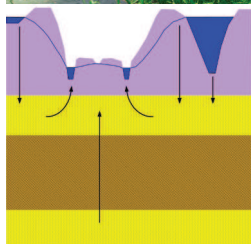



Geohydrologische effectberekening Fietsenkelder Amsterdam Centraal



Geohydrologische effectberekening Fietsenkelder Amsterdam Centraal

referentie	projectcode	status
ASD1549-1/15-012.926	ASD1549-1	definitief
projectleider	projectdirecteur	datum
F.G. Versteegen MSc	ir. H.J. Mondeel	4 augustus 2015

autorisatie	naam	paraaf
goedgekeurd	F.G. Versteegen MSc	

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. INLEIDING	1
1.1. Aanleiding	1
1.2. Doel	1
1.3. Leeswijzer	2
2. UITGANGSPUNTEN/GEBIEDSOMSCHRIJVING	3
2.1. Projectlocatie	3
2.2. Bodemopbouw	3
2.2.1. REGIS 2.1	4
2.2.2. Sonderingen	5
2.2.3. Geohydrologische schematisatie ter plaatse van fietsenkelder	7
2.3. Oppervlaktewater	7
2.4. Grondwaterstand en stijghoogte	8
2.4.1. Freatische grondwaterstand	8
2.4.2. Stijghoogte wadzandlaag en 1 ^e zandlaag	11
2.5. Kenmerken fietsenkelder	14
2.6. Ondergrondse constructies	15
2.6.1. Metroverdeelhal en metro Oostlijn	15
2.6.2. Noord/Zuidlijn	15
2.6.3. Parkeergarage Centraal Station (Prins Hendrikkade)	16
2.6.4. Kistdam IJ-oever	16
2.6.5. Kademuur Prins Hendrikkade	17
3. GRONDWATERMODEL	19
3.1. Modelgebied	19
3.2. Modelranden	19
3.3. Celgrootte	20
3.4. Modellagen	20
3.4.1. Geohydrologische parameters	21
3.5. Oppervlaktewater en drainage	22
3.5.1. Ligging watergangen	22
3.5.2. Ligging drainage	22
3.5.3. Modelparameters	23
3.5.4. Grondwateraanvulling	24
3.6. Ondergrondse constructies	24
3.7. Stationaire kalibratie	24
3.7.1. Uitgangswaarden geohydrologische parameters	24
3.7.2. Selectieset peilbuizen	25
3.7.3. Modelresultaat bij uitgangswaarden geohydrologische parameters	26
3.7.4. Modelaanpassingen	26
3.7.5. Kalibratieresultaat	27
3.8. Berekende grondwaterstand en stijghoogte grondwatermodel gemiddelde situatie (huidig - zonder fietsenkelder)	28
3.9. Grondwatermodel droge en natte situatie (huidig - zonder fietsenkelder)	29
3.10. Invoeren fietsenkelder in grondwatermodel	31
3.11. Verwachting mogelijke effecten fietsenkelder	32
4. SCENARIOS/EFFECTBEREKENINGEN	35
4.1. Gemiddelde situatie	35
4.1.1. Gemiddelde situatie met permanente damwanden	36
4.2. Natte periode	37

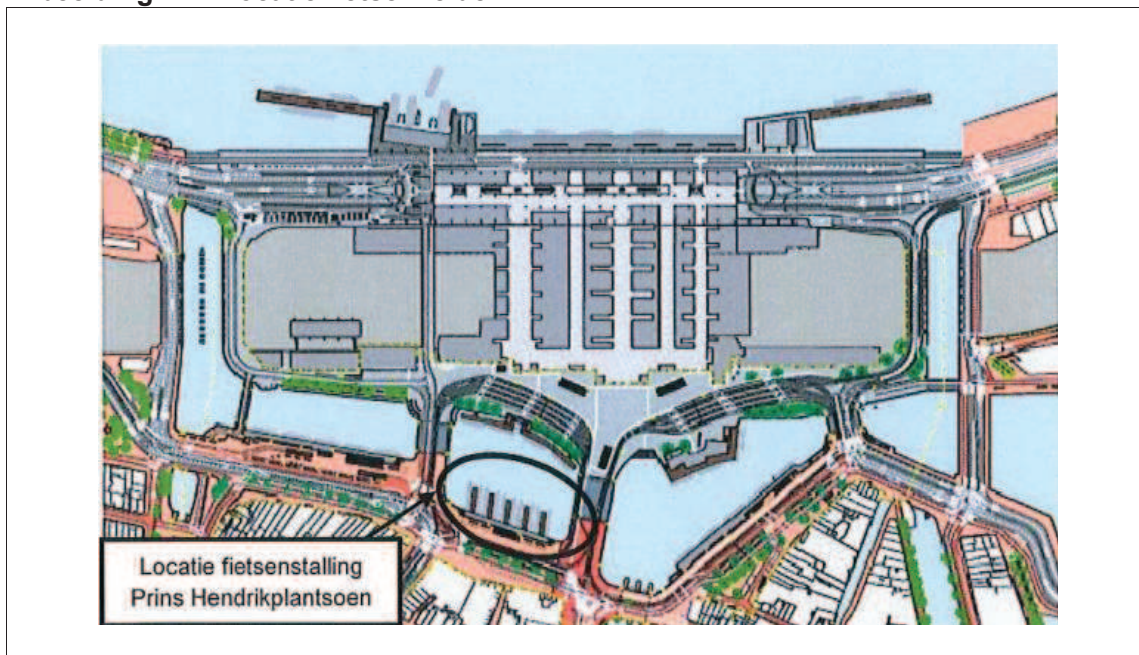
4.3.	Droge periode	39
5.	AFGELEIDE EFFECTEN OP DE OMGEVING	41
5.1.	Inleiding	41
5.2.	Beschouwing berekende effecten i.r.t. effecten op omgeving	41
5.2.1.	Freatische grondwaterstand	41
5.2.2.	Stijghoogte in wadzandlaag	42
5.3.	Effect permanente damwanden 1 ^e watervoerende pakket	42
6.	CONCLUSIE	43
7.	REFERENTIES	45
	laatste bladzijde	45
BIJLAGEN		aantal blz.
I	Beschouwde sonderingen	33
II	Modellagen in relatie tot bodemopbouw op basis van sonderingen	1

1. INLEIDING

1.1. Aanleiding

Rondom Amsterdam Centraal is een tekort aan fietsparkeerplaatsen. Er wordt daarom een grote ondergrondse fietsenstalling gerealiseerd aan de zuidzijde van Amsterdam Centraal met ruimte voor circa 7.000 fietsen. De fietsenstalling bevindt zich onder het water van het Open Havenfront ter plaatse van het Prins Hendrikplantsoen (afbeelding 1.1).

Afbeelding 1.1. Locatie fietsenkelder



De gemeente Amsterdam en Waternet hebben in de grondwaternorm vastgelegd dat nieuwe ontwikkelingen geen nadelige effecten op de grondwaterstand mogen hebben. De aanleg van de ondergrondse fietsenstalling kan effecten hebben op de grondwaterstroming (drainage) naar het Open Havenfront, en daarmee op grondwaterstand en stijghoogte in de omgeving.

De gemeente Amsterdam heeft Witteveen+Bos gevraagd een geohydrologisch onderzoek uit te voeren naar de grondwaterstandeffecten als gevolg van de aanleg van de fietsenkelder bij het Centraal Station.

1.2. Doel

Het doel van dit geohydrologisch onderzoek is het aantonen van het effect van de fietsenkelder op de grondwaterstand en stijghoogte in alle relevante watervoerende pakketten. In het onderzoek wordt het effect van de fietsenkelder in de eindsituatie (na realisatie van de fietsenkelder) beschouwd. Indien er effecten optreden op de grondwaterstand en/of stijghoogte, wordt bepaald of dit effect schadelijk is voor de belangen in de omgeving.

Het onderzoek zal door de gemeente Amsterdam worden gebruikt als onderbouwing van het grondwatereffect in de waterparagraaf van het bestemmingsplan Stationseiland en Prins Hendrikkade.

1.3. Leeswijzer

In hoofdstuk 2 zijn de uitgangspunten beschreven. Zowel de uitgangspunten van de fietsenkelder en andere constructies in de ondergrond, als geohydrologische uitgangspunten. In hoofdstuk 3 is het grondwatermodel dat is opgesteld beschreven. Het modelgebied, de schematisatie en de ingevoerde parameters zijn verklaard. Vervolgens wordt in hoofdstuk 4 de effectberekening beschreven. Voor verschillende situaties, een gemiddelde situatie, een natte en een droge situatie, is het effect van de fietsenkelder op de grondwaterstand en stijghoogte berekend. In hoofdstuk 5 zijn tenslotte de conclusies en aanbevelingen beschreven.

2. UITGANGSPUNTEN/GEBIEDSOMSCHRIJVING

2.1. Projectlocatie

De fietsenkelder wordt gerealiseerd aan de zuidkant van Amsterdam Centraal, aan de Prins Hendrikkade. De fietsenkelder komt onder het Open Havenfront. Afbeelding 2.1 toont de projectlocatie.

Afbeelding 2.1. Plattegrond projectlocatie



2.2. Bodemopbouw

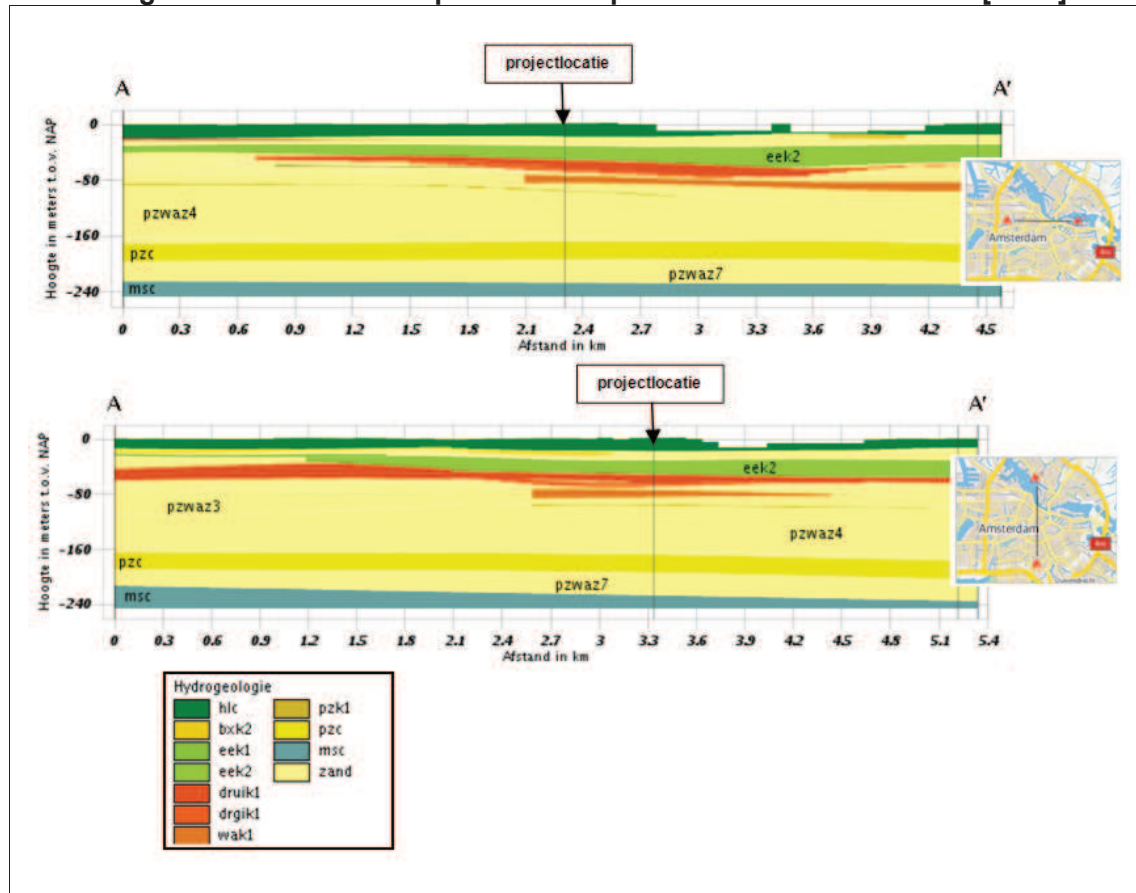
In deze paragraaf is de bodemopbouw beschreven. Om de bodemopbouw te bepalen is gebruik gemaakt van de volgende bronnen:

- REGIS 2.1 [ref. 1];
- sonderingen [ref. 2, 3];
- recent uitgevoerde nabijgelegen projecten [ref. 4, 5].

2.2.1. REGIS 2.1

Uit het REGIS 2.1 ondergrondmodel zijn doorsneden gemaakt van de ondergrond. Afbeelding 2.2 toont de doorsneden. Deze informatie is benut om een eerste globale indruk van de bodemopbouw te krijgen.

Afbeelding 2.2. Doorsneden diepere bodemopbouw uit REGIS II.1 model [ref. 1]

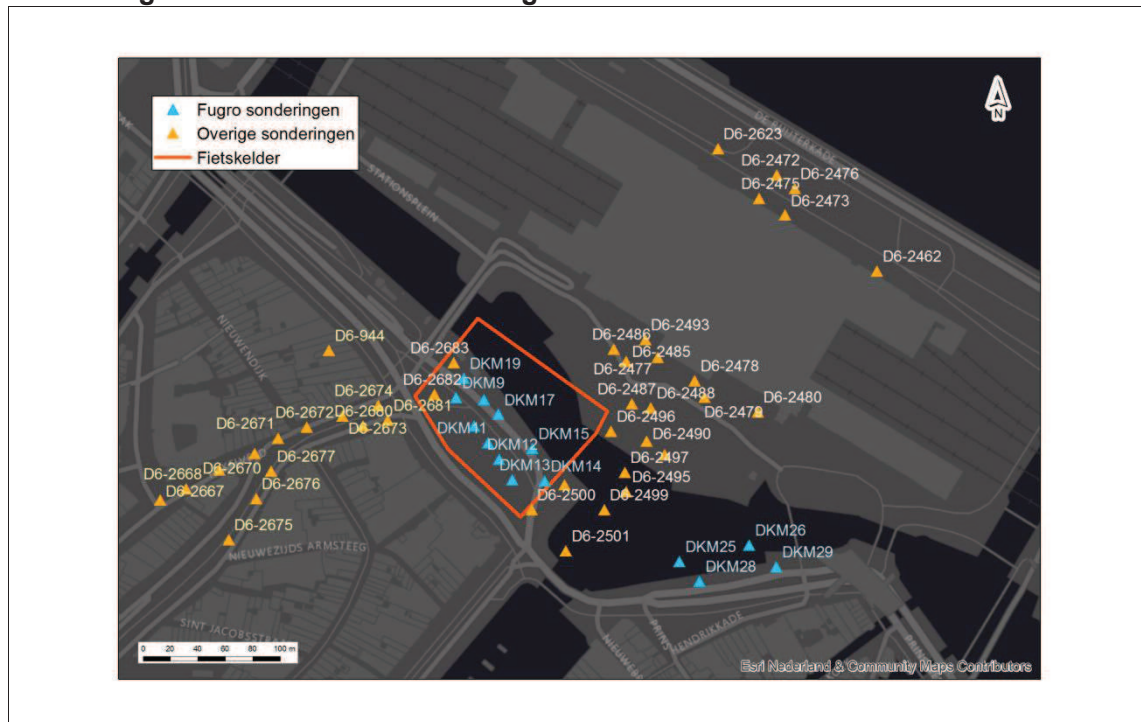


Uit de doorsneden blijkt dat de bodemopbouw ter plaatse van de projectlocatie bestaat uit een Holocene deklaag van circa 17 m dikte. Daaronder bevindt zich het 1^e watervoerende pakket. Dit pakket bestaat uit zandlagen behorende tot de Formatie van Boxtel en de Formatie van Eem. Onderkant van het 1^e watervoerende pakket ligt op circa NAP -30 m. Aan de onderzijde wordt deze afgesloten door een dikke kleilaag behorende tot de Eem Formatie. Deze kleilaag ligt van circa NAP -30 m tot circa NAP -50 m. Onder de Eemklei ligt nog een kleipakket, behorende tot de Formatie van Drente. Gezien de dikte van dit kleipakket en de grote verticale weerstand van deze twee kleipakketten, en de maximale diepteligging van de fietsenkelder tot NAP -8,15 m (zie paragraaf 2.5, uitgangspunten fietsenkelder) wordt de Eemkleilaag als geohydrologische basis voor deze studie beschouwd.

2.2.2. Sonderingen

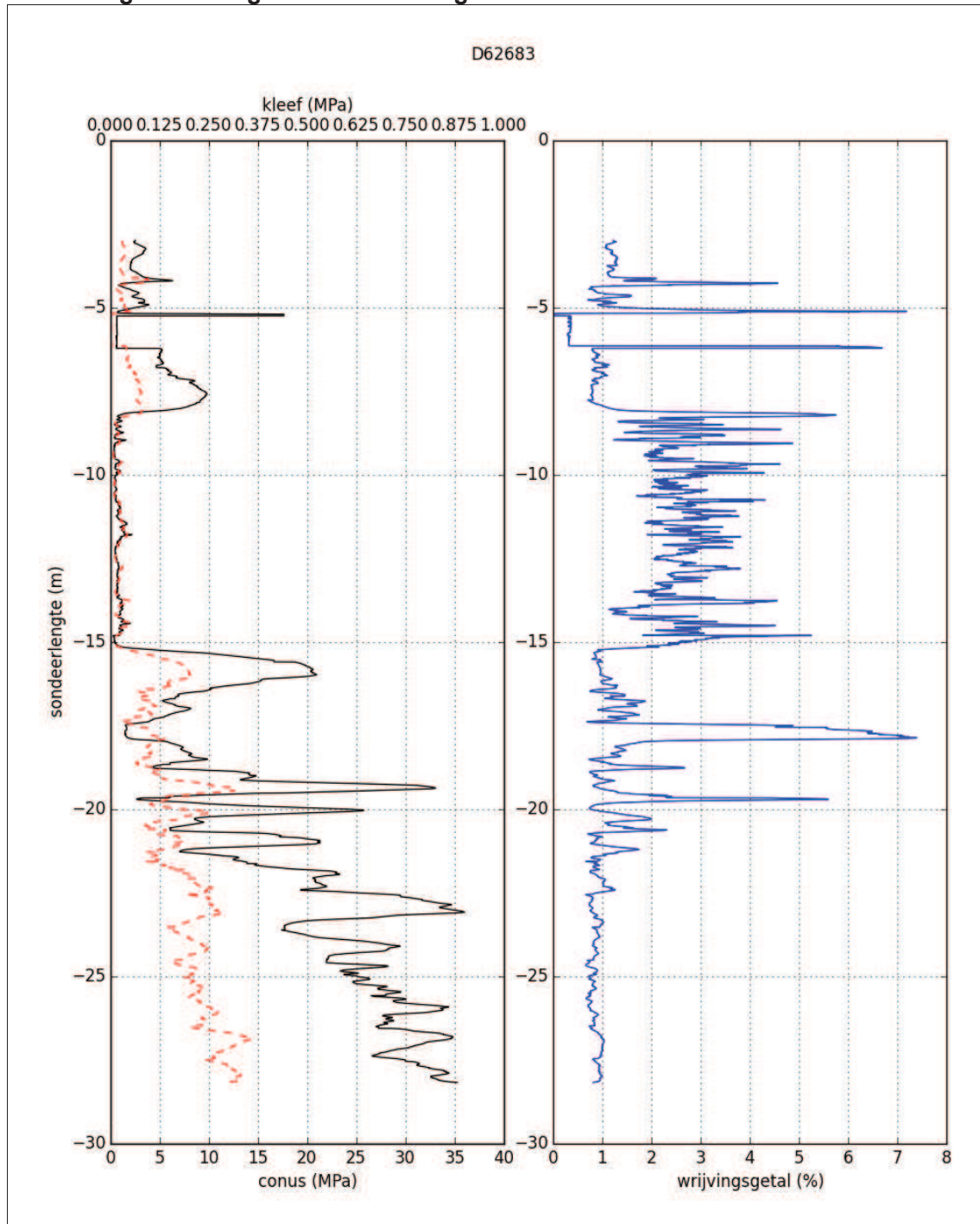
De beschouwde sonderingen zijn weergegeven in afbeelding 2.3.

Afbeelding 2.3. Beschouwde sonderingen



De sonderingen zijn visueel geanalyseerd om verschillende bodemlagen te onderscheiden. In bijlage I zijn de geanalyseerde sonderingen opgenomen. Afbeelding 2.4 toont de grafiek van sondering D6-2683. Deze sondering kan als maatgevend beschouwd worden, omdat deze de gemiddelde bodemopbouw het beste weergeeft. Deze sondering loopt niet door tot aan de Eemklei dus de diepteligging van de Eemklei bij de projectlocatie is gebaseerd op de overige beschouwde sonderingen.

Afbeelding 2.4. Maatgevende sondering D6-2683



In afbeelding 2.4 zijn zandigere lagen te onderscheiden door een lager wrijvingsgetal (grafiek rechts) en een hogere conusweerstand (grafiek links). Slappere lagen, zoals klei en veenlagen kennen juist een hoger wrijvingsgetal en een lagere conusweerstand.

Uit de sondering is dus een opeenvolging van zandpakketten en klei/veenlagen op te maken. In de volgende subparagraaf is deze, met de andere sonderingen en informatie omgezet in een geohydrologische schematisatie.

2.2.3. Geohydrologische schematisatie ter plaatse van fietsenkelder

Op basis van de doorsneden uit REGIS II.1 en de beschouwde sonderingen is de maatgevende bodemopbouw bij de projectlocatie vastgesteld. In tabel 2.1 is deze gegeven.

Benadrukt wordt dat de ondergrond van Amsterdam zeer heterogeen is. Onderstaande bodemopbouw is als maatgevende bodemopbouw vastgesteld om de geohydrologische effecten van de fietsenkelder te berekenen. De ophooglaag en de wadzandlaag zijn relatief dik ingevoerd ten opzichte van de maatgevende sondering. Hoe dikker deze zandlagen in het model worden ingevoerd, hoe meer stroming hierdoor kan plaatsvinden, en hoe meer effect er zal worden berekend als gevolg van de aanwezigheid van de fietsenkelder. Dit is daarmee een worst-case benadering. De bodemopbouw kan lokaal verschillen van de hieronder gegeven bodemopbouw.

Tabel 2.1. Geohydrologische schematisatie

van (m NAP)	tot (m NAP)	lithologie	geohydrologie
mv	-5	aanvullaag van zand	freatische watervoerende laag (deklaag)
-5	-5,5	kleilaag	1 ^e scheidende laag (deklaag)
-5,5	-8	wadafzetting zand	matig watervoerende zandlaag (deklaag)
-8	-12 à -15	oude zeeklei	2 ^e scheidende laag (deklaag)
-15	-17	1 ^e zandlaag	1 ^e zandlaag (1 ^e WVP)
-17	-17,5	kleilaag	3 ^e scheidende laag
-17,5	-33	2 zandlaag	2 ^e zandlaag (1 ^e WVP)
-33	-55 à -60	Eemklei	geohydrologische basis

Het maaiveld rondom de projectlocatie varieert tussen de NAP +1,0 m en NAP +2,5 m. Vanaf het maaiveld tot ca. NAP -5 m ligt een aanvullaag voornamelijk bestaande uit zand. Dit is de freatische watervoerende laag. Daaronder bevindt zich een dunne slecht doorlatende kleilaag tot NAP -5,5 m. Hieronder bevindt zich de wadzandlaag, een watervoerende zandlaag. Vanaf NAP -8 m tot circa NAP -12 à -15 m ligt een slecht doorlatende kleilaag. De eerste zandlaag van het eerste watervoerende pakket ligt tussen NAP -15 m en NAP -17 m en de tweede zandlaag ligt tussen NAP -17,5 en NAP -33 m met daartussen nog een dunne slecht doorlatende kleilaag. In deze studie wordt de geohydrologische basis gevormd door de kleilaag van de Eem formatie.

De samenstelling, diepteligging, en dikte van de afzonderlijke lagen in de deklaag is sterk heterogeen binnen de stad Amsterdam en kan dus afwijken van de bodemopbouw nabij het project gebied.

2.3. Oppervlaktewater

De projectlocatie ligt direct onder het Open Havenfront. Hierin wordt een peil van NAP -0,4 m gehanteerd. Dit peil geldt voor alle watergangen in de omgeving van het projectgebied.

