FUGRO GEOSERVICES B.V.
Geo-Consultancy

STABILITEITSANALYSE
betreffende

ZANDWINNING IN DE GENDTSE WAARD TE GENDT

Opdrachtnummer: 1017-0026-000

Opdrachtgever	:	K3Delta Postbus 200 6660 AE Elst
Projectleider en opgesteld door	:	ir. J.H.M. Vloemans Senior Geotechnical Consultant
Gecontroleerd door	:	ir. B. Rijneveld Groepshoofd Waterbouw

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
1	7 maart 2017	Concept	
2	11 januari 2018	Toevoeging aanvullend grondonderzoek en aanvullende analyses	*HMV*
3	22 mei 2018	Gewijzigd ontwerp	
4	28 mei 2018	Gewijzigd ontwerp tekstuele aanpassing	
5	21 juni 2018	Tekstuele aanpassing	

FILE: 1017-0026-000.R01v5.docx

INHOUDSOPGAVE Blz.

1. INLEIDING 1
1.1 Algemeen 1
1.2 Projectomschrijving 1
1.3 Scope 3
1.4 Beschikbare gegevens 4
1.4.1 Gehanteerde documenten en tekeningen 4
1.4.2 Beschikbaar grondonderzoek 4
1.5 Algemene uitgangspunten 4
2. TERREIN- EN BODEMGESTELDHEID 7
2.1 Bodemopbouw 7
2.2 (Grond-)waterstanden 7
3. TALUDAFSCHUIVING 8
3.1 Beoordeling taludafschuiving: eenvoudige methode CUR-113 8
3.2 Uitgangspunten 9
3.2.1 Geometrie 9
3.2.2 Grondparameters 9
3.2.3 (Grond-)waterstanden en stijghoogten 10
3.2.4 Terrein- en verkeersbelastingen 10
3.3 Berekeningsresultaten 11
3.4 Samenvatting toets op taludafschuiving 12
4. VERWEKINGSVLOEIING 13
4.1 Beoordeling verwekingsvloeiing: eenvoudige methode CUR-113 13
4.1.1 Uitgangspunten 14
4.1.2 Relatieve dichtheid 14
4.1.3 Doorsnede A1 – Rekenputdiepte en rekentaludhelling 16
4.1.4 Doorsnede A2 – Rekenputdiepte en rekentaludhelling 17
4.1.5 Doorsnede B – Rekenputdiepte en rekentaludhelling 17
4.1.6 Doorsnede C – Rekenputdiepte en rekentaludhelling 18
4.1.7 Samenvatting eenvoudige beoordeling 18
4.2 Beoordeling verwekingsvloeiing: gedetailleerde methode CUR-113 19
4.2.1 Stap 1: Analyse state parameter Ψ 19
4.2.2 Stap 2: Stabiliteitsanalyse bij verweking dieper gelegen zandlagen 21
4.3 Samenvatting beoordeling verwekingsvloeiing 23
5. BRESVLOEIING 24
5.1 Beheerst bressen 24
5.2 Beoordeling bresvloeiing: eenvoudige methode CUR-113 25
5.2.1 Voorwaarde 1 25
5.2.2 Voorwaarde 2 26
5.2.3 Voorwaarden 3, 4 en 5 29
5.2.4 Samenvatting beoordeling bresvloeiing: eenvoudige methode CUR-113 29
5.3 Beoordeling bresvloeiing: gedetailleerde methode CUR-113 30
5.3.1 Uitgangspunten 30
5.3.2 Berekeningsresultaten 30
5.4 Samenvatting beoordeling bresvloeiing 34
5.5 Overige opmerkingen en advies uitvoering 34

6. RISICOBESCHOUWING 36
6.1 Risicobeschouwing CUR 113 (eenvoudige methode) 36
6.2 Gevoelige gebouwen en overige objecten 36
7. SAMENVATTING EN CONCLUSIES 38
7.1 Beoordeling oeverstabiliteit 38
7.2 Risicobeschouwing belendingen 39
7.3 Aanvulmateriaal 40
8. LITERATUUR 41

BIJLAGEN Nr.

Grond- en laboratoriumonderzoek
- Rapportage grond- en laboratoriumonderzoek R-3876 (31 oktober 2002)
- Rapportage grond- en laboratoriumonderzoek 6009-0428-000.R01 (8 december 2009)
- Rapportage grond- en laboratoriumonderzoek 6009-0316-000.R01 (22 april 2010)
- Rapportage grondonderzoek 1017-0026-000_21.KR01 (20 oktober 2017)

Analyse macrostabiliteit
- Resultaten stabiliteitsberekening – doorsnede A1/A2 A1

Analyse verwekingsvloeiing
- Bepaling relatieve dichtheid per sondering A2
- Bepaling State Parameter per sondering A3

Analyse bresvloeiing
- Grafieken HMBreach berekeningen A4

1. INLEIDING

1.1 Algemeen

Op 15 februari 2017 ontving Fugro GeoServices B.V. te Arnhem van K3Delta te Elst, de opdracht voor het uitbrengen van een stabiliteitsanalyse van de oevers en onderwatertaluds ten behoeve van het project “Zandwinning in de Gendtse Waard te Gendt”.

In voorliggend rapport wordt een beoordeling gedaan van de oeverstabiliteit op basis van CUR-aanbeveling 113. Daarnaast wordt een risicoanalyse gepresenteerd voor eventuele bestaande belendingen nabij de insteek van de zandwinning.

In aanvulling op de eerder uitgevoerde toets volgens de eenvoudige methode, gerapporteerd in de eerste versie van dit rapport (d.d. 7 maart 2017), is in dit rapport een gedetailleerde methode gehanteerd voor de toets op verwekingsvloeiing en bresvloeiing. Voor de toets op verwekingsvloeiing is deze gedetailleerde methode gebaseerd op aanvullend grondonderzoek en zijn analyses van de State Parameter en de stabiliteit bij verweking gedaan. Voor bresvloeiing is een analyse met een bresmodel uitgevoerd (HMBreach). In deze versie van het rapport is derhalve de volledige beoordeling, inclusief het aanvullende grondonderzoek en analyses, gepresenteerd.

Dit rapport bevat:

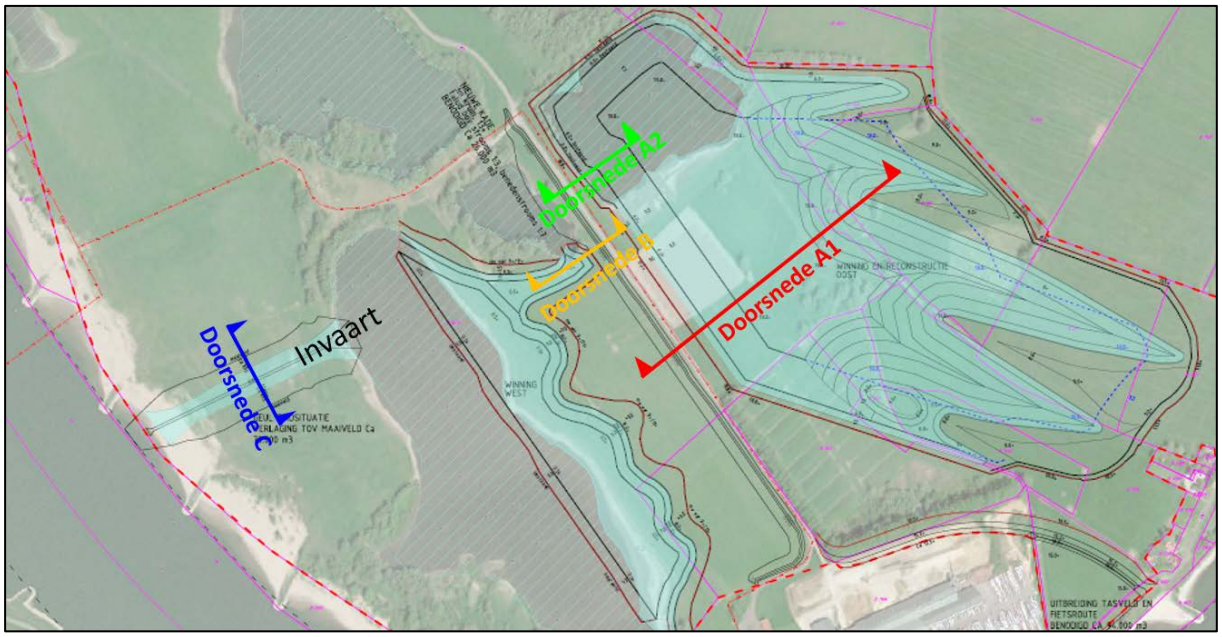
- een korte projectomschrijving en overzicht van de versterkte gegevens;
- een omschrijving van de terrein- en bodemgesteldheid (H2);
- beoordeling op taludafschuiving van het onderwatertalud (H3);
- beoordeling op verwekingsvloeiing van het onderwatertalud (H4);
- beoordeling op bresvloeiing van het onderwatertalud (H5);
- risicoanalyse (H6);
- conclusies en aanbevelingen (H7).

1.2 Projectomschrijving

In de uiterwaarden van de Waal ten zuiden van Gendt wordt een herinrichting van het gebied voorzien, inclusief een zandwinning en de aanleg van een geul. Daarbij zal het zand ter plaatse van de toekomstige plas vermarkt worden. De locaties van de zandwinning en geul zijn globaal weergegeven in figuur 1-1.

Figuur 1-1: Globale projectlocatie Gendtse Waard (bron: GoogleMaps).

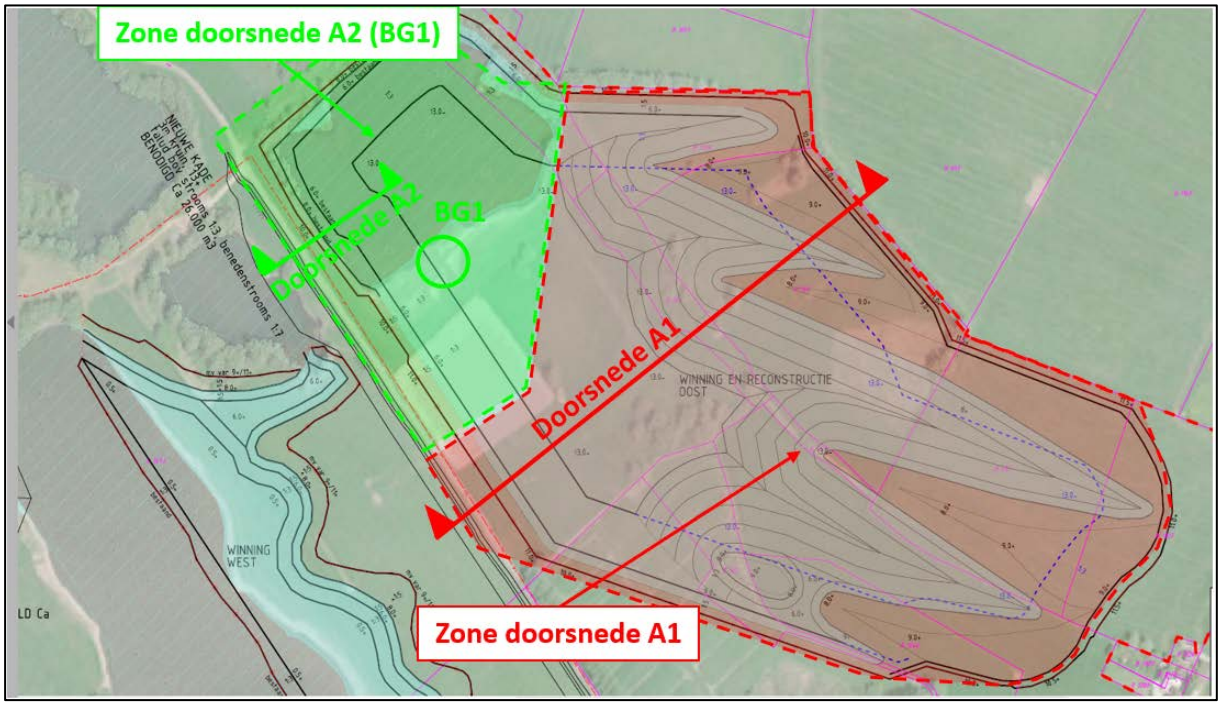
De afmetingen van de zandwinplas tijdens uitvoering (te zuigen talud) bedraagt circa 1000 m x 500 m (zie figuur 1-2). Het ontwerp van de zandwinplas is weergegeven in figuur 1-2. De maximale diepte van de zandwinplas bedraagt NAP -13,0 m, hetgeen overeenkomt circa MV -23 m.



Figuur 1-2: Situatie met globaal de gewenste put afmetingen en de beschouwde doorsneden (bron: K3Delta).

Er is onderscheid gemaakt tussen locatie A, waar de grotere zandwinput tot een diepte van NAP -13 m is voorzien en locaties B en C met kleinere zandwinningen. Locatie C betreft een (tijdelijke) invaart die in de eindfase wordt afgewerkt tot een geul.
De beschouwde doorsneden per locatie zijn in figuur 1-2 aangegeven. Locatie A is daarbij opgesplitst in doorsnede A1 en A2. Dit volgt uit het booronderzoek van Geotron (document [7]) en de analyse op bresvloeiing (zie hoofdstuk 5). Ter plaatse van boring BG1 is een fijne zandlaag aangetroffen onderin de voorziene zandwinning, waardoor hier vanwege het risico op bresvloeiing een flauwere taludhelling noodzakelijk is.

In figuur 1-3 is de zone aangegeven waarin deze slechtere boring en doorsnede A2 maatgevend is. Voor het overige deel is doorsnede A1 maatgevend.



Figuur 1-3: Zones waarbinnen doorsneden A1 (rood) en A2 (groen) maatgevend zijn (bron: K3Delta).

1.3 Scope
De toetsing van de oevertaluds is uitgevoerd conform CUR-aanbeveling 113 'Oeverstabiliteit bij zandwinputten'. Voor de analyse van de stabiliteit van het onderwatertalud dienen 3 faalmechanismen te worden beschouwd, te weten:
- taludafschuiving bij cirkelvormige glijvlakken;
- verwekingsvloeiing;
- bresvloeiing.

Voor de faalmechanismen is de beoordeling uitgevoerd conform de eenvoudige en gedetailleerde methoden van CUR-aanbeveling 113. De beoordeling voor oeverstabiliteit is uitgevoerd voor zowel de uitvoeringssituatie (zandwinning) als de gebruikssituatie (natuurgebied).

Ten behoeve van de bestaande belendingen wordt naast de beoordeling van de stabiliteit een risicoanalyse uitgevoerd conform CUR-aanbeveling 113 (eenvoudige methode).

Andere bezwijkmechanismen, zoals microstabiliteit en afkalving door golfaanval, en het beschouwen van de invloed van de zandwinput op de omgeving maken geen deel uit van de werkzaamheden. Desgewenst kan Fugro hier in een later stadium nader over adviseren.
De wijze van winning bepaalt in sterke mate de veiligheid tijdens de uitvoering (langs de oever). Dit dient vooraf te worden vastgelegd in een baggerplan. Dit plan maakt geen deel uit van de opdracht.

1.4 Beschikbare gegevens

1.4.1 Gehanteerde documenten en tekeningen

Voor het uitvoeren van de analyses zijn de volgende tekeningen en documenten door de opdrachtgever verstrekt:

[1] Tekeningnummer 1, blad D1.1, d.d. 20-03-2017, ”TEKENING_BASIS_VAN_MEETBV TEKNR:10990260 – ALTERNATIEVE_BOORLOCATIES_GENDT”, K3Delta.

[2] Tekening met over elkaar gelegd de globale omvang van de zandwinput, de sondeer- en boorlocaties van Fugro op ondergrond van een satelliet foto, *geen tekeningnummer, geen datum*.

1.4.2 Beschikbaar grondonderzoek

Het volgende grondonderzoek is door Fugro voor dit project is uitgevoerd:

[3] Projectnummer R-3876: 52 sonderingen, 7 mechanische boringen;

[4] Projectnummer 6009-0306-000: 9 sonderingen, 7 mechanische boringen;

[5] Projectnummer 6009-0428-000: 9 sonderingen, 9 mechanische boringen;

[6] Projectnummer 1017-0026-000: (dit project) 16 sonderingen.

Tevens zijn korrelverdelingen op monsters van de mechanische boringen uitgevoerd voor de verschillende projectnummers.

Voor het opstellen van voorliggende analyse en toetsing is gebruik gemaakt van bovengenoemd grondonderzoek. Ter volledigheid zijn de rapportages sonderingen en mechanische boringen, incl. de situatietekening, als bijlagen toegevoegd aan dit rapport.

Daarnaast zijn de volgende aanvullende boringen met zevingen uitgevoerd door derden:

[7] Projectnummer P16176, boorstaten en resultaten zevingen van boringen BG1 t/m BG15, januari/februari 2017, Geotron;

[8] Tekening “TEKENING_BASIS_VAN_MEETBV_TEKNR:10990260 – ALTENATIEVE_BOORLOCATIES_GENDT”, d.d. 20-03-2018, Tekening (blad 2) met over elkaar gelegd de globale omvang van de zandwinput en de boorlocaties van Geotron booronderzoek (incl. alternatieve locaties BG7 t/m BG10) op ondergrond van een satelliet foto, K3Delta.

Fugro staat niet in voor de juistheid en/of volledigheid van de door derden verstrekte informatie en gegevens.

1.5 Algemene uitgangspunten

Op basis van de bovengenoemde documenten en tekeningen en volgens verdere opgave van de opdrachtgever zijn de volgende algemene uitgangspunten gehanteerd voor de analyse van de taludstabiliteit van de zandwinput:

- Er zijn 3 doorsneden beschouwd, genaamd A, B en C, waarvan de locaties globaal zijn weergegeven in figuur 1-2, waarvan de grotere zandwinput is opgedeeld in twee

doorsneden A1 en A2, waarbij doorsnede A1 maatgevend is voor het merendeel van de put en doorsnede A2 maatgevend is voor de zone rondom boring BG1 waar onderin fijne zandlagen zijn aangetroffen (zie hoofdstuk 5: bresvloeiing).

- De uitgangspunten voor de beschouwde doorsneden zijn samengevat in onderstaande tabel 1-1 en grafisch weergegeven in figuren 1-3 t/m 1-6. De aangehouden taludhellingen voor de toets op stabiliteit zijn daarin aangegeven. Voor doorsnede A1 is basis van de toets op bresvloeiing (zie hoofdstuk 5) uitgegaan van een berm op een niveau van NAP -2 m (10 m onder de insteek) en met een breedte van 10 m. Voor doorsnede A2 is basis van de toets op bresvloeiing uitgegaan van diezelfde berm op NAP -2 m (10 m onder de insteek) en een tweede berm op NAP -9 m met een breedte van 10 m.
- Er zijn geen gegevens geleverd met betrekking tot de grondwaterstanden en waterpeilen. Een inschatting van de gemiddelde en lage waterstanden in de zandwinput is gemaakt op basis van de rivierpeilen van de Waal uit het rapport Betrekkingslijnen Rijn [BR, 2010] tussen km 872 en km 876. Het gemiddelde waterpeil van de Waal ter plaatse van de Gendtse Waard bedraagt circa NAP +8,5 m à NAP +8,0 m. De lage waterstand (1/jaar) in de Waal ligt rond de NAP +5,9 à +5,4 m. Uitgegaan is dat de waterstanden in de zandwinput vergelijkbaar zijn met de rivierwaterstanden.
- Na winning worden de taluds in de zandwinput bij doorsnede A plaatselijk geheel of gedeeltelijk verflauwd door middel van een aanvulling aan de oostelijke zijde. De aanvulling is slechts oriënterend beschouwd in de beoordeling op taludstabiliteit van de gebruikssituatie, waarbij aangenomen is dat het materiaal voornamelijk bestaat uit een los gepakte fijnere zandfractie (veelal restspecie). De beschouwing is globaal omdat er voorafgaand geen gegevens beschikbaar zijn over de hoeveelheden en uiteindelijke eigenschappen van het materiaal. Een volledige beoordeling op taludstabiliteit van het aanvulmateriaal kan alleen achteraf plaatsvinden op basis van aanvullend grondonderzoek in de aangevulde zones. Voor verdere opmerkingen en aanbevelingen met betrekking tot het aanvulmateriaal wordt verwezen naar §7.3.

De gehanteerde uitgangspunten dienen te worden geverifieerd door de opdrachtgever. Voor de nadere gegevens omtrent het ontwerp wordt verwezen naar de tekeningen van de opdrachtgever.

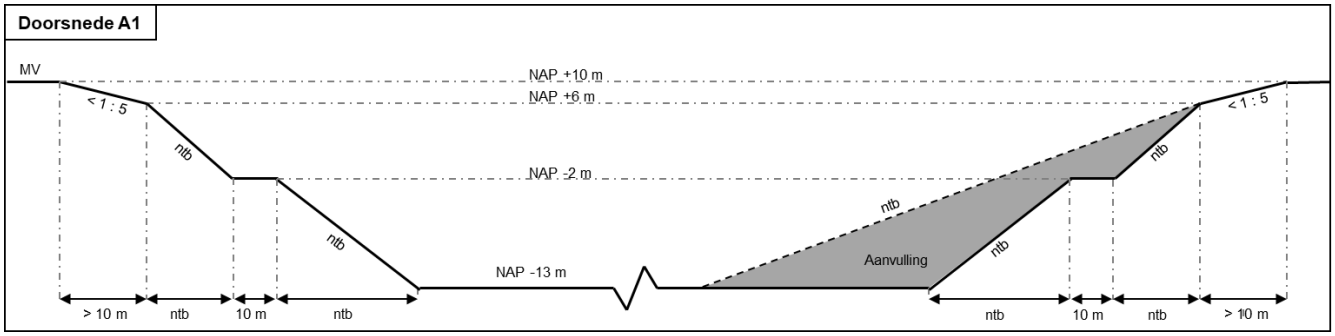
Tabel 1-1: Overzicht beschouwde doorsneden met aangehouden uitgangspunten

Dsn	Ontwerp	Toekomstig MV [m NAP]	Insteek zuiger [m NAP]	Maximale putdiepte [m NAP]	Taludhelling [v : h]	Berm		Gronddepots binnen afstand van 3x putdiepte [ja/nee]
						Niveau [m NAP]	Breedte [m]	
A1	één berm	+10,0	+6,0 *	-13,0 **	Boven berm: ntb Onder berm: ntb	-2,0	10	Nee
A2	twee bermen	+10,0	+6,0 *	-13,0 **	Boven eerste berm: ntb Tussen de bermen: ntb Onder tweede berm: ntb	-2,0	10	Nee
						-9,0	10	Nee
B	geen berm	+10,0	+8,0 *	+0,5	ntb	-	-	Nee
C	geen berm	+10,0	+8,0 *	+3,0	ntb	-	-	Nee

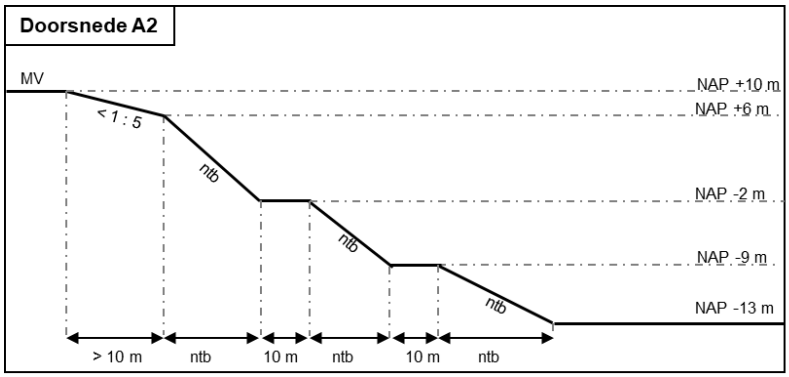
Opmerkingen:

** Conform opgave opdrachtgever ontgraven tot NAP +6,0 m en vanaf dat niveau wordt gewonnen middels zuiger. Voor doorsnede A en B is de taludhelling boven NAP +6,0 m is daarbij 1v :5h of flauwer.*

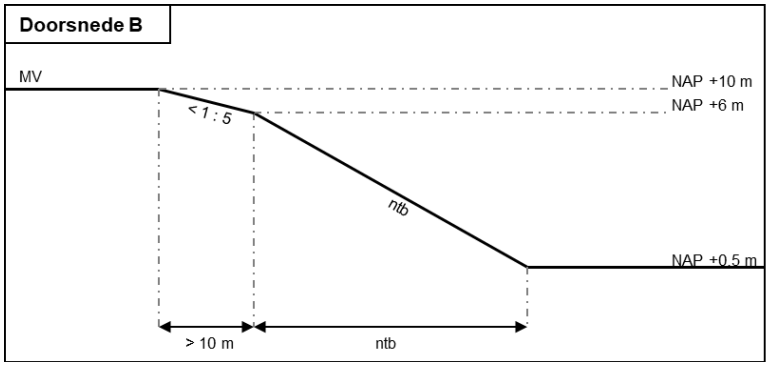
*** Afwijkend op tekeningen [1] en [2] is conform opgave opdrachtgever uitgegaan van een maximale putdiepte NAP -13 m.*



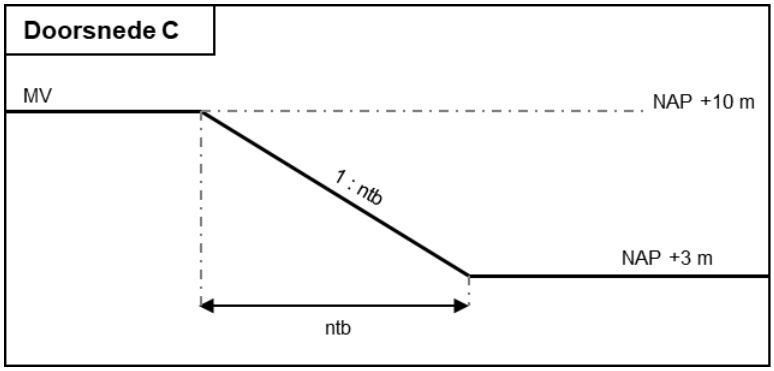
Figuur 1-3: Schematische weergave geometrie doorsnede A1 (NIET OP SCHAAL)



Figuur 1-4: Schematische weergave geometrie doorsnede A2 (NIET OP SCHAAL)



Figuur 1-5: Schematische weergave geometrie doorsnede B (NIET OP SCHAAL)



Figuur 1-6: Schematische weergave geometrie doorsnede C (NIET OP SCHAAL)

Bovenstaande uitgangspunten dienen door de opdrachtgever te worden geverifieerd.

2. TERREIN- EN BODEMGESTELDHEID

2.1 Bodemopbouw

Ter plaatse van de voorziene zandwinning en geul zijn de volgende sonderingen en boringen uitgevoerd:

- R-3876: sonderingen DKM1, DKM3, DKM10 t/m DKM12, DKM16 t/m DKM26, DKM28, DKM37 en DKM38 en boring B4;
- 6009-0428-000: sonderingen DKM101A, DKM102 t/m DKM107 en boringen B101A, B102 t/m B107.
- 6009-0316-000: sonderingen DKM207 t/m DKM209 en boring B207.
- 1017-0026-000: sonderingen DKMP301 t/m DKM315.

De maaiveldniveaus ter plaatse van de sondeerlocaties varieerden ten tijde van het onderzoek van NAP +11,37 m tot NAP +9,42 m.

Op basis van het grondonderzoek kan de bodemgesteldheid globaal worden geschematiseerd zoals in tabel 3-1 is weergegeven.

tabel 3-1: Globale bodemgesteldheid

Diepte bovenkant laag in m t.o.v. NAP			Bodembeschrijving
+11,4	à	+9,4	ZAND/KLEI, plaatselijk humeus, toplaag Ter plaatse van DKM1, DKM208 en DKM209 worden slappere (zandige) kleilagen aangetroffen tot grotere diepten van ca. NAP +2,0 m à NAP +1,0 m.
+10,0	à	+8,0	ZAND, grindig, los tot matig vast gepakt, plaatselijk doorsneden met enkele dunne stoorlaagjes en lokaal een grindlaag
+2,5	à	-1,5	ZAND/GRIND, matig vast tot zeer vast gepakt, plaatselijk doorsneden met dunne stoorlaagjes
-0,5	à	-4,0	ZAND, grindig, matig vast tot zeer vast gepakt, plaatselijk doorsneden door vaste leemlagen en zeer vast gepakte grindlagen.
ca. -30,0			Maximaal verkende diepte

2.2 (Grond-)waterstanden

Tijdens de uitvoering van het grondonderzoek is de grondwaterstand aangetroffen op circa NAP +8,0 m tot NAP +6,8 m. Deze grondwaterstand is een éénmalige opname en bedoeld als een oriënterend gegeven. De grondwaterstand kan in de tijd fluctueren onder invloed van de weersgesteldheid, de seizoenen en rivierwaterstanden.

3. TALUDAFSCHUIVING

Onder een taludafschuiving, ofwel verlies aan macrostabiliteit van een talud, wordt het statisch evenwichtsverlies van een grondmassa, veroorzaakt door een overschrijding van de maximaal mobiliseerbare weerstand tegen afschuiven, bedoeld.

Opgemerkt moet worden dat naast de schade die ontstaat ten gevolge van de afschuiving zelf, een afschuiving ook andere faalmechanismen kan inleiden.

3.1 Beoordeling taludafschuiving: eenvoudige methode CUR-113

Voor de 3 doorsneden A, B en C is de eenvoudige beoordeling uitgevoerd, waarvoor de onderstaande voorwaarden gelden.

Voldaan moet worden aan de volgende 3 voorwaarden:

1) géén gronddepot of andere bovenbelasting langs de oever;
2) géén slappe cohesieve lagen tussen of onder de te winnen zandlagen;
3) helling flauwer dan of gelijk aan 1v:3h.

Of:

4) Er dient voor de doorsnede een stabiliteitsberekening volgens de methode Bishop, met grondparameters geschat volgens NEN 9997-1, te worden uitgevoerd.

<u>Doorsnede A1 en A2:</u>

- Zijde zonder aanvulling: Uit de analyses op verwekingsvloeiing en bresvloeiing (hoofdstuk 4 en 5) volgt dat bij een berm op NAP -2 m van 10 m breedte boven de berm een taludhelling haalbaar is steiler dan 1v:3h. Om te beoordelen of steilere hellingen dan 1 : 3 boven de berm mogelijk zijn is een stabiliteitsberekening te worden uitgevoerd.
- Aanvulmateriaal: Voor de gebruikssituatie van doorsnede A na aanvulling met restspecie wordt op basis van de analyse verwekingsvloeiing (zie hoofdstuk 4) een zeer flauw talud van circa 1v:7h geadviseerd. Aangezien het uitgangspunt is dat het voornamelijk zandig materiaal betreft (los gepakt zand), wordt aan bovenstaande voorwaarden 1 t/m 3 voldaan en wordt verwacht dat het faalmechanisme taludafschuiving niet maatgevend zal worden.

<u>Doorsnede B:</u>

Indien uitgegaan wordt van taludhelling flauwer dan of gelijk aan 1v:3h wordt voldaan aan de bovenstaande eisen voor doorsnede B.

<u>Doorsnede C:</u>

Bij doorsnede C (DKM08) worden bovenin het bodemprofiel (zandige) kleilagen aangetroffen tot een diepte van circa NAP +10 m à +9,5 m waarna overwegend zand wordt aangetroffen. Ook hier geldt dat als de ontwerp taludhelling flauwer dan of gelijk is 1v:3h er aan de bovenstaande eisen wordt voldaan.

Voor doorsnede A1/A2 zijn derhalve stabiliteitsberekeningen uitgevoerd voor de beoordeling volgens de eenvoudige methode. De uitgangspunten en resultaten van deze berekeningen volgen in §3.2 en §3.3.

3.2 Uitgangspunten

Naast de in paragraaf 1.4 aangegeven algemene uitgangspunten zijn voor de berekening van de macrostabiliteit aanvullend de hieronder aangegeven uitgangspunten gehanteerd. De voor de stabiliteitsberekeningen gehanteerde geometrie, bodemopbouw, (grond-) waterstanden en bovenbelastingen zijn ook grafisch weergegeven in bijlage A1.

3.2.1 Geometrie

De macrostabiliteit is berekend voor doorsnede A1 (tevens maatgevend voor doorsnede A2)

3.2.2 Grondparameters

Voor doorsnede A1/A2 is de bodemopbouw ter plaatse van sondering DKM309, in combinatie met DKM103 vanaf een diepte van NAP -20 m, als maatgevend beschouwd. De representatieve waarden van de grondparameters en de bodemopbouw zijn gegeven in tabel 3-1. Deze waarden zijn afgeleid uit correlaties van de conusweerstand en uit de sonderingen met tabel 2.b van de NEN 9997-1.

Tabel 3-1: Representatieve waarden van de sterkteparameters voor doorsnede A1/A2

Diepte bovenkant laag [m t.o.v. NAP]	Grondsoort	γ_{dr} / γ_{sat} [kN/m^3]	φ' [°]	c' [kN/m^2]
+10,0	ZAND, los gepakt	17/19	30,0	0,0
+9,0	ZAND, matig vast gepakt	18/20	32,5	0,0
-8,0	LEEM, zandig	20/20	30,0	1,0
-13,0	ZAND, vast gepakt	19/21	35,0	0,0
-20,0	ZAND, los gepakt	17/19	30,0	0,0
-25,0	ZAND, vast gepakt	19/21	35,0	0,0

Opmerkingen:

γ_{dr} =droog volumiek gewicht in kN/m^3
γ_{sat} = nat volumiek gewicht in kN/m^3
φ' = effectieve hoek van inwendige wrijving in °
c' = effectieve cohesie in kN/m^2

De partiële factoren op basis van NEN9997-1 [NEN 9997-1, 2011] uitgaande van RC1, welke zijn verdisconteerd op de in tabel 3-1 gepresenteerde representatieve waarden van de sterkteparameters, bedragen:

- 1,0 op het volumiek gewicht
- 1,3 op de cohesie c′
- 1,2 op de tangens van de hoek van inwendige wrijving φ'

Conform de Eurocode is de aardbevingsbelasting beschouwd als een buitengewone belasting, vanwege de beperkte kans en tijdsduur waarin de maatgevende aardbevingsbelasting naar verwachting optreedt. In de situatie waarin de gebruikssituatie is berekend met de aardbevingsbelasting zijn de partiële factoren op de grondparameters gelijk gesteld aan 1,0.

3.2.3 (Grond-)waterstanden en stijghoogten

Voor de stabiliteit zijn twee maatgevende situaties beschouwd:

Lage waterstand:
Bij doorsnede A1/A2, waar goed doorlatende zandlagen tot bovenin het talud voorkomen is geen dikke kleilagen bovenin het talud zijn aangetroffen, is een open waterpeil en grondwaterstand van NAP +5,4 m gehanteerd.

Gemiddelde grondwaterstand:
Bij doorsnede A1/A2, waar goed doorlatende zandlagen tot bovenin het talud voorkomen is geen dikke kleilagen bovenin het talud zijn aangetroffen, is een open waterpeil en grondwaterstand van NAP +8,0 m gehanteerd.

3.2.4 Terrein- en verkeersbelastingen

Voor de terrein- en bovenbelastingen is uitgegaan van een (werk-)verkeersbelasting en een aardbevingsbelasting. Enkele van deze bovenbelastingen zijn niet van toepassing in de uitvoerings- of gebruikssituatie. Hieronder zijn de bovenbelastingen toegelicht. Een overzicht is gegeven in tabel 3-2.

Tabel 3-2: Overzicht aangehouden bovenbelastingen

Bovenbelasting	Aanwezig in:	
	Uitvoeringsfase (zandwinning)	Gebruikssituatie (natuurgebied)
Verkeersbelasting werkverkeer (13,3 kN/m2 over 2,5 m breedte)	Ja	Nee
Verkeersbelasting voetgangers/licht onderhoudsmateriaal (5 kN/m2 over 2 m breedte)	Nee	Ja
Aardbevingsbelasting	Nee	Ja

Verkeersbelastingen:
In de uitvoeringssituatie is rekening gehouden met een bovenbelasting van 13,3 kN/m^2 over een breedte 2,5 m voor zwaar (werk)verkeer. In de gebruikssituatie is rekening gehouden met een bovenbelasting van 5 kN/m^2 over een breedte van 2 m voor licht verkeer, gebaseerd op mogelijke aanwezigheid van voetgangers of licht materieel voor onderhoud (grasmaaier, e.d.).

Beide verkeersbelastingen zijn aangenomen als ongedraineerd met een aanpassingspercentage in de samendrukbare lagen van 20%.

Aardbevingsbelastingen:
In de gebruikssituatie is een aardbevingsbelasting in rekening gebracht. De intensiteit is bepaald op basis van figuur 2 uit Th. Crook (1996) 'A seismic zoning map conforming to Eurocode 8, and practical earthquake parameter relations for the Netherlands', Geologie en Mijnbouw 75: 11-18, 1996. Hieruit blijkt dat de projectlocatie in een gebied ligt waarvoor een horizontale piekversnelling van 0,5 m/s^2 geldt bij een overschrijdingskans van 10% in een periode van 50 jaar. Deze ontwerpversnelling komt overeen met de het betrouwbaarheidsniveau zoals beschreven in par. 2.1 van Eurocode 8, deel 1 [NEN 1998-1, 2005].

De invloed van deze versnelling zal, met behulp van de pseudo-statische methode conform par. 4.1.3.3 uit Eurocode 8, deel 5 [NEN 1998-1, 2005], in DGeoStability worden verdisconteerd. De horizontale traagheidskracht op het grondmassief kan berekend worden volgens:

$$F_h = 0{,}5 \cdot \alpha \cdot S \cdot W$$

Waarin:

- α: ratio tussen de ontwerp grondversnelling (a_g) en de gravitatieconstante (g);
- S: grondparameter volgens EN 1998-1:2004, par. 3.2.2.2;
- W: gewicht van de grondmassa.

In dit geval geldt dat $\alpha = 0{,}5\ m/s^2 / 9{,}8\ m/s^2 = 0{,}05$. De grondparameter is in dit geval, conform tabel 3.3 uit Eurocode 8, deel 1, gelijk aan S = 1,8. Hierbij is er vanuit gegaan dat de magnitude M_s kleiner is dan 5,5 (Type 2 spectrum) en de bodem in het talud uit voornamelijk slappere lagen en los tot matig vast zand (Grondtype D) bestaat. De horizontale versnellingscoëfficiënt is in dit geval gelijk aan $a_h = 0{,}5 \cdot \alpha \cdot S = 0{,}046$.

Voor de verticale versnelling is 50% van de horizontale versnelling aangehouden.

3.3 Berekeningsresultaten

Voor het bepalen van de macrostabiliteit van het talud zijn berekeningen uitgevoerd, met het computerprogramma DGeoStability versie 17.1.

Het resultaat van de berekening is de minimale evenwichts- of stabiliteitsfactor (SF). Deze factor volgt uit iteraties van berekeningen van de aandrijvende belasting op het glijvlak en de weerstandbiedende schuifsterkte langs een glijvlak. De stabiliteitsberekeningen zijn gemaakt voor uiterste grenstoestand (UGT) met de rekenwaarde van de sterkteparameters. De minimaal vereiste stabiliteitsfactor (SF_{min}) bedraagt in dat geval 1,0 in zowel de uitvoerings- de gebruikssituatie.

De berekende stabiliteitsfactoren van de glijcirkels zijn grafisch weergegeven in bijlage A2. De resultaten zijn samengevat in tabel 3-3.

tabel 3-3: Resultaten stabiliteitsberekeningen

Dsn	Talud	Fase	Situatie	Verkeer [kPa]	Aardbevings-belasting	SF	**Beoordeling**
A1/A2	- Boven 1 : 2	Uitvoering	Laag water	13,3	Nee	1,03	**Voldoende**
			Gemiddeld water	13,3	Nee	1,07	**Voldoende**
	- Berm van 10 m op NAP -2 m	Gebruik	Laag water	5,0	Nee	1,03	**Voldoende**
			Gemiddeld water	5,0	Nee	1,07	**Voldoende**
	- Onder 1 : 3		Aardbeving	5,0	Ja	1,02	**Voldoende**

3.4 Samenvatting toets op taludafschuiving

Doorsnede A1/A2
Doorsnede A1 en A2 wordt bij toepassing van de volgende taludhelling (of flauwer) voldaan aan de toets op taludafschuiving:

- NAP +6 m tot NAP -2 m: Talud 1v:2h
- NAP -2 m: Berm 10 m breed
- NAP -2 m tot NAP -16 m: Talud 1v:3h

Dit geldt voor zowel de uitvoerings- als de gebruikssituatie voor de zijde zonder aanvulling.

Voor de aanvulling zelf wordt in de gebruikssituatie globaal voldaan bij een taludhelling van 1v:7h of flauwer.

Doorsnede B:
Doorsnede B voldoet aan de toets op taludafschuiving bij een taludhelling van 1v:3h of flauwer.

Doorsnede C:
Doorsnede C voldoet aan de toets op taludafschuiving bij een taludhelling van 1v:3h of flauwer.

4. VERWEKINGSVLOEIING

De term verwekingsvloeiing kan worden omschreven als een verschijnsel waarbij een verzadigd pakket los gepakt zand plotseling verweekt: er ontstaat een soort drijfzand. Verweking impliceert een dramatische vermindering van het onderlinge contact tussen de zandkorrels en van de schuifsterkte van het zandlichaam. Als het zandpakket oorspronkelijk in een helling aanwezig is, dan zal de verweekte massa naar beneden vloeien en pas weer onder een zeer flauwe helling tot rust komen. De mate van verweking waarbij de zandkorrels in het geheel geen onderling contact meer hebben (volledige verweking), treedt niet zo vaak op. Maar gedeeltelijke verweking kan het vermogen van het zand om schuifspanning op te nemen al zodanig doen verminderen dat het talud instabiel wordt en er een grote massa zand naar beneden vloeit.

Als de verweking aan de teen van het talud begint, zal het zand eerst daar wegvloeien. Doordat de steun van de teen dan verloren gaat, is de kans groot dat ook hoger gelegen delen instabiel worden. Op deze wijze ontstaat een terugschrijdend proces, ervaringen uit de praktijk onderschrijven dit proces.

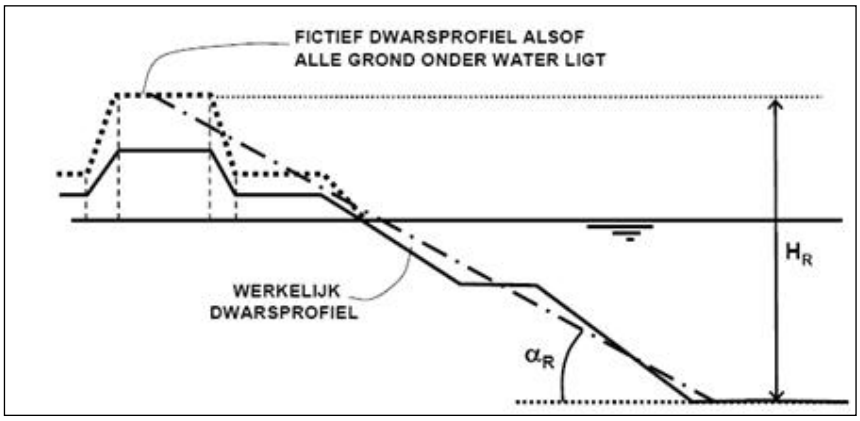
De beoordeling op verwekingsvloeiing volgens CUR 113 is opgebouwd uit de toepassing van de eenvoudige methode in §4.1 en verdere optimalisatie volgens de gedetailleerde methode in §4.2. Het beoordelingsresultaat is samengevat in §4.3.

4.1 Beoordeling verwekingsvloeiing: eenvoudige methode CUR-113

Deze eenvoudige beoordeling wordt uitgevoerd door het ontwerptalud te toetsen aan één van de volgende drie voorwaarden:

1. Alleen het verwekingsgevoeligheid-criterium wordt beschouwd. De kans op het optreden van een verwekingsvloeiing is verwaarloosbaar als voor alle sonderingen geldt dat er geen losgepakte lagen met een relatieve dichtheid lager dan 50% aanwezig zijn, die dikker zijn dan 1 m.
2. Alleen het geometrie-criterium wordt beschouwd. De kans op het optreden van verwekingsvloeiing is verwaarloosbaar als de rekentaludhelling α_R flauwer is dan $1 : 7(H_R/30\ m)^{1/3}$, waarbij H_R de rekenputdiepte is.
3. Er wordt een combinatie van het verwekingsgevoeligheid-criterium en het geometrie-criterium beschouwd. De maximaal toelaatbare dikte van de losgepakte lagen is vergroot tot 3 m en het geometriecriterium is verruimd tot de eis dat de rekentaludhelling α_R flauwer moet zijn dan $1 : 4(H_R/30\ m)^{1/3}$.

De definities van de rekenputdiepte H_R en de rekentaludhelling α_R zijn weergegeven in figuur 4-1. Aangezien bij verwekingsvloeiing de grond en het profiel onder de verwekingsgevoelige laag geen rol spelen, mogen H_R en α_R berekend worden voor een diepte van de putbodem gelijk aan de diepte van de onderkant van de verwekingsgevoelige laag.



figuur 4-1: Fictief onderwaterdwarsprofiel, definitie van rekenputdiepte en rekentaludhelling

4.1.1 Uitgangspunten

Naast de in paragraaf 1.5 aangegeven algemene uitgangspunten zijn voor de beoordeling van het faalmechanisme verwekingsvloeiing de hieronder aangegeven uitgangspunten gehanteerd:

- Gemiddelde grondwaterstand van NAP +8,0 m voor het bepalen van de relatieve dichtheid;
- Lage grondwaterstand van NAP +5,4 m voor bepaling van de rekenputdiepte H_R en rekentaludhelling α_R;
- Bepaling relatieve dichtheid met de correlatie volgens Lunne [Lunne, 1997], zie bijlage A3.

4.1.2 Relatieve dichtheid

De relatieve dichtheid R_n is een maat voor de pakkingsdichtheid van het zand. De resultaten van deze analyse zijn gepresenteerd in bijlage A3. In tabel 4-1 zijn de lagen weergegeven waarvan de relatieve dichtheid R_n kleiner is dan 50%.

Voor het aanvulmateriaal bij doorsnede A is voor de globale toets er vooralsnog vanuit gegaan dat het gehele pakket vanaf maaiveld tot bodemniveau kan verweken en niet voldoet aan bovengenoemde eisen met betrekking tot de relatieve dichtheid.

Tabel 4-1: Locatie zandpakketten met een relatieve dichtheid R_{n1} en R_{n3} kleiner dan 50%.

Sondering	Diepte (m t.o.v. NAP)	Gemiddelde relatieve dichtheid R_n (%)	Dikte laag (m)
DKM1	-	-	-
DKM3	+7,4 tot +4,7	35	2,7
	+2,8 tot +1,0	40	1,8
DKM10	+6,0 tot +4,0	40	2,0
	+3,5 tot +2,0	40	1,5
DKM11	-	-	-
DKM12	-	-	-
DKM16	-	-	-
DKM17	-4,0 tot -6,0	45	2,0
DKM18	+4,0 tot +2,0	45	2,0
DKM19	-	-	-

Sondering	Diepte (m t.o.v. NAP)	Gemiddelde relatieve dichtheid R_n (%)	Dikte laag (m)
DKM20	+8,0 tot +7,0	45	1,0
DKM21	+8,0 tot +5,0	30	3,0
DKM22	-	-	-
DKM23	-	-	-
DKM24	+3,0 tot +1,5	30	1,5
DKM25	-	-	-
DKM26	-	-	-
DKM28	-	-	-
DKM37	+7,5 tot +5,5	45	2,0
DKM38	-	-	-
DKM101A	-	-	-
DKM102	-	-	-
DKM103	+3,0 tot +0,5	45	2,5
	-15,0 tot -16,5	45	1,5
	-17,5 tot -24,0	35	6,5
DKM104	-	-	-
DKM105	-	-	-
DKM106	-	-	-
DKM107	+8,0 tot +7,0	45	1,0
	-22,0 tot -25,0	40	3,0
DKM207	-	-	-
DKM208	-	-	-
DKM209	+7,5 tot +6,0	30	1,5
DKMP301	+2,0 tot 0,0	45	2,0
	-14,0 tot -15,0	35	1,0
DKM302	+6,0 tot +5,0	40	1,0
DKM303	-	-	-
DKM304	-4,0 tot -5,0	45	1,0
DKMP305	-	-	-
DKMP306	-	-	-
DKM307	-	-	-
DKM308	-	-	-
DKM309	-	-	-
DKM310	+5,0 tot +3,0	40	2,0
DKM311	+4,5 tot +3,0	30	1,5
DKM312	-	-	-
DKM313	-	-	-
DKM313A	-	-	-
DKMP314	-	-	-
DKM315	-3,0 tot -5,0	45	2,0

4.1.3 Doorsnede A1 – Rekenputdiepte en rekentaludhelling

Voor doorsnede A1 zijn de waarden voor H_R en de maximale toelaatbare rekentaludhellingen bepaald op basis van de aangetroffen verwekingsgevoelige zandlagen (uit tabel 4-1). Daarbij geldt dat voor een putdiepte van NAP -13 m rekening dient te worden gehouden met verwekingsgevoelige zandlagen tot een diepte van NAP -29 m. In tabel 4-2 zijn voor de representatieve sonderingen de minimaal benodigde rekentaludhellingen bepaald.

