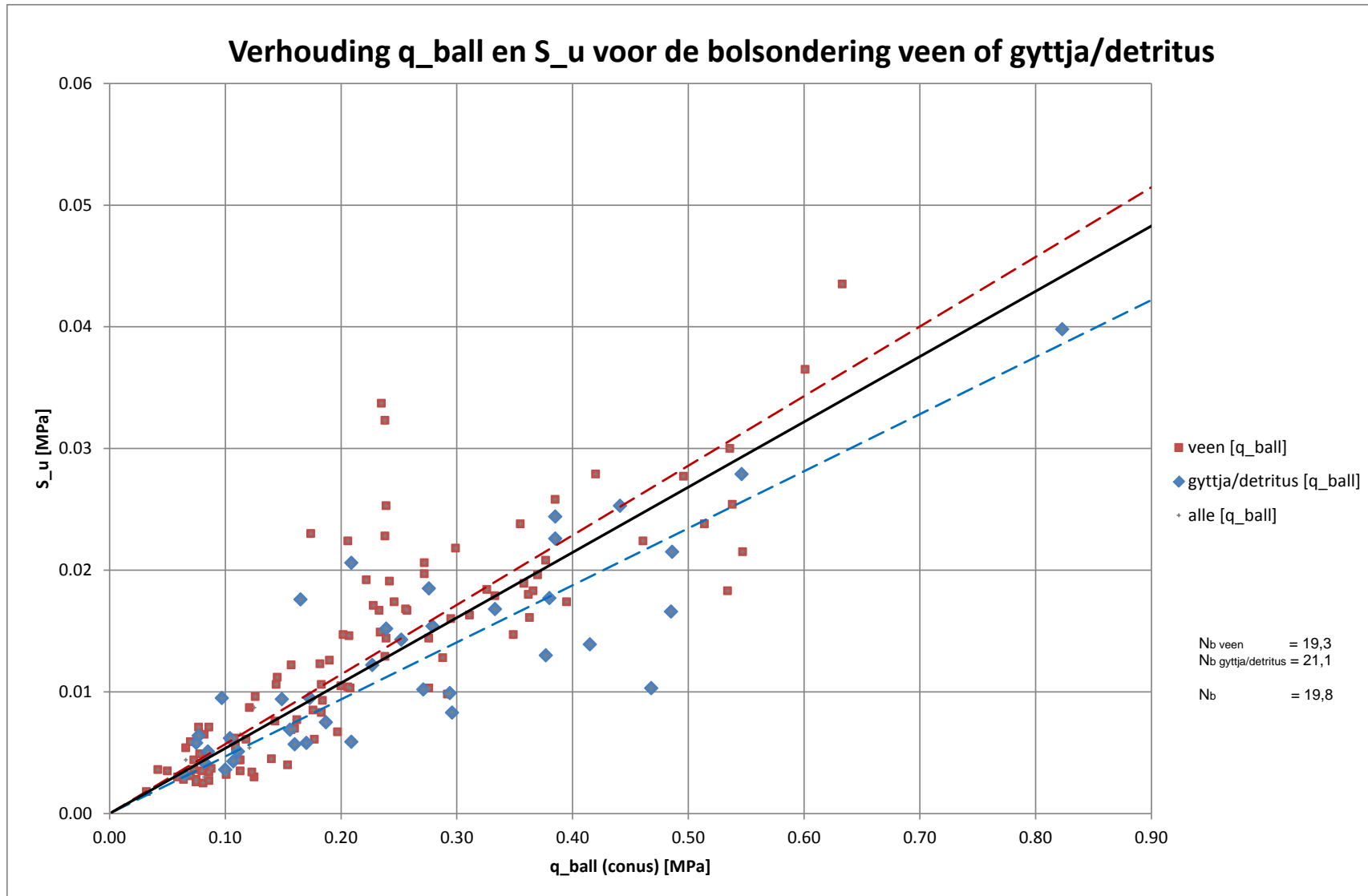
BIJLAGE 3

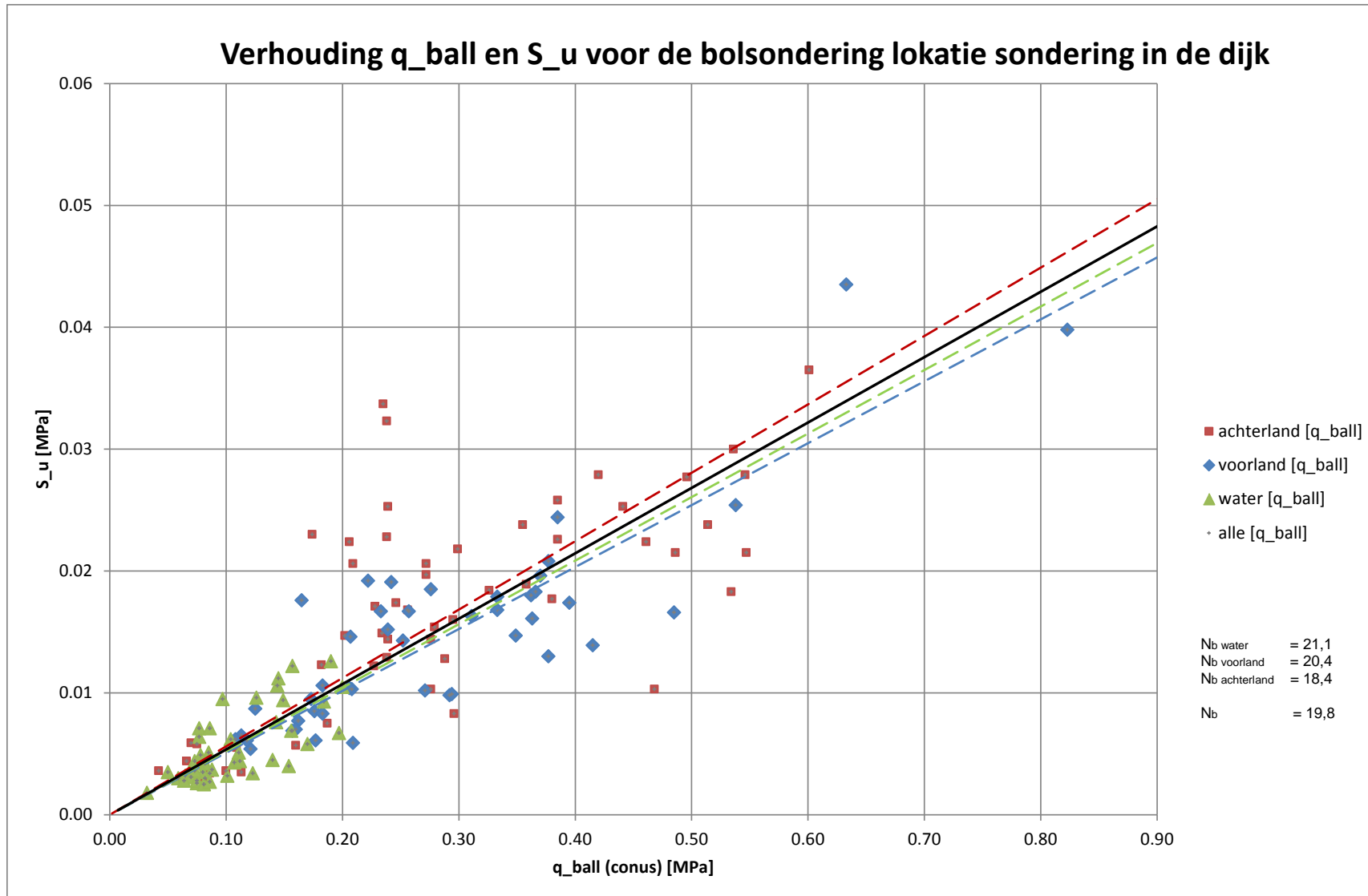
**CORRELATIE SCHUIFSTERKTE EN SONDEERWEERSTAND VEEN**

Fugro project Nr.: 1214-0007-040







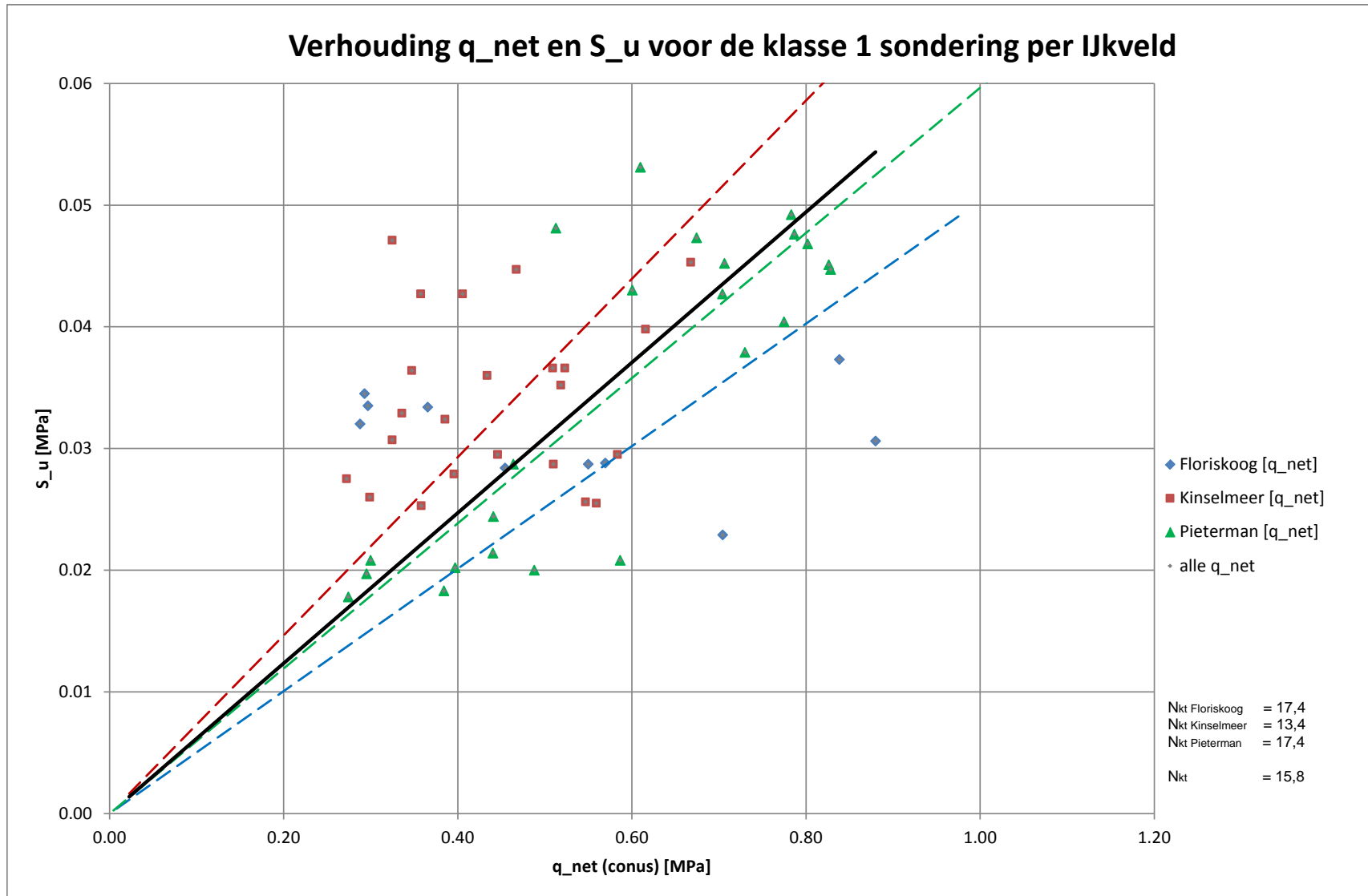


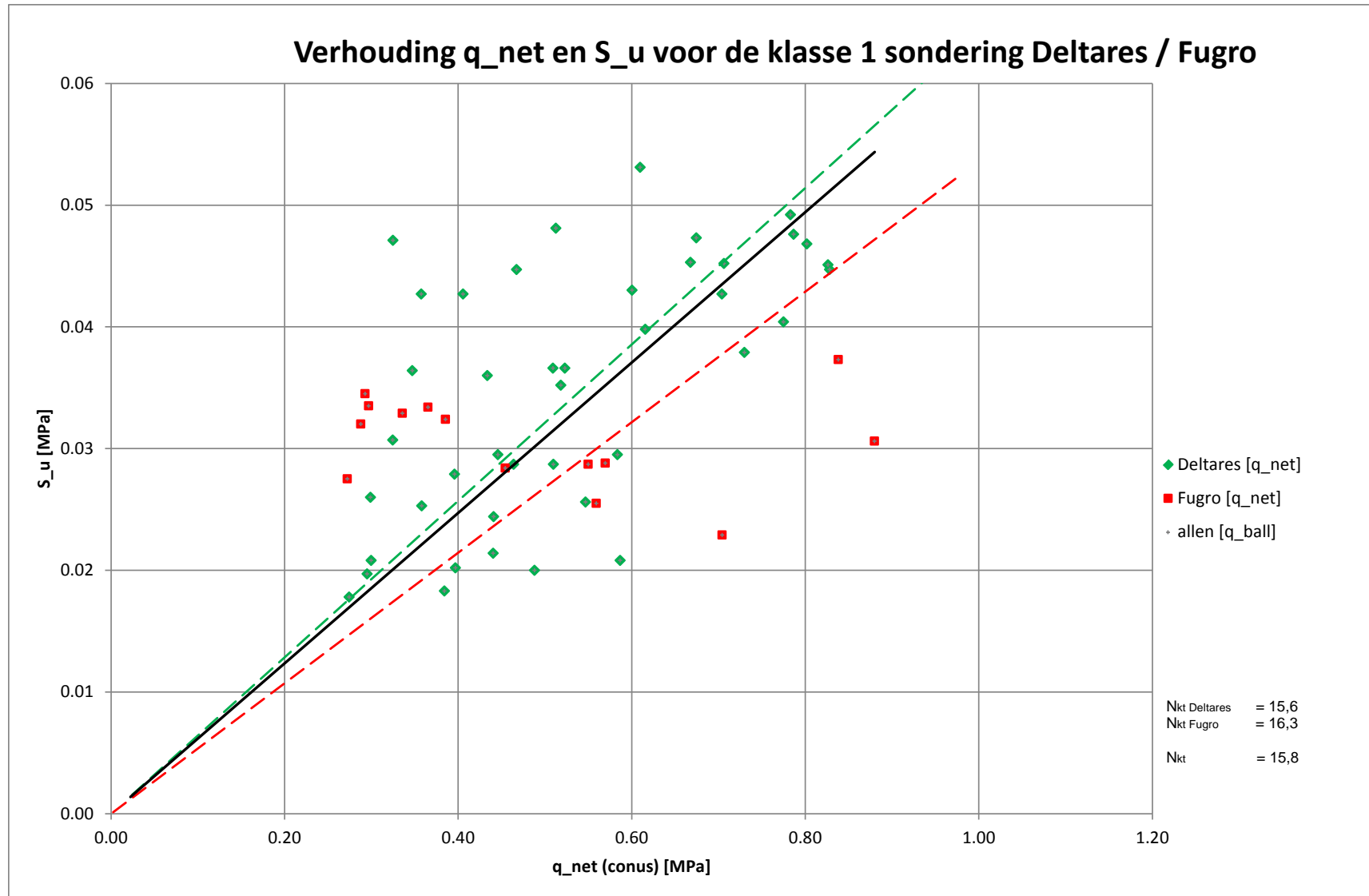
**Correlatie schuifsterkte en sondeerweerstand veen**

Achtergrondrapport grondparameters Dijken op Veen

Opdr. : 1214-0007-040

Bijl. : 3-4





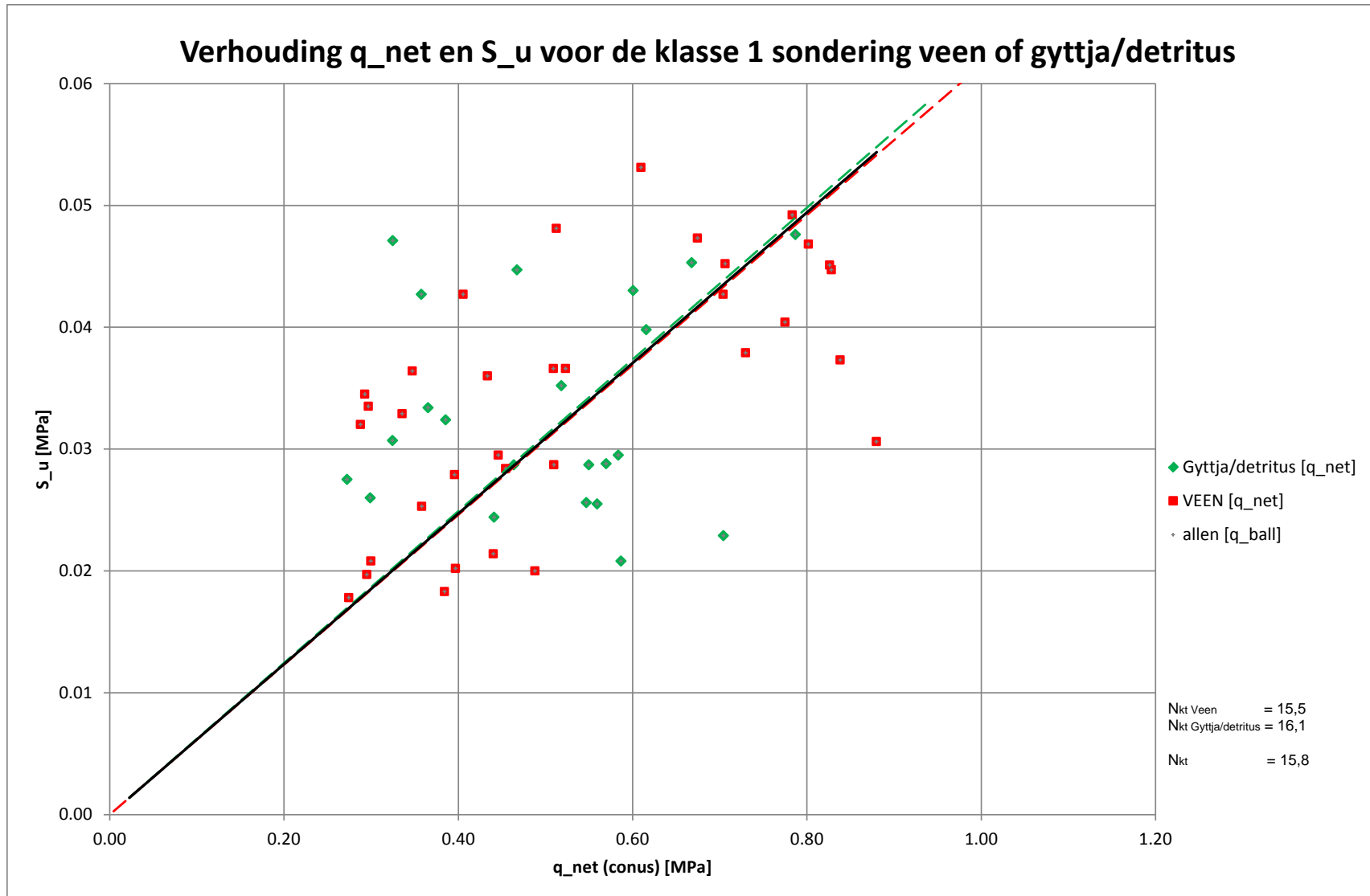
**Correlatie schuifsterkte en sondeerweerstand veen**