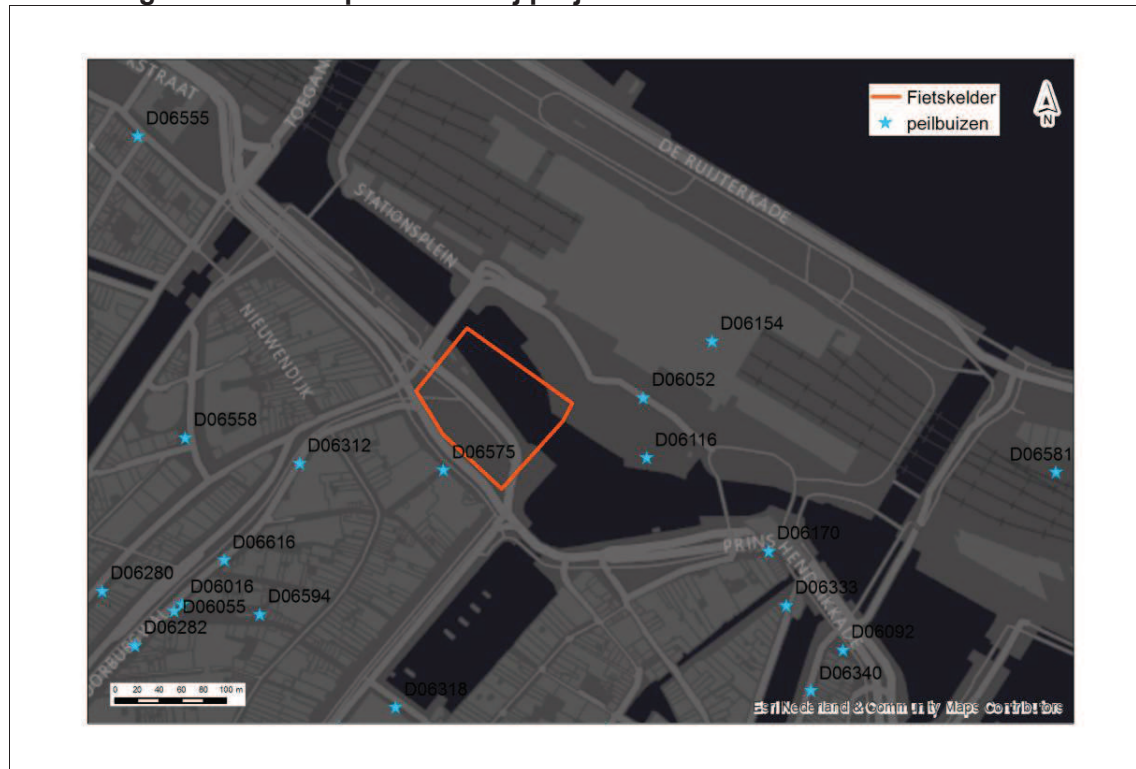
De watergangen zijn gemiddeld circa 2 à 2,5 m diep. Daarmee is de bodemhoogte van de watergangen circa NAP -2,5 à NAP -3 m.

2.4. Grondwaterstand en stijghoogte

2.4.1. Freatische grondwaterstand

De freatische grondwaterstand in Amsterdam wordt sterk bepaald door lokale factoren als het oppervlaktewaterpeil, aanwezige drainage en de samenstelling van de weerstand in de ophooglaag en de deklaag. De grondwaterstroming in de freatische laag vindt dan ook zeer lokaal plaats. Op een groot aantal locaties in de stad wordt de freatische grondwaterstand gemeten met het peilbuizenetwerk van Waternet [ref. 6]. Afbeelding 2.5 toont de peilbuislocaties in de omgeving van de projectlocatie.

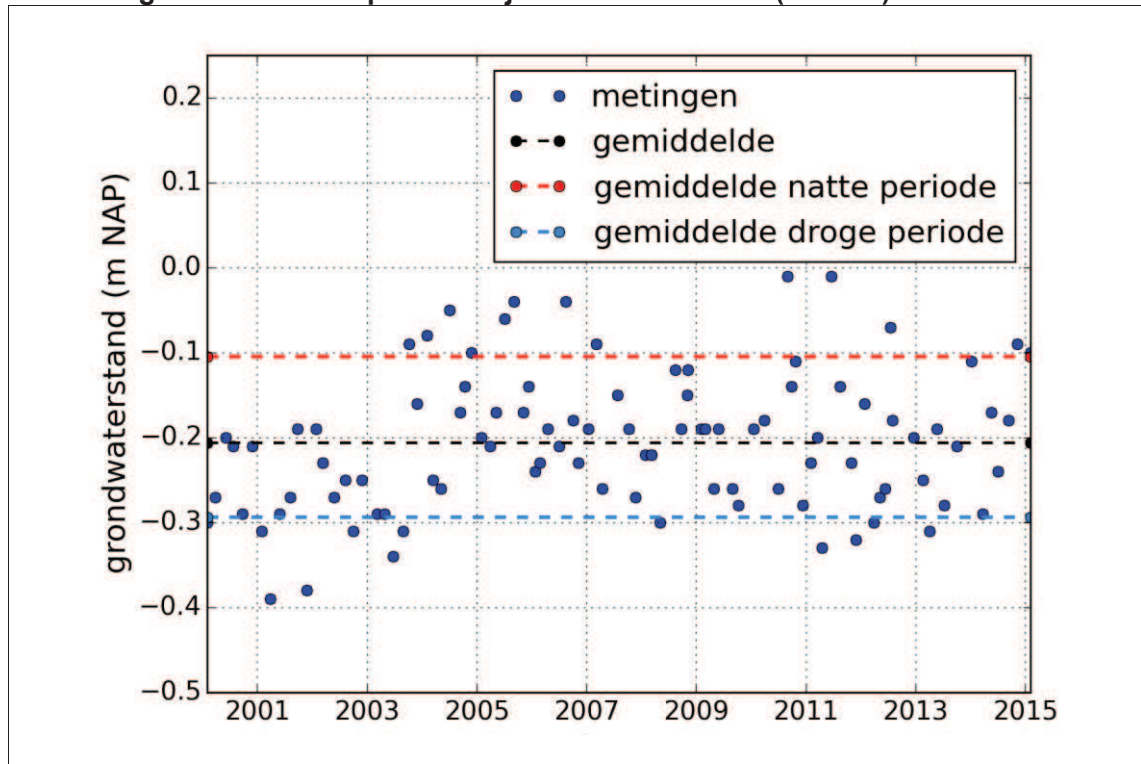
Afbeelding 2.5. Locaties peilbuizen bij projectlocatie



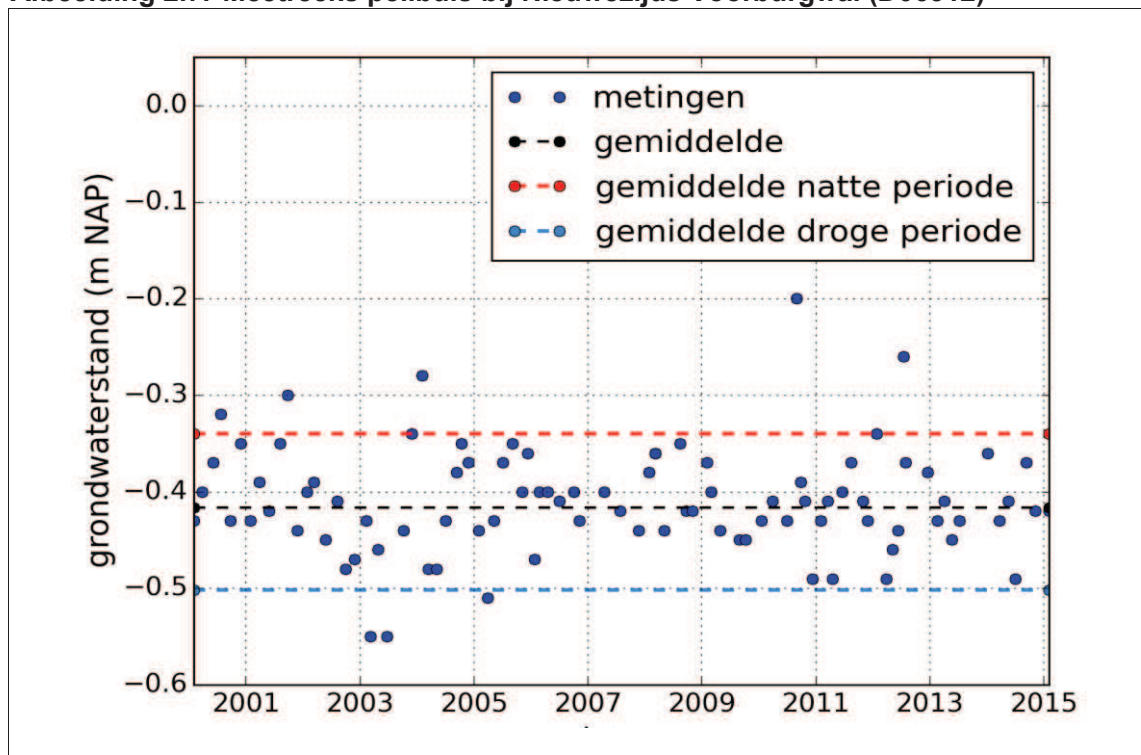
De peilbuizen worden handmatig gemeten door Waternet. Gemiddeld zijn er circa 6 à 7 metingen per jaar. Daardoor is niet uit te sluiten dat de grondwaterstand tussen de meetmomenten hoger of lager is geweest. Doordat de meetreeksen relatief lang zijn, geven de metingen toch een goed beeld van de gemiddelde grondwaterstand.

In afbeelding 2.6 t/m 2.8 is van de meest nabijgelegen peilbuizen de meetreeks weergegeven. Ook is het gemiddelde van de meetreeks weergegeven, en zijn tevens de gemiddelde maximale en minimale grondwaterstanden weergegeven. Hierbij is het gemiddelde van de jaar maxima en minima genomen als een benadering voor de grondwaterstand in de natte en droge periodes.

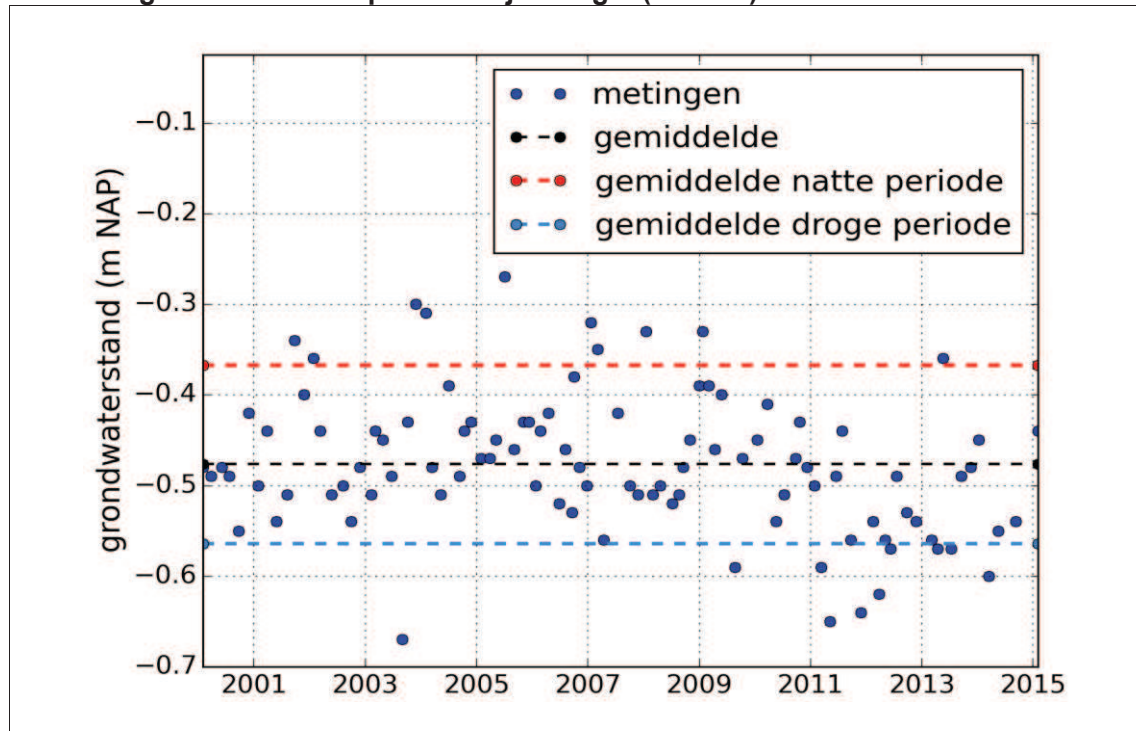
Afbeelding 2.6. Meetreeks peilbuis bij Prins Hendrikkade (D06575)



Afbeelding 2.7. Meetreeks peilbuis bij Nieuwezijds Voorburgwal (D06312)

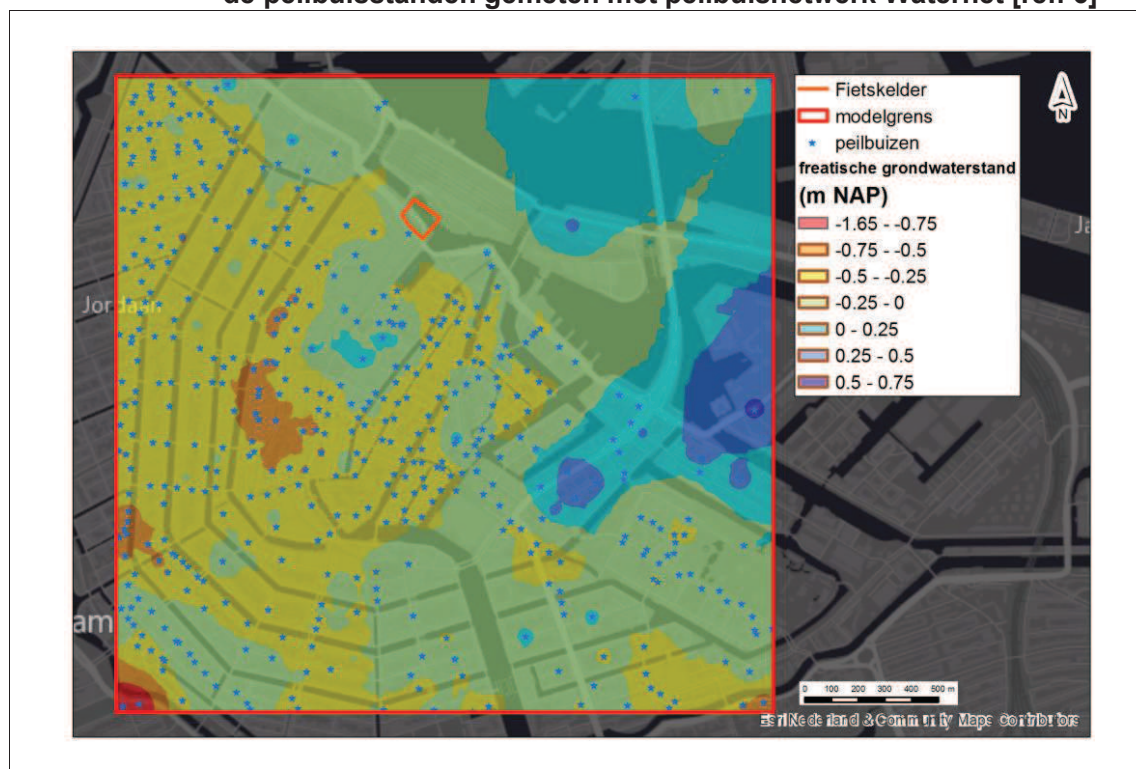


Afbeelding 2.8. Meetreeks peilbuis bij Kattegat (D06558)



In afbeelding 2.9 is de interpolatie van de gemiddelde grondwaterstand zoals gemeten in het peilbuizenennetwerk van Waternet weergegeven.

Afbeelding 2.9. Freatische grondwaterstand op basis van interpolatie van gemiddelde peilbuisstanden gemeten met peilbuisnetwerk Waternet [ref. 6]



Afbeelding 2.9 geeft het regionale beeld van de freatische grondwaterstand. Doordat het een interpolatie van de gemeten grondwaterstanden in de peilbuizen is, kan de grondwaterstand tussen de meetpunten in de praktijk verschillen van de waarde zoals in bovenstaande afbeelding weergegeven. Doel van de interpolatie is een indruk te krijgen van het regionale patroon van de freatische grondwaterstand. Van de weergegeven freatische grondwaterstand zijn alleen de modelranden (rode lijn) gebruikt als input van het grondwatermodel.

Analyse freatische grondwaterstand en stroming

Peilbuis D06575 is het dichtst bij de projectlocatie gelegen. In deze peilbuis is een gemiddelde grondwaterstand van NAP -0,2 m gemeten. De metingen variëren in deze peilbuis tussen maximaal NAP 0 m tot minimaal NAP -0,4 m. Gezien het oppervlaktewaterpeil van NAP -0,4 m bolt het grondwater richting de Prins Hendrikkade dus op. De grondwaterstroming zal dus altijd in de richting van het oppervlaktewater (Open Havenfront) gericht zijn. In de natte periode, als de grondwaterstand het hoogst is, zal deze stroming groter zijn dan in de droge periode (als de grondwaterstand bijna gelijk is aan het oppervlaktewaterpeil).

Uit de overige nabijgelegen peilbuizen blijkt een iets ander beeld. De peilbuizen D06312 en D06558 meten een grondwaterstand die fluctueert rond het oppervlaktewaterpeil van NAP -0,4 m. Maximaal wordt in deze peilbuizen een grondwaterstand van circa NAP -0,2 m gemeten, en minimaal van circa NAP -0,6 m. Uit deze peilbuizen volgt dus een stromingspatroon waarbij in de nattere perioden de grondwaterstand richting het oppervlaktewater stroomt. En in een drogere periode, als de grondwaterstand laag is, een stroming vanuit het oppervlaktewater richting de stad.

Voor de effectberekening van de fietsenkelder is het van belang de maximaal mogelijke verschillen in beeld te brengen. Door het aanbrengen van de fietsenkelder in de ondergrond kan de grondwaterstroming deels geblokkeerd worden. Dit kan twee effecten hebben:

1. bij een stroming van het grondwater richting het oppervlaktewater: een opstuwend/vernattend effect;
2. bij een stroming van het oppervlaktewater richting het grondwater: een verlagend/verdrogend effect.

Omdat beide situaties voor lijken te komen, wordt voor zowel een natte situatie als een droge situatie het effect berekend.

Bepalen GLG en GHG

Aangeboden is de GLG en de GHG te bepalen [ref. 10]. De GLG is gedefinieerd als het gemiddelde van de laagst waargenomen 3 grondwaterstanden per jaar, gedurende minimaal 8 jaren. De GHG is dit voor het gemiddelde van de hoogst waargenomen 3 grondwaterstanden per jaar gedurende minimaal 8 jaren. Per jaar dienen minimaal 12 metingen (elke maand) beschikbaar te zijn. Gezien het beperkt aantal metingen per jaar in de beschikbare peilbuizen (circa 6 metingen per jaar) is het afleiden van de GLG en de GHG niet mogelijk.

In plaats van de GLG en de GHG is daarom naar het gemiddelde van de jaarmaxima en jaarminima gekeken.

2.4.2. Stijghoogte wadzandlaag en 1^e zandlaag

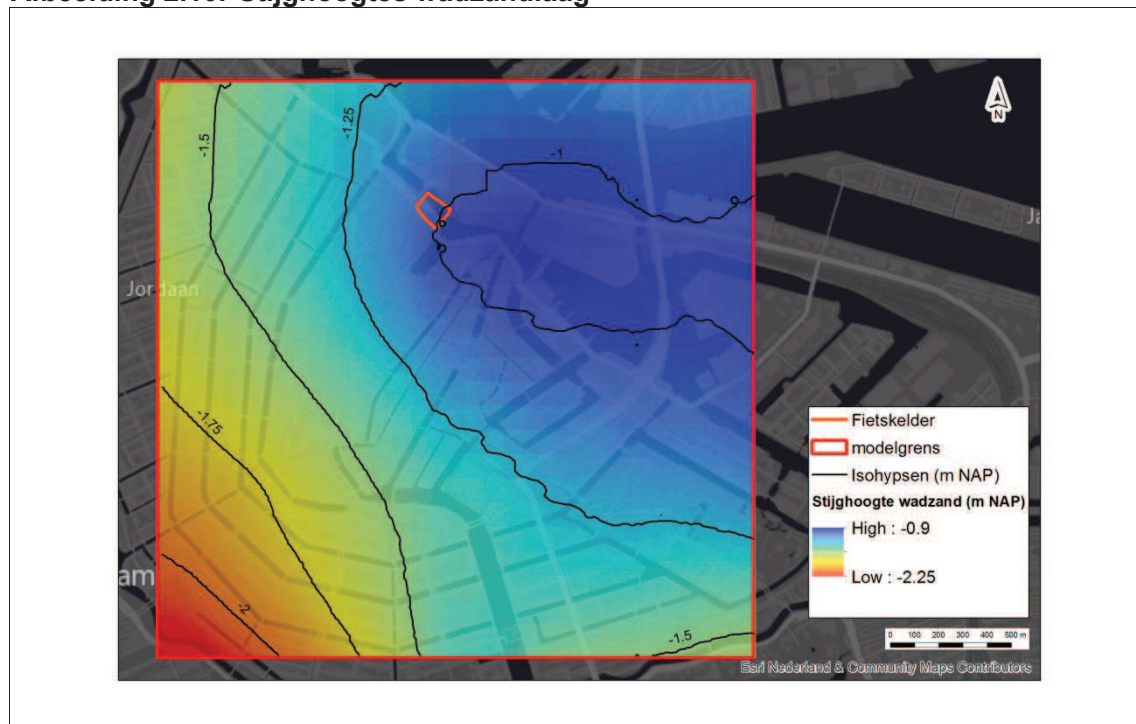
Wadzandlaag

De stijghoogte in de wadzandlaag is sterk afhankelijk van de (verdeling van de) aanwezige weerstand tussen het freatisch pakket en de wadzandlaag en de weerstand tussen de

wadzandlaag en de 1^e zandlaag. Globaal kan worden gesteld dat de stijghoogte in de wadzandlaag zich bevindt tussen de freatische grondwaterstand en de stijghoogte in de 1^e zandlaag. Afhankelijk van de weerstand tussen de freatische zandlaag en de wadzandlaag zal de stijghoogte in de wadzandlaag meer of minder richting de waarde van de freatische grondwaterstand gaan. De stijghoogte in deze laag wordt slechts beperkt gemeten in Amsterdam.

De stijghoogte in de wadzandlaag varieert tussen circa NAP -1,0 m bij het IJ tot NAP -2 à -3 m ten zuiden van de projectlocatie. Een interpolatie tussen de stijghoogtemetingen in de wadzandlaag is weergegeven in afbeelding 2.9.

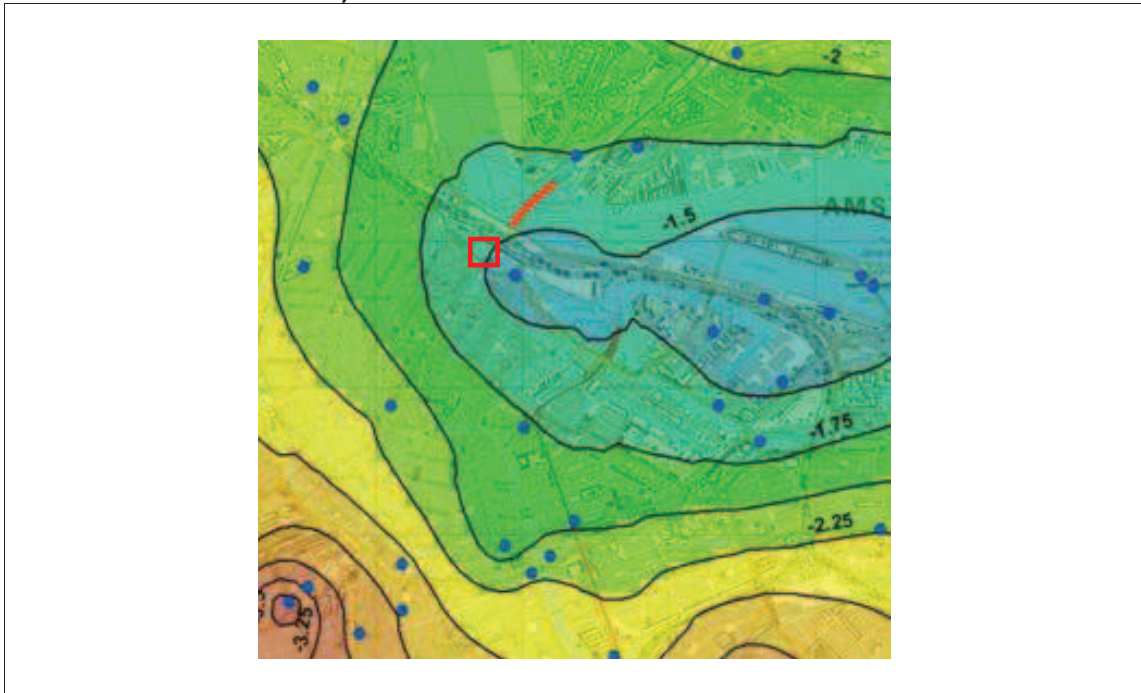
Afbeelding 2.10. Stijghoogtes wadzandlaag



1^e zandlaag (1^e watervoerende pakket)

De stijghoogte in de 1^e zandlaag varieert tussen circa NAP -1,5 m bij het IJ tot NAP -2 à -3 m ten zuiden van de projectlocatie. Een interpolatie tussen de gemiddelde stijghoogtemetingen zoals beschikbaar via peilbuizen in de 1^e zandlaag is weergegeven in afbeelding 2.11 [ref. 4].