Tabel 4-2: Rekenwaarde van de putdiepte en rekentaludhelling van de verwekingsgevoelige zandpakketten voor doorsnede A1

Sondering	Diepte laag (m t.o.v. NAP)	H_r (m)	Voorwaarde van toepassing (2 of 3)	α_r (v:h)
DKM17	-4,0 tot -6,0	20,6	3	1 : 3,5
DKM18	+4,0 tot +2,0	12,6	3	1 : 3
DKM20	+8,0 tot +7,0	7,6	3	1 : 2,5
DKM21	+8,0 tot +5,0	9,6	3	1 : 2,5
DKM24	+3,0 tot +1,5	13,1	3	1 : 3
DKM103	+3,0 tot +0,5	14,1	3	1 : 3
	-15,0 tot -16,5	30,6	3	1 : 4
	-17,5 tot -24,0	30,6	**2**	**1 : 7**
DKM107	+8,0 tot +7,0	7,6	3	1 : 2,5
	-22,0 tot -25,0	30,6	3	1 : 4
DKMP301	+2,0 tot 0,0	14,6	3	1 : 3
	-14,0 tot -15,0	29,6	3	1 : 4
DKM302	+6,0 tot +5,0	9,6	3	1 : 2,5
DKM304	-4,0 tot -5,0	19,6	3	1 : 3,5
DKM310	+5,0 tot +3,0	11,6	3	1 : 3
DKM311	+4,5 tot +3,0	11,6	3	1 : 3
DKM315	-3,0 tot -5,0	19,6	3	1 : 3,5

<u>Minimale gemiddelde taludhelling</u>

Op basis van de verwekingsgevoelige lagen tussen NAP -15 m en NAP -24 m bij sondering DKM103 zou een gemiddeld talud van 1v:7h of flauwer moeten worden aangehouden. Sondering DKM103 bevindt zich echter midden in de put en niet ter plaatse van de te zuigen taluds. Om deze verwekingsgevoelige laag verder uit te karteren zijn de aanvullende sonderingen DKMP301 t/m DKM315 uitgevoerd, welke reeds zijn opgenomen in bovenstaande analyse. De aanvullende sonderingen zijn uitgevoerd rondom DKM103 ter plaatse van de voorziene teen van het talud (uitgaande van een taludhelling van circa 1:4) met een sondeerafstand variërend van 50 tot 100 m.

In DKMP301 t/m DKM315 wordt nergens het dikkere verwekingsgevoelige zandpakket aangetroffen tussen circa NAP -15 m en NAP -24 m. Voor een deel van de put is de bodemopbouw bij DKM103 derhalve niet maatgevend voor de taludstabiliteit en het risico op verwekingsvloeiing. Echter, vanwege zeer harde zand- en grindlagen zijn de aanvullende sonderingen niet overal tot de benodigde diepte van circa NAP -24,5 m (1,5x de putdiepte) gekomen. Voornamelijk sonderingen DKMP306 t/m DKM313A zijn niet dieper uitgevoerd dan circa NAP -15 m tot NAP -20 m. Wel wordt geconstateerd dat in geen enkele van de sonderingen vanaf een niveau NAP -10 m à NAP -15 m de conusweerstand sterk terugloopt,

zoals in sondering DKM103, en dat er tot een diepte van circa NAP -20 m geen los gepakte zandlagen worden aangetroffen, maar juist zeer harde zandlagen. Het is daarmee onwaarschijnlijk dat tot een diepte van NAP -30 m een vergelijkbare verwekingsgevoelige zandlaag voorkomt, maar dit is niet geheel uit te sluiten vanaf een diepte NAP -20 m.

Derhalve dient op basis van de toets op verwekingsvloeiing volgens de eenvoudige methode van CUR 113 voor doorsnede A1 te worden uitgegaan van een taludhelling van gemiddeld 1v:7h of flauwer op basis van tabel 4-2. Deze waarde geldt voor de uitvoeringssituatie en de gebruikssituatie aan de zijde zonder aanvulmateriaal.

De mogelijkheid voor het toepassen van een steiler talud is voor doorsnede A1 nader onderzocht door middel van de gedetailleerde methode volgens CUR 113 in §4.2.

Voor de gebruikssituatie aan de zijde van de put met aanvulmateriaal is voorwaarde 2 van toepassing, omdat vooralsnog het gehele pakket als verwekingsgevoelig wordt beschouwd. Daaruit volgt een taludhelling voor het aanvulmateriaal van 1v:7h of flauwer.

4.1.4 Doorsnede A2 – Rekenputdiepte en rekentaludhelling

Voor doorsnede A2 zijn de waarden voor H_R en de maximale toelaatbare rekentaludhellingen bepaald op basis van de aangetroffen verwekingsgevoelige zandlagen (uit tabel 4-1). Daarbij geldt dat voor een putdiepte van NAP -13 m rekening dient te worden gehouden met verwekingsgevoelige zandlagen tot een diepte van NAP -24,5 m. In tabel 4-3 zijn voor de representatieve sonderingen de minimaal benodigde rekentaludhellingen bepaald.

Tabel 4-3: Rekenwaarde van de putdiepte en rekentaludhelling van de verwekingsgevoelige zandpakketten voor doorsnede A2

Sondering	Diepte laag (m t.o.v. NAP)	H_r (m)	Voorwaarde van toepassing (2 of 3)	α_r (v:h)
DKM17	-4,0 tot -6,0	20,6	3	1 : 3,5
DKM20	+8,0 tot +7,0	7,6	3	1 : 2,5
DKM37	+7,5 tot +5,5	9,1	3	1 : 2,5
DKM107	+8,0 tot +7,0	7,6	3	1 : 2,5
	-22,0 tot -25,0	**30,6**	**3**	**1 : 4**
DKMP301	+2,0 tot 0,0	14,6	3	1 : 3
	-14,0 tot -15,0	**29,6**	**3**	**1 : 4**
DKM315	-3,0 tot -5,0	19,6	3	1 : 3,5

Minimale gemiddelde taludhelling

Op basis van sonderingen DKM107 en DKMP301 dient een gemiddeld talud van 1v:4h of flauwer te worden aangehouden voor zowel de uitvoerings- als gebruikssituatie.

De mogelijkheid voor het toepassen van een steiler talud is voor doorsnede A2 nader onderzocht door middel van de gedetailleerde methode volgens CUR 113 in §4.2.

4.1.5 Doorsnede B – Rekenputdiepte en rekentaludhelling

Voor doorsnede B zijn de waarden voor H_R en de maximale toelaatbare rekentaludhellingen bepaald op basis van de aangetroffen verwekingsgevoelige zandlagen (uit tabel 4-1). Daarbij geldt dat voor een ontgrondingsdiepte van NAP +0,5 m dat rekening dient te worden gehouden

met verwekingsgevoelige zandlagen tot een diepte van circa NAP -4,0 m. In tabel 4-4 zijn voor de representatieve sonderingen de minimaal benodigde rekentaludhellingen bepaald.

Tabel 4-4: Rekenwaarde van de putdiepte en rekentaludhelling van de verwekingsgevoelige zandpakketten voor doorsnede B

Sondering	Diepte laag (m t.o.v. NAP)	H_r (m)	Voorwaarde van toepassing (2 of 3)	α_r (v:h)
DKM10	+6,0 tot +4,0	10,6	3	1 : 3
	+3,5 tot +2,0	12,6	3	1 : 3
DKM18	+4,0 tot +2,0	12,6	3	1 : 3

Minimale gemiddelde taludhelling
Op basis van de beide sonderingen dient een gemiddeld talud van 1v:3h of flauwer te worden aangehouden voor zowel de uitvoerings- als gebruikssituatie.

4.1.6 Doorsnede C – Rekenputdiepte en rekentaludhelling

Voor doorsnede C zijn de waarden voor H_R en de maximale toelaatbare rekentaludhellingen bepaald op basis van de aangetroffen verwekingsgevoelige zandlagen (uit tabel 4-1). Bij een geuldiepte van NAP +3 m geldt dat rekening dient te worden gehouden met verwekings-gevoelige zandlagen tot een diepte van circa NAP +0,5 m. Voor deze geul zijn sonderingen DKM8 en DKM9 maatgevend. De sonderingen geven aan dat voornamelijk gepakt zand aangetroffen. Alleen bij DKM8 wordt een mogelijke verwekingsgevoelige zandlaag dikker dan 1 m aangetroffen (zie tabel 4-5).

Tabel 4-5: Rekenwaarde van de putdiepte en rekentaludhelling van de verwekingsgevoelige zandpakketten voor doorsnede C

Sondering	Diepte laag (m t.o.v. NAP)	H_r (m)	Voorwaarde van toepassing (2 of 3)	α_r (v:h)
DKM8	+5 tot +3	7	3	1 : 2,5

Minimale gemiddelde taludhelling
Op basis van de beide sonderingen dient een gemiddeld talud van 1v:2,5h of flauwer te worden aangehouden voor zowel de uitvoerings- als gebruikssituatie.

4.1.7 Samenvatting eenvoudige beoordeling

Samengevat dient op basis van de toets op verwekingsvloeiing volgens de eenvoudige methode van CUR 113 te worden uitgegaan van de volgende gemiddelde taludhellingen voor zowel de uitvoeringssituatie als de gebruikssituatie:

- Doorsnede A1: 1v:7h of flauwer;
- Doorsnede A2: 1v:4h of flauwer;
- Doorsnede B: 1v:3h of flauwer;
- Doorsnede C: 1v:2,5h of flauwer.

Voor het aanvulmateriaal bij doorsnede A1 is in de gebruikssituatie een minimale gemiddelde taludhelling van 1v:7h of flauwer van toepassing, omdat het gehele pakket als verwekingsgevoelig moet worden beschouwd.

Voor doorsnede A1 wordt een flauwe taludhelling van 1v:7h gevonden, welke naar verwachting zeer conservatief is, omdat dit gebaseerd is op één sondering (DKM103) midden

in de zandwinput. Het aanvullend grondonderzoek (DKMP301 t/m DKM315) heeft aangetoond dat de maatgevende verwekingsgevoelige laag tussen NAP -15 m en NAP -24 m uit DKM103 niet voorkomt ter plaatse van de voorziene taluds, met uitzondering van sonderingen DKM306 t/m DKM313A waar de sonderingen tot een diepte van maximaal NAP -20 m konden worden uitgevoerd. Derhalve dient op basis van de toets op verwekingsvloeiing volgens de eenvoudige methode van CUR 113 voor doorsnede A1 te worden uitgegaan van een taludhelling van gemiddeld 1v:7h of flauwer.

De mogelijkheid voor het toepassen van een steiler talud is voor doorsnede A1 nader onderzocht door middel van de gedetailleerde methode volgens CUR 113 in §4.2. Voor nadere optimalisatie van de taludhelling is in deze gedetailleerde analyse ook doorsnede A2 meegenomen.

4.2 Beoordeling verwekingsvloeiing: gedetailleerde methode CUR-113

Voor doorsnede A1 en A2 is op basis van de resultaten uit de beoordeling op verwekingsvloeiing volgens de eenvoudige methode een verdiepingsslag gemaakt, door middel van de beoordeling volgens CUR-113 op gedetailleerd niveau.

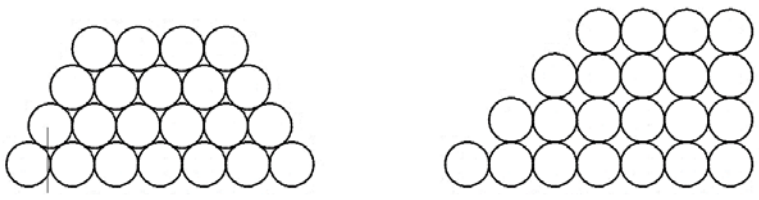
De nadere detaillering is als volgt opgebouwd:
- Stap 1: Analyse State Parameter voor sonderingen met verwekingsgevoelige lagen;
- Stap 2: Stabiliteitsanalyse bij verweking dieper gelegen zandlagen.

Deze stappen zijn in §4.2.1 t/m §4.2.2 behandeld.

4.2.1 Stap 1: Analyse state parameter Ψ

De analyse op basis van de state parameter is gebaseerd op het ‘Critical State Concept’. Daarbij wordt de spanningstoestand van grond (in dit geval zand) gerelateerd aan het effectieve volume of het poriëngetal. Een verandering in die spanning leidt tot een verandering in het volume tot dat de ‘Critical State’ wordt bereikt.

Vereenvoudigd wordt gesteld dat los gepakt zand bij toenemende (schuif)spanning in volume afneemt of samendrukt, waardoor het poriënvolume afneemt en wateroverspanning optreedt en mogelijk verweking. Dit wordt ook wel contractant gedrag genoemd. Vast gepakt zand zal bij het aanbrengen van schuifspanningen juist eerst in volume toenemen (dilatant gedrag), waardoor geen wateroverspanningen optreden en derhalve geen verweking. Dit is weergegeven in het principe van figuur 4-2.



Figuur 4-2: Principe dilatantie: het over elkaar afschuiven van vast gepakte korrels (links) moet eerst leiden tot een groter volume (rechts)

Om te bepalen of de grond zich contractant of dilatant gedraagt kan de State Parameter Ψ worden bepaald.

Bepaling State Parameter Ψ

Voor alle sonderingen waar verwekingsgevoelige lagen zijn aangetroffen bij doorsnede A1 en A2 is Ψ bepaald over de gehele sondeerdiepte, volgens de methode van de Schematiseringshandleiding Zettingsvloeiing van Rijkswaterstaat in het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium [SH, 2016]. De resultaten hiervan zijn per sondering opgenomen in bijlage A4.

Bij een positieve waarde van Ψ is het zand contractant en derhalve verwekingsgevoelig en bij een negatieve waarde is het gedrag dilatant en niet verwekingsgevoelig.

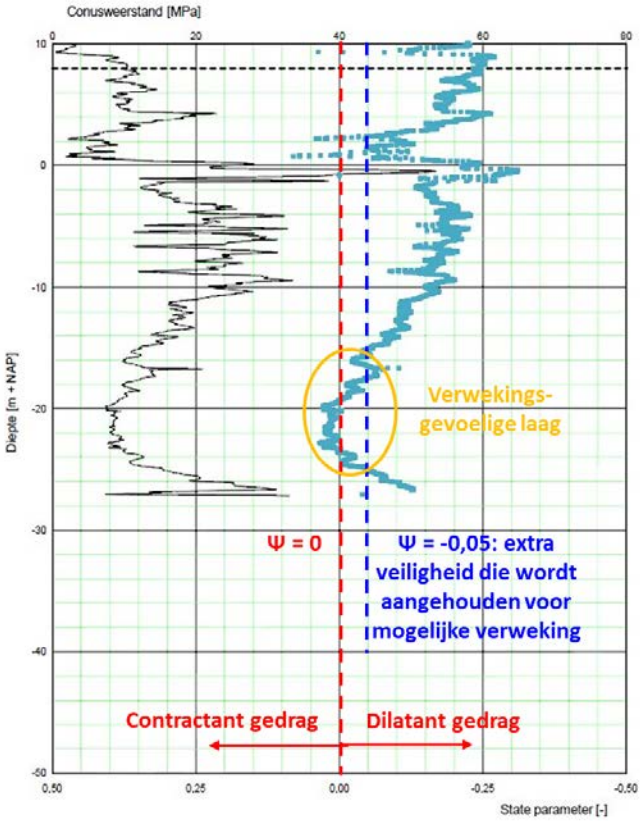
Voor de beoordeling op verwekingsvloeiing worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Voor zand met een Ψ > -0,05 dient rekening te worden gehouden met een risico op verweking, conform de werkwijze in de Hydraulic Fill Manual [HFM, 2012].
- Verwekingsvloeiing treedt op bij zandlagen met voldoende dikte, veelal 3 tot 5 m. Voor de eenvoudige beoordeling (§4.1) wordt conservatief een laagdikte van 1 m aangehouden, rekening houdend met mogelijke variatie in de ondergrond. Dit is gebaseerd op een beperkte omvang van het grondonderzoek van één sondering per 300-500 m oever. Voor dit project is aanvullend grondonderzoek in de teen van het voorziene talud uitgevoerd met sondeerafstanden van de 50 à 100 m. Voor deze gedetailleerde beschouwing wordt een zandlaag als verwekingsgevoelig beschouwd bij een laagdikte > 3 m met een waarde Ψ > -0,05.

Ter voorbeeld is voor sondering DKM103 hieronder het resultaat weergegeven in figuur 4-3.

Voor alle beschouwde sonderingen wordt voldaan aan bovenstaande voorwaarden en worden zelfs alleen enkele zandlagen van minder dan 1 m dikte aangetroffen met een waarde Ψ > -0,05, met uitzondering van DKM103 en DKM107.

Bij sondering DKM103 (zie figuur 4-3) wordt voor de laag tussen NAP -15 m en NAP -25 m niet voldaan. Dit is derhalve een verwekingsgevoelige laag. Bij DKM107 wordt op vergelijkbare diepte (tussen NAP -22 m en NAP -25 m) een 3 m dikke zandlaag met Ψ > -0,05 aangetroffen. Zoals aangegeven in §4.1.3 is het op basis van het uitgevoerde aanvullende sondeeronderzoek (sonderingen DKMP301 t/m DKM315) onwaarschijnlijk dat deze laag ter plaatse van de te zuigen taluds voorkomt, maar niet geheel uit te sluiten omdat een aantal aanvullende sonderingen niet dieper zijn gekomen dan NAP -15 m à NAP -20 m.
Voor stap 2 (§4.2.2) is derhalve een aanvullende stabiliteitsanalyse uitgevoerd van het talud, waarbij de mogelijke verweking van dit dieper gelegen pakket is meegenomen.



Figuur 4-3: Voorbeeld bepaling State Parameter voor DKM103 (zie ook bijlage A4)

4.2.2 Stap 2: Stabiliteitsanalyse bij verweking dieper gelegen zandlagen

Als laatste is een gedetailleerde stabiliteitsanalyse van het talud uitgevoerd om het optreden van verweking in een zandlaag dieper dan NAP -20 m met voldoende veiligheid te kunnen uitsluiten. Hiervoor is de werkwijze van de “Triggering Analysis” van Olsen en Stark [Olsen, 2003] gehanteerd.

Samengevat wordt op basis van de een stabiliteitsanalyse van het talud, op vergelijkbare wijze als in hoofdstuk 3 de macrostabiliteit van het talud berekend (methode Bishop) tijdens een aardbevingssituatie, waarbij de sterkte van de verwekingsgevoelige zandlaag wordt gereduceerd tot een SF = 1,0 wordt berekend. Uit deze berekening volgt de minimaal benodigde schuifsterkte in de zandlaag om voldoende stabiliteit te behalen. Deze schuifsterkte is in dat geval gelijk aan de aandrijvende schuifspanning ($\tau_{driving}+\tau_{seismic}+\tau_{other}$) door gewicht, aardbeving en overige effecten. De τ welke volgt uit de analyse wordt conform het stappenplan van Olsen en Stark [Olsen, 2003] getoetst aan de schuifsterkte ($s_{u;yield}$) volgens:

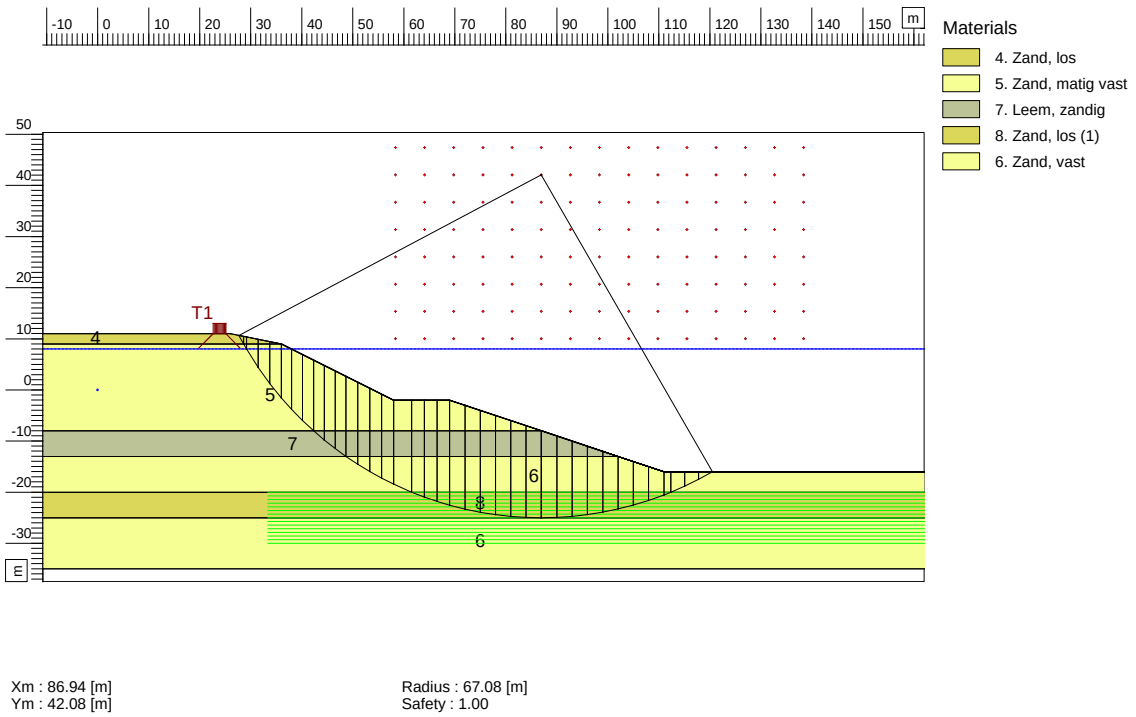
$$\frac{s_u(\text{yield})}{\sigma'_{v0}} = 0.205 + 0.0143(q_{c1}) \pm 0.04 \quad \text{for } q_{c1} \leq 6.5 \text{ MPa} \tag{4.1}$$

Voor de berekening zijn dezelfde uitgangspunten gehanteerd als bij de berekeningen in hoofdstuk 3, met daarop de volgende toevoegingen:

- Voor de berekening is voor één doorsnede A1 uitgevoerd, welke tevens maatgevend is voor doorsnede A2, welke een flauwer talud heeft vanwege de extra berm op NAP -9 m.

- De berekening is uitgevoerd op basis van de bodemopbouw bij DKM309, met vanaf de maximaal verkende diepte bij DKM309 op NAP -20 m, de aanname dat vanaf deze diepte de bodemopbouw van DKM103 optreedt. Derhalve is een los gepakte, verweekte zandlaag aangehouden van NAP -20 m tot NAP -25 m. De bodemopbouw en grondparameters komen derhalve overeen met tabel 3-1.
- Uitgegaan is van een aardbevingssituatie als initiërende factor. In die situatie zijn de partiële factoren op de grondparameters gelijk gesteld aan 1,0. De kans dat verweking optreedt in lagen ruim onder de voorziene putbodem door een andere spanningssituatie of trillingsbron dan aardbeving is zeer klein. De grond wordt hier bijvoorbeeld niet aangeroerd door het winnen van zand. Op basis van een indicatieve berekening blijkt dat een situatie zonder aardbeving, maar met partiele veiligheidfactoren niet maatgevend wordt.
- Er is een hoge verkeersbelasting (13,3 kPa) aangehouden gelijk aan de uitvoeringssituatie. De berekening is derhalve maatgevend voor zowel de uitvoerings- als gebruikssituatie.

Het berekeningsresultaat van de DGeoStability analyse is in figuur 4-4 weergegeven.



Figuur 4-4: Stabiliteitsberekening doorsnede A1/A2 bij het optreden van een aardbeving en verweking in de zandlaag tussen NAP -20 m en NAP -25 m

Uit de berekening volgt dat bij een talud van 1v:2h boven de berm van 10 m breedte op NAP -2 m, en een talud 1v:3h onder de berm een SF = 1,0 behaald bij een φ'= 9° in de verwekingsgevoelige zandlaag. De gemiddelde verticale korrelspanning ($\sigma'_{v;0}$) over het gehele glijvlak bedraagt 136 kPa. Hieruit volgt een τ van 20,3 tot 23,0 kPa voor het deel van het glijvlak in de verwekingsgevoelige zandlaag. Dit betreft de totale schuifspanning door aandrijvend gewicht, aardbeving en overige aandrijvende krachten zoals bovenbelasting ($\tau_{driving}+\tau_{seismic}+\tau_{other}$).

Uitgaande van de ondergrens van formule 4.1 en een gecorrigeerde conusweerstand q_{c1} van circa 1,65 MPa volgt een $s_{u;yield}/\sigma'_{v;0}$ van 0,189. De $s_{u;yield}$ bedraagt in dat geval 25,7 kPa. De veiligheid tegen het optreden van verwekingsvloeiing wordt bepaald door onderstaande formule [Olsen, 2003]:

$$FS_{Triggering} \approx \frac{s_u(\text{yield})}{\tau_{driving} + \tau_{ave,seismic} + \tau_{other}} \qquad (4.2)$$

Hieruit volgt een $FS_{Triggering}$ van 1,12 tot 1,26 in de verwekingsgevoelige zandlaag tussen NAP -20 m en NAP -25 m. Het optreden van verwekingsvloeiing is derhalve met voldoende veiligheid uitgesloten.

Op basis van deze gedetailleerde methode van CUR 113 volgt dat voor doorsnede A1 en A2 een talud van 1v:2h boven de berm van 10 m breedte op NAP -2 m, en een talud 1v:3h onder de berm tot NAP -16 m, of flauwer, voldoet aan de beoordeling op verwekingsvloeiing.

4.3 Samenvatting beoordeling verwekingsvloeiing

In tabel 4-6 zijn de minimale taludhellingen en bermafmetingen voor de vier beschouwde doorsneden weergegeven waarbij wordt voldaan aan de toets op verwekingsvloeiing volgens CUR 113. Daarbij is voor doorsnede A1 en A2 de gedetailleerde methode gehanteerd (§4.2) en voor doorsnede B en C de eenvoudige methode (§4.1).

tabel 4-6: minimale taludhellingen en bermafmetingen op basis van toets op verwekingsvloeiing

Dsn	Situatie	Ontwerp	Taludhelling	Berm	
			[v : h]	Niveau [m NAP]	Breedte [m]
A1	Uitvoering	één berm	Boven berm: 1 : 2 Onder berm: 1 : 3	-2,0	10
	Gebruik (zonder aanvulling)	één berm	Boven berm: 1 : 2 Onder berm: 1 : 3	-2,0	10
	Gebruik (aanvulling)	geen berm	1 : 7	-	-
A2	Uitvoering	twee bermen	Boven eerste berm: 1 : 2 Tussen de bermen: 1 : 3 Onder tweede berm: 1 : 3	-2,0	10
				-9,0	10
	Gebruik	twee bermen	Boven eerste berm: 1 : 2 Tussen de bermen: 1 : 3 Onder tweede berm: 1 : 3	-2,0	10
				-9,0	10
B	Uitvoering	geen berm	1 : 3	-	-
	Gebruik	geen berm	1 : 3	-	-
C	Uitvoering	geen berm	1 : 2,5	-	-
	Gebruik	geen berm	1 : 2,5	-	-

5. BRESVLOEIING

Bresvloeiing is een autonoom terugschrijdend erosieproces door een zand-water suspensiestroom op een onderwaterhelling dat uiteindelijk tot een oeverinscharing kan leiden. Het bresvloeiingsproces is een vorm van oppervlakte-erosie, waardoor het talud wordt uitgesleten en niet als geheel bezwijkt zoals het geval is bij een afschuiving of verwekingsvloeiing. Voorwaarde voor de uitvoering is dat er sprake is van een beheerst bresproces, zodat een ongecontroleerde erosieproces wordt voorkomen.

De beoordeling is uitgevoerd voor de uitvoeringssituatie op eenvoudig en gedetailleerd niveau conform CUR-aanbeveling 113. Voor de gebruikssituatie is het faalmechanisme bresvloeiing niet nader beschouwd. Voor deze situatie kan onder normale omstandigheden een zand-water suspensiestroom langs de onderwater helling met voldoende zekerheid worden uitgesloten, mits voldoende veiligheid met betrekking tot de faalmechanismen afschuiving en verwekingsvloeiing aanwezig is.

5.1 Beheerst bressen

De omstandigheden waaronder beheerst bressen met een stationaire taludontwikkeling mogelijk is, zijn met de huidige kennis goed bekend. Afhankelijk van de bodemsamenstelling is het vervolgens mogelijk om op een eenvoudige, dan wel meer gedetailleerde of geavanceerde methode deze taludontwikkeling te voorspellen.

Er wordt in de analyse van bresvloeiing uitgegaan van een beheerst bresproces. Voor een beheerst bresproces dient te worden voldaan aan de volgende voorwaarden:
- er treedt geen afschuiving op (zie hoofdstuk 3);
- er zijn geen lagen die kunnen verweken (zie hoofdstuk 4);
- de grond bestaat uit silt, zand of grind, ofwel uit niet-cohesief, bressend materiaal;
- er bestaat een horizontale laagopbouw van de grond;
- de dikte van stoorlagen bedraagt ten hoogste 0,5 m.

Er wordt niet aan de voorwaarde voldaan dat stoorlagen ten hoogste 0,5 m mogen bedragen (zie paragraaf 5.2.1). Dergelijke lagen dienen met geschikt materiaal verwijderd te worden, voordat met het bressen wordt aangevangen.

Ten aanzien van de uitvoering en het materieel dient aan de volgende voorwaarden te worden voldaan, in ieder geval wanneer gezogen wordt langs de oevers:
- er wordt gebruik gemaakt van natte ontgraving met het natuurlijk toestromen van zand naar de zuigmond;
- er wordt een constante zuigdiepte en verhaalsnelheid gehandhaafd;
- stoorlagen met een dikte groter dan 0,5 m worden verwijderd met daartoe geschikt materieel;
- er wordt van te voren een werkplan voor de uitvoering vastgesteld;
- het zand wordt gezogen in lagen evenwijdig aan de oever of banen vanuit het midden van de plas naar de oeverlijn toe, onder monitoring van taludsteilten.

Daarnaast wordt aanbevolen tijdens de uitvoering rekening te houden met de volgende aspecten:
- aanbevolen wordt om bij de keuze van het type en capaciteit van de zuiger (de maximale zuigproductie) deze zo goed mogelijk af te stemmen op de gewenste taludproductie;

- om informatie over taludvorming te verkrijgen wordt geadviseerd om vanuit het midden van de zandwinlocatie naar de oevers te werken;
- door in evenwijdige stroken steeds dichter langs de oever te werken, op steeds dezelfde zuigdiepte, kan worden nagegaan of de vastgestelde ontwerptaludlijnen ook daadwerkelijk worden gerealiseerd;
- nadat een laag is gezogen en de te handhaven taludlijn is bereikt mag het gevormde talud niet meer verstoord worden met het baggerwerktuig, ook al ligt het zand plaatselijk nog boven het toegestane profiel. Dit zogenoemde afwerken van het talud wordt afgeraden, omdat hiermee een onbeheerst bresproces in gang gezet kan worden.

Om te kunnen vaststellen dat er inderdaad sprake is van een stationair beheerst bresproces, zijn de volgende maatregelen met betrekking tot de controle van de uitvoering benodigd:
- het zuigproces wordt continu gemonitord (positie zuigmond en productie);
- de gezogen taluds worden regelmatig gepeild.

Zoals eerder opgemerkt wordt er in de beschouwing van bresvloeiing uitgegaan van een beheerst bresproces. De opdrachtgever dient er derhalve zorg voor te dragen dat aan bovengenoemde eisen wordt voldaan.

5.2 Beoordeling bresvloeiing: eenvoudige methode CUR-113

Voor een eenvoudige beoordeling op het mechanisme bresvloeiing conform CUR 113 dient voldaan te worden aan (alle) vijf voorwaarden:

1) dikke stoorlagen (>1 m), indien aanwezig, worden met geschikt materieel verwijderd;
2) zand is grof genoeg: gemiddeld over 5 m of minder d_{50} > 200 µm en d_{15} > 100 µm;
3) er wordt van te voren een werkplan voor de uitvoering vastgesteld;
4) zuigproces wordt beheerst door monitoring van de positie van de zuigbuis en productie;
5) gezogen taluds worden regelmatig (zo frequent dat de taludvorm voortdurend bekend is, met een nauwkeurigheid van ongeveer 2 m verticaal) gepeild.

5.2.1 Voorwaarde 1

In het projectgebied worden meerdere stoorlagen van voornamelijk leem of klei aangetroffen. De ondergrond is zeer grillig. Bij enkele sonderingen en boringen worden (meerdere) dikke leemlagen aangetroffen, terwijl naastgelegen sonderingen/boringen geen stoorlagen > 0,5 m vertonen. Daarbij wordt wel opgemerkt dat een groot deel van de sonderingen DKM1 t/m DKM38 van projectnummer R-3876 van beperkte diepte zijn en de stoorlagen hier mogelijk wel zitten maar niet zijn aangetroffen.

<u>Doorsnede A1/A2</u>

In tabel 5-1 staan voor de zandwinput bij doorsnede A de aangetroffen stoorlagen >1 m samengevat. De kleiige toplagen zijn daarbij niet beschouwd.

De aangetroffen locaties zijn verspreid over de zandwinput en lijken niet één aaneengesloten zone/laag te betreffen. Rekening dient derhalve te worden gehouden met sterk wisselende dikten en verloop van stoorlagen.

Tabel 5-1: Locaties en diepten stoorlagen >0,5 m dikte binnen de zandwinput bij doorsnede A

Sondering/Boring	Bovenkant laag (m t.o.v. NAP)	Onderkant laag (m t.o.v. NAP)	Dikte laag (m)
DKM104/B104	-5,0	-7,5	2,5
DKM104/B104	-11,0	-13,0	2,0
DKM104/B104	-14,5	-17,0	2,5
DKM106/B106	-10,0 *	-14,5 *	4,5 *
DKM107/B107	-1,5	-2,5	1,0
DKM107/B107	-10,5	-11,8	1,3
DKM207/B207	-9,0 *	-18,5 *	9,5 *
DKM28	-8,0	>-9,0 **	>1,0
BG4	-8,5	>-10,3 **	>1,8
BG8	-3,2	>-4,5 **	>1,3
DKMP306	-4,7	-9,2	4,5
DKM309	-8,0	-13,5	5,5
DKM314	-3,0 *	-13,0 *	10,0 *
DKM315	-12,0 *	-22,0 *	10,0 *

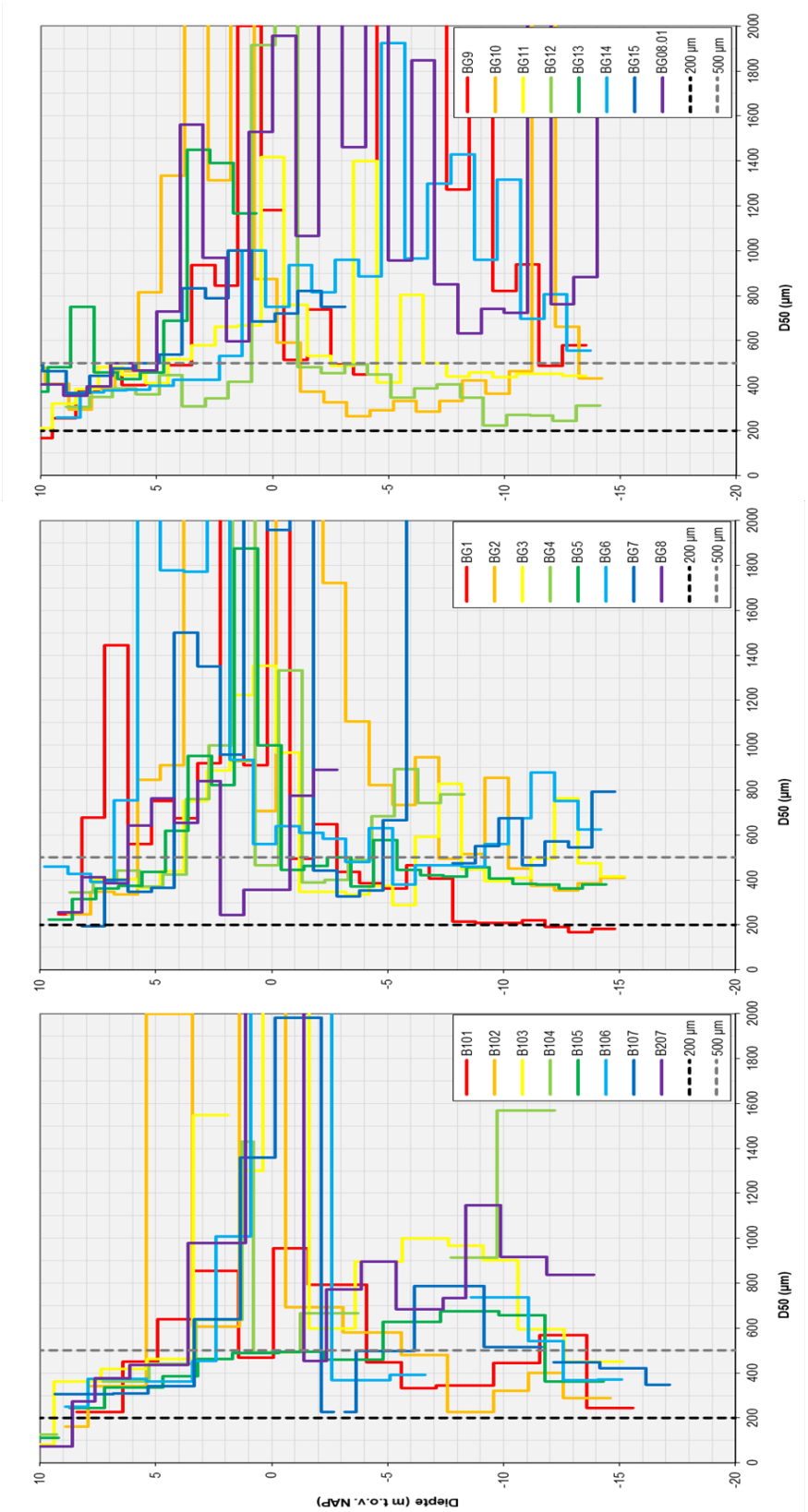
** Leemlagen doorsneden met zandlagen.*
*** Sondering/Boring eindigt op deze diepte. Dikte van de laag daardoor onbekend.*

Doorsnede B
Ter plaatse van de zone rondom doorsnede B worden tot de maximale ontgrondingsdiepte van NAP +0,5 m geen dikke stoorlagen aangetroffen. Alleen bij DKM11 worden tussen NAP +8 m en NAP +5,5 m enkele leemlaagjes aangetroffen, welke met geschikt materieel moeten worden verwijderd.

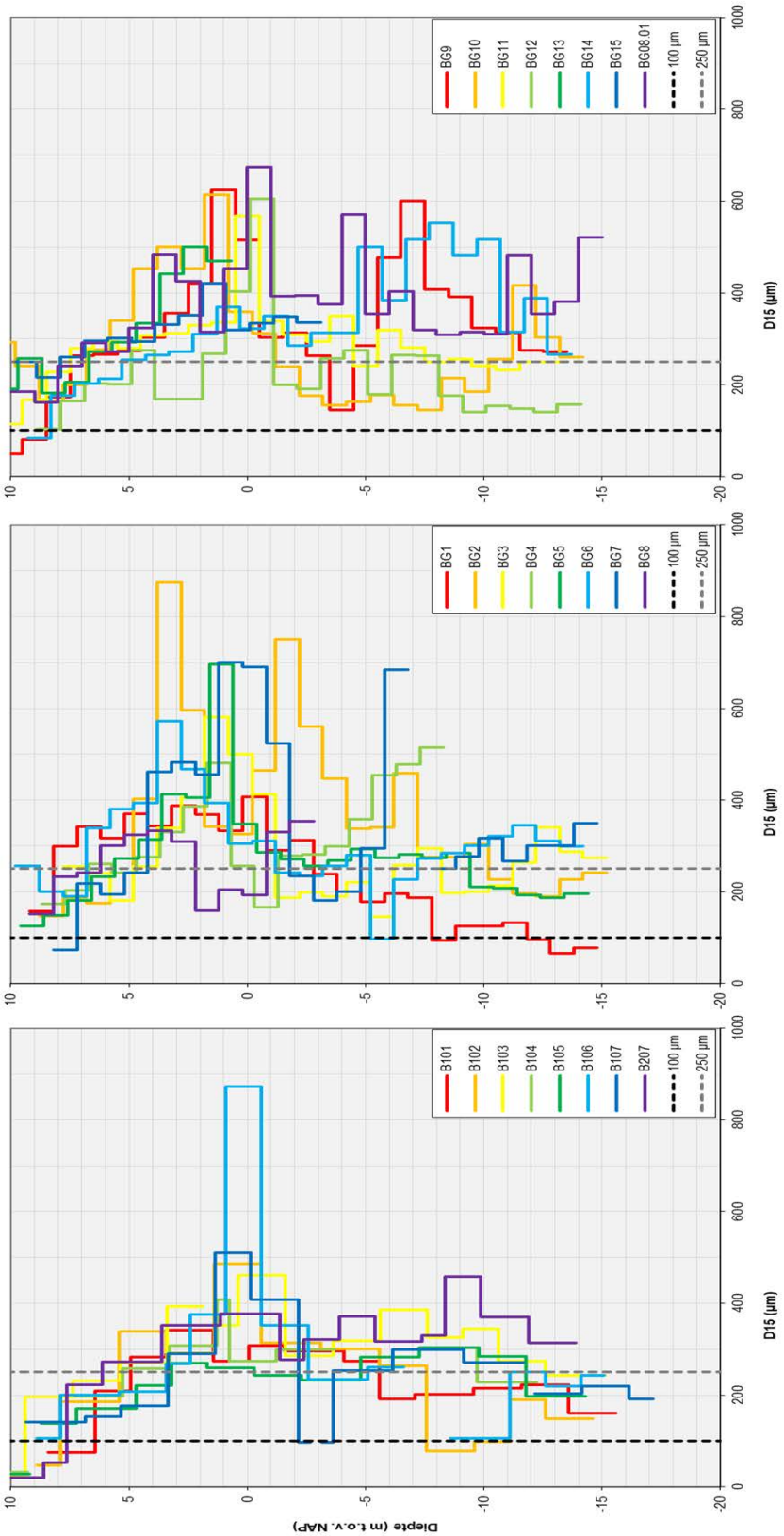
Doorsnede C
Ter plaatse van de geul bij doorsnede C wordt tot de maximale ontgrondingsdiepte van NAP +3 m voornamelijk zandlagen aangetroffen. Gezien de beperkte diepte (7m -mv) een dat de geul een invaart betreft en geen zandwinning wordt in deze rapportage ervan uitgegaan dat de invaart ontgraven wordt door middel van daartoe bestemd baggermaterieel wordt ontgraven. De opdrachtgever heeft aangegeven dat er geen ontgraving plaats door middel van profiel zuigers gezien de beperkte diepte van 7m zodat analyses m.b.t. bressen etc. niet nodig worden geacht

5.2.2 Voorwaarde 2
Voor voorwaarde 2 is gekeken naar de resultaten van 8 boringen van Fugro B101A t/m B107 en B207 (documenten [4] en [5]) en van de 15 boringen van Geotron [7] met bijbehorende korrelverdelingen. Aan de hand van beschikbare zeefresultaten zijn de eisen ten aanzien van de korrelgroottes D50 en D15 getoetst. In figuren 5-1 en 5-2 staan de D50 en D15 met de diepte uitgezet voor de verschillende boringen.

De kleiige toplagen in de bovenste meters zijn buiten beschouwing gelaten, omdat deze voorafgaand aan het zandzuigen met geschikt materieel dienen te worden verwijderd.



Figuur 5-1: grafieken van de aangetroffen D50 met de diepte. Open zones (gaten) in de grafiek betekent dat daar cohesieve lagen zijn aangetroffen.



Figuur 5-2: grafiek van de aangetroffen D15 met de diepte. Open zones (gaten) in de grafiek betekent dat daar cohesieve lagen zijn aangetroffen.

Doorsnede A1:
Voor doorsnede A1 zijn boringen B102 t/m B107, B207 en BG2 t/m BG11 relevant.

Uit de figuren volgt dat alleen ter plaatse van boring B102 voor een laag tussen NAP -7,5 m en NAP -9,5 m net niet voldaan wordt aan de voorwaarde voor D15. Boring B102 ligt echter midden in de zandwinput en niet nabij een te zuigen talud. Rondom boring B102 zijn boringen BG2 t/M BG7 gemaakt, welke aantonen dat B102 niet maatgevend is ter plaatse van de voorziene taluds en derhalve niet van toepassing op de toets op bresvloeiing.

Voor doorsnede A1 wordt ter plaatse van de voorziene taluds voldaan aan voorwaarde 2.

Doorsnede A2:
Voor doorsnede A2 zijn boringen B106, B107, BG1, BG2 en BG5 relevant.

Uit de figuren volgt dat alleen ter plaatse van boring BG1 niet voldaan wordt aan de eisen. Onderin boring BG1 wordt tussen NAP -8 m en NAP -15 m een fijne zandlaag aangetroffen. Bij de nabijgelegen sondering DKM315 wordt tussen NAP -12 m en NAP -22 m een zandlaag doorsneden met siltige/kleiige laagjes aangetroffen, hetgeen vermoedelijk dezelfde fijne zandlaag betreft. De kans op onbeheerst bressen neemt hierdoor toe indien er de baggermethodiek geen rekening wordt houdt met de fijne zandlagen.

Voor doorsnede A2 is de verwachting dat niet wordt voldaan aan voorwaarde 2.

Doorsnede B:
Voor doorsnede B wordt tot de maximale ontgrondingsdiepte van NAP +0,5 m voldaan aan de voorwaarde D50 > 200 µm en D15 > 100 µm. Opgemerkt wordt dat alleen boring B101 nabij deze zone is gelegen en dat voor de definitieve beoordeling de resultaten van het aanvullende booronderzoek noodzakelijk zijn.

Doorsnede C:
Voor doorsnede C is deze voorwaarde niet getoetst, aangezien de invaart geen zandwinning betreft en als zodanig niet wordt ontgraven.

5.2.3 Voorwaarden 3, 4 en 5
Voorwaarden 3, 4 en 5 hebben betrekking op de uitvoering van het zandwinproces. Deze voorwaarden dienen door de opdrachtgever gewaarborgd te worden.

5.2.4 Samenvatting beoordeling bresvloeiing: eenvoudige methode CUR-113

Doorsnede A1:
Voor doorsnede A1 wordt tot de maximale ontgrondingsdiepte van NAP -13 m en de insteek op NAP +6,0 m, bij in acht name van alle voorgaande voorwaarden (o.a. met betrekking tot de stoorlagen), voldaan aan de toets op bresvloeiing bij een taludhelling van gemiddeld circa 1v:4h of flauwer, conform tabel 2a van CUR 113.

Om dit nader te optimaliseren is een beoordeling op bresvloeiing gedaan volgens de gedetailleerde methode van CUR 113 met behulp van een bresmodel (HMBreach). Dit is opgenomen in paragraaf 5.3.

Doorsnede A2:
De grondopbouw ter plaatse van boring BG1 voldoet niet aan voorwaarde 2 en daardoor is de verwachting dat voor doorsnede A2 niet wordt voldaan aan de toets op bresvloeiing volgens de eenvoudige methode.

Ook voor doorsnede A2 is derhalve een beoordeling op bresvloeiing gedaan volgens de gedetailleerde methode van CUR 113 met behulp van een bresmodel (HMBreach). Dit is opgenomen in paragraaf 5.3.

Doorsnede B:
Voor doorsnede B wordt tot de maximale ontgrondingsdiepte van NAP +0,5 m en de insteek op NAP +8,0 m, bij in acht name van alle voorgaande voorwaarden (o.a. met betrekking tot de stoorlagen), voldaan aan de toets op bresvloeiing bij een taludhelling van gemiddeld 1v:2,5h of flauwer, conform tabel 2a van CUR 113.

Doorsnede C:
Voor doorsnede C wordt, vanwege de beperkte ontgrondingsdiepte van NAP +3,0 m en dat men heeft aangegeven dat de invaart niet door middel van een profielzuiger wordt gebaggerd, de haalbaarheid om te kunnen bressen zeer klein.

5.3 Beoordeling bresvloeiing: gedetailleerde methode CUR-113

Voor doorsnede A1 en A2 is een het faalmechanisme bresvloeiing verder getoetst door middel van de gedetailleerde methode van CUR 113, waarbij met behulp van het bresmodel HMBreach, ontwikkeld door Deltares, de taludhellingen getoetst.

5.3.1 Uitgangspunten

Voor de berekeningen worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:
- Doorsneden A1 en A2 zijn beschouwd;
- Bodemopbouw: Voor doorsnede A1 zijn boringen BG5 en BG10 aangehouden. Voor doorsnede A2 is boring BG1 aangehouden, waar onderin het profiel fijne zandlagen zijn aangetroffen;
- De ontwikkeling van het talud van de insteek op NAP +6,0 m tot de putbodem op NAP -13,0 m is beschouwd;
- De waterlijn is aangehouden op ca. NAP +8 m;
- Lagen boven de insteek op NAP +6,0 m zijn niet beschouwd. Er wordt vanuit gegaan dat deze lagen op een andere wijze dan bressen worden verwijderd. Merk op dat het merendeel van deze toplagen over het algemeen in meer of mindere mate cohesief zijn en derhalve niet geschikt zijn om door middel van bressen te verwijderen;
- De D50 en D15 zijn aangehouden conform figuren 5-1 en 5-2;
- Voor de porositeit is een waarde n = 0,4 aangehouden;
- Conform opgave van de opdrachtgever is een productiesnelheid van circa 400 à 500 ton zand per uur aangehouden, hetgeen overeenkomt met circa 250 à 300 m^3/uur;
- De berekeningen worden uitgevoerd per meter breedte waarover het zand-water mengsel langs het talud stroomt.