Achtergrondrapport grondparameters Dijken op Veen

Opdr. : 1214-0007-040

Bijl. : 3-6



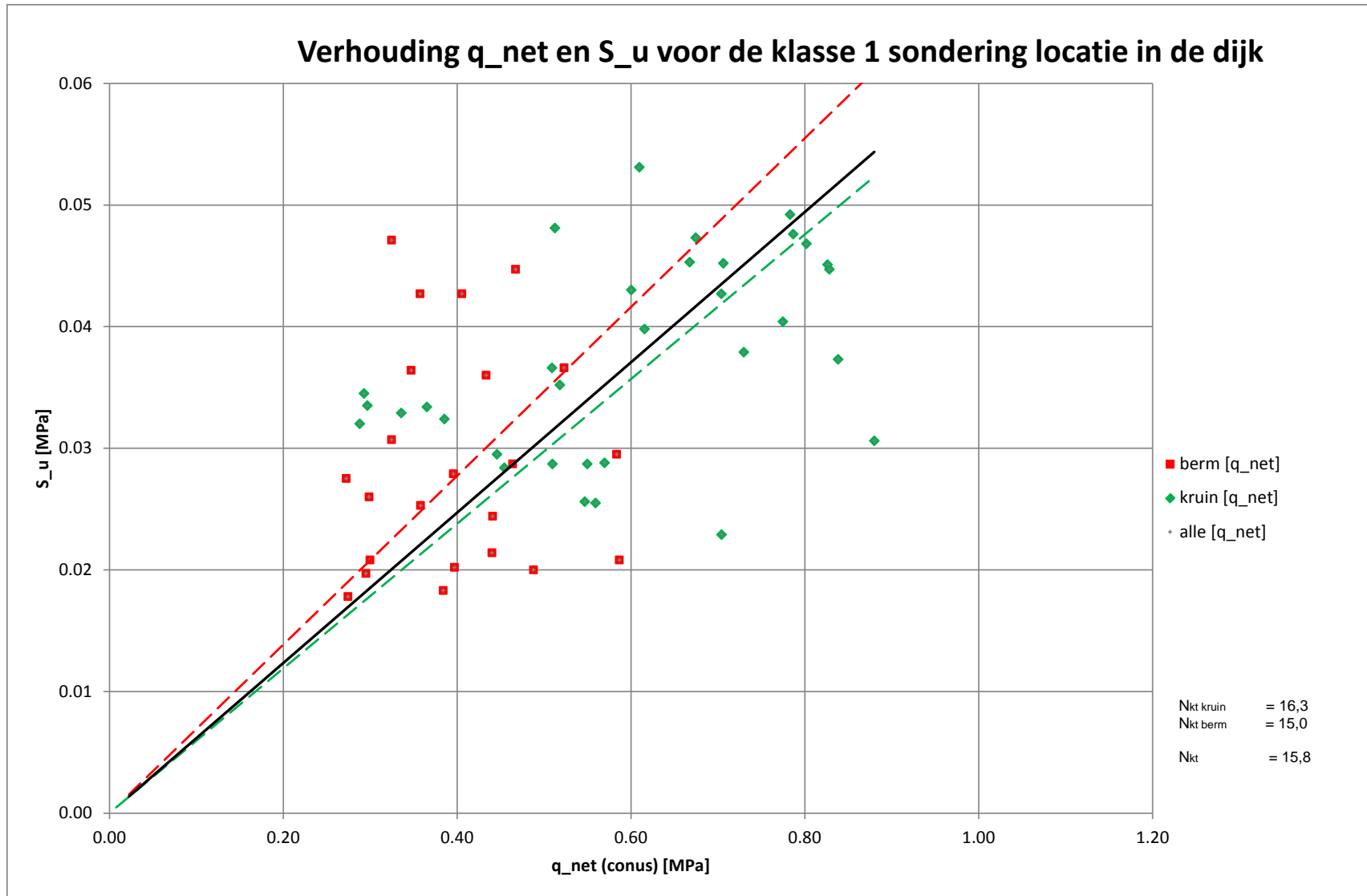


**Correlatie schuifsterkte en sondeerweerstand veen**

Achtergrondrapport grondparameters Dijken op Veen

Opdr. : 1214-0007-040

Bijl. : 3-7



**Correlatie schuifsterkte en sondeerweerstand veen**

Achtergrondrapport grondparameters Dijken op Veen

Opdr. : 1214-0007-040

Bijl. : 3-8

BIJLAGE 4  
betreffende

**VERGELIJKING GEVOELIGE  
SONDERINGEN DOV  
MET KLASSE 1-SONDERINGEN  
MARKERMEERDIJK**

Projectmanager : ing. J.P. Nelemans

Opgesteld door : ing. A.O. Aparicio Sáez  
Adviseur Geotechniek

ir. W.R. Halter  
Senior Adviseur Waterbouw

Gecontroleerd door : ing. W.A. Nohl  
Principal Consultant

## Inleiding

In de werkwijze van Dijken op Veen wordt de sterkte van veen (in DoV uitgedrukt als  $s_u$ ) bepaald door de sondeerweerstand ( $q_{net}$ ) te delen door een factor  $N_{kt}$  of  $N_b$ . De factor  $N_{kt}$  wordt gebruikt bij gevoelige conus- of klasse 1-sonderingen, de factor  $N_b$  wordt gebruikt bij bolsonderingen. Beide factoren worden bepaald door sondeerweerstand te correleren met schuifsterktes uit DSS-proeven. Er zitten verschillen tussen de factor  $N_{kt}$  of  $N_b$ , zoals afgeleid in de Werkwijze van Dijken op Veen en zoals bepaald bij het grondonderzoek ten behoeve van de doorvertaling. De verschillen in de factor  $N_b$  zijn beperkt, maar de verschillen in de factor  $N_{kt}$  zijn significant. Een mogelijke verklaring kan zijn dat de gemeten sondeerweerstand bij de gevoelige conussonderingen (uitgevoerd tussen oktober en december 2013 in het kader van het onderzoek Dijken op Veen) structureel anders zijn dan in de klasse 1-sonderingen (uitgevoerd in 2014 in het kader van de doorvertaling van dit onderzoek voor de Markermeerdijk).

Daarom is een steekproefsgewijze vergelijking gemaakt. Hiertoe zijn 14 gevoelige conussonderingen (uitgevoerd tussen oktober en december 2013) vergeleken met 14 nabij uitgevoerde klasse 1-sonderingen (uitgevoerd in 2014).

Zowel de gevoelige conus sondering als de klasse 1-sondering meet een nauwkeurigere conusweerstand en wrijvingsweerstand ten opzichte van een standaard sondering. In dit rapport wordt onderscheid gemaakt tussen beide typen sonderingen, omdat deze termen in de betreffende onderzoeken zijn gebruikt.

## Vergelijking tussen de gevoelige conussondering en de klasse 1-sondering

De conusweerstand van 14 gevoelige conussonderingen (DKMP) is vergeleken met de conusweerstand van 14 nabijgelegen klasse 1-sonderingen (LKMP). Er is nagegaan in hoeverre de conusweerstand van beide typen sonderingen overeen komen (orde grootte zelfde conusweerstand).

De klasse 1-sonderingen zijn langs de gehele dijk uitgevoerd, de gevoelige conussonderingen zijn voornamelijk in het zuidelijke traject van het project Markermeerdijk uitgevoerd, nabij Katwoude, Uitdam en Durgerdam. De beschouwde steekproef beperkt zich daarom tot het zuidelijke traject.

De vergelijking is gemaakt tussen 7 gevoelige conussonderingen en 7 klasse 1-sonderingen uitgevoerd in de berm van de dijk en 7 gevoelige conussonderingen en 7 klasse 1-sonderingen uitgevoerd in de kruin van de dijk.

Zowel de klasse 1-sonderingen als de gevoelige conus sonderingen zijn door Fugro uitgevoerd. Bij de klasse 1-sonderingen is een iets andere werkwijze gehanteerd dan bij de gevoelige conussonderingen. De verschillen zijn als volgt:

- De sonderingen zijn uitgevoerd met een nieuwe Fugro-conus volgens het laatste ontwerp, waarin deze volledig digitaal is waardoor geen temperatuursinvloeden van de sondeerkabel kunnen optreden.
- Het ontwerp van de nieuwe Fugro-conus is aangepast voor nauwkeurige meting van de waterspanningen en een zeer hoge a-waarde (netto oppervlakteverhoudingscoëfficiënt van de conus i.v.m. de spleet achter de conuspunt) van 0,82 voor de correctie van de gemeten conusweerstand naar de gecorrigeerde conusweerstand. Bij deze verhouding zijn de benodigde correcties minimaal. Bij de gevoelige conus sonderingen is als benadering uitgegaan van een a-waarde van 0,58.

In tabel 1 zijn naast elkaar gelegen gevoelige conussonderingen en klasse 1-sonderingen gepresenteerd met de daarbij behorende x en y coördinaten en de afstand tussen de betreffende gevoelige conussondering en klasse 1-sondering. Tevens zijn de maximale, minimale en gemiddelde verschilfactor tussen de gecorrigeerde conusweerstand  $q_t$  van de gevoelige conussondering en klasse 1-sondering gepresenteerd.

Hierbij geldt:  $q_t = q_c + (1-a) \cdot u_2$

Waarin:  $q_c$  = de gemeten conusweerstand  
 $a$  = netto oppervlakteverhoudingscoëfficiënt van de conus i.v.m. de spleet achter de conuspunt  
 $u_2$  = de gemeten waterspanning bij een filterplaatsing achter de punt

In onderstaande vergelijking is  $q_t$  niet omgezet naar  $q_{net}$ , omdat deze bewerking veel tijd kost en omdat het voor de relatieve vergelijking weinig uitmaakt. Het verschil tussen  $q_t$  en  $q_{net}$  wordt namelijk alleen bepaald door de korrelspanning en die is bij twee naast elkaar gelegen sonderingen nagenoeg hetzelfde.

Tabel 1: vergelijking tussen de gevoelige conussondering en klasse 1-sondering

Nr.	Sondering	Coördinaten RD		Afstand [m]	Verskil factoren		
		x	y		MAX	MIN	GEM
1	1013-0221-001-DKMP23 1214-0007-010-LKMP25-29+90Bi	133058,1 133040,9	497870,8 497863,5	<b>18,7</b>	5,33	0,19	<b>1,3</b>
2	1013-0221-001-DKMP26 1214-0007-010-LKMP25-29+90KR	133062,0 133042,6	497857,8 497853,4	<b>19,9</b>	3,17	0,20	<b>1,2</b>
3	1013-0221-001-DKMP25 1214-0007-010-LKMP25-28+90Bi	133129,6 133139,0	497886,4 497885,0	<b>9,5</b>	4,88	0,32	<b>1,5</b>
4	1013-0221-001-DKMP28 1214-0007-010-LKMP25-28+90KR	133133,1 133140,8	497873,6 497875,5	<b>7,9</b>	2,97	0,14	<b>1,0</b>
5	1013-0221-001-DKMP19 1214-0007-010-LKMP28-70+90Bi	133609,9 133616,9	492920,2 492892,9	<b>28,1</b>	4,04	0,17	<b>1,0</b>
6	1013-0221-001-DKMP20 1214-0007-010-LKMP28-70+90KR	133621,3 133626,5	492932,8 492892,8	<b>40,4</b>	5,03	0,09	<b>1,1</b>
7	1013-0221-001-DKMP21 1214-0007-010-LKMP28-71+90Bi	133614,3 133615,4	492873,6 492790,3	<b>83,3</b>	8,95	0,10	<b>1,5</b>
8	1013-0221-001-DKMP22 1214-0007-010-LKMP28-71+90KR	133626,6 133625,8	492856,7 492792,6	<b>64,1</b>	7,95	0,34	<b>1,2</b>
9	1013-0221-001-DKMP15 1214-0007-010-LKMP28-83+90Bi	133169,1 133181,4	491820,3 491814,1	<b>13,8</b>	13,72	0,07	<b>1,5</b>
10	1013-0221-001-DKMP18 1214-0007-010-LKMP28-83+90KR	133165,2 133179,2	491807,2 491803,3	<b>14,5</b>	2,94	0,33	<b>1,3</b>
11	1013-0221-001-DKMP06 1214-0007-010-LKMP28-146+90Bi	128885,4 128959,8	488269,4 488302,0	<b>81,2</b>	5,68	0,13	<b>1,1</b>
12	1013-0221-001-DKMP09 1214-0007-010-LKMP28-146+90KR	128891,1 128964,4	488258,4 488292,4	<b>80,8</b>	3,26	0,29	<b>1,0</b>
13	1013-0221-001-DKMP05 1214-0007-010-LKMP28-147+90Bi	128859,6 128868,8	488256,6 488258,1	<b>9,3</b>	2,21	0,25	<b>1,0</b>
14	1013-0221-001-DKMP08 1214-0007-010-LKMP28-147+90KR	128864,7 128872,2	488246,1 488250,5	<b>8,8</b>	3,90	0,30	<b>1,1</b>

Uit vergelijking van de individuele resultaten blijkt dat in de meeste gevallen het profiel van de gecorrigeerde conusweerstand  $q_t$  voor wat betreft niveau redelijk goed overeenkomt met een paar uitschieters zoals DKMP 25 en DKMP 23, waar de verschillen relatief groot zijn. De grote verschillen lijken te worden verklaard door een afwijkende bodemopbouw bij de vergeleken sonderingen. Een afwijkende bodemopbouw is reëel aangezien de afstand tussen sonderingen in de orde van 10 m of meer ligt.

Bij de uit te voeren analyse dient ook de toegestane meettolerantie van 35 kPa voor de conusweerstand in beschouwing te worden genomen. De meetwaarden liggen in dezelfde orde van grootte als de meetnauwkeurigheid.

De spreiding in sondeerweerstand is deels verklaarbaar door de variaties in de laagopbouw, de grondsamenstelling en de waterspanningen. Dit verklaart echter niet waarom bij bijna alle klasse 1 sonderingen gemiddeld een hogere conusweerstand wordt gemeten.

### **Offset**

Er is gekeken of middels een offset (het verschuiven van de gehele conusweerstand met een bepaalde waarde) van de gevoelige conussondering de conusweerstand overeenkomen. Echter, op basis van de vergeleken sonderingen is geen algehele offset te bepalen waardoor de conusweerstand meer overeenkomen. Deze variant is daarom niet verder uitgewerkt en gepresenteerd.

### **Correctiefactor**

Daarnaast is gekeken of de conusweerstand meer overeenkomen indien een correctiefactor wordt toegepast op de gevoelige conussondering. Gemiddeld genomen over alle sonderingen ligt de conusweerstand van de klasse 1-sonderingen een factor 1,2 hoger ten opzichte van de gevoelige conussonderingen. De maximale gemiddelde afwijking bedraagt ca. een factor 1,5 en de minimale gemiddelde afwijking bedraagt ca. een factor 1,0 (zie tabel 1)

Aan het eind van deze bijlage is het verloop van de conusweerstand in de sondeergrafieken opgenomen van de gevoelige conussondering, klasse 1-sondering en de gevoelige conussondering met toepassing van een correctiefactor van 1,2.

Uit de sondeergrafieken valt op te maken dat overal wel hetzelfde verloop zichtbaar is (pieken en dalen) maar dat de grootte van de conusweerstand van een gevoelige conussondering en klasse 1-sondering afwijkt. Indien een correctiefactor van 1,2 op de gevoelige conussondering wordt toegepast neemt de gemiddelde afwijking af, maar blijven er verschillen zichtbaar.

Nadat een correctiefactor op de conusweerstand van de gevoelige conussondering van 1,2 is toegepast bedraagt de maximale resterende afwijking nog ca. een factor 1,2 en de minimale resterende afwijking ca. een factor 0,8.

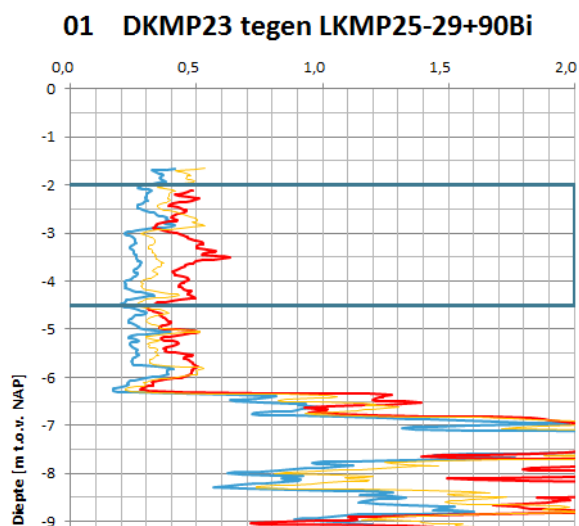
### **Correctiefactor op de veenlagen**

In de werkwijze van Dijken op Veen wordt specifiek gekeken naar de conusweerstand in de veenlagen. Daarom is tevens gekeken naar de verschilfactoren tussen de gevoelige conussondering en klasse 1-sondering in de veenlagen (zie tabel 2).

De diepte van de veenlaag is bepaald op basis van boringen en boorbeschrijvingen die zijn uitgevoerd in 2014 in het kader van de implementatie van dit onderzoek voor de Markermeerdijk. Het veenpakket is vervolgens in de sondeergrafiek geplotted.

Opgemerkt dient te worden dat de diepteligging en de dikte van de veenlaag kan afwijken ten opzichte van de aangetroffen diepte en dikte uit de gevoelige sonderingen (uitgevoerd tussen oktober en december 2013 in het kader van het onderzoek Dijken op Veen) .

Een voorbeeld van een sondeergrafiek met daarin de diepte en dikte van het veenpakket geplot is weergegeven in figuur 1.



Figuur 1: De aanwezige veenlaag tussen NAP -2m en NAP -4,5 m geplot in de sondeergrafiek voor locatie DP25-30

Tabel 2: Vergelijking van de conusweerstand in de veenlagen tussen de gevoelige conus en de klasse 1-sondering

Nr.	Sondering	Verschil factor in veen [-]		
		MAX	MIN	GEM
1	1013-0221-001-DKMP23 1214-0007-010-LKMP25-29+90Bi	2,4	0,8	<b>1,6</b>
2	1013-0221-001-DKMP26 1214-0007-010-LKMP25-29+90KR	2,5	0,7	<b>1,3</b>
3	1013-0221-001-DKMP25 1214-0007-010-LKMP25-28+90Bi	4,8	0,7	<b>2,7</b>
4	1013-0221-001-DKMP28 1214-0007-010-LKMP25-28+90KR	1,2	0,3	<b>0,8</b>
5	1013-0221-001-DKMP19 1214-0007-010-LKMP28-70+90Bi	1,3	0,2	<b>0,8</b>
6	1013-0221-001-DKMP20 1214-0007-010-LKMP28-70+90KR	2,0	0,7	<b>1,2</b>
7	1013-0221-001-DKMP21 1214-0007-010-LKMP28-71+90Bi	1,7	0,7	<b>1,1</b>
8	1013-0221-001-DKMP22 1214-0007-010-LKMP28-71+90KR	1,9	0,5	<b>1,1</b>
9	1013-0221-001-DKMP15 1214-0007-010-LKMP28-83+90Bi	2,7	0,9	<b>1,6</b>
10	1013-0221-001-DKMP18 1214-0007-010-LKMP28-83+90KR	2,9	1,5	<b>2,0</b>

11	1013-0221-001-DKMP06 1214-0007-010-LKMP28-146+90Bi	2,2	0,1	<b>0,9</b>
12	1013-0221-001-DKMP09 1214-0007-010-LKMP28-146+90KR	1,8	0,3	<b>1,1</b>
13	1013-0221-001-DKMP05 1214-0007-010-LKMP28-147+90Bi	1,3	1,0	<b>1,1</b>
14	1013-0221-001-DKMP08 1214-0007-010-LKMP28-147+90KR	1,6	1,1	<b>1,3</b>

Na vergelijking tussen de verschilfactor in de veenlagen (tabel 2) en de algehele verschilfactor (tabel 1) blijkt dat in de veenlagen een iets hogere verschilfactor (gemiddeld 1,3) wordt gevonden dan in de totale sondering. Dit kan fysische oorzaken hebben (lagere conusweerstand, ander gedrag van de conus in veen, grotere variaties in materiaaleigenschappen), maar ook liggen aan enkele hoge uitschieters. Als de hoge uitschieters bij vergelijking 3 en 10 worden weggelaten en naar een gebiedsgemiddelde wordt gekeken, dan is de verschilfactor gemiddeld nog maar 1,1 à 1,2.

#### Doorvertaling naar de $N_{kt}$ factor

Voor bepaling van de  $N_{kt}$  factor dient de netto conusweerstand op de diepte van het monster te worden gedeeld door de  $s_u$  waarde uit de DSS proef ( $N_{kt} = \frac{q_{net}}{s_u}$ ). In de werkwijze van Dijken op

Voor veen wordt voor de Markermeerdijk een  $N_{kt}$ -factor voorgesteld van 14,6, gerelateerd aan gevoelige conussonderingen. Na analyse van alle DSS-proeven uit het grondonderzoek voor de doorvertaling van Dijken op Veen is een  $N_{kt}$ -factor van 17,3 bepaald, gerelateerd aan klasse 1-sonderingen. Als uitschieters en DSS-proeven met een onbetrouwbare uitkomst worden weggelaten, dan wordt een  $N_{kt}$ -factor van 15,8 bepaald.

Aangezien de conusweerstand van een klasse 1-sondering in veen gemiddeld een factor 1,1 à 1,2 hoger liggen dan de conusweerstand bij de gevoelige conussondering zal, bij een gelijke waarde van  $s_u$ , de  $N_{kt}$  factor eveneens een factor 1,1 à 1,2 hoger liggen. Dit lijkt te verklaren waarom de  $N_{kt}$ -factor uit nieuwe onderzoek iets hoger ligt dan de  $N_{kt}$ -factor uit het oude onderzoek.

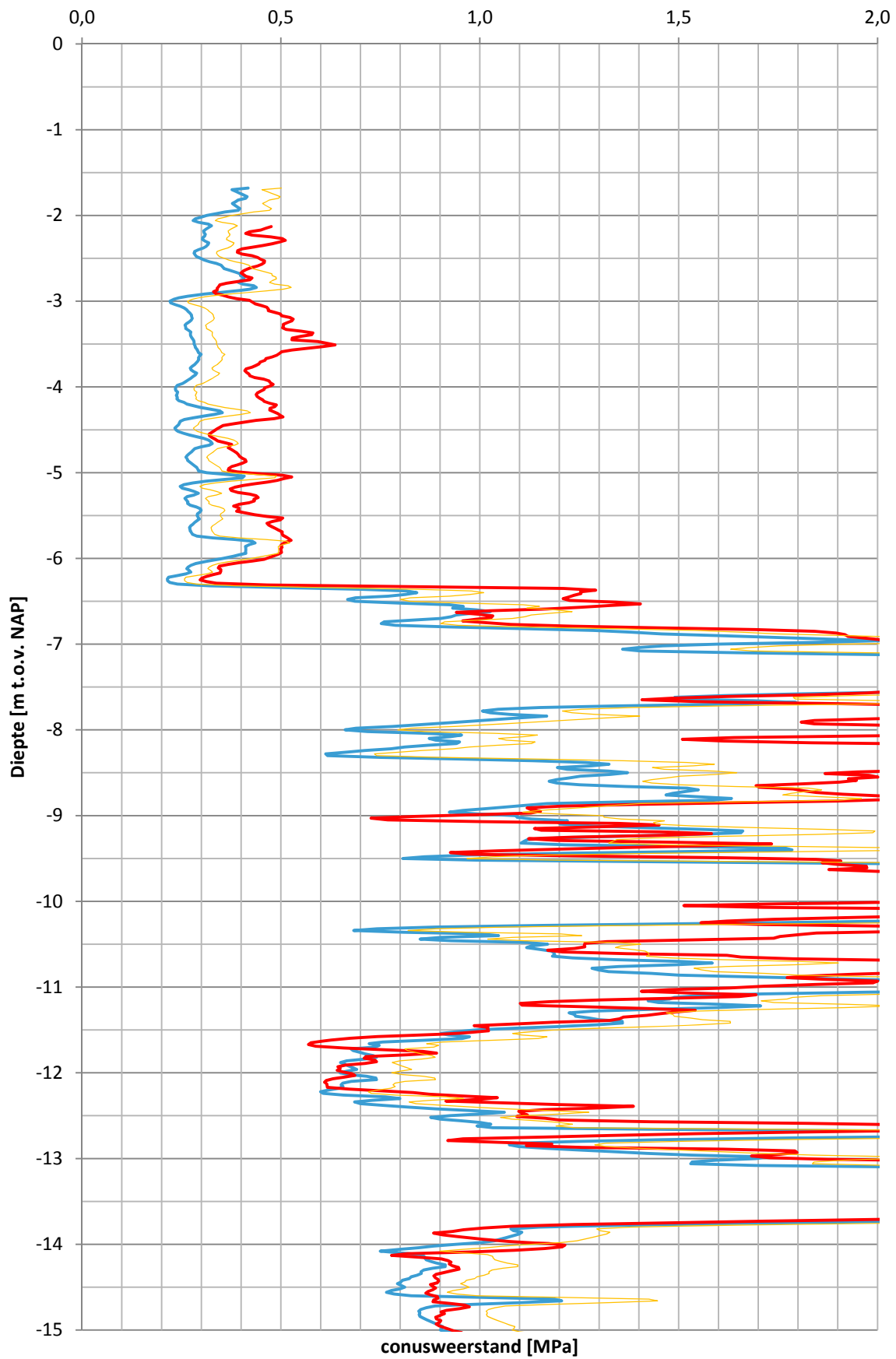
De hogere  $N_{kt}$ -factor wordt gecompenseerd door de hogere sondeerweerstand, maar beide zaken vallen niet precies tegen elkaar weg. Daarom wordt afgeraden om de DSS-proeven in één proevenverzameling zowel te correleren aan de oude gevoelige conussonderingen als de nieuwe klasse 1-sonderingen.