Afbeelding 2.11. Stijghoogte 1^e zandlaag [ref. 4] (projectlocatie aangegeven met rood vierkant)



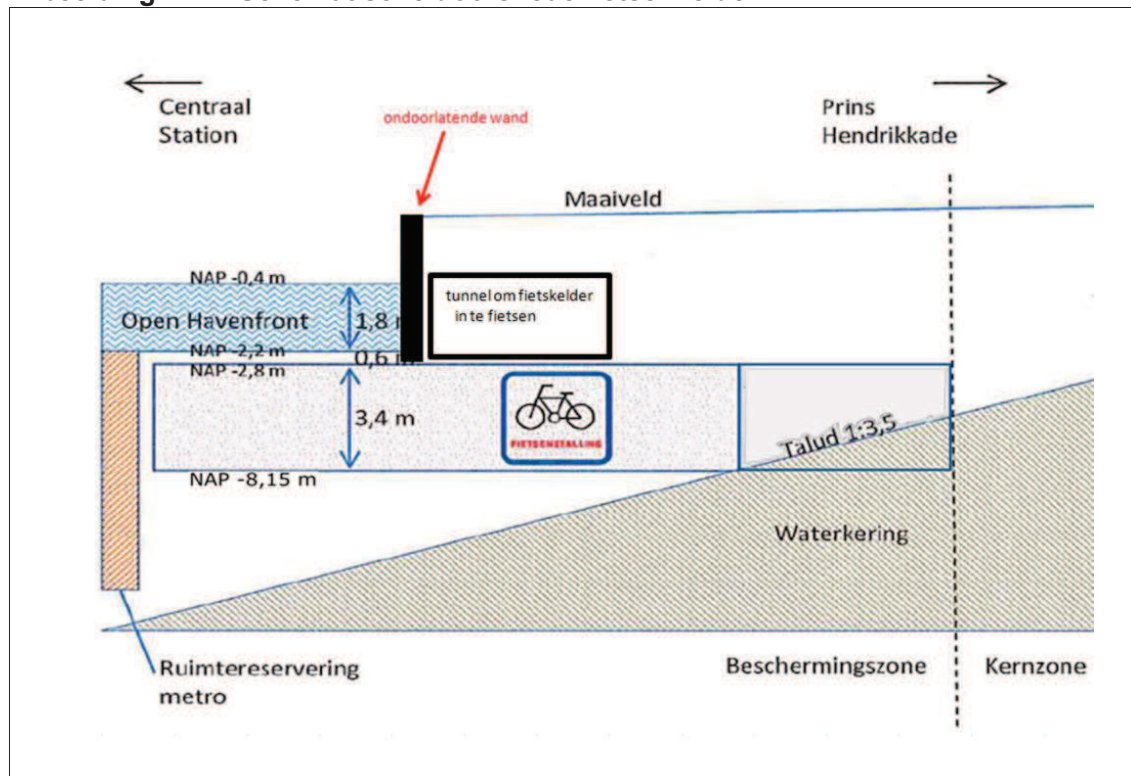
Analyse stijghoogte en stroming in wadzandlaag en 1^e zandlaag

Uit de isohypsen in afbeelding 2.10 en 2.11 blijkt dat globaal gezien de stroming in de wattervoerende pakketten van onder het IJ (IJ-haven/Oosterdok) radiaal naar de omgeving stroomt. Ter plaatse van het projectgebied is in zowel de wadzandlaag als in de 1^e zandlaag de stroming (westnoord)west gericht.

2.5. Kenmerken fietsenkelder

De fietsenkelder wordt aangelegd onder het Open Havenfront. De bovenkant van de constructie ligt onder de bodem van het water, op NAP -2,8 m. De onderkant van de onderwaterbetonvloer komt op NAP -8,15 m te liggen. Afbeelding 2.12 toont een schematische doorsnede van de constructie.

Afbeelding 2.12. Schematische doorsnede fietsenkelder



De afmetingen van de constructie zijn ca. 120 m x 100 m (afbeelding 2.13).

Damwanden fietsenkelder

Tijdens de bouw van de fietsenkelder worden damwanden ingebracht. Het is onduidelijk of de damwanden permanent worden aangebracht of dat ze na de aanleg weer verwijderd zullen worden. De damwanden komen tot een diepte van NAP -20 m. Er wordt een extra berekening uitgevoerd om het effect van permanente damwanden te beschouwen.

Kademuur Prins Hendrikkade

In afbeelding 2.12 is tevens schematisch een ondoorlatende wand aangegeven. Dit is de kade van de Prins Hendrikkade. In de nieuwe situatie wordt achter deze kade een ingang aangelegd, in de vorm van een tunneltje, waardoor je vanaf maaiveld de fietstunnel kunt in fietsen. De kade wordt daarmee een ondoorlatende barrière voor grondwaterstroming.

Afbeelding 2.13 toont in een bovenaanzicht de ligging van de nieuwe kade en de fietsenkelder.

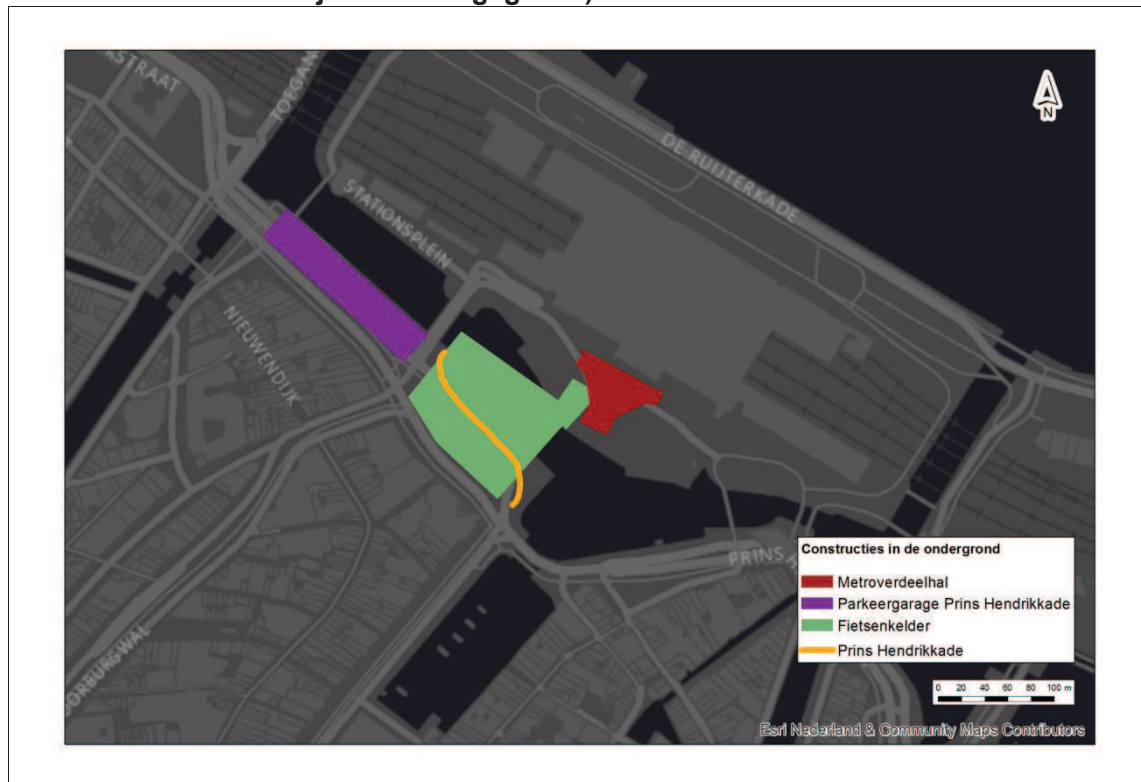
2.6. Ondergrondse constructies

In de omgeving van de projectlocatie zijn meerdere ondergrondse constructies reeds aanwezig. Deze moeten worden opgenomen in het model van de huidige situatie. Daarom zijn in deze paragraaf per aanwezig ondergrondse constructie kort de kenmerken beschreven die voor de geohydrologische analyse van de fietsenkelder van belang zijn.

2.6.1. Metroverdeelhal en metro Oostlijn

De diepwanden van de metroverdeelhal liggen minimaal tot een diepte van NAP -31,5 m. De diepwanden van het eerste deel van de metro Oostlijn liggen ook tot op deze diepte. Er wordt aangenomen dat de diepwanden tot in de Eemklei doorlopen.

Afbeelding 2.13. Constructies in de ondergrond (tunnelbuizen Noord/Zuidlijn en Oostlijn niet weergegeven)



2.6.2. Noord/Zuidlijn

De tunnel van de Noord/Zuidlijn loopt door het modelgebied. Er is aangenomen dat de tunnel richting het noorden vanaf Centraal Station tussen NAP -8 m en NAP -17 m ligt, terwijl zuidelijk vanaf Centraal Station de tunnel dieper dan NAP -17 m ligt en de 2^e zandlaag afsluit.

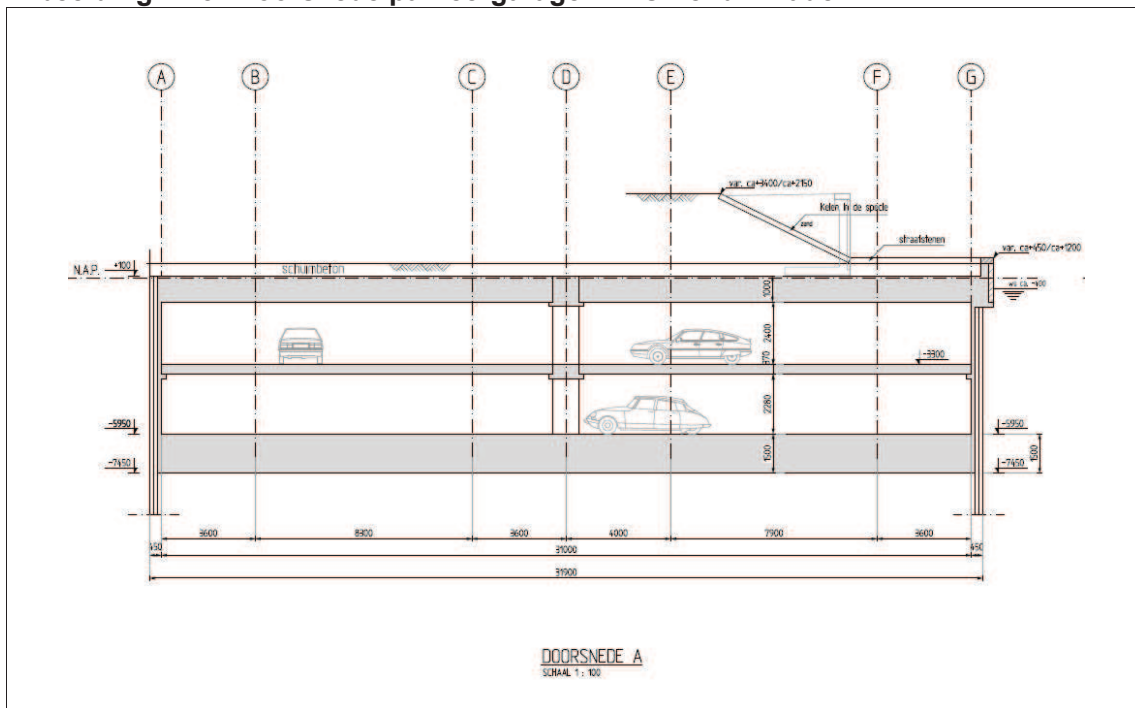
Afbeelding 2.14. Tracé en langsdoorsnede Noord/Zuidlijn



2.6.3. Parkeergarage Centraal Station (Prins Hendrikkade)

De parkeergarage onder de Prins Hendrikkade (direct ten westen van de projectlocatie) ligt vanaf maaiveld tot een diepte van NAP -7,45 m. Er wordt aangenomen dat de parkeergarage behalve de freatische zandlaag ook de gehele wadzandlaag blokkeert. Onderstaande afbeelding toont een doorsnede van de parkeergarage.

Afbeelding 2.15. Doorsnede parkeergarage Prins Hendrikkade



2.6.4. Kistdam IJ-oever

Aan de IJ-oever langs Amsterdam Centraal Station is een kistdam aanwezig. De aanwezigheid van deze kistdam betekent dat de oever zeer slecht doorlatend is. In het model wordt de oever tot NAP -15,0 m als ondoorlatend beschouwd.

2.6.5. Kademuur Prins Hendrikkade

De kademuur langs de Prins Hendrikkade is niet ingevoerd in het grondwatermodel. Daarmee wordt voorkomen dat er geen uitwisseling plaatsvindt tussen het Open Havenfront en de grondwaterstand bij de Prins Hendrikkade. Wanneer er wel een (slecht doorlatende) kademuur ingevoerd zou worden in het grondwatermodel van de huidige situatie, dan zal er in de huidige situatie (nauwelijks) uitwisseling plaatsvinden tussen oppervlaktewater (Open Havenfront) en grondwater. Er zal dan ook geen effect van de fietsenkelder berekend worden, omdat er dan geen/nauwelijks stroming plaats vindt.

Het niet meenemen van de kademuur in de huidige situatie is dus een worst-case benadering.

In de toekomstige situatie wordt wel een kademuur ingevoerd, zie paragraaf 2.5.

3. GRONDWATERMODEL

Om de effecten van de fietsenkelder op de grondwaterstand en stroming te berekenen is een grondwatermodel opgesteld. Met het grondwatermodel is stationair gerekend. Er zijn verschillende scenario's aangemaakt, voor een gemiddelde situatie, een natte situatie en een droge situatie. Daardoor kunnen effecten onder wisselende grondwaterstanden berekend worden. Het grondwatermodel is opgesteld in MODFLOW. Het grondwatermodel bevat een schematisatie van de werkelijkheid.

3.1. Modelgebied

De modelgrenzen zijn zodanig gekozen dat de randen geen effect hebben op de effectberekening bij de projectlocatie. Het modelgebied is in weergegeven. Het modelgebied is 2,5 bij 2,5 kilometer.

Afbeelding 3.1. Modelgebied



3.2. Modelranden

Aan de noordzijde wordt het model begrensd door het IJ. Gezien de diepte van het IJ is dit een goede modelrand voor deze modelstudie. Aan de oost-, zuid- en westkant is de modelrand op grotere afstand van het projectgebied gelegd. De modelranden zijn gefixeerd (fixed head) op de gemiddelde grondwaterstand en stijghoogten zoals weergegeven in paragraaf 2.4. De grondwaterstanden op de randen in de freatische laag zijn bepaald aan de hand van interpolatie van peilbuismetingen. In de overige zandlagen zijn de stijghoogtes bepaald door de isohypsen uit DINO-loket [ref. 1] te interpoleren.

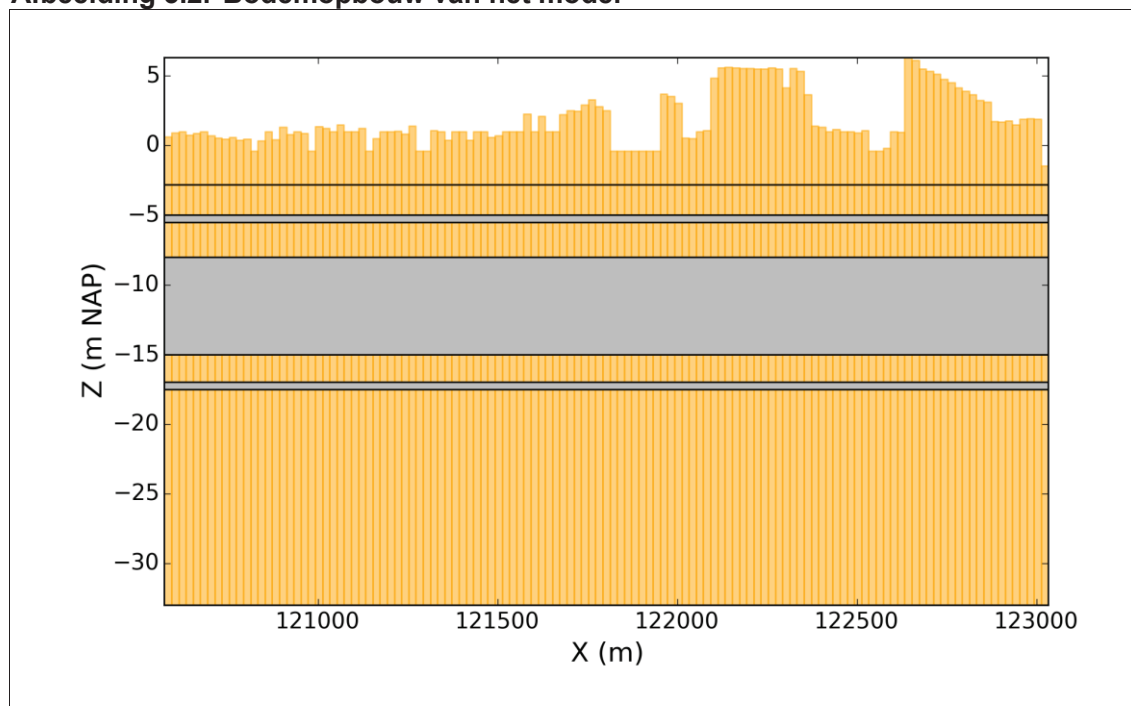
3.3. Celgrootte

De celgrootte in het model bedraagt 10 m bij 10 m. Gezien de grootte van de constructies en de breedte van de watergangen is deze grootte nauwkeurig genoeg om het effect van de fietsenkelder te berekenen.

3.4. Modellagen

Afbeelding 3.2 toont een doorsnede uit het model. Gele lagen zijn watervoerende (zand)lagen. Grijze lagen zijn weerstandbiedende (klei-/veen-)lagen.

Afbeelding 3.2. Bodemopbouw van het model



Het model bestaat uit 8 modellagen. De freatische zandlaag is opgesplitst in 2 modellagen, zodat de constructie van de fietsenkelder ingevoerd kan worden. De bovenkant van de constructie komt namelijk op NAP -2,8 m.

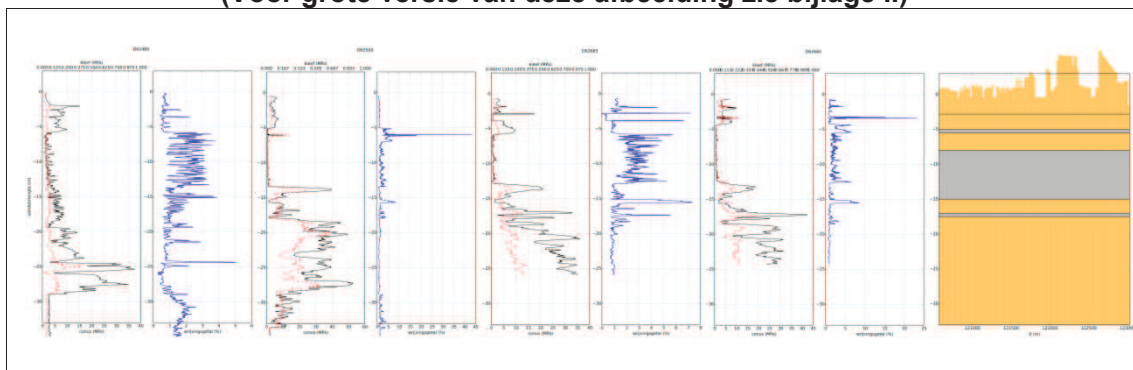
De dikte van de freatische laag is bepaald met de maaiveldhoogte uit het Actueel Hoogtebestand Nederland [ref. 8].

De diepteligging van de modellagen is ingevoerd op basis van de geohydrologische schematisatie zoals weergegeven in tabel 2.1.

Een vergelijking van enkele sonderingen nabij het projectgebied en de toegepaste modellagen is weergegeven in afbeelding 3.3. Deze afbeelding is tevens groot opgenomen in bijlage II.

In de sondeergrafieken is duidelijk zichtbaar dat de bodem sterk heterogeen is in Amsterdam. De diepteligging van de modellagen is zo goed mogelijk aangesloten op de diepteligging van de verschillende bodemlagen. In afbeelding 3.3 is echter te zien dat er toch verschillen tussen zijn. Dit vanwege de heterogeniteit in de ondergrond. Gekozen is de maximale dikte van de freatische zandlaag aan te houden. Dit is een worst-case benadering.

Afbeelding 3.3. Enkele sonderingen naast de interpretatie van de bodemopbouw.
(Voor grote versie van deze afbeelding zie bijlage II)



3.4.1. Geohydrologische parameters

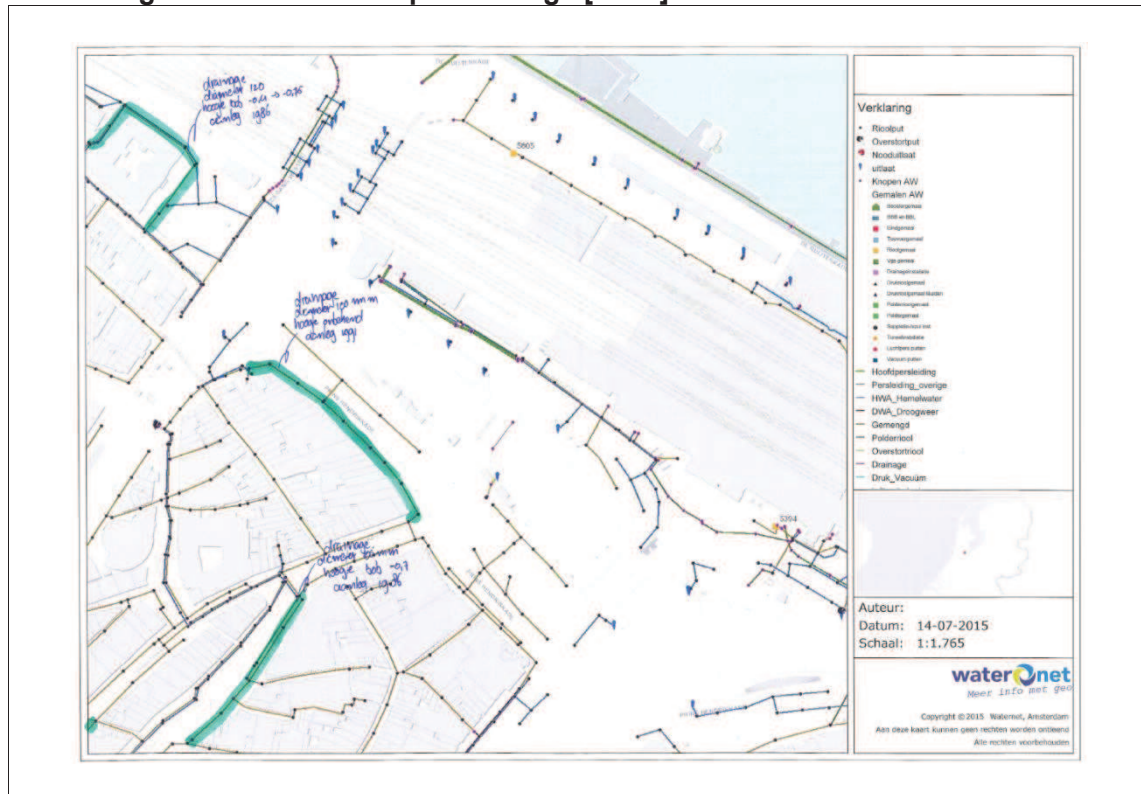
De geohydrologische parameters zijn per modellaag samengevat in tabel 3.1. De parameters zijn ingeschat op basis van de bodemopbouw, sonderingen en eerdere grondwatermodellen in hetzelfde gebied [ref. 4, 5 en 10].

Tabel 3.1. Geohydrologische parameters per modellaag¹

modellaag	diepte (m NAP)	materiaal	kh (m/dag)	kv (m/dag)	kD (m ² /dag)	c (dagen)
1	mv tot -2,8	ophooglaag	2		2 - 20	
2	-2,8 tot -5,0	ophooglaag	2		2 - 20	
3	-5,0 tot -5,5	slappe veen en klei		0,005		100
4	-5,5 tot -8,0	wadafzetting zand	2,5		6,25	
5	-8,0 tot -15,0	klei		0,0014		5.000
6	-15,0 tot -17,0	1 ^e zandlaag	20		40	
7	-17,0 tot -17,5	klei		0,01		50
8	-17,5 tot -33,0	2 ^e zandlaag	20		310	

¹ De in deze tabel weergegeven waarden zijn de parameterwaarden zoals in het uiteindelijke gekalibreerde model opgenomen. In paragraaf 3.7.4 zijn de aanpassingen beschreven.

Afbeelding 3.5. Locatie en diepte drainage [ref. 9]



3.5.3. Modelparameters

De modelparameters voor de oppervlaktewateren en de drainage in het modelgebied zijn samengevat in tabel 3.2.

Tabel 3.2. Modelparameters voor oppervlaktewateren en drainage

parameter	waarde	toelichting op uitgangspunt
drainagepeil	NAP -0,4 m - NAP -0,7 m	peilen aangeleverd door opdrachtgever
intreeweerstand drainage	100 dagen	oude drainage waarvan werking onduidelijk is
oppervlaktewaterpeil	NAP -0,4 m	in hele gebied gelijk
in-/uitreeweerstand watergangen	eerst 5 dagen ingevoerd, na kalibratie 10 dagen	oeverconstructies zijn niet los gemodelleerd. Er is uitgegaan van uitwisseling tussen grondwater en oppervlaktewater met daartussen een weerstand van 10 dagen. Deze waarde is overgenomen uit eerdere modelstudies uitgevoerd in Amsterdam [ref. 4 en 5].
bodemhoogte water- gangen	NAP -2,8 m	watergangen zijn ca. 2 tot 2,8 m diep

3.5.4. Grondwateraanvulling

De grondwateraanvulling (neerslag - verdamping) is gemiddeld in Nederland 0,7 mm/dag. Het oppervlak van het model is grotendeels verhard gebied. Infiltratie en verdamping wordt beperkt door de aanwezigheid van verharding en bebouwing. Daarom is een factor van 0,3 toegepast om de grondwateraanvulling voor verhard oppervlak te berekenen. Hiermee komt de gemiddelde grondwateraanvulling op 0,2 mm/dag uit.

Op basis van meetgegevens van het KNMI is de grondwateraanvulling ook bepaald voor een gemiddelde droge en een gemiddelde natte periode. De droge en natte maanden zijn bepaald op basis van een analyse van neerslagdata van KNMI meetstation Schiphol [ref. 7]. Natte maanden zijn gedefinieerd als maanden waarin de netto grondwateraanvulling (neerslag - verdamping) hoger is dan het jaarrond gemiddelde van 0,7 mm/dag. In de droge maanden is de grondwateraanvulling lager dan het jaarrond gemiddelde. Uit analyse van de neerslag en verdampingsdata van de jaren 2000 tot en met 2014 volgt dat de natte periode de maanden september tot en met februari betreft. De droge periode is vanaf maart tot en met augustus.

De grondwateraanvulling is voor die scenario's respectievelijk 0,5 mm/dag en -0,3 mm/dag. De laatste waarde geeft aan dat er netto verdamping optreedt in een droge periode. In is tabel 3.3 een overzicht van de waarden per scenario weergegeven.

Tabel 3.3. Overzicht grondwateraanvulling per scenario

scenario/situatie	beschrijving	grondwateraanvulling bebouwd gebied (mm/dag)
gemiddeld	jaarrond	0,21
natte situatie	september t/m februari	0,5
droge situatie	maart t/m augustus	-0,3

De waarden voor de grondwateraanvulling zijn vlakdekkend ingevoerd.