5.3.2 Berekeningsresultaten

Met behulp van de BREACH module van het software programma HMBreach is voor een stationair zuigproces met een (gemiddelde) verhaal snelheid van de zuigbuis loodrecht op of parallel aan de oever (daarbij aangenomen dat het zand-watermengsel over een beperkte

breedte maar rondom de zuigbuis toestroomt) de resulterende evenwichtstaludvorm berekend.

Eerst is de taludontwikkeling bij doorsnede A1 en A2 berekend bij toepassing van een doorgaande taludhelling zonder platbermen. Daarna is een verdere detaillering gedaan naar een taludontwerp met bermen.

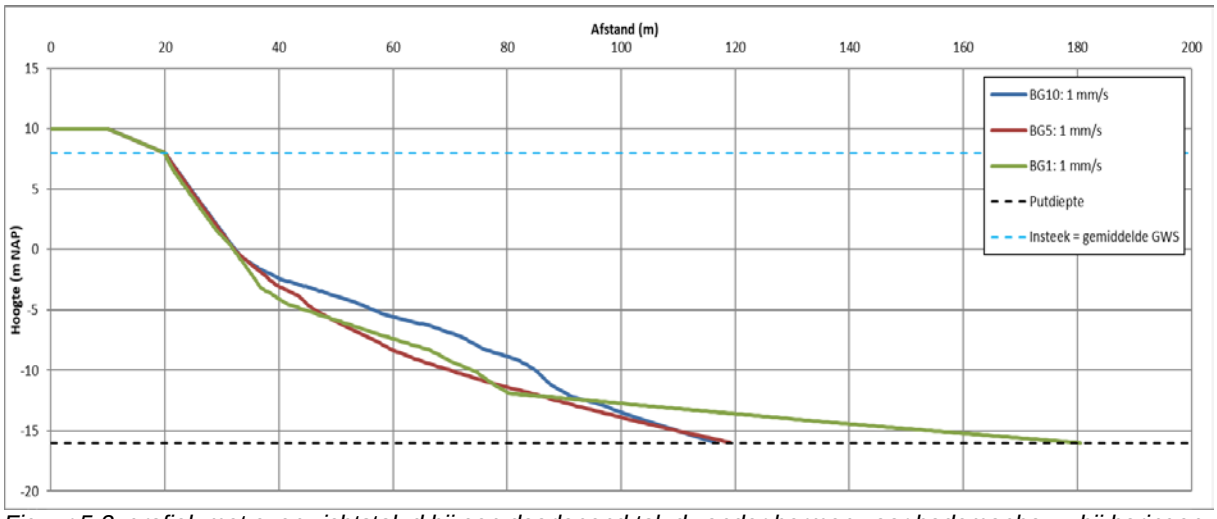
Doorgaand talud

Een eerste berekening is uitgevoerd voor een doorgaand talud zonder berm. De evenwichtstaludhelling en mengselstroomsnelheid zijn daarbij bepaald bij:

- een hoogte van een initiële verstoring van 0,5 m (insteek zuigbuis);
- een verhaalsnelheid van 1,0 mm/s. Een verhaalsnelheid van 1,0 mm/s met een werkende breedte van de bres van 3 m en een hoogte van het geactiveerd talud van 24 m resulteert in een taludproductie van ca. 260 m^3/uur.

Belangrijk is dat de taludproductie en zuigerproductie goed op elkaar worden afgestemd. Wanneer de zuiger het bressen niet kan bij houden ontstaat productieverlies en bij een te grote zuigerproductie is er een sterk toename kans onbeheerst bressen.

De resultaten de HMBreach berekeningen van het evenwichtstalud en de mengselstroomsnelheid langs het talud (U) zijn opgenomen in bijlage A5. In onderstaande figuur is het evenwichtstalud van de verschillende berekeningen samengevoegd in één grafiek voor de bodemopbouw bij BG10 en BG5 (doorsnede A1) en voor de bodemopbouw bij BG1 (doorsnede A2).



Figuur 5-3: grafiek met evenwichtstalud bij een doorlopend talud zonder bermen voor bodemopbouw bij boringen BG10 en BG5 (Doorsnede A1) en boring BG1 (Doorsnede A2).

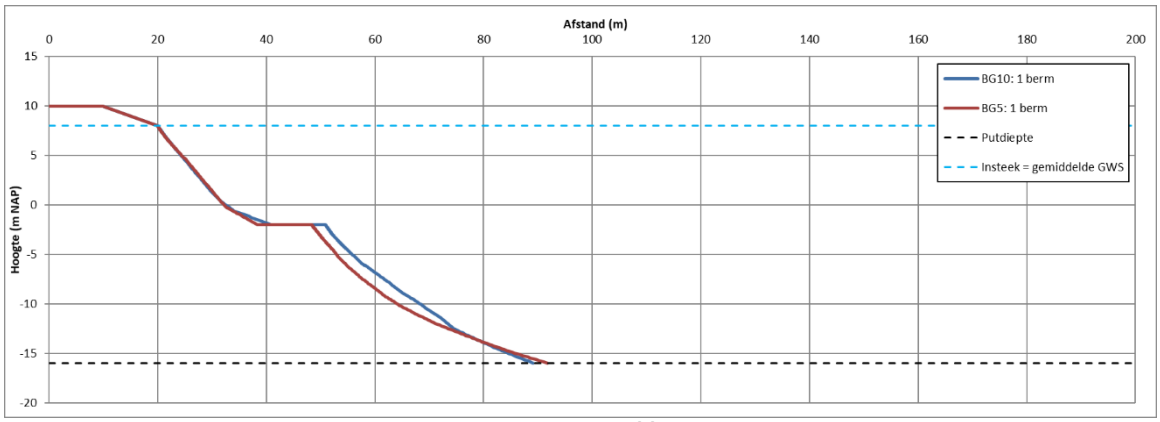
Figuur 5-3 geeft aan dat de taludontwikkeling bij het baggeren op volle diepte bij doorsnede A1 (BG10 / BG5) vanaf circa NAP -5 m een sterke talud verflauwing laat zien vanwege een fijnere zand samenstelling. De taludontwikkeling is derhalve niet stabiel waardoor de kans op onbeheerst bressen significant toeneemt. Doorsnede A2 (BG1) is ten opzichte van doorsnede A1 ongunstiger vanwege de fijner zandlagen waardoor er een sterke taludverflauwing optreedt een dus een toenemende kans op het overschrijden van het vergunningstalud en/of het onbeheerst bressen.

Het talud hier over de volledige hoogte bressen met de aangenomen productiesnelheden is derhalve niet haalbaar. Geadviseerd wordt een talud met tussenbermen te hanteren.
Voor doorsnede A1 wordt het toepassen van één berm op NAP -2 m van 10 m breedte geadviseerd, direct onder de zeer grove zand- en grindlagen. Voor doorsnede A2 wordt geadviseerd naast de bovengenoemde berm bij doorsnede A1 tevens een tweede berm op NAP -9 m toe te passen van 10 m breedte.

<u>Doorsnede A1: Talud met één berm</u>
Voor een talud met één berm zijn de evenwichtstaludhelling en mengselstroomsnelheid bepaald bij:
- een berm van 10 m breedte op NAP -2 m;
- een hoogte van een initiële verstoring van 0,5 m (breshoogte);
- een verhaalsnelheid van 2,5 mm/s boven de berm. Een verhaalsnelheid van 2,5 mm/s met een werkende breedte van de bres van 3 m en een hoogte van het geactiveerd talud van 10 m resulteert in een taludproductie van ca. 270 m^3/uur.
- een verhaalsnelheid van 2 mm/s onder de berm. Een verhaalsnelheid van 2 mm/s met een werkende breedte van de bres van 3 m en een hoogte van het geactiveerd talud van 14 m resulteert in een taludproductie van ca. 300 m^3/uur.

Belangrijk is dat de taludproductie en zuigerproductie goed op elkaar worden afgestemd. Wanneer de zuiger het bressen niet kan bij houden ontstaat productieverlies en bij een te grote zuigerproductie is er een sterk toename kans onbeheerst bressen.

De resultaten de HMBreach berekeningen van het evenwichtstalud en de mengselstroomsnelheid langs het talud (U) zijn opgenomen in bijlage A5. In onderstaande figuur is het evenwichtstalud van de verschillende berekeningen samengevoegd in één grafiek voor de bodemopbouw bij BG10 en BG5 (doorsnede A1).



Figuur 5-4: grafiek met evenwichtstalud bij toepassing van één berm voor bodemopbouw bij boringen BG10 en BG5 (Doorsnede A1).

Voor doorsnede A1 volgen evenwichtstaludhellingen van 1v:2h boven de berm en 1v:3h onder de berm.

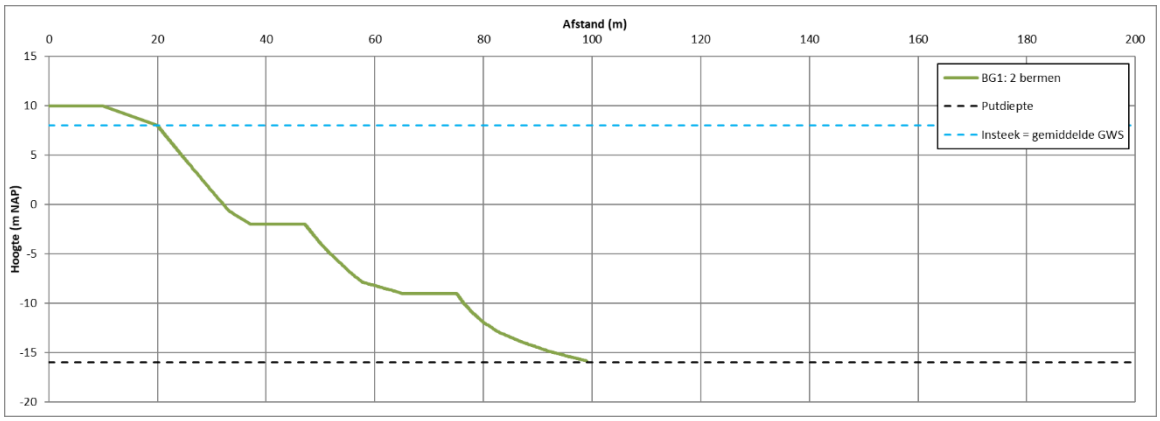
Doorsnede A2: Talud met twee bermen

Voor een talud met één berm zijn de evenwichtstaludhelling en mengselstroomsnelheid bepaald bij:

- een eerste berm van 10 m breedte op NAP -2 m;
- een tweede berm van 10 m breedte op NAP -9 m;
- een hoogte van een initiële verstoring van 0,5 m (breshoogte);
- een verhaalsnelheid van 2,5 mm/s boven de eerste berm. Een verhaalsnelheid van 2,5 mm/s met een werkende breedte van de bres van 3 m en een hoogte van het geactiveerd talud van 10 m resulteert in een taludproductie van ca. 270 m^3/uur.
- een verhaalsnelheid van 2,5 mm/s tussen de twee bermen. Een verhaalsnelheid van 2 mm/s met een werkende breedte van de bres van 3 m en een hoogte van het geactiveerd talud van 7 m resulteert in een taludproductie van ca. 190 m^3/uur.
- een verhaalsnelheid van 1,5 mm/s onder de tweede berm. Een verhaalsnelheid van 2 mm/s met een werkende breedte van de bres van 3 m en een hoogte van het geactiveerd talud van 7 m resulteert in een taludproductie van ca. 110 m^3/uur.

Belangrijk is dat de taludproductie en zuigerproductie goed op elkaar worden afgestemd. Wanneer de zuiger het bressen niet kan bij houden ontstaat productieverlies en bij een te grote zuigerproductie is er een sterk toename kans onbeheerst bressen.

De resultaten de HMBreach berekeningen van het evenwichtstalud en de mengselstroomsnelheid langs het talud (U) zijn opgenomen in bijlage A5. In onderstaande figuur is het evenwichtstalud van de berekening voor de bodemopbouw bij BG1 (doorsnede A2) weergegeven.



Figuur 5-5: grafiek met evenwichtstalud bij toepassing van twee bermen berm voor bodemopbouw bij boring BG1 (Doorsnede A2).

Voor doorsnede A2 volgt ook een evenwichtstaludhelling van 1v:2h boven de eerste berm. Tussen de eerste en tweede berm volgt een evenwichtstaludhelling van 1v:3h. Onder de tweede berm in de fijne zandlagen volgt een evenwichtstaludhelling van 1v:4h.

Voor de taluds onder de eerste en tweede berm worden lagere verhaalsnelheden en taludproducties van respectievelijk circa 190 m^3/uur en 110 m^3/uur te worden aangehouden dan de gewenste 250 à 300 m^3/uur om het risico op onbeheerst bressen in de fijnere zandlagen te beperken.

Als laatste wordt opgemerkt dat de fijne zandlagen onderin boring BG1 mogelijk slechts lokaal voorkomen. Verder uitkarteren van deze laag kan tot een gunstigere zone leiden waarbinnen doorsnede A2 maatgevend is of kan er blijken dat de fijne zandlaag alleen zeer lokaal voorkomt.

5.4 Samenvatting beoordeling bresvloeiing

In tabel 5-2 zijn de minimale taludhellingen en bermafmetingen voor de vier beschouwde doorsneden weergegeven waarbij wordt voldaan aan de toets op verwekingsvloeiing volgens CUR 113. Daarbij is voor doorsnede A1 en A2 de gedetailleerde methode gehanteerd (§4.2) en voor doorsnede B en C de eenvoudige methode (§4.1).

Bresvloeiing is alleen beschouwd voor de uitvoeringssituatie. Voor de gebruikssituatie is het faalmechanisme bresvloeiing niet nader beschouwd. Voor deze situatie kan onder normale omstandigheden een zand-water suspensiestroom langs de onderwater helling met voldoende zekerheid worden uitgesloten, mits voldoende veiligheid met betrekking tot de faalmechanismen afschuiving en verwekingsvloeiing aanwezig is.

tabel 5-2: minimale taludhellingen en bermafmetingen op basis van toets op bresvloeiing

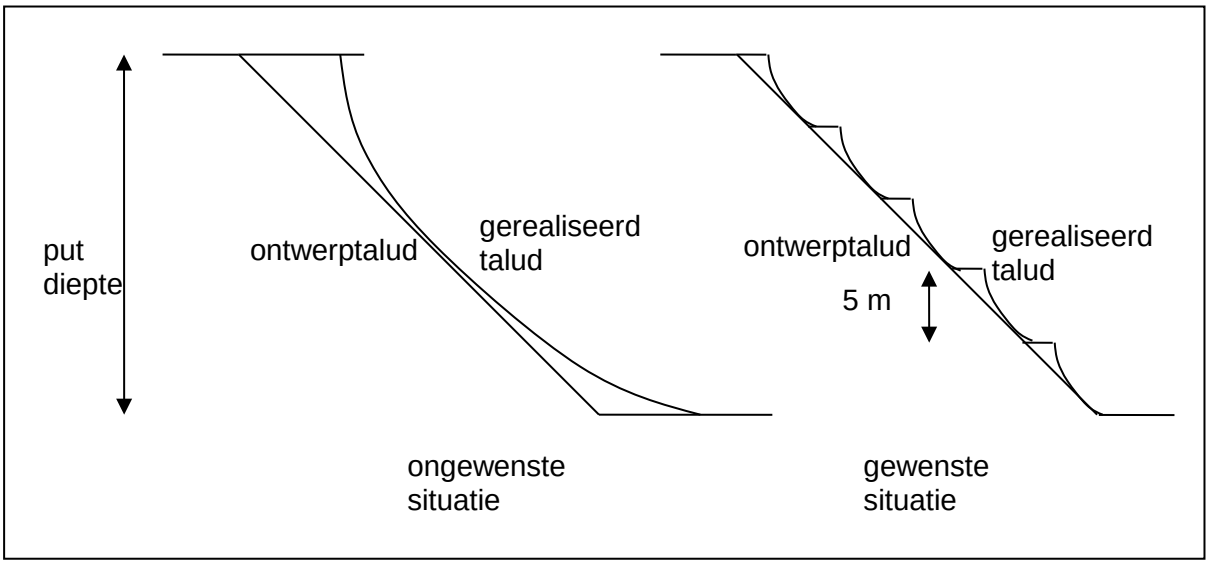
Dsn	Ontwerp	Taludhelling [v : h]	Berm	
			Niveau [m NAP]	Breedte [m]
A1	één berm	Boven berm: 1 : 2 Onder berm: 1 : 3	-2,0	10
A2	twee bermen	Boven eerste berm: 1 : 2 Tussen de bermen: 1 : 3 Onder tweede berm: 1 : 4	-2,0	10
			-9,0	10
B	geen berm	1: 2,5	-	-
C	geen berm	1: 2.5*	-	-

** het talud van de invaart wordt op ander wijze ontgraven dan profielzuigen. De taludhelling is derhalve onafhankelijk van de toets op bresvloeiing.*

5.5 Overige opmerkingen en advies uitvoering

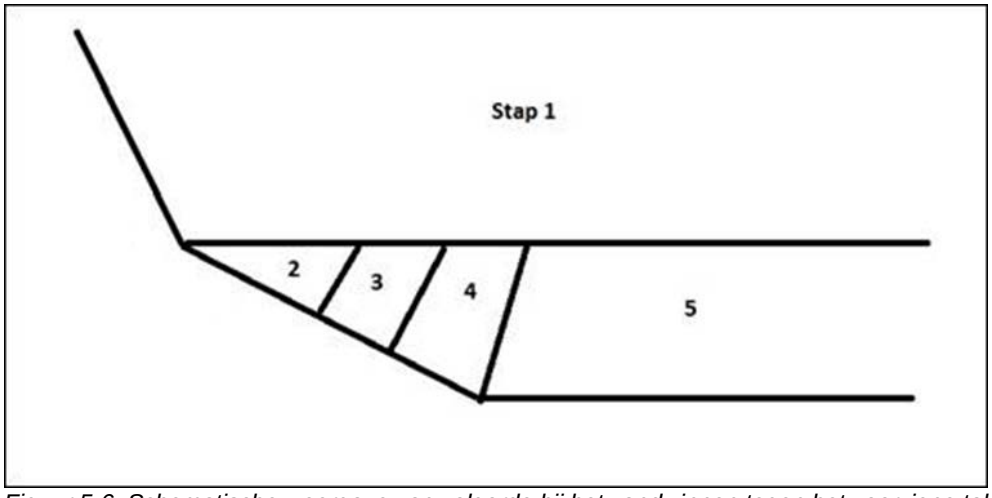
Geadviseerd wordt om vanuit het midden van de zandwinlocatie naar de oevers te werken om informatie over taludvorming te verkrijgen en het berekende talud te verifiëren.

Daarnaast wordt in zijn algemeenheid geadviseerd om het zand in lagen van ca. 5 m te winnen op een dusdanige wijze dat de gemiddelde *gerealiseerde* taludhelling niet veel steiler is dan de *ontwerp* taludhelling. De taludhelling die tijdens het bresproces ontstaat is namelijk (met name bovenaan het talud) vaak veel steiler dan het (gemiddelde) ontwerptalud. Indien de gerealiseerde taludhelling echter significant steiler is dan de ontwerp taludhelling kan dit een nadelige invloed hebben op de andere faalmechanismen (macrostabiliteit, verwekingsvloeiing etc.). Een schematische weergave van een gewenste en ongewenste situatie met betrekking tot het gerealiseerde talud in relatie tot het ontwerptalud is gegeven in figuur 5-5.



Figuur 5-5: Schematische weergave ongewenste en gewenste situatie gerealiseerd talud, niet op schaal

Tevens wordt geadviseerd de lagen evenwijdig aan de oever te winnen, waarbij eerst de lagen boven het uiteindelijke talud worden verwijderd. Deze werkwijze is weergegeven in figuur 5-6. De kans op een onbeheerste bresvloeiing is dit geval zeer klein omdat het volume zand wat in de put kan afvloeien zeer beperkt is.



Figuur 5-6: Schematische weergave van volgorde bij het zandwinnen tegen het voorziene talud.

6. RISICOBESCHOUWING

In aanvulling op de beoordeling van de taludstabiliteit in hoofdstukken 3 t/m 5 is voor de bestaande belendingen een bepaling van de minimale breedte van randstrook (tussen insteek en belending) gedaan op basis van een risicobeschouwing conform CUR 113 eenvoudige benadering.

6.1 Risicobeschouwing CUR 113 (eenvoudige methode)

Bij een eenvoudige risicobeschouwing volgens CUR 113 worden richtlijnen gegeven voor het hanteren van bepaalde marges (randstrook) bij belendingen met bijzondere waarde om zo te compenseren voor de onzekerheden van de grond- en omgevingseigenschappen en het winproces.

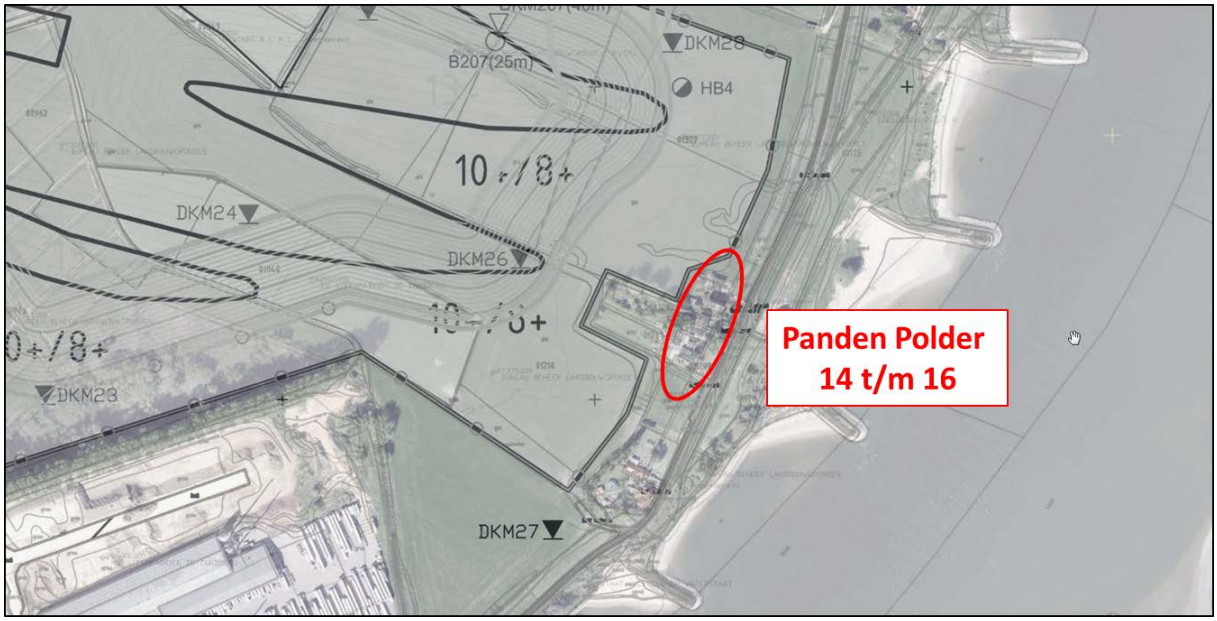
In tabel 6-1 zijn de voorwaarden van de risicobeschouwing gepresenteerd en de daaruit volgende benodigde randstrookbreedte. Voor de randstrookbreedte is uitgegaan van doorsnede A1/A2 van het ontwerp met betrekking tot putdiepte. De minimaal benodigde randstrook bedraagt op basis van deze analyse 69 m.

tabel 6-1: Voorwaarden eenvoudige risicobeschouwing en bepaling randstrookbreedte

Faalmechanisme	**Voorwaarden van CUR 113 per faalmechanisme**		
	Voorwaarden	**Voorwaarde 1**	**Randstrookbreedte**
Taludafschuiving	1) Er wordt voldaan aan de voorwaarden voor afschuiving in tabel 2 van CUR 113. **OF** 2) Veiligheidsfactor uit Bishop berekening waarin verwachtingswaarden ingevoerd zijn > 1,6. **OF** 3) Veiligheidsfactor uit Bishop berekening waarin karakteristieke waarden ingevoerd zijn > 1,3.	Voldoet	n.v.t.
Verwekingsvloeiing	1) Er wordt voldaan aan de voorwaarden voor verwekingsvloeiing in tabel 2 van CUR 113. **EN** 2) Geen permanente belendingen met bijzondere waarde binnen een afstand van 3x de putdiepte.	Voldoet	Putdiepte = 23 m Risicozone (3 x 23 m =) 69 m
Bresvloeiing	1) Er wordt voldaan aan de voorwaarden voor bresvloeiing in tabel 2 van CUR 113. **EN** 2) Geen permanente belendingen met bijzondere waarde binnen een afstand van 2x de putdiepte.	Voldoet	Putdiepte = 23 m Risicozone (2 x 23m =) 46 m

6.2 Gevoelige gebouwen en overige objecten

De gebouwen die het dichtst bij de insteek van de zandwinput liggen betreffen volgens de tekening van de opdrachtgever enkele panden (Polder 14 t/m 16) aan de zuidoostzijde van de zandwinput. De panden bevinden zich op meer dan 95 m afstand van de insteek, waarmee voldaan wordt aan de minimale randstrookbreedte uit tabel 6-1. De locaties van het panden zijn globaal weergegeven in figuur 6-1. De gebouwen van de steenfabriek aan de zuidzijde bevinden zich op grotere afstand van de insteek.



Figuur 6-1: locatie belendingen nabij de voorziene zandwinning (bron: GoogleMaps)

Mogelijke overige objecten binnen de randstrook van 78 m zijn bijvoorbeeld wegen en kabels en leidingen. Tussen de zandwinning van doorsnede A1/A2 en die van doorsnede B bevindt zich de weg “Polder” op circa 15 à 20 m afstand van de toekomstige taludlijn op NAP +10 m. Tevens bevinden zich ter plaatse van deze weg mogelijk kabels en leidingen. Deze infrastructuur valt binnen de bepaalde randstrook en kunnen mogelijk schade ondervinden bij een eventueel optreden van een oeverinscharing ten gevolge van zandwinactiviteiten. Nu is een randstrook van 69 m conform CUR113 methode eenvoudig onzes inziens een te conservatieve benadering en kan worden geoptimaliseerd op basis van een te hanteren veiligheidsniveau voor de weg en gasleiding. Echter een uitgebreide risico beschouwing valt momenteel buiten de scope van de werkzaamheden, waardoor Fugro niet kan bepalen of het object (weg gasleiding) als gevoelig kan worden beschouwd. De opdrachtgever dient op basis van een eenvoudige analyse in overleg moeten treden met de betrokken instanties.

7. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Voor de zandwinning en herinrichting van de Gendtse Waard is de taludstabiliteit beoordeeld conform CUR 113 eenvoudige methode. De beoordeling is uitgevoerd voor 3 representatieve doorsneden voor zowel de uitvoeringssituatie (zandwinning) als de gebruikssituatie (natuurgebied).

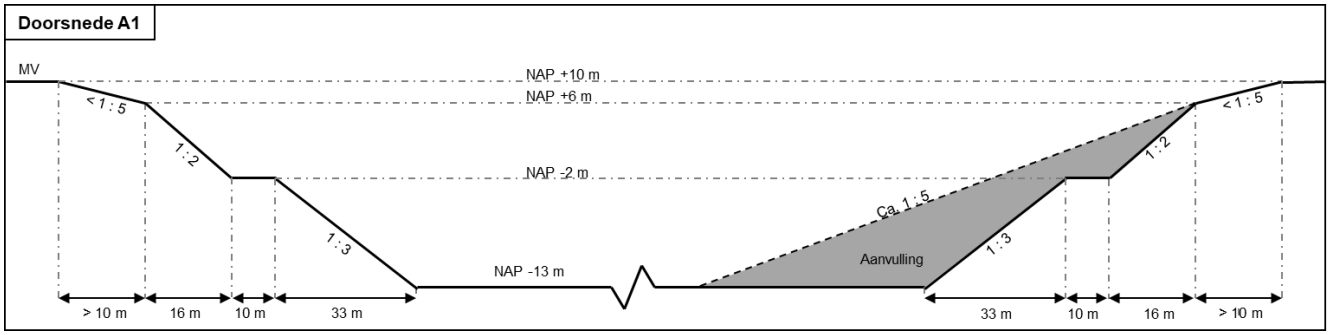
7.1 Beoordeling oeverstabiliteit

In tabel 7-1 is het taludontwerp dat volgt uit de beoordeling per doorsnede weergegeven en het toetsresultaat per faalmechanisme samengevat. In figuren 7-1 t/m 7-4 is het taludontwerp dat volgt uit de beoordeling per doorsnede weergegeven. Voor de uitgangspunten van de analyses wordt verwezen naar de voorgaande hoofdstukken.

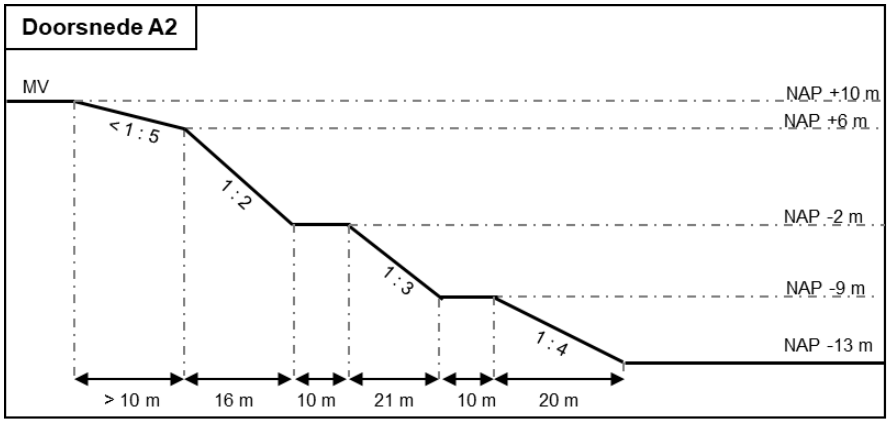
Tabel 7-1: Samenvatting berekende taludhellingen per faalmechanisme en totaal conform CUR 113 eenvoudige methode

Dsn	Situatie	Taludontwerp	Toets op			Toetsresultaat
			Taludafschuiving (eenvoudig)	Verwekingsvloeiing (gedetailleerd)	Bresvloeiing (gedetailleerd)	
A1	Uitvoering	Boven berm: 1 : 2 Berm 10 m op NAP -2 m Onder berm: 1 : 3	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet
	Gebruik, **zonder aanvulling**		Voldoet	Voldoet	n.v.t.	Voldoet
	Gebruik, **met aanvulling**	1 : 7 *	Voldoet *	Voldoet *	n.v.t.	Voldoet *
A2	Uitvoering	Boven eerste berm: 1 : 2 Berm 10 m op NAP -2 m Tussen de bermen: 1 : 3 Berm 10 m op NAP -9 m Onder tweede berm: 1 : 4	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet
	Gebruik		Voldoet	Voldoet	n.v.t.	Voldoet
B	Uitvoering	1 : 3	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet
	Gebruik		Voldoet	Voldoet	n.v.t.	Voldoet
C	Uitvoering	1 : 4	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet
	Gebruik		Voldoet	Voldoet	n.v.t.	Voldoet

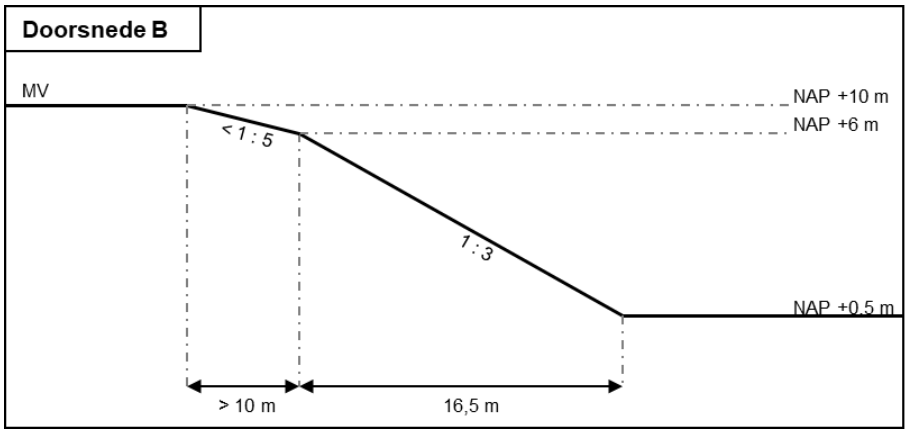
** De aanvulling is slechts oriënterend beschouwd in de beoordeling omdat er voorafgaand geen gegevens beschikbaar zijn over de hoeveelheden en uiteindelijke eigenschappen van het materiaal.*



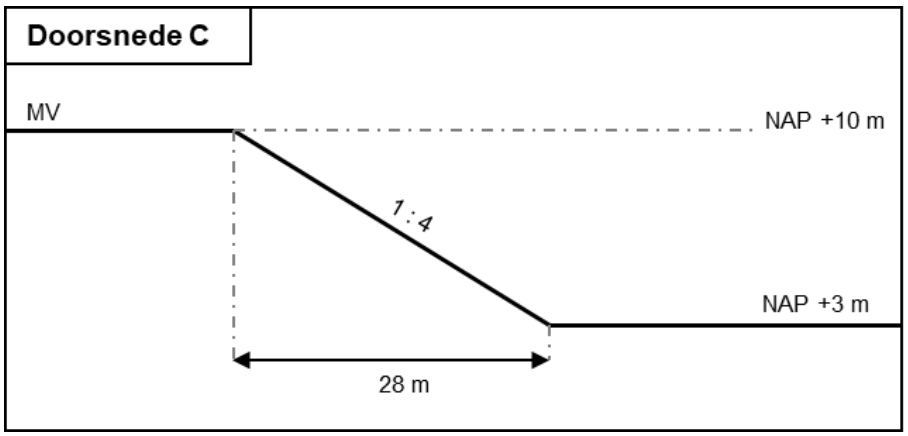
Figuur 7-1 Schematische weergave taludontwerp doorsnede A1 (NIET OP SCHAAL)



Figuur 7-2: Schematische weergave taludontwerp doorsnede A2 (NIET OP SCHAAL)



Figuur 7-3: Schematische weergave taludontwerp doorsnede B (NIET OP SCHAAL)



Figuur 7-4: Schematische weergave taludontwerp doorsnede C (NIET OP SCHAAL)

7.2 Risicobeschouwing belendingen

Uit de eenvoudige risicobeschouwing volgens CUR 113 volgt een minimaal benodigde randstrook van 69 m.

Voor de gebouwen ten zuiden en zuidoosten van de zandwinput (circa 95 m of verder van de insteek) wordt voldaan aan deze randstrookbreedte. Merk daarbij op dat nieuw te bouwen belendingen ook aan deze eis dienen te voldoen.

Tussen de zandwinning van doorsnede A1/A2 en die van doorsnede B bevindt zich de weg “Polder” op circa 15 à 20 m afstand van de insteek van de put van doorsnede A1/A2. Tevens bevinden zich ter plaatse van deze weg mogelijk kabels en leidingen. Deze infrastructuur valt binnen de bepaalde randstrook en kunnen mogelijk schade ondervinden bij een eventueel optreden van een oeverinscharing ten gevolge van zandwinactiviteiten. Nu is een randstrook van 69 m conform CUR113 methode eenvoudig onzes inziens een te conservatieve benadering en kan worden geoptimaliseerd op basis van een te hanteren veiligheidsniveau voor de ondergronds infrastructuur.

7.3 Aanvulmateriaal

Aan de oostzijde van de zandwinput bij doorsnede A1/A2 wordt na de winning aangevuld. Lokaal wordt de put daardoor ondieper en de taluds flauwer. Plaatselijk wordt in de voorziene plas weer land aangelegd. Volgens opgave van de opdrachtgever wordt aangevuld met voornamelijk zandig materiaal.

De stabiliteit van het aanvulmateriaal zelf is slechts globaal beschouwd in voorliggend rapport, omdat de eigenschappen en samenstelling vooraf niet exact te bepalen is en afhangt van de hoeveelheden zand en klei die worden gebruikt. Wanneer bekend is over de verhoudingen in verwachte fracties kan een conservatieve aanname worden gedaan.

Indien slecht gegradeerd, fijn zand met een losse pakking wordt toegepast zal dit materiaal naar verwachting verwekingsgevoelig zijn. Derhalve zou conform de CUR-113 het ontwerptalud in de gebruikssituatie een (zeer) flauwe taludhelling van 1v:7h dienen te hebben. Door een andere materiaalkeuze (bijv. grof zand) of uitvoeringswijze (bijv. verdichting van het materiaal) kan een steiler talud mogelijk zijn, echter vanwege de dikke verwekingsgevoelige zandlaag die op circa 3 m onder het bodemniveau van NAP -13 m is aangetroffen (sondering DKM103) kunnen steilere taluds mogelijk een (klein) risico vormen. Er is een kleine kans aanwezig op een afschuiving ten gevolge van verweking.
In overleg met de vergunningverlener is het wellicht mogelijk om tot een aanscherping van het ontwerp van de taludhelling te komen, eventueel met behulp van een gedetailleerde risicoanalyse, waarbij zowel de kans op bezwijken als de gevolgen (o.a. omvang inscharing en gebruiksfunctie opgespoten gebied) hiervan worden beschouwd. Een dergelijke gedetailleerde risicoanalyse valt buiten het kader van dit rapport.

Daarnaast dient bij los gestort zand, vooral wanneer onder water aangebracht, rekening te worden gehouden met extra zettingen, die ook lang na aanbrengen kunnen optreden. Bij het optreden van bijvoorbeeld trillingen, zoals bijvoorbeeld een aardbeving maar ook heiwerkzaamheden, kunnen plotselinge maaiveldzakkingen optreden. Daarnaast kunnen grote wateroverspanning (verweking) van het zand optreden. Hier dient rekening te worden gehouden met eventuele bouw- of graafwerkzaamheden in de toekomst.

8. LITERATUUR

[CUR 113, 2008] CUR-Aanbeveling 113, Oeverstabiliteit bij zandwinputten – deel A, O en T, CUR Bouw & Infra, 2008.

[NEN 9997-1, 2011] NEN9997-1 Geotechnisch ontwerp van constructies – Deel 1, algemene regels, NEN, december 2011.

[NEN 1998-1, 2005] Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies, NEN, mei 2005.

[Lunne, 1997] T. Lunne, J.J.M. Powell, P.K. Robertson, Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice, 1997.

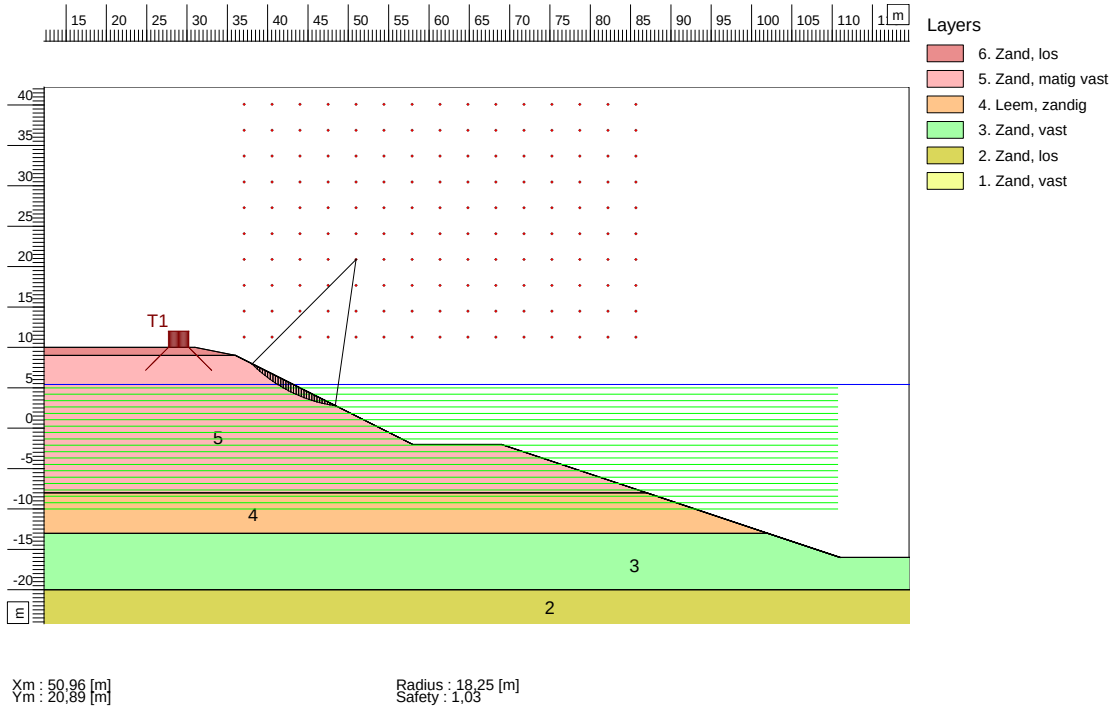
[Olsen, 2003] S.M. Olsen, T.D. Stark, Yield Strength Ratio and Liquefaction Analysis of Slopes and Embankments, 2003.

[SH, 2016] Schematiseringshandleiding Zettingsvloeiing, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016.

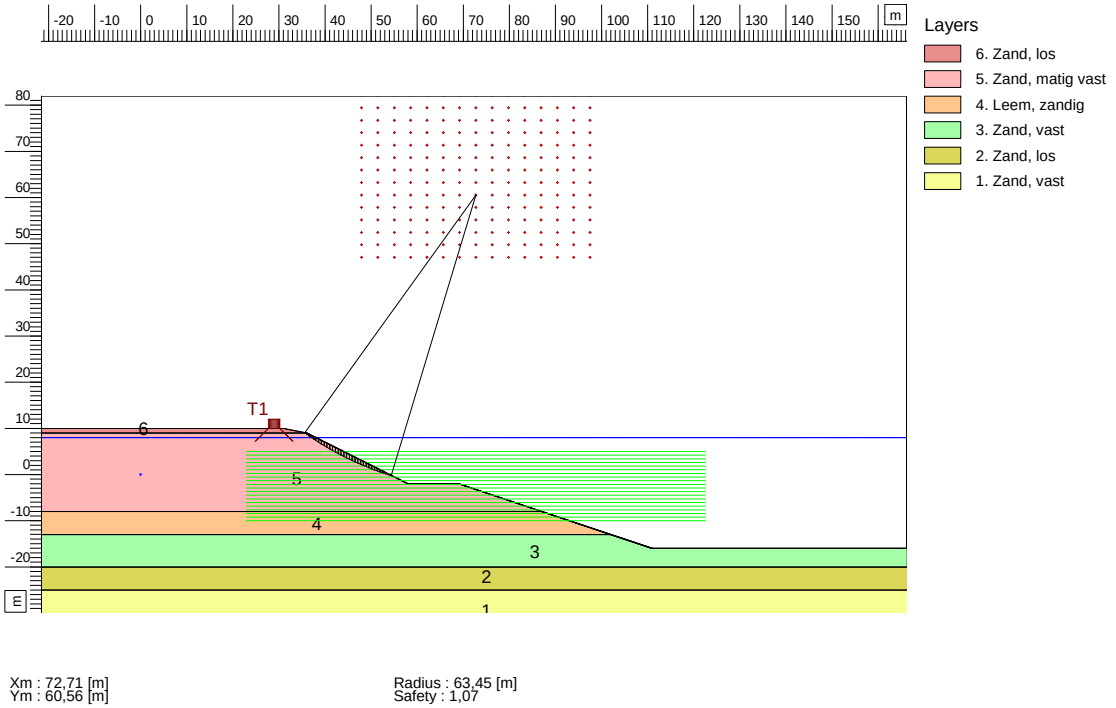
[HFM 2012] CURNET publicatie 244, Hydraulic Fill Manual, CURNET, 2012

[BR 2010] Betrekkingslijnen Rijn, Referentie P100429Ra, Rura-Arnhem, juli 2010.