De verschillen kunnen in een nog hoger detailniveau worden beschouwd door de sonderingen naast elkaar te leggen en hieruit visueel vergelijkbare delen van slappe lagen te selecteren. Deze kunnen vervolgens naar een maatwerk numerieke vergelijking worden vertaald. Op deze wijze wordt een neutraler beeld verkregen dan een vergelijking van een hele laag over een grotere hoogte. Deze detailbeschouwing is echter niet nodig als de oude gevoelige conussonderingen buiten beschouwing worden gelaten.

#### Figuren: Vergelijking conusweerstand in sondeergrafieken

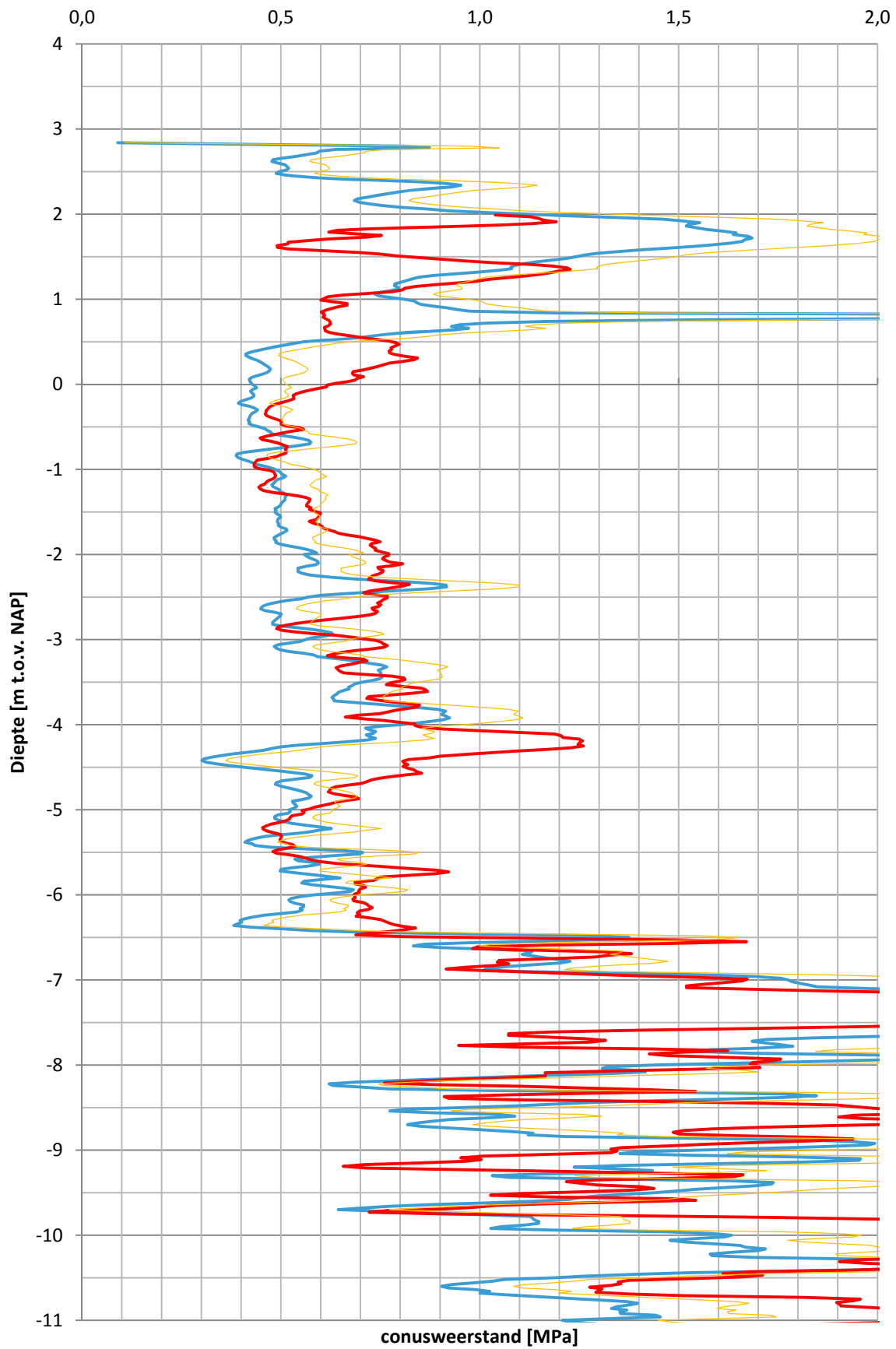


# 01 DKMP23 tegen LKMP25-29+90Bi



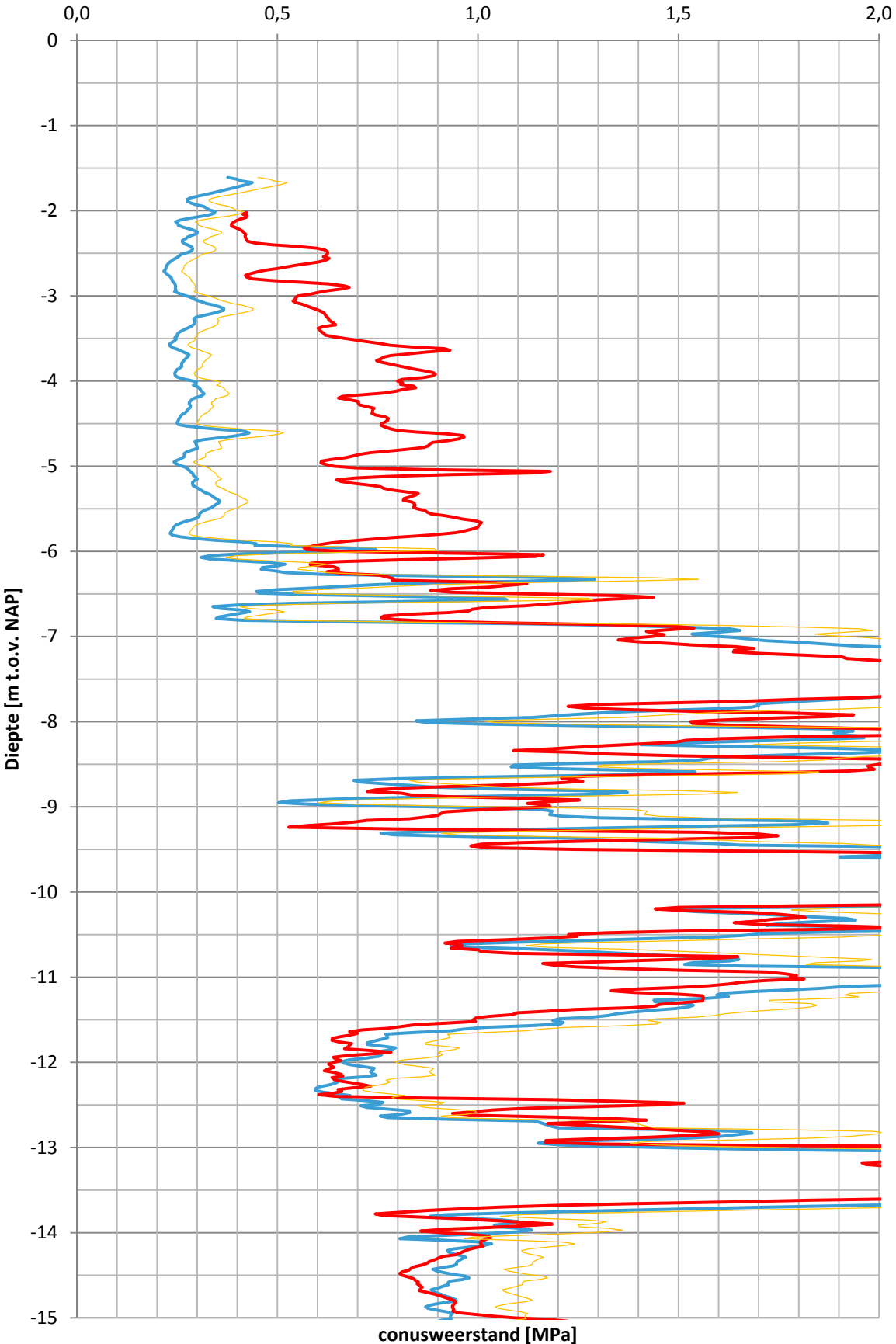
— 1013-0221-001-DKMP23 — 1214-0007-010-LKMP25-29+90Bi — DKMP23 gecorrigeerd

## 02 DKMP26 tegen LKMP25-29+90KR



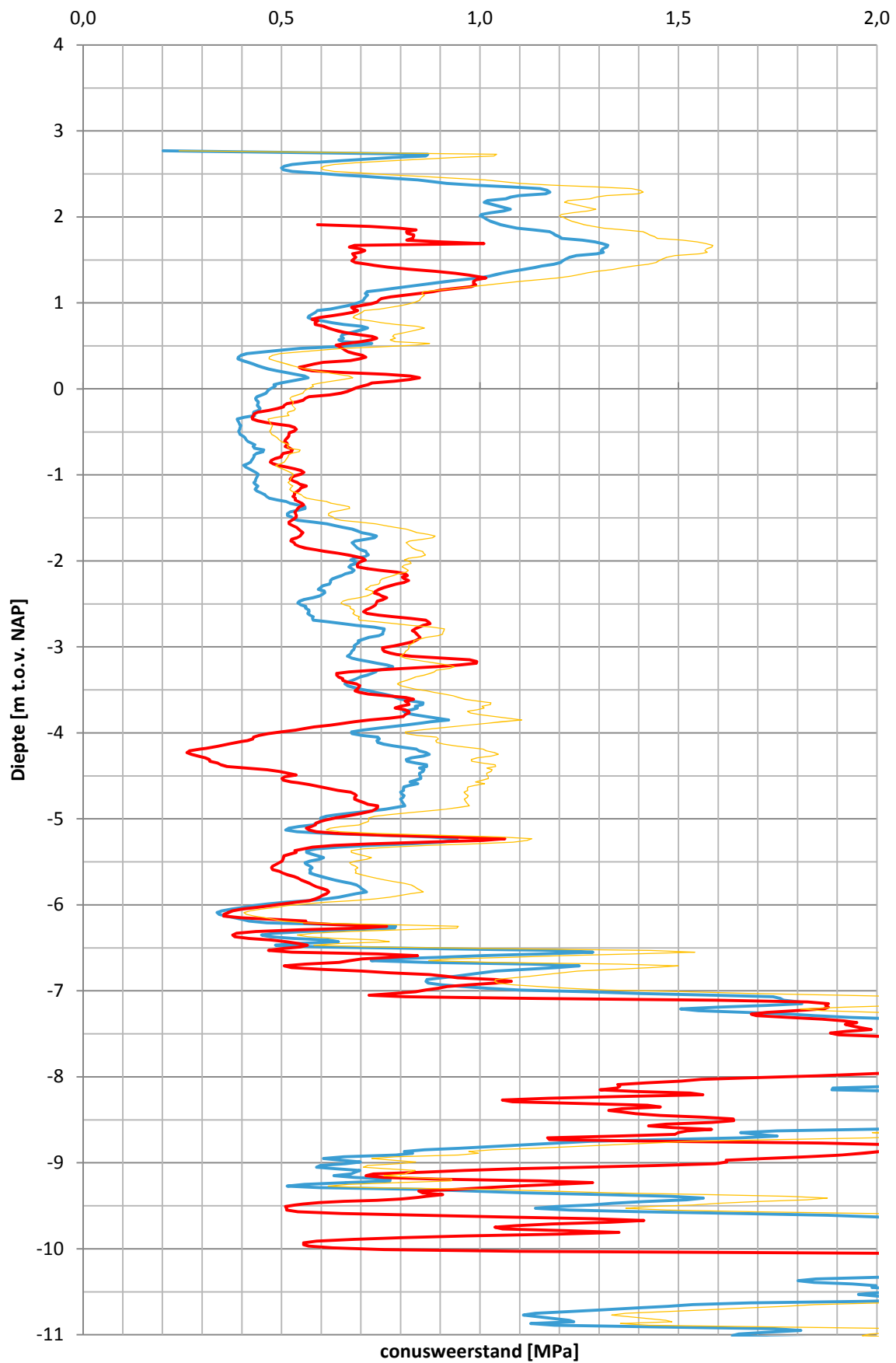
1013-0221-001-DKMP26 1214-0007-010-LKMP25-29+90KR DKMP26 gecorrigeerd

### 03 DKMP25 tegen LKMP25-28+90Bi



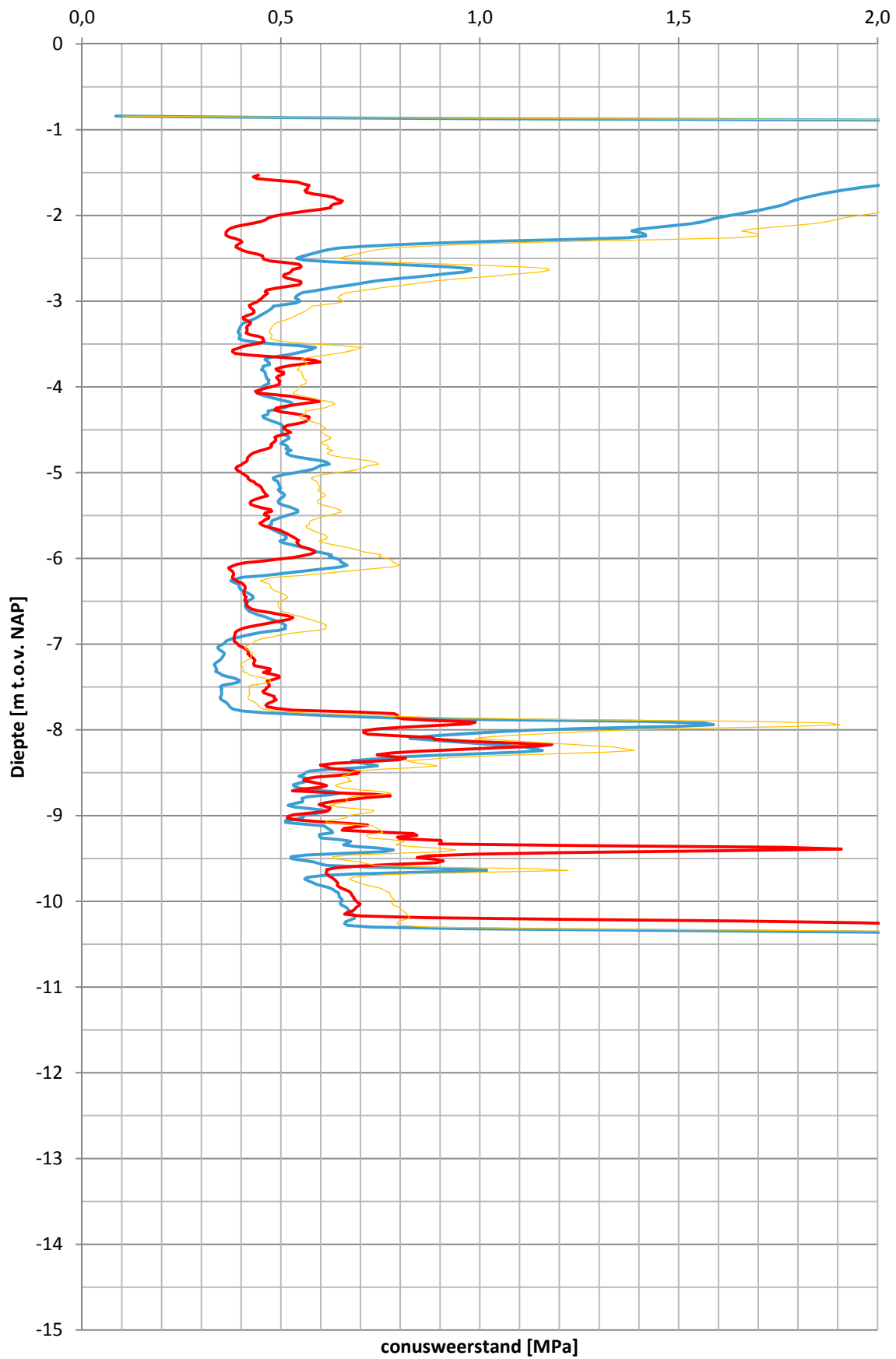
1013-0221-001-DKMP25    1214-0007-010-LKMP25-28+90Bi    DKMP25 gecorrigeerd

# 04 DKMP28 tegen LKMP25-28+90KR



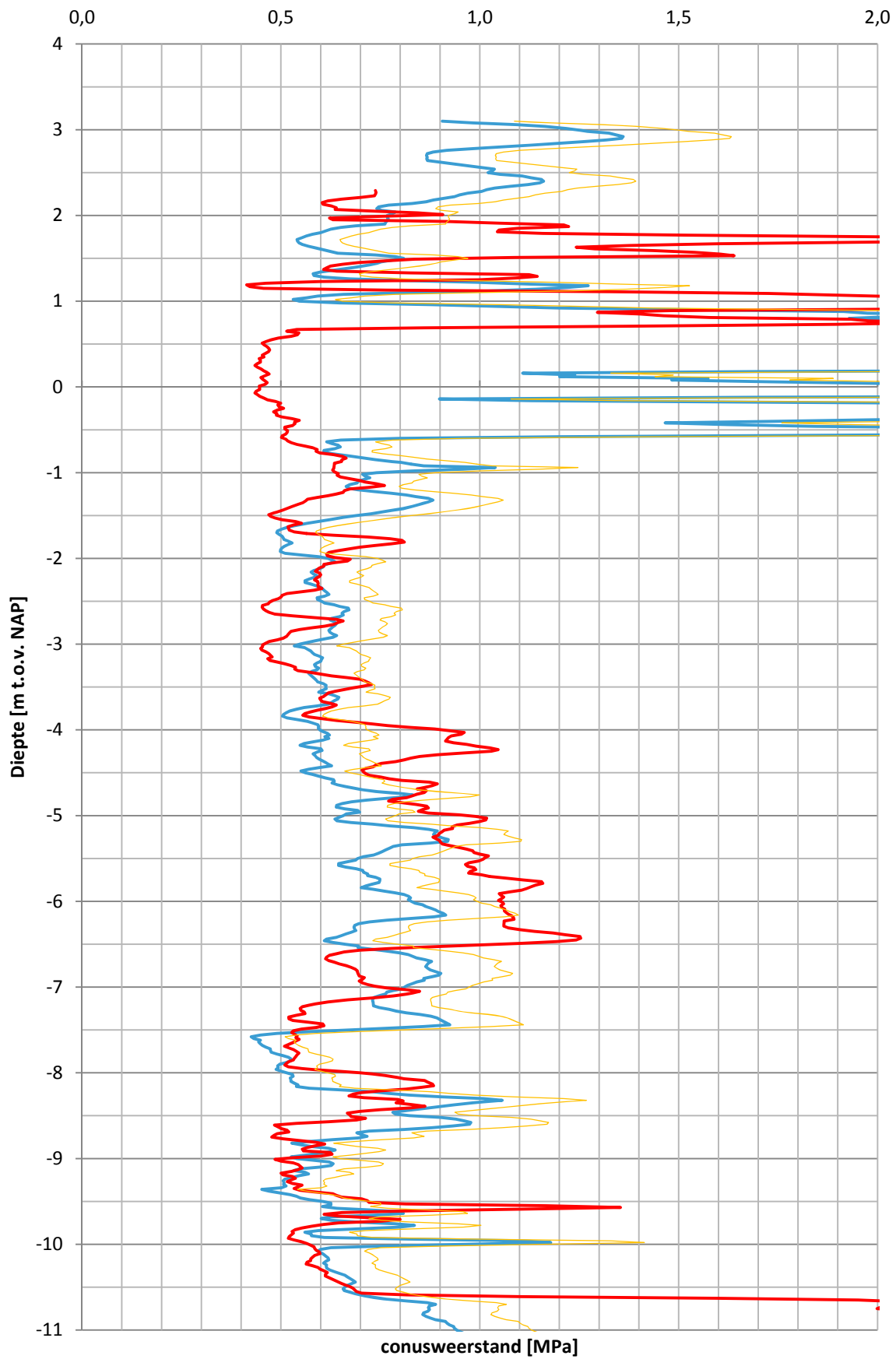
— 1013-0221-001-DKMP28 — 1214-0007-010-LKMP25-28+90KR — DKMP28 gecorrigeerd