3.6. Ondergrondse constructies

In het model voor de huidige situatie zijn alle ondergrondse constructies ingevoerd als inactieve cellen. De einddiepte van de inactieve cellen is gebaseerd op de uitgangspunten zoals in paragraaf 2.6 beschreven.

3.7. Stationaire kalibratie

Er is een stationaire kalibratie uitgevoerd. De berekende grondwaterstanden zijn vergeleken met de gemiddeld gemeten grondwaterstanden. De kalibratie richt zich met name op het verbeteren van het grondwatermodel in de freatische zandlaag. En dan met name op de peilbuizen in de omgeving van het projectgebied. Dit omdat het te berekenen effect van de fietsenkelder met name voor de freatische grondwaterstand relevant is.

3.7.1. Uitgangswaarden geohydrologische parameters

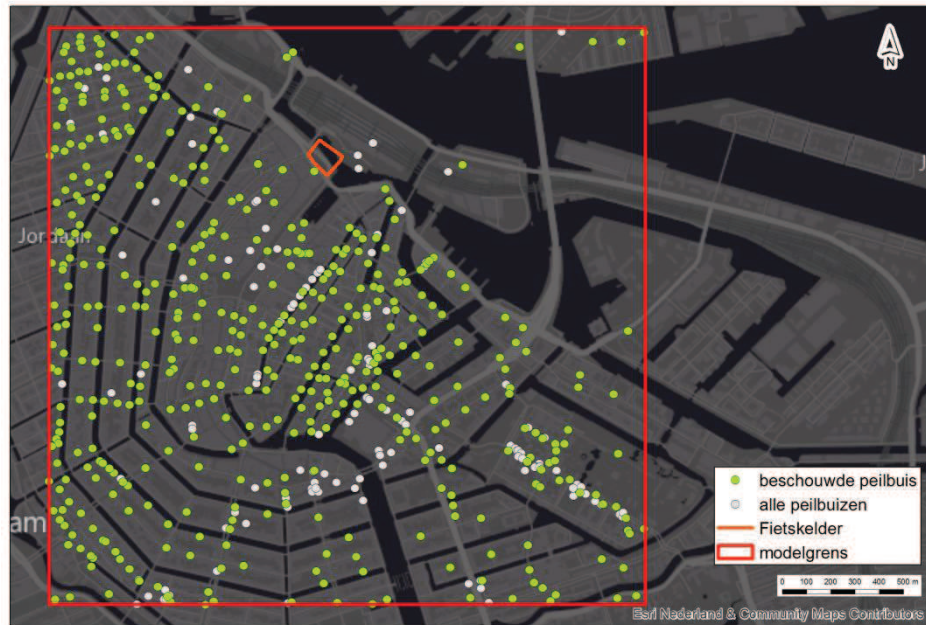
De uitgangswaarden van de geohydrologische parameters zijn gebaseerd op waarden uit [ref. 4 en 5].

3.7.2. Selectieset peilbuizen

Om de berekende grondwaterstanden te vergelijken is een selectieset van de beschikbare peilbuizen gemaakt. Alleen peilbuizen waarvan metingen na 2000 beschikbaar zijn, zijn meegenomen in de selectie. De overige peilbuizen worden te gedateerd geacht.

Afbeelding 3.6 toont de peilbuizen die zijn meegenomen in de selectieset.

Afbeelding 3.6. Beschouwde peilbuizen binnen modelgebied



3.7.3. Modelresultaat bij uitgangswaarden geohydrologische parameters

Afbeelding 3.7 toont het verschil tussen de gemeten grondwaterstand in de geselecteerde peilbuizen, en de berekende grondwaterstand met het grondwatermodel.

Afbeelding 3.7. Ruimtelijke verdeling verschil tussen berekende en gemeten grondwaterstanden in de freatische laag



Globaal gezien is het model te nat. In het centrale deel van de binnenstad, tussen Oudezijds- en Nieuwezijds Voorburgwal, wordt er een te hoge grondwaterstand berekend. Om de uitkomsten van het model te verbeteren zijn er aanpassingen gedaan die in de volgende paragraaf zijn omschreven.

3.7.4. Modelaanpassingen

Er zijn stapsgewijs aanpassingen verricht aan het model om de uitkomsten te verbeteren. Niet alle tussenresultaten zijn hier beschreven, omwille van de leesbaarheid van het rapport.

In het uiteindelijke model zijn de volgende aspecten aangepast:

- de doorlatendheid van de freatische laag is verlaagd van 5 m/dag naar 2 m/dag;
- de weerstand van de deklaag is verlaagd van > 10.000 dagen naar 5.000 dagen. Dit op basis van te nat berekende grondwaterstanden nabij de projectlocatie, en op basis van [ref. 10];
- de weerstand van de kleilaag onder de ophooglaag is verlaagd van 500 dagen, naar 100 dagen. Dit op basis van te nat berekende grondwaterstanden nabij de projectlocatie;
- de intreeweerstand van de oppervlaktewateren is verhoogd van 5 dagen naar 10 dagen.

3.7.5. Kalibratieresultaat

Na aanpassingen is het ruimtelijke verschil tussen de modeluitkomsten en de metingen verbeterd (zie afbeelding 3.8). Het grootste deel van de verschillen ligt tussen de -0,1 en +0,1 m, wat een goede overeenkomst toont met de werkelijkheid en de punten waarop dit kleine verschil wordt berekend zijn redelijk goed verdeeld over het modelgebied.

Afbeelding 3.8. Ruimtelijke verdeling verschil tussen berekende en gemeten grondwaterstanden in de freatische laag



In het centrum, bij de Nieuwezijds Voorburgwal, blijft het model wat te nat. Oorzaak hiervoor zou kunnen zijn dat er drainage aanwezig is, of dat de bodemopbouw hier lokaal anders is dan in de rest van het modelgebied.

In de zuidwestelijke en noordwestelijke hoek worden de grondwaterstanden onderschat. Dit wordt veroorzaakt door de lage stijghoogtes die daar op de rand zijn opgelegd. Deze stijghoogtes trekken de grondwaterstand omlaag. Dit stuk van het model ligt ver genoeg van de projectlocatie dat de invloed van de fout niet van invloed is op de berekeningen bij de projectlocatie

Als laatste wordt ten oosten van het centrum ook in een regio de grondwaterstand onderschat door het model. Ook dit stuk van het model ligt ver genoeg van de projectlocatie dat de invloed van de fout niet van invloed is op de berekeningen bij de projectlocatie.

Er wordt opgemerkt dat de heterogeniteit van de ondergrond in Amsterdam groot is en niet altijd gevat kan worden in een schematisatie, waardoor de lokale verschillen soms groot kunnen zijn.

Tabel 3.4 geeft de gemiddelde fout en gemiddelde absolute fout weer van het model voor en na kalibratie.

Tabel 3.4. Gemiddelde verschillen tussen berekende en gemeten waarden voor en na kalibratie

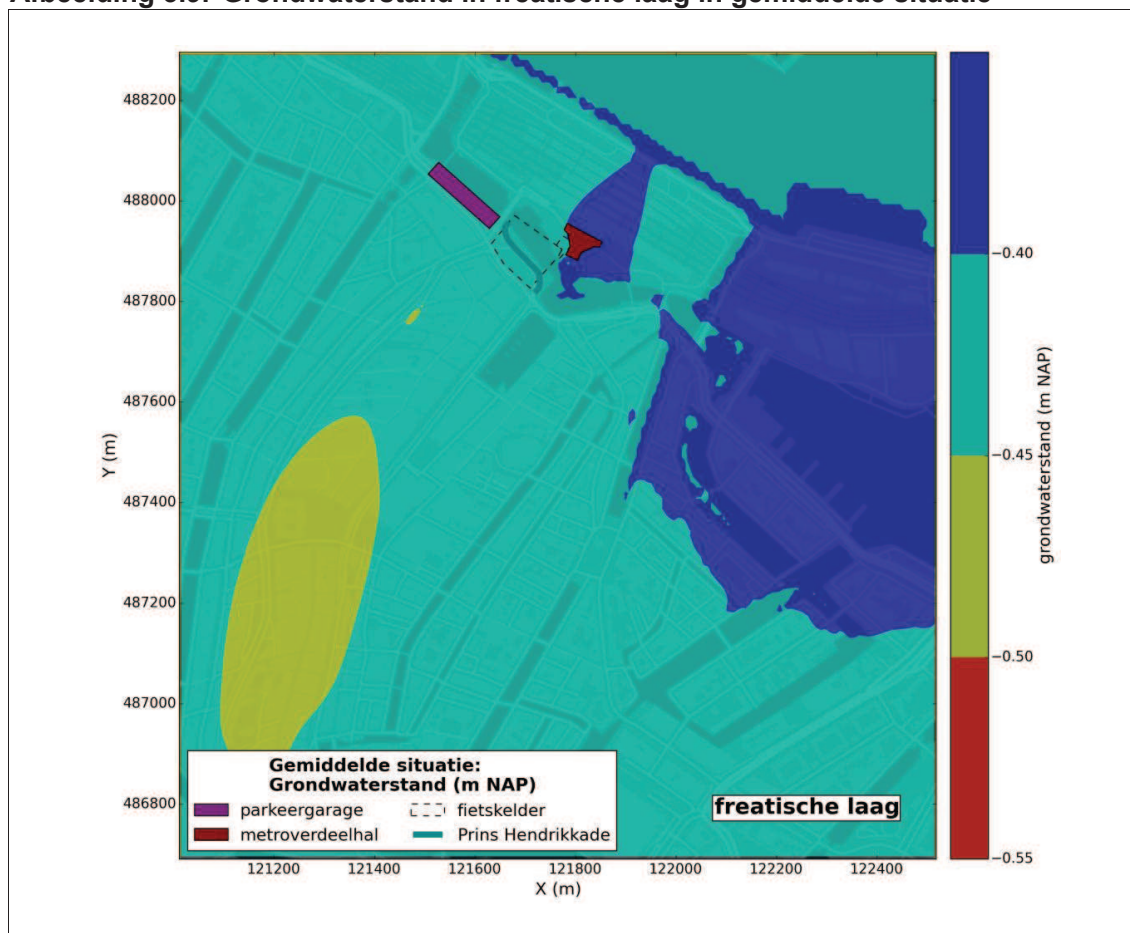
verschillen (in m)	voor kalibratie	na kalibratie
gemiddelde fout	0,22	-0,12
absoluut gemiddelde fout	0,32	0,20

De fout zoals weergegeven in tabel 3.4 is tijdens de kalibratieronde kleiner geweest dan nu weergegeven. Er is echter niet alleen gekeken naar de overall gemiddelde fout en gemiddeld absolute fout, maar er is met name ook gekeken naar de fout in de omgeving van het projectgebied op basis van de bollenkaarten. Bij de uiteindelijk gekozen parameterset wordt de grondwaterstand in de omgeving van het projectgebied het best berekend van de doorgerekende varianten.

3.8. Berekende grondwaterstand en stijghoogte grondwatermodel gemiddelde situatie (huidig - zonder fietsenkelder)

In afbeelding 3.9 zijn de contouren van de freatische grondwaterstand weergegeven. De fietsenkelder is in deze afbeeldingen alleen ter indicatie weergegeven, deze is nog niet in het model ingevoerd.

Afbeelding 3.9. Grondwaterstand in freatische laag in gemiddelde situatie

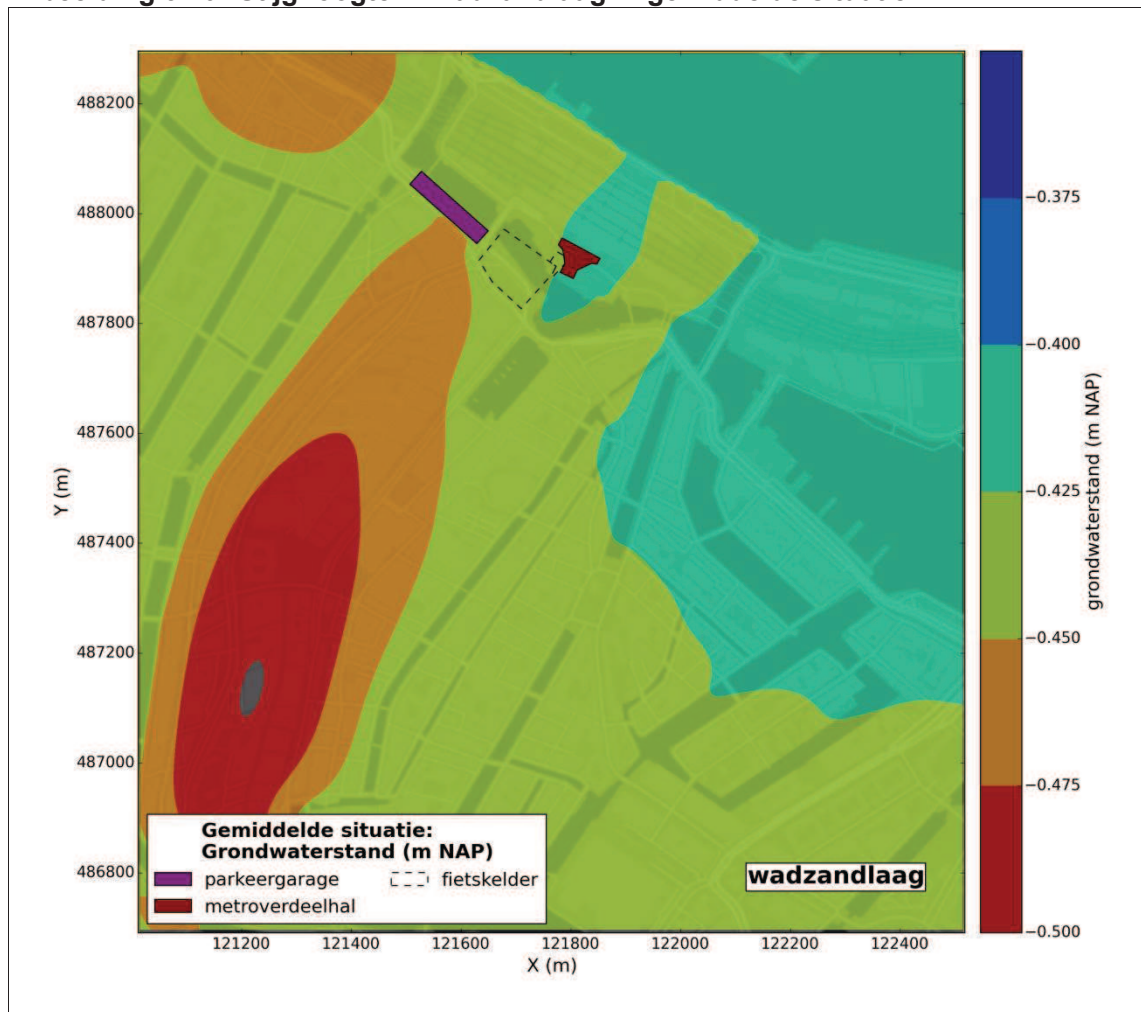


De gemiddelde grondwaterstand ligt gemiddeld rond NAP -0,4 m. In de gemiddelde situatie is de grondwateraanvulling vanuit het oppervlaktewater en vanuit neerslag nagenoeg gelijk

aan de wegzijging naar het 1^e watervoerende pakket. De freatische grondwaterstand ligt daarom redelijk constant op NAP -0,4 m. In de werkelijkheid wordt iets meer variatie verwacht in de grondwaterstand. Door met een nat - en een droog scenario te rekenen wordt deze variatie in de effectberekening mee genomen.

Afbeelding 3.10 toont de berekende stijghoogte in de wadzandlaag. Te zien is dat deze bijna gelijk is aan de freatische grondwaterstand in de ophooglaag. Dit omdat de kleilaag tussen beide zandlagen een beperkte weerstand van 100 dagen is toegekend.

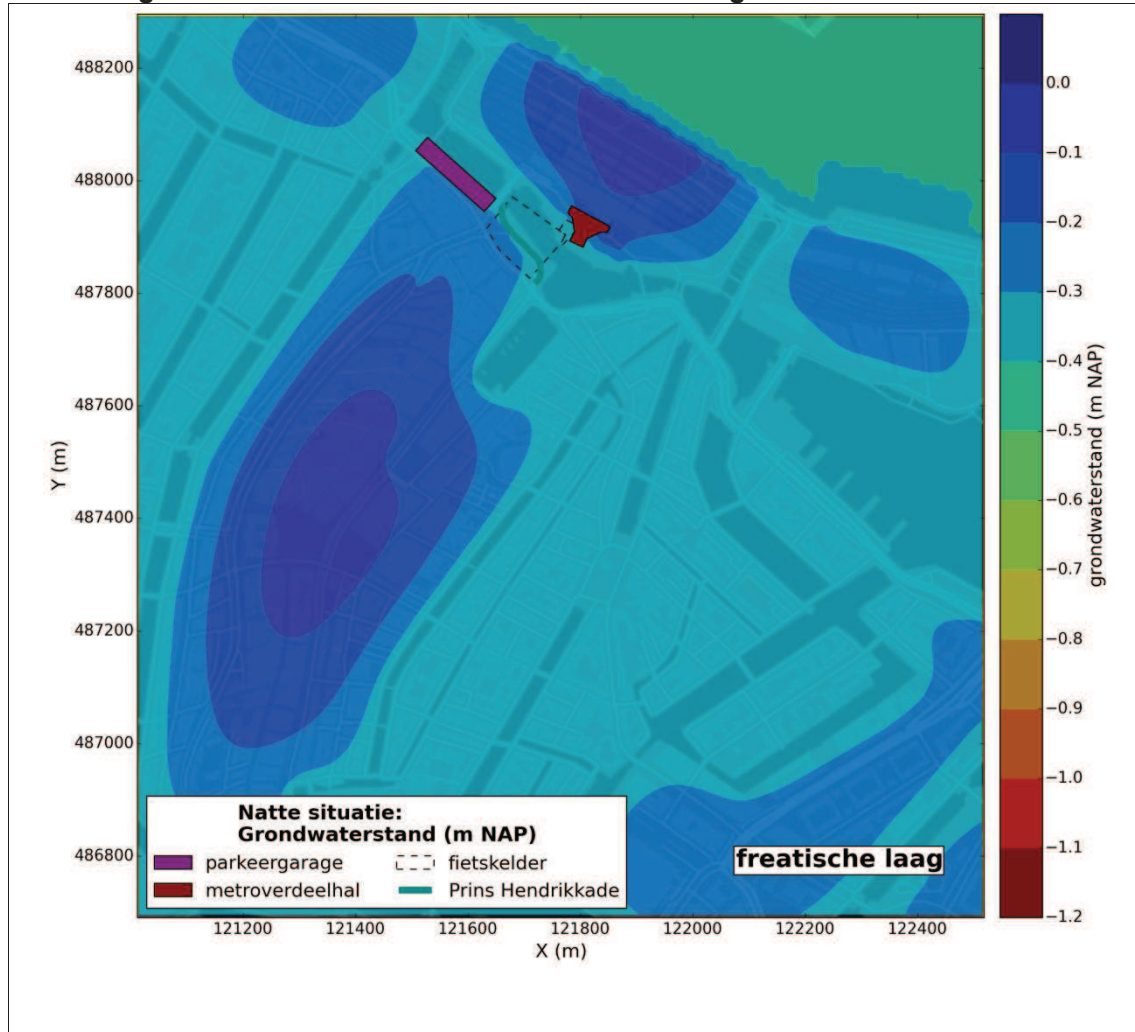
Afbeelding 3.10. Stijghoogte in wadzandlaag in gemiddelde situatie



3.9. Grondwatermodel droge en natte situatie (huidig - zonder fietsenkelder)

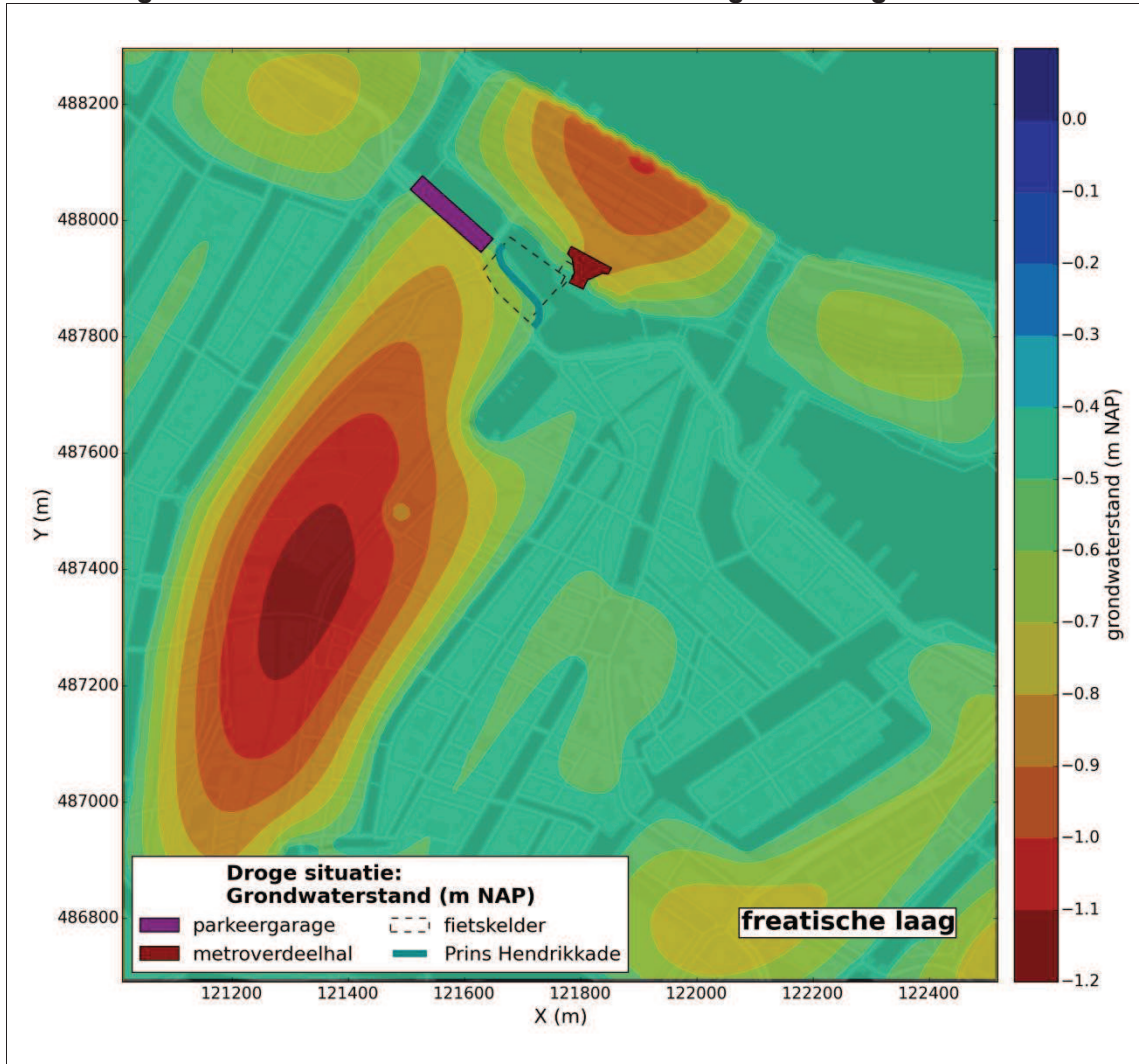
Het huidige grondwatermodel is aangepast om een droge en natte situatie te simuleren. Deze aanpassing is bepaald op basis van gegevens van de KNMI, zie tabel 3.3 voor de waarden. De modellen zijn opnieuw doorerekend (nog zonder fietsenkelder) om de huidige grondwaterstanden en stijghoogtes te bepalen voor de natte en de droge situatie. In afbeelding 3.11 en afbeelding 3.12 zijn de freatische grondwaterstanden voor de verschillende situaties weergegeven (NB. de contourniveaus zijn aangepast ten opzichte van de contourplaatjes in de gemiddelde situatie uit de vorige paragraaf).

Afbeelding 3.11. Grondwaterstand in de freatische laag in de natte situatie



De freatische grondwaterstand in de natte situatie bolt meer op tussen de watergangen. Het verhang naar de watergangen toe is groter. Hierdoor worden grotere effecten verwacht dan in de gemiddelde situatie.

Afbeelding 3.12. Grondwaterstand in de freatische laag in de droge situatie



In de droge situatie is de richting van de grondwaterstroming tegenovergesteld aan de stroming in de gemiddelde en natte situatie. Het grondwater stroomt vanaf de projectlocatie richting de gebieden met een verlaging. Als er in deze situatie effecten worden berekend, zullen deze verdrogend zijn.