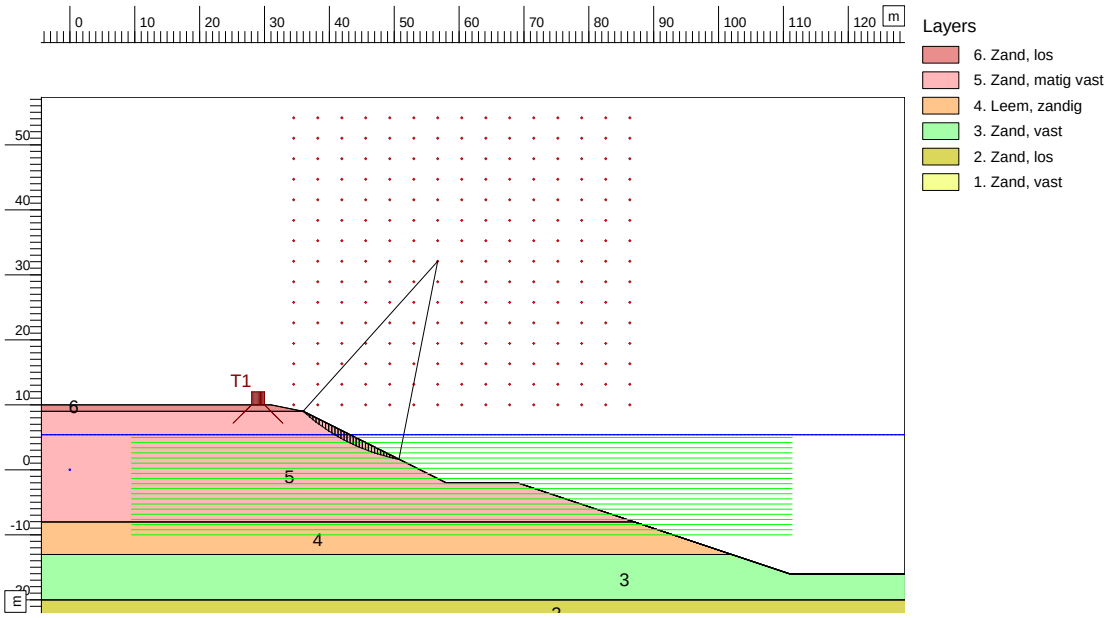
Bijlage A1: Resultaten stabiliteitsberekeningen – Doorsnede A1/A2



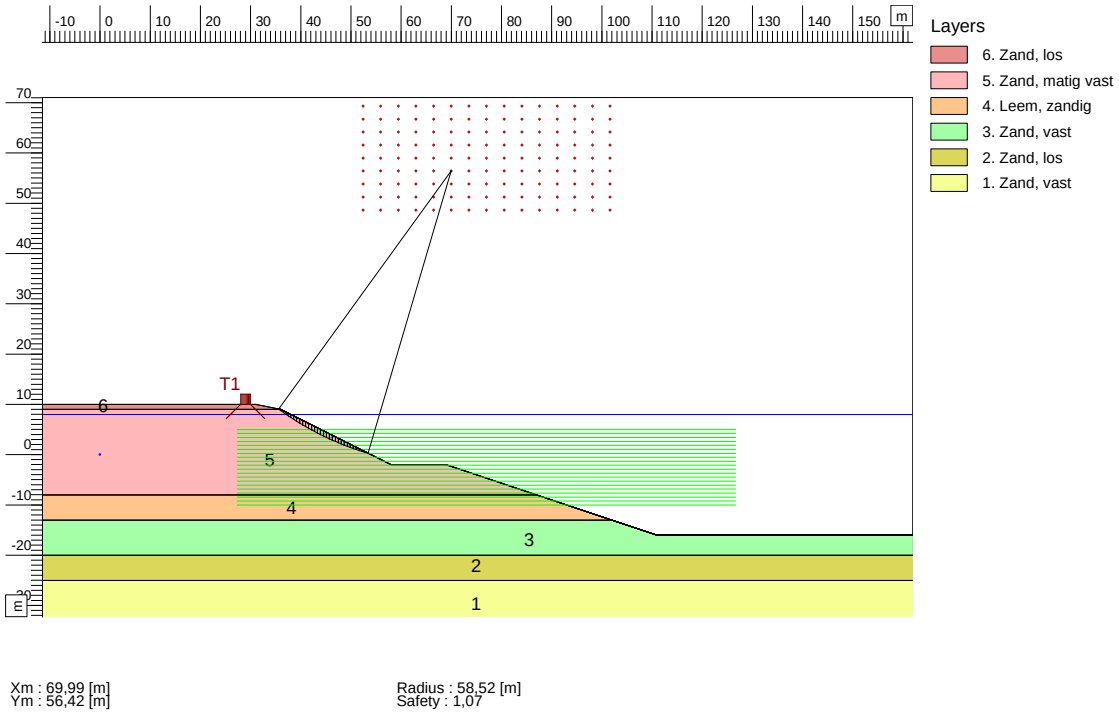
Figuur A-1: Resultaat stabiliteitsberekening doorsnede A1/A2 – uitvoeringsituatie bij laag water



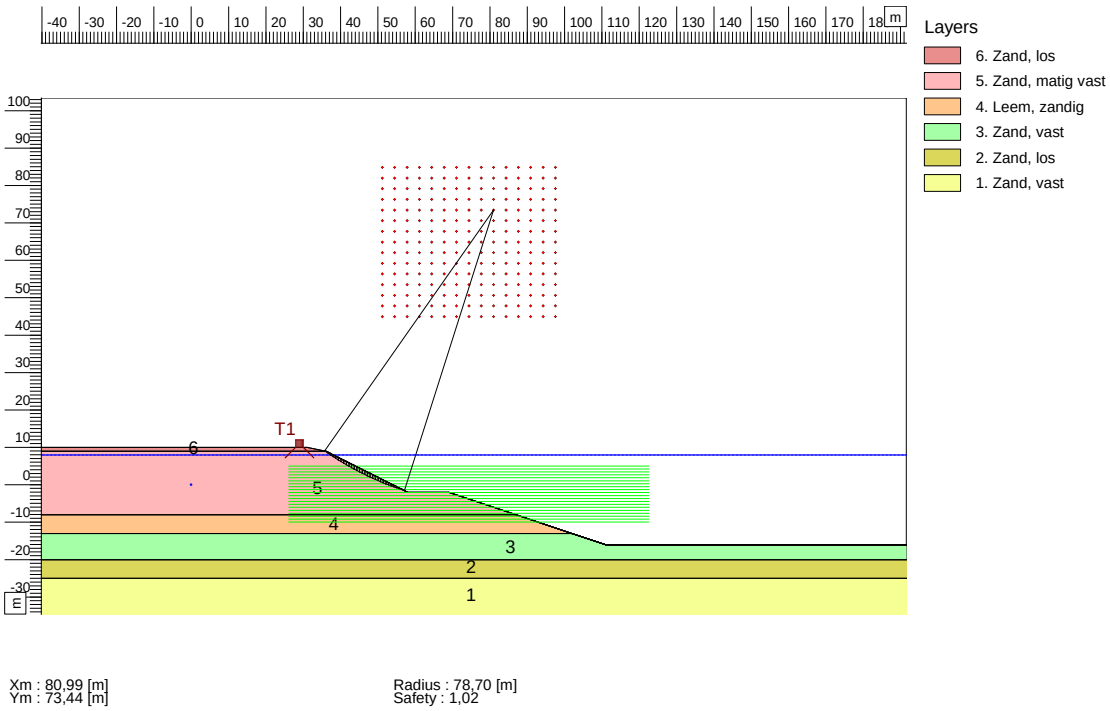
Figuur A-2: Resultaat stabiliteitsberekening doorsnede A1/A2 – uitvoeringsituatie bij hoog grondwater



Figuur A-3: Resultaat stabiliteitsberekening doorsnede A1/A2 – gebruikssituatie bij laag water

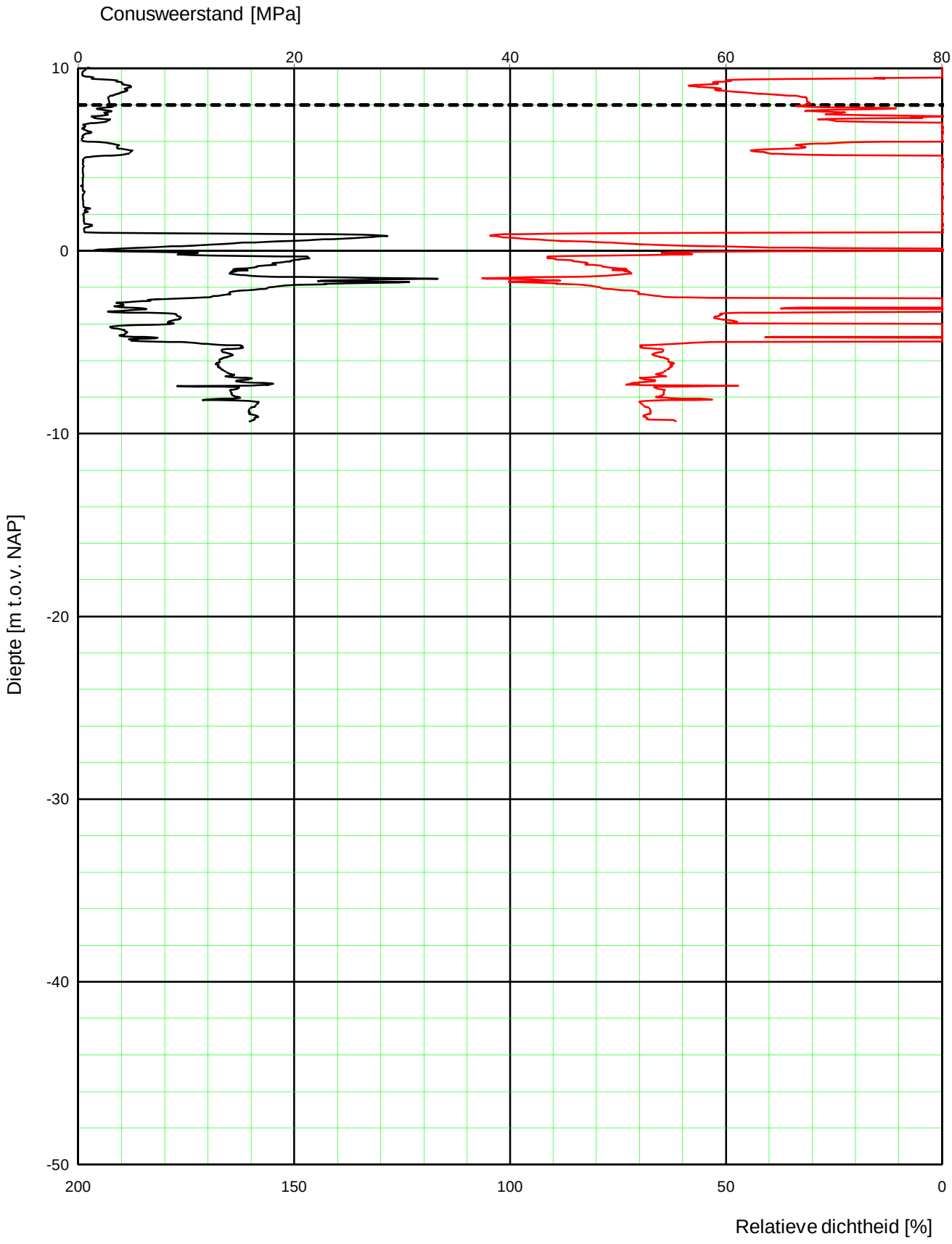


Figuur A-4: Resultaat stabiliteitsberekening doorsnede A1/A2 – gebruikssituatie bij hoog grondwater



Figuur A-5: Resultaat stabiliteitsberekening doorsnede A1/A2 – gebruikssituatie bij aardbevingsbelasting

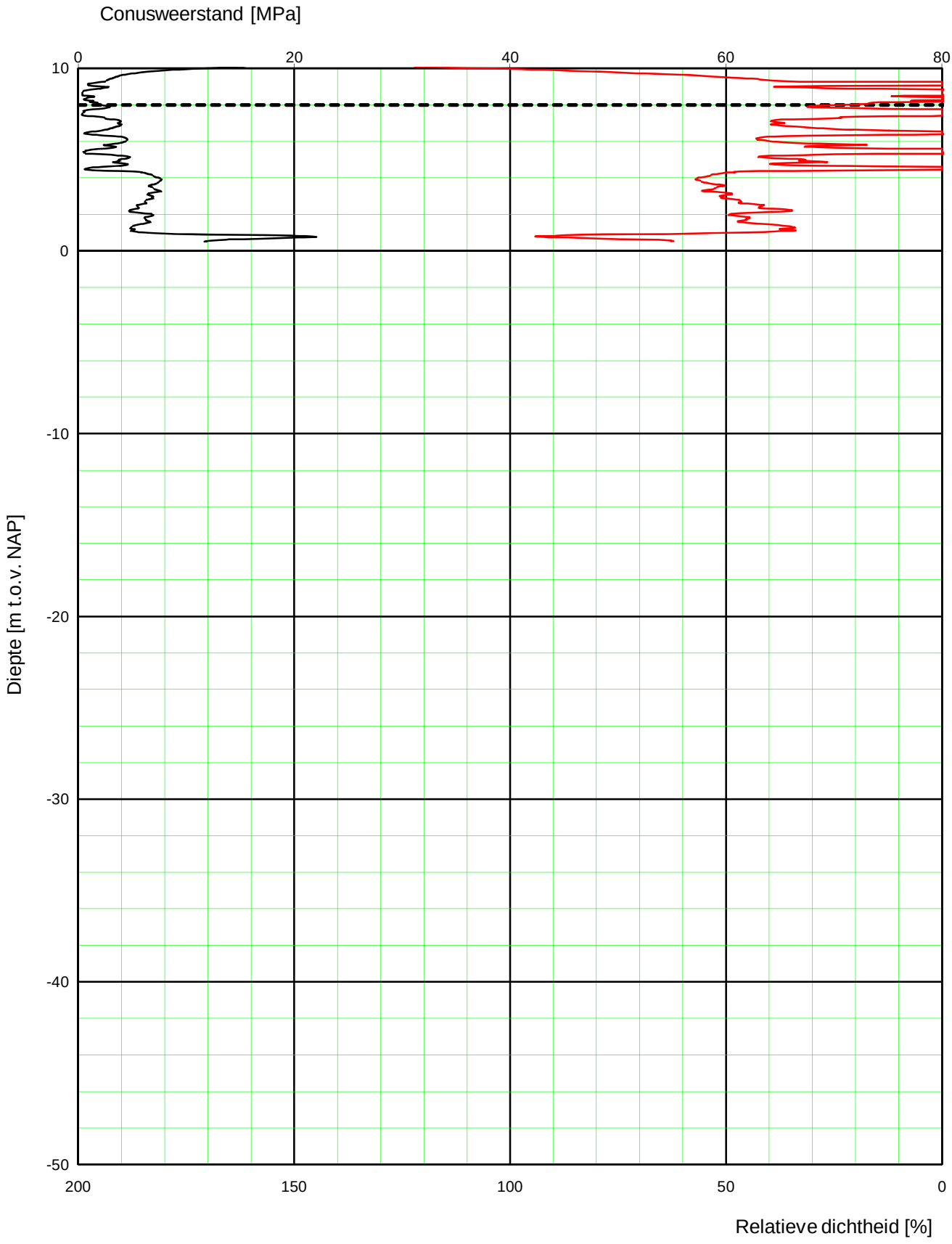
Bijlage A2: Bepaling relatieve dichtheid per sondering



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM1

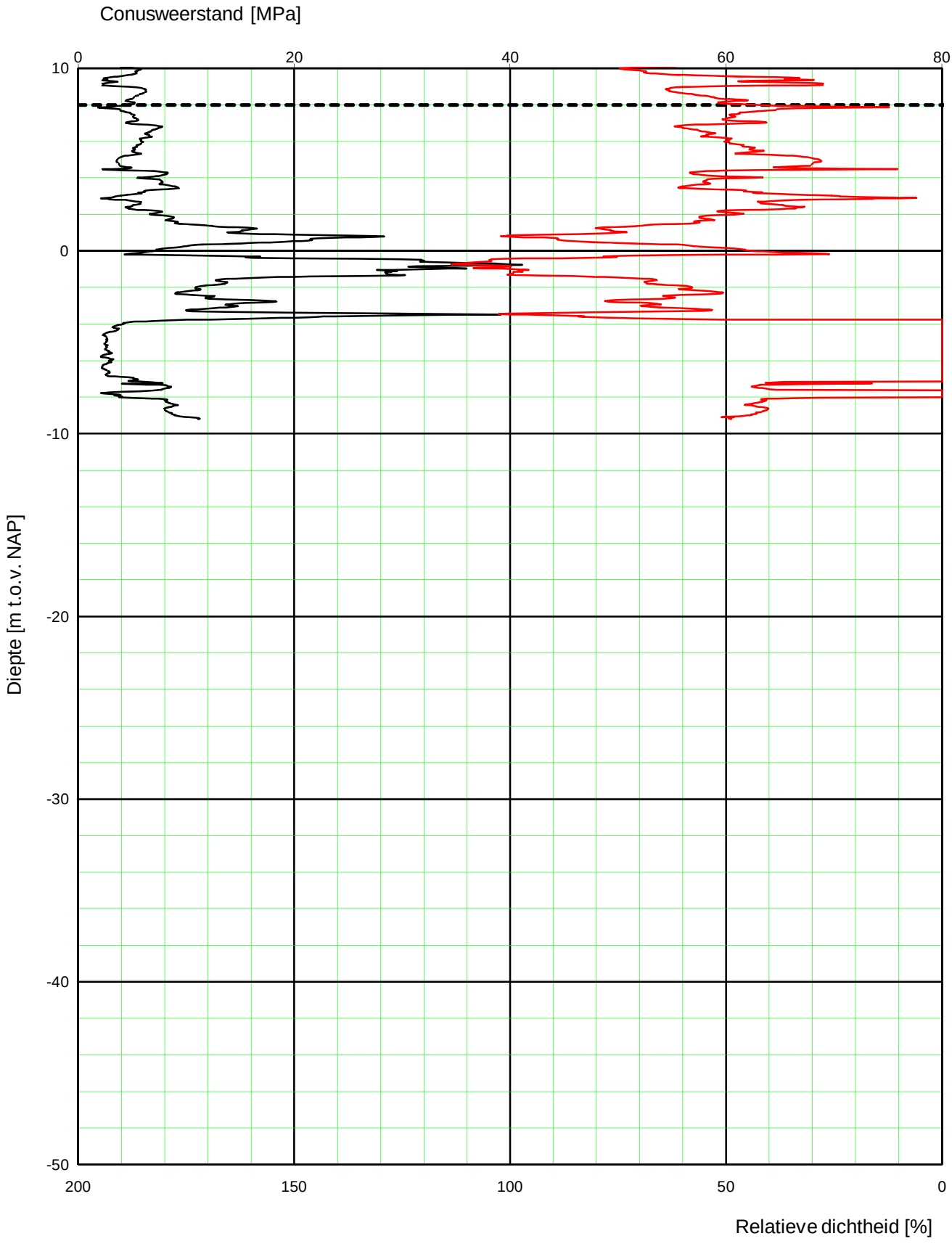
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM3

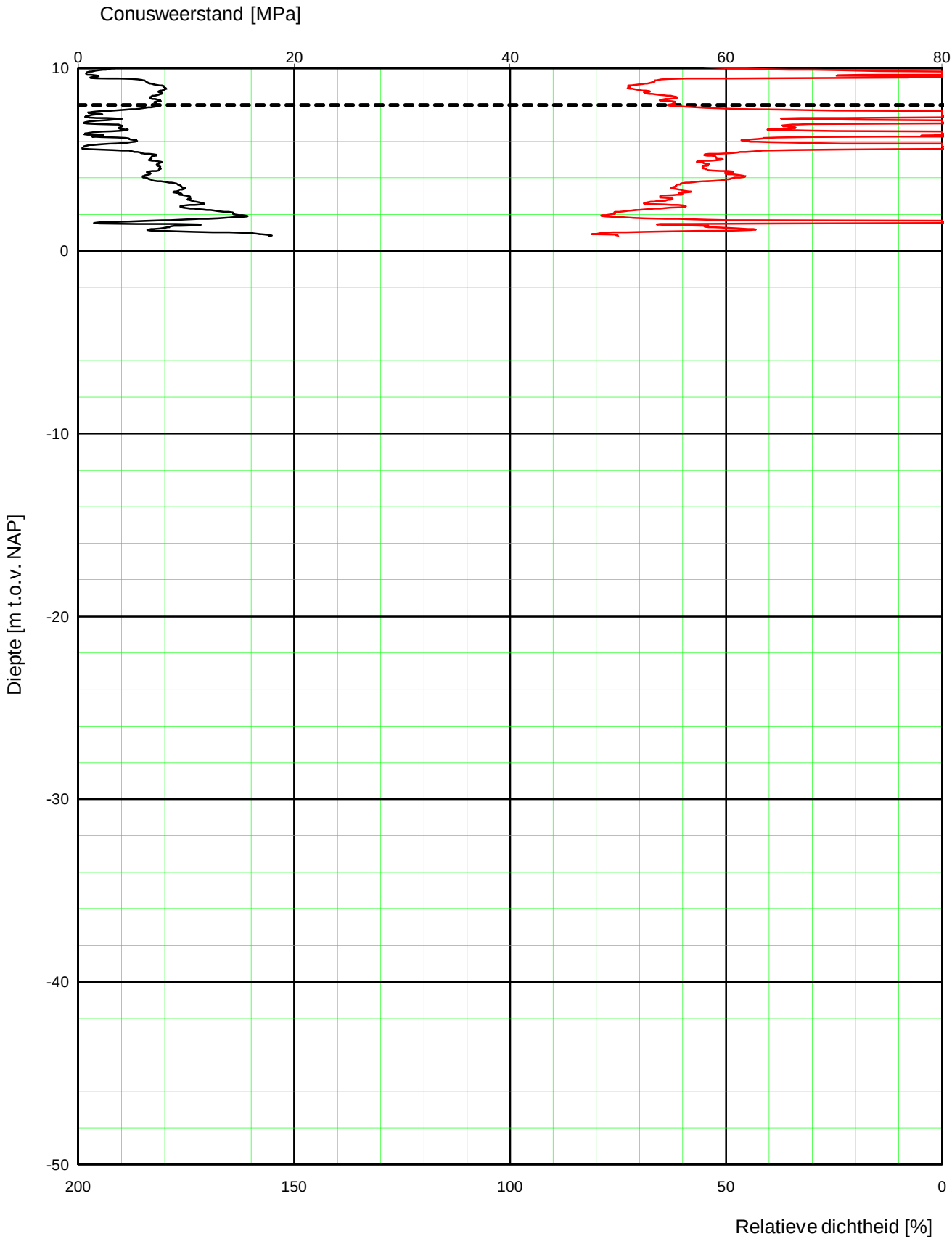
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM10

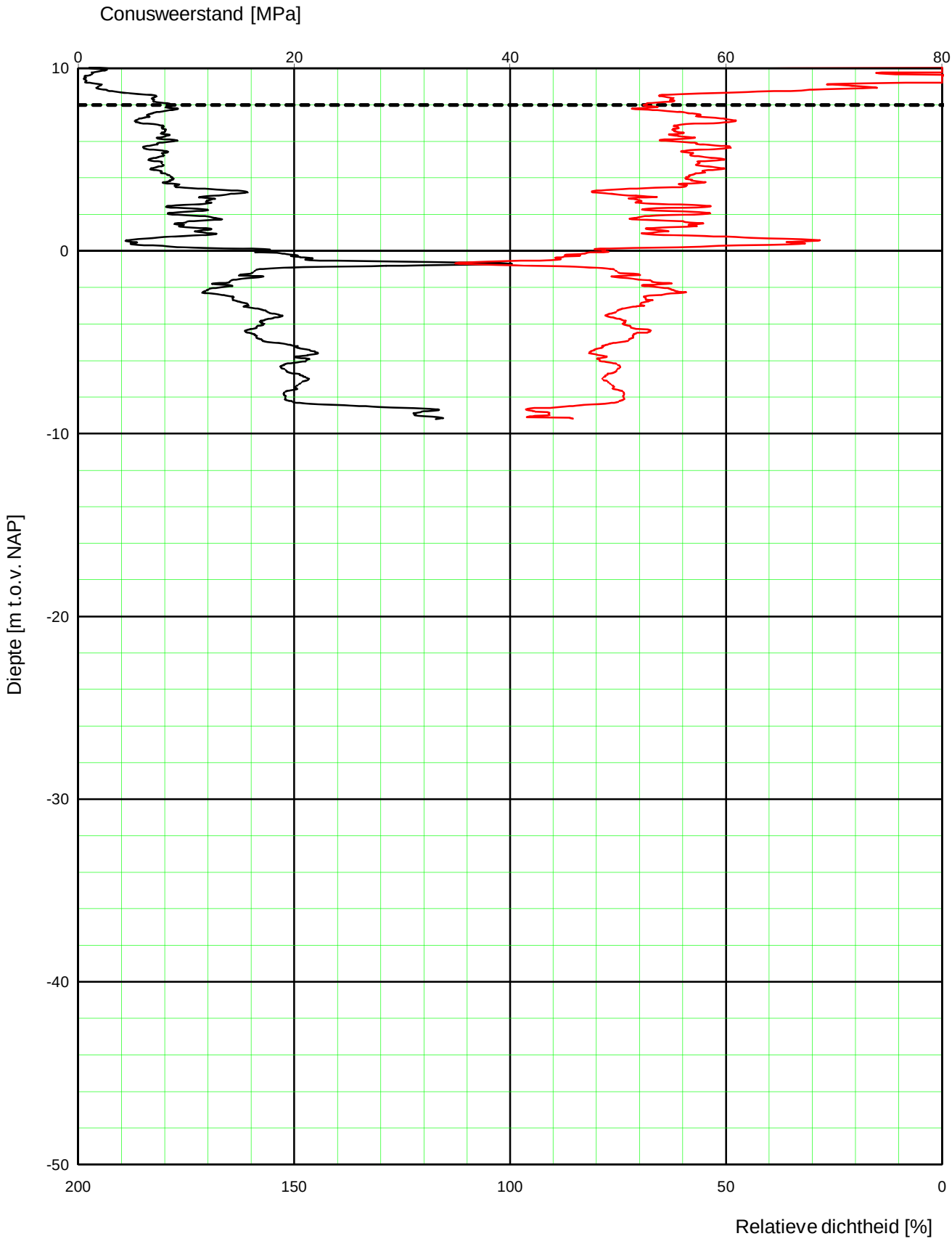
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM11

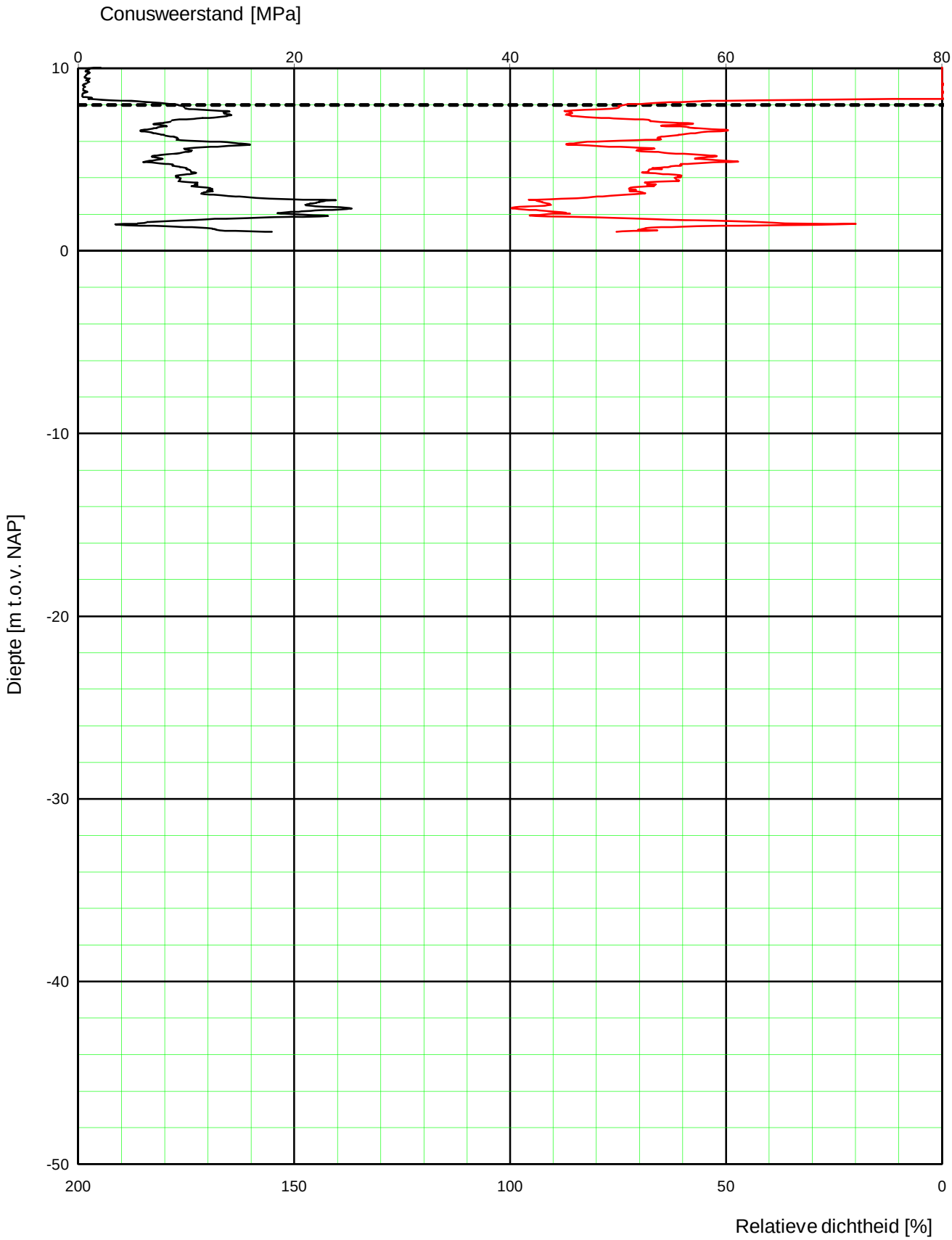
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM12

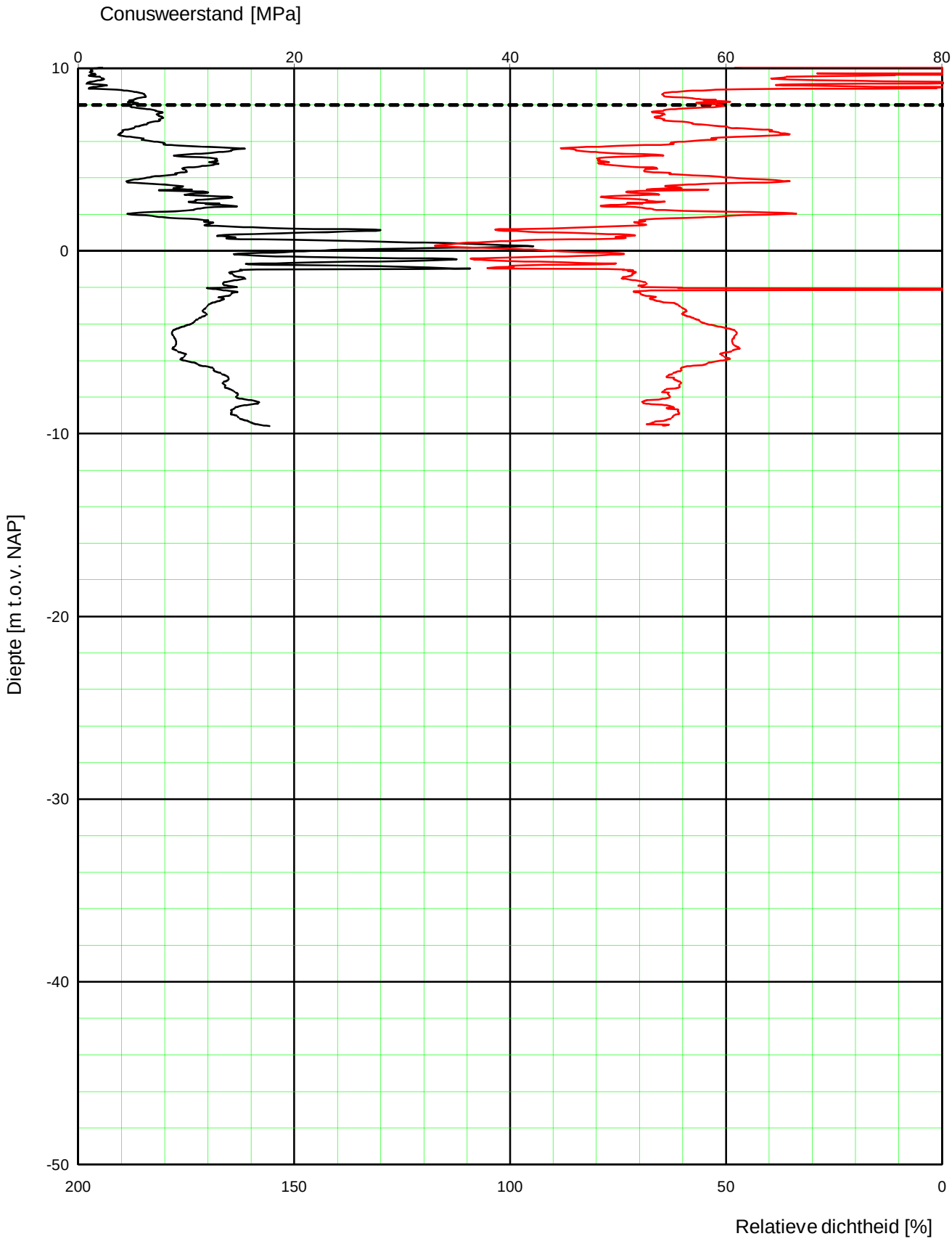
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM16

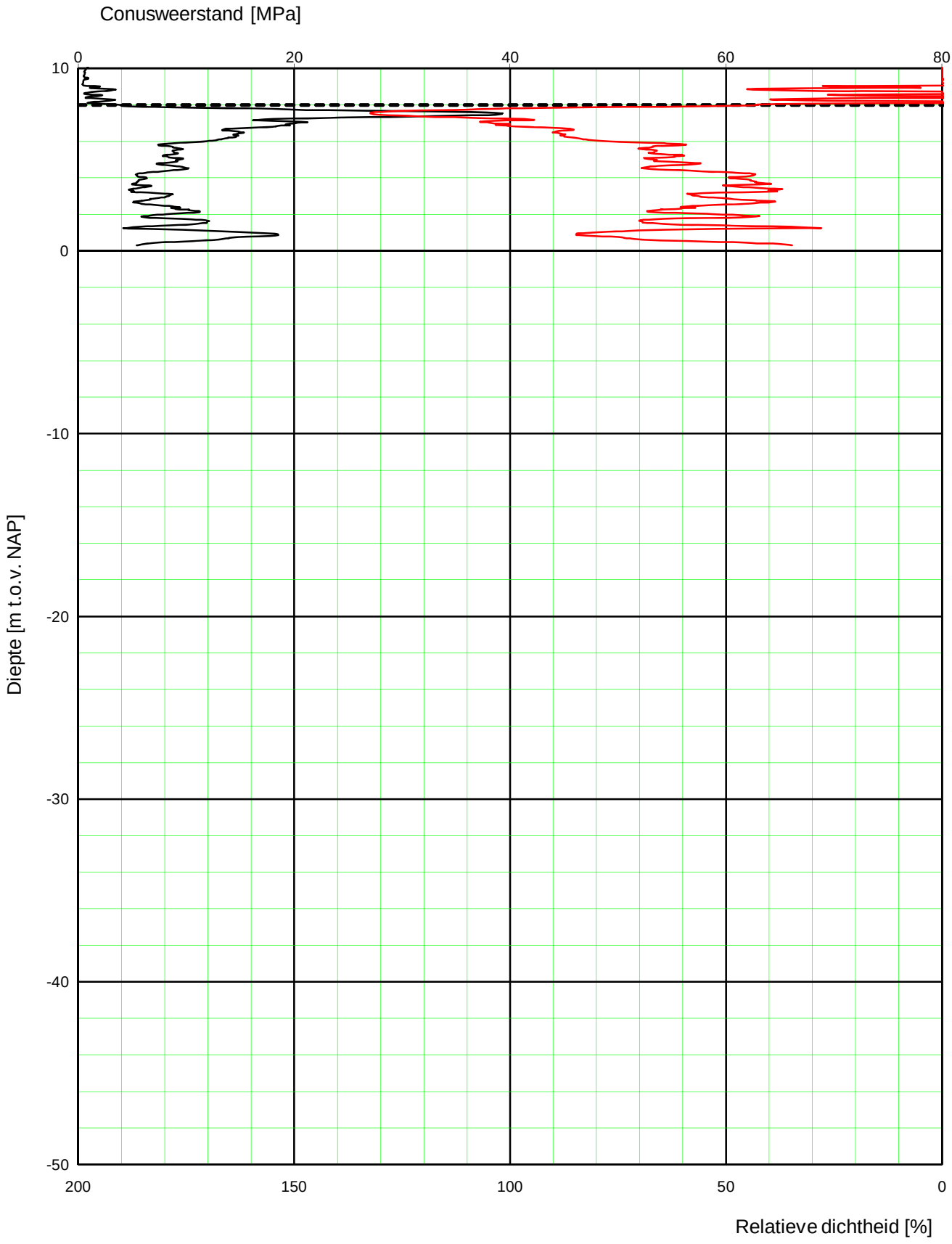
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM17

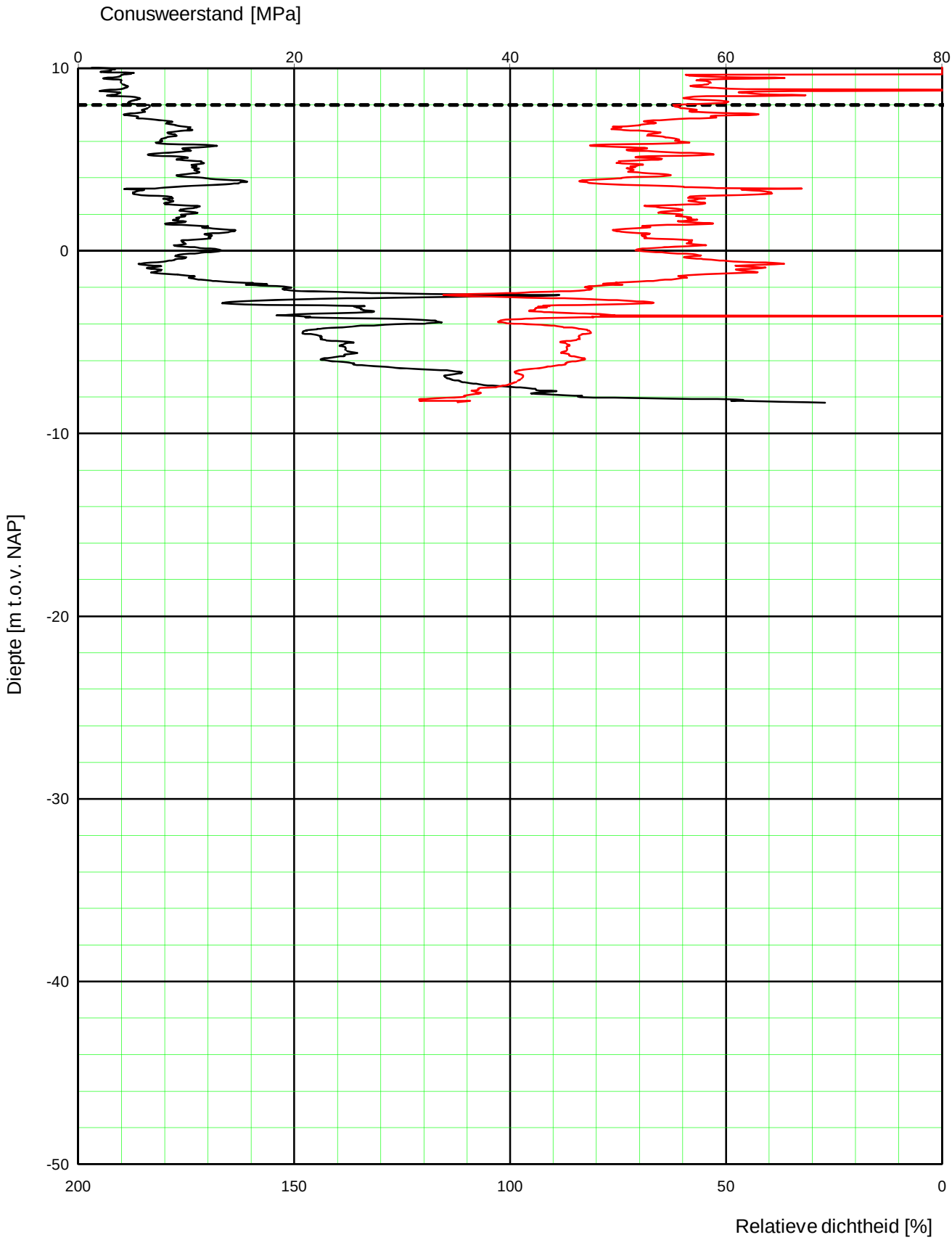
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM18

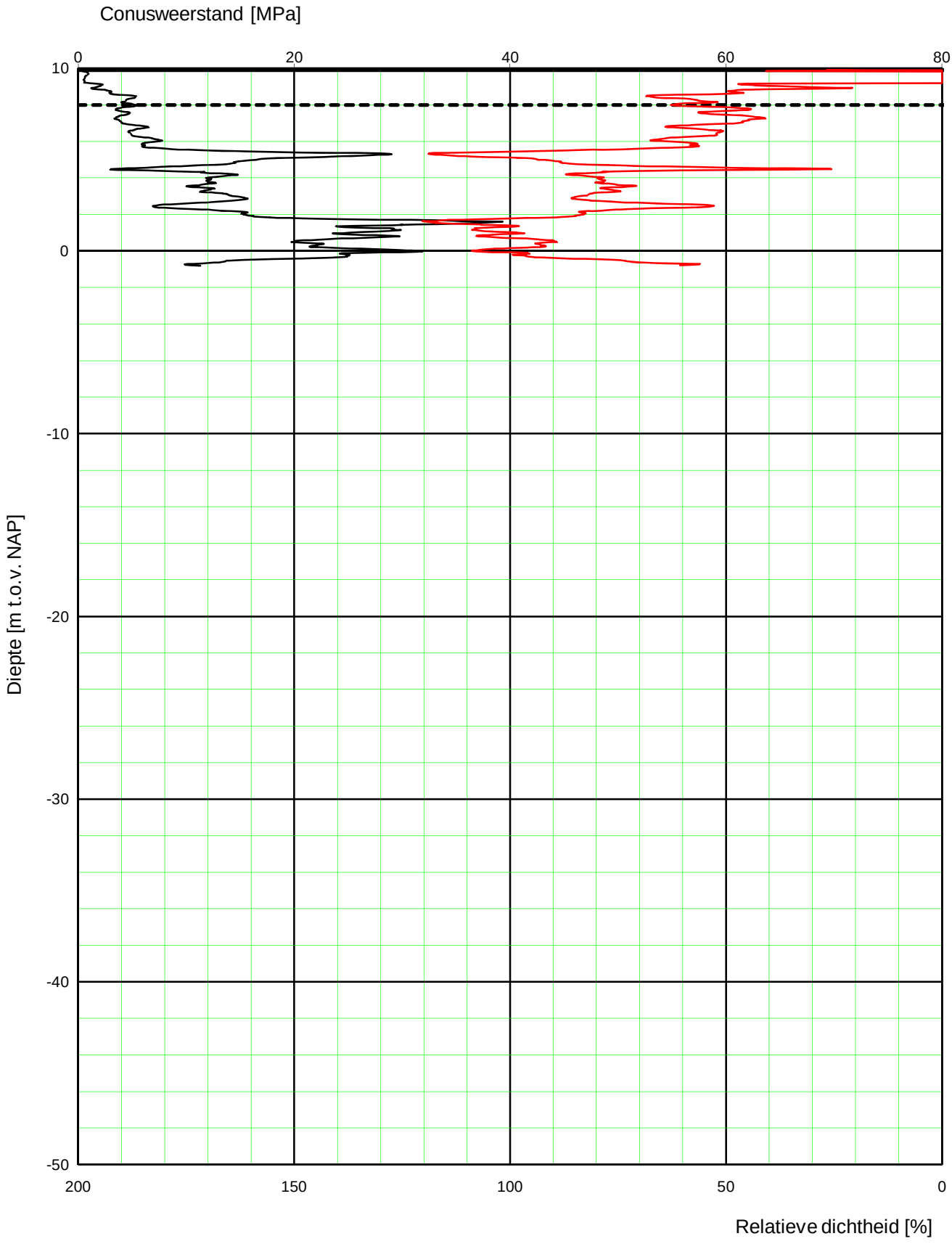
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM19

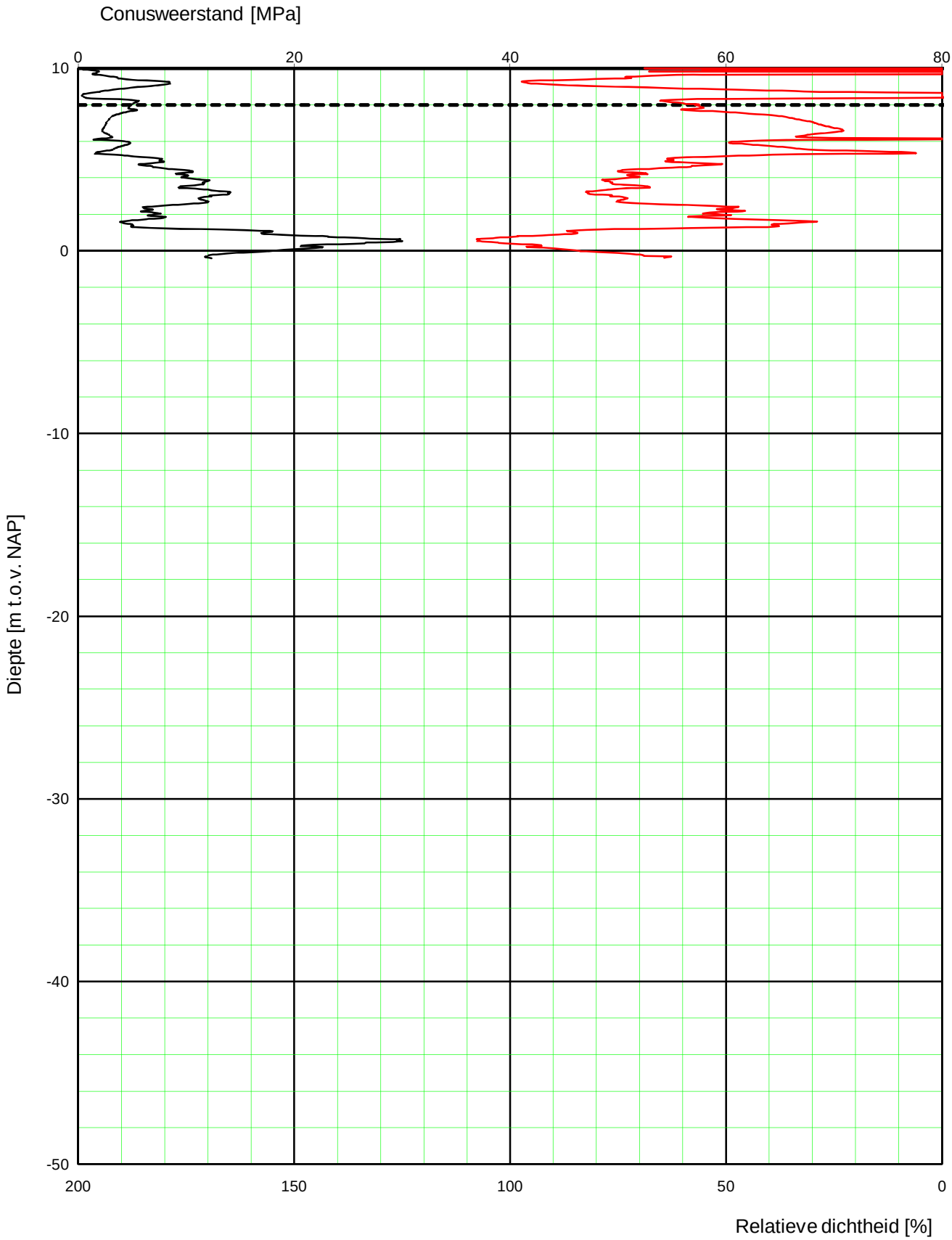
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM20

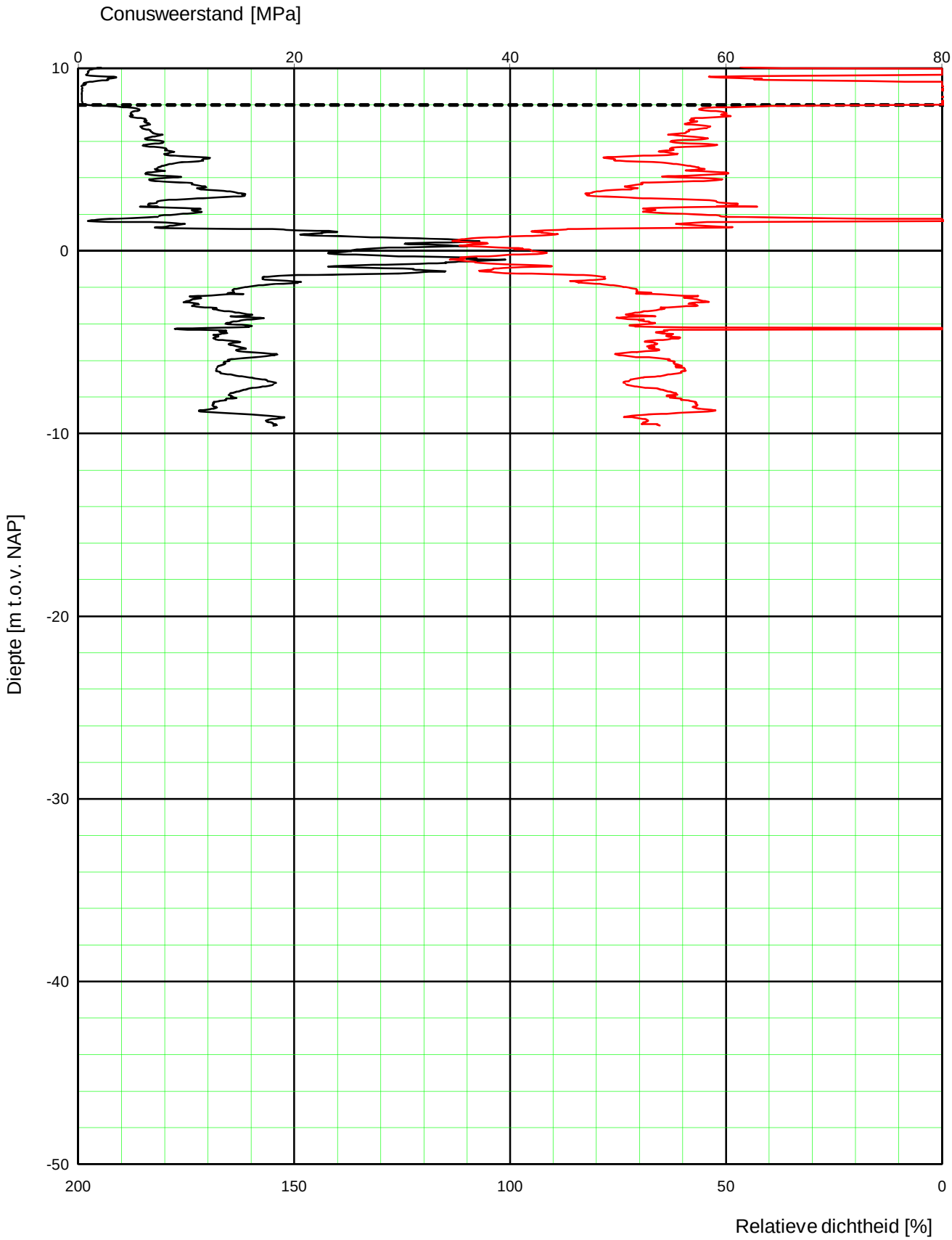
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM21

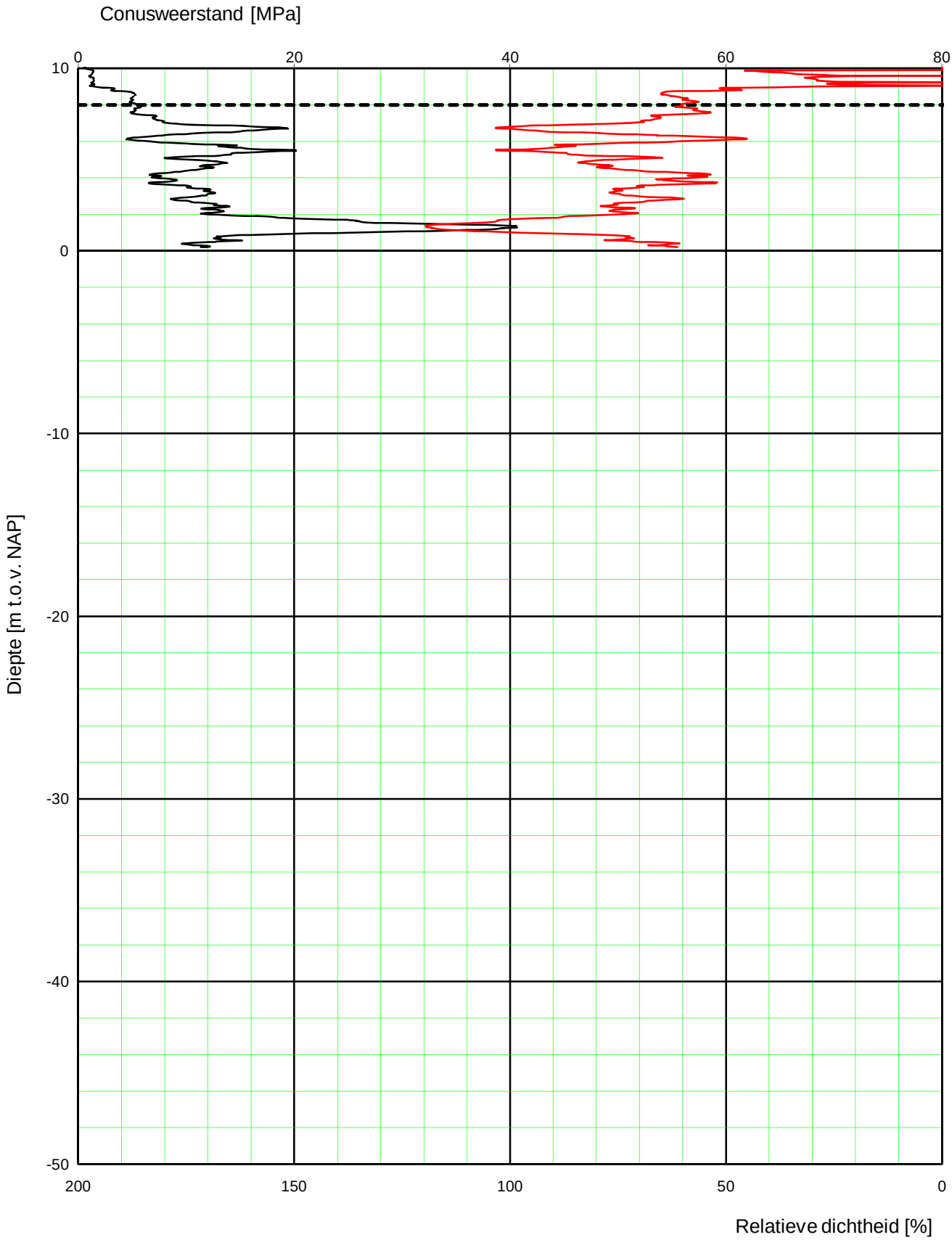
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM22