# 05 DKMP19 tegen LKMP28-70+90Bi



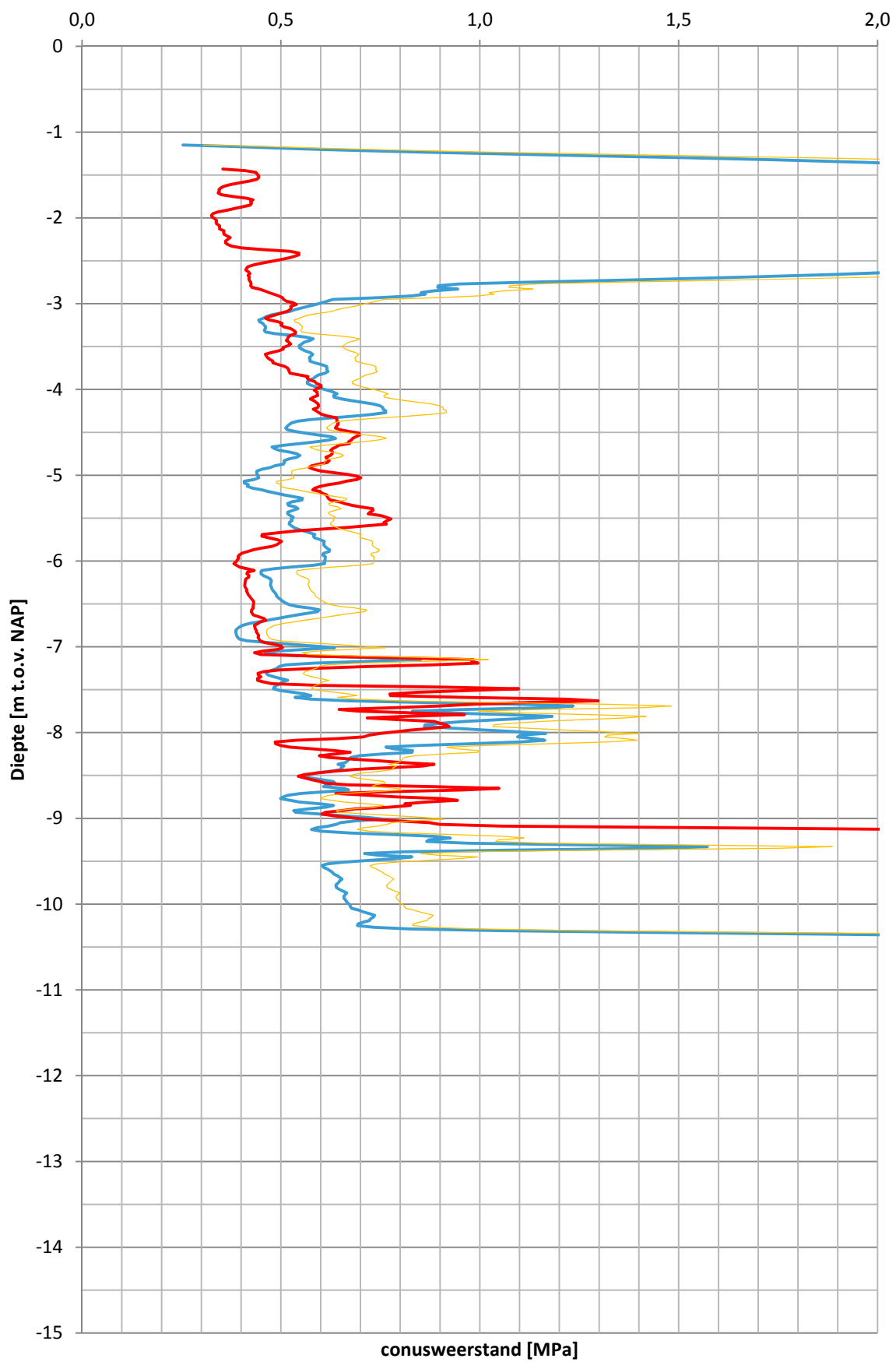
1013-0221-001-DKMP19 1214-0007-010-LKMP28-70+90Bi DKMP19 gecorrigeerd

# 06 DKMP20 tegen LKMP28-70+90KR



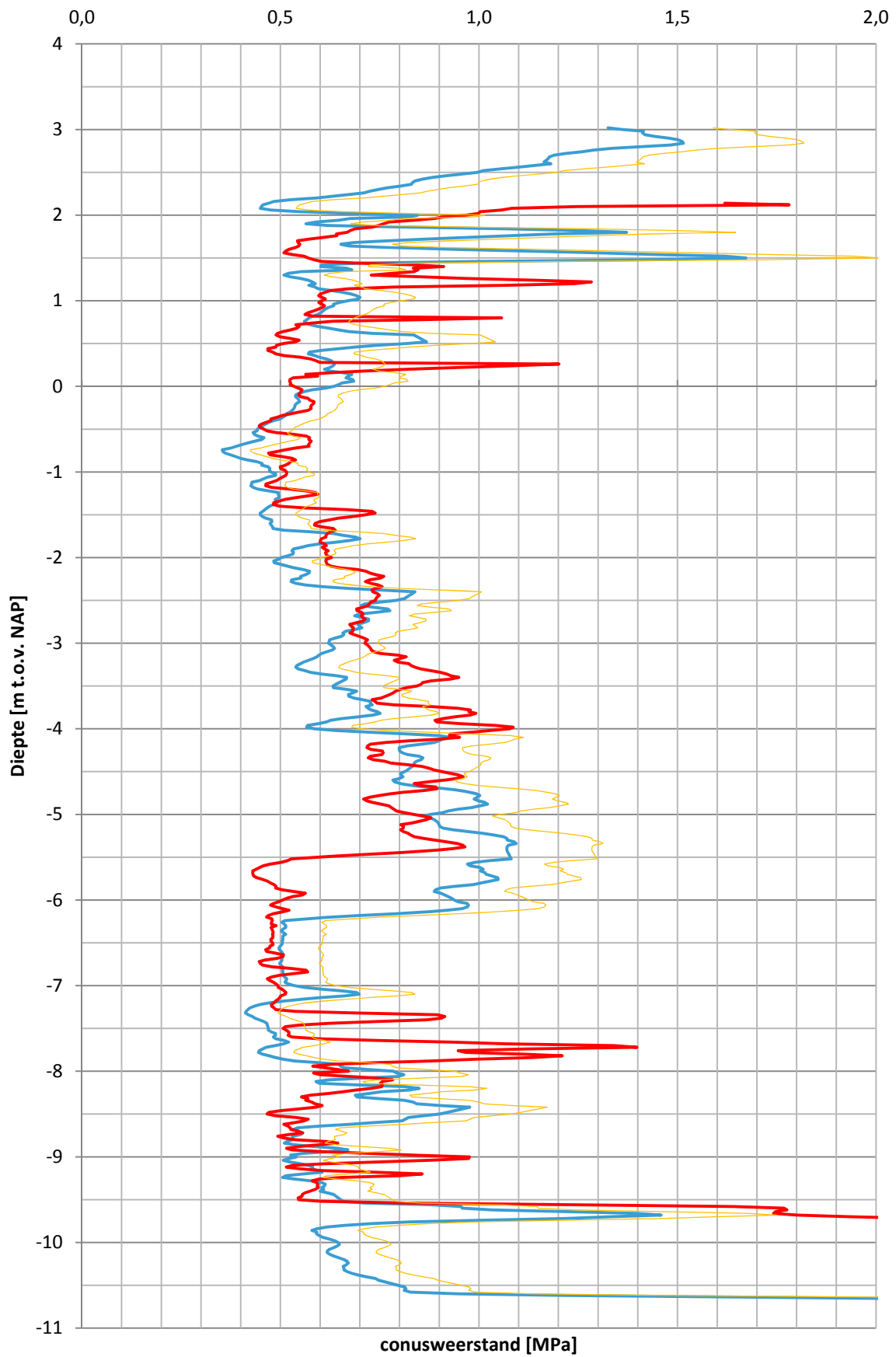
1013-0221-001-DKMP20 1214-0007-010-LKMP28-70+90KR DKMP20 gecorrigeerd

# 07 DKMP21 tegen LKMP28-71+90Bi



1013-0221-001-DKMP21 1214-0007-010-LKMP28-71+90Bi DKMP21 gecorrigeerd

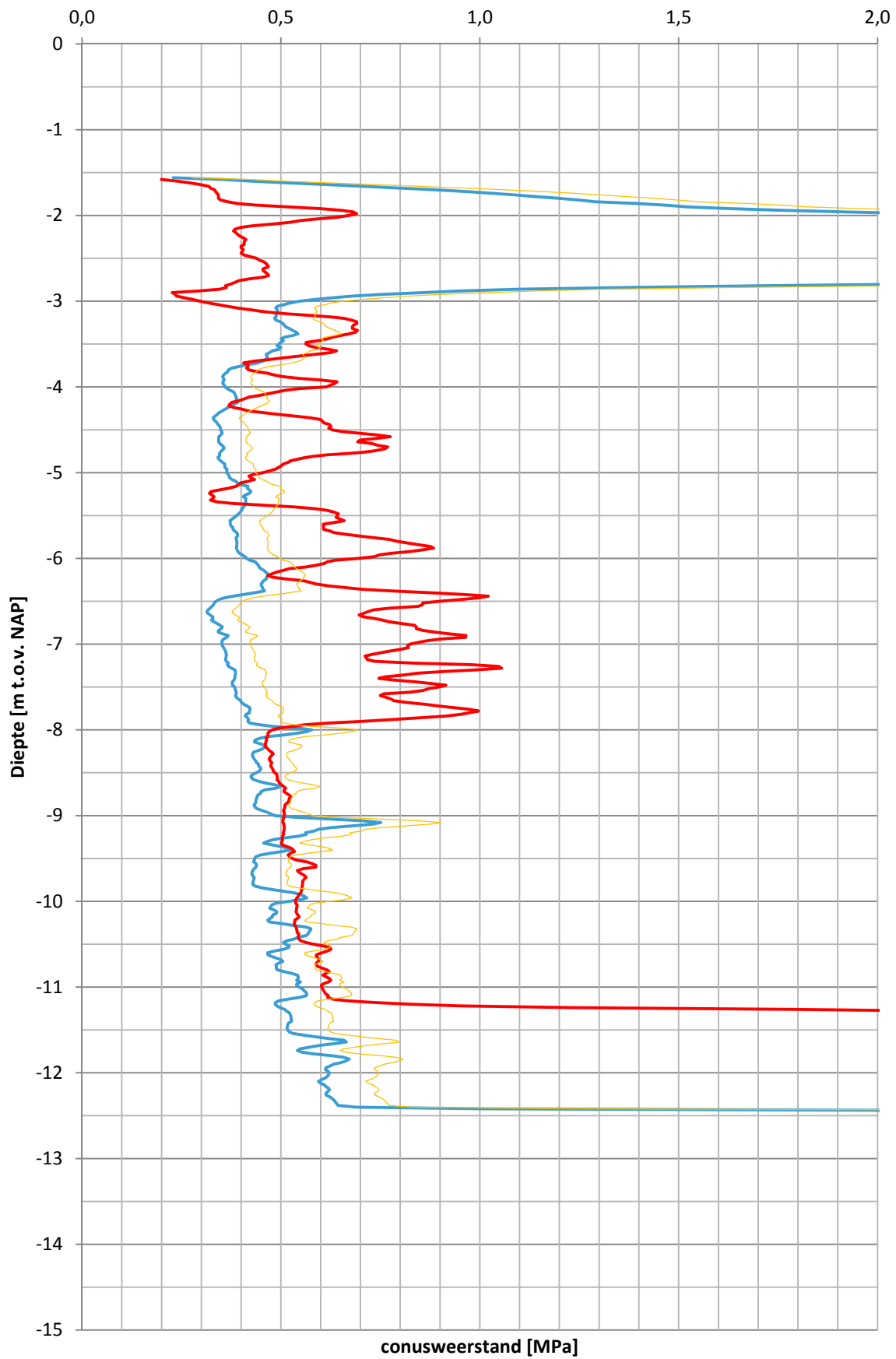
# 08 DKMP22 tegen LKMP28-71+90KR



— 1013-0221-001-DKMP22 — 1214-0007-010-LKMP28-71+90KR — DKMP22 gecorrigeerd

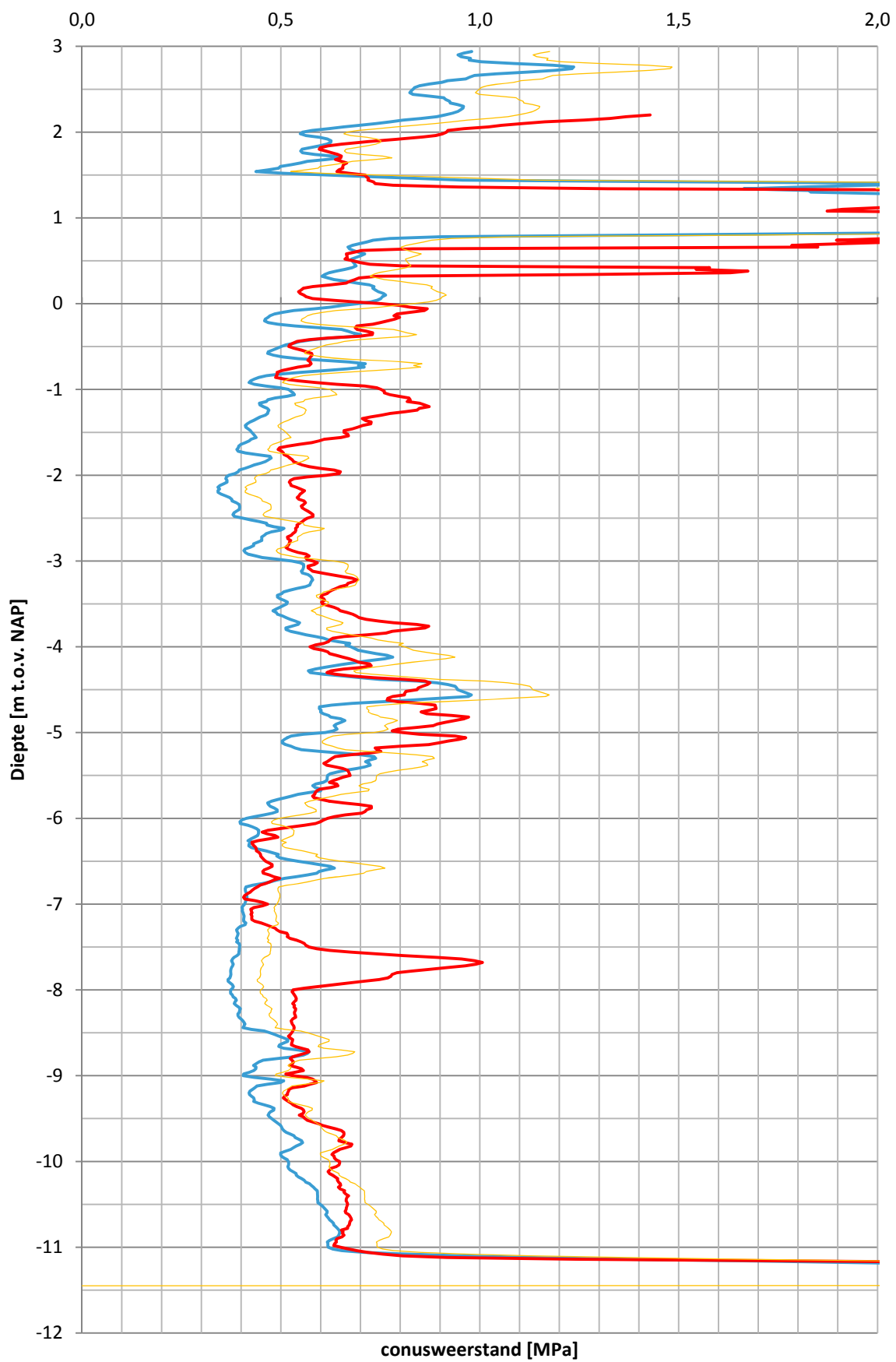


# 09 DKMP15 tegen LKMP28-83+90Bi



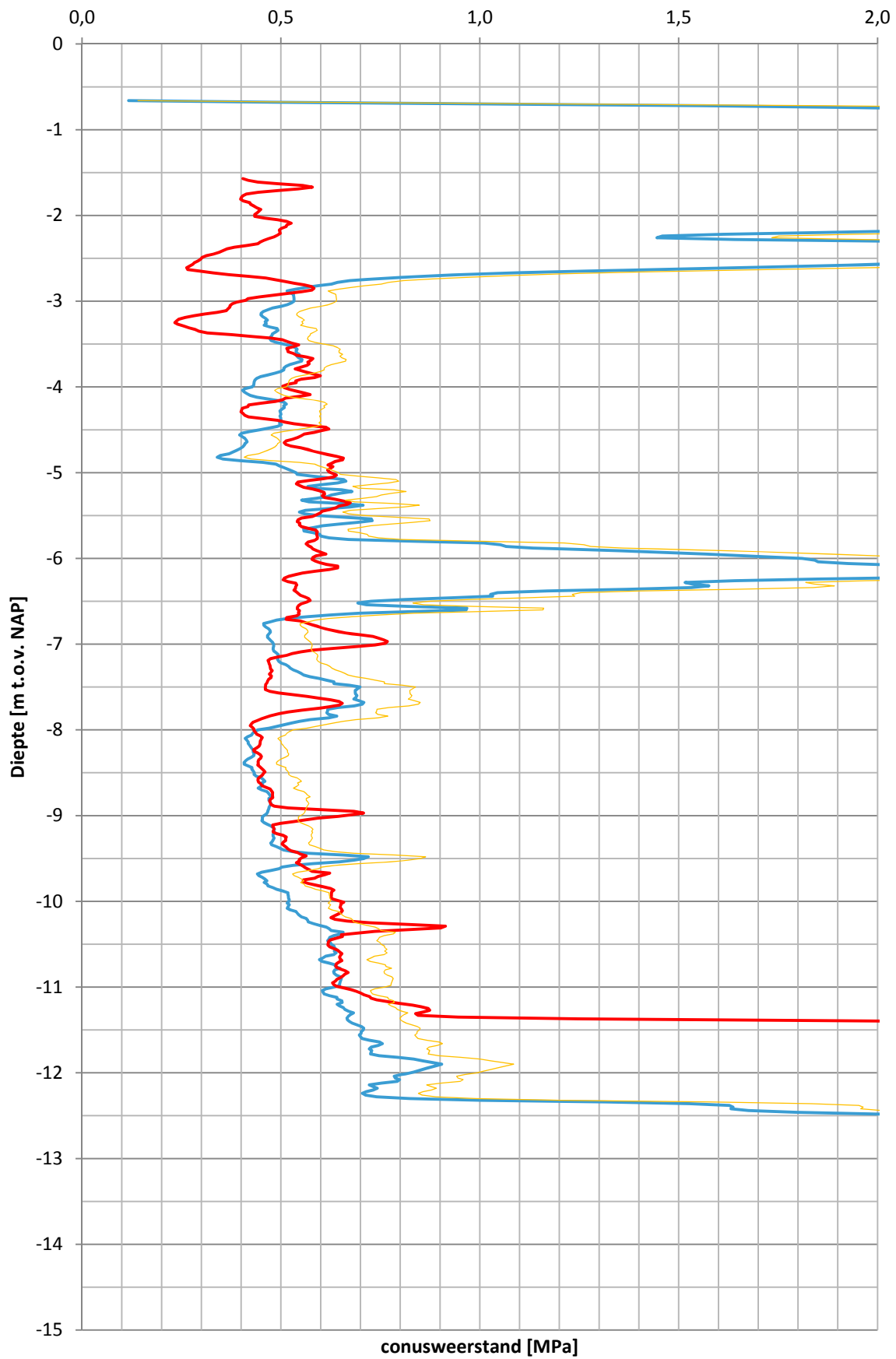
1013-0221-001-DKMP15 1214-0007-010-LKMP28-83+90Bi DKMP15 gecorrigeerd

# 10 DKMP18 tegen LKMP28-83+90KR



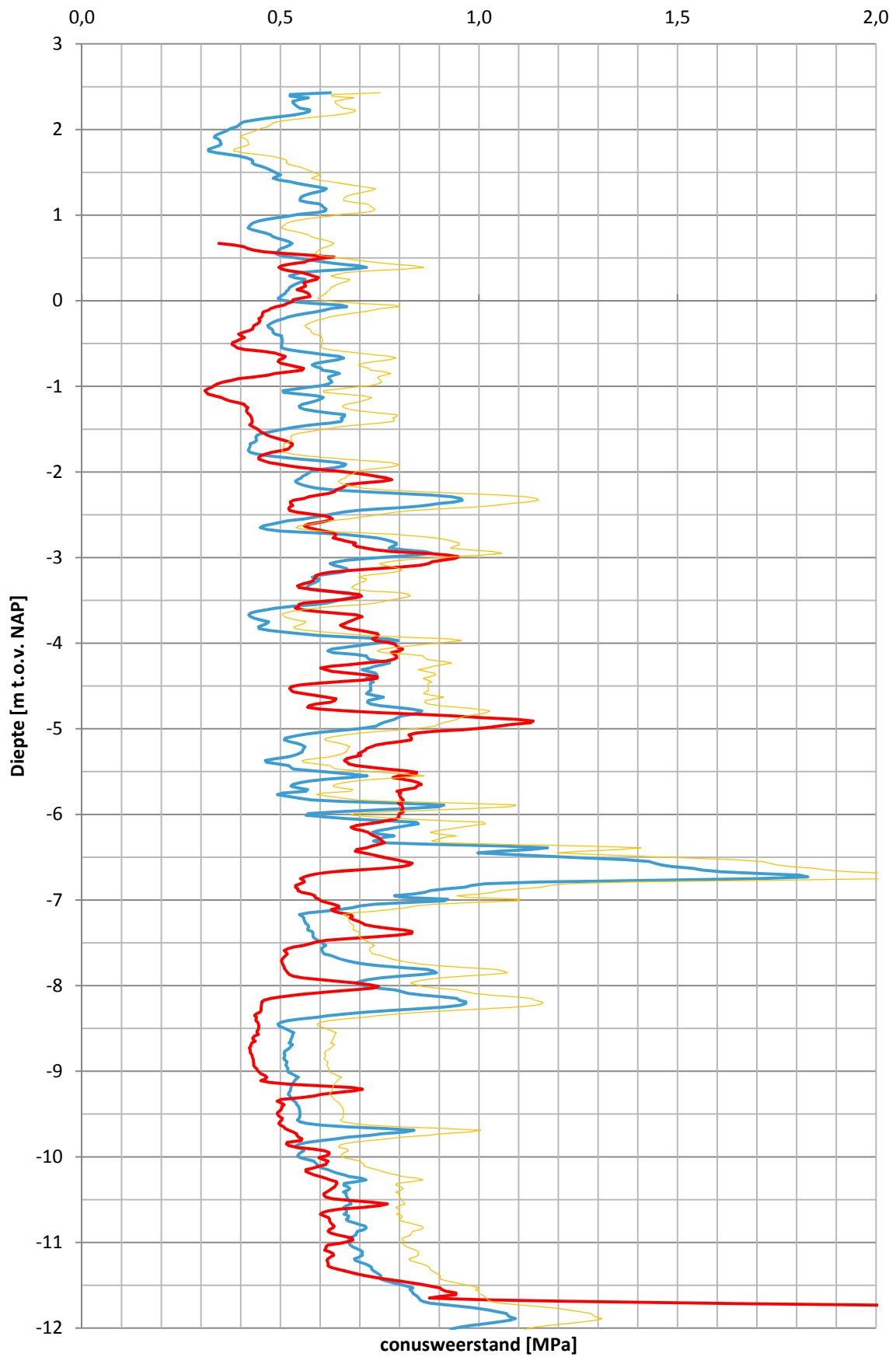
1013-0221-001-DKMP18 1214-0007-010-LKMP28-83+90KR DKMP18 gecorrigeerd