3.10. Invoeren fietsenkelder in grondwatermodel

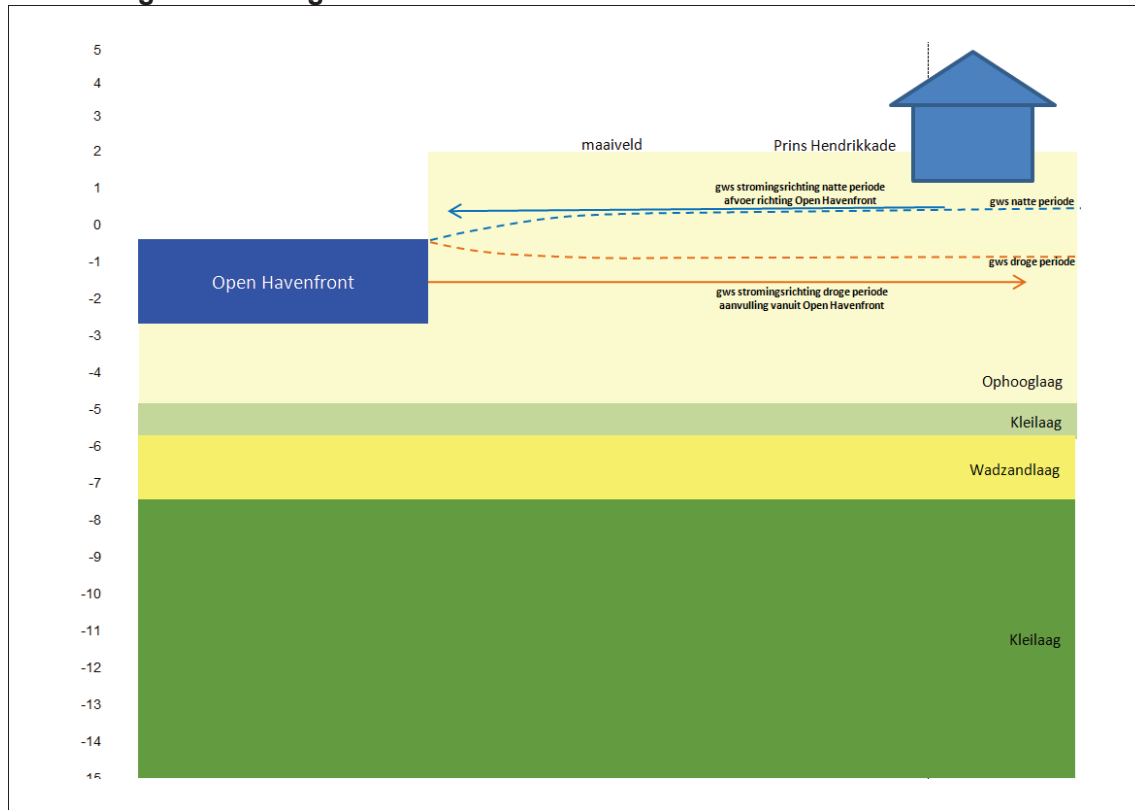
De fietsenkelder is ingevoerd door de cellen in modellaag 2 tot en met modellaag 4 inactief te maken. Dus tussen NAP -2,8 m en NAP -8 m is de grondwaterstroming geblokkeerd. Door de aanwezigheid van de nieuwe kade en toegangstunneltje (zie paragraaf 2.5) is de grondwaterstroming ook boven de fietsenkelder geblokkeerd.

De berekende grondwaterstand en stijghoogte van de modellen zonder fietsenkelder zijn ingevoerd als begin waarden. Hiermee kunnen de verschillen in de grondwaterstand en de stijghoogte berekend worden ten gevolge van de fietsenkelder. In de volgende paragraaf zijn eerst de te verwachten effecten beschouwd. In het volgende hoofdstuk zijn de effecten voor de verschillende scenario's op basis van de berekende resultaten beschreven.

3.11. Verwachting mogelijke effecten fietsenkelder

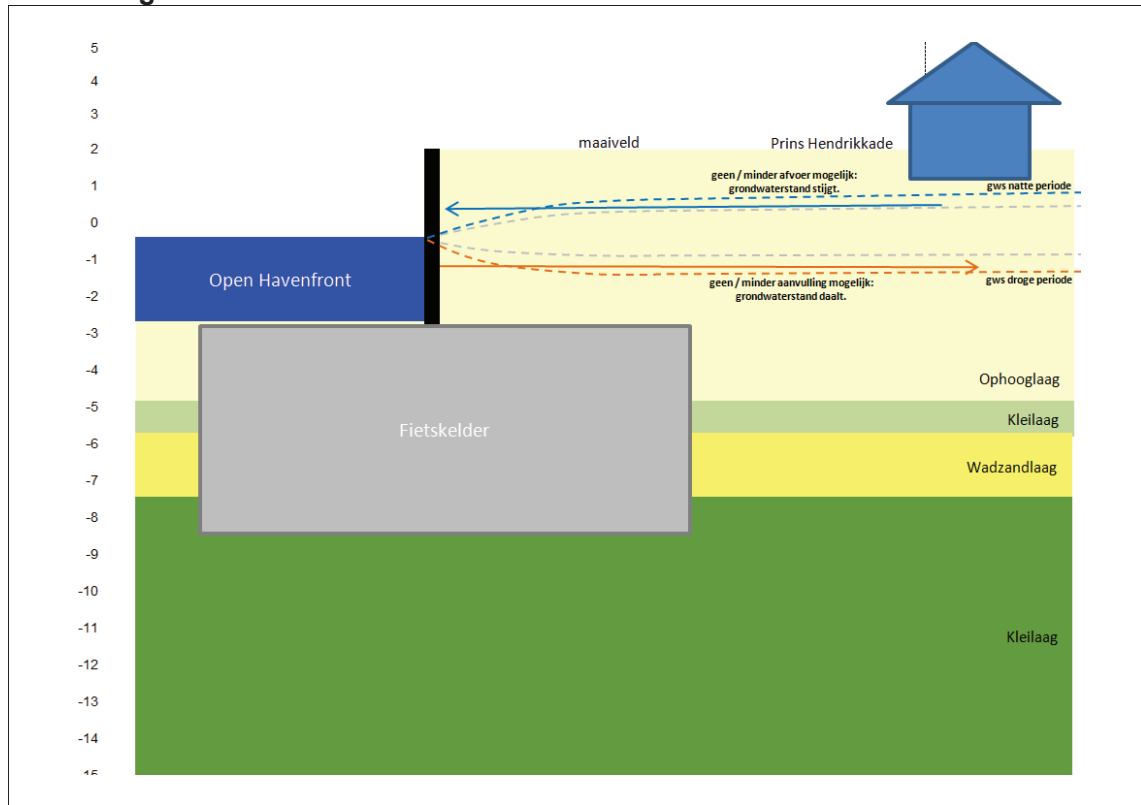
Afbeelding 3.13 toont schematisch de huidige situatie voor de droge en de natte situatie. Het grondwater stroomt in de droge situatie vanuit de watergangen richting Prins Hendrikkade. In de natte situatie is dit andersom.

Afbeelding 3.13. Huidige situatie - schematisch



In afbeelding 3.14 is schematisch het te verwachten effect van de situatie met fietsenkelder en ondoorlatende kade (kade = zwart) getekend.

Afbeelding 3.14. Situatie met fietsenkelder en ondoorlatende kade - schematisch



Als gevolg van de fietsenkelder en de ondoorlatende kade is er in de natte situatie lokaal geen afvoer mogelijk richting het Open Havenfront. Hierdoor zal mogelijk een stijging van de grondwaterstand ontstaan (opstuwend effect). In de droge situatie is er geen aanvulling vanuit het Open Havenfront mogelijk, waardoor er juist een verlaging van de freatische grondwaterstand zal ontstaan.

4. SCENARIOS/EFFECTBEREKENINGEN

Er zijn drie scenario's beschouwd:

- een scenario met gemiddelde grondwateraanvulling;
- een natte periode gekenmerkt door een hogere grondwateraanvulling;
- en een droge periode gekenmerkt door een verdamping uit de ondergrond.

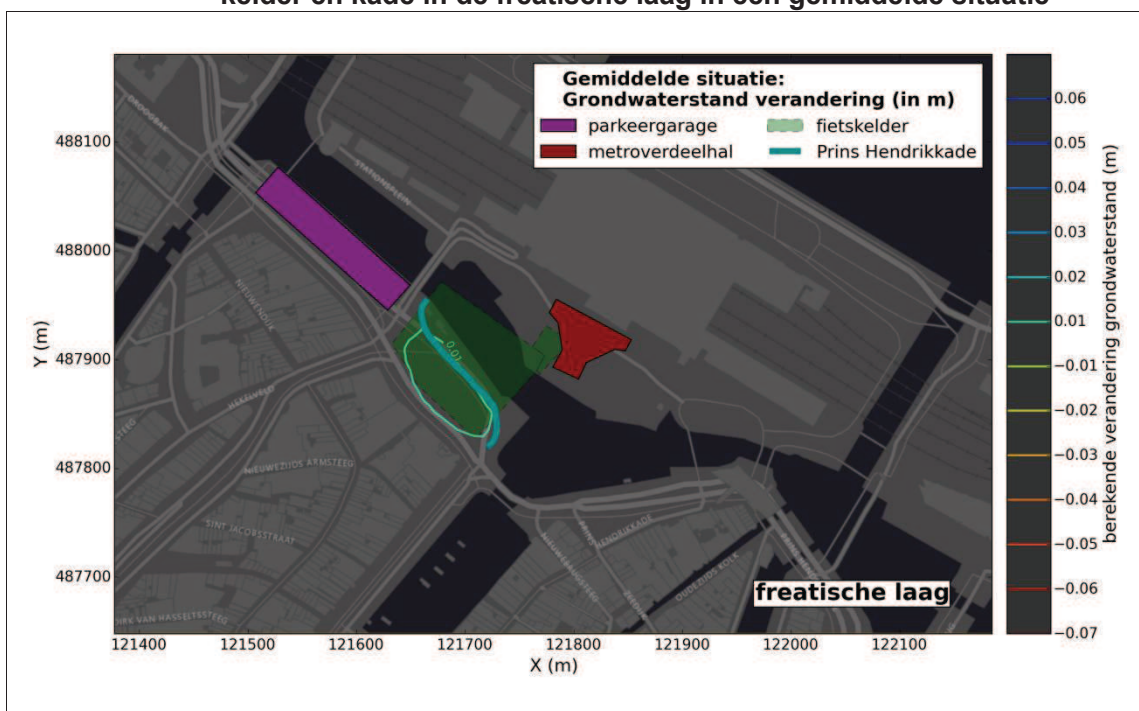
In de gemiddelde situatie is ook het effect van het permanent plaatsen van damwanden rondom de constructie berekend.

In dit hoofdstuk zijn de modelresultaten voor alle scenario's weergegeven. Benadrukt wordt dat deze resultaten het resultaat zijn van modelberekeningen, en dus een indicatie geven van het te verwachten effect van de fietsenkelder. Lokaal kunnen, als gevolg van de heterogeniteit van de ondergrond, de effecten anders zijn. Doordat een aantal worst-case aanname gedaan zijn, en er gerekend is met verschillende scenario's, is de verwachting dat de berekende effecten een goede indicatie geven van de maximaal te verwachten effecten.

4.1. Gemiddelde situatie

Afbeelding 4.1 toont de berekende verandering van grondwaterstand in de gemiddelde situatie.

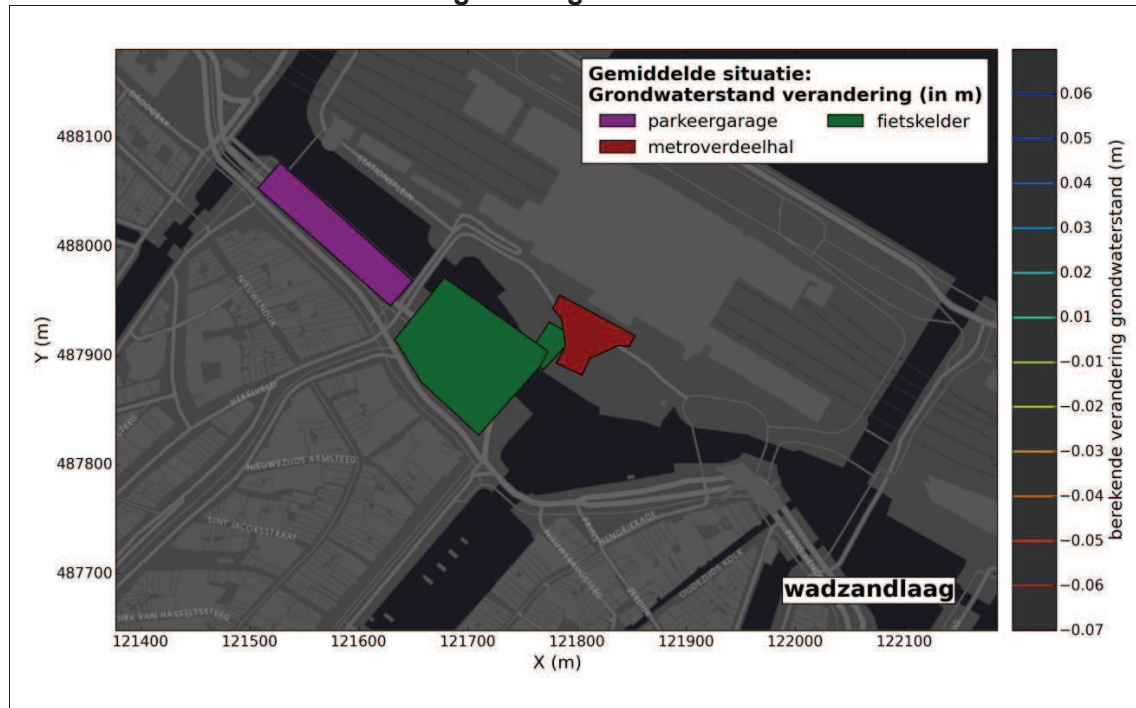
Afbeelding 4.1. Berekende verandering grondwaterstand ten gevolge van de fietsenkelder en kade in de freatische laag in een gemiddelde situatie



In de huidige situatie is de grondwaterstroming in de gemiddelde situatie in de richting van het oppervlaktewater. Het verhang is zeer gering. Door de aanwezigheid van de fietsenkelder en kade is een zeer beperkt opstuwend effect berekend. De freatische grondwaterstand stijgt met circa 0,01 m. Dit effect is niet significant ($< 0,03$ m) en heeft geen invloed op de omgeving.

Afbeelding 4.2 toont het effect voor de wadzandlaag.

Afbeelding 4.2. Berekende verandering stijghoogte ten gevolge van de fietsenkelder in de wadzandlaag in een gemiddelde situatie



Er is geen effect op de stijghoogte in de wadzandlaag in de gemiddelde situatie.

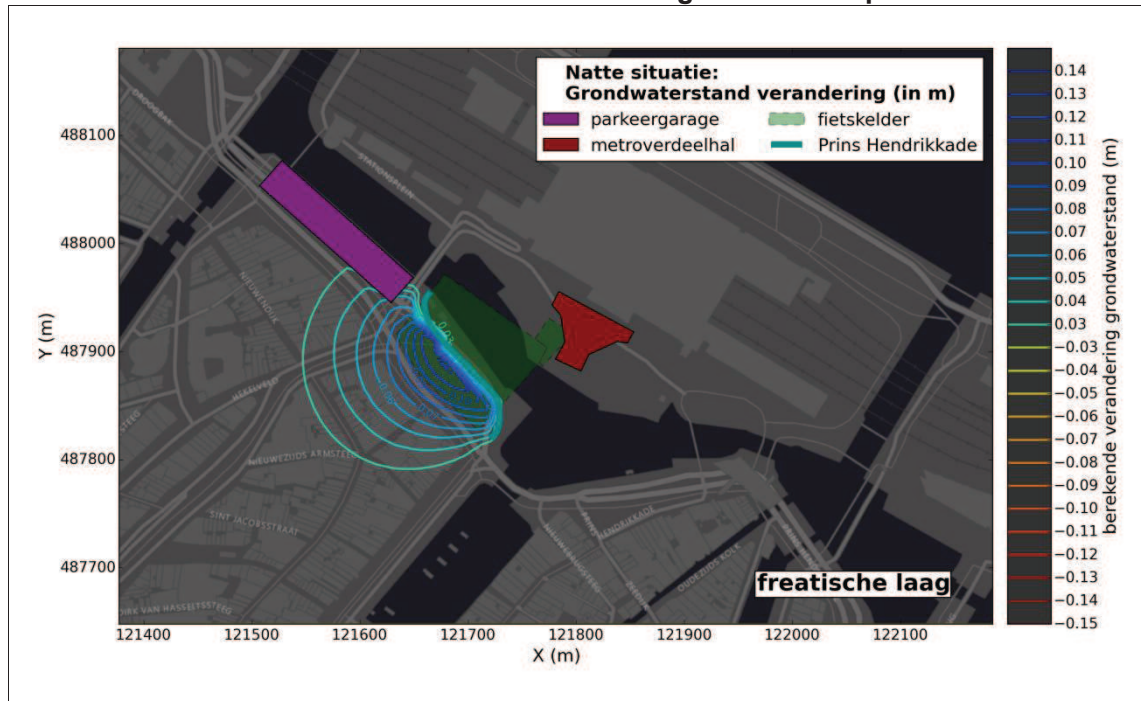
4.1.1. Gemiddelde situatie met permanente damwanden

Er is een berekening gemaakt waarbij de damwanden die geplaatst worden tijdens de bouw van de fietsenkelder zijn achtergebleven in de ondergrond. De damwanden zijn tot NAP -20 m in het model aangebracht. Vervolgens is het effect berekend. Door plaatsing van damwanden wordt zowel verhoging als een verlaging van de stijghoogtedruk in het 1^e watervoerende pakket berekend ten opzichte van de huidige situatie: ca. 0,01 a 0,02 m. Door de hoge weerstand van de kleilaag boven het 1^e watervoerende pakket (ca. 5.000 dagen) werken deze minimale effecten niet door in de freatische grondwaterstand. Er worden dan ook geen omgevingseffecten verwacht als gevolg van het achter blijven van de damwanden.

4.2. Natte periode

Afbeelding 4.3 toont de berekende verandering van grondwaterstand in de natte situatie.

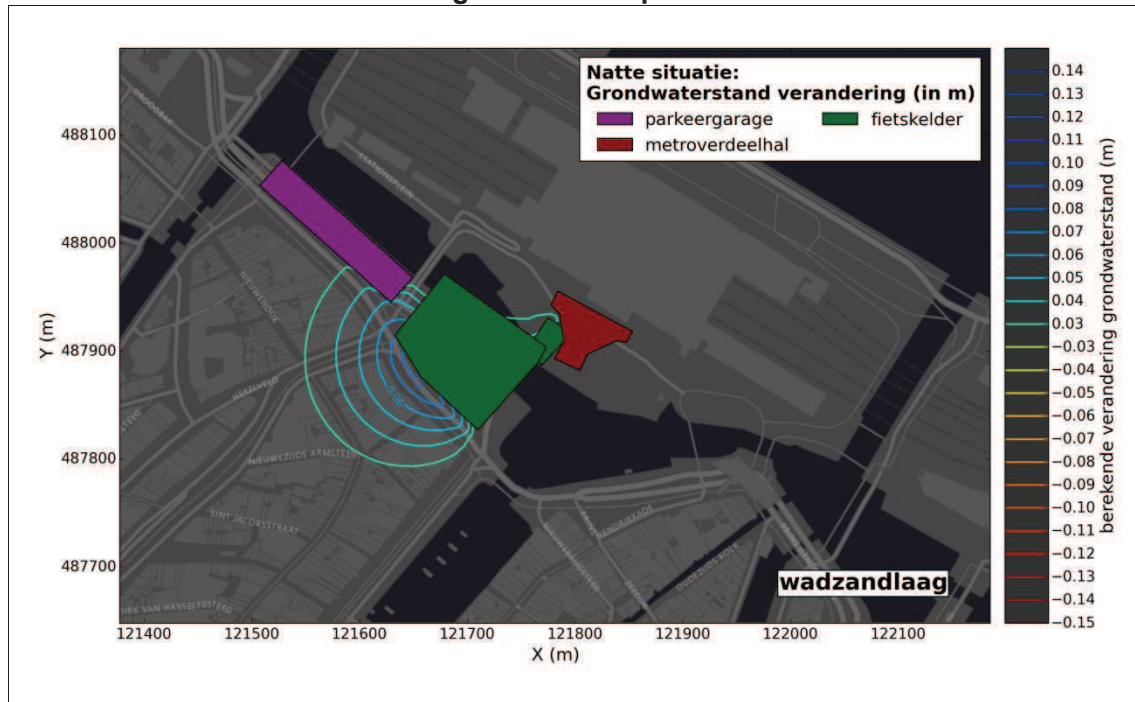
Afbeelding 4.3. Berekende verandering grondwaterstand ten gevolge van de fietsenkelder en kade in de freatische laag in een natte periode



In de natte periode wordt opstuwende effecten van maximaal 0,11 m berekend in het freatische pakket. Door het grotere verhang zijn de effecten groter dan in de gemiddelde situatie.

Afbeelding 4.4 toont het effect in de wadzandlaag.

Afbeelding 4.4. Berekende verandering stijghoogte ten gevolge van de fietsenkelder in de wadzandlaag in een natte periode

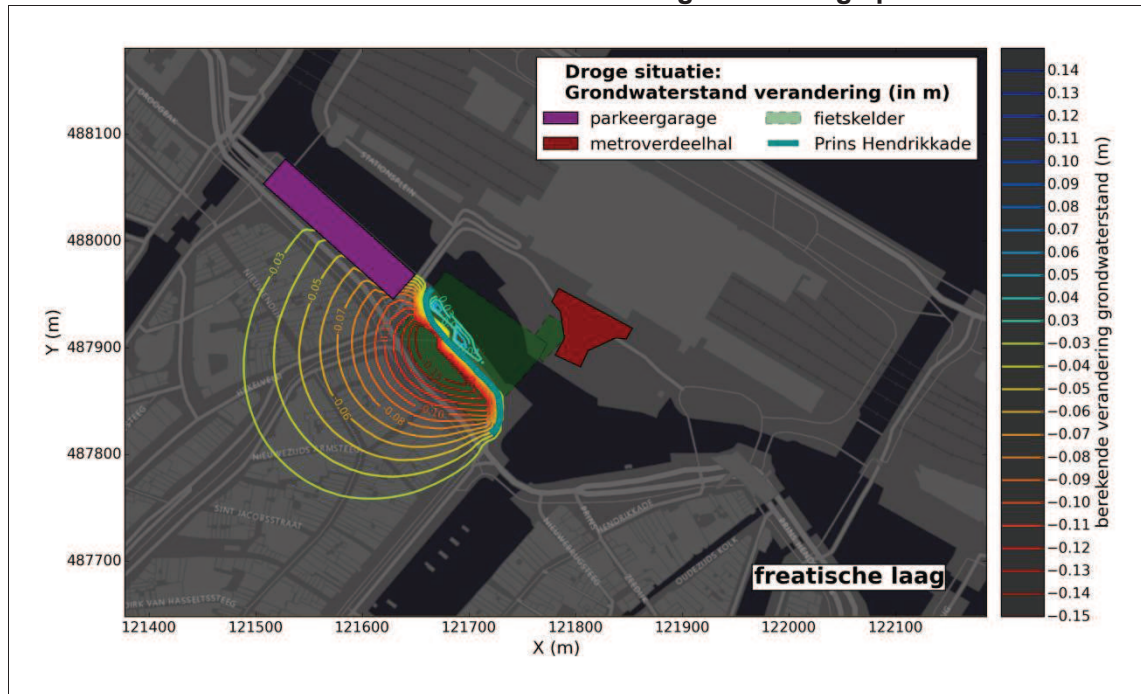


In de wadzandlaag worden ten noorden en ten zuidwesten van de fietsenkelder opstuwende effecten berekend van maximaal 0,07 m. De effecten in de wadzandlaag zijn nagenoeg gelijk aan de freatische effecten.

4.3. Droge periode

Afbeelding 4.5 toont de berekende verandering van grondwaterstand in de droge situatie.

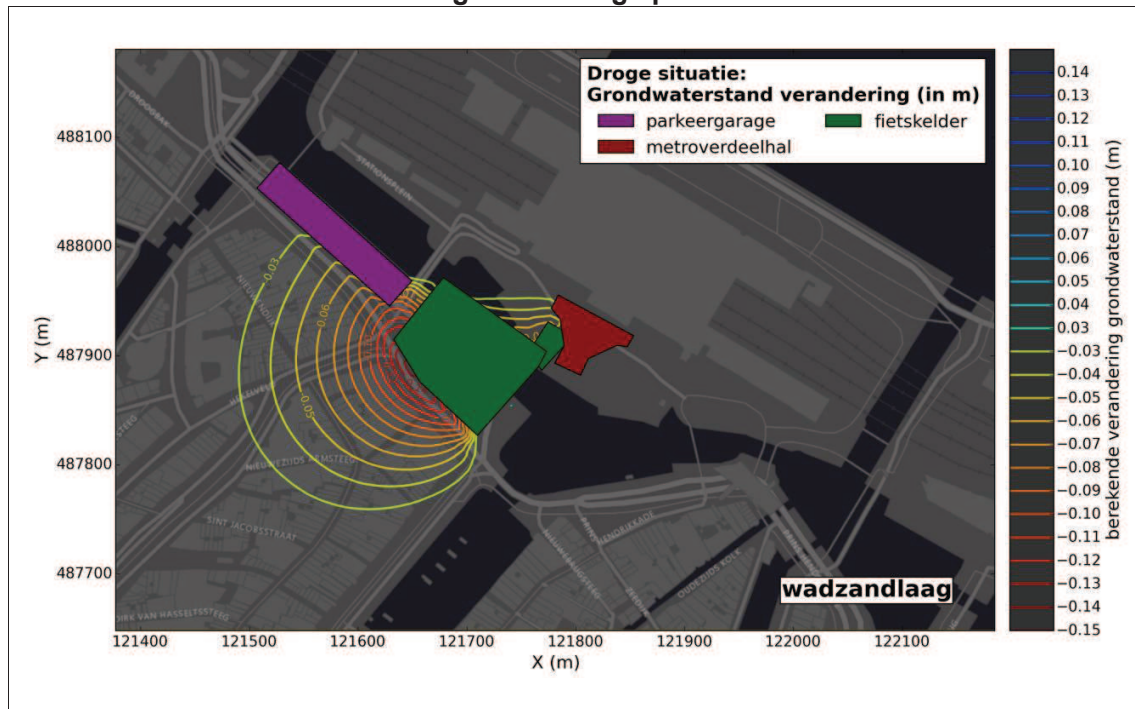
Afbeelding 4.5. Berekende verandering grondwaterstand ten gevolge van de fietsenkelder en kade in de freatische laag in een droge periode



De aanwezigheid van de fietsenkelder en kade belemmert de grondwateraanvulling vanuit het oppervlaktewater waardoor er een verdroging wordt berekend ten noorden en ten zuidwesten van de constructie. In de droge periode wordt een verlaging van de grondwaterstand berekend van maximaal 0,15 m. Dit is een significant effect, gezien de gevoeligheid voor verdroging. Er zal dan ook mogelijk een mitigerende maatregel genomen moeten worden.