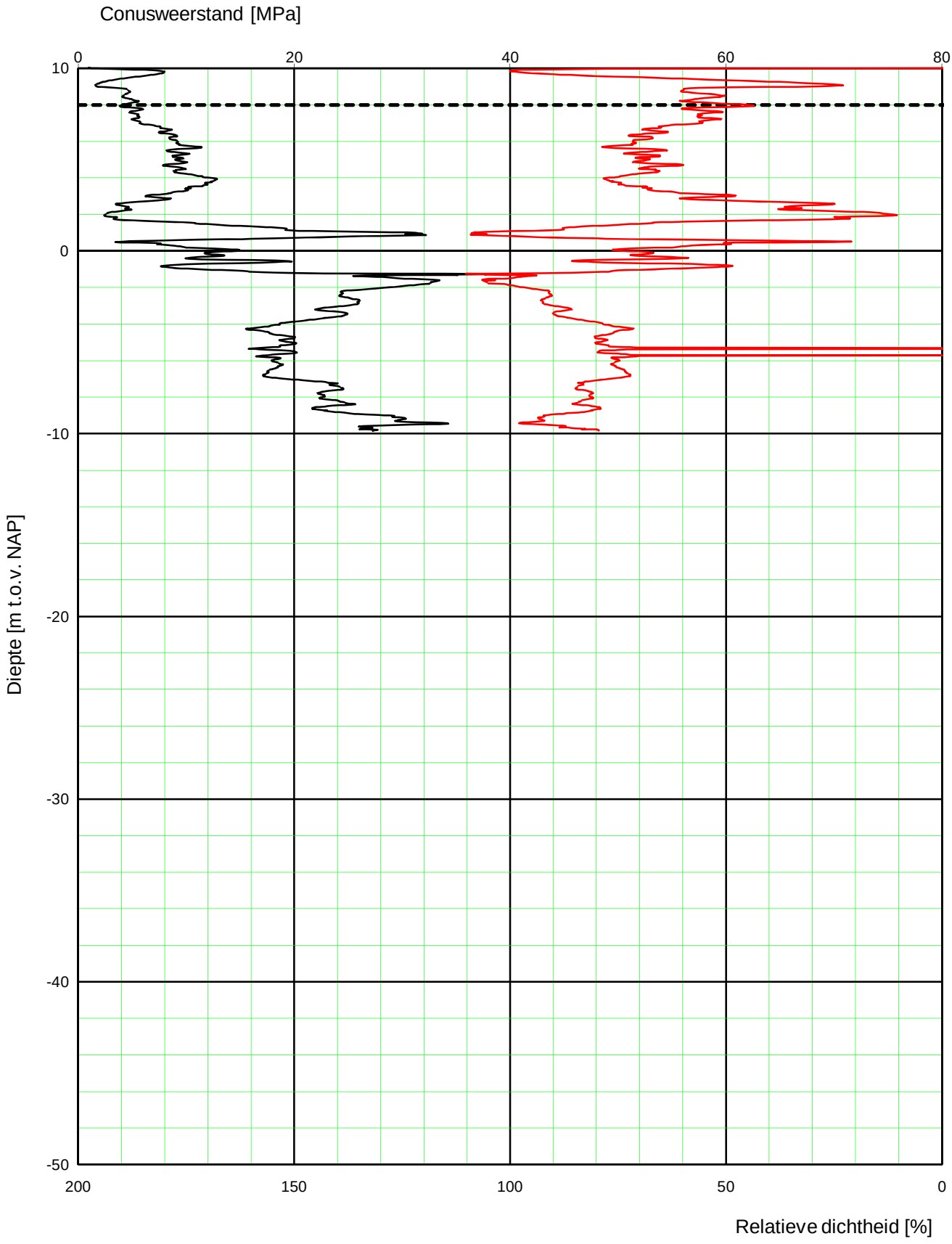
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM23

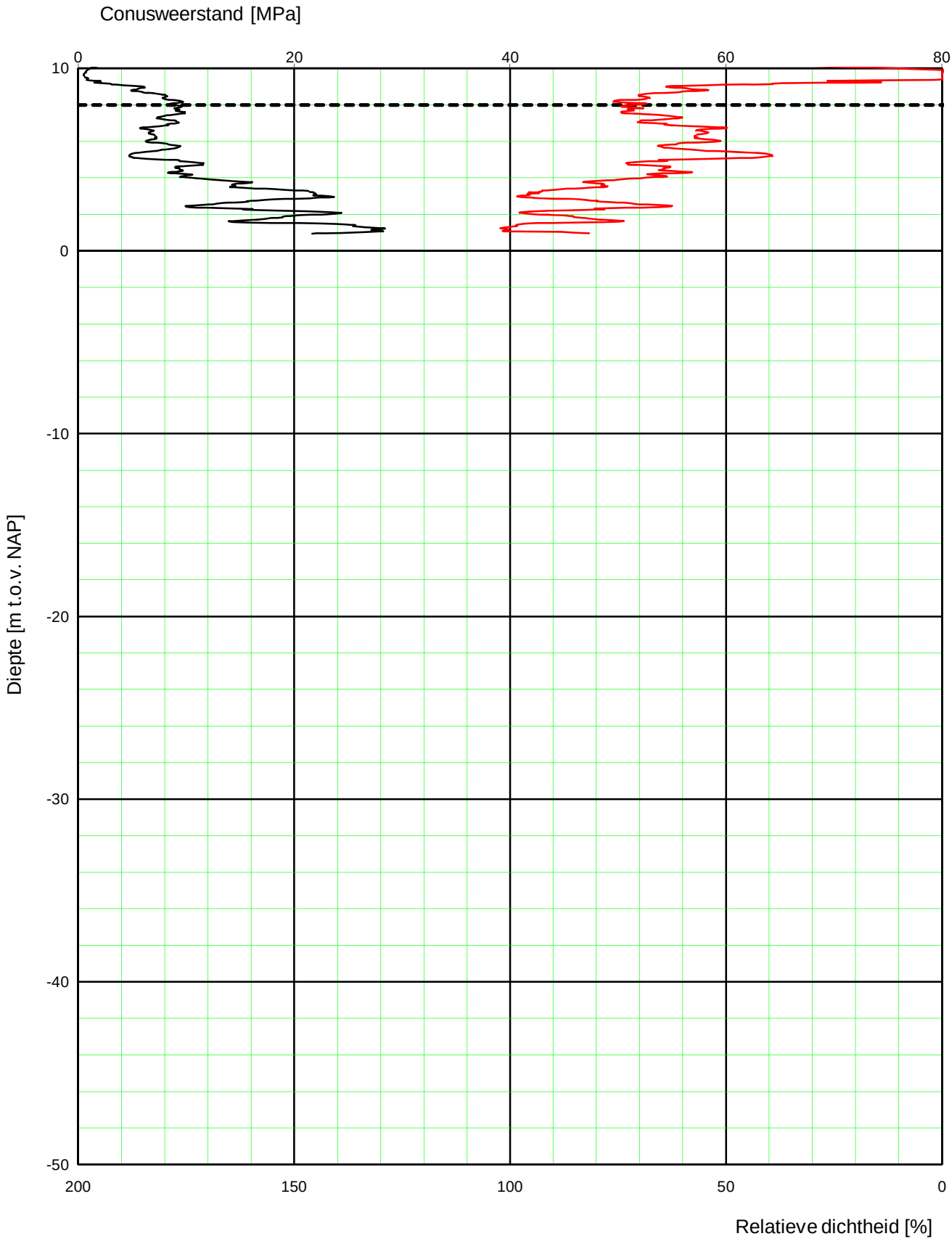
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM24

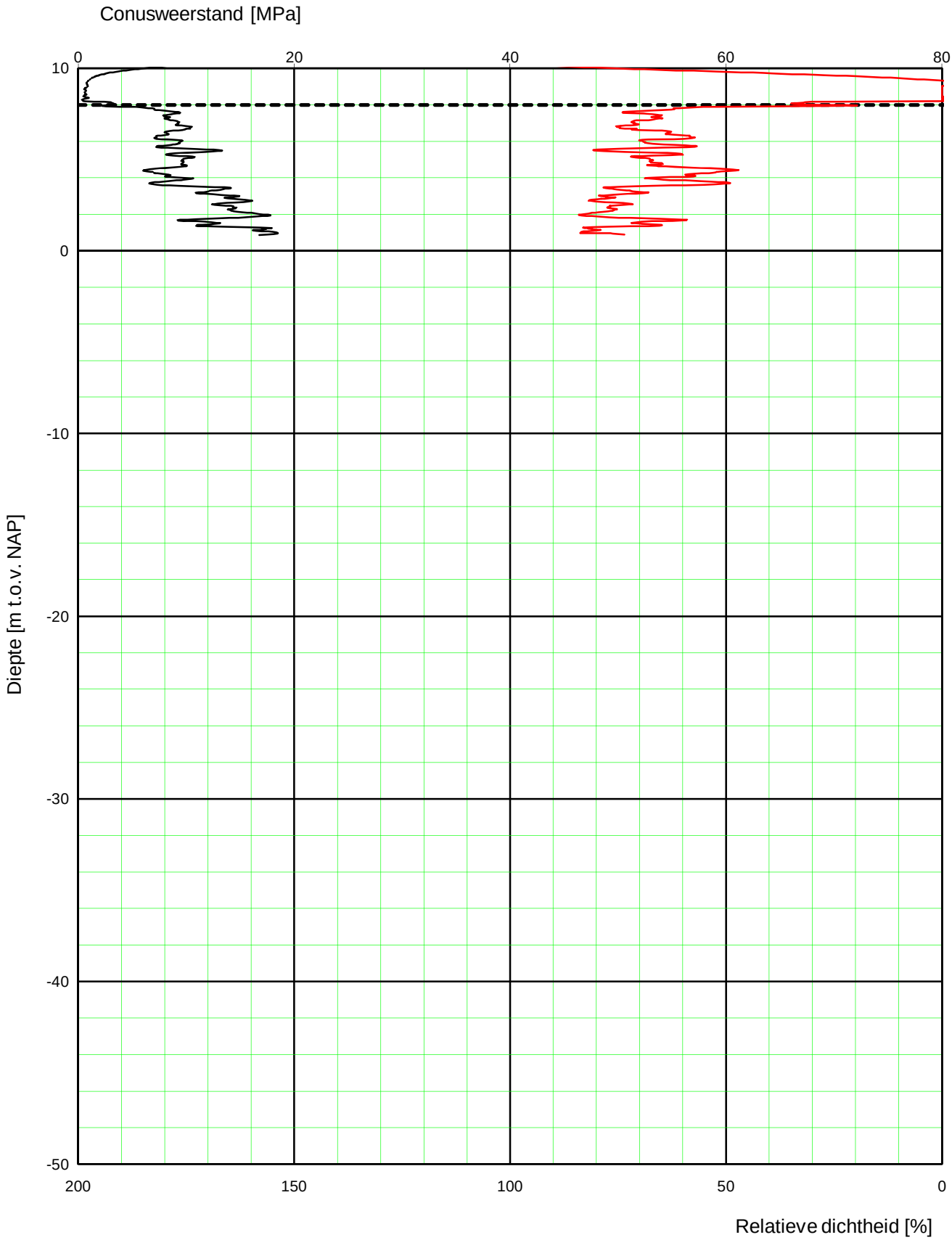
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM25

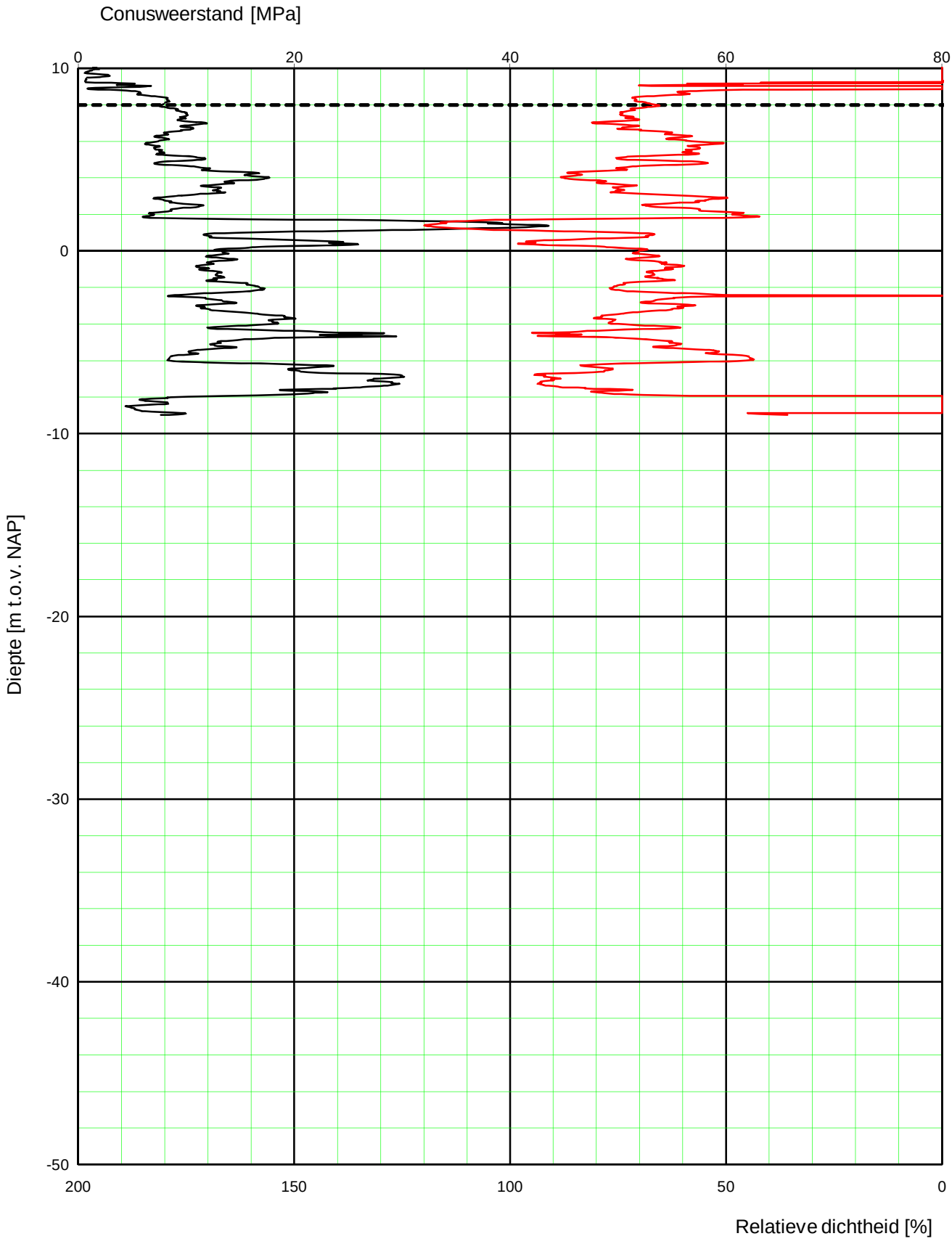
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM26

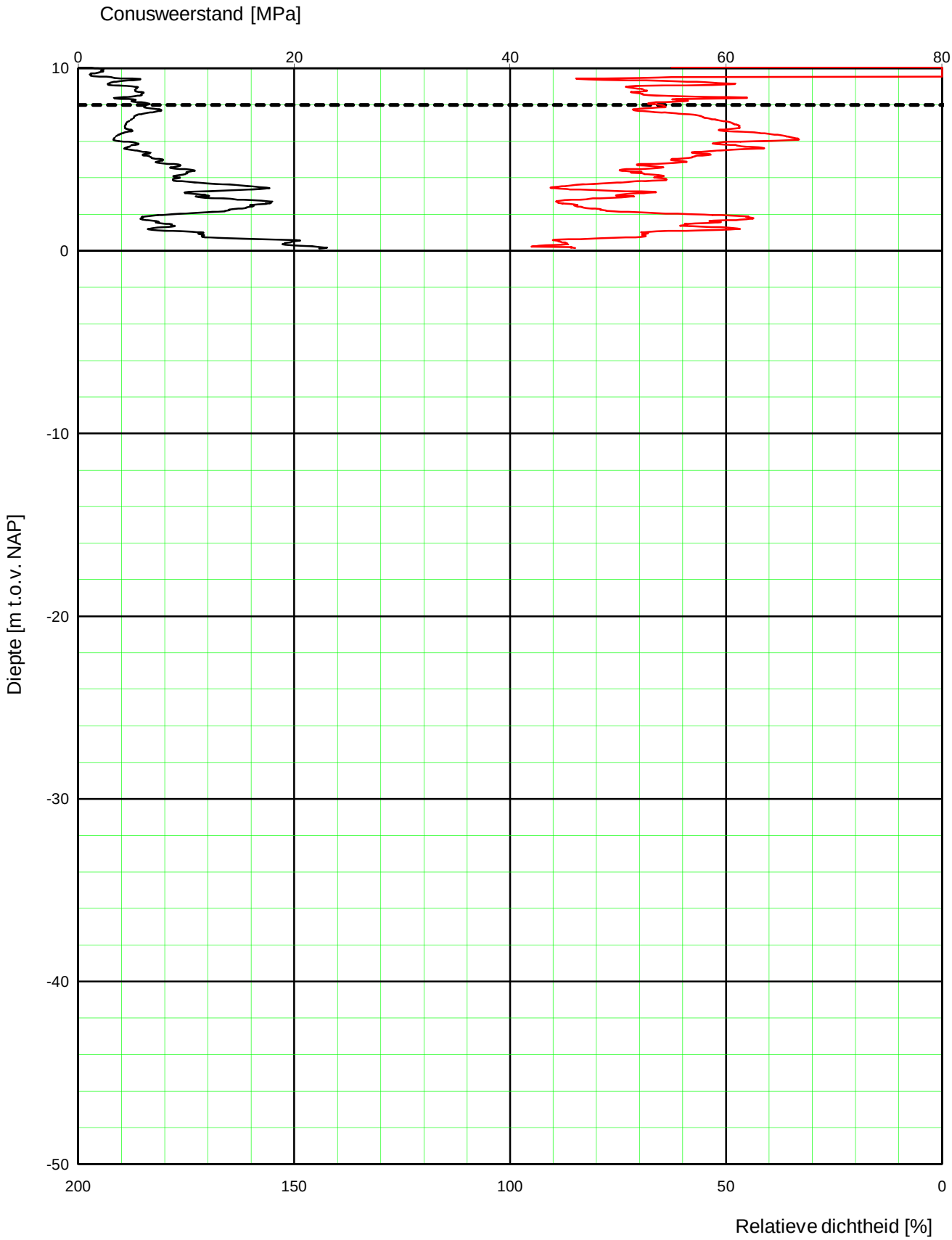
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM28

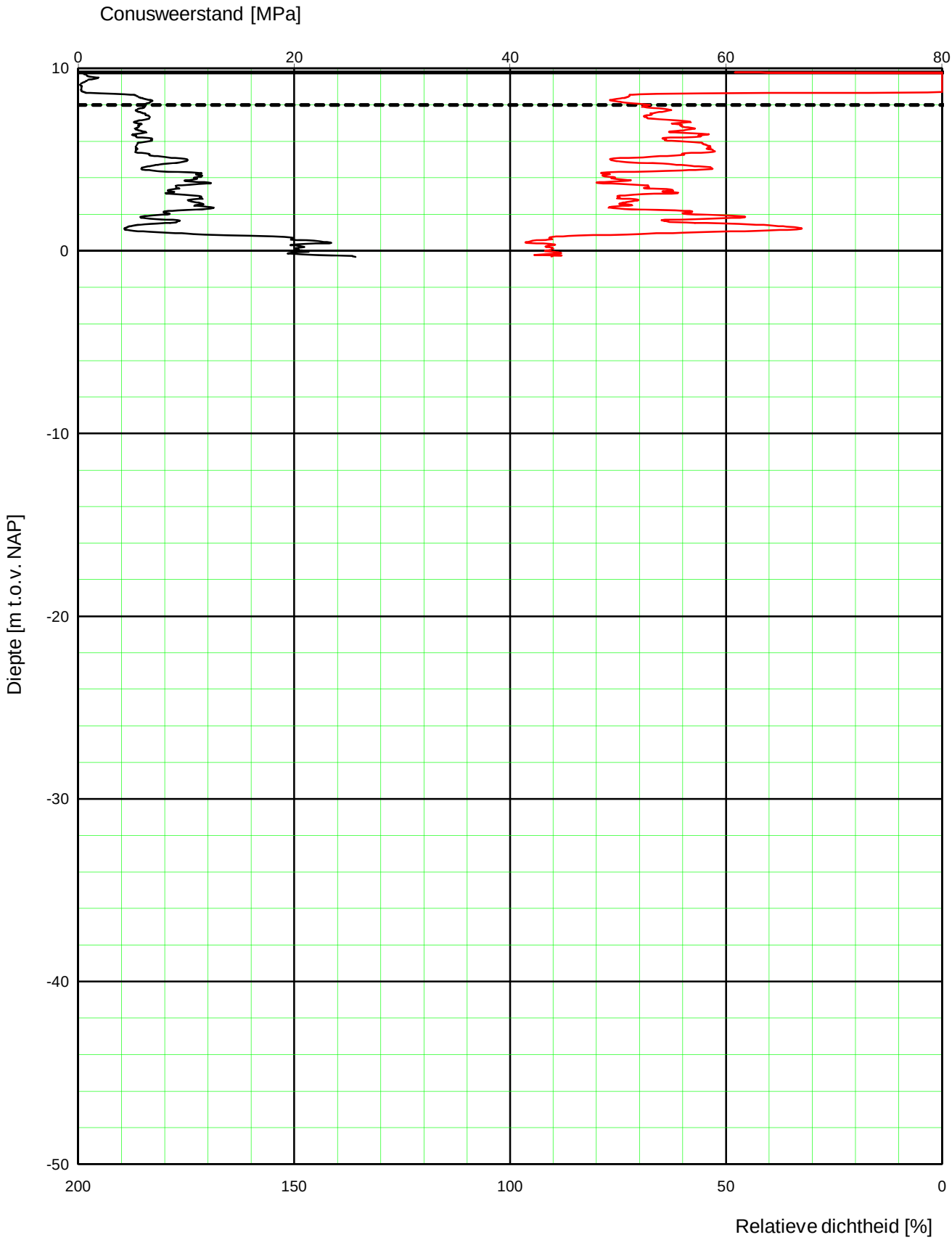
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM37

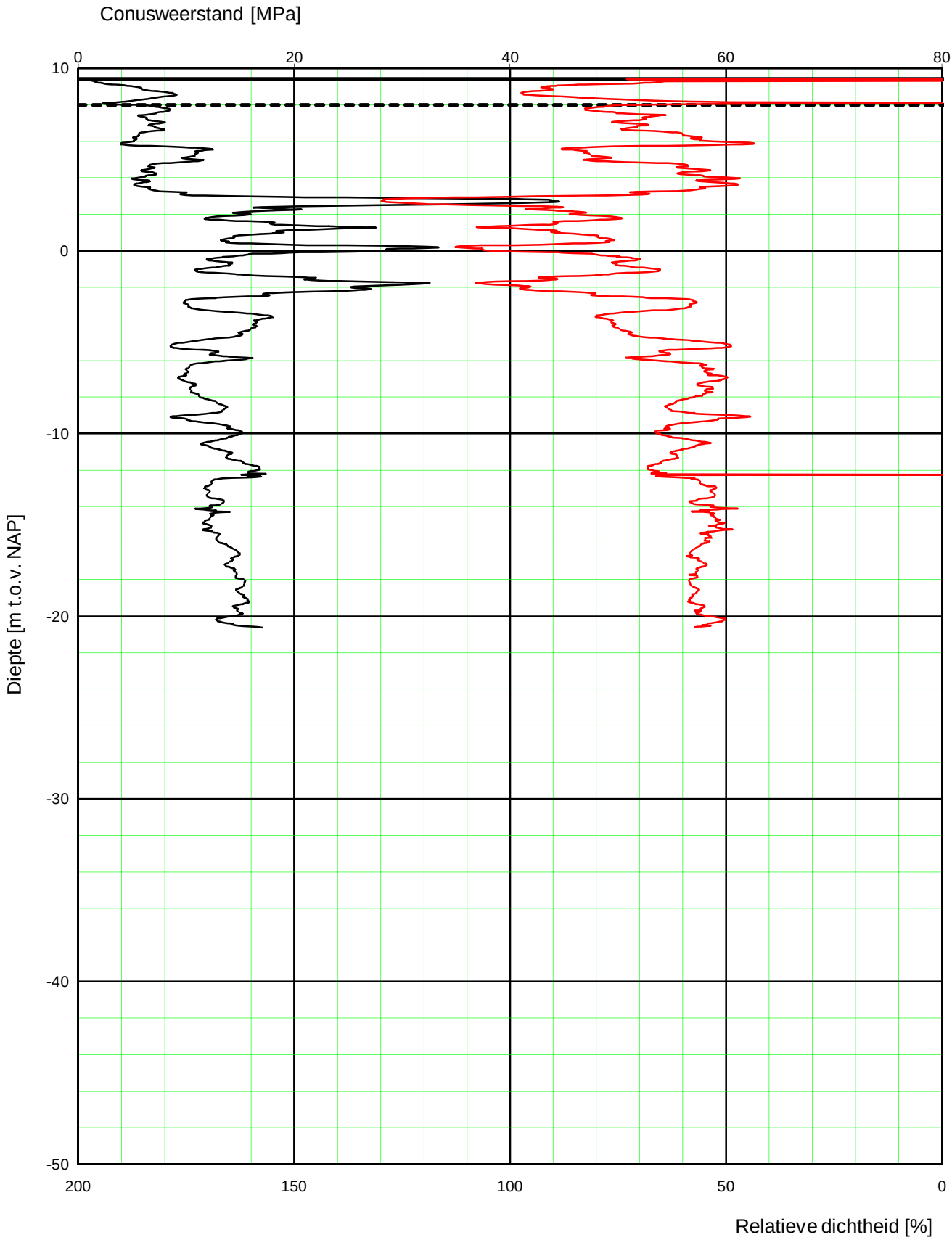
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM38

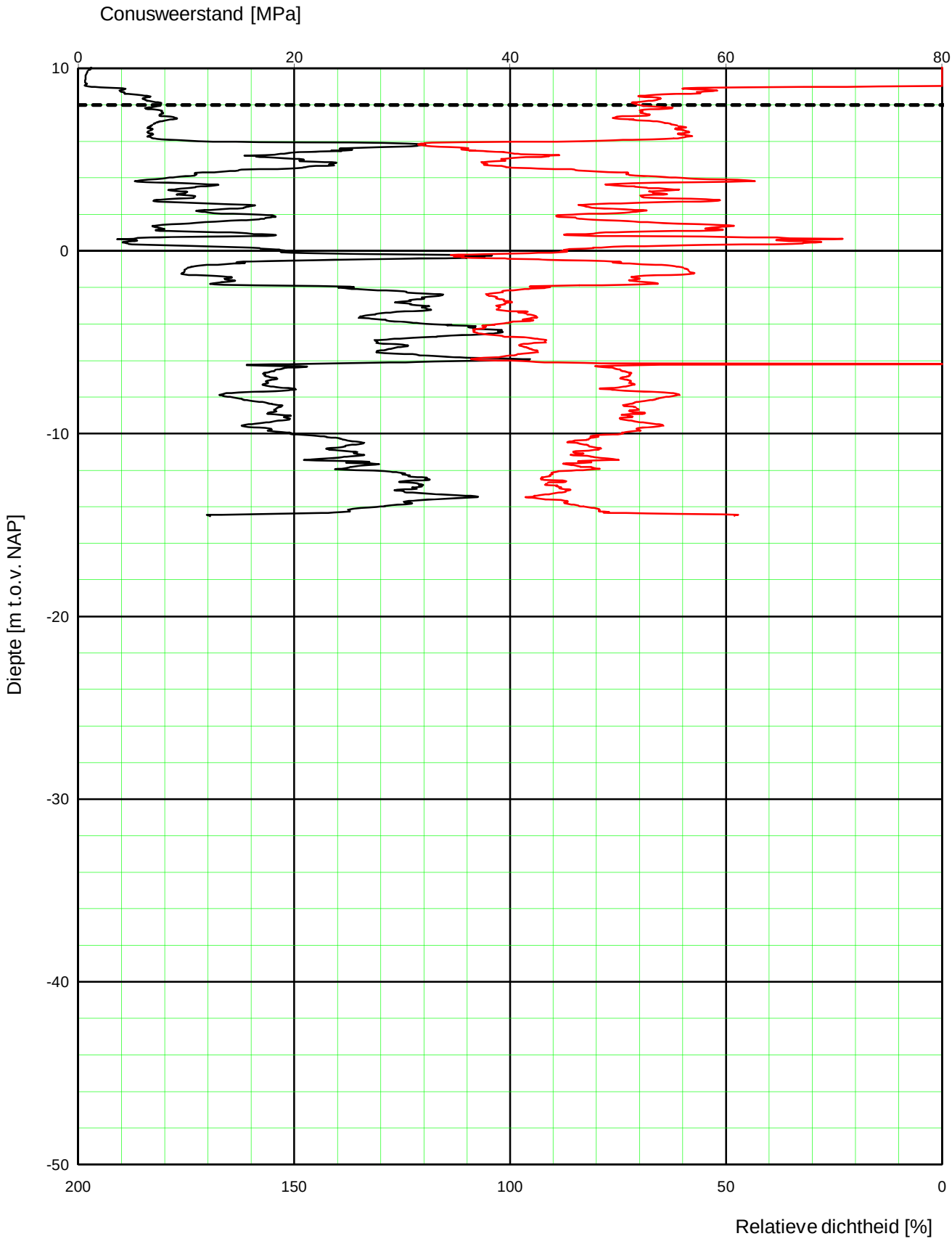
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM101A

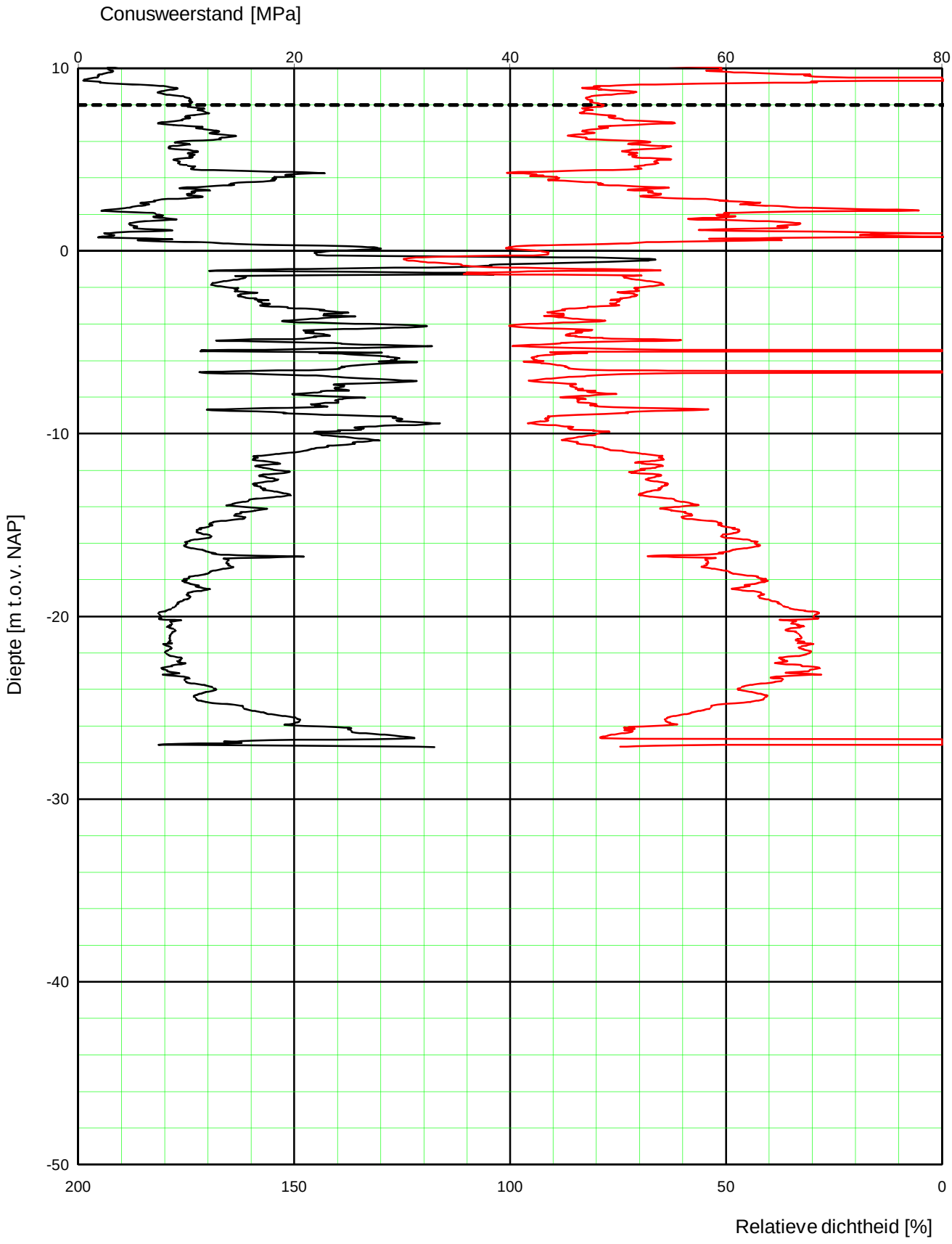
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM102

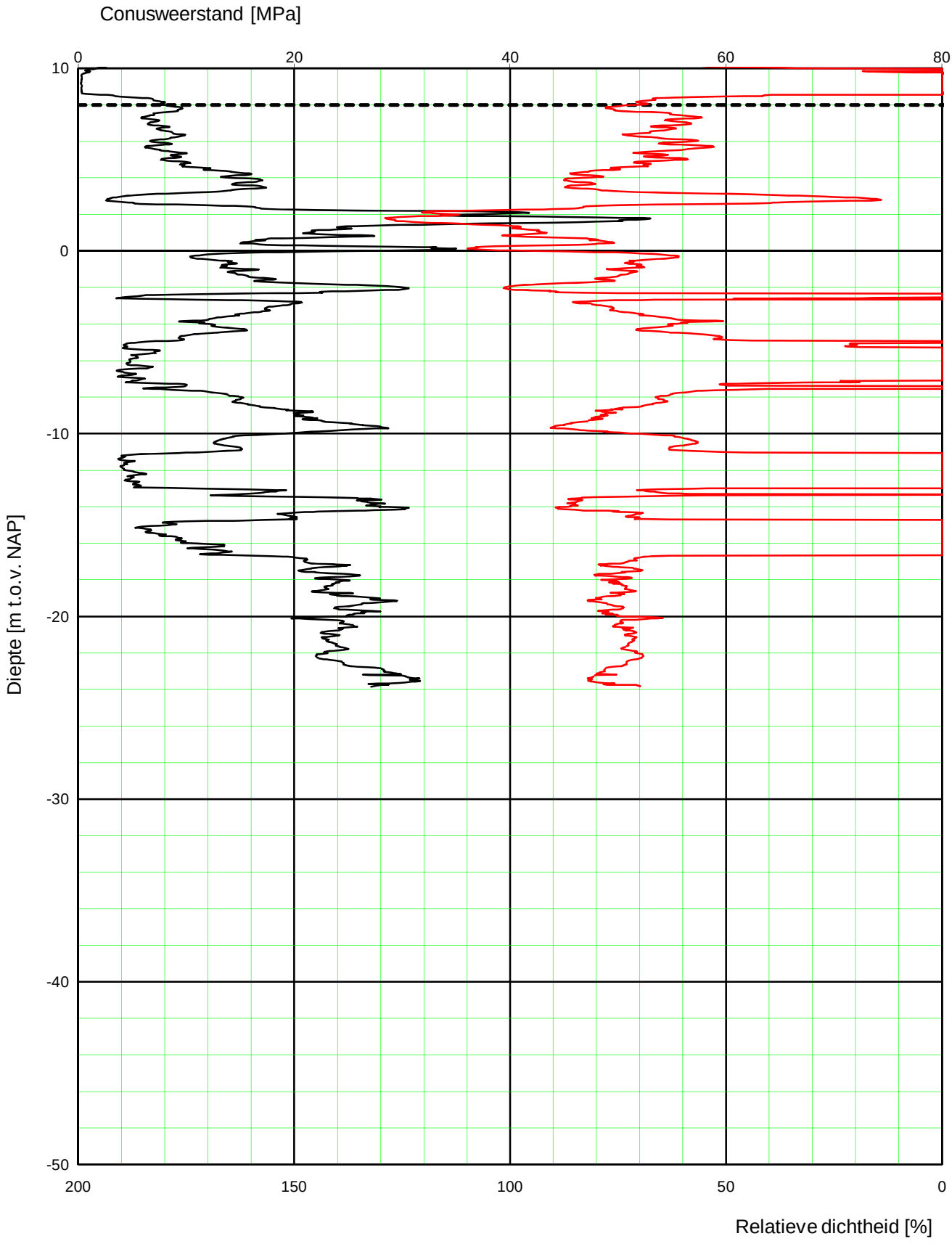
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM103

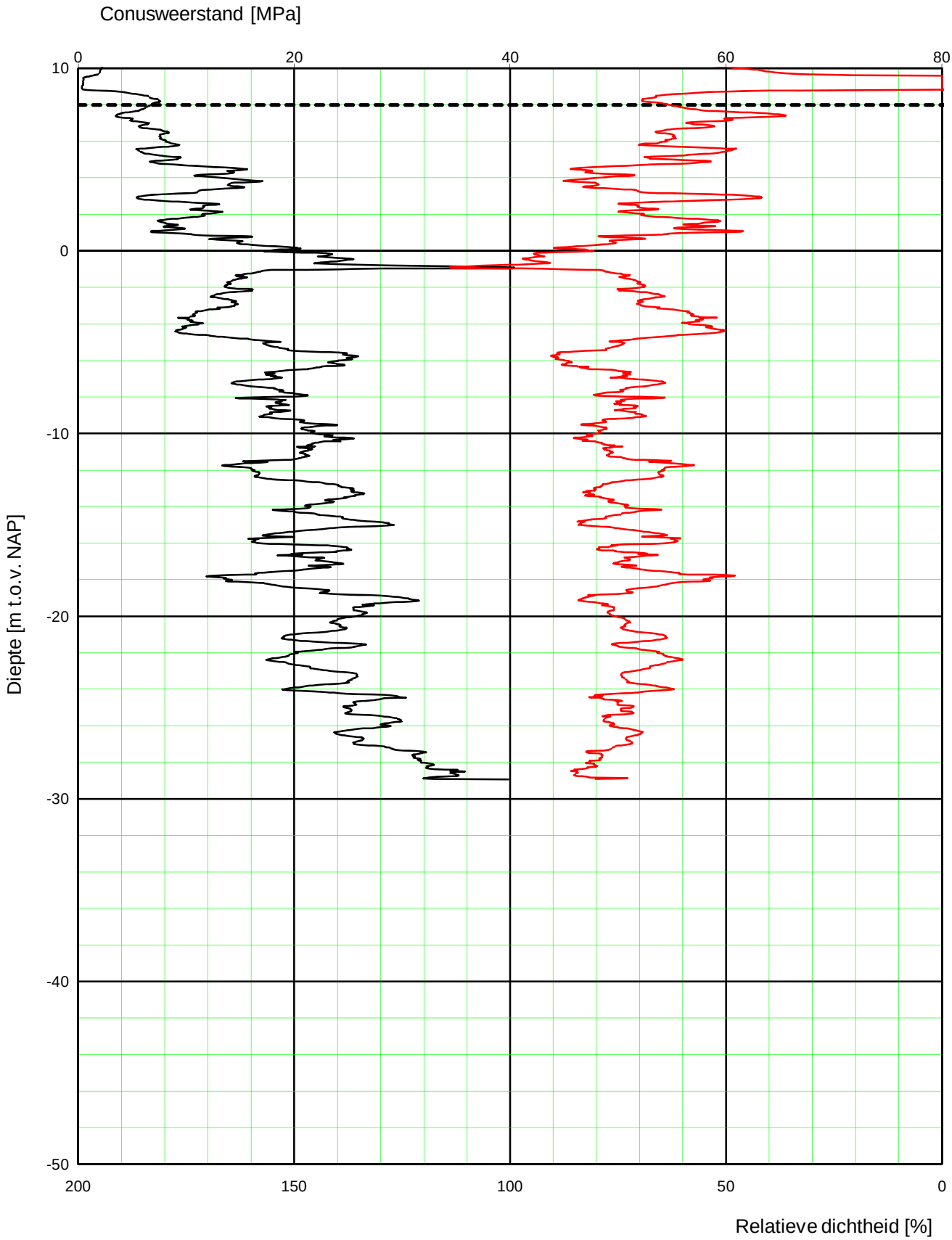
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM104

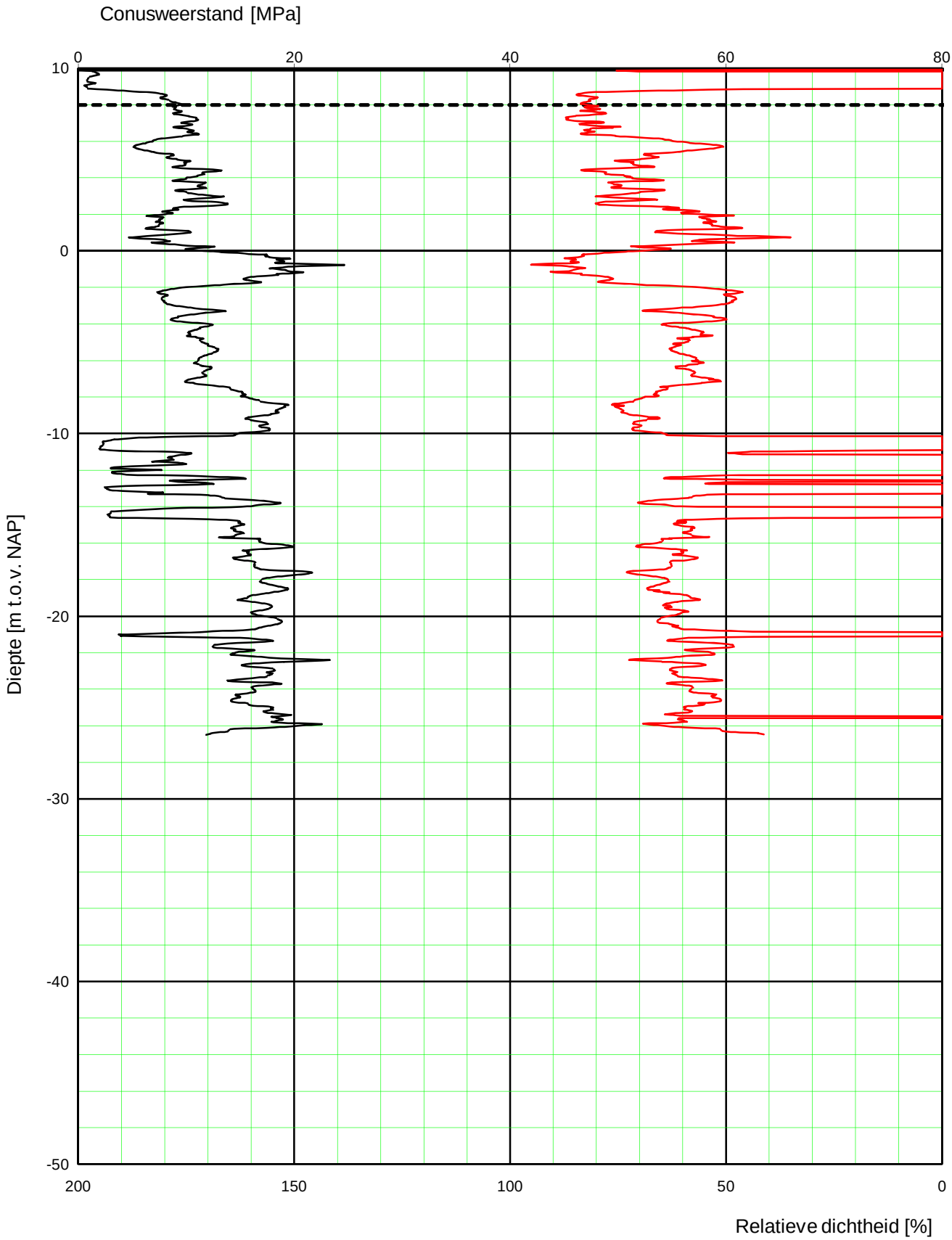
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM105

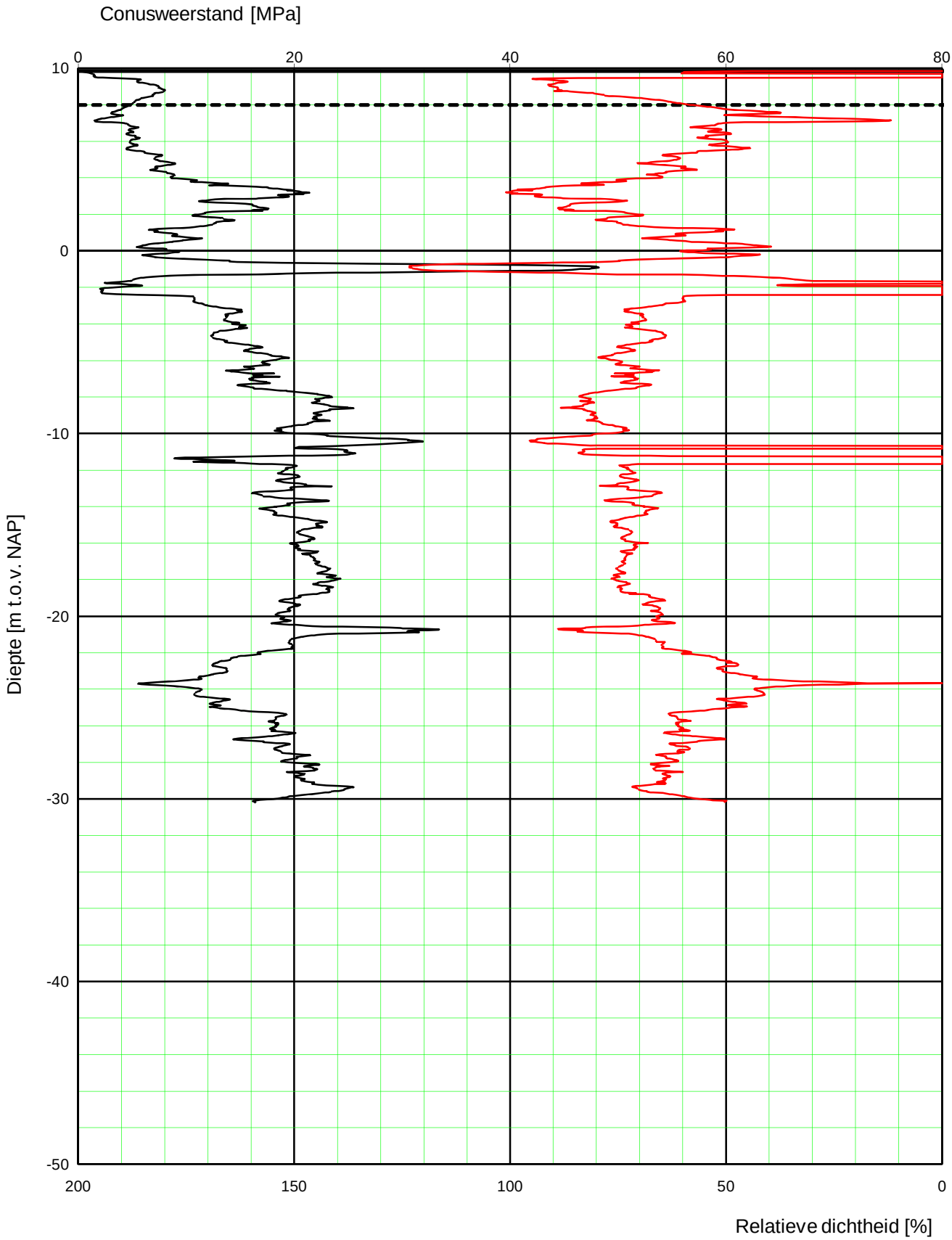
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM106