# 11 DKMP06 tegen LKMP28-146+90Bi



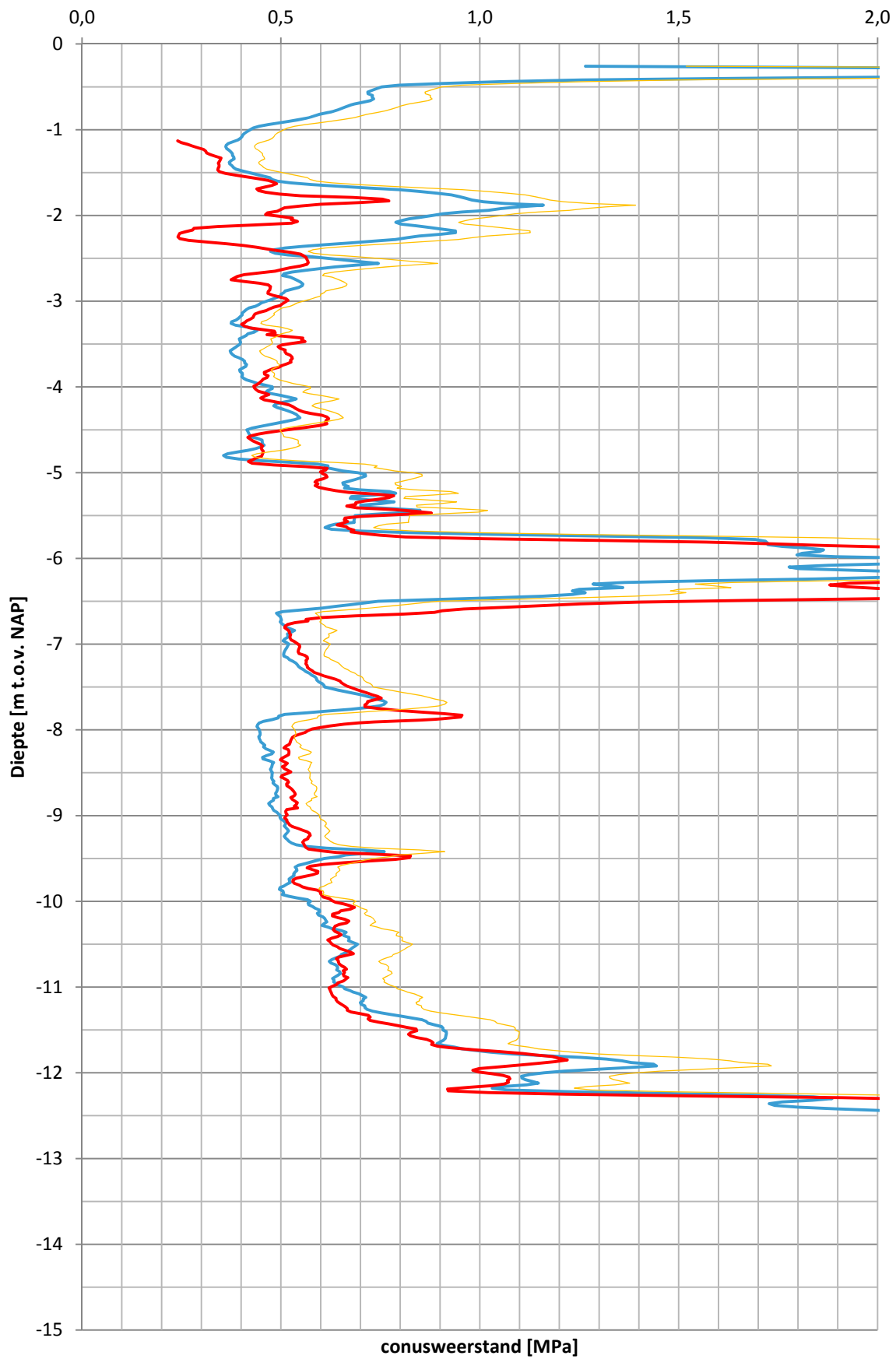
1013-0221-001-DKMP06 1214-0007-010-LKMP28-146+90Bi DKMP06 gecorrigeerd

## 12 DKMP09 tegen LKMP28-146+90KR



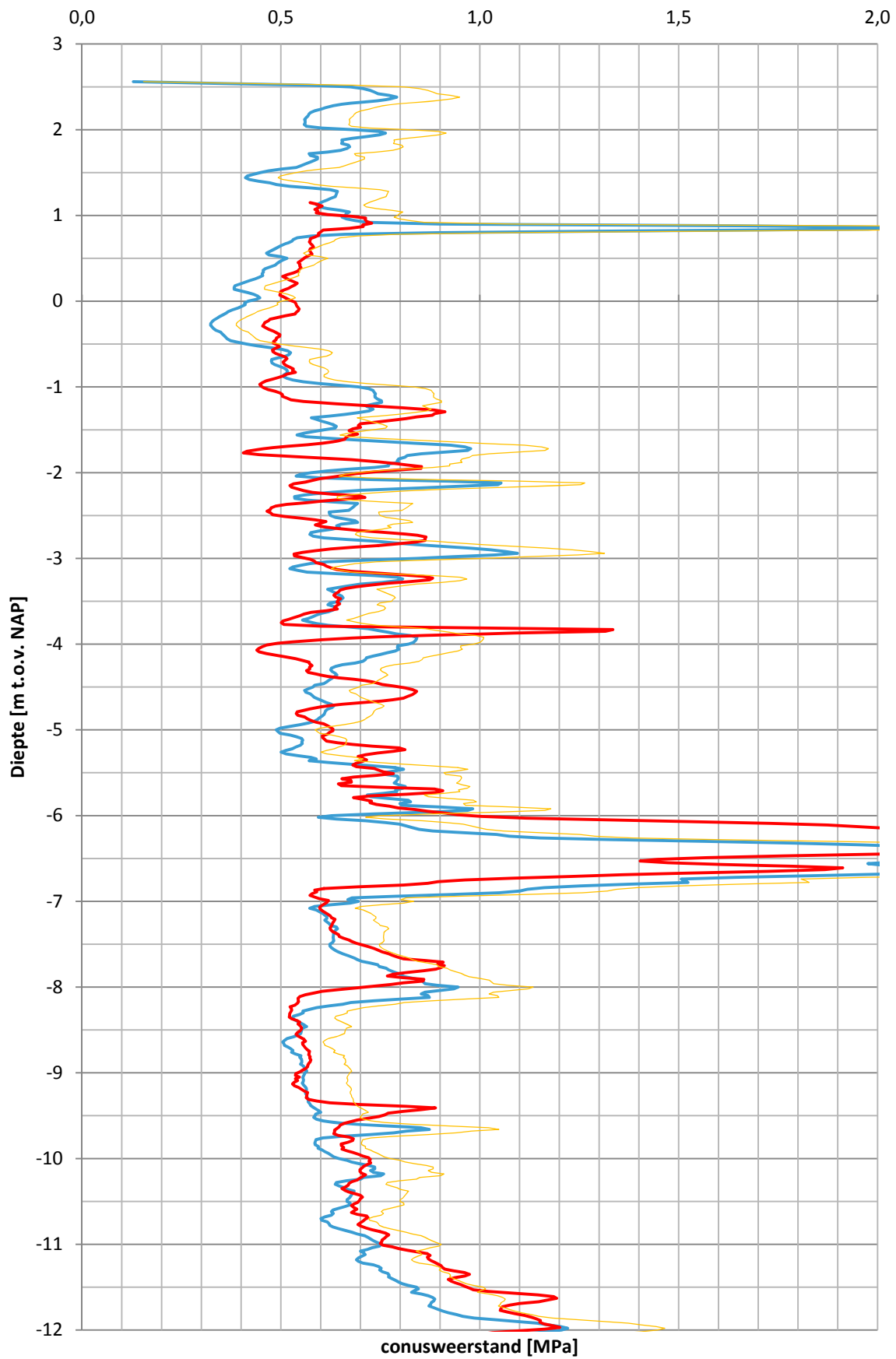
— 1013-0221-001-DKMP09 — 1214-0007-010-LKMP28-146+90KR — DKMP09 gecorrigeerd

### 13 DKMP05 tegen LKMP28-147+90Bi



1013-0221-001-DKMP05 1214-0007-010-LKMP28-147+90Bi DKMP05 gecorrigeerd

# 14 DKMP08 tegen LKMP28-147+90KR

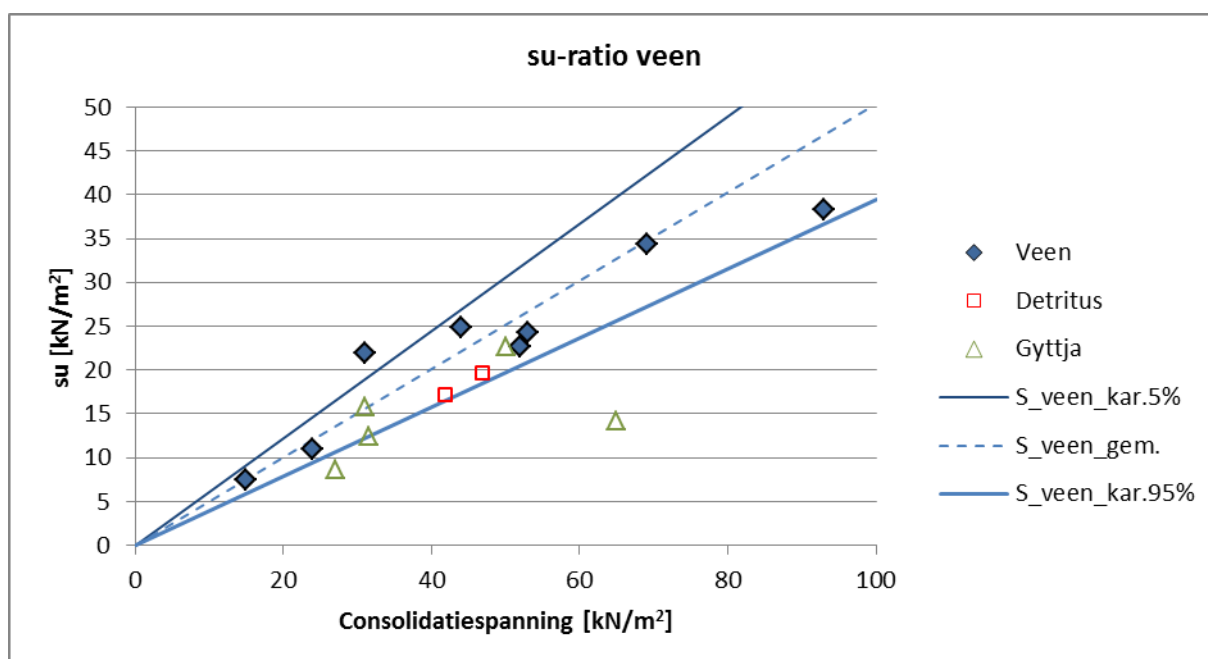
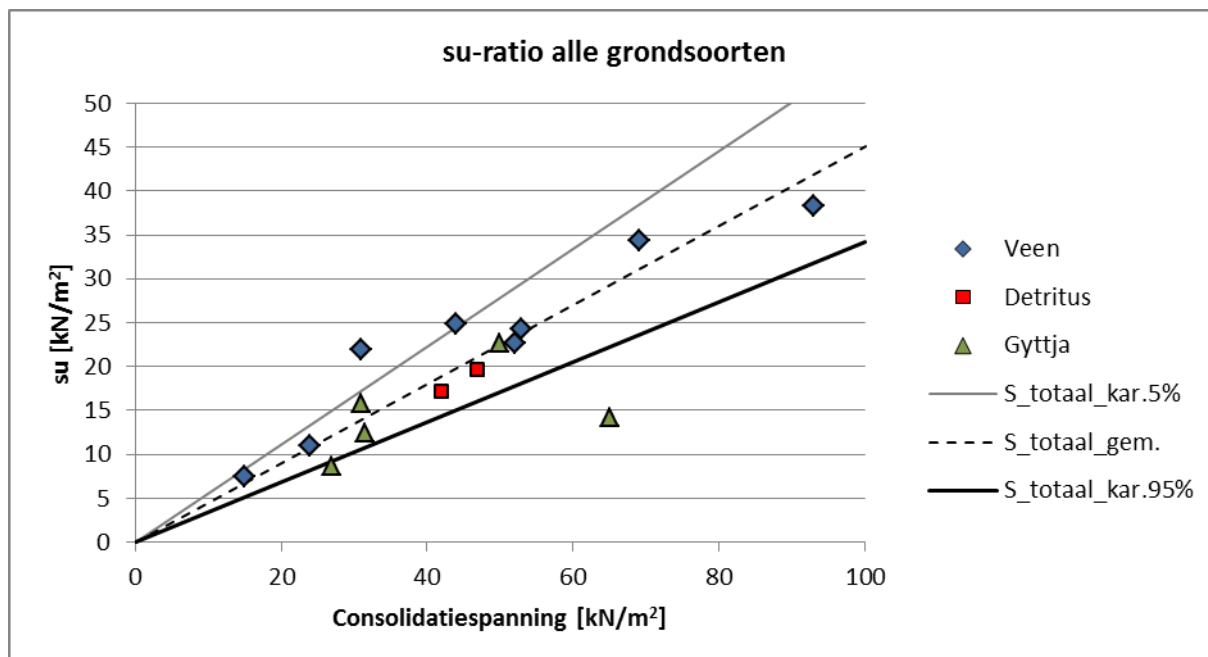


1013-0221-001-DKMP08 1214-0007-010-LKMP28-147+90KR DKMP08 gecorrigeerd

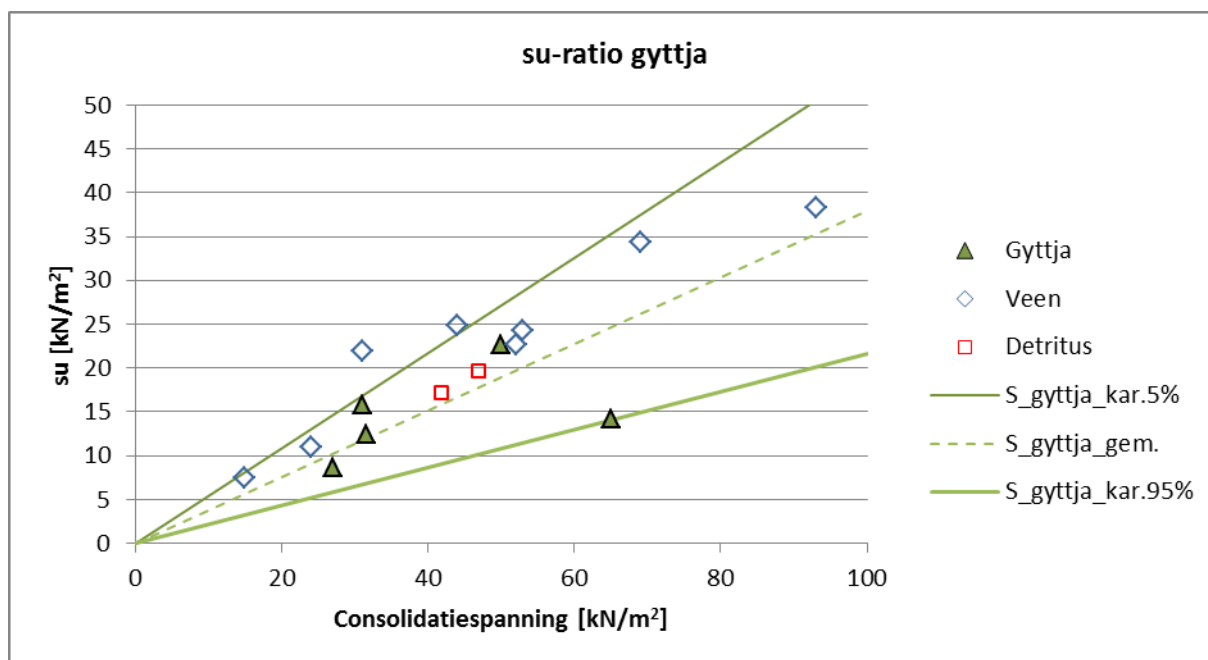
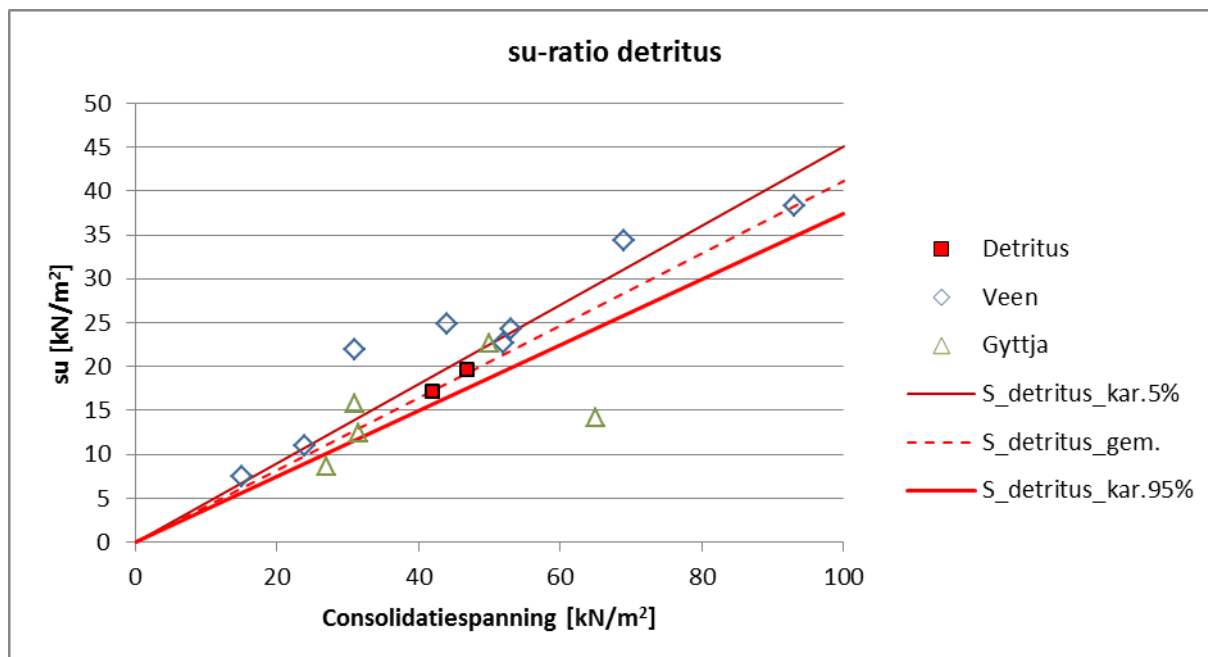
BIJLAGE 5