Afbeelding 4.6 toont de berekende verandering van de stijghoogte in de wadzandlaag in de droge situatie.

Afbeelding 4.6. Berekende verandering stijghoogte ten gevolge van de fietsenkelder in de wadzandlaag in een droge periode



De effecten in de wadzandlaag zijn gelijk aan die in de ophooglaag (freatische grondwaterstand).

5. AFGELEIDE EFFECTEN OP DE OMGEVING

5.1. Inleiding

Indien er sprake is van een significant effect op grondwaterstand en/of stijghoogte (wateroverlast/wateronderlast) als gevolg van de aanleg van de fietsenstalling, kunnen er negatieve effecten optreden voor de omgeving. Een structurele stijging van de grondwaterstand kan bijvoorbeeld leiden tot negatieve effecten op bomen, of tot wateroverlast in kelders van woningen. Een structurele daling van de grondwaterstand kan leiden tot zettingen of droogval van houten paalfunderingen. In de praktijk worden grondwaterstandsveranderingen onder 0,03 m als grens aangehouden. Hierboven zouden er negatieve effecten voor de omgeving kunnen optreden.

De grondwaterstandsverandering in de freatische laag is significant omdat hier de verandering daadwerkelijk tot een andere grondwaterstand leidt.

5.2. Beschouwing berekende effecten i.r.t. effecten op omgeving

5.2.1. Freatische grondwaterstand

In de freatische laag wordt in de gemiddelde situatie geen effect berekend. Echter, de maatgevende situatie is de droge situatie. Dit omdat verdroging van de paalfunderingen zeer onwenselijk is. De natte situatie is niet maatgevend, omdat de kans op grondwateroverlast in het gebied gering wordt ingeschat.

Uit de berekening van de droge situatie volgt dat er een verdrogend effect kan worden verwacht a.g.v. de aanwezigheid van de fietsenkelder en kade. Deze fietsenkelder en kade blokkeren lokaal de aanvulling vanuit het Open Havenfront. Het berekende effect is maximaal circa 0,15 m. Vanwege een aantal aannamen is dit een worst-case effect (zie kader). Echter, gezien de grootte van het effect, wordt aanbevolen een mitigerende maatregel te treffen waarmee de aanvulling vanuit het oppervlaktewater in tact blijft. Hierbij kan gedacht worden aan een drain langs de constructie, welke in contact staat met het oppervlaktewater.

Uit indicatieve berekeningen volgt dat bij het toepassen van een drain er geen verdrogende effecten zijn op de freatische grondwaterstand als gevolg van de fietsenkelder en kade.

worst-case aannamen in berekeningen

- kleilaag tussen wadzandlaag en ophooglaag is zeer beperkt in weerstand. Daardoor werken de effecten in de wadzandlaag door naar het freatische pakket;
- ophooglaag en wadzandlaag zijn relatief dik en doorlatend ingevoerd. In de werkelijkheid zijn er lokaal meer inschakelingen van klei en leemlaagjes die de stroming door de zandpakketten verminderen. Bij verminderde stroming door deze lagen zal het effect van de fietsenkelder - welke de stroming lokaal blokkeert - ook kleiner zijn;
- in de huidige situatie is een kademuur aanwezig. De weerstand van deze kademuur is onbekend. Daarom is deze kademuur niet in het grondwatermodel van de huidige situatie ingevoerd. In de praktijk zal deze muur nog enige weerstand hebben. Deze zal de stroming enigszins beperken;
- er is met het grondwatermodel stationair gerekend. Dit betekent dat de ingevoerde situaties oneindig worden (tijdsafhankelijk). De weergegeven effecten zijn de eindeffecten van een (oneindig) lange periode van neerslagtekort (droge scenario) en neerslagoverschot (natte scenario). In de praktijk zullen deze situaties niet oneindig lang duren, waardoor de weergegeven effecten een worst-case benadering geeft.

5.2.2. Stijghoogte in wadzandlaag

De berekende effecten in de wadzandlaag zijn nagenoeg gelijk aan de berekende effecten van de freatische grondwaterstand. Dit omdat er een kleine weerstand tussen de ophooglaag en de wadzandlaag is. De effecten op de freatische grondwaterstand zijn maatgevend, omdat dit ook daadwerkelijke veranderingen van de grondwaterstand zijn.

5.3. Effect permanente damwanden 1^e watervoerende pakket

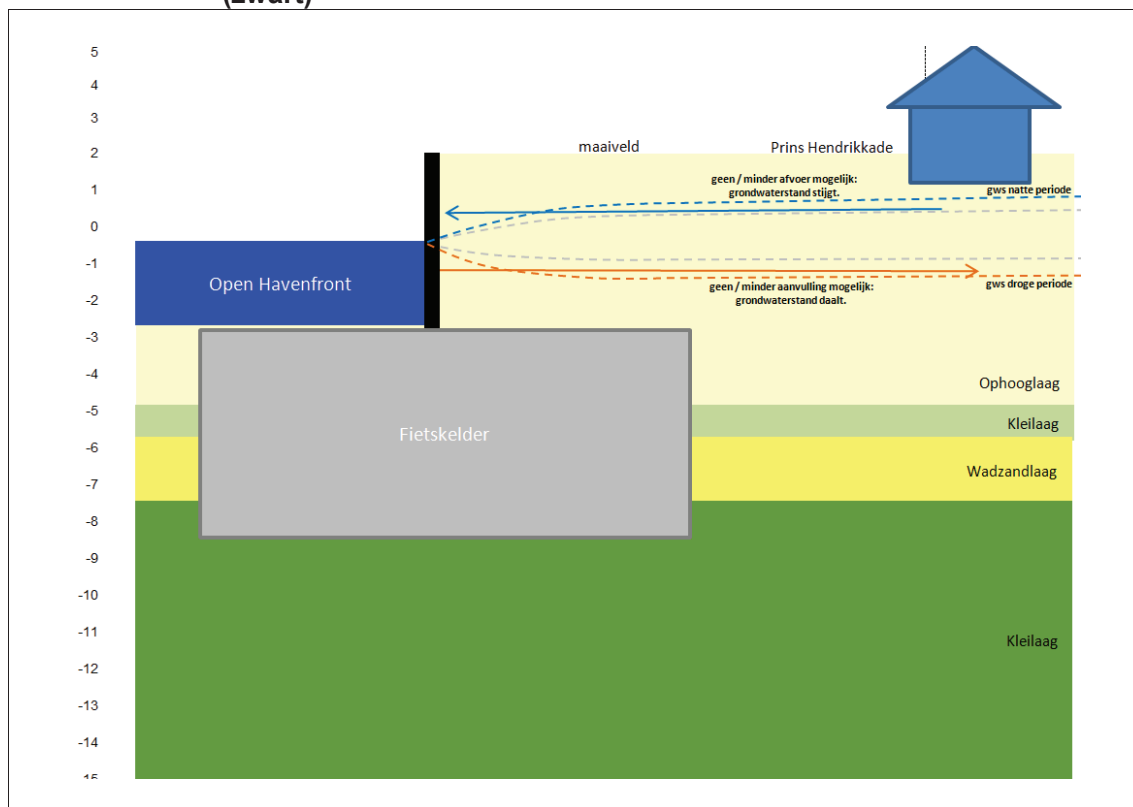
Er wordt geen significant effect verwacht als gevolg van de aanwezigheid van permanente damwanden tot NAP -20 m.

6. CONCLUSIE

In dit rapport is het effect op de grondwaterstand bepaald van het aanbrengen van een fietsenkelder en kade bij de Prins Hendrikkade, ter hoogte van het Open Havenfront.

Op basis van een maatgevende bodemopbouw is een grondwatermodel opgesteld. Met dit model zijn de effecten van het aanbrengen van de fietsenkelder en kade berekend. Tevens is een analytische beschouwing gemaakt van het te verwachten effect. Onderstaande afbeelding toont schematisch het effect.

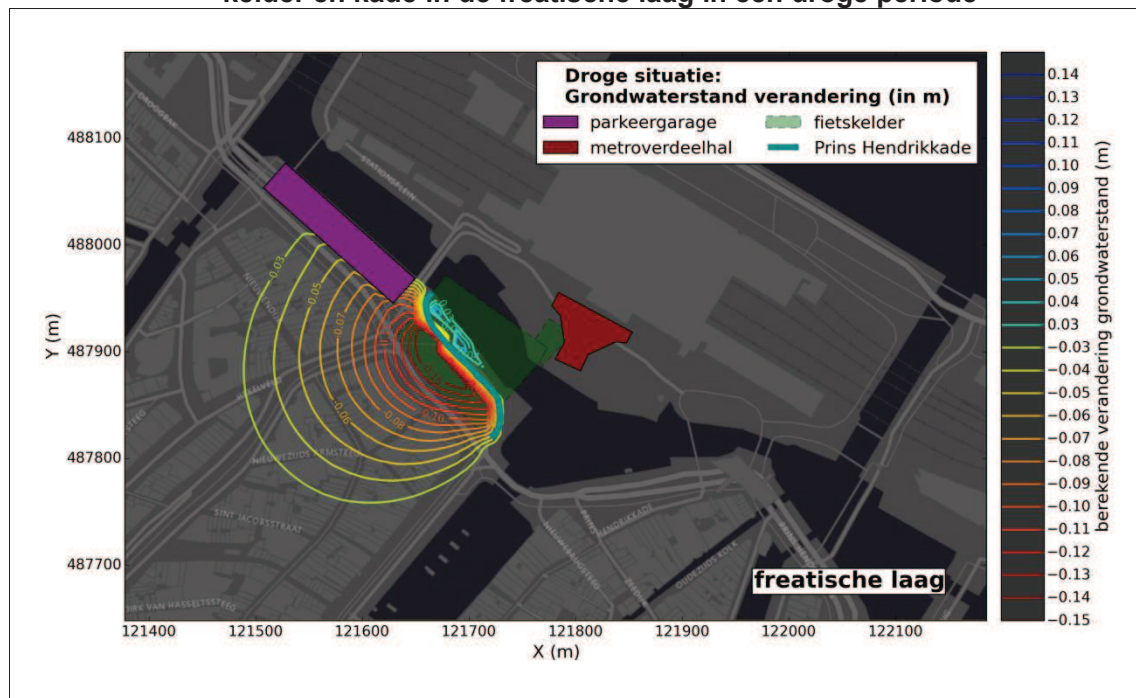
Afbeelding 6.1. Schematisch weergave te verwachten effect fietsenkelder en kade (zwart)



De droge situatie is maatgevend, omdat een verlaging van de grondwaterstand als ongewenst effect wordt gezien. Een vernatting wordt minder schadelijk geacht, omdat de kans op wateroverlast in het projectgebied klein is.

Afbeelding 6.2 toont het berekende effect van de fietsenkelder en kade in de maatgevende (droge) situatie, zoals berekend met het opgestelde grondwatermodel.

Afbeelding 6.2. Berekende verandering grondwaterstand ten gevolge van de fietsenkelder en kade in de freatische laag in een droge periode



Uit de berekening van de droge situatie volgt dat er een verdrogend effect kan worden verwacht a.g.v. de aanwezigheid van de fietsenkelder en kade. Deze fietsenkelder en kade blokkeren lokaal de aanvulling vanuit het Open Havenfront. Het berekende effect is maximaal circa 0,15 m. Vanwege een aantal aannamen is dit een worst-case effect (zie kader paragraaf 5.2.1).

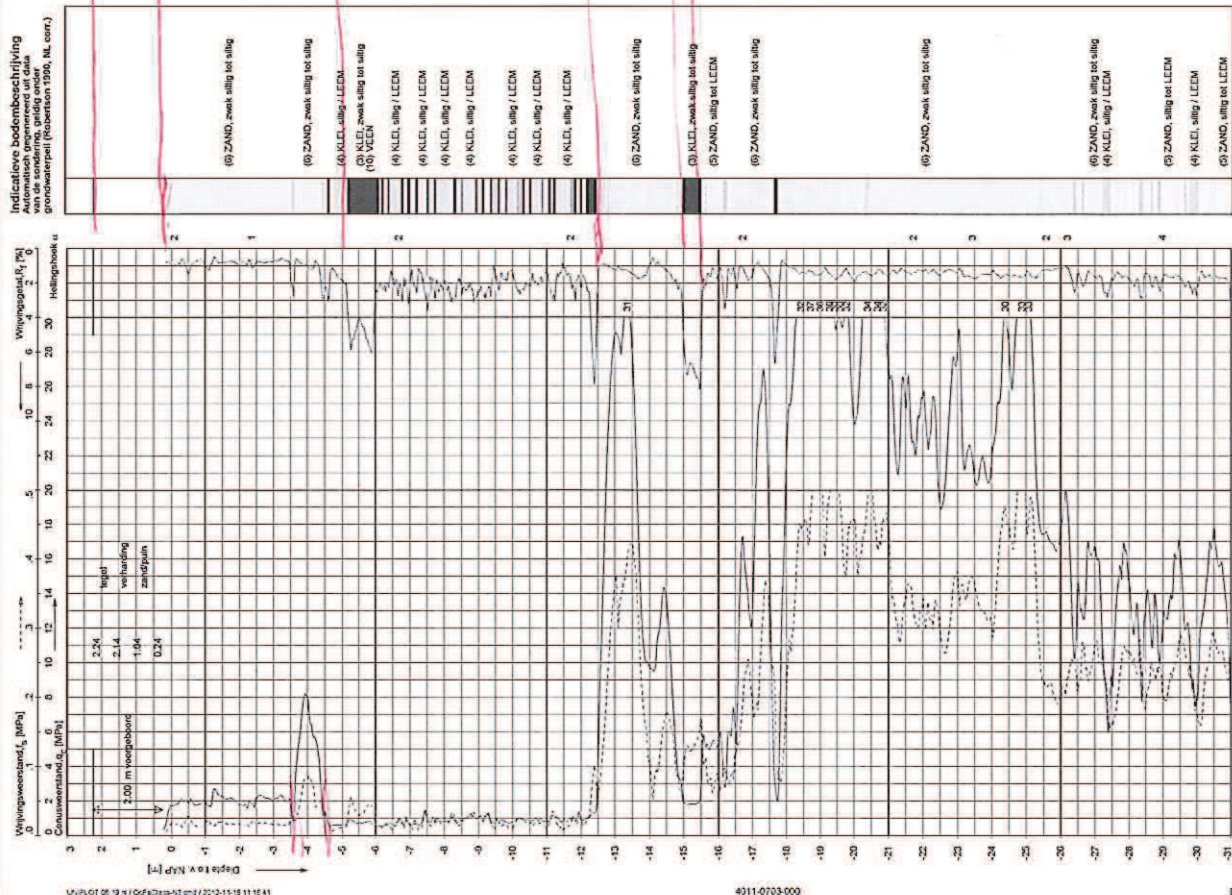
Gezien de grootte van het effect, wordt aanbevolen een mitigerende maatregel te treffen waarmee de aanvulling vanuit het oppervlaktewater in tact blijft. Hierbij kan gedacht worden aan een drain langs de constructie, welke in contact staat met het oppervlaktewater.

Uit indicatieve berekeningen volgt dat bij het toepassen van een drain er geen verdrogende effecten zijn op de freatische grondwaterstand als gevolg van de fietsenkelder en kade.

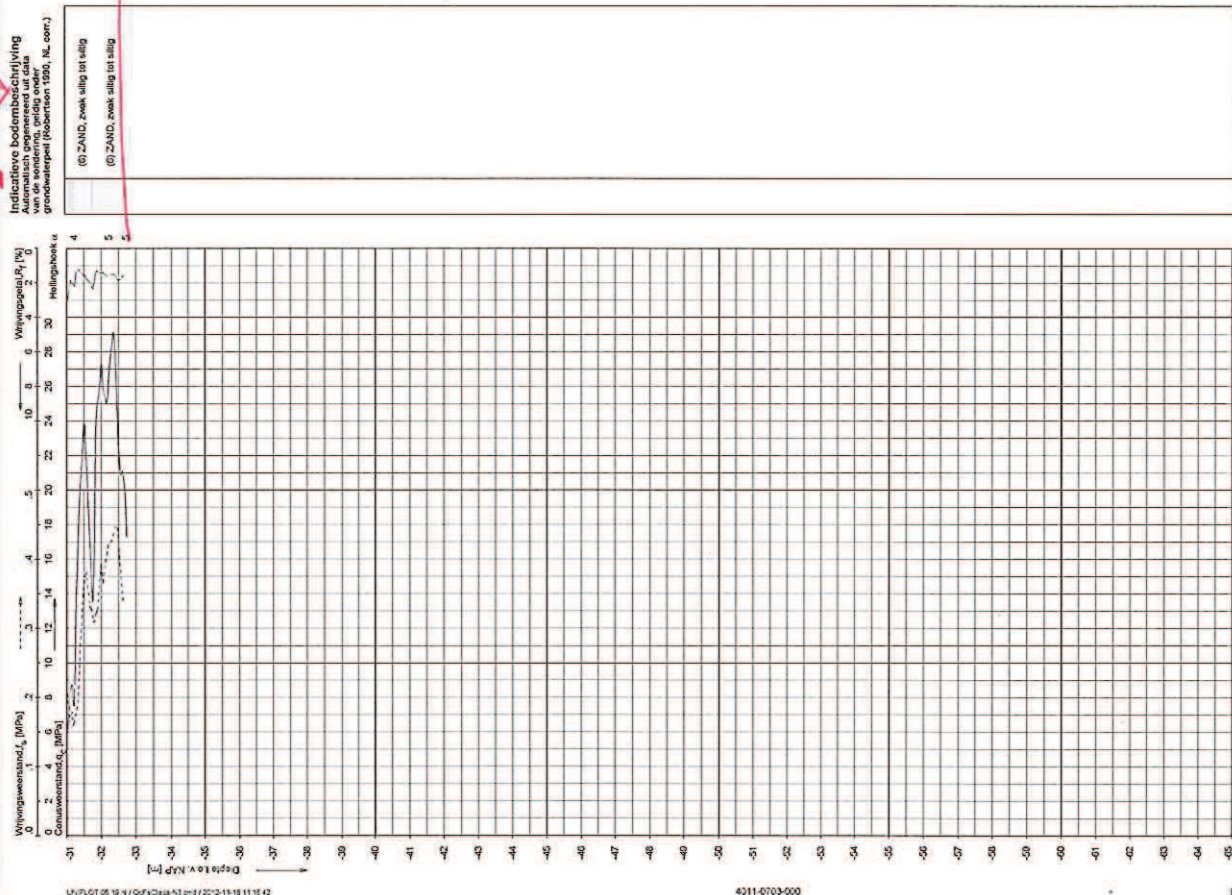
7. REFERENTIES

1. DINO-loket, TNO 2015, geraadpleegd via www.dinoloket.nl;
2. herinrichting Stationseiland en Prins Hendrikkade Amsterdam, opdrachtnummer 4011-0703-000, FUGRO GeoServices B.V., 21 november 2012;
3. sonderingen ontvangen van Gemeente Amsterdam op 15 juli 2015;
4. geohydrologische effectstudie aanvulling Zinksleuf, Witteveen+Bos, september 2012;
5. geohydrologisch onderzoek parkeergarage Oude Binnenstad, Witteveen+Bos, mei 2010;
6. peilbuizen Waternet, openbaar beschikbaar via <https://maps.waternet.nl/kaarten/peilbuizen.html>, geraadpleegd juli 2015;
7. KNMI neerslagdata, openbaar beschikbaar via <http://www.knmi.nl/klimatologie/index.html>, geraadpleegd juli 2015;
8. actueel Hoogtebestand Nederland, openbaar beschikbaar via <https://www.pdok.nl/>, geraadpleegd juli 2015;
9. startdata ontvangen gemeente Amsterdam 15 juli 2015;
10. aanbidding geohydrologische effectanalyse fietsenkelder CS, Witteveen+Bos, 7 juli 2015, referentie ASD1549-1-P/15-011.471;
11. hydraulische verticale weerstand van deklaag, TNO, Oude Essink, H2O 19-2007.

BIJLAGE I BESCHOUWDE SONDERINGEN

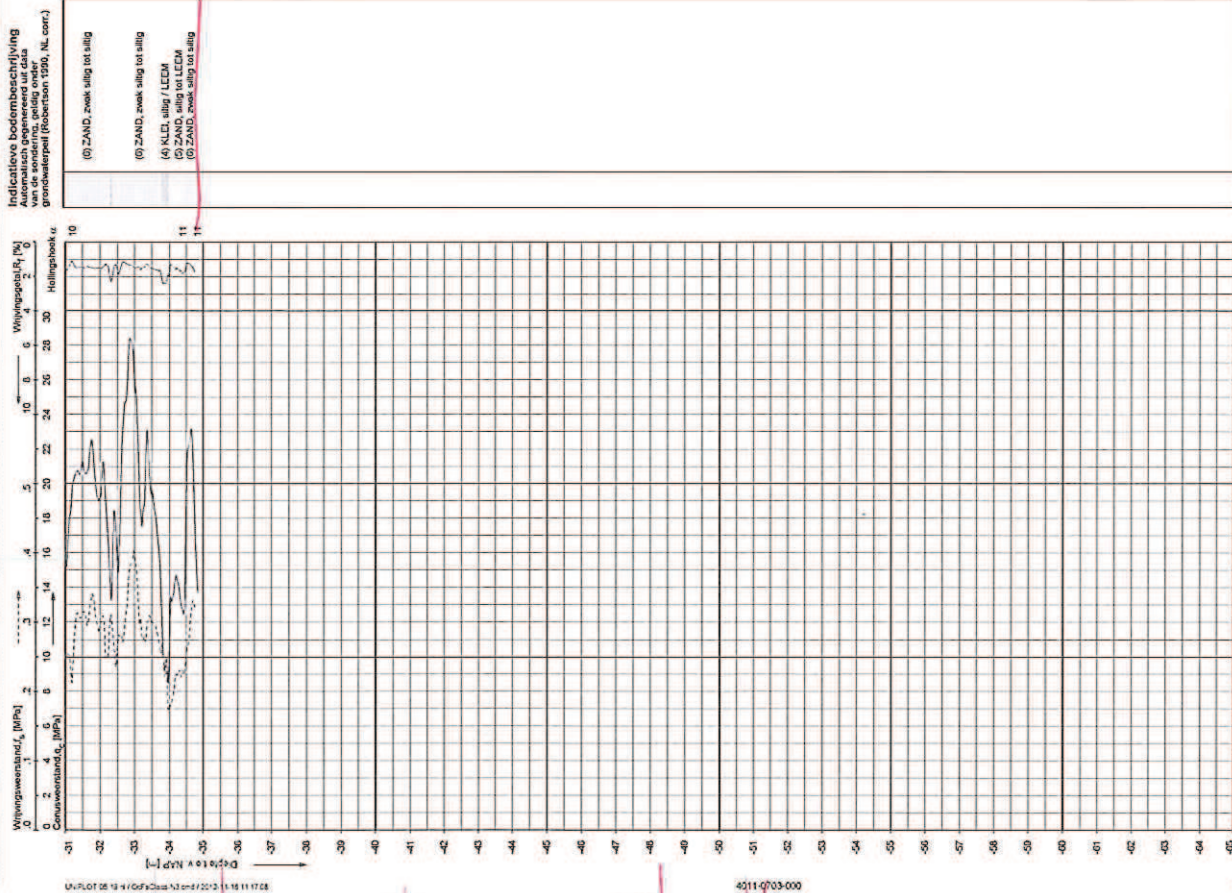


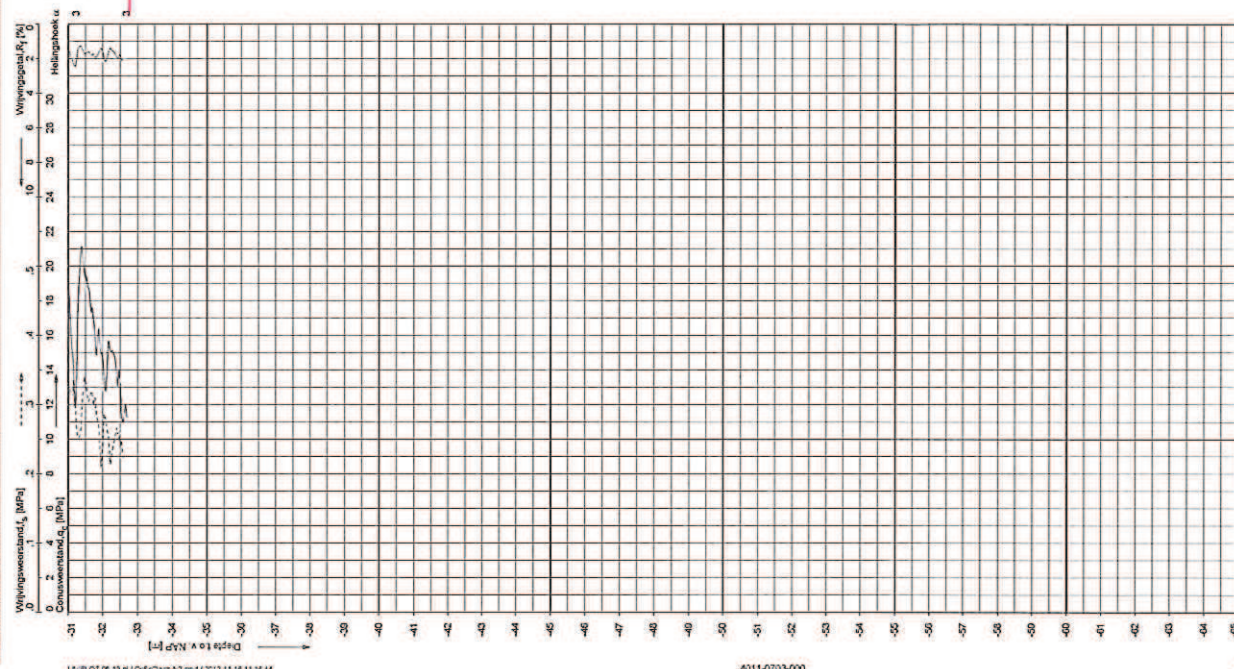
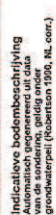
Opdr.
Sond.