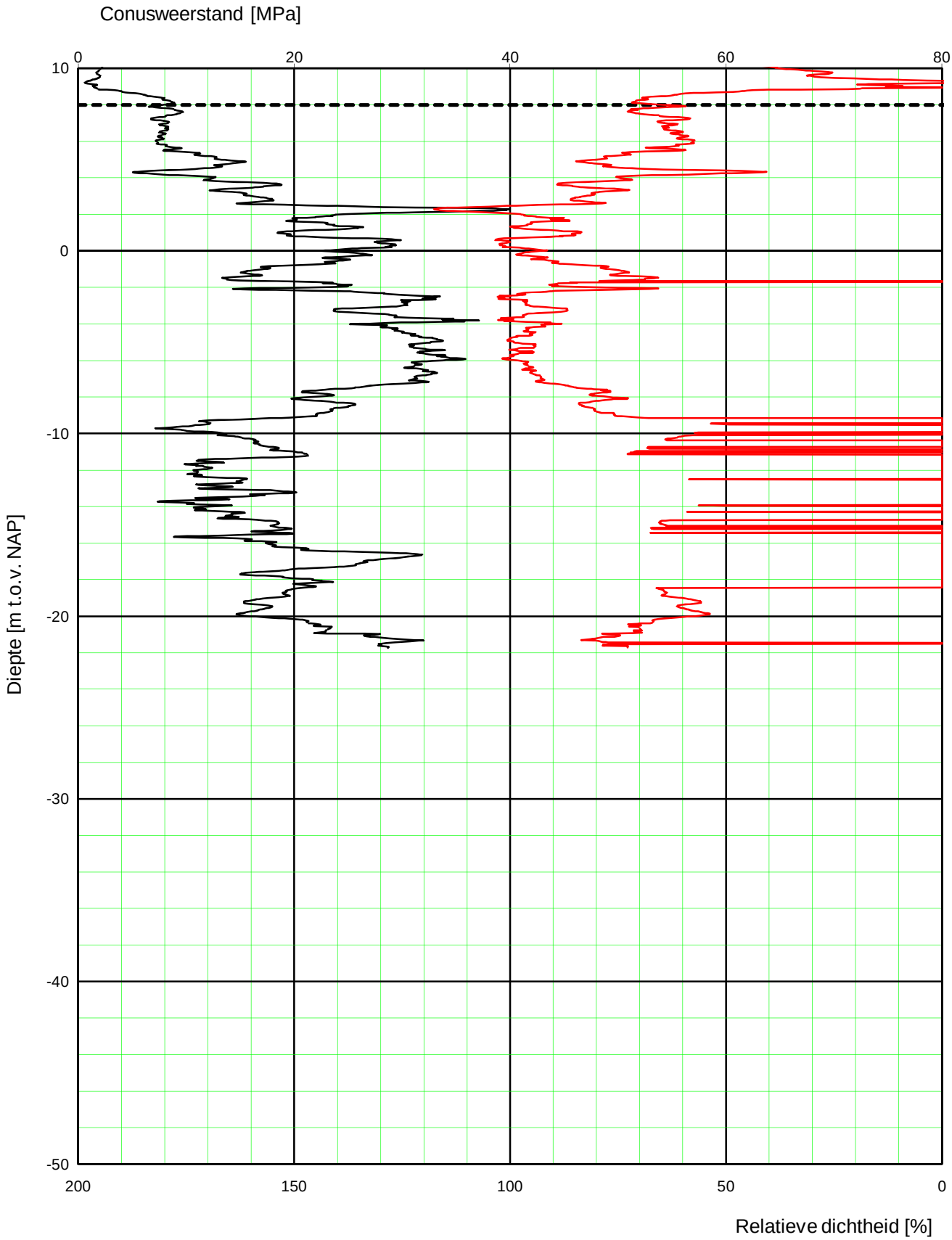
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM107

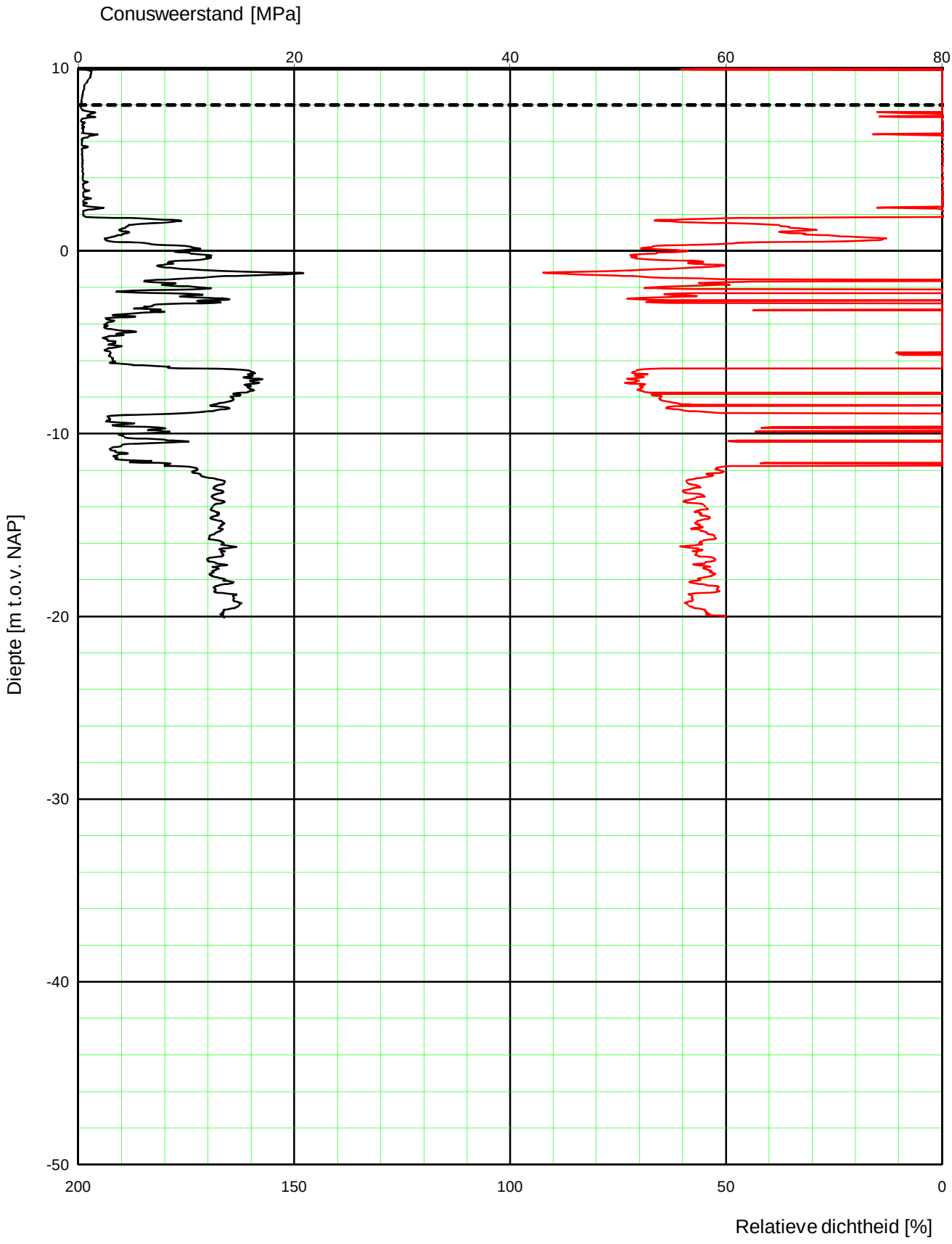
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM207

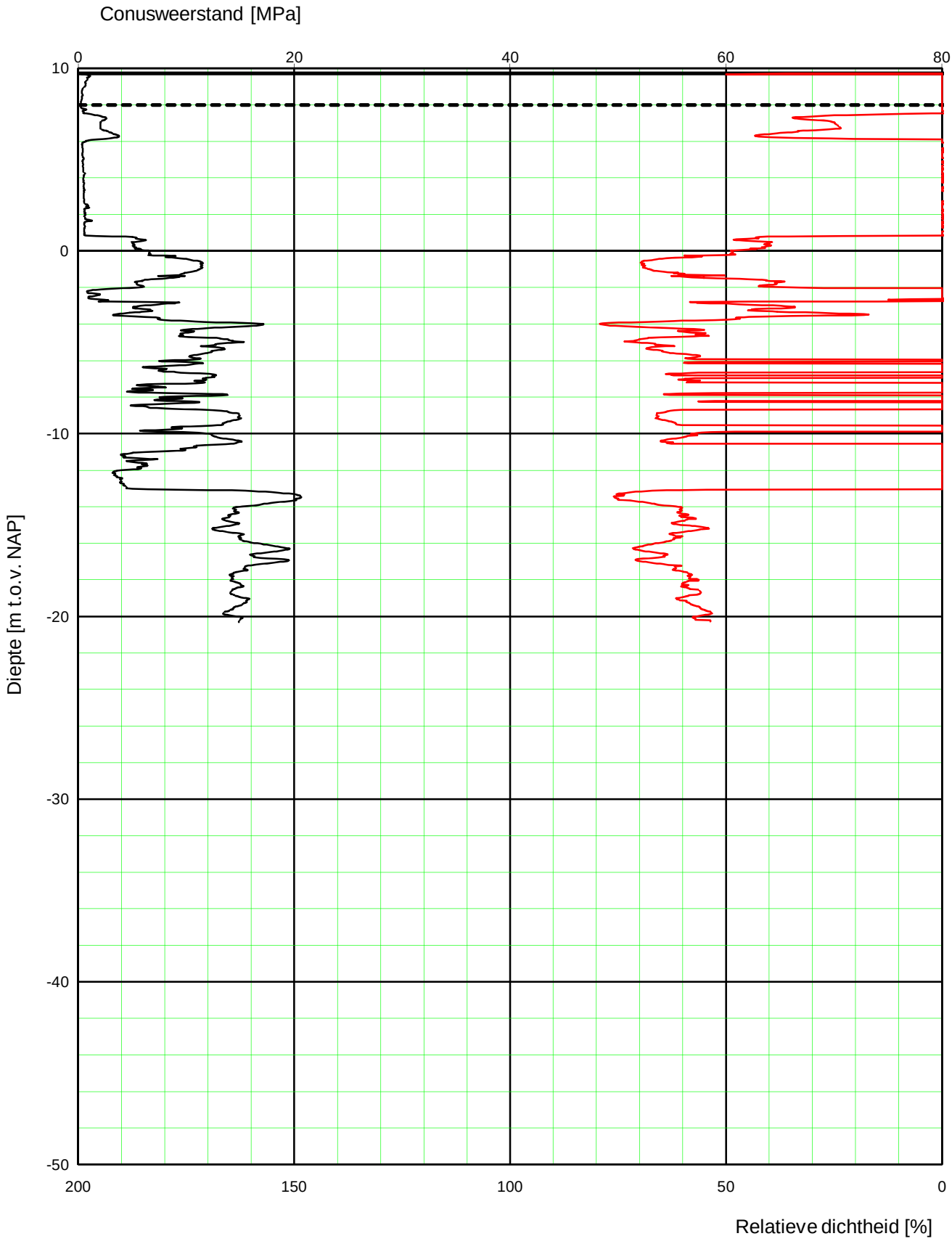
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM208

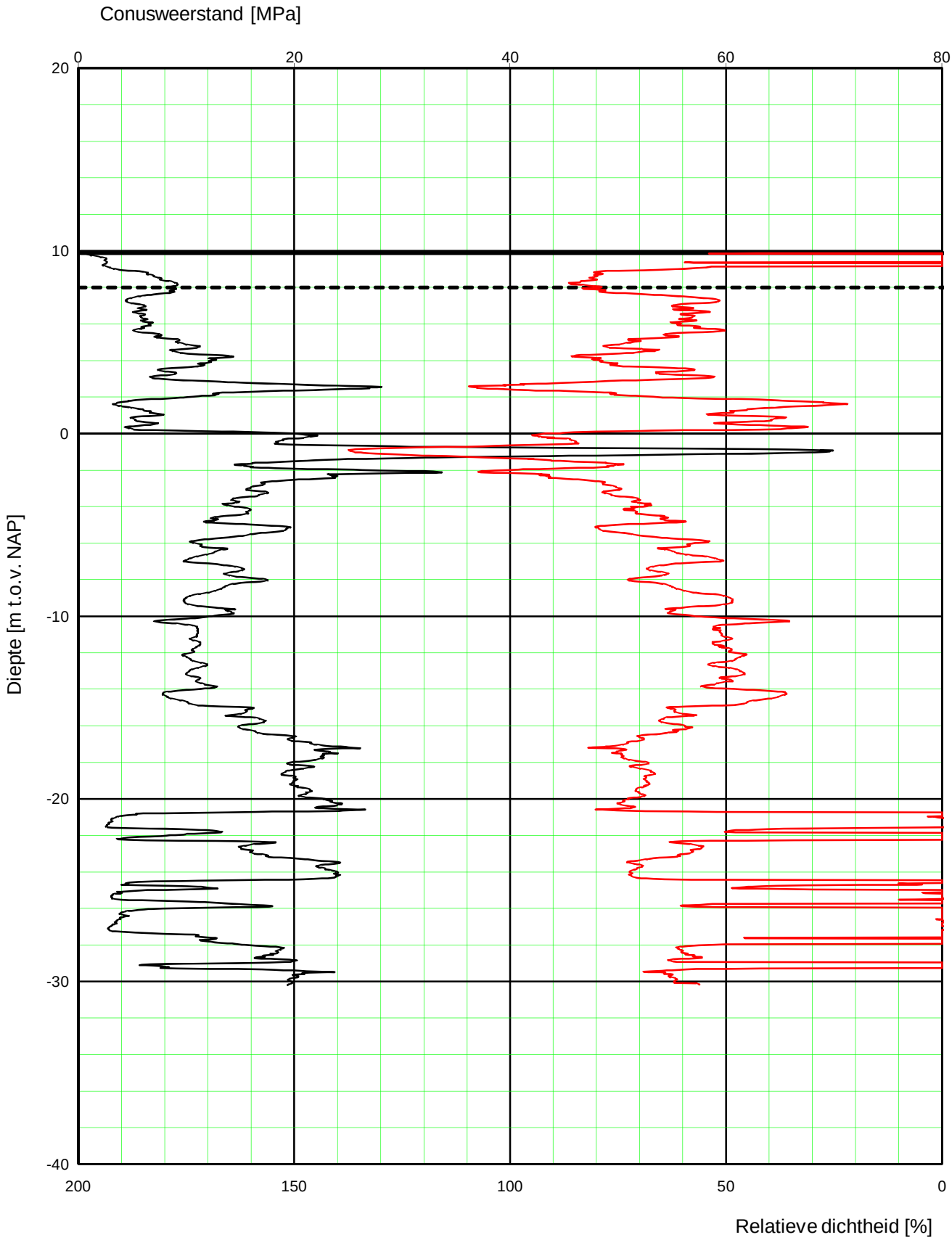
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM209

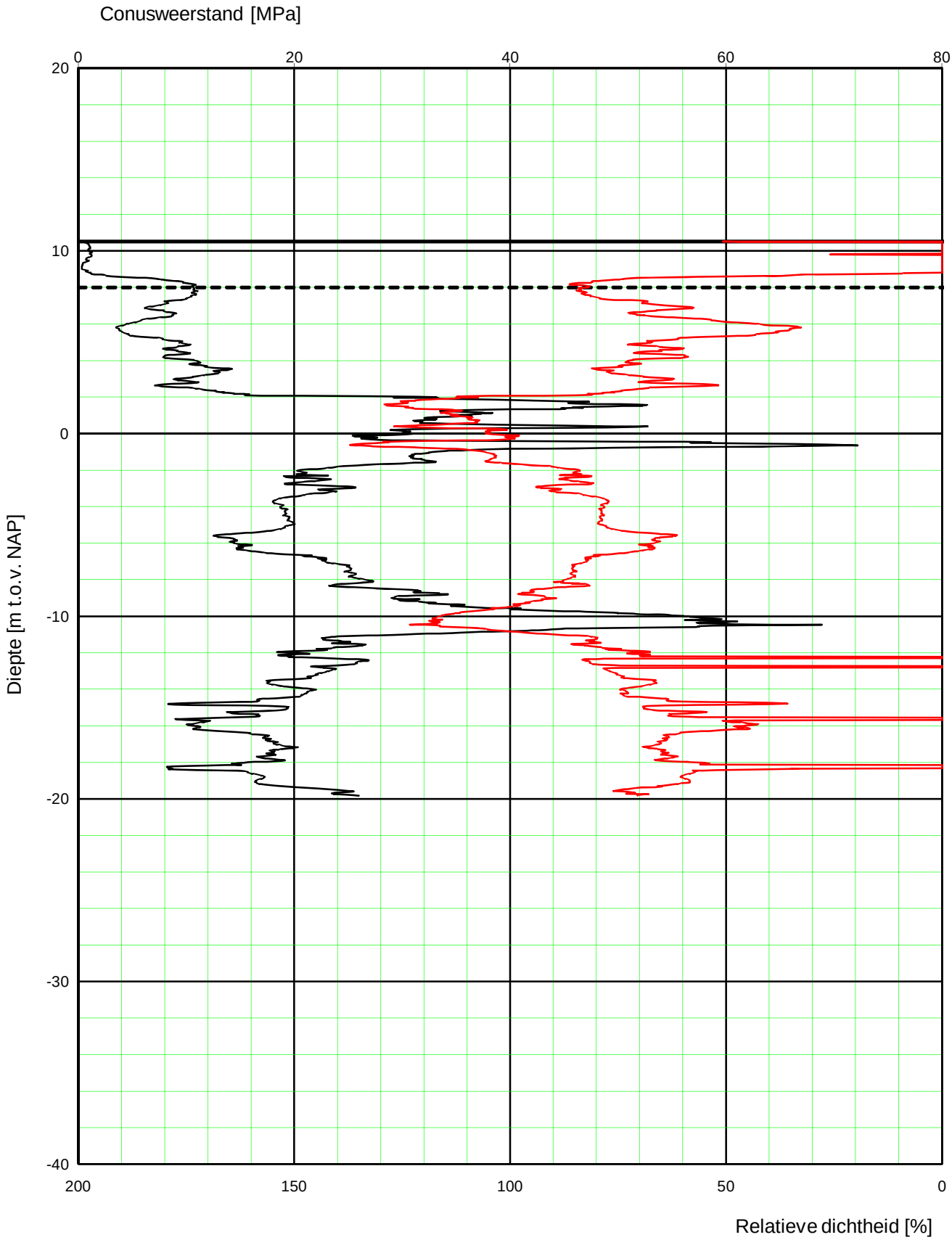
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKMP301

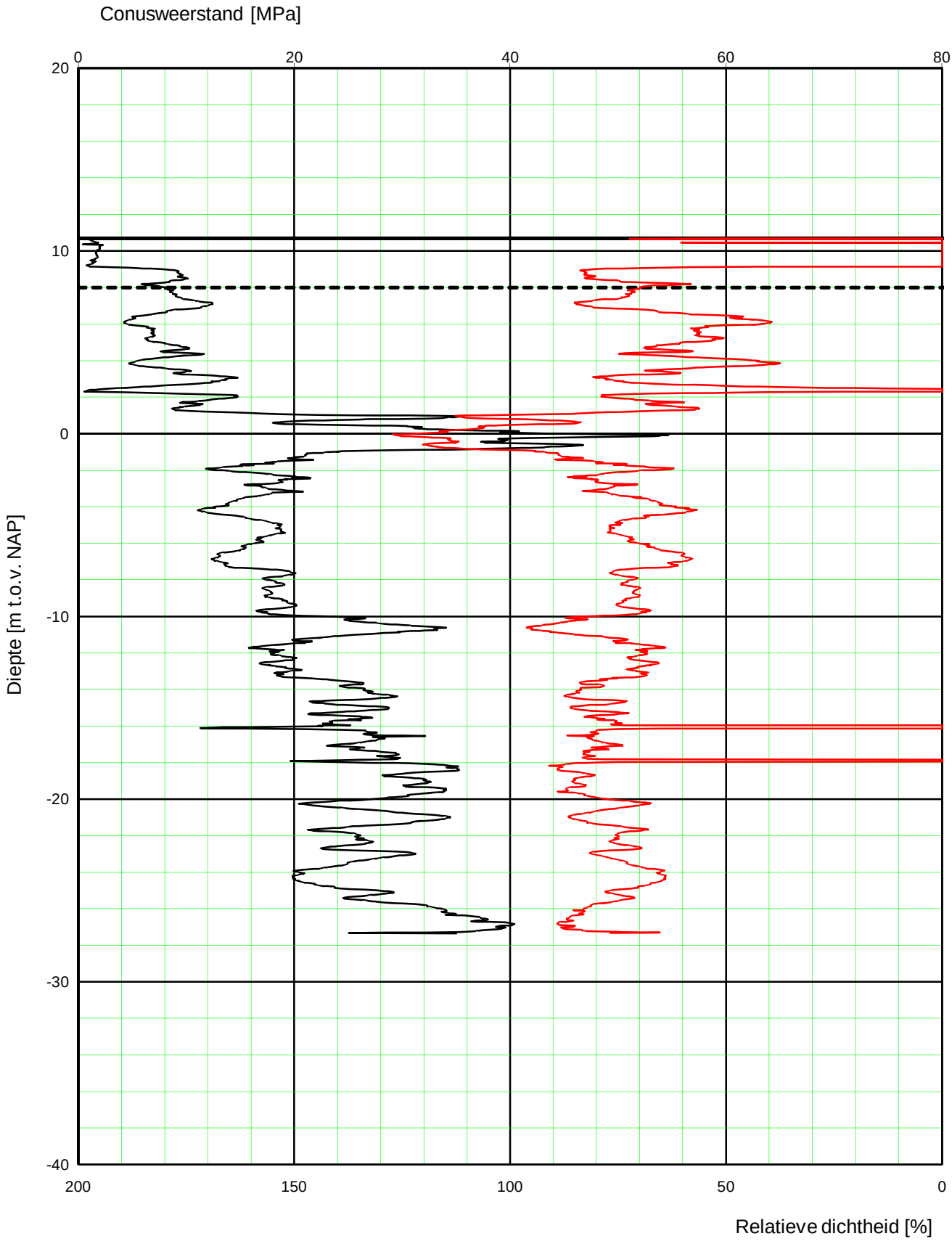
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM302

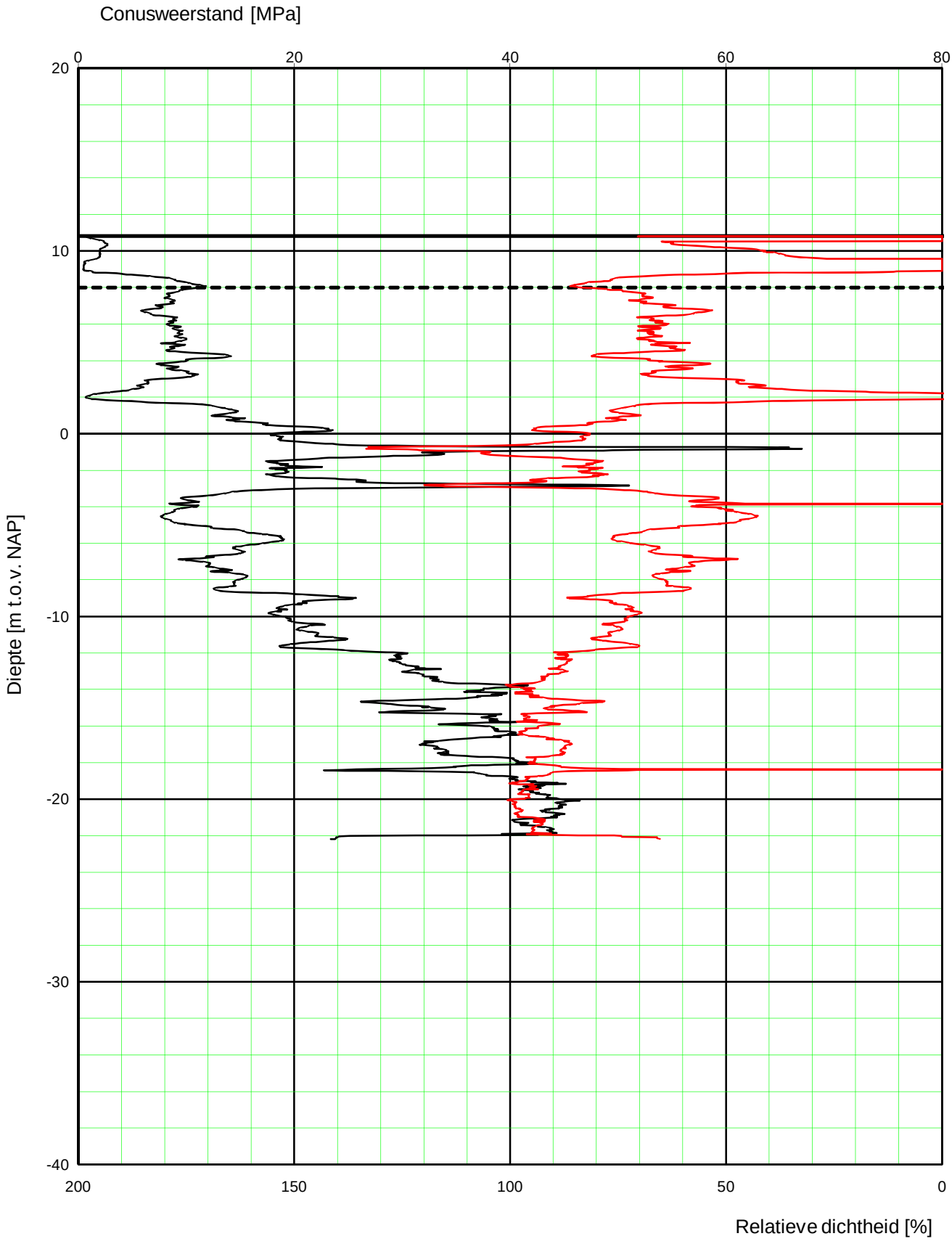
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM303

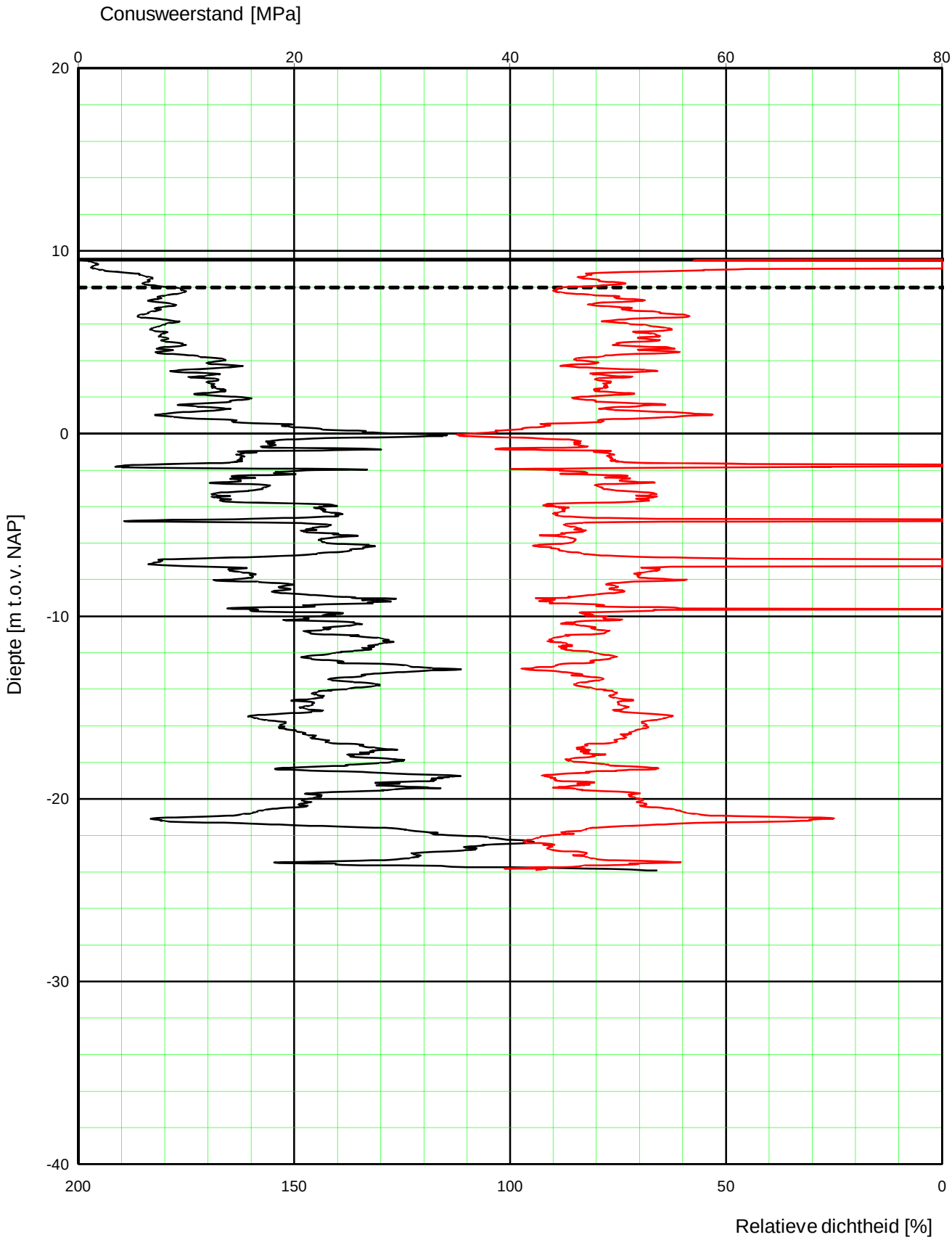
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM304

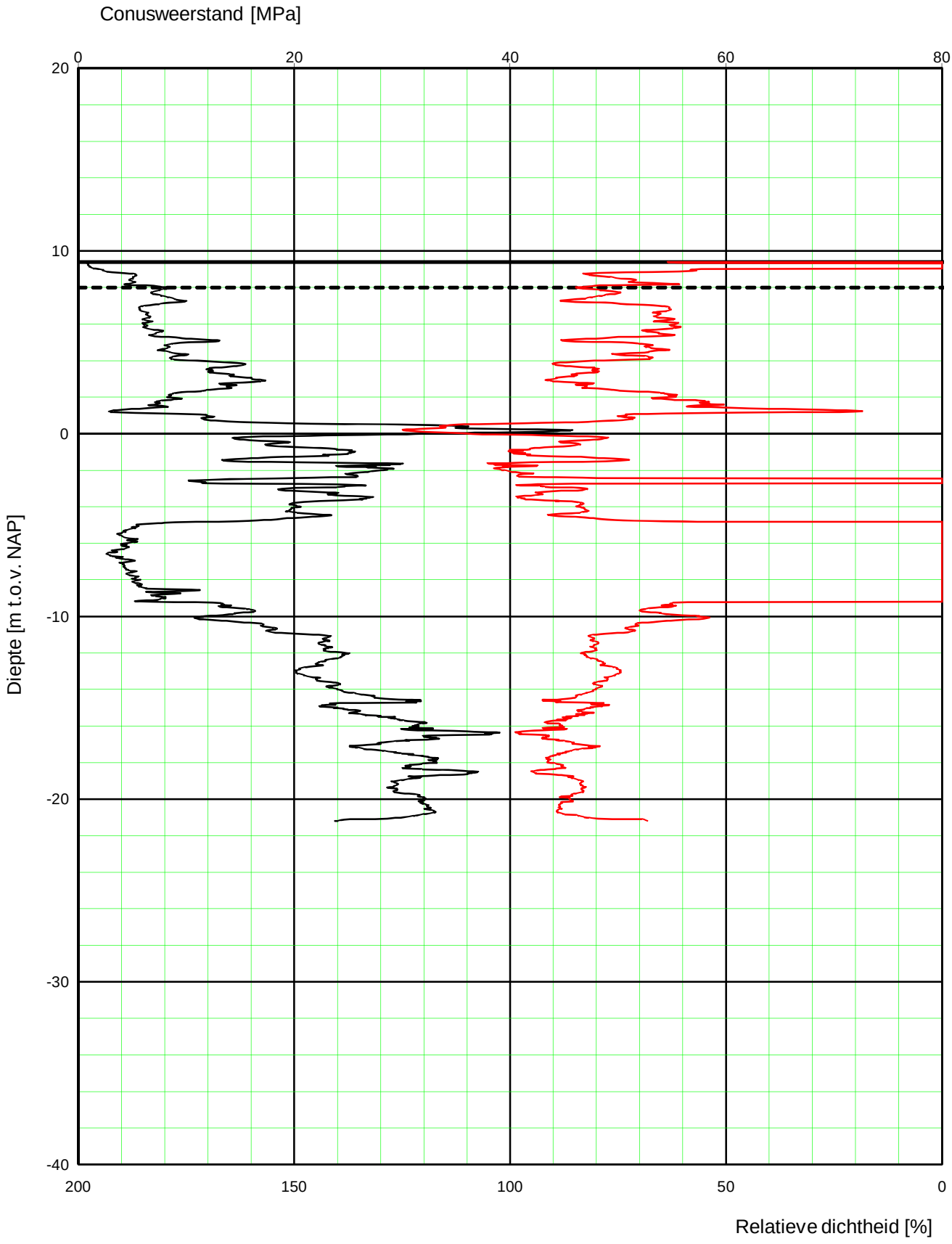
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKMP305

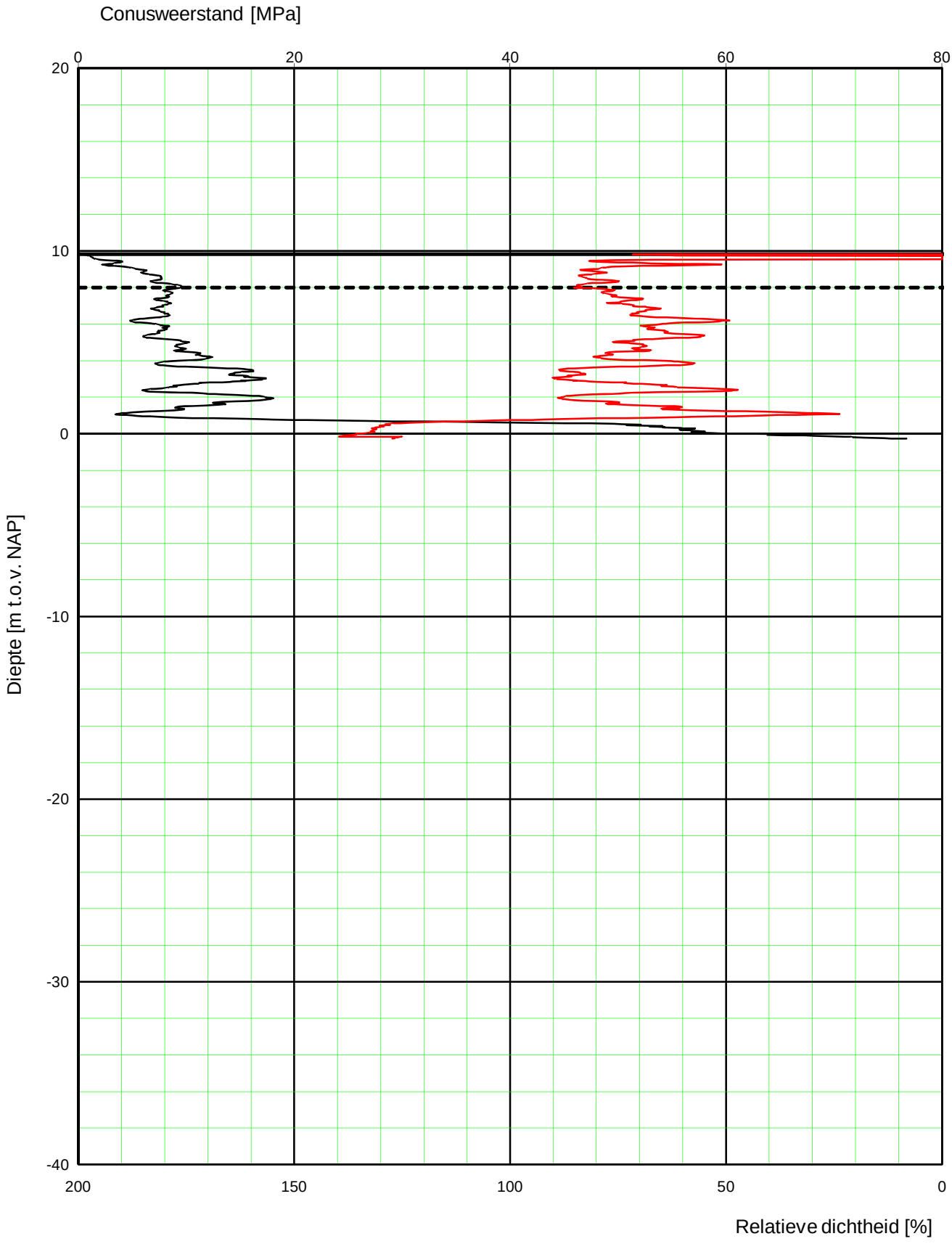
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKMP306

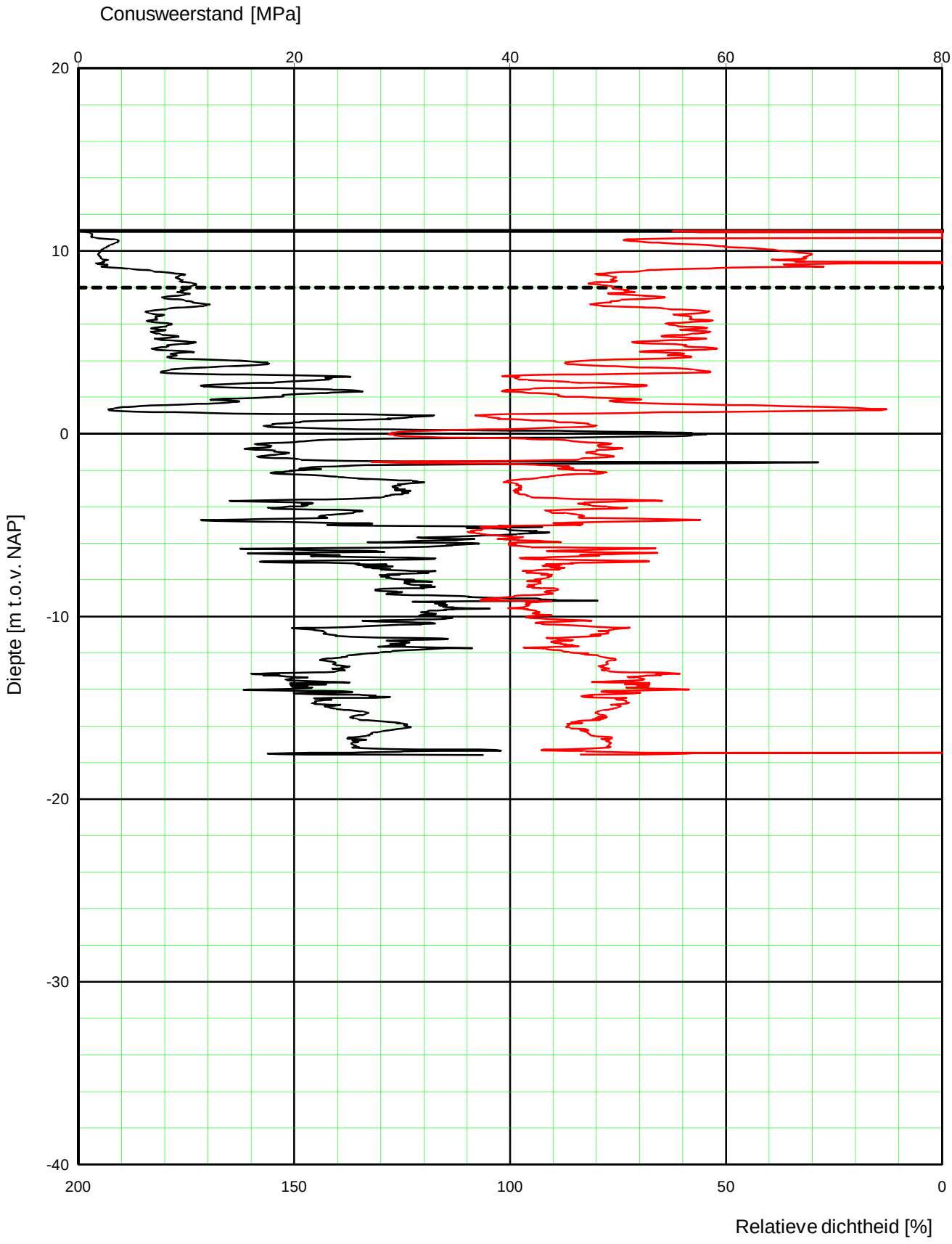
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM307

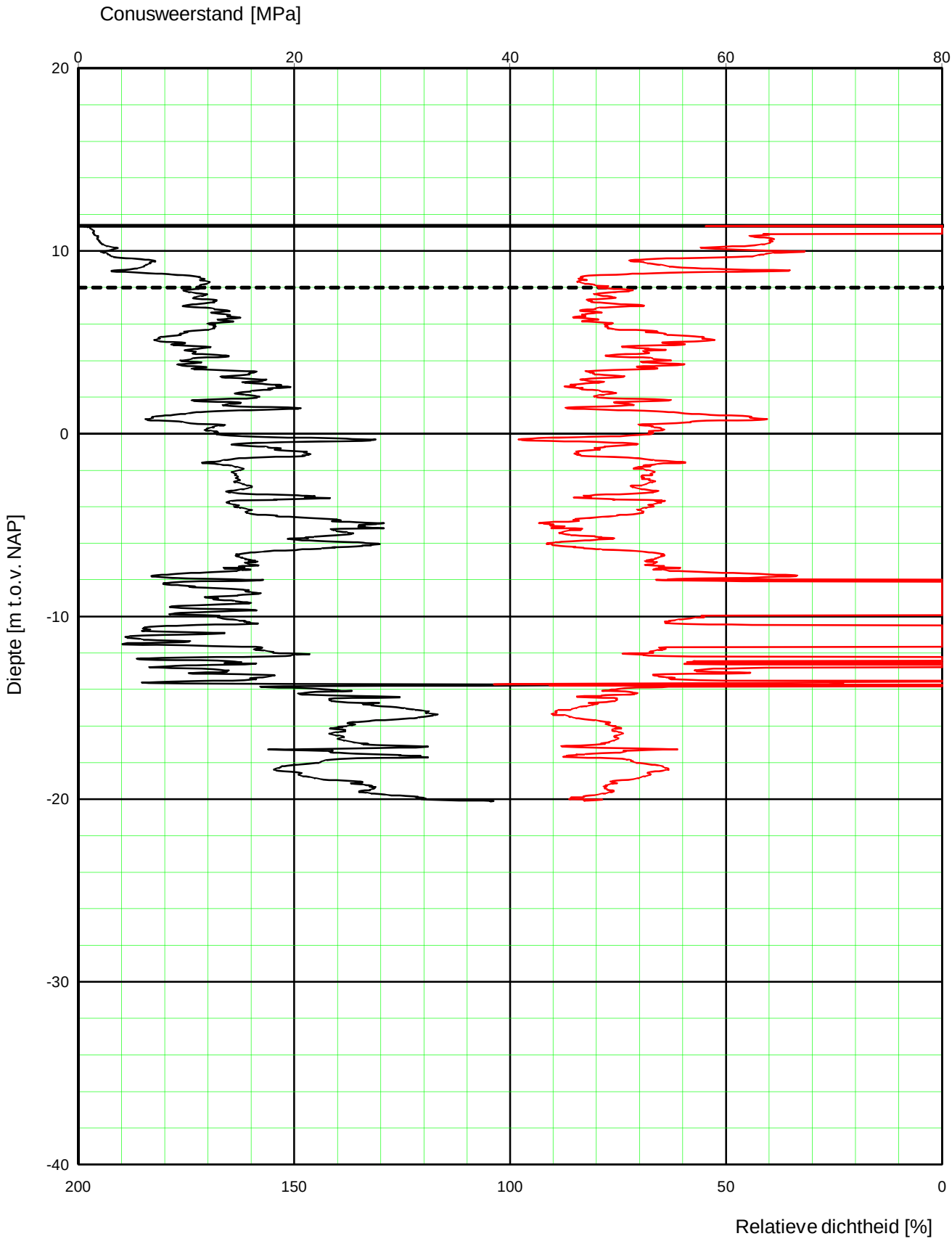
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM308

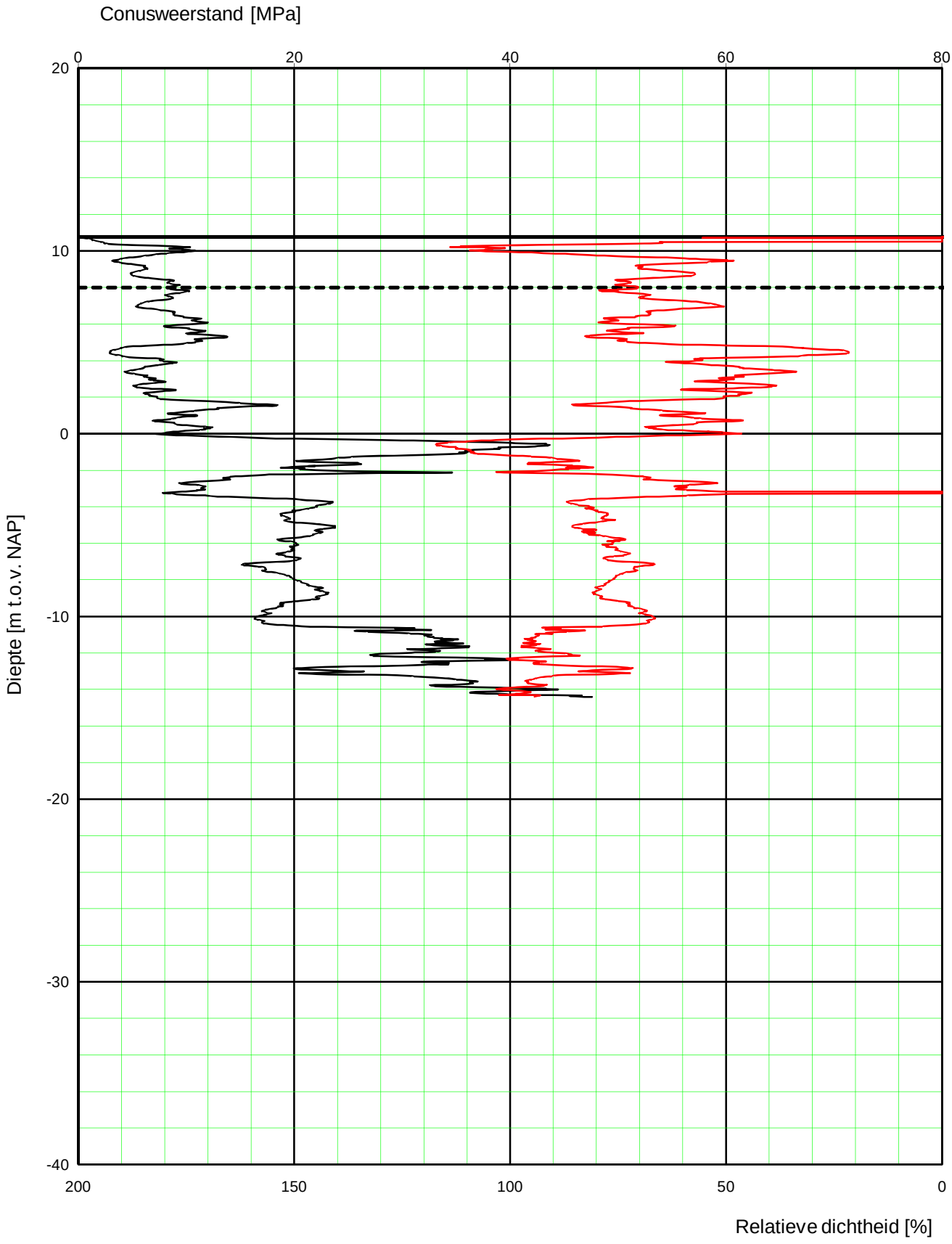
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM309