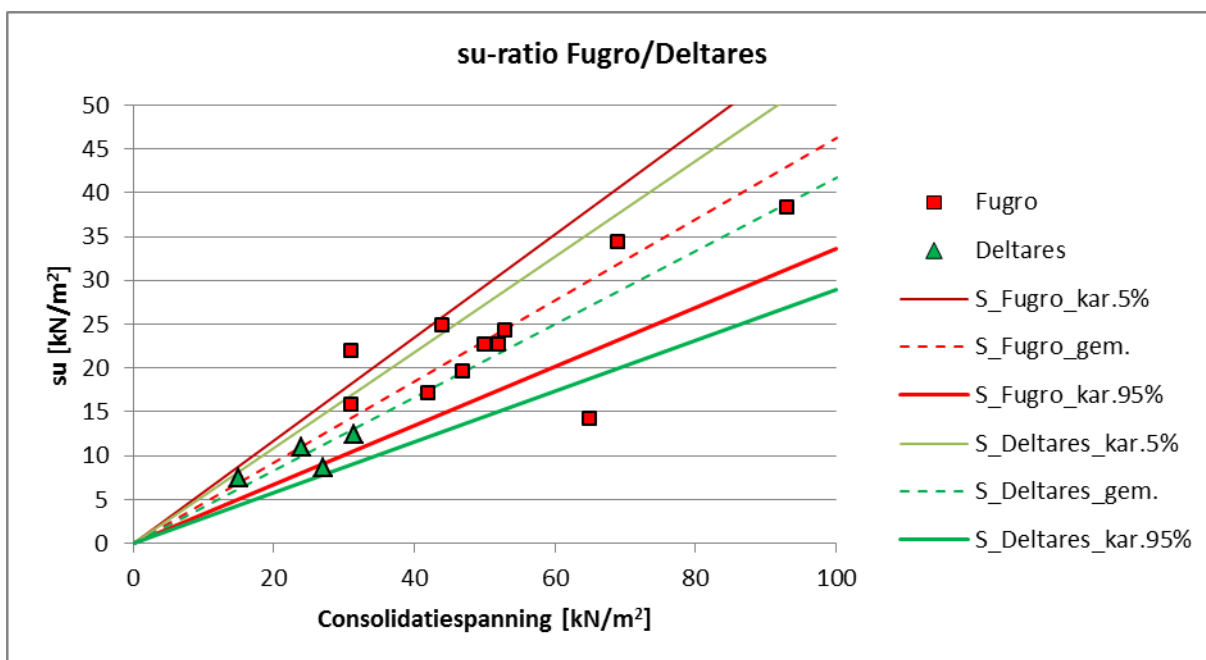
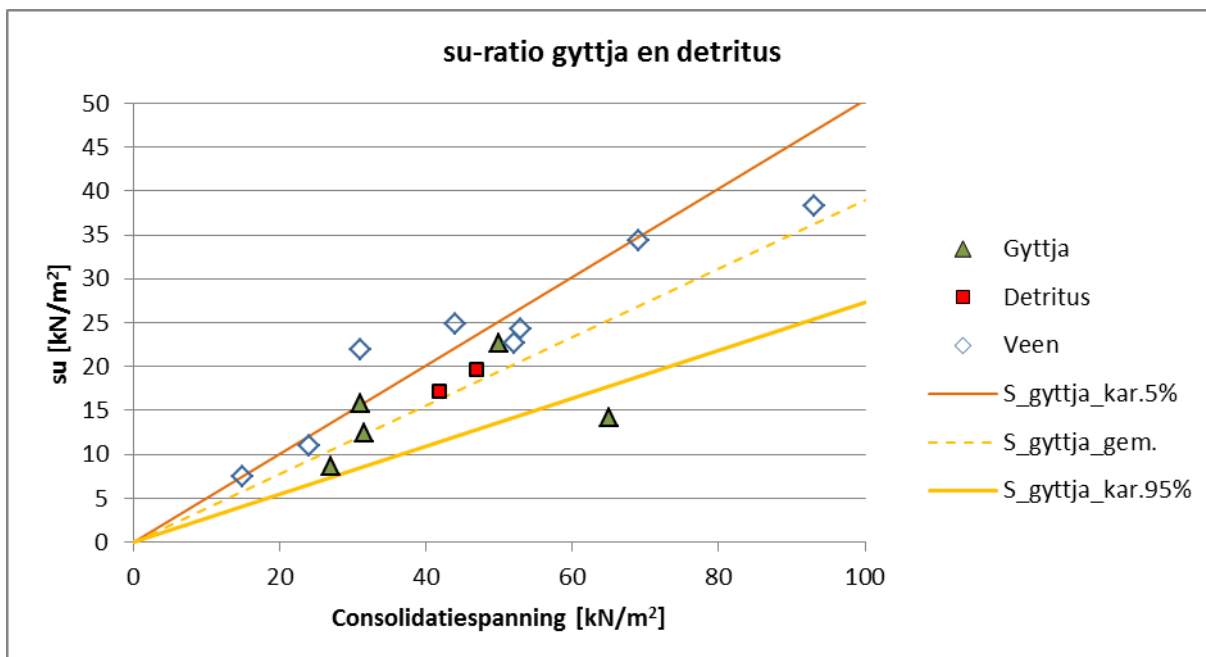
**ANALYSE DSS-PROEVEN VOOR  $s_u$ -RATIO VEEN**

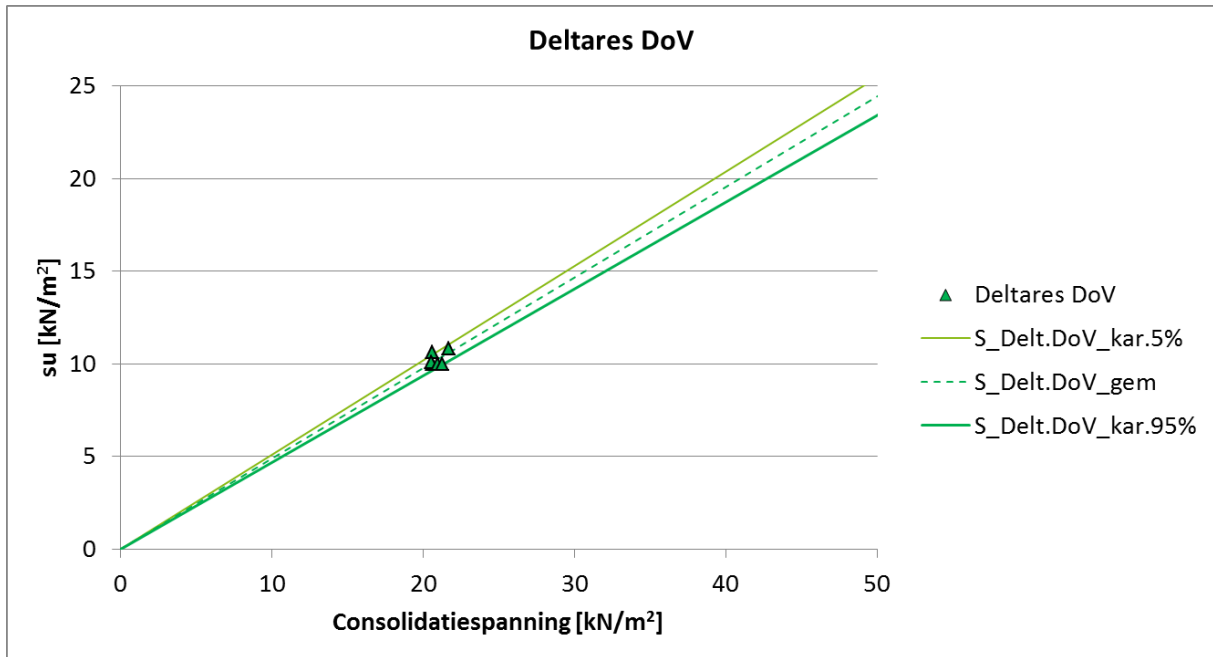
Fugro project Nr.: 1214-0007-040











## Resultaten DSS-proeven bij 1,5x de grensspanning

Polder	Boring en monster	Uitgevoerd door	Grondsoort	$s_u$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$s_u$ -ratio
<b>Aanvullend onderzoek:</b>					
Floriskoog	B22-2+10A st2-1	Deltares	VEEN	10,9	0,454
Floriskoog	B22-2+90A st2	Deltares	VEEN	7,5	0,500
Floriskoog	B22-2+90A st5-2	Deltares	GYTTJA	8,7	0,322
Floriskoog	B22-3+90A st4-1	Deltares	GYTTJA	12,4	0,394
Pieterman	B25-2+90A st4-2	Fugro	VEEN	24,9	0,566
Kinselmeer	B28-130+90A st7-1	Fugro	VEEN	21,9	0,706
Kinselmeer	B28-130A st3-2	Fugro	VEEN	24,3	0,458
IJdoorn	B28-144+90A st7-1	Fugro	VEEN	34,3	0,497
IJdoorn	B28-146+90A st6-2	Fugro	VEEN	22,7	0,437
IJdoorn	B28-146A st7-2	Fugro	VEEN	38,3	0,412
Kinselmeer	B28-130+90A st4-1	Fugro	GYTTJA	15,8	0,510
Kinselmeer	B28-130A st8-1	Fugro	GYTTJA	14,2	0,218
Kinselmeer	B28-132+90A st3-1	Fugro	GYTTJA	22,7	0,454
Pieterman	B25-1+90A st2-2	Fugro	DETRITUS	17,1	0,407
IJdoorn	B28-146+90A st3	Fugro	DETRITUS	19,6	0,417
<b>DoV onderzoek:</b>					
Katwoude	B01 47E	Deltares	VEEN	10,6	0,515
Katwoude	B01 47G	Deltares	VEEN	10,0	0,485
Katwoude	B05 Res E	Deltares	VEEN	10,1	0,492
Katwoude	B05 Res F	Deltares	VEEN	10,0	0,476
Katwoude	B06 39E	Deltares	VEEN	10,8	0,497
Katwoude	B06 39F	Deltares	VEEN	10,0	0,470

BIJLAGE 5

**CORRELATIE SCHUIFSTERKTE EN SONDEERWEERSTAND KLEI**

Fugro project Nr.: 1214-0007-040

Archimedesbaan 13  
Postbus 1471  
3430 BL Nieuwegein  
tel.: 030-6028175

Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier  
T.a.v. de heer A. Roos  
Postbus 250  
1700 AG HEERHUGOWAARD

Onze ref : 1214-0007-040.R24v02/WRH Nieuwegein, 11 november 2015

Betreft : Correlatie triaxiaalproeven aan sonderingen voor Markermeerdijkklei

Geachte heer Roos,

## 1. Inleiding

In de werkwijze Dijken op Veen wordt voorgesteld om, voor delen van de dijk die niet worden opgehoogd, de sterkte van veen te bepalen met behulp van correlaties tussen sterkteproeven en sonderingen. Hier is uitgebreid onderzoek naar gedaan, waarbij bolsonderingen, klasse 1-sonderingen en DSS-proeven zijn uitgevoerd en aan elkaar gerelateerd. De analyse van deze metingen is door Fugro beschreven in het Achtergrondrapport Grondparameters Dijken op Veen met kenmerk 1214-0007-040.R07v02 d.d. 3 april 2015. Door Deltares is voorgesteld om voor klei een zelfde werkwijze te hanteren, maar dan gebaseerd op triaxiaalproeven in plaats van DSS-proeven. De resultaten hiervan zijn beschreven in deze brief.

In rapportage met kenmerk 1214-0007-040.R24/WRH d.d. 15 september 2015 is een eerste analyse uitgevoerd, waarbij een significant verschil in de resultaten van Deltares en Fugro kon worden vast gesteld. Dit bleek na het opstellen van de rapportage echter grotendeels te kunnen worden verklaard door verschillen in membraancorrectie. Voorliggende rapportage gebruikt de resultaten met een nieuwe membraancorrectie en neemt proeven mee, welke na opstellen van de rapportage zijn uitgevoerd.

## 2. Opzet onderzoek

Er zijn in totaal 69 triaxiaalproeven uitgevoerd op klei bij terreinspanningen. Hiervan zijn 40 proeven uitgevoerd door Fugro en 29 proeven door Deltares (zie bijlage 1). De belangrijkste reden om proeven door twee verschillende laboratoria uit te laten voeren was het zo veel mogelijk beperken van de doorlooptijd. Bijkomend voordeel was dat de proeven van beide laboratoria met elkaar konden worden vergeleken, waardoor invloeden van elk laboratorium op de resultaten zichtbaar werden. Dit is nuttig gebleken, want er was nog weinig ervaring met het uitvoeren van triaxiaalproeven tot een grote rek. Uit de vergelijking is onder meer naar voren gekomen dat de membraancorrectie moet worden aangepast.

Er zijn ongeveer 6x zo weinig nieuwe sterkteproeven op klei uitgevoerd als op veen. De belangrijkste reden hiervoor was ook het beperken van de doorlooptijd. Bovendien is het altijd mogelijk om meer proeven uit te voeren als de analyse van een eerste serie resultaten daar aanleiding toe geeft.

Al de triaxiaalproeven zijn ééntraps, anisotroop en tot minimaal 30% axiale rek uitgevoerd. De schuifsterkte is afgelezen bij 25% axiale rek conform de "Handreiking voor het bepalen van schuifsterkteparameters" van Deltares d.d. december 2014. De meeste proeven van Deltares zijn uitgevoerd vlak onder of boven en monster dat door Fugro is beproefd om onderlinge vergelijking mogelijk te maken.

Van de 69 proeven zijn er 60 uitgevoerd op monsters uit boringen, die vlakbij de in de inleiding genoemde sonderingen zijn gestoken. Deze zijn betrokken in de correlatiestudie. Er zijn geen nieuwe sonderingen uitgevoerd. In de analyse voor de  $N_{kt}$  en  $N_b$  zijn 10 proeven buiten beschouwing gelaten doordat deze uitschieters zijn of omdat de laagopbouw onduidelijk was.

De uitgevoerde triaxiaalproeven zijn samengevat in bijlage 1.

### 3. Aanpak bij bepaling correlaties en gemiddelde waarden

Uit de meetgegevens zijn  $N_{kt}$ -waardes berekend voor de pieksterkte en sterkte bij 25% rek. Dit is de verhouding tussen de netto conusweerstand bij klasse 1-sonderingen en de schuifsterkte:

$$N_{kt} = \frac{q_{net}}{s_u}$$

Uit de boringen is de bodemopbouw ter plaatste van de ongeroerde monsters bekend. Er is gestreefd naar een tussenafstand van tussen sonderingen en boringen van minder dan 5 m. In de praktijk is deze afstand veelal 2 à 3 m. Hieruit is de meest waarschijnlijke conusweerstand bijhorend bij het monster bepaald. Deze hoeft niet perse precies even hoog te liggen als het monster, omdat grondlagen schuin kunnen aflopen. Indien nodig is dit handmatig aangepast. Dit is weliswaar een enigszins subjectieve stap in de correlatiestudie, maar zonder deze stap wordt de berekende variatie onrealistisch groot. In de Werkwijze Dijken op Veen is een maximale afstand tussen sonderingen en boringen van 0,5 m voorgesteld. Dan zal deze handmatige aanpassing waarschijnlijk niet nodig zijn. Het hanteren van deze maximale afstand was in het beschouwde grondonderzoek echter praktisch niet haalbaar.

In het geval van de klasse 1-sonderingen zijn de afgelezen waardes van de conusweerstand gecorrigeerd met de waterspanning en de grondspanning. Deze methodiek levert onzekerheden op doordat de bodemopbouw variabel is en niet in alle gevallen eenduidig de bijhorende conusweerstand en correctiewaardes kunnen worden bepaald. De sonderingen kunnen op een zelfde niveau een andere grondlaag aanduiden dan de boringen. Voor de correctie voor de grondspanning is de laagopbouw van de boringen aangehouden. Conform de Werkwijze Dijken op Veen zijn de grondspanningen niet gecorrigeerd voor de kromming van het maaiveld.

Uit de meetgegevens zijn  $N_b$ -waardes berekend voor de pieksterkte en sterkte bij 25% rek. Dit is de verhouding tussen de conusweerstand bij de bolsonderingen en de schuifsterkte:

$$N_b = \frac{q_b}{s_u}$$

Bij zowel de klasse 1- als de bolsonderingen is de gemiddelde conusweerstand over de monsterhoogte aangehouden. Hierbij is ook met de bodemopbouw en mogelijke verschuiving van de laag in de hoogte rekening gehouden.

De variatiecoëfficiënten zijn op de volgende manier bepaald: per triaxiaalproef is de variatie bepaald met onderstaande formule. Hierbij is de gemiddelde  $N_{kt}$  waarde over alle proeven, die

bij de aangegeven sterkte hoort, gebruikt. In het geval van het relateren aan bolsonderingen is  $N_b$  gebruikt i.p.v.  $N_{kt}$  :

$$v = \left( \frac{s_u - \frac{q_{net}}{N_{kt}}}{\frac{q_{net}}{N_{kt}}} \right)^2$$

Voor alle proeven is de variatiecoëfficiënt bepaald met:

$$VC_{nkt} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n \left( \frac{s_{u,i} - \frac{q_{net,i}}{N_{kt}}}{\frac{q_{net,i}}{N_{kt}}} \right)^2}{n - 1}}$$

Dit is voor de algehele gemiddelde uitgevoerd en voor Fugro- en Deltaresproeven apart. In de bovengenoemde formules is de algehele gemiddelde waarde voor  $N_{kt}$  gebruikt per te onderzoeken sterkte (pieksterkte, sterkte bij 25% rek).

#### 4. Analyse triaxiaalproeven

In tabel 1 zijn de gemiddelde waarde voor  $N_{kt}$ , de variatiecoëfficiënt en de representatieve waarde per proefverzameling weergegeven. Er is onderscheid gemaakt tussen de Fugroproeven en Deltares-proeven. Daarnaast zijn alle proeven gezamenlijk beschouwd. Er zijn twee situaties onderscheiden:

##### 1. Pieksterkte

Hierin is de  $N_{kt}$  bepaald uit de maximaal gemeten sterktes in de triaxiaalproeven.

##### 2. Sterkte bij 25%-rek

Het afleiden van de  $N_{kt}$  uit de pieksterkte is niet conform de afspraken die zijn gemaakt voor de toepassing van de CSSM-methode, de afleiding bij 25% axiale rek is wel correct.

Tabel 1 – Gemiddelde  $N_{kt}$ -waardes, variatiecoëfficiënt en representatieve waarde.

	Pieksterkte		Sterkte bij 25%	
	bijlage B.2.1		Bijlage B.2.2	
	$N_{kt}$	VC	$N_{kt}$	VC
Fugro (15 testen)	12,6	0,36	17,3	0,36
Deltares (14 testen)	12,7	0,33	14,8	0,38
Alle proeven (29 testen)	12,6	0,34	16,1	0,37



Er is een uitschieter geconstateerd, door een hoge conusweerstand gekoppeld aan een lage  $s_u$  waarde. Deze komt voor bij twee vlakbij elkaar, door verschillende laboratoria, uitgevoerde proeven. Vooralsnog is er geen reden om deze proeven buiten beschouwing te laten. Bij de bolsonderingen is een zelfde aanpak gehanteerd. Verder is een vergelijking tussen Deltares en Fugro niet betrouwbaar, omdat er slechts drie Deltares-proeven kunnen worden gecorreleerd aan bolsonderingen.

Tabel 2 – Gemiddelde  $N_b$ -waardes variatiecoëfficiënt en representatieve waarde

	Pieksterkte		Sterkte bij 25%	
	bijlage B.3.1		Bijlage B.3.2	
	$N_b$	VC	$N_b$	VC
Fugro (21 testen)	11,9	0,31	15,5	0,37
Deltares (3 testen)	11,8	0,44	13,0	0,63
Alle proeven (24 testen)	11,9	0,32	15,2	0,40

In bijlage 2 en 3 zijn diverse correlaties getoond in grafieken. Hierin zijn trendlijnen door de puntenwolken weergegeven. De richtingscoëfficiënten van de trendlijnen geven een indicatie van de verwachtingswaarde van  $N_{kt}$  en  $N_b$ , maar zijn niet exact gelijk aan de gemiddelde waarde, omdat deze op een andere manier zijn bepaald.

In de triaxiaalproeven van Deltares worden gemiddeld lager  $N_{kt}$ - en  $N_b$ -waarden gevonden dan in de proeven Fugro. Dit lijkt vooral te komen doordat Deltares sterkere klei heeft beproefd, omdat deze verschillen in de duploproeven nauwelijks tot uiting komen (zie memorandum "Membraancorrectie triaxiaal compressietesten" d.d. 19 oktober 2015).

## 5. Conclusies en vervolgstappen

Voor de  $N_{kt}$  van Markermeerdijkklei kan worden uitgegaan van 16,1 met een variatiecoëfficiënt van 0,37. Voor  $N_b$  van Markermeerdijkklei kan worden uitgegaan van 15,2 met een variatiecoëfficiënt van 0,40.

De spreiding in pieksterktes is kleiner dan de spreiding in sterktes bij 25% axiale rek. Dit lijkt een logisch gevolg van het feit dat de invloed van monsterverkneding in de triaxiaalproef kleiner is bij een kleine rek. Er kan geen voordeel gehaald uit deze kleinere spreiding, omdat conform de Werkwijze Dijken op Veen moet worden gerekend met sterktes bij eindrek.

De volgende vervolgstappen worden gezet om tot een optimale rekenmethode te komen:

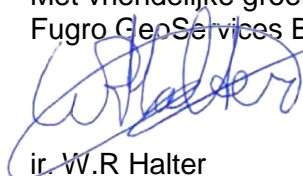
- Bij Deltares loopt momenteel een onderzoek naar verschillen in uitvoering in triaxiaalproeven tussen verschillende laboratoria. Mogelijk volgt hieruit dat er naast de eerder gesignaleerde verschillen in membraancorrectie nog meer verschillen zijn, die leiden tot andere resultaten.
- In de Mohr-Coulomb-proevenverzameling wordt onderscheid gemaakt tussen tientallen verschillende kleisoorten, terwijl in deze analyse is uitgegaan één kleisoort. Er zal worden beschouwd in hoeverre een onderverdeling in verschillende kleisoorten en meer proeven per kleisoort zou kunnen leiden tot optimalisatie. Uit een eerste verkenning blijken nog geen

trendmatige verschillen tussen kleisoorten, maar dit inzicht kan mogelijk veranderen nadat ook alle triaxiaalproeven boven de grensspanning zijn afgerond en geanalyseerd.

- De schuifsterkte bij terreinspanning kan op twee manieren worden berekend: enerzijds door middel van  $N_{kt}$ - en  $N_b$ -waarden uit proeven bij de terreinspanning en sonderingen, anderzijds via de sterktoenamefactor en de grensspanning uit samendrukkingsproeven en de schuifsterkteratio uit sterkteproeven boven de grensspanning. De veronderstelling van Deltares is dat de eerste methode tot hogere sterktes leidt. Deze hypothese zal door middel van een generieke vergelijking worden geverifieerd, nadat alle proeven zijn uitgevoerd.
- In de Werkwijze Dijken op Veen is naast een variatiecoëfficiënt voor de ruimtelijke spreiding in de proefresultaten, die in dit rapport is berekend nog een variatiecoëfficiënt gedefinieerd. Dit betreft de variatiecoëfficiënt voor transformatieonzekerheden. Deze is gegeven voor veen, er moet nog worden onderzocht in hoeverre voor klei een zelfde waarde kan worden gehanteerd.

Wij vertrouwen erop u hiermee voldoende te hebben geïnformeerd.