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
HERINRICHTING STATIONSEILAND EN PRINS HENDRIKKADE AMSTERDAM

Opdr. 4011-0703-000
Sond. DKM10

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
HERINRICHTING STATIONSGELAND EN PRINS HENDRIKKADE AMSTERDAM



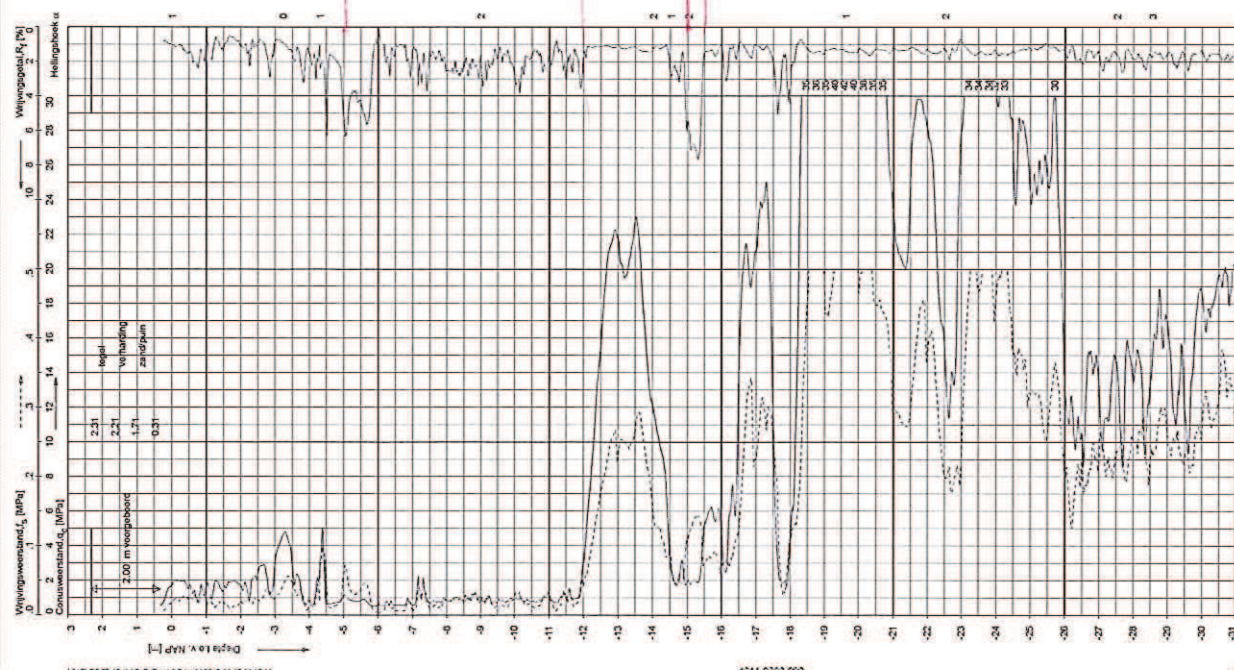
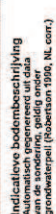


Conducting volleys across N1-N140. Muscue 2.
conductive cylinders at 1500 mm.
specimen/other cylinders 14. 1. western association

Opdr. 4011-0703-000
Sond. DKM11

HERINRICHTING STATIONSEILAND EN PRINS HENDRIKKADE AMSTERDAM

DKM11-2

[illegible]

Opdr. 4011-0703-000
Sond. DKM11

HERINRICHTING STATIONSEILAND EN PRINS HENDRIKKADE AMSTERDAM

CM11-1

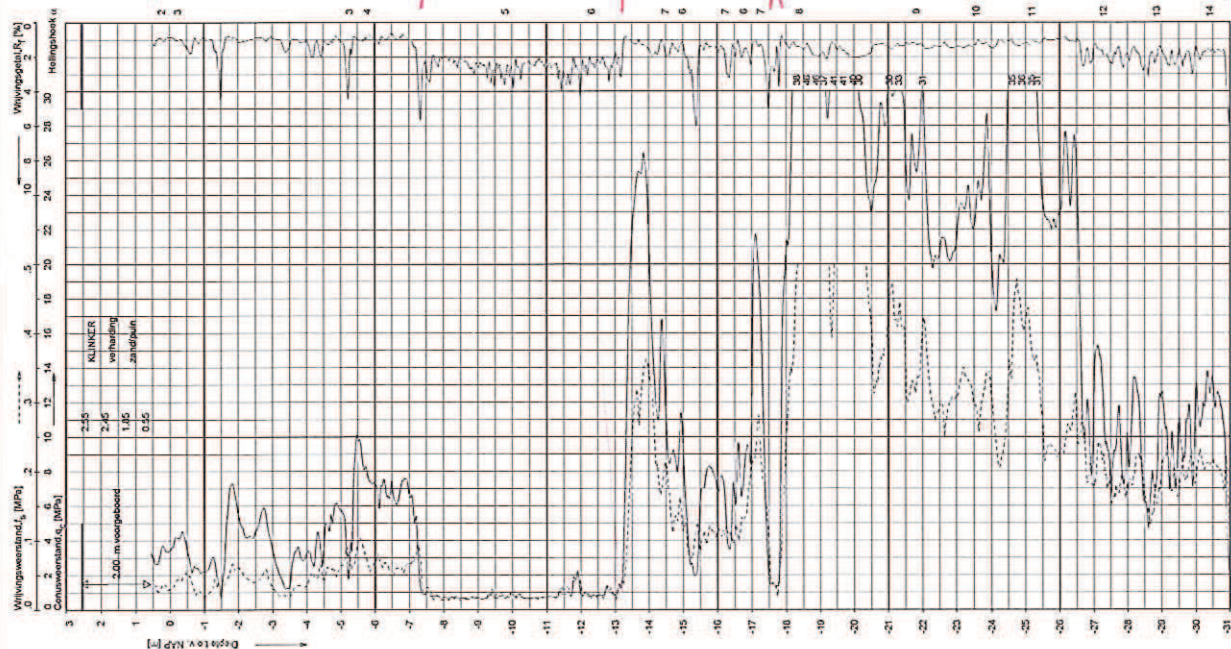


D-M12-1



DKM12-2

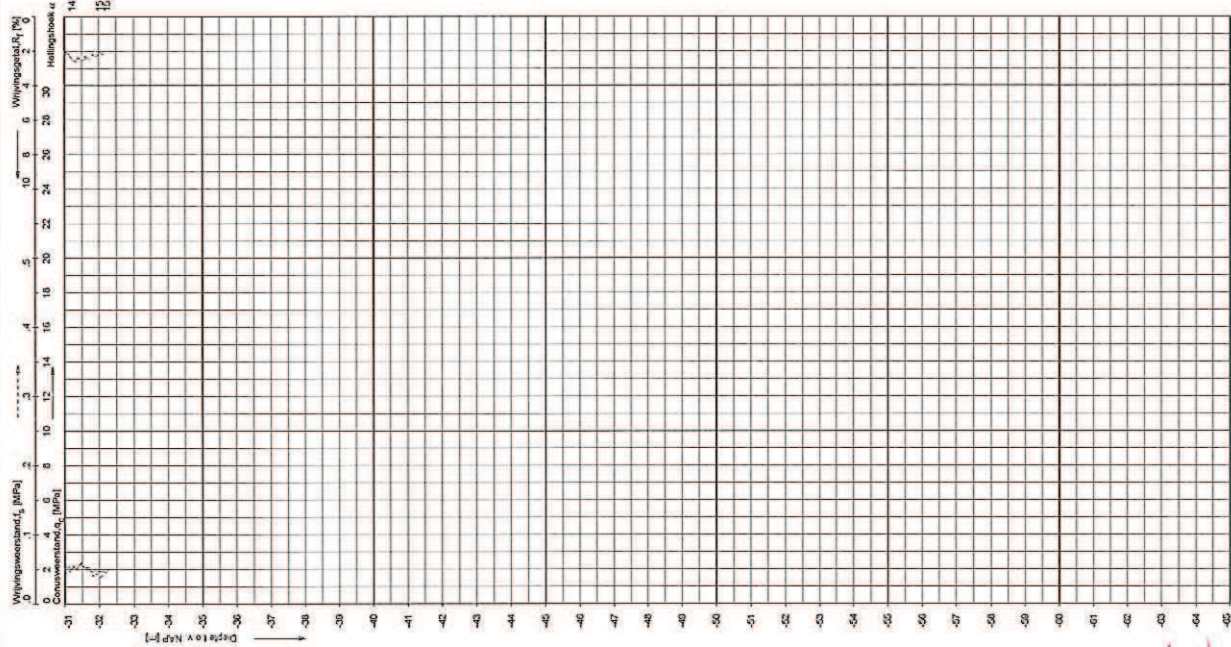
Indicatieve bodembeschrijving
Automatisch gegenereerd uit data
Van de sondering, gedag en datum
grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opdr.	4011-0703-000
Sond.	DKM14
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING	
HERINRICHTING STATIONSEILAND EN PRINS HENDRIKVADE AMSTERDAM	

DAM14-1

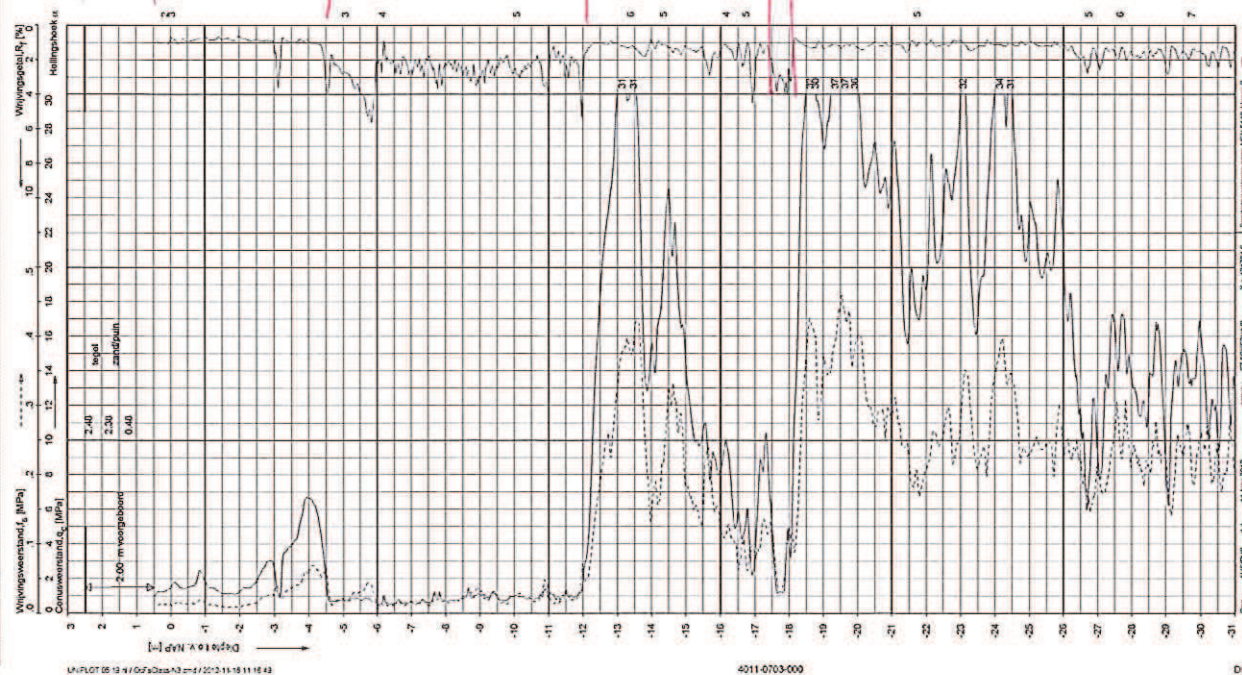
Indicatieve bodembeschrijving
Automatisch gegenereerd uit data
Van de sondering, gedag en datum
grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opdr.	4011-0703-000
Sond.	DKM14
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING	
HERINRICHTING STATIONSEILAND EN PRINS HENDRIKVADE AMSTERDAM	

DAM14-2

Indicatieve bodembeschrijving
Automatisch gegenereerd uit data
van de sondering, geldig onder
grondwaterpeil (Robertson 1990, NL.com)



Omschrijving: 44-14-2012
 Cat.: FNGDR g.d.
 Dwg.: 10-10-16
 Ontw.: MPM
 Schaal: 1:24
 X: 127084
 Y: 487348
 Contouring segmenten onder 10 m 1:145, 2:200, 3:250
 Contouring segmenten onder 10 m 1:145, 2:200, 3:250
 Contouring segmenten onder 10 m 1:145, 2:200, 3:250

4011-0703-000
 Opdr.: Send.
 DKM13

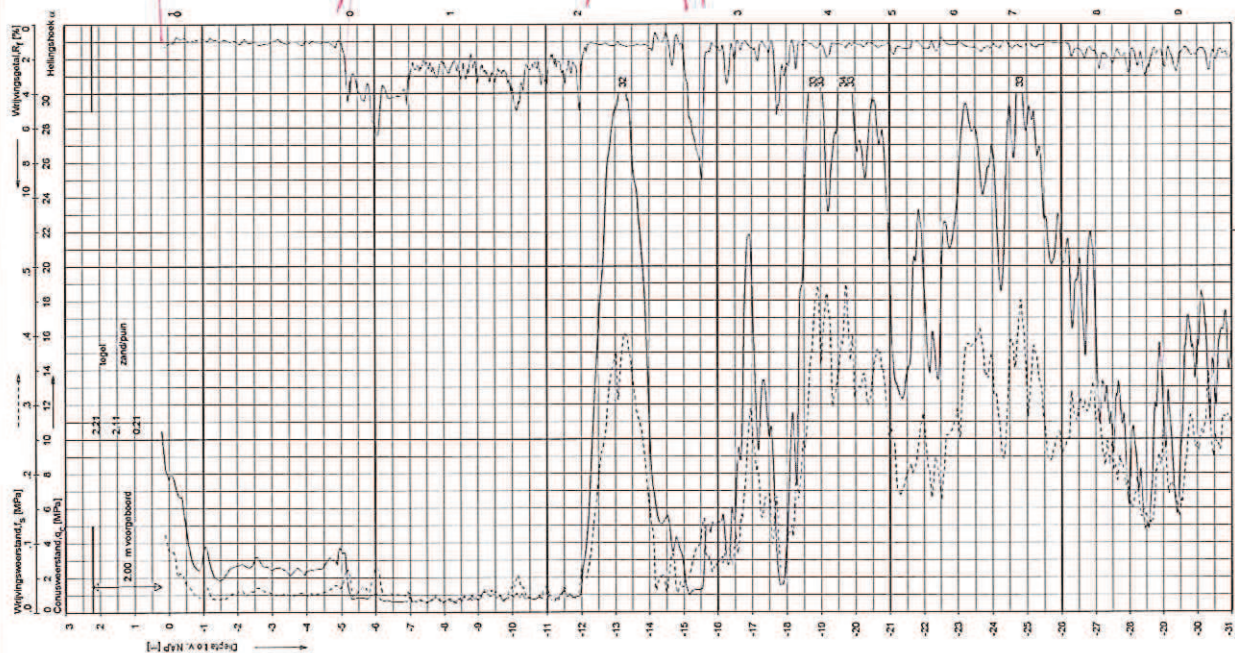
SONDERING NET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
 HERINRICHTING STATIONSEILAND CN PRINS HENDRIKDE AMSTERDAM

D-0113-1

HERINRICHTING STATIONCELAND EN PRINS HENDRIKKADE AMSTERDAM

HERINRICHTING STATIONSEILAND EN PRINS HENDRIKKADE AMSTERDAM

Indicatieve bodembeschrijving
Automatisch gegenereerd uit data
van de sondering, geldig op data
grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



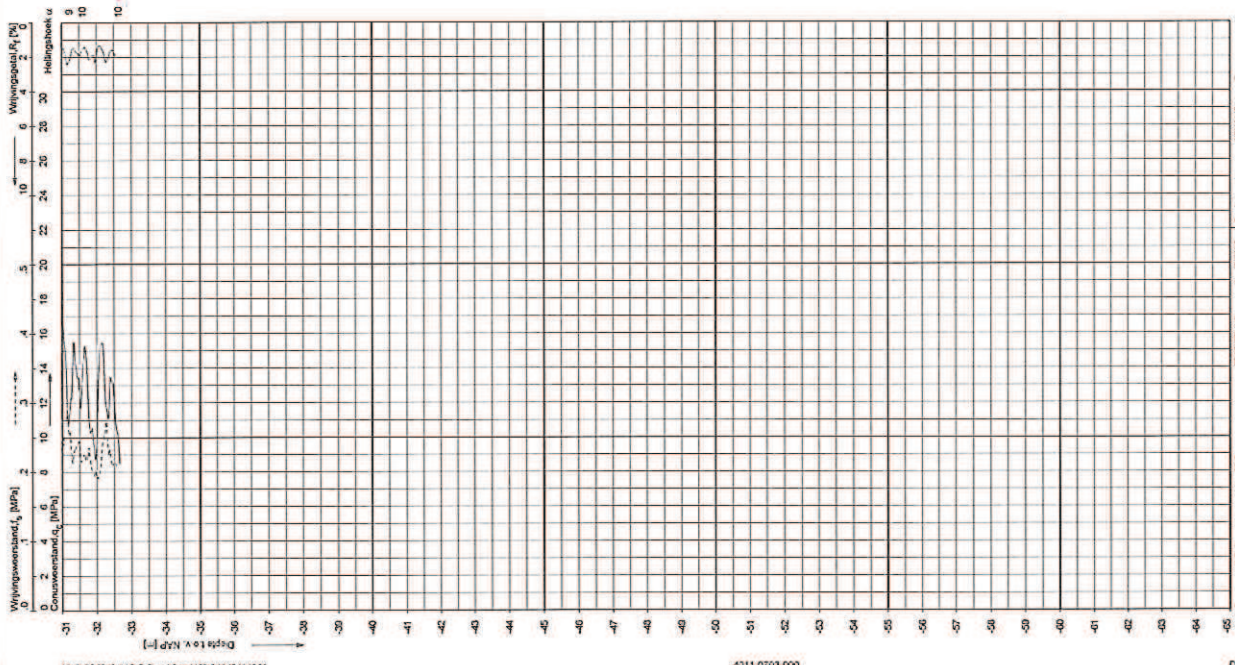
U:\P\07-03-19\703-000\4011-0703-000\2020-15-11-1514

4011-0703-000

DKM15-1

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
HEERENRICHTING STATIONSELAN EN PRINS HENDRIKSELADE AMSTERDAM
Opdr. 4011-0703-000
Sond. DKM15

Indicatieve bodembeschrijving
Automatisch gegenereerd uit data
van de sondering, geldig op data
grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)

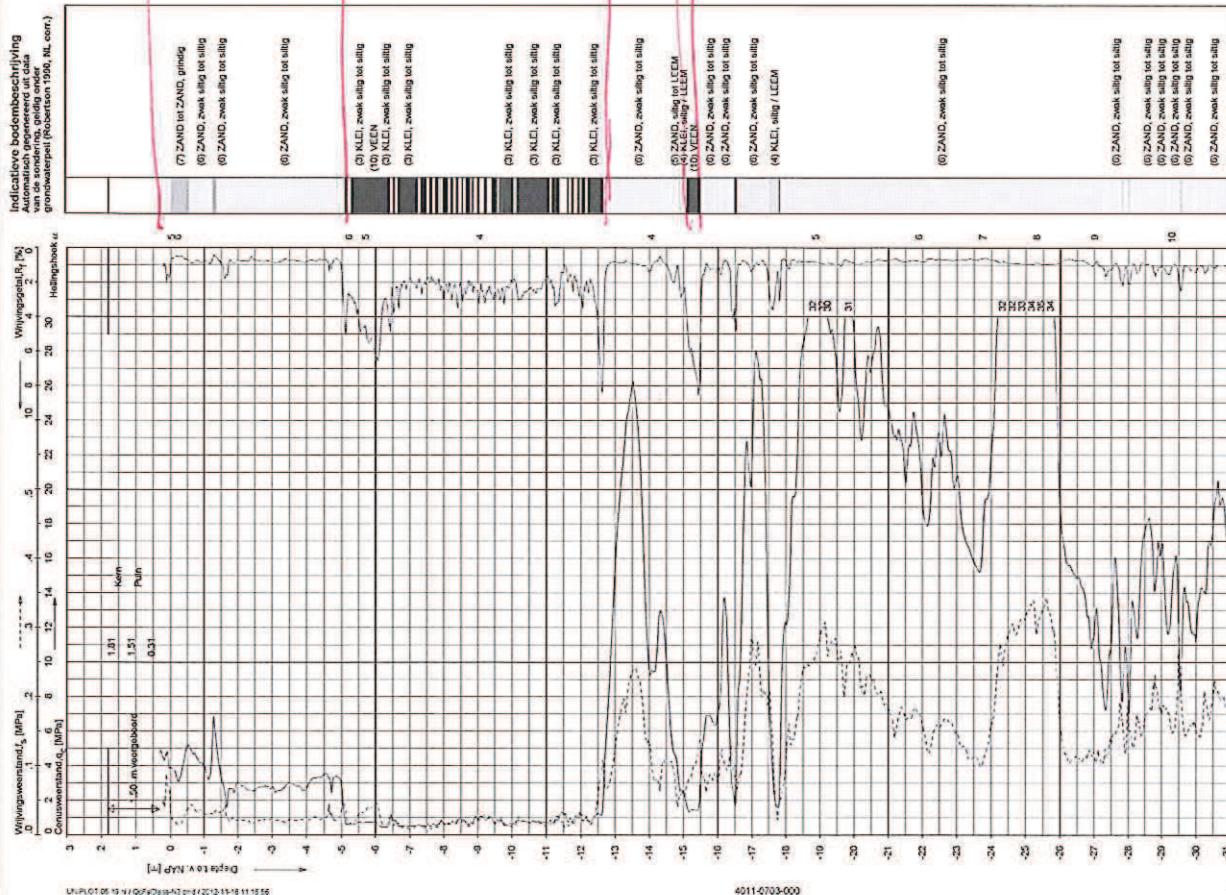


U:\P\07-03-19\703-000\4011-0703-000\2020-15-11-1514

4011-0703-000

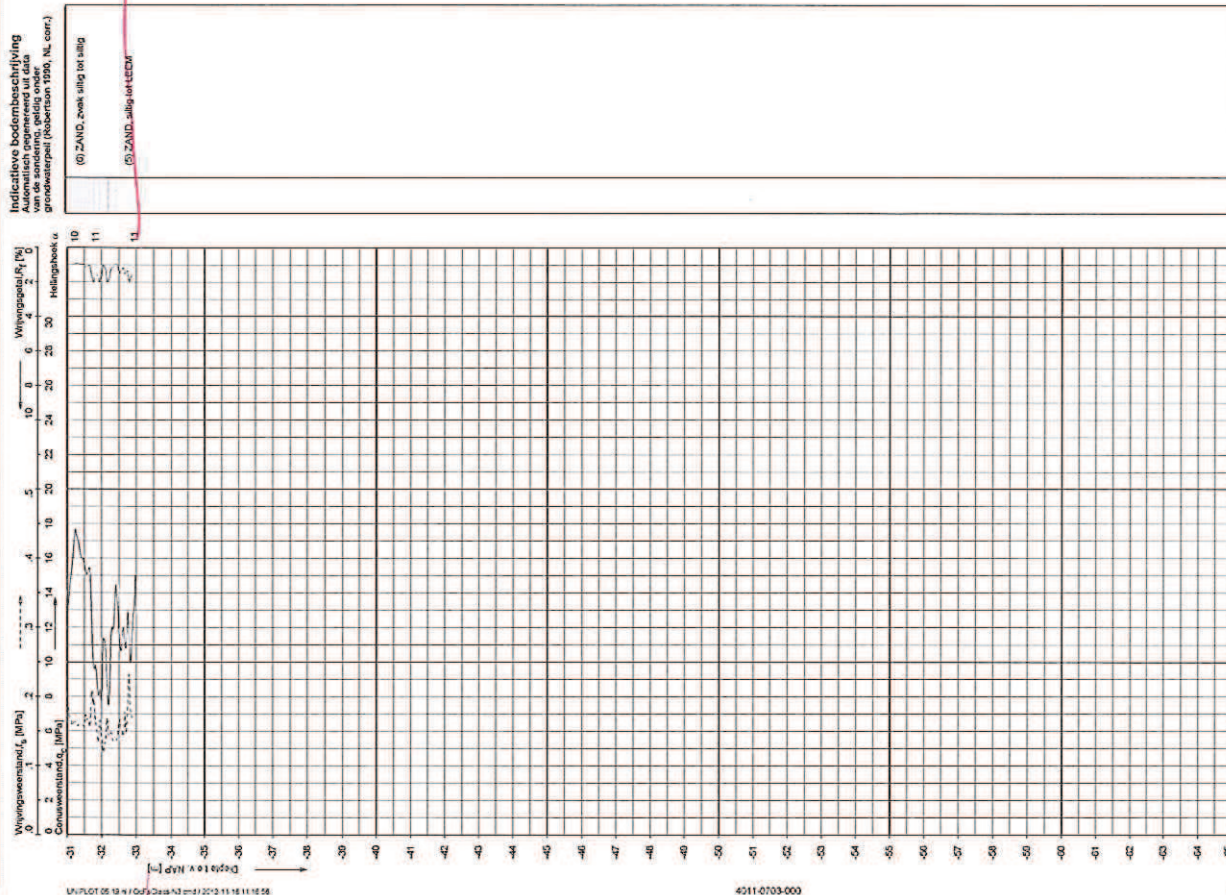
DKM15-2

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
HEERENRICHTING STATIONSELAN EN PRINS HENDRIKSELADE AMSTERDAM
Opdr. 4011-0703-000
Sond. DKM15