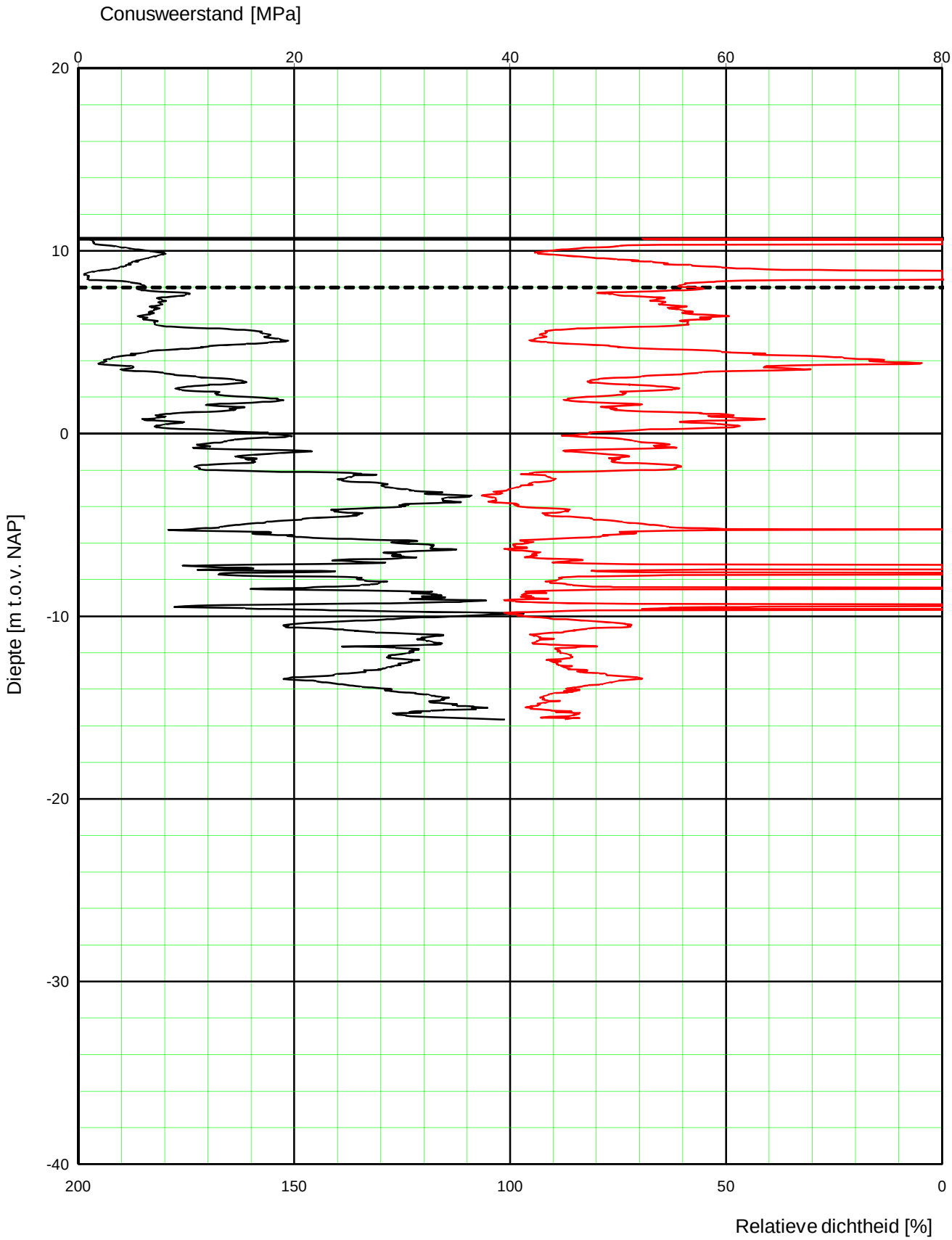
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM310

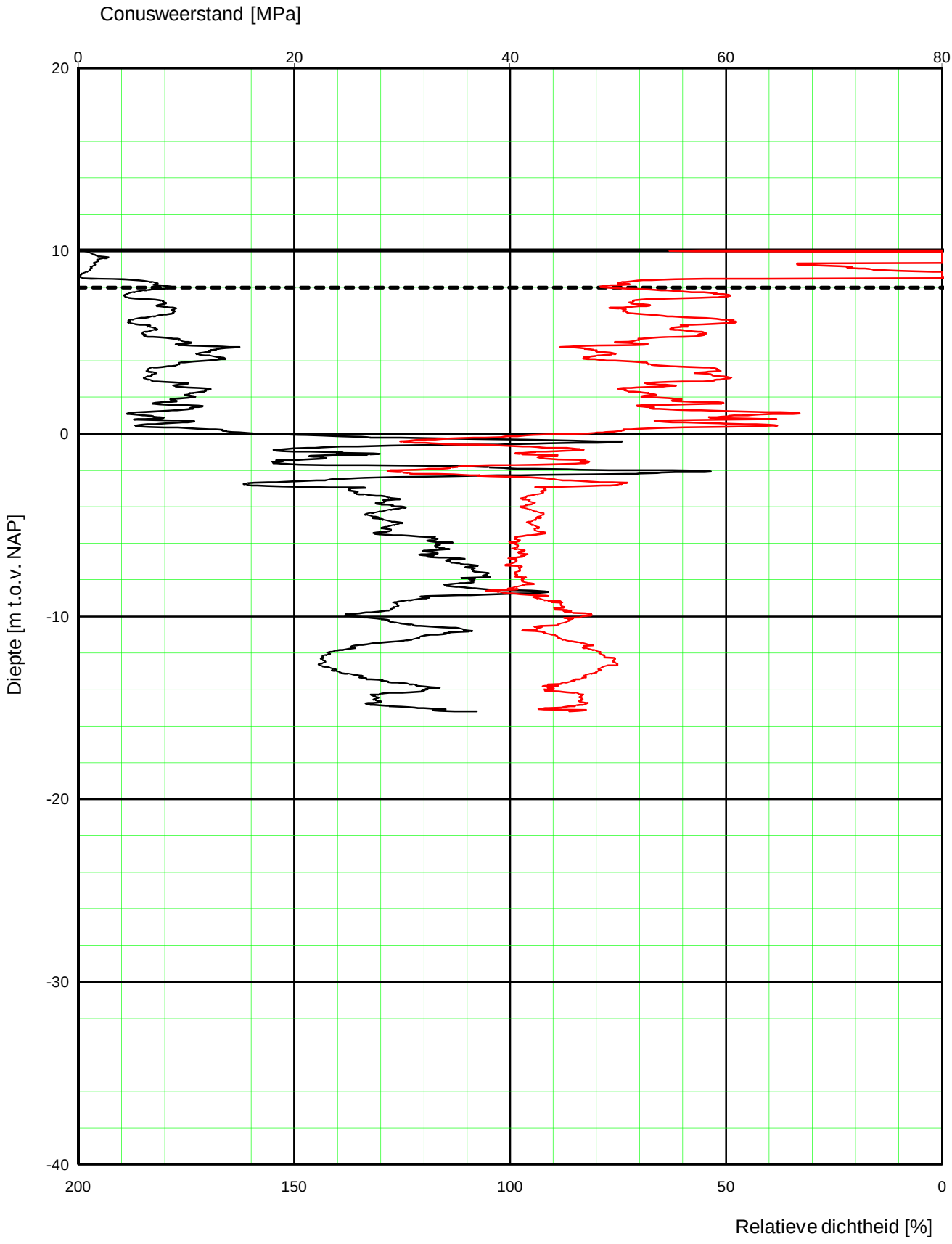
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM311

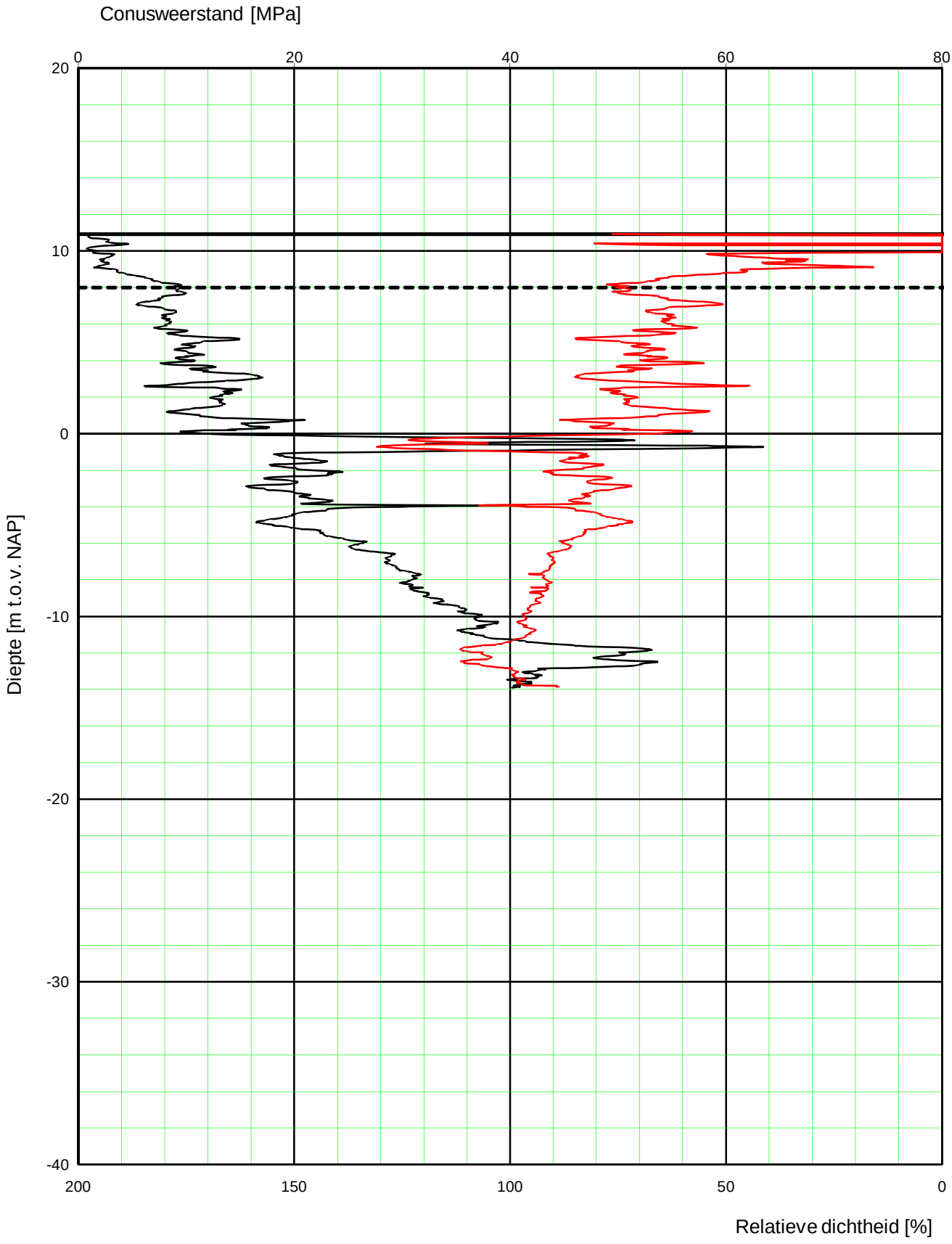
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM312

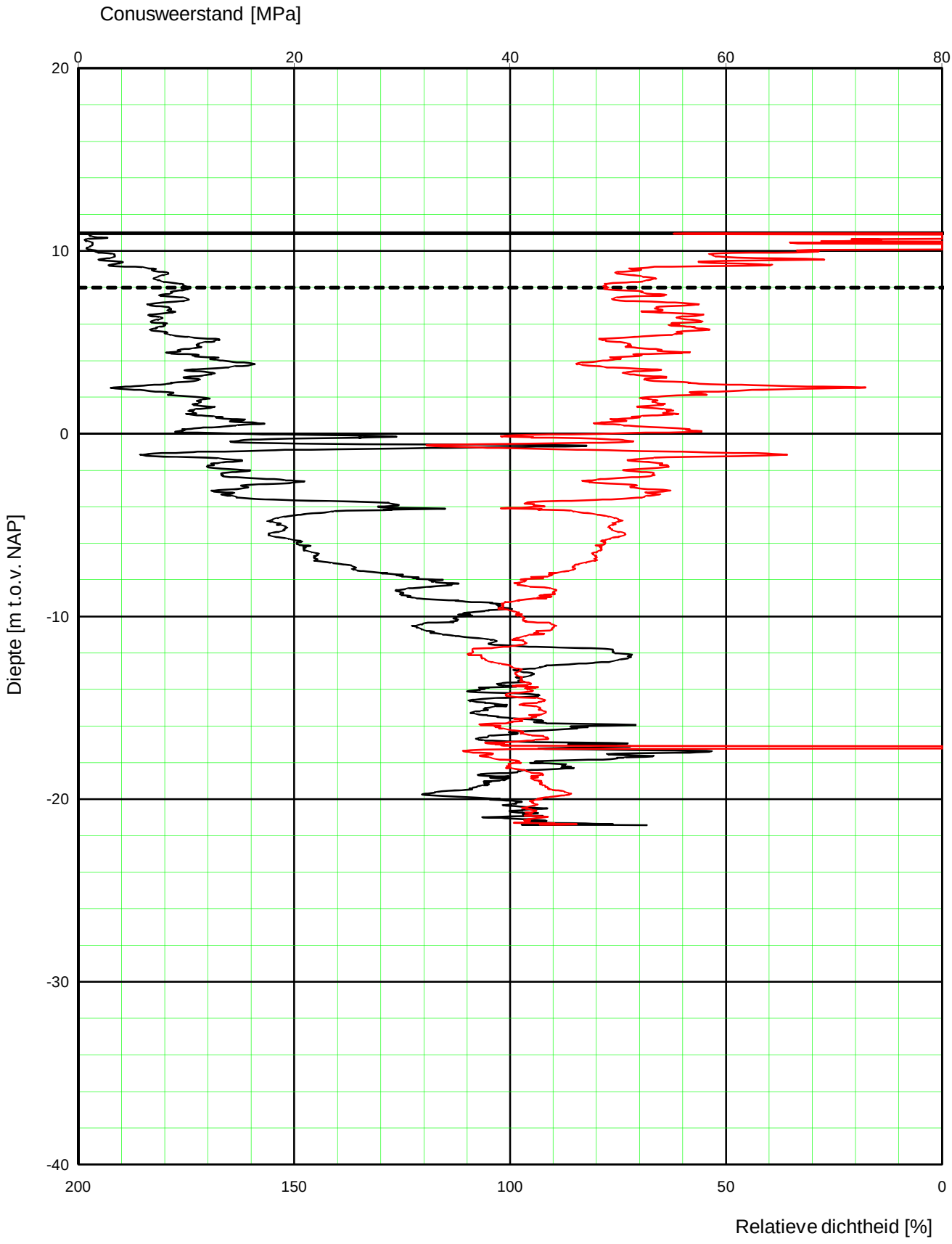
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM313

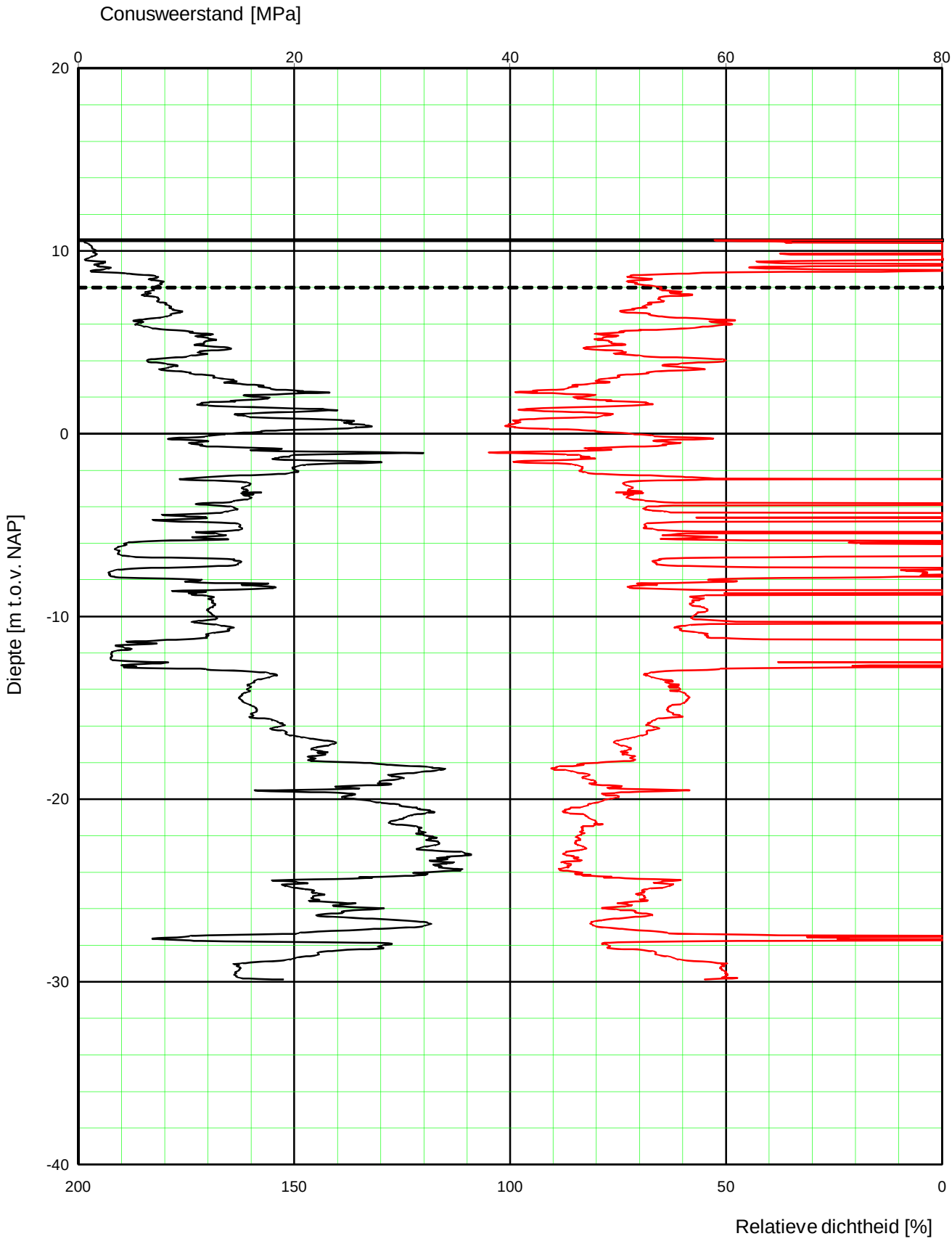
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKM313A

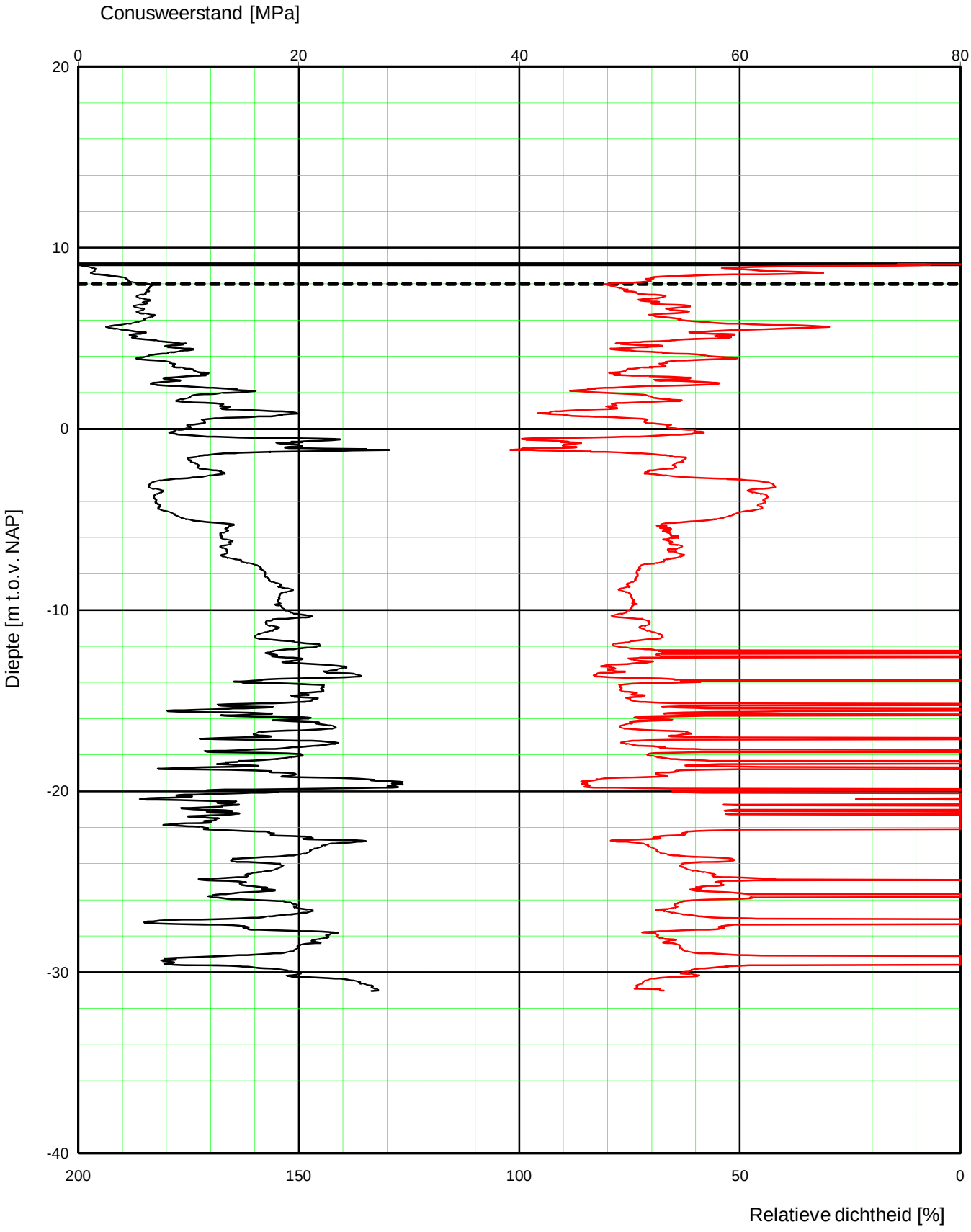
Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**



RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

DKMP314

Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**

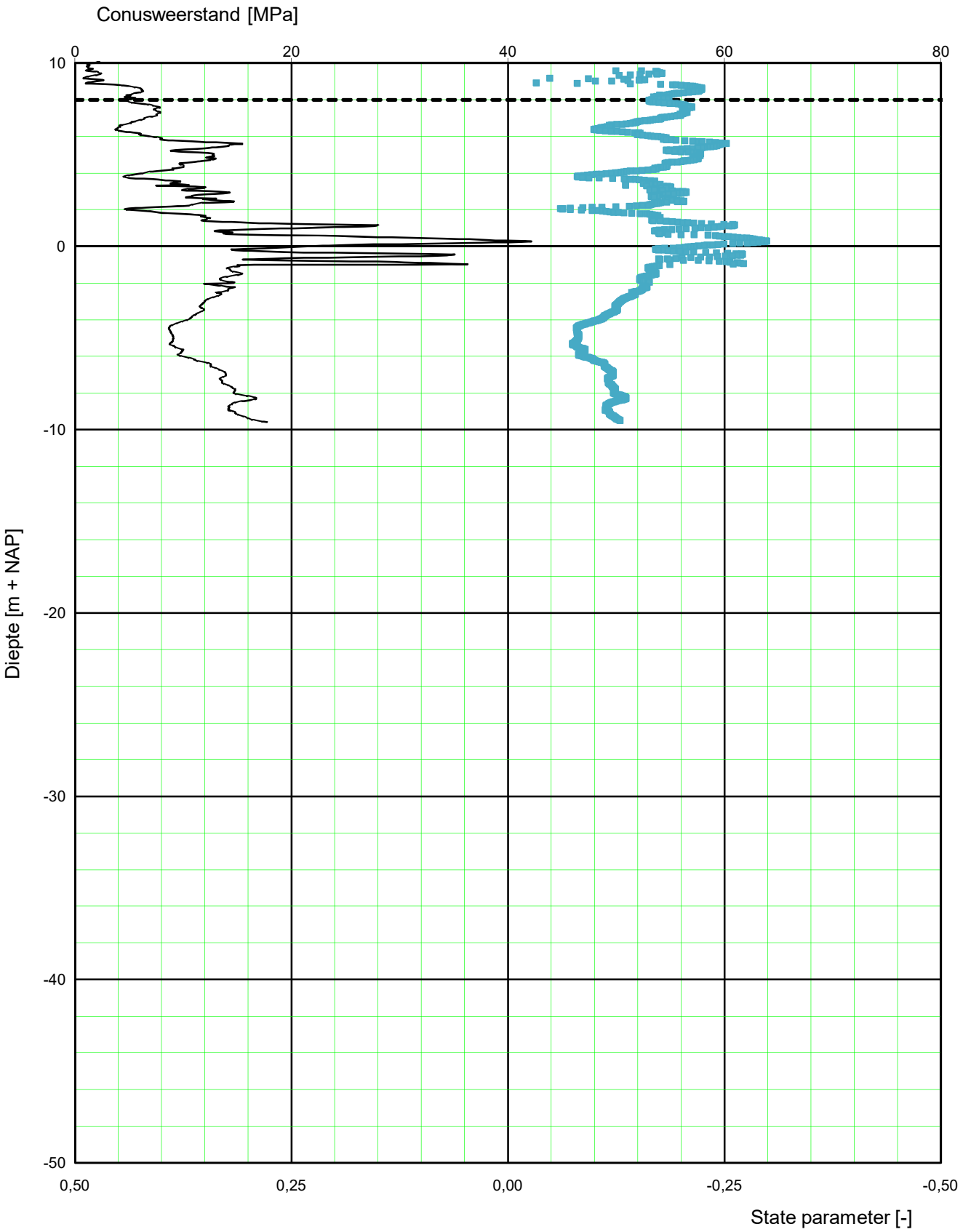


RELATIEVE DICHTHEID ZAND Rn (LUNNE 1997) **Opdr. : 1017-0026-000**

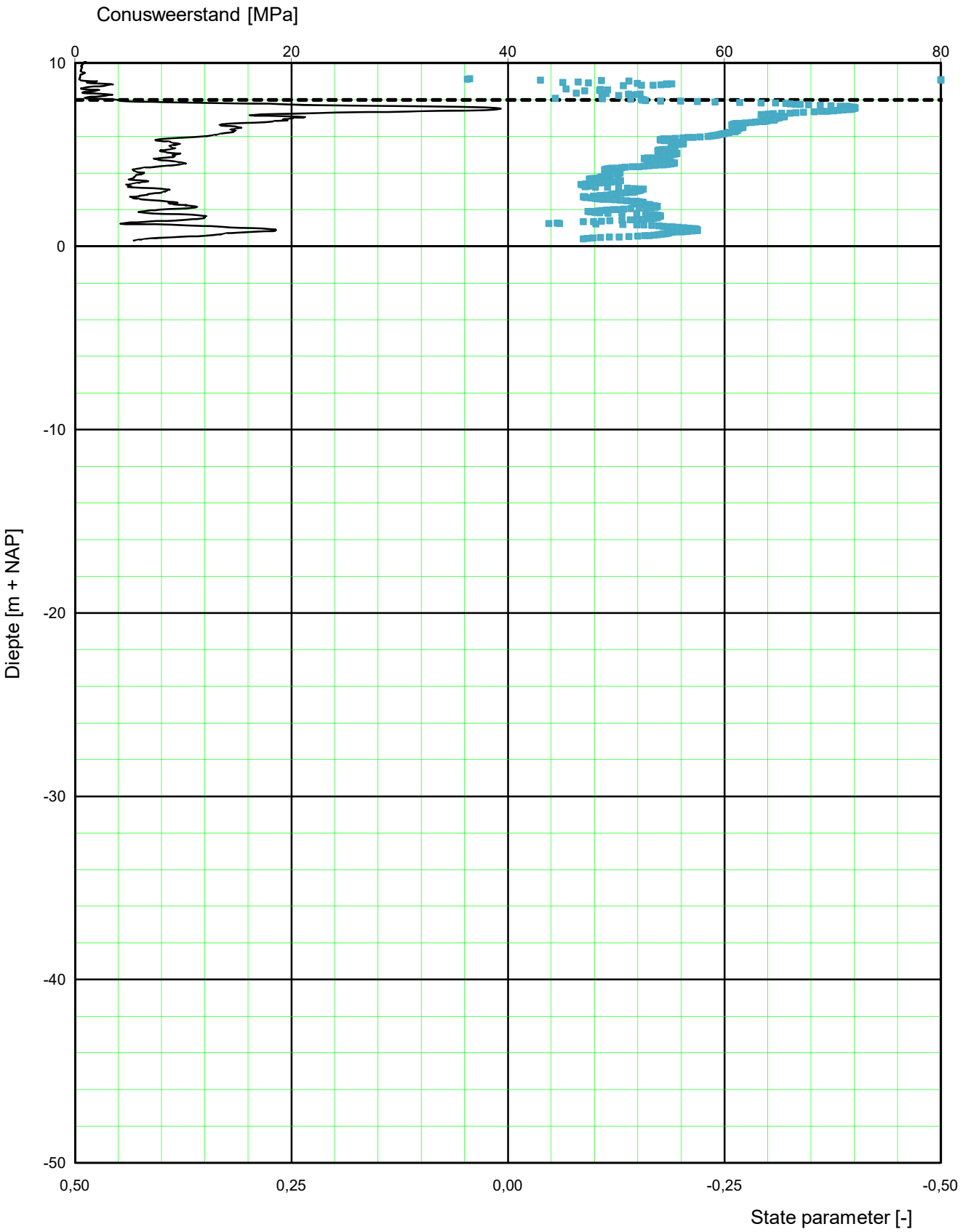
DKM315

Zandwinning Gendtse Waard te Gendt **Bijlage : A2**

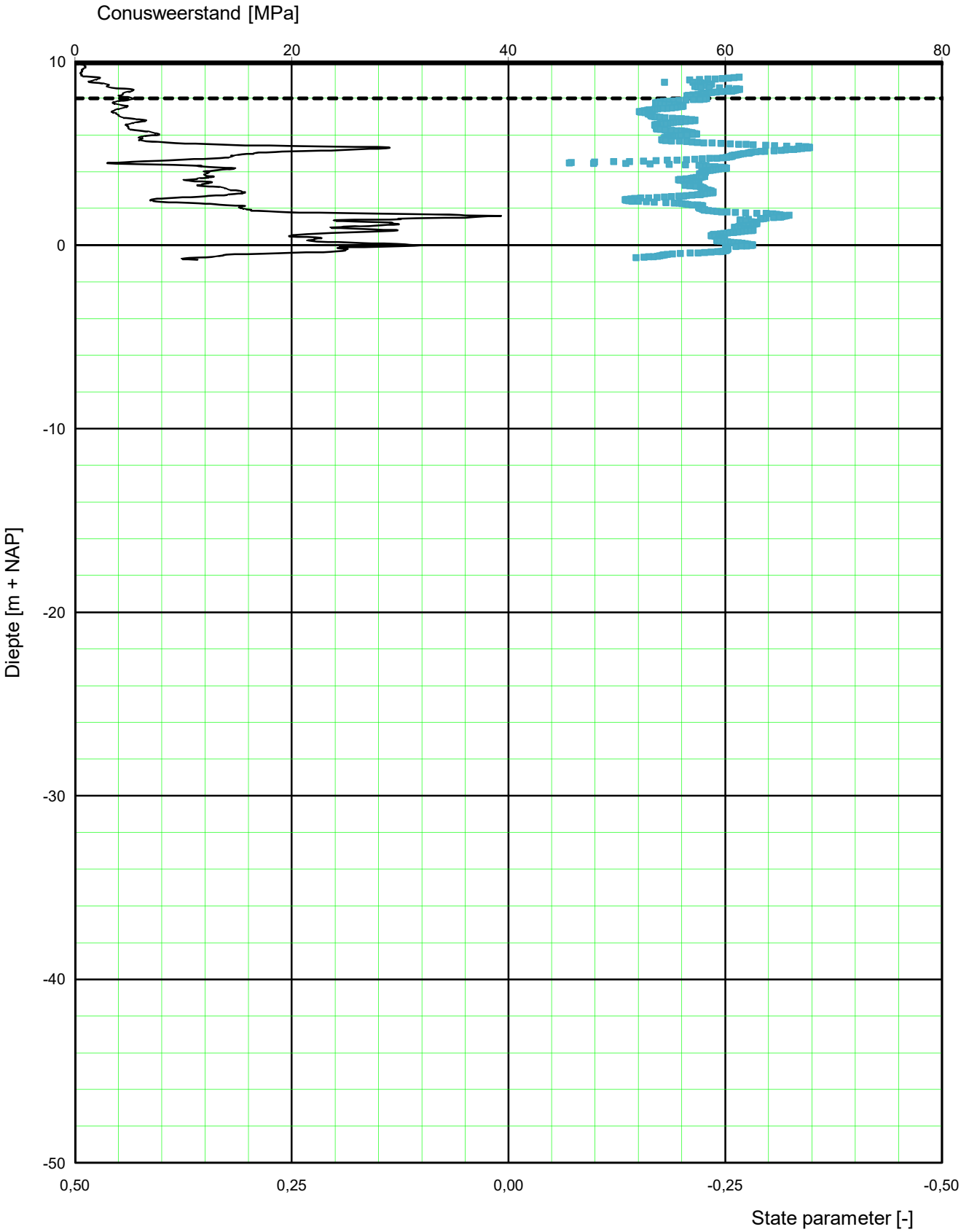
Bijlage A3: Bepaling State Parameter per sondering



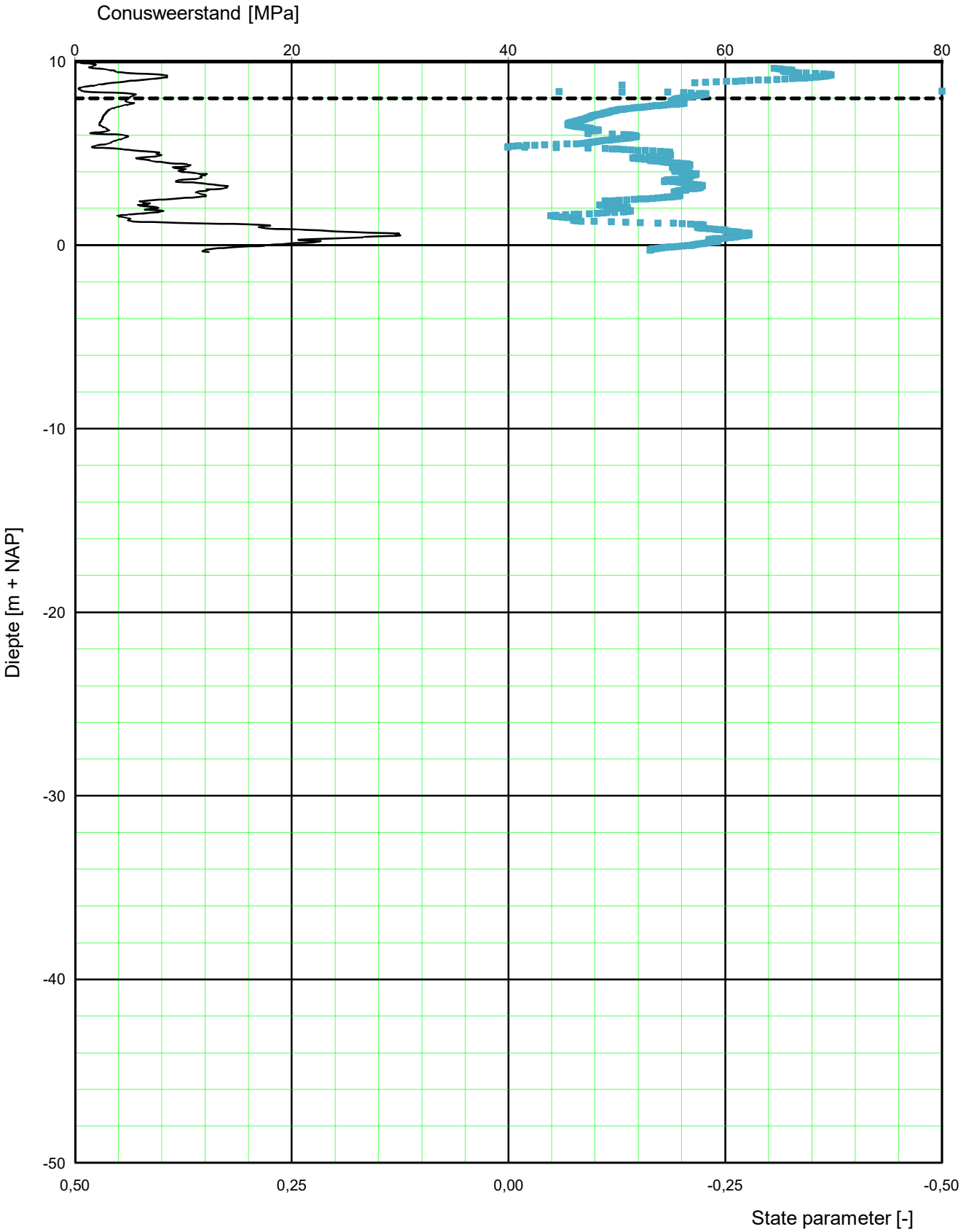
STATE PARAMETER (SH 2017) **Opdr. : R-3876**
DKM17
TALUDSTABILITEIT ZANDWINNING IN DE GENDTSE WAARD TE GENDT **Bijlage: A3**



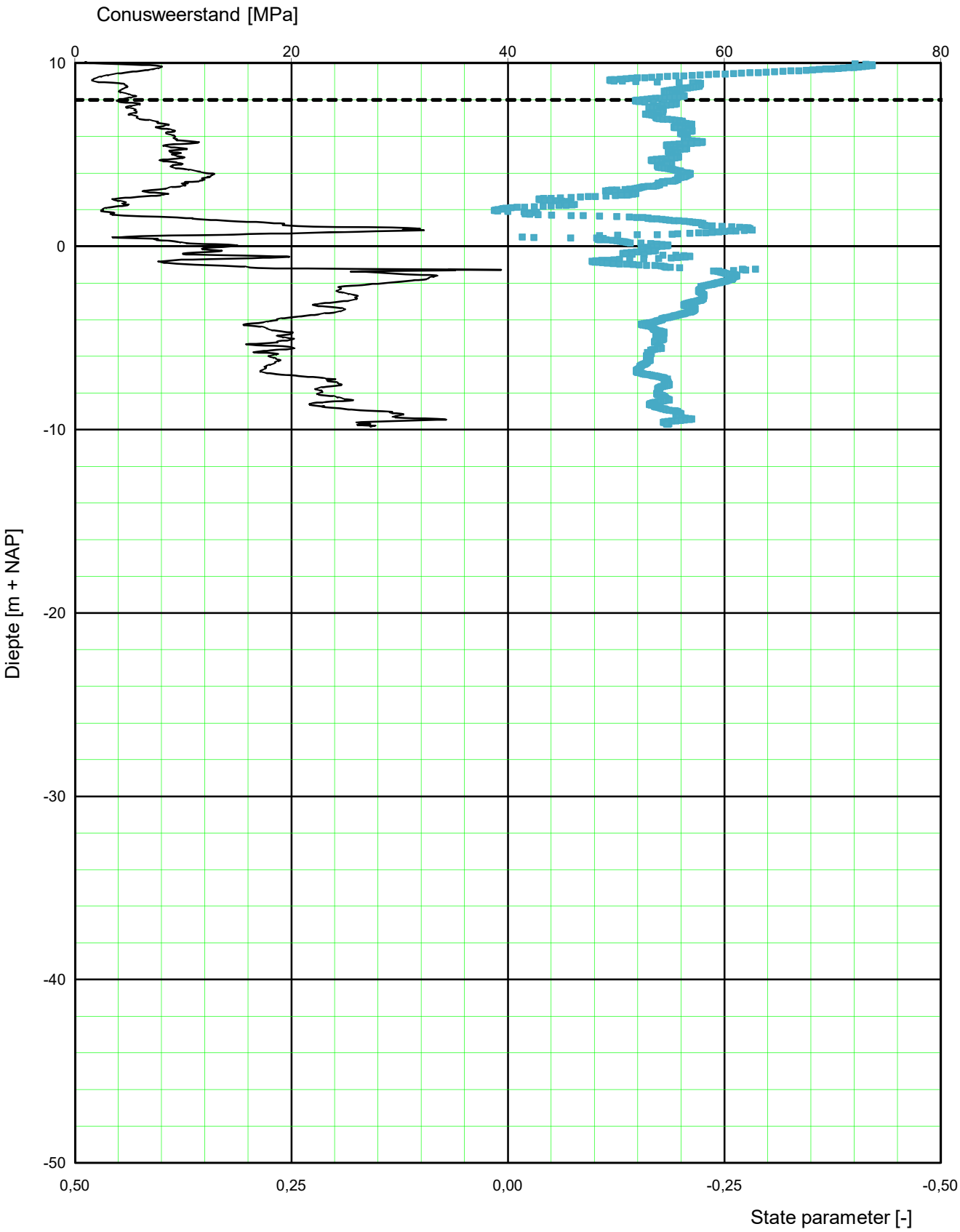
STATE PARAMETER (SH 2017) **Opdr. : R-3876**
DKM18
TALUDSTABILITEIT ZANDWINNING IN DE GENDTSE WAARD TE GENDT **Bijlage: A3**



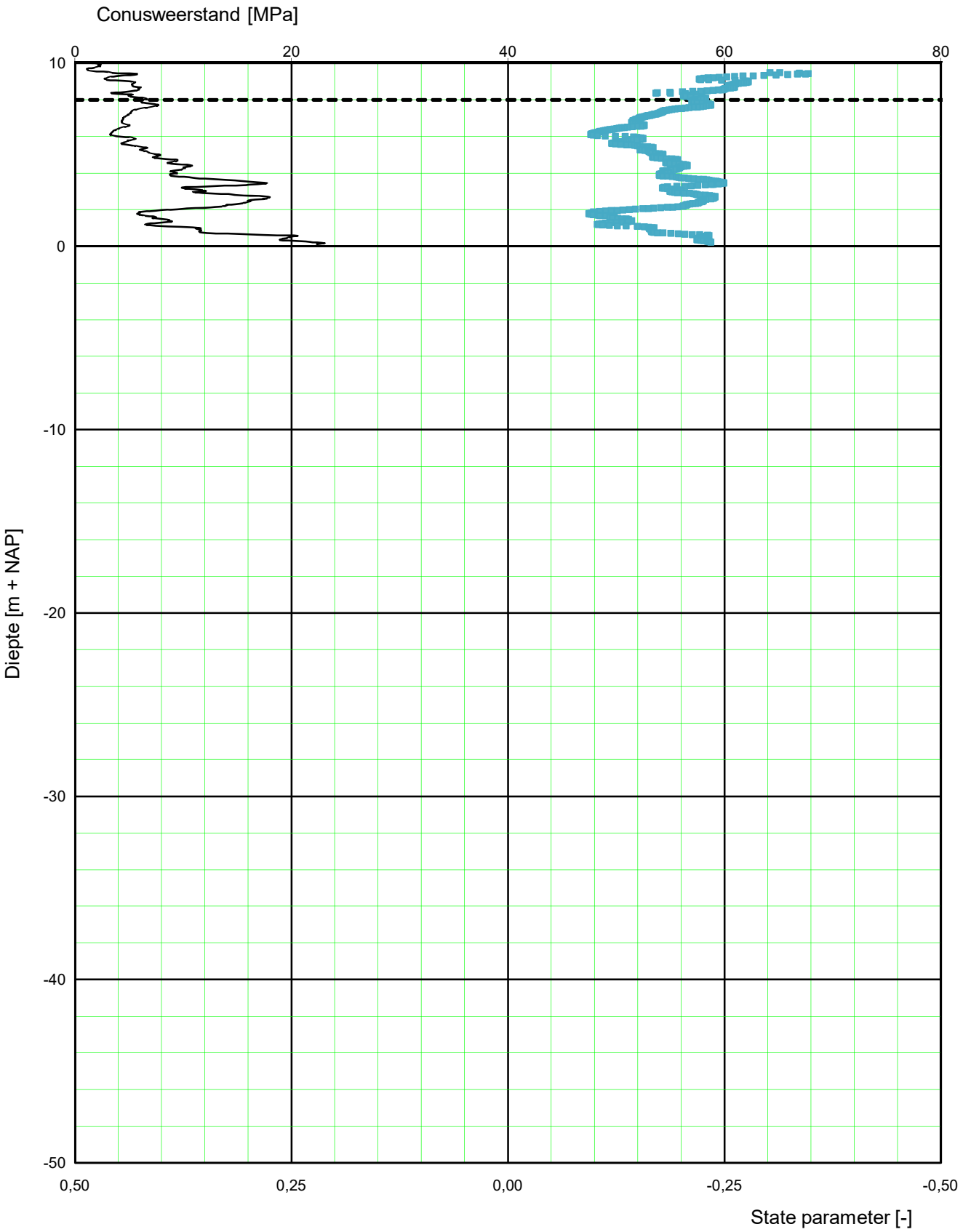
STATE PARAMETER (SH 2017) **Opdr. : R-3876**
DKM20
TALUDSTABILITEIT ZANDWINNING IN DE GENDTSE WAARD TE GENDT **Bijlage: A3**



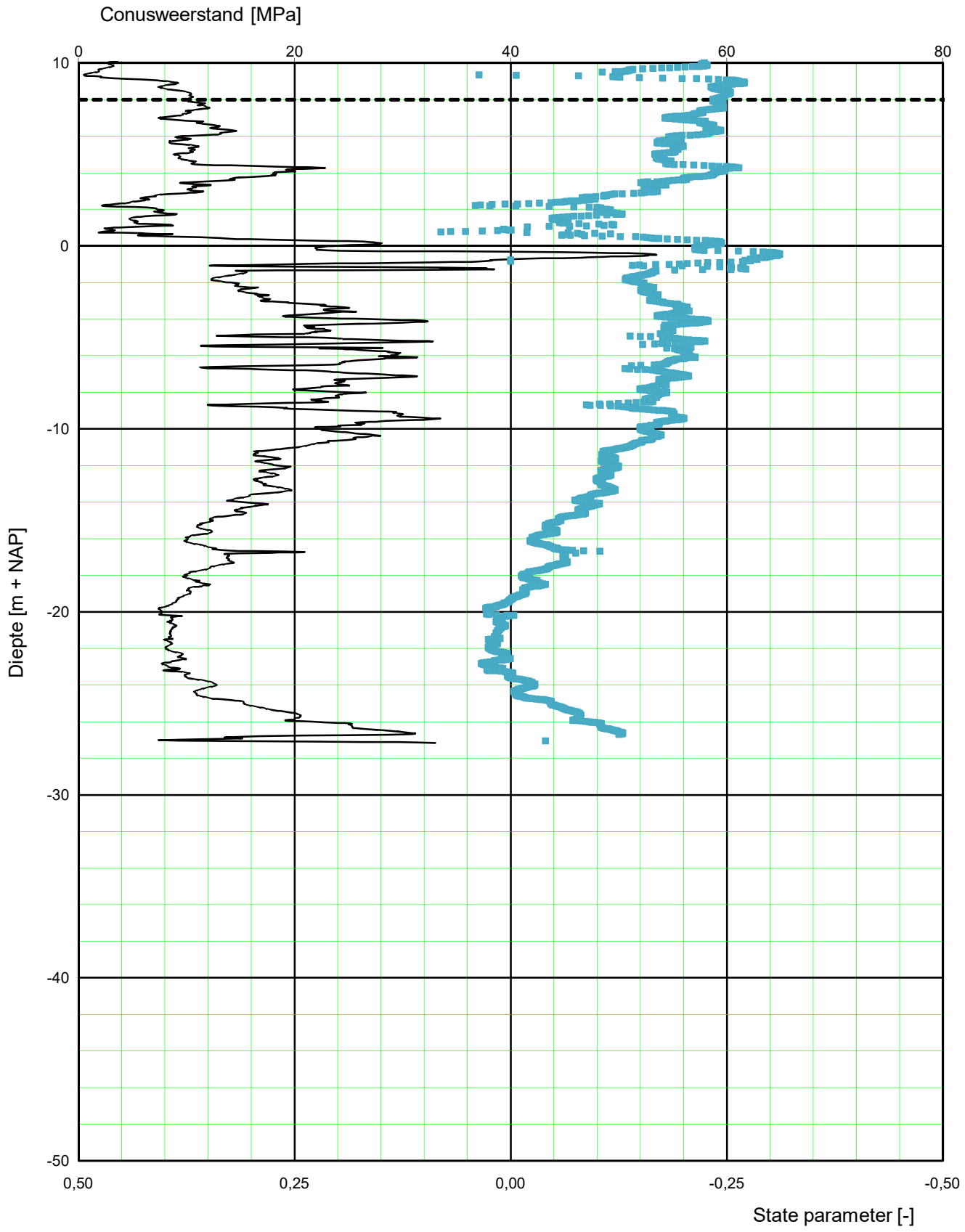
STATE PARAMETER (SH 2017) **Opdr. : R-3876**
DKM21
TALUDSTABILITEIT ZANDWINNING IN DE GENDTSE WAARD TE GENDT **Bijlage: A3**