Met vriendelijke groet,  
Fugro GeoServices B.V.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "W.R. Halter".

ir. W.R Halter  
Senior Adviseur Waterbouw

Mede opgesteld door ir. A.C. Briele

Bijlage 1 - Samenvatting van triaxiaalproefresultaten

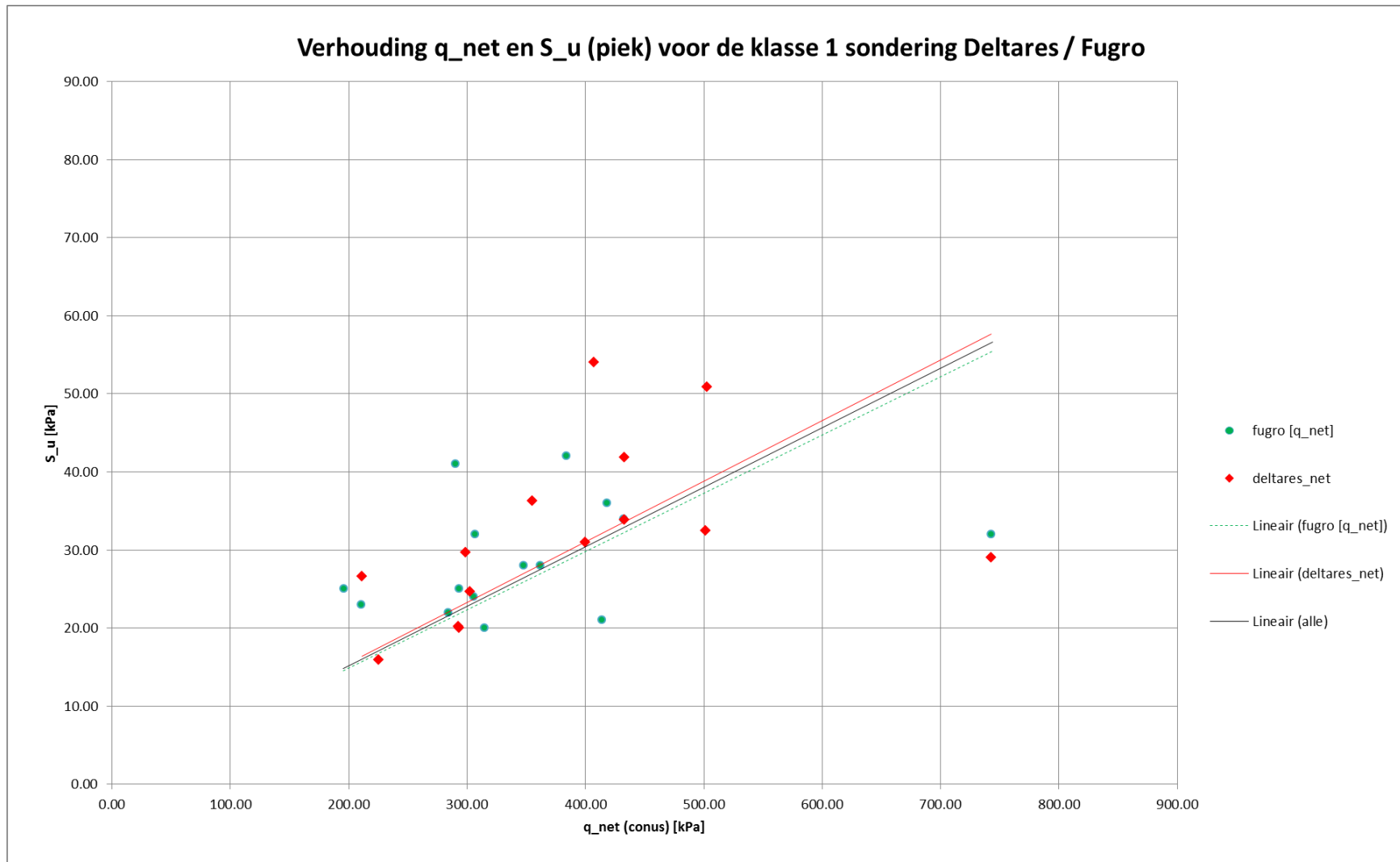
Bijlage 2 - Correlaties met klasse 1-sonderingen

Bijlage 3 - Correlaties met bolsonderingen

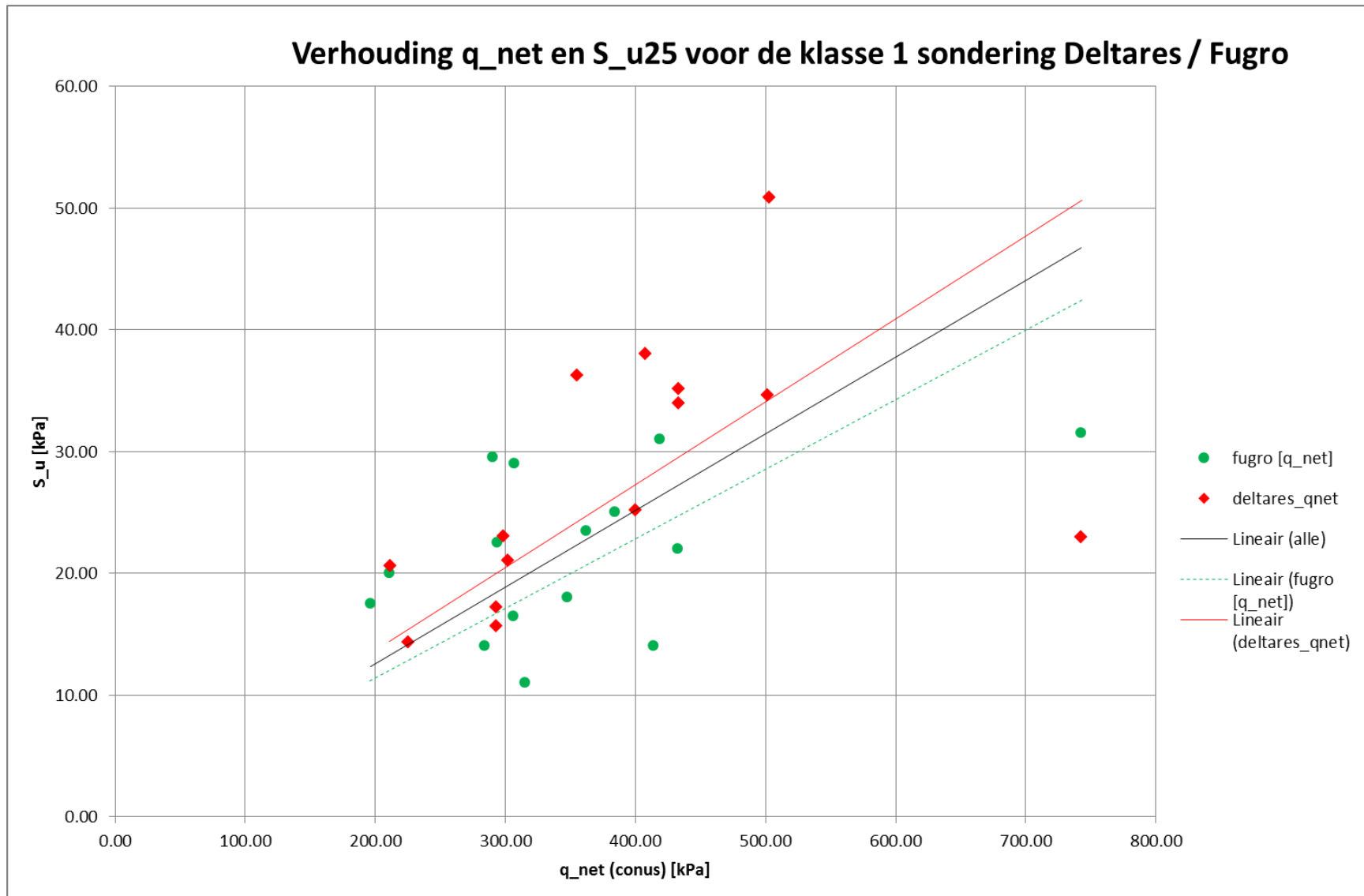
Polder	Boring		monster
<b>Fugro</b>	<b>15</b>		
0	B22-2+10BI	B22-2+10BISt6	6
0	B22-2+10KR	B22-2+10KRSt4	4
0	B22-2+10KR	B22-2+10KRSt8	8
0	B22-2+90BI	B22-2+90BISt3	3
0	B22-3+90BI	B22-3+90BISt2	2
0	B22-3+90BI	B22-3+90BISt6	6
0	B22-3+90KR	B22-3+90KRSt3	3
0	B25-4+90BI	B25-4+90BISt2	2
0	B28-127+90KR	B28-127+90KRSt1	1
0	B28-127+90KR	B28-127+90KRSt12	12
0	B28-127+90KR	B28-127+90KRSt13	13
0	B28-131+90BI	B28-131+90BISt11	11
0	B28-131+90BI	B28-131+90BISt4	4
0	B28-131+90BI	B28-131+90BISt5	5
0	B28-128+90KR	B28-128+90KRSt5a	5a
<b>Deltares</b>	<b>14</b>		
0	B22-2+10BI	B22-2+10BI_St6-D	St6-D
0	B22-2+10KR	B22-2+10KR_St1	St1
0	B22-2+10KR	B22-2+10KR_St7-D	St7-D
0	B22-2+10KR	B22-2+10KR_St8-D	St8-D
0	B22-2+90BI	B22-2+90BI_St1	St1
0	B22-3+90BI	B22-3+90BI_St7	St7
0	B22-3+90KR	B22-3+90KR_St3-D	St3-D
0	B25-1+90BI	B25-1+90BI_St5	St5
0	B25-2+90KR	B25-2+90KR_St3-1	St3-1
0	B25-2+90KR	B25-2+90KR_St3-2	St3-2
0	B28-127+90KR	B28-127+90KR_St12-D	St12-D
0	B28-128+90KR	B28-128+90KR_St6	St6
0	B28-128+90KR	B28-128+90KR_St6-D	St6-D
0	B22-2+90KR	B22-2+90KR_7-D	7-D
<b>Niet meegenomen Fugro</b>	<b>2</b>		
0	B22-2+10BI	B22-2+10BISt1	1
0	B28-127+90KR	B28-127+90KRSt11	11
<b>Niet meegenomen Deltares</b>	<b>3</b>		
0	B25-2+90KR		St3-D
0	B25-4+90BI		St2-D
0	B25-2+90KR		St3-2D
0	PB20-8+150A		St1
0	PB20-8+150A		St2-1
0	PB20-8+150A		St2-2
0	PB23-34A		St1-1
0	PB23-34A		St3-1
0	PB23-34A		St4-1
0	PB23-98+50VL		St1-1
0	PB23-98+50VL		St1-2
0	PB23-98+50VL		St1-3
0	PB28-75BI		St7-2
0			

Polder	Boring		monster
<b>Fugro</b>	<b>21</b>		
0	B22-2+90A	B22-2+90ASt4	4
0	B22-2+90VL	B22-2+90VLSt4	4
0	B22-2+90VL	B22-2+90VLSt7	7
0	B22-3+90A	B22-3+90ASt6-1	6-1
0	B22-3+90A	B22-3+90ASt6-2	6-2
0	B25-3+90VL	B25-3+90VLSt4	4
0	B25-3+90VL	B25-3+90VLSt6-1	6-1
0	B25-3+90VL	B25-3+90VLSt6-2	6-2
0	B28-129+90W	B28-129+90WSt10	10
0	B28-129+90W	B28-129+90WSt13	13
0	B28-129+90W	B28-129+90WSt14	14
0	B28-129+90W	B28-129+90WSt2	2
0	B28-144+90A	B28-144+90ASt11	11
0	B28-144+90A	B28-144+90ASt9	9
0	B28-144+90VL	B28-144+90VLSt10	10
0	B28-144+90VL	B28-144+90VLSt13	13
0	B28-144+90VL	B28-144+90VLSt2	2
0	B28-144+90VL	B28-144+90VLSt5	5
0	B28-146+90A	B28-146+90ASt4	4
0	B28-146VL	B28-146VLSt2	2
0	B28-146VL	B28-146VLSt4	4
<b>Deltares</b>	<b>3</b>		
0	B22-2+10VL	B22-2+10VLSt7	St7
0	B22-2+90A	B22-2+90ASt4-D	St4-D
0	B22-2+90VL	B22-2+90VLSt7-D	St7-D
<b>Niet meegenomen Fugro</b>	<b>2</b>		
0	B28-144+90A	B28-144+90ASt1	1
0	B28-146+90A	B28-146+90ASt1	1

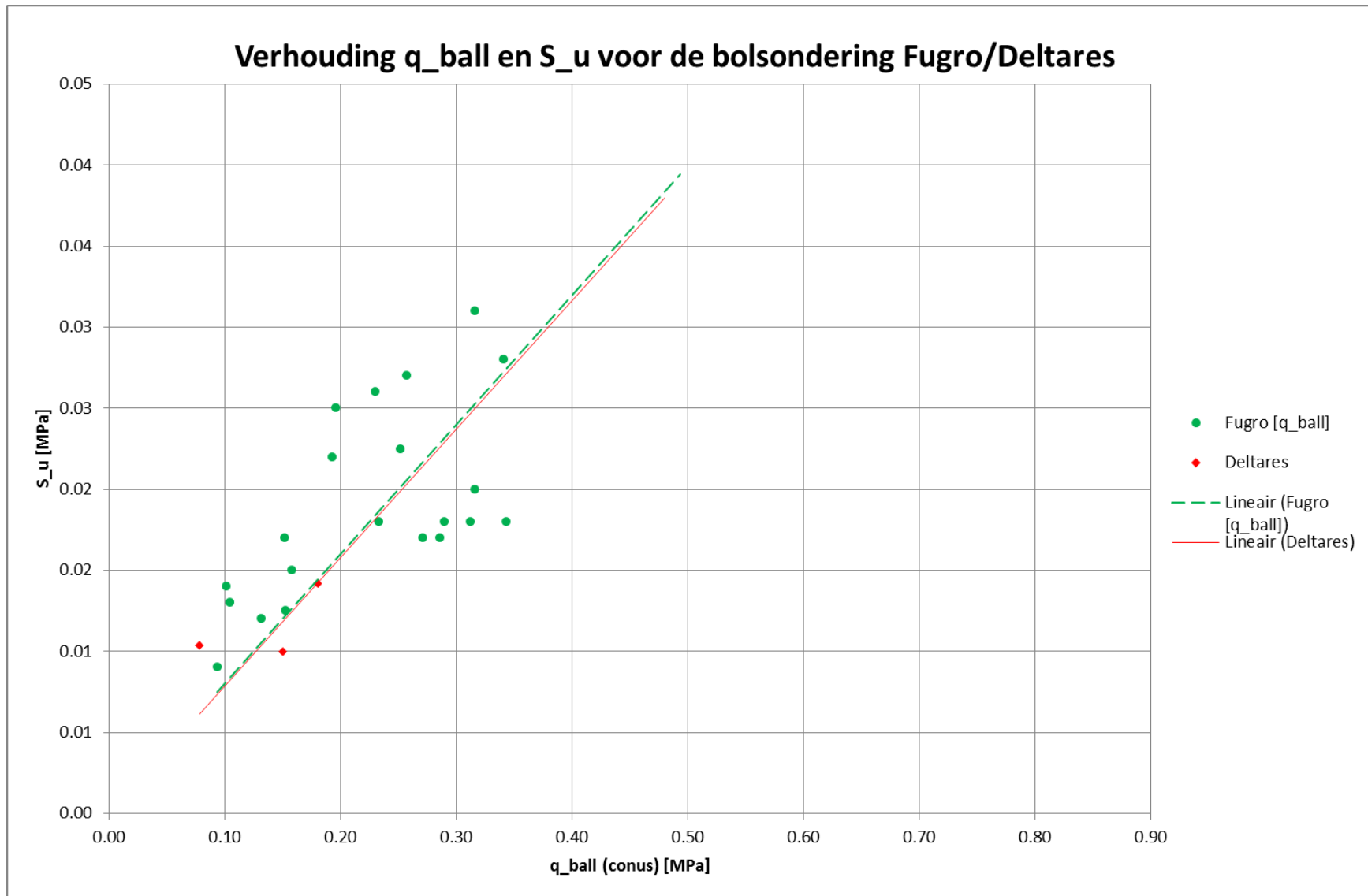
Tabel B.1 – Samenvatting van triaxiaalproefresultaten gerelateerd aan klasse 1 sonderingen en zonder bijhorende sondering (kenmerk PB, links) en gerelateerd aan bolsonderingen (rechts)



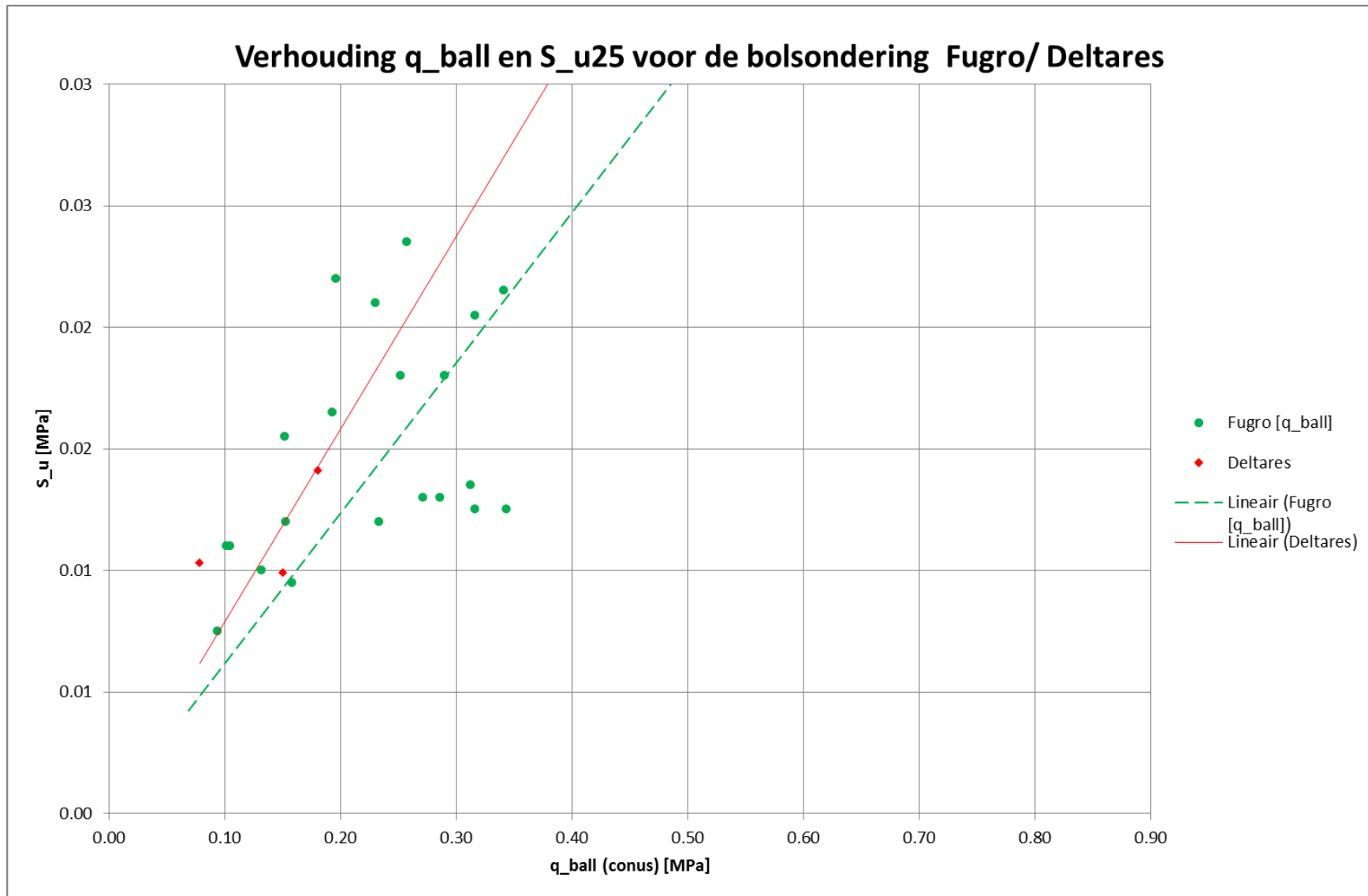
Figuur B.2.1 – Correlatie piekwaarde schuifsterkte met netto conusweerstand klasse 1-sondering



Figuur B.2.2 – Correlatie schuifsterkte bij 25% axiale rek met netto conusweerstand klasse 1-sondering



Figuur B.3.1 – Correlatie piekwaarde schuifsterkte met waarde bolsondering



Figuur B.3.2 – Correlatie schuifsterkte bij 25% axiale rek met waarde bolsondering

BIJLAGE 6

**VERGELIJKING VAN STERKTEBEPALING MET EN ZONDER  
CORRELATIE MET SONDERINGEN**

Fugro project Nr.: 1214-0007-040

---

**Vergelijking van sterktebepaling met en zonder correlatie  
met sonderingen**

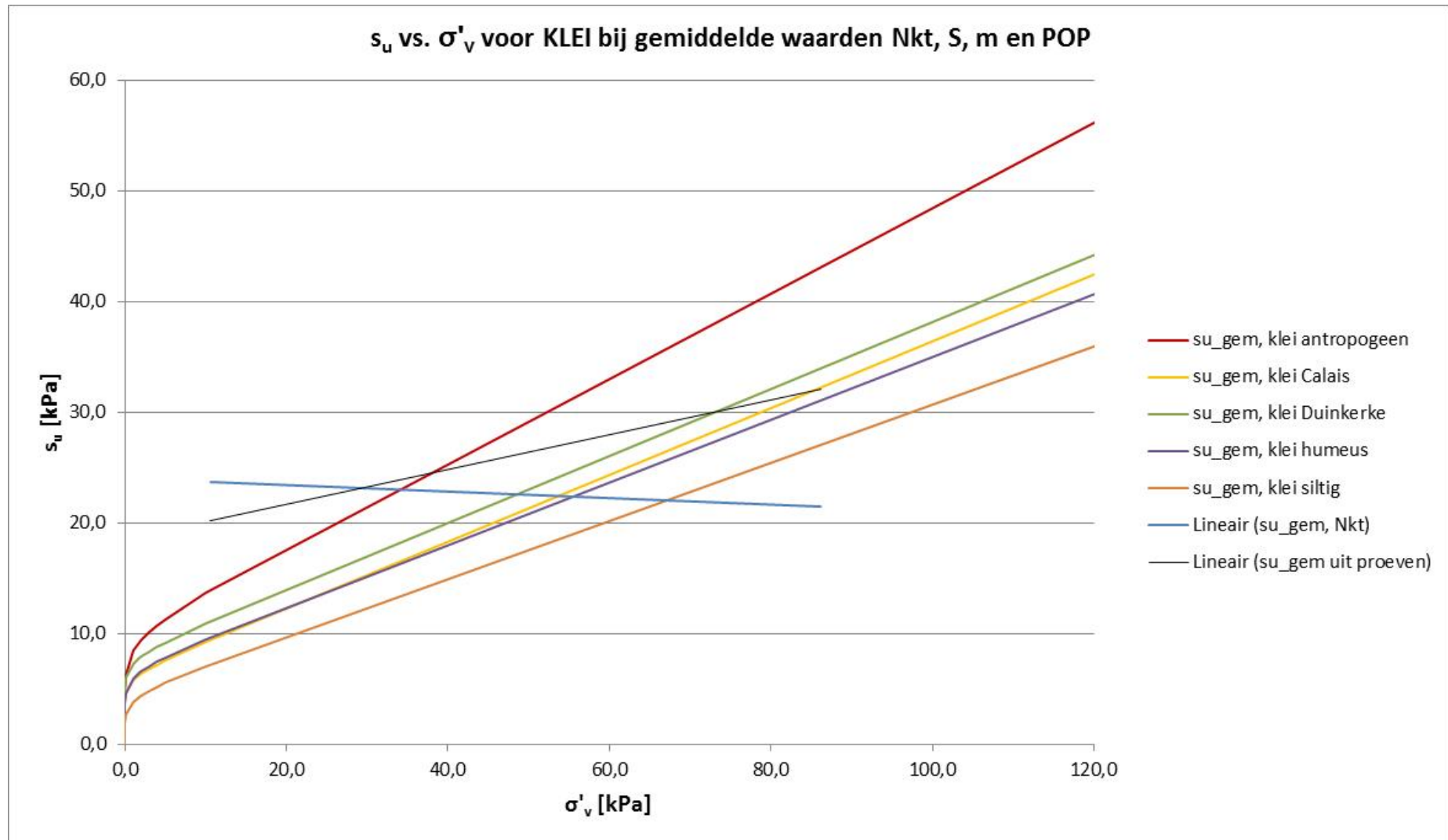
Opdr. : 1214-0007-040

Achtergrondrapport grondparameters Dijken op Veen

Bijl. : 6

---



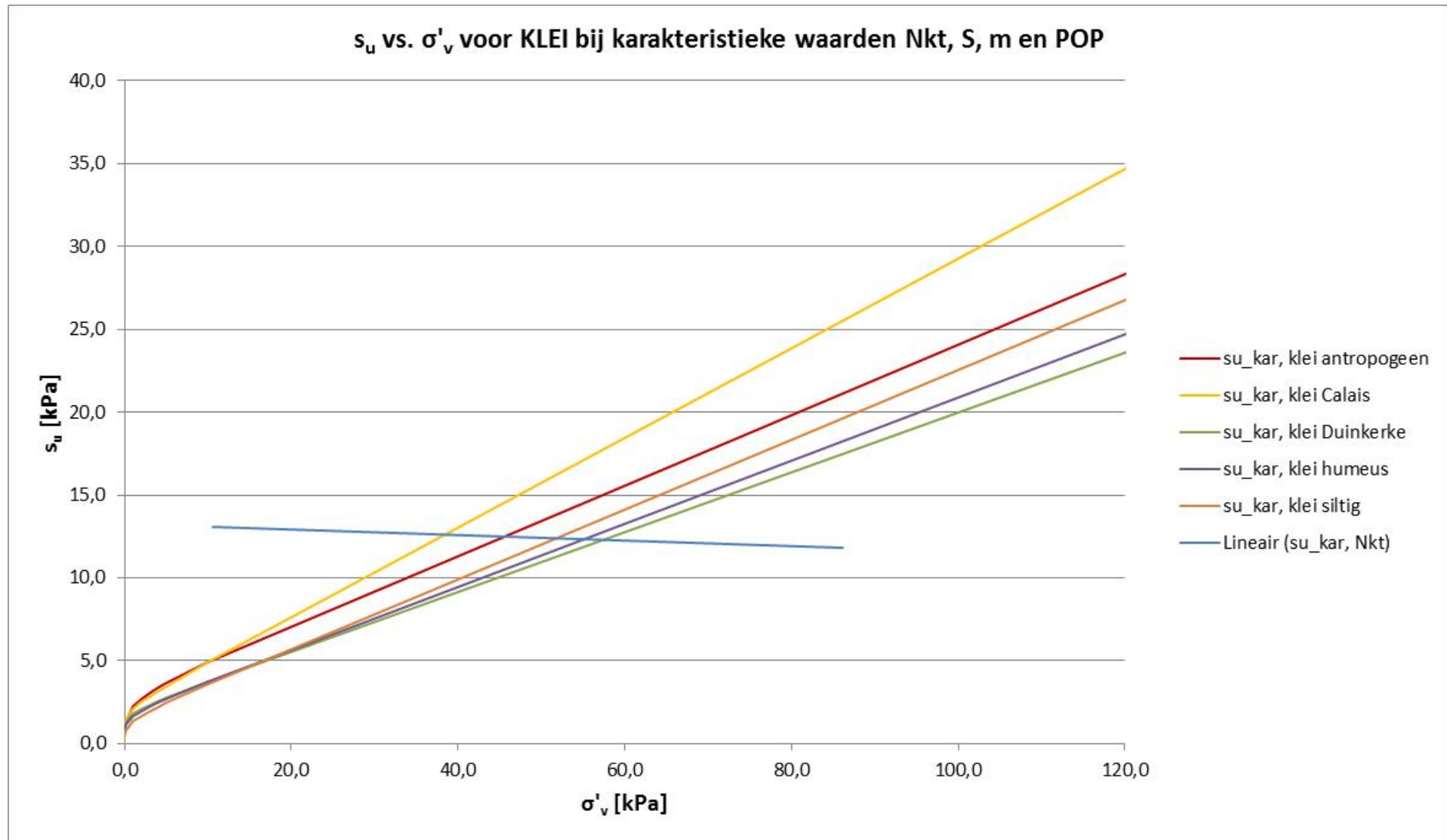


**Vergelijking van sterktebepaling bij terreinspanning met en zonder correlatie met sonderingen**

Opdr. : 1214-0007-040

Achtergrondrapport grondparameters Dijken op Veen

Bijl. : 6-1

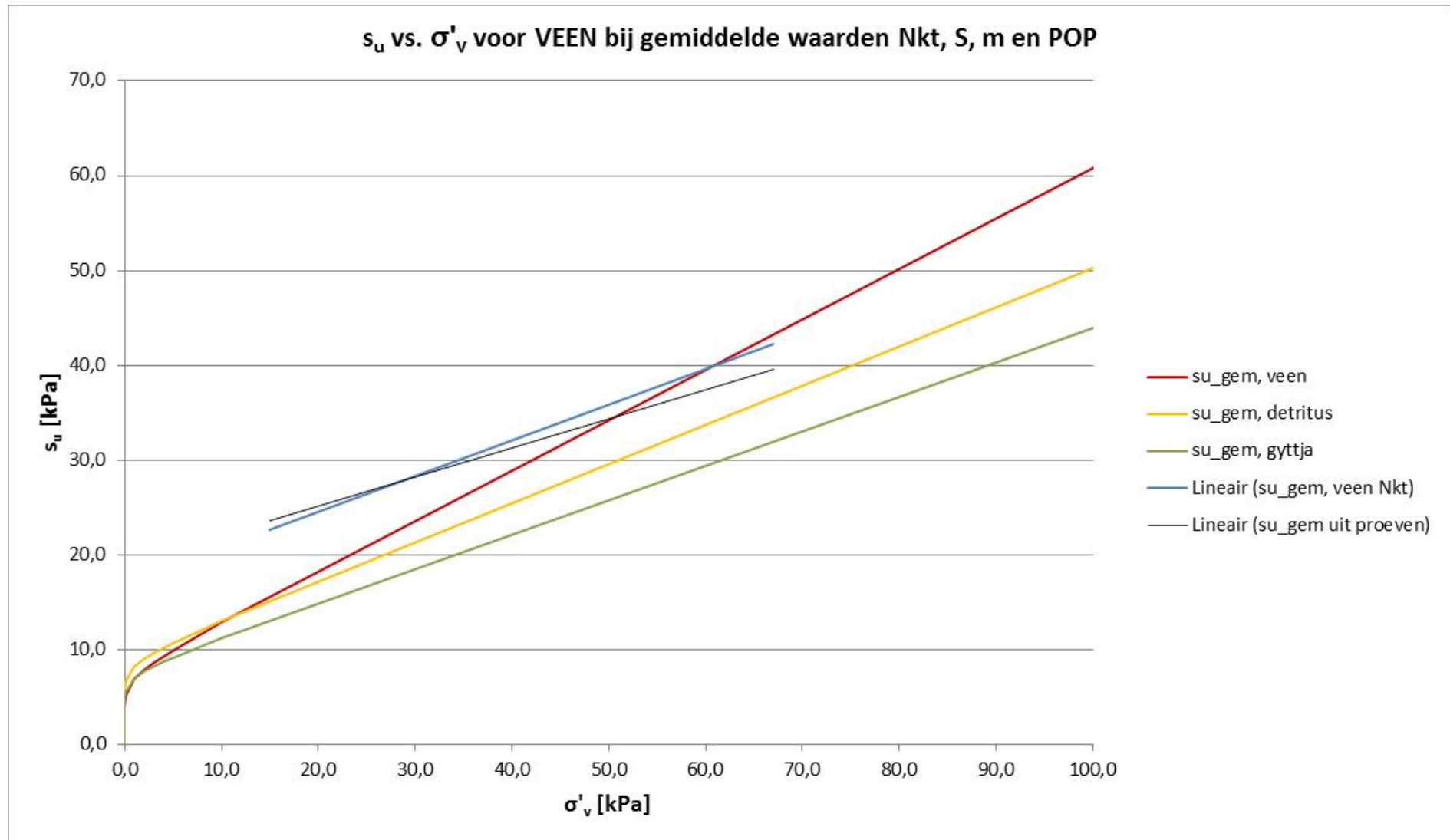


**Vergelijking van sterktebepaling bij terreinspanning met en zonder correlatie met sonderingen**

Opdr. : 1214-0007-040

Achtergrondrapport grondparameters Dijken op Veen

Bijl. : 6-2

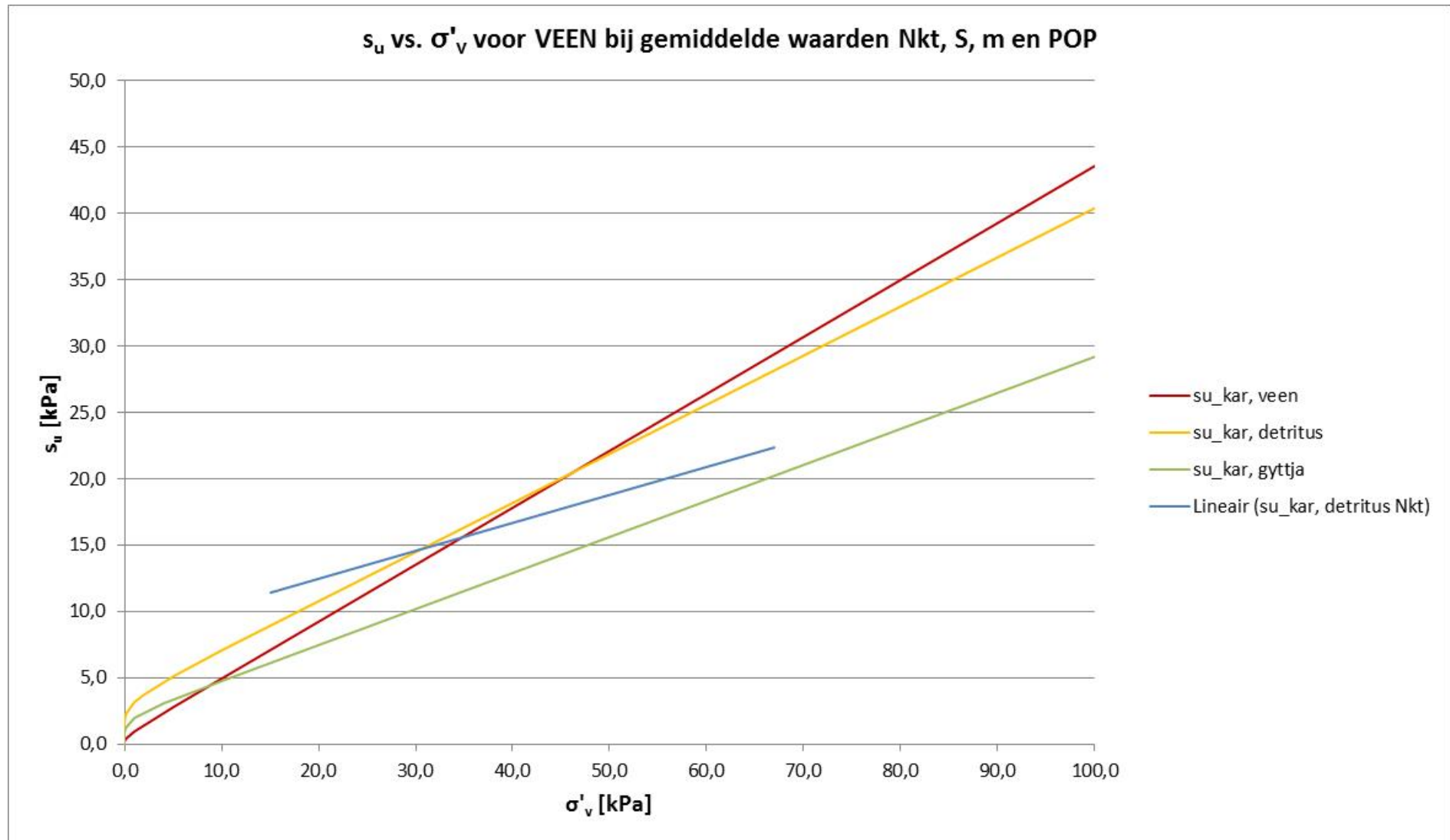


**Vergelijking van sterktebepaling bij terreinspanning met en zonder correlatie met sonderingen**

Opdr. : 1214-0007-040

Achtergrondrapport grondparameters Dijken op Veen

Bijl. : 6-3



**Vergelijking van sterktebepaling bij terreinspanning met en zonder correlatie met sonderingen**

Opdr. : 1214-0007-040

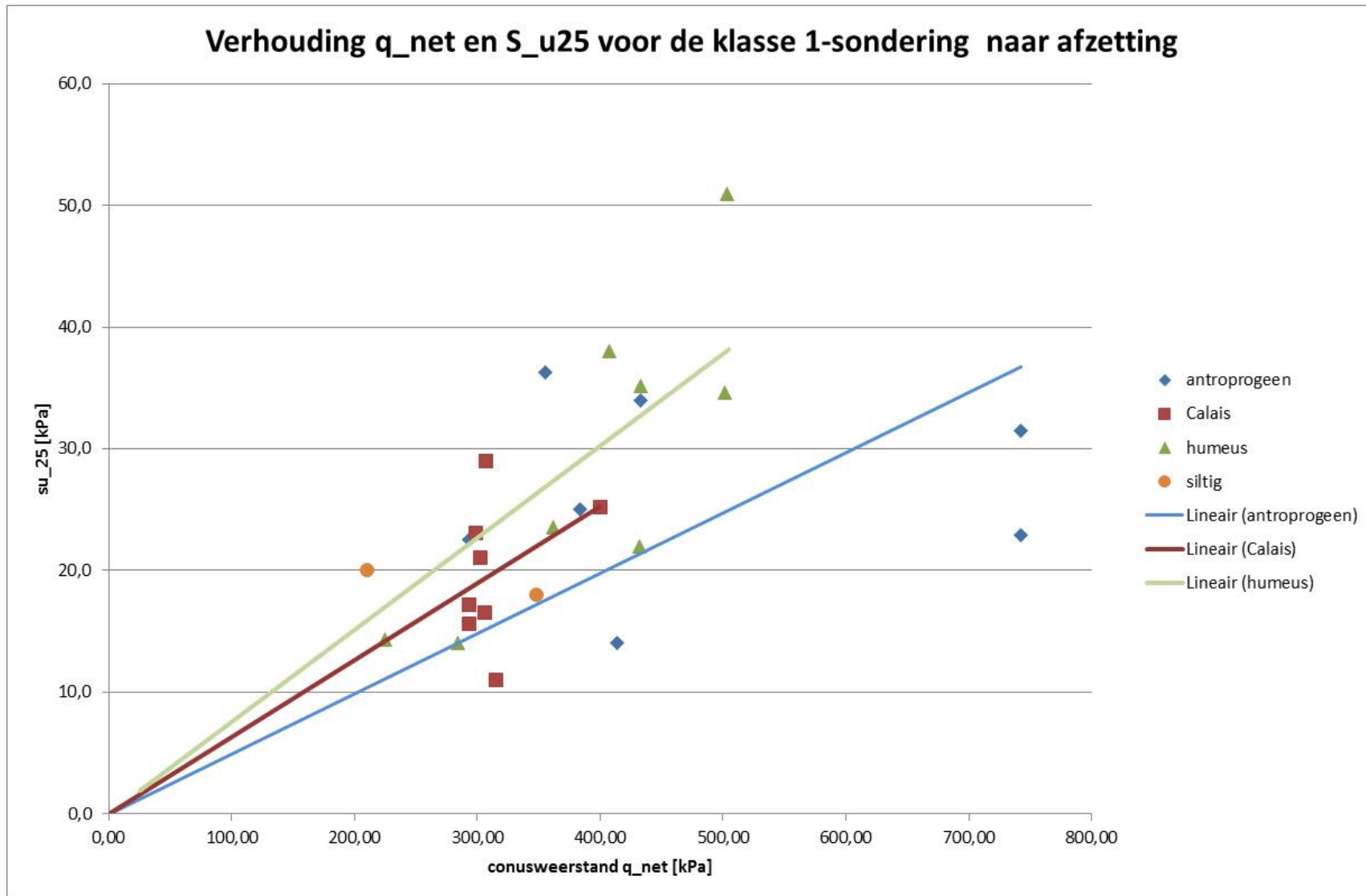
Achtergrondrapport grondparameters Dijken op Veen

Bijl. : 6-4

BIJLAGE 7

**INVLOED KLEISOORT OP  $N_{KT}$ - EN  $N_B$ -FACTOREN**

Fugro project Nr.: 1214-0007-040

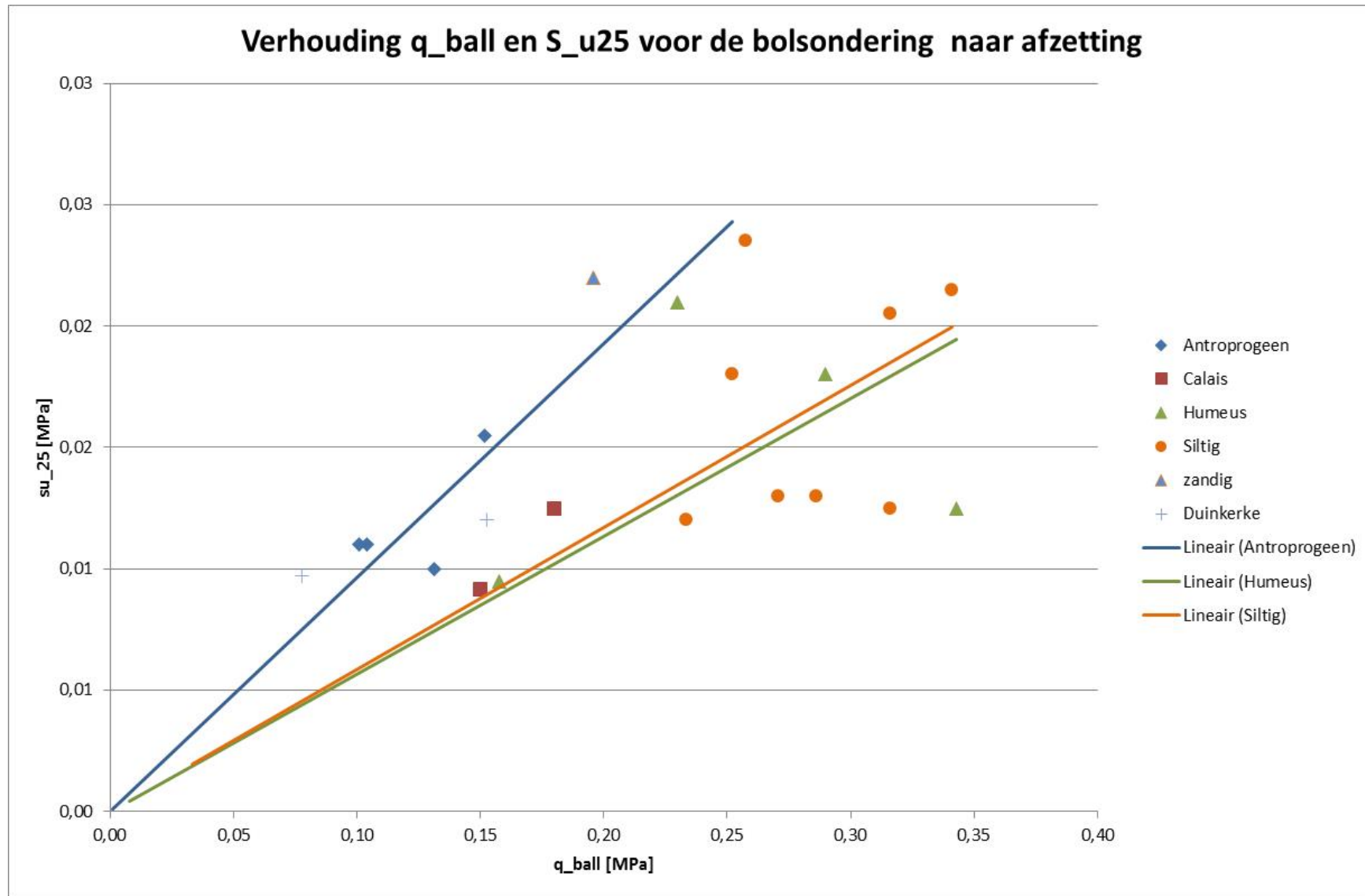


Invloed kleisoort op  $N_{kt}$ - en  $N_b$ -factoren

Opdr. : 1214-0007-040

Achtergrondrapport grondparameters Dijken op Veen

Bijl. : 7-1



Invloed kleisoort op  $N_{kt}$ - en  $N_b$ -factoren

Opdr. : 1214-0007-040

Achtergrondrapport grondparameters Dijken op Veen

Bijl. : 7-2