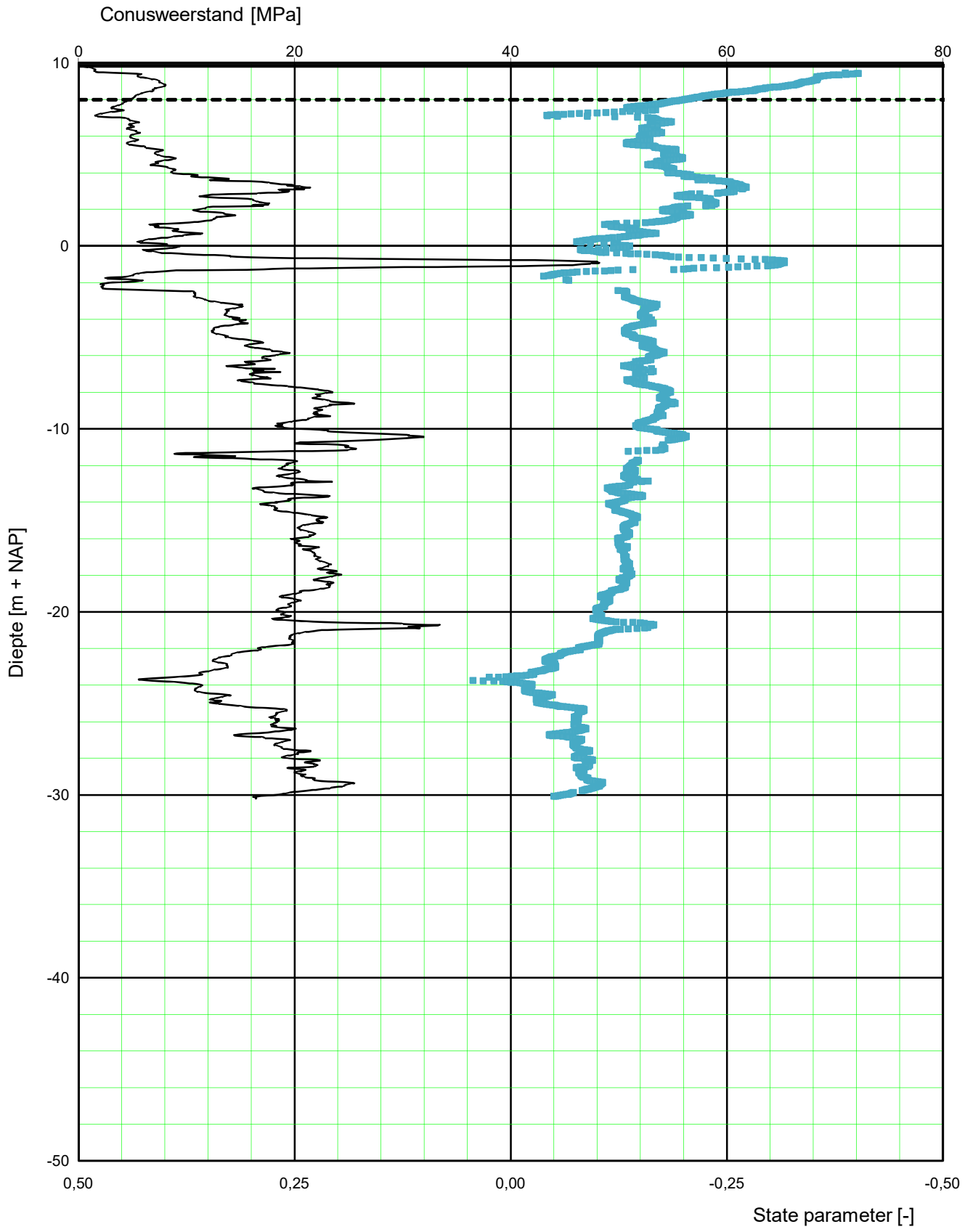
STATE PARAMETER (SH 2017) **Opdr. : R-3876**
DKM24
TALUDSTABILITEIT ZANDWINNING IN DE GENDTSE WAARD TE GENDT **Bijlage: A3**



STATE PARAMETER (SH 2017) **Opdr. : R-3876**
DKM37
TALUDSTABILITEIT ZANDWINNING IN DE GENDTSE WAARD TE GENDT **Bijlage: A3**



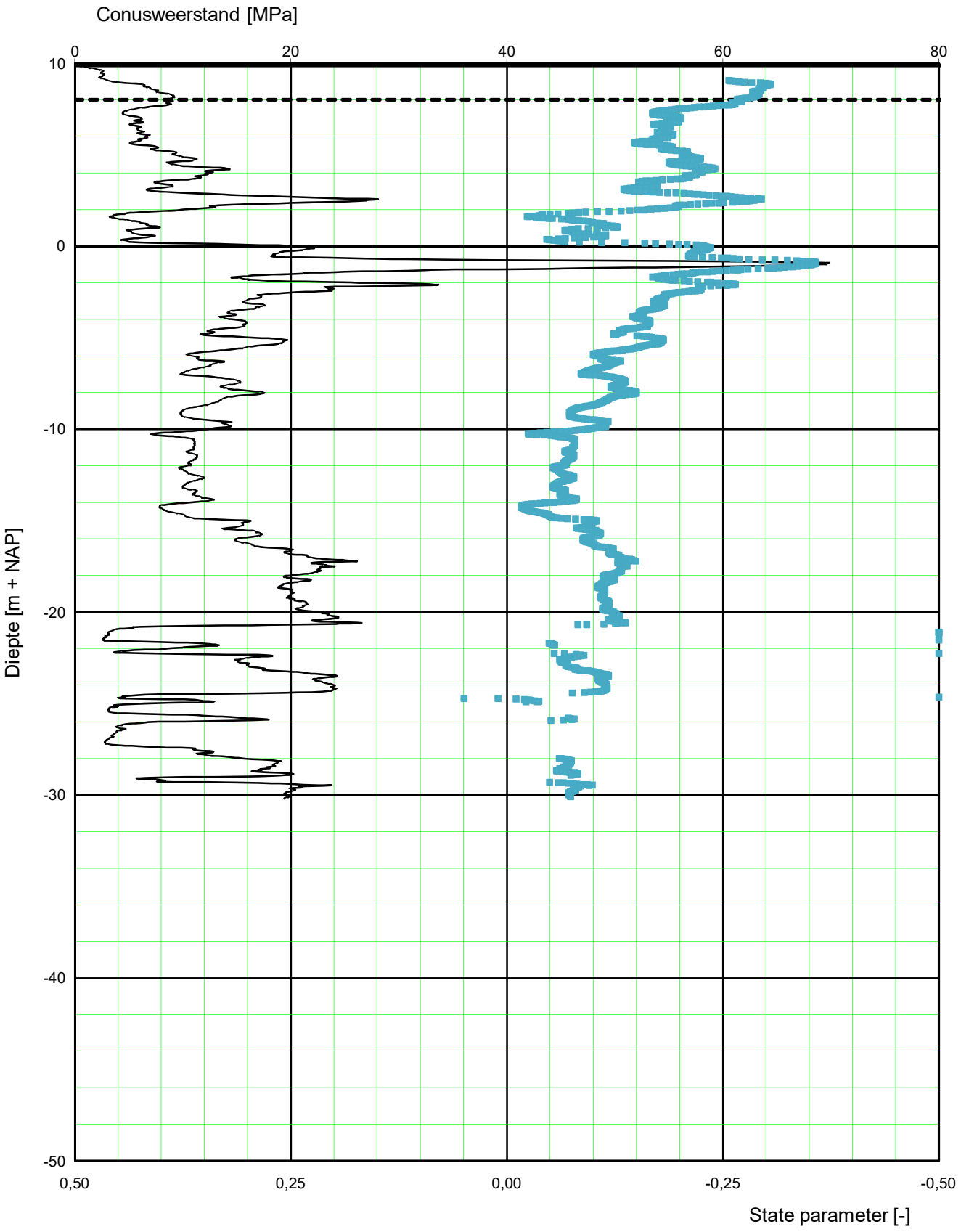
STATE PARAMETER (SH 2017) **Opdr. : 6009-0428-000**
DKM103
TALUDSTABILITEIT ZANDWINNING IN DE GENDTSE WAARD TE GENDT **Bijlage: A3**



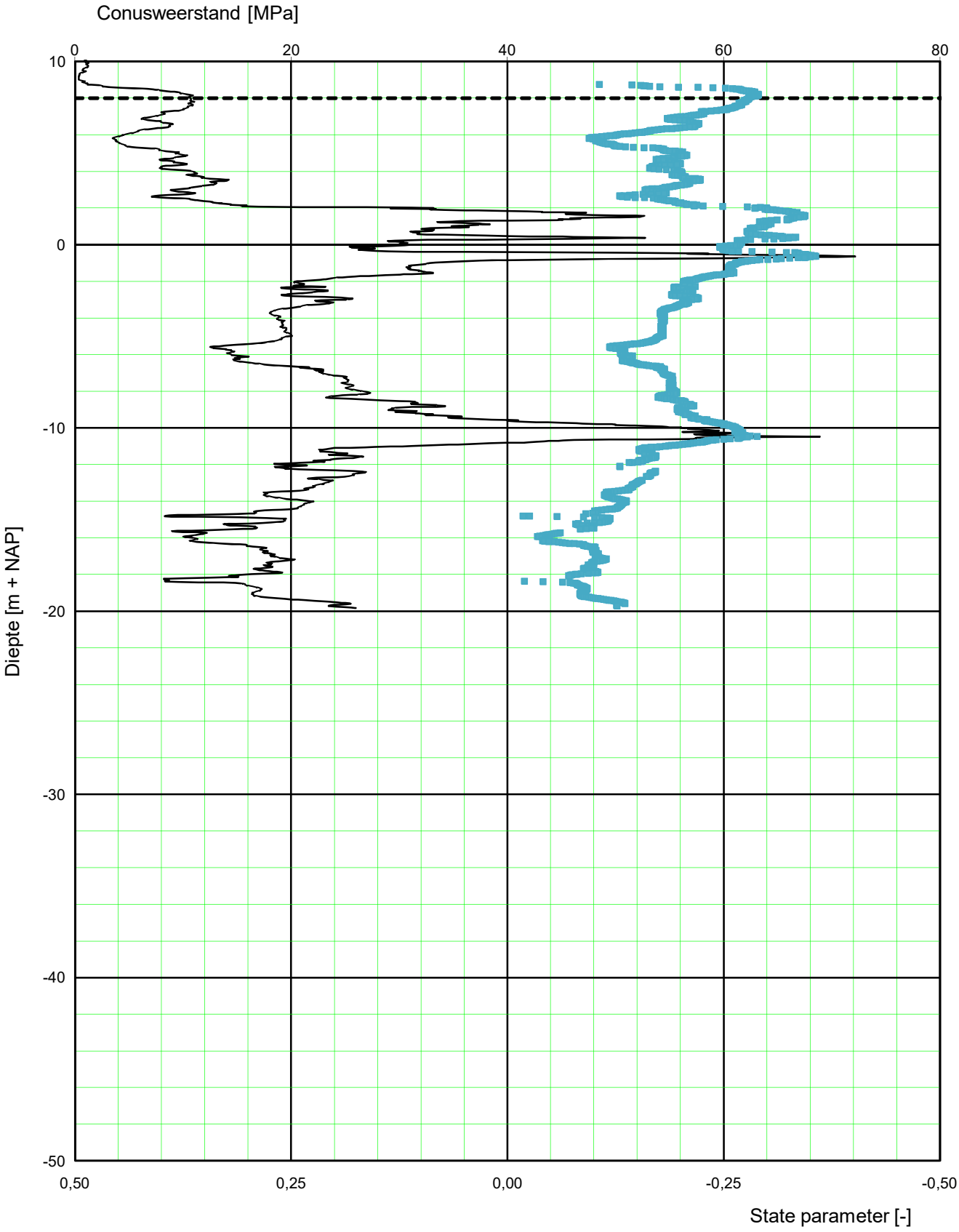
STATE PARAMETER (SH 2017) **Opdr. : 6009-0428-000**

DKM107

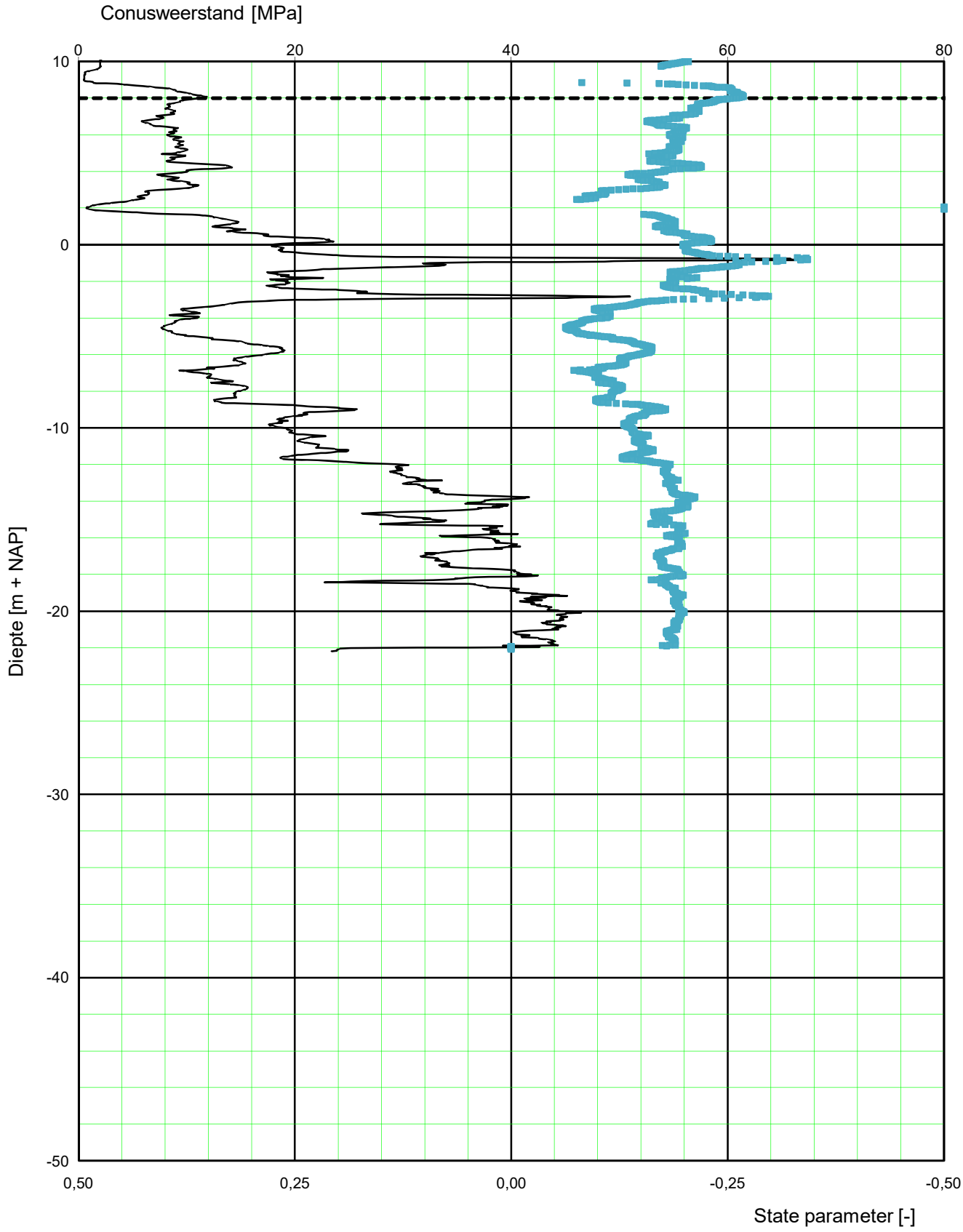
TALUDSTABILITEIT ZANDWINNING IN DE GENDTSE WAARD TE GENDT **Bijlage: A3**



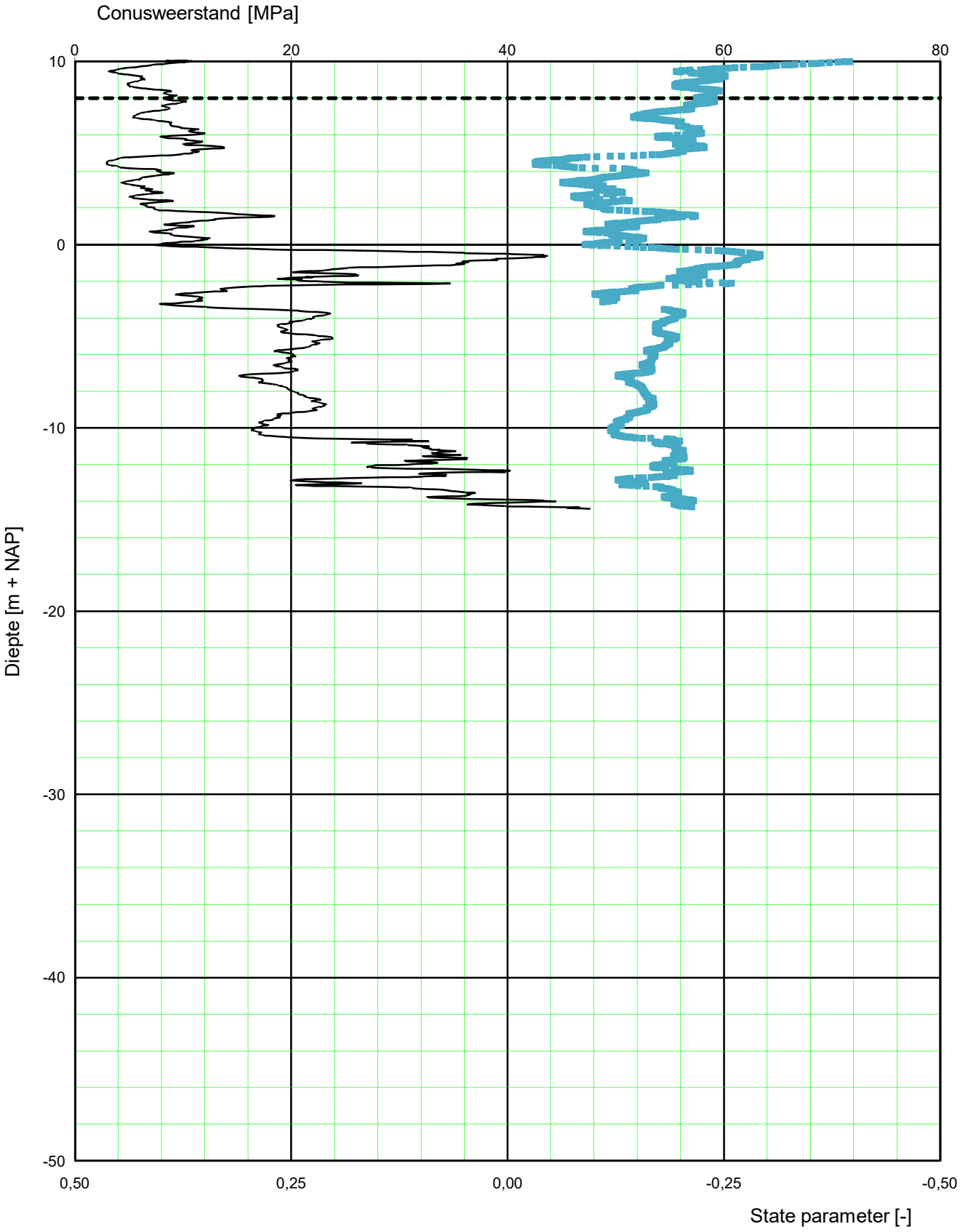
STATE PARAMETER (SH 2017) **Opdr. : 1017-0026-000**
DKMP301
TALUDSTABILITEIT ZANDWINNING IN DE GENDTSE WAARD TE GENDT **Bijlage: A3**



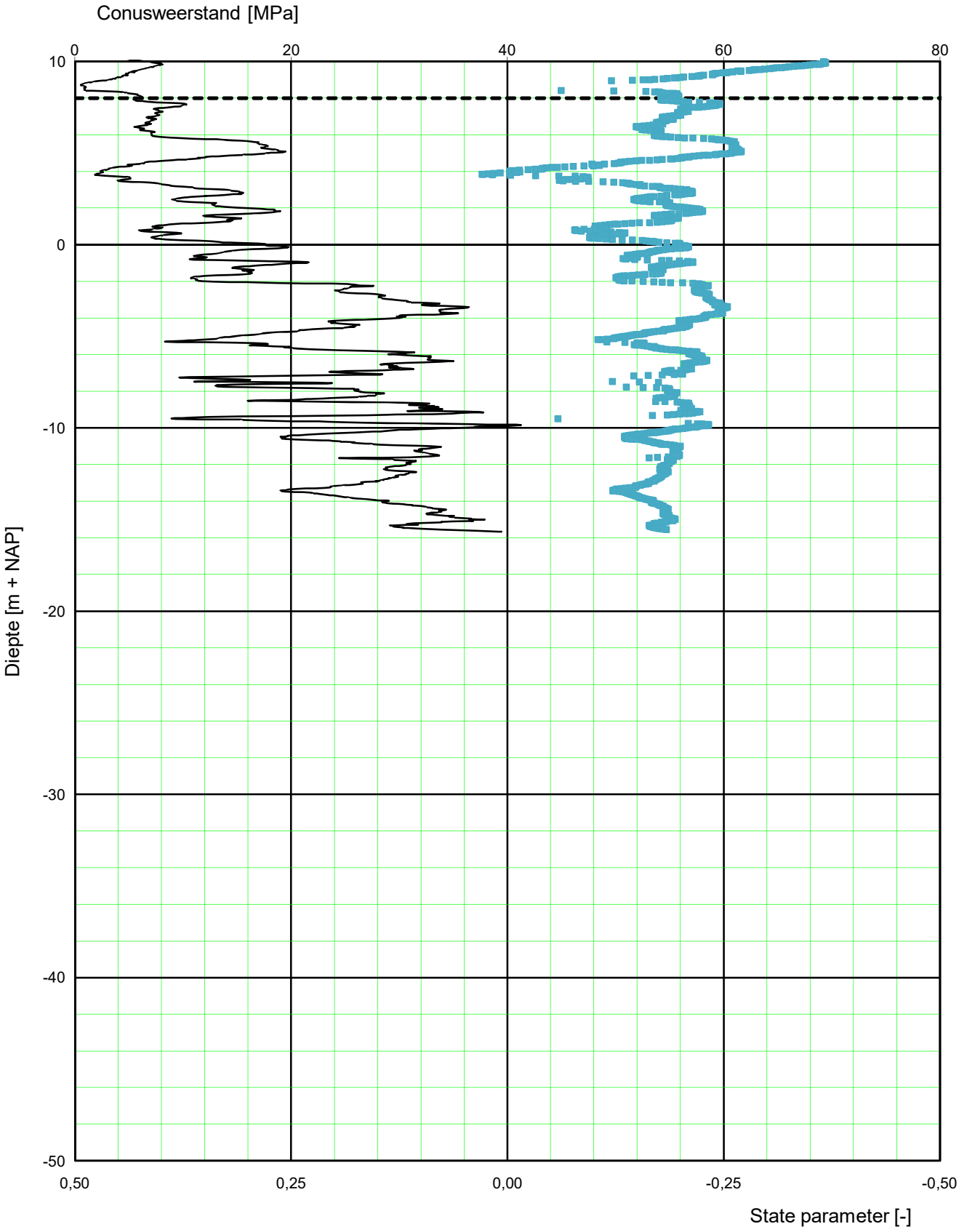
STATE PARAMETER (SH 2017) **Opdr. : 1017-0026-000**
DKM302
TALUDSTABILITEIT ZANDWINNING IN DE GENDTSE WAARD TE GENDT **Bijlage: A3**



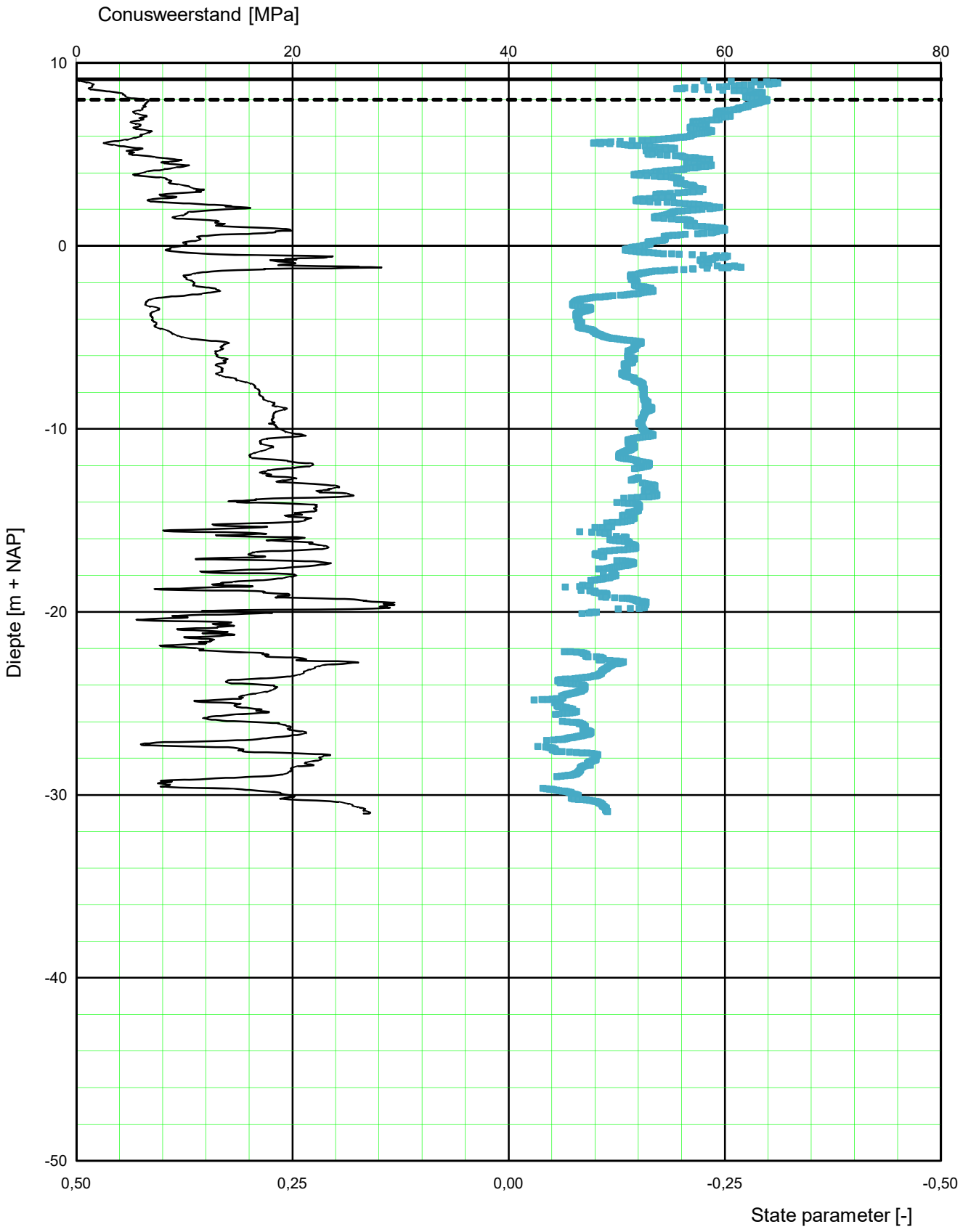
STATE PARAMETER (SH 2017) **Opdr. : 1017-0026-000**
DKM304
TALUDSTABILITEIT ZANDWINNING IN DE GENDTSE WAARD TE GENDT **Bijlage: A3**



STATE PARAMETER (SH 2017) **Opdr. : 1017-0026-000**
DKM310
TALUDSTABILITEIT ZANDWINNING IN DE GENDTSE WAARD TE GENDT **Bijlage: A3**



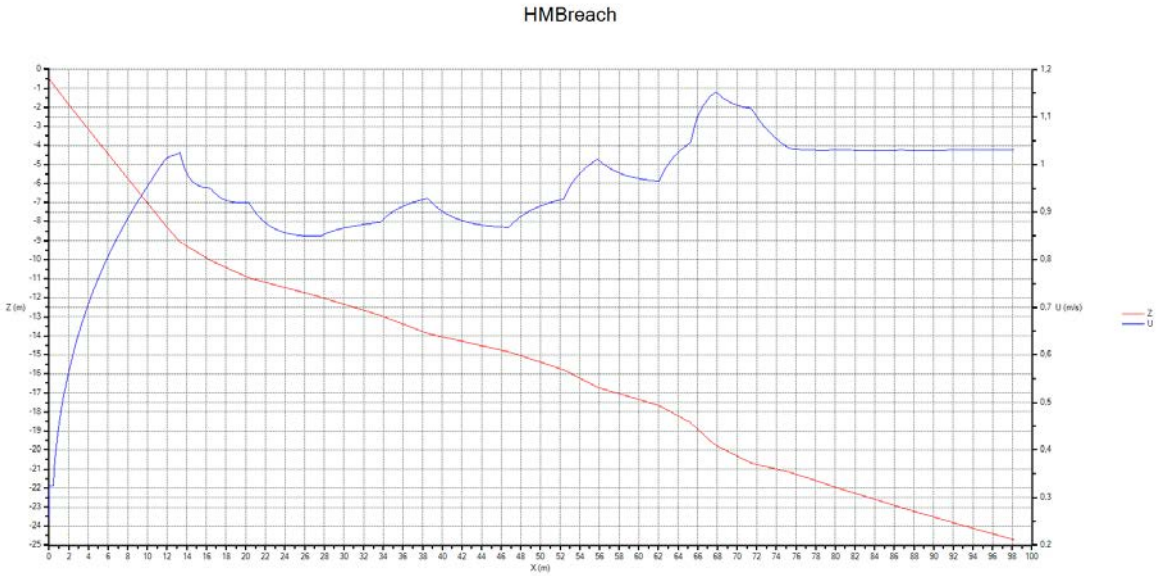
STATE PARAMETER (SH 2017) **Opdr. : 1017-0026-000**
DKM311
TALUDSTABILITEIT ZANDWINNING IN DE GENDTSE WAARD TE GENDT **Bijlage: A3**



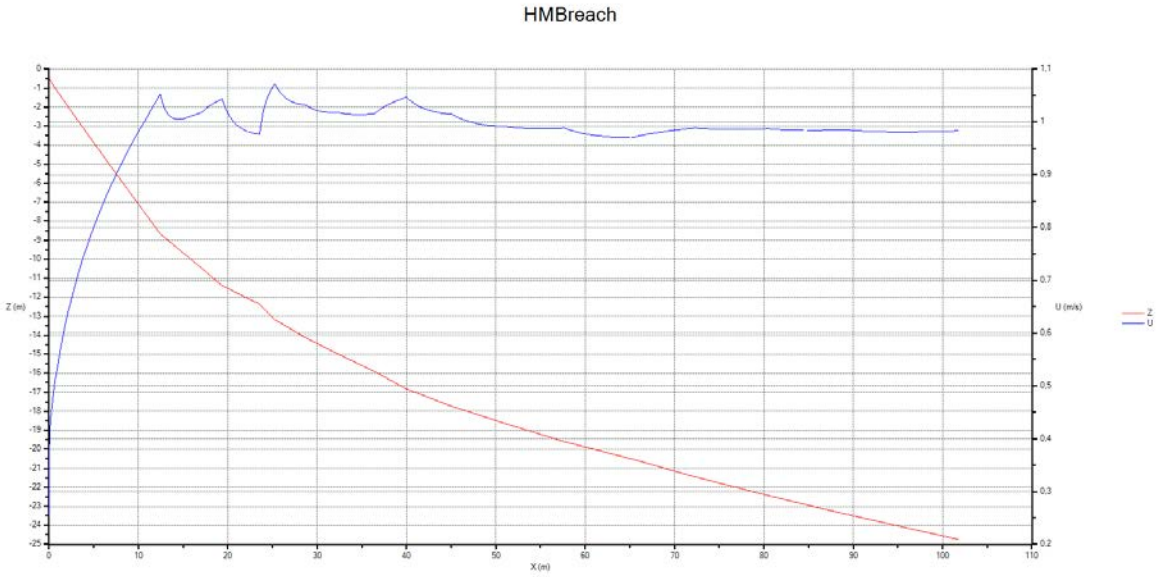
STATE PARAMETER (SH 2017) **Opdr. : 1017-0026-000**
DKM315
TALUDSTABILITEIT ZANDWINNING IN DE GENDTSE WAARD TE GENDT **Bijlage: A3**

Bijlage A4: Grafieken HMBreach Berekeningen

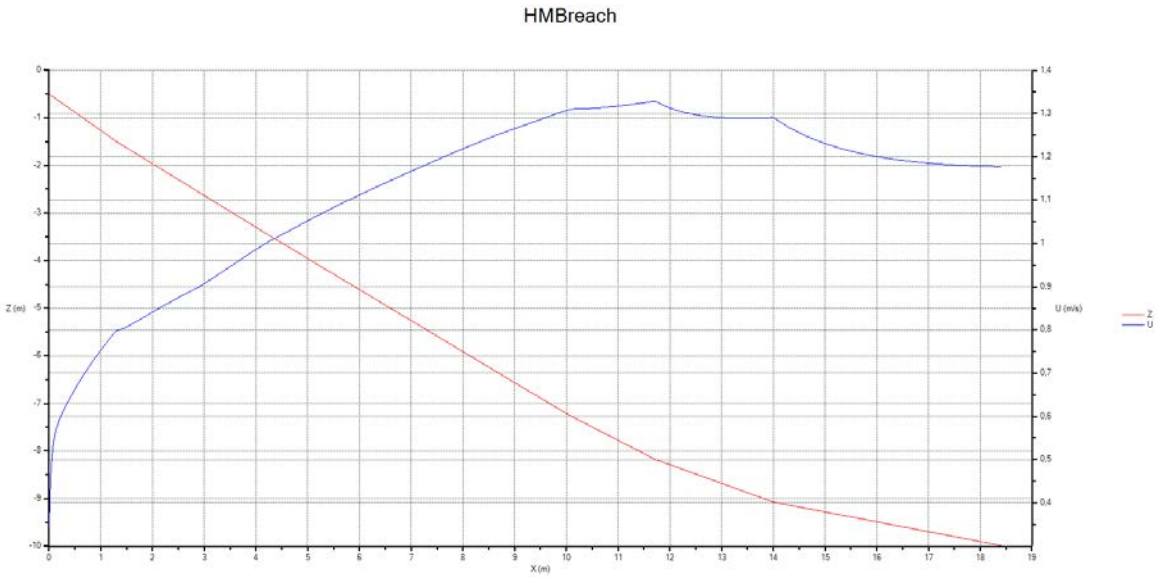
Doorsnede A1



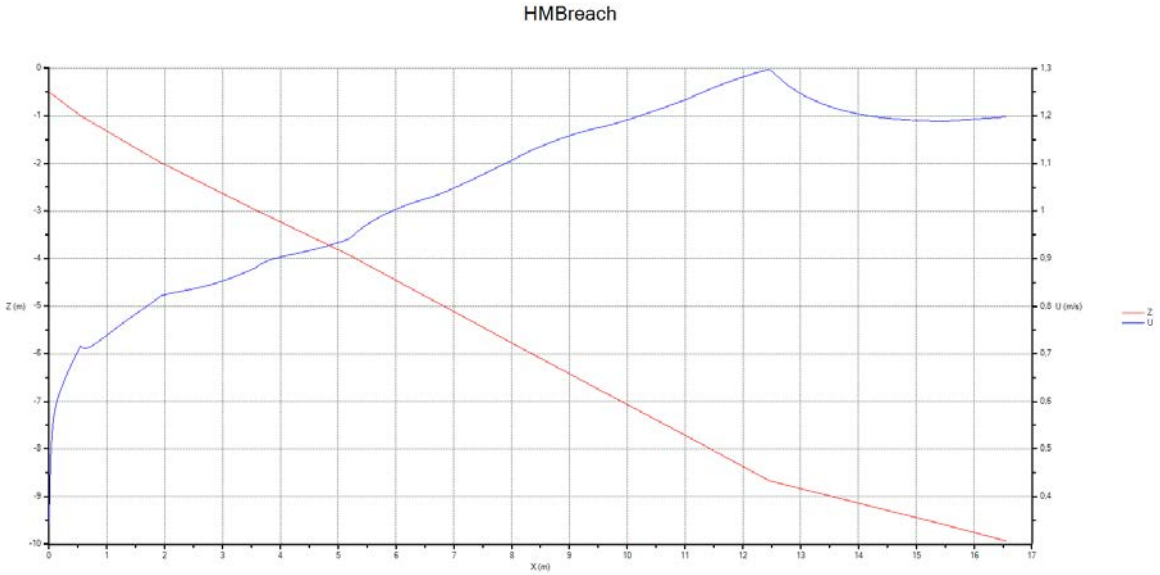
Figuur A-11: Doorsnede A1 – Taludontwikkeling BG10 met hoogte (Z) en mengselstroomsnelheid (U) voor talud zonder berm



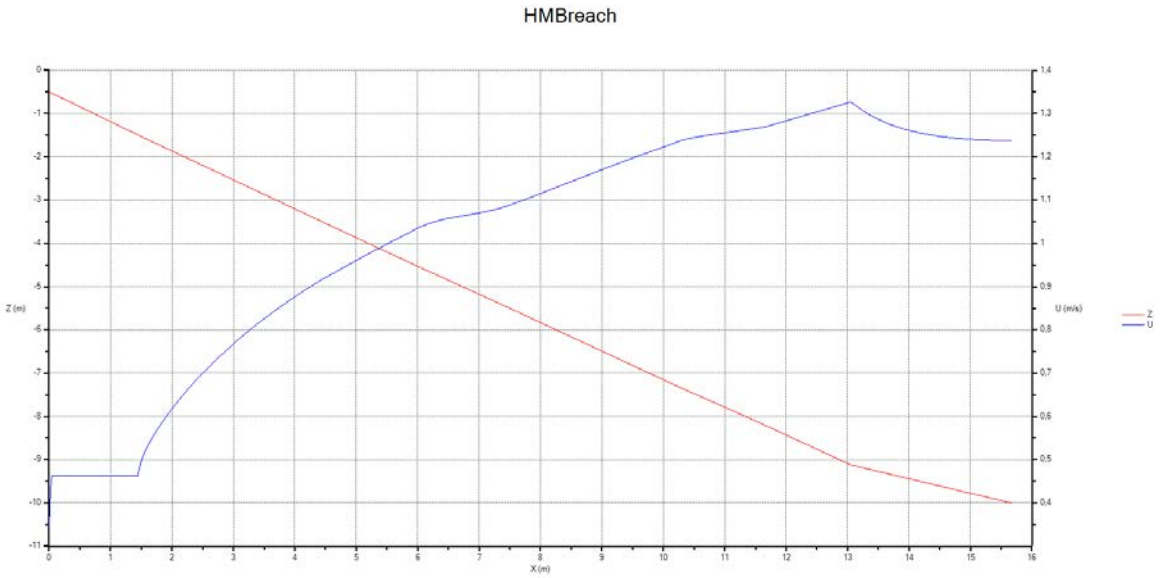
Figuur A-12: Doorsnede A1 – Taludontwikkeling BG5 met hoogte (Z) en mengselstroomsnelheid (U) voor talud zonder berm



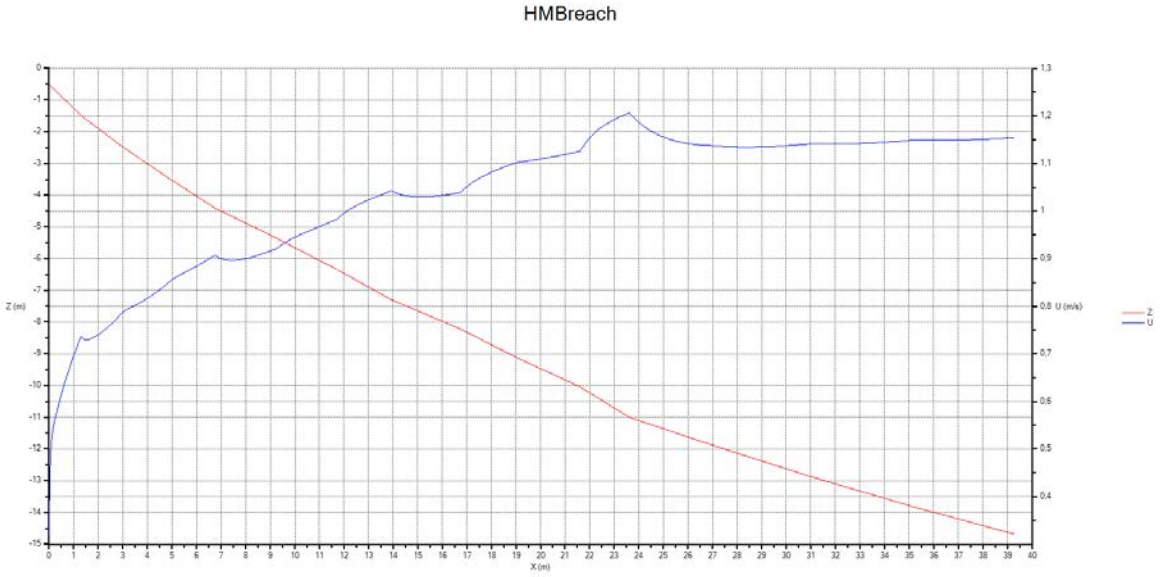
*Figuur A-13: Doorsnede A1 – Taludontwikkeling BG10 met hoogte (Z) en mengselstroomsnelheid (U) voor talud **boven** berm*



*Figuur A-14: Doorsnede A1 – Taludontwikkeling BG10 met hoogte (Z) en mengselstroomsnelheid (U) voor talud **onder** berm*

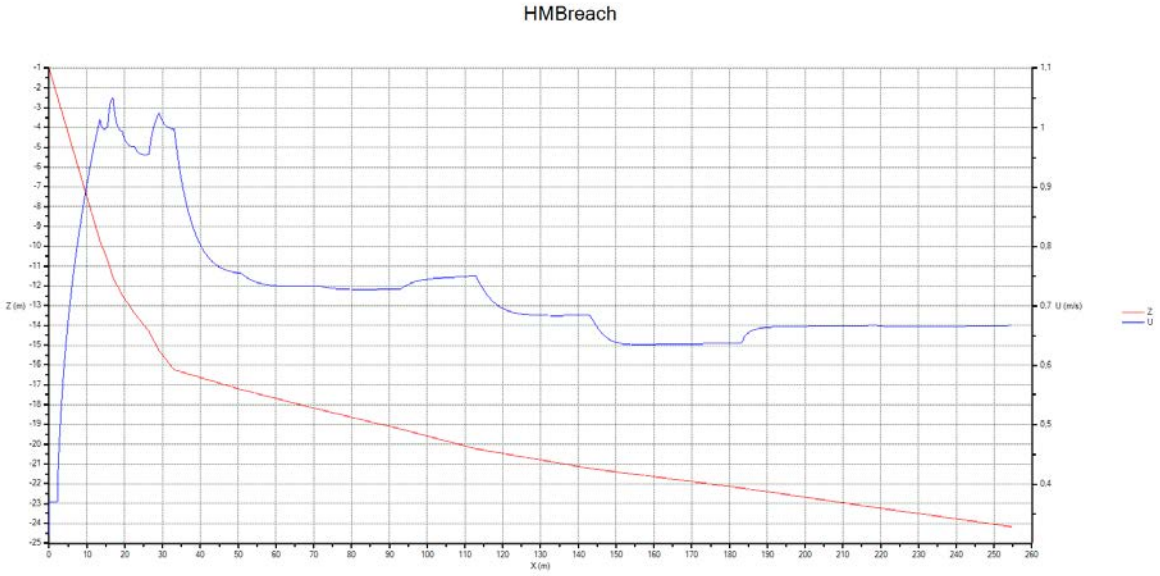


*Figuur A-15: Doorsnede A1 – Taludontwikkeling BG5 met hoogte (Z) en mengselstroomsnelheid (U) voor talud **boven** berm*

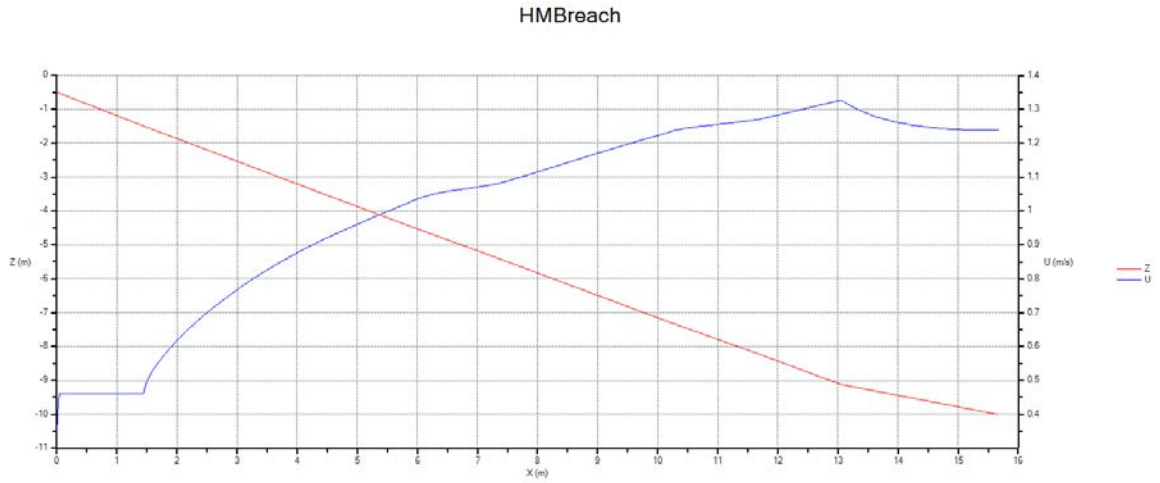


*Figuur A-16: Doorsnede A1 – Taludontwikkeling BG5 met hoogte (Z) en mengselstroomsnelheid (U) voor talud **onder** berm*

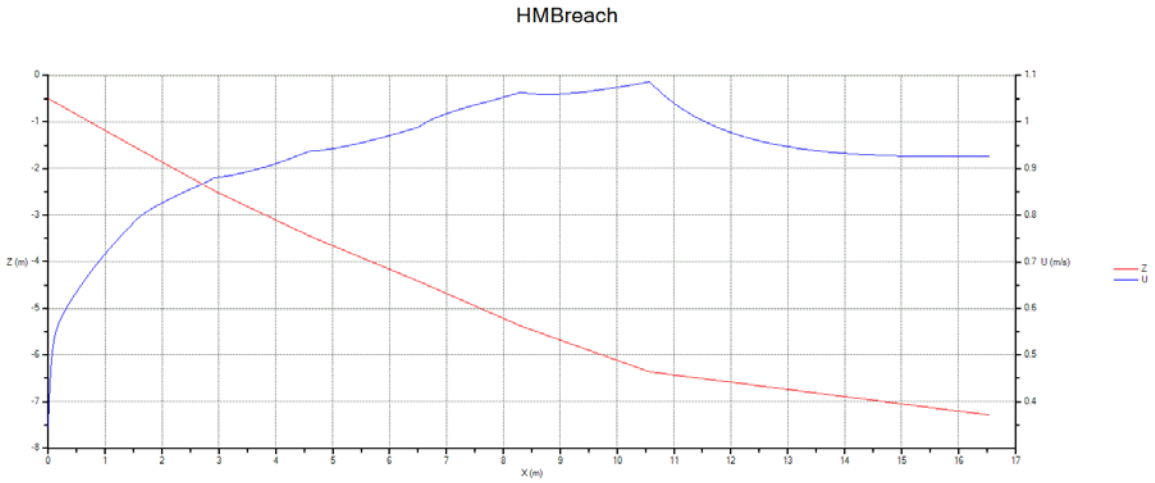
Doorsnede A2



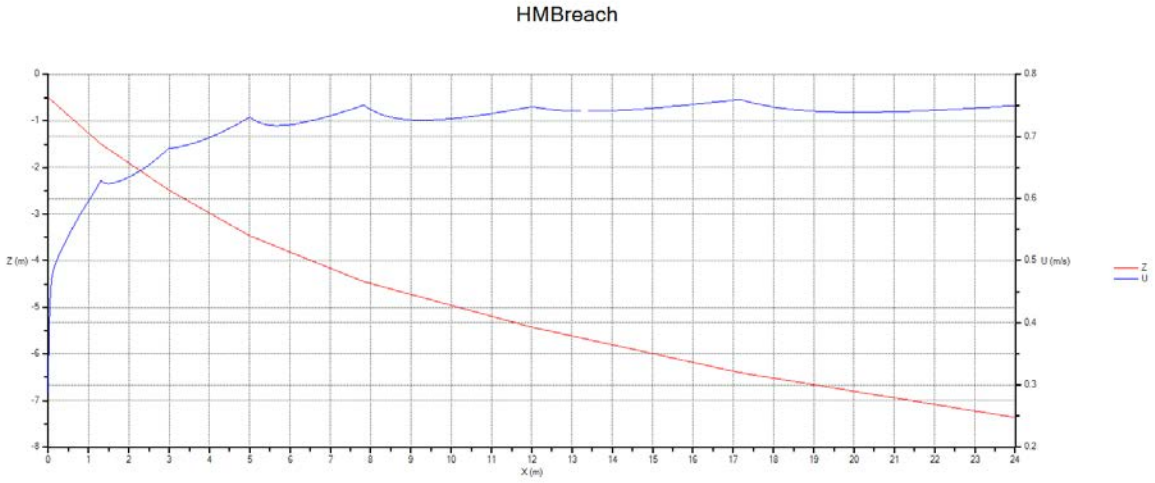
Figuur A-17: Doorsnede A2 – Taludontwikkeling BG1 met hoogte (Z) en mengselstroomsnelheid (U) voor talud zonder berm



*Figuur A-18: Doorsnede A2 – Taludontwikkeling BG1 met hoogte (Z) en mengselstroomsnelheid (U) voor talud **boven** eerste berm*



*Figuur A-19: Doorsnede A2 – Taludontwikkeling BG1 met hoogte (Z) en mengselstroomsnelheid (U) voor talud **tussen** eerste en tweede berm*



*Figuur A-20: Doorsnede A2 – Taludontwikkeling BG1 met hoogte (Z) en mengselstroomsnelheid (U) voor talud **onder** berm*