Opdr. 4011-0703-000
Sond. DKM17

HERINRICHTING STATIONSEILAND EN PRINS HENDRIKKADE AMSTERDAM

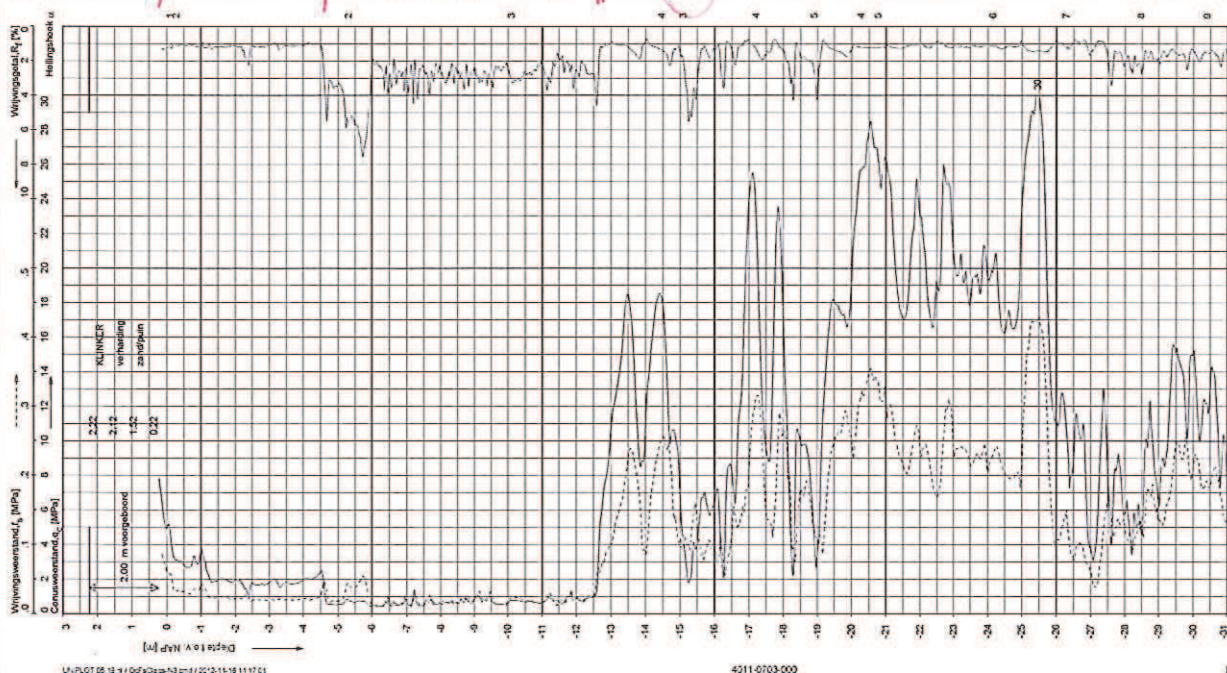


Opdr. 4011-0703-000
Send. DKM17

HERENRICHTING STATIONCEILAND EN PRINS HENDRIKKADE AMSTERDAM



Indicatieve bodembeschrijving
Automatisch gegenereerd uit data
van de sondering met de sondering
grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



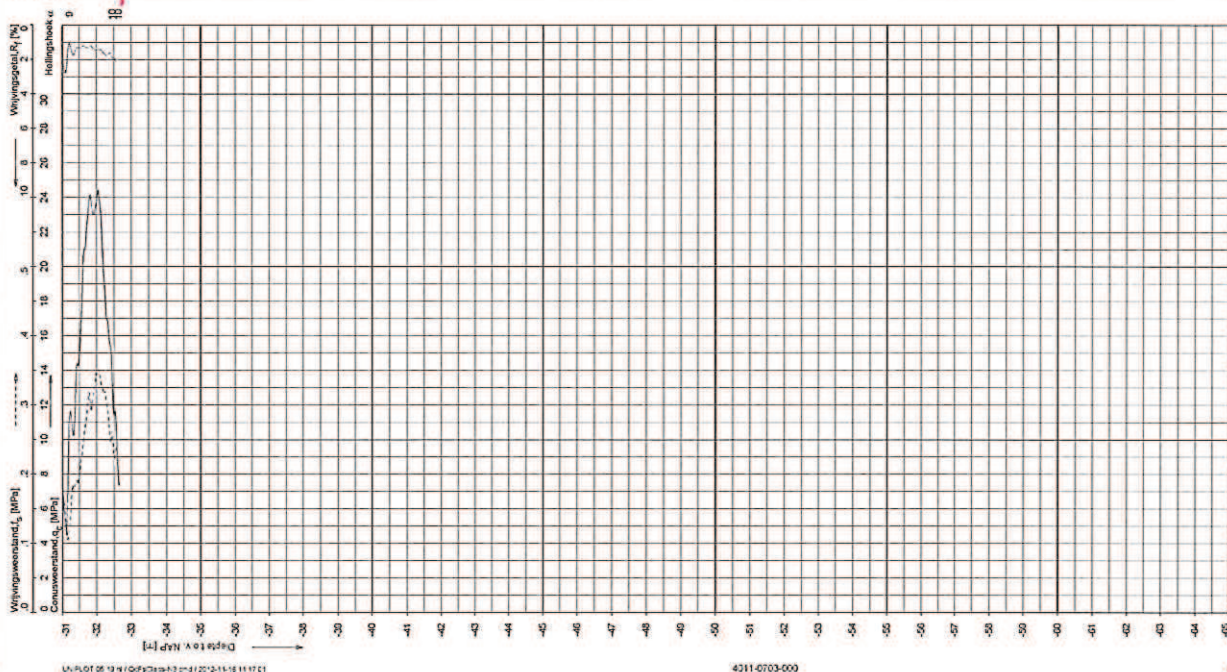
10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30

4011-0703-000

DKM19 - 1



Indicatieve bodembeschrijving
Automatisch gegenereerd uit data
van de sondering met de sondering
grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30

4011-0703-000

DKM19 - 2

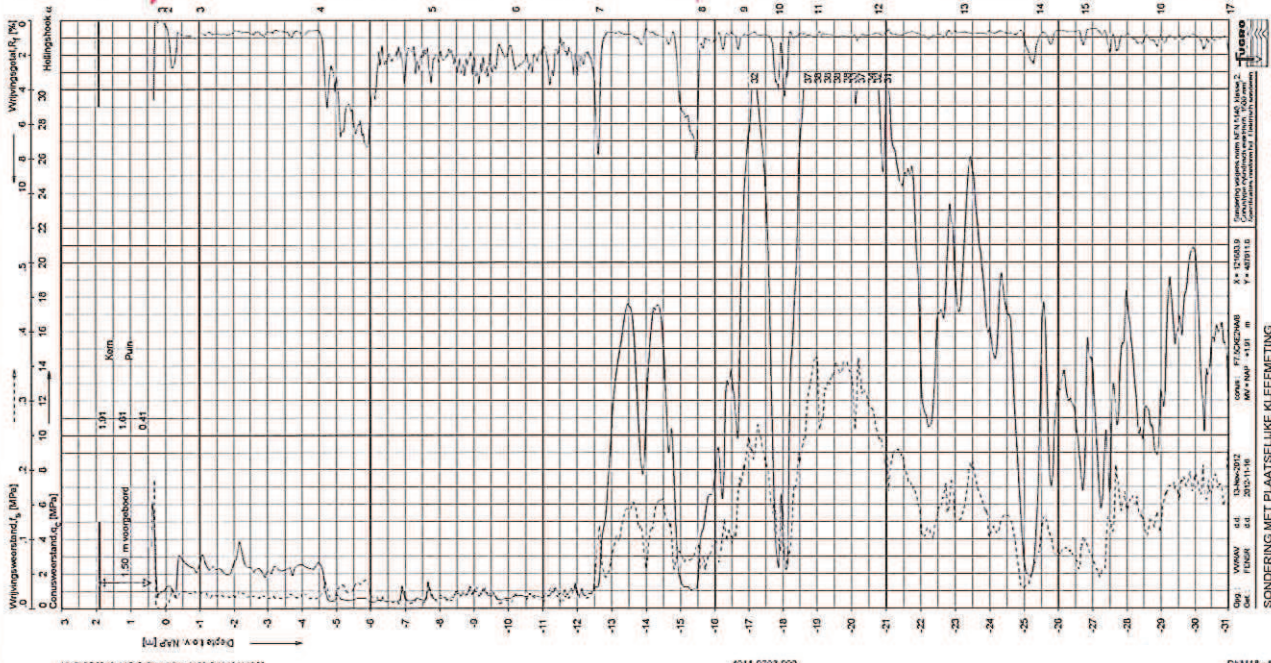
Opdr. 4011-0703-000
Sond. DKM19

SONDERING MET PLAATSELRIKE KLEEFMETING
HERINRICHTING STATIONSGELAND EN PRINS HENDRIKLADE AMSTERDAM

Opdr. 4011-0703-000
Sond. DKM19

SONDERING MET PLAATSELRIKE KLEEFMETING
HERINRICHTING STATIONSGELAND EN PRINS HENDRIKLADE AMSTERDAM

Indicatie bodembeschrijving
Automatisch gegenereerd uit data
van de sondering
grondwaterpeil (Robertson 1996, NL corr.)

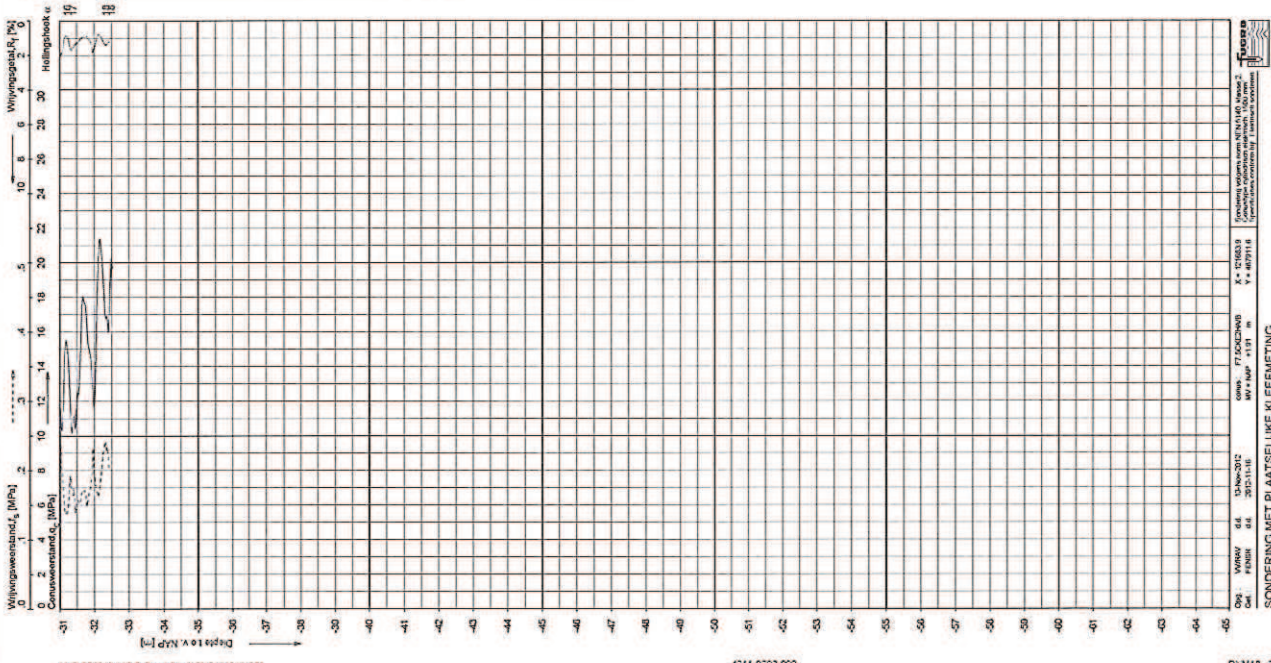


10/10/10 05:19:19 10/10/10 05:19:19 10/10/10 05:19:19

4011-0703-000

DKM15-1

Indicatie bodembeschrijving
Automatisch gegenereerd uit data
van de sondering
grondwaterpeil (Robertson 1996, NL corr.)



10/10/10 05:19:19 10/10/10 05:19:19 10/10/10 05:19:19

4011-0703-000

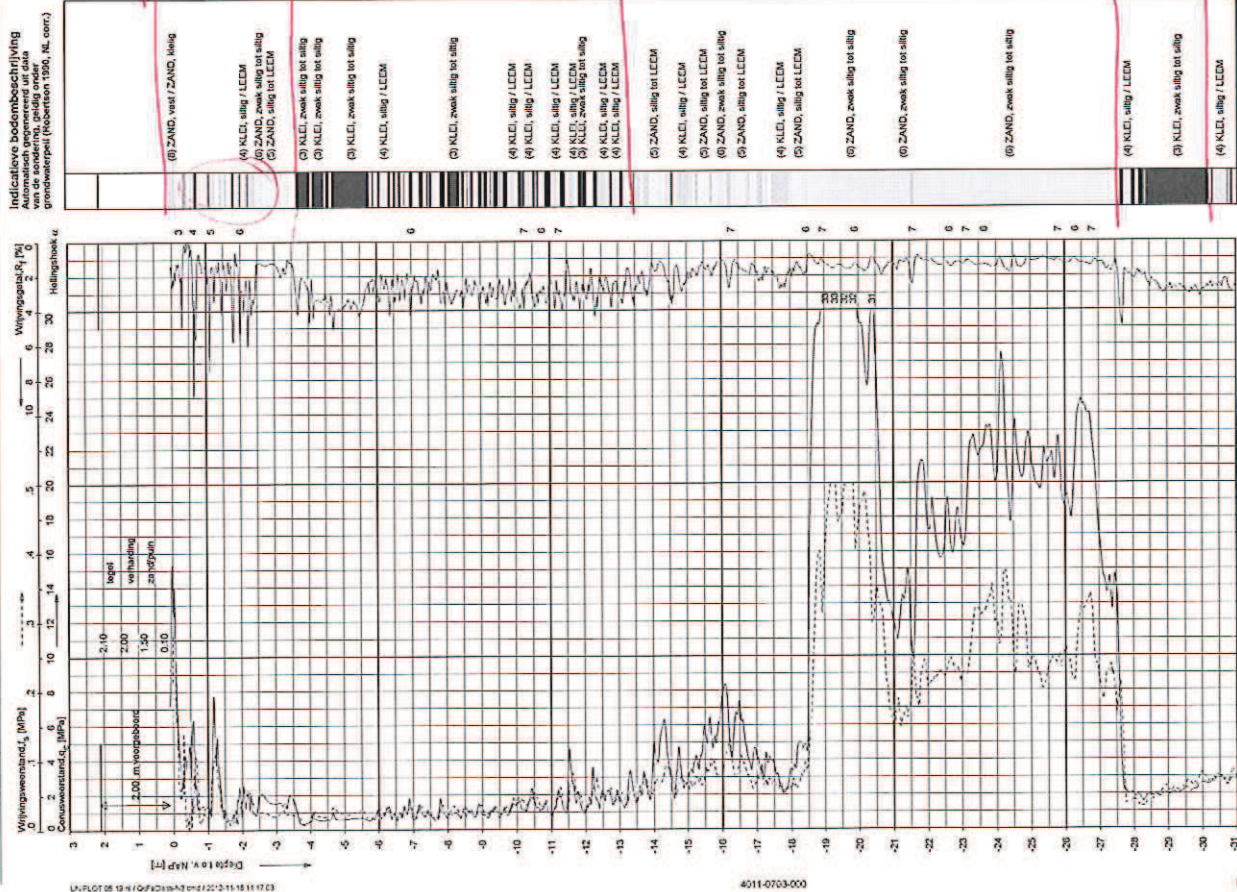
DKM18-2

Opdr. 4011-0703-000
Sond. DKM18

SONDERING MET PLATSELIJKE KLEEFMETING
HERENRICHTING STATIONSEILAND EN PRINS HENDRIKKADE AMSTERDAM

Opdr. 4011-0703-000
Sond. DKM18

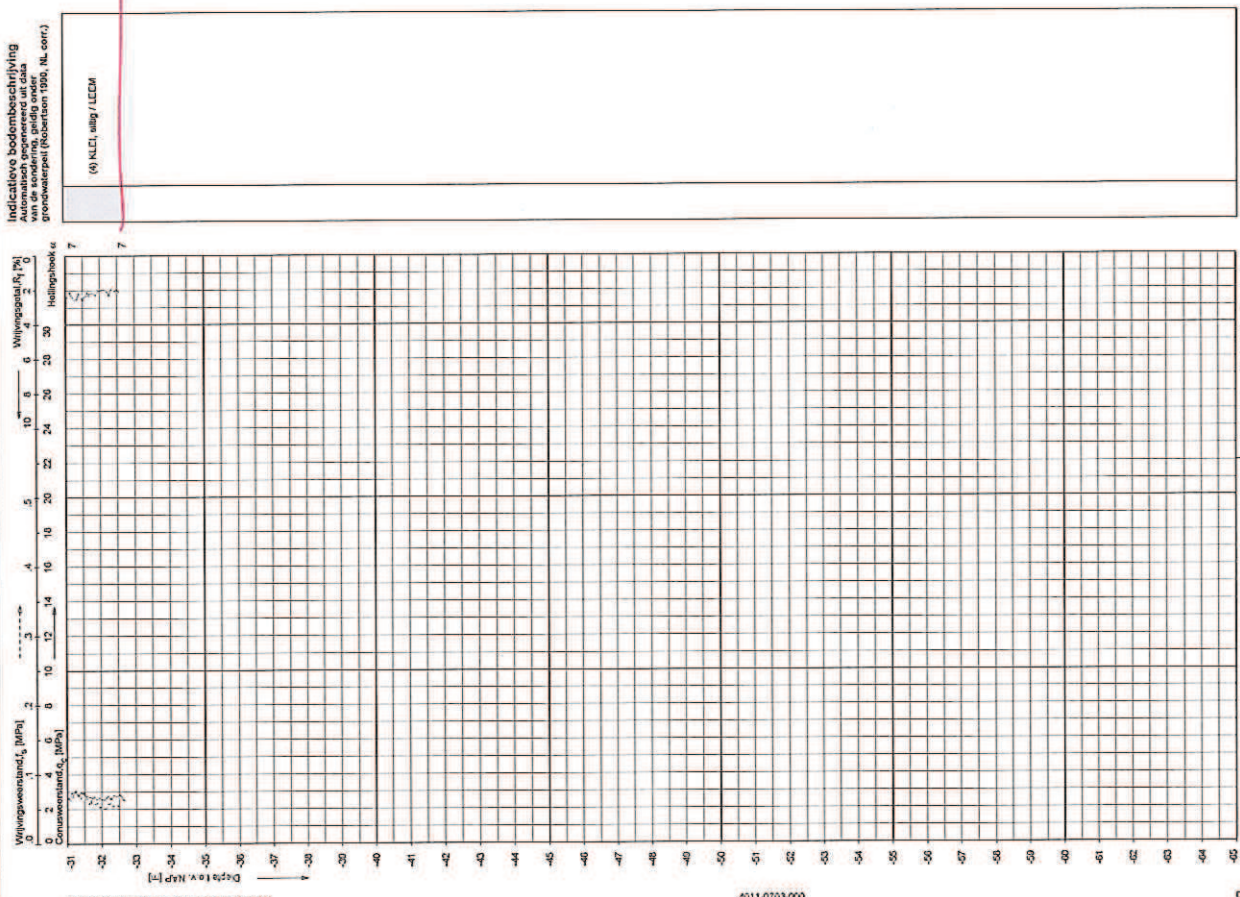
SONDERING MET PLATSELIJKE KLEEFMETING
HERENRICHTING STATIONSEILAND EN PRINS HENDRIKKADE AMSTERDAM



D-M28-1

Opdr.
Sond.

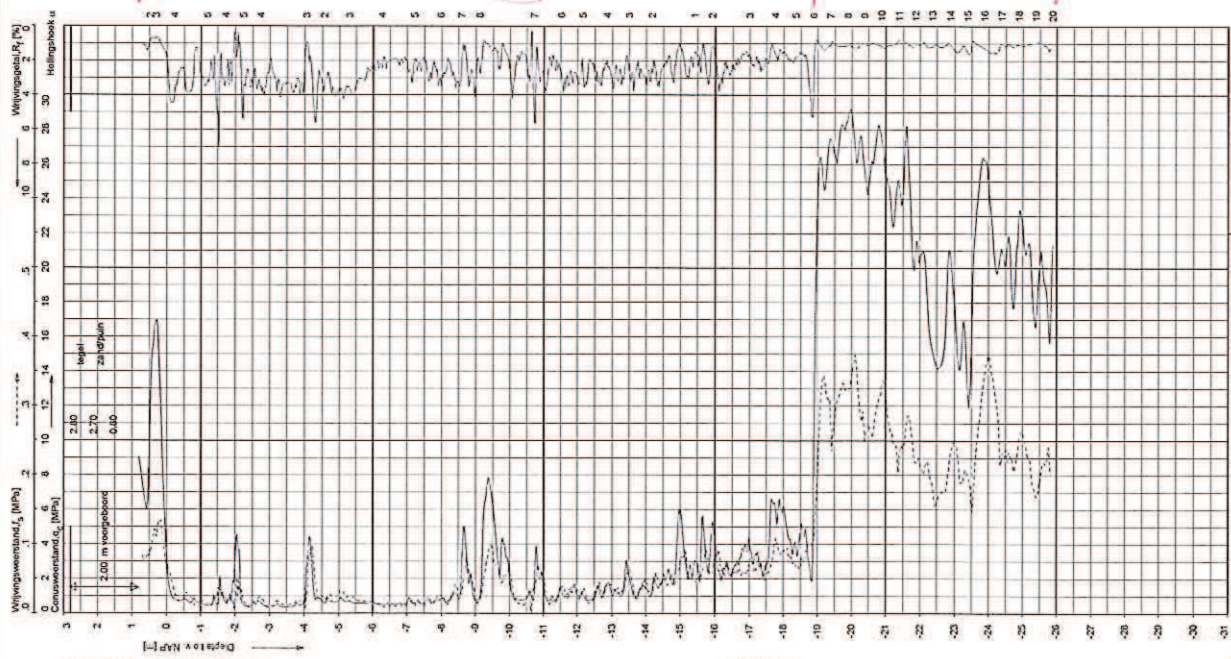
HERINRICHTING STATIONGEILAND EN PRINS HENDRIKKADE AMSTERDAM



DKM23-2

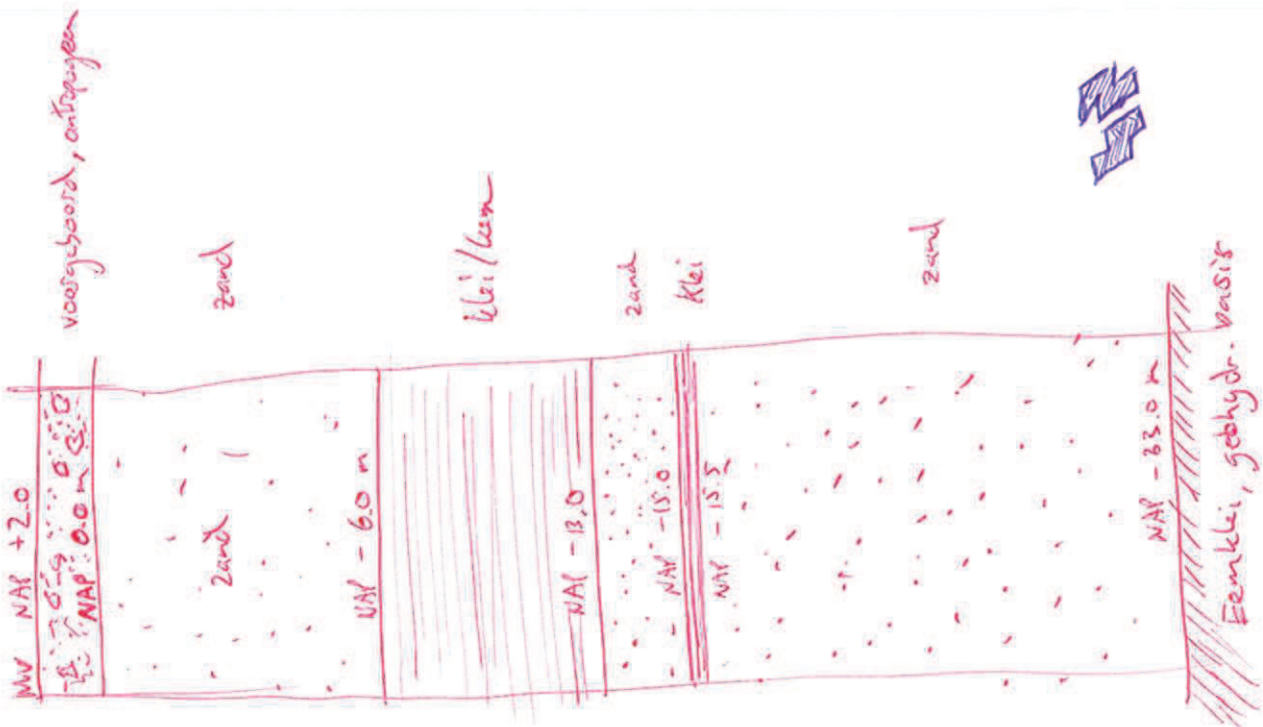
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING:
HERINRICHTING STATIONSEILAND EN PRINS HENDRIKKADE AMSTERDAM

Opdr.
Sond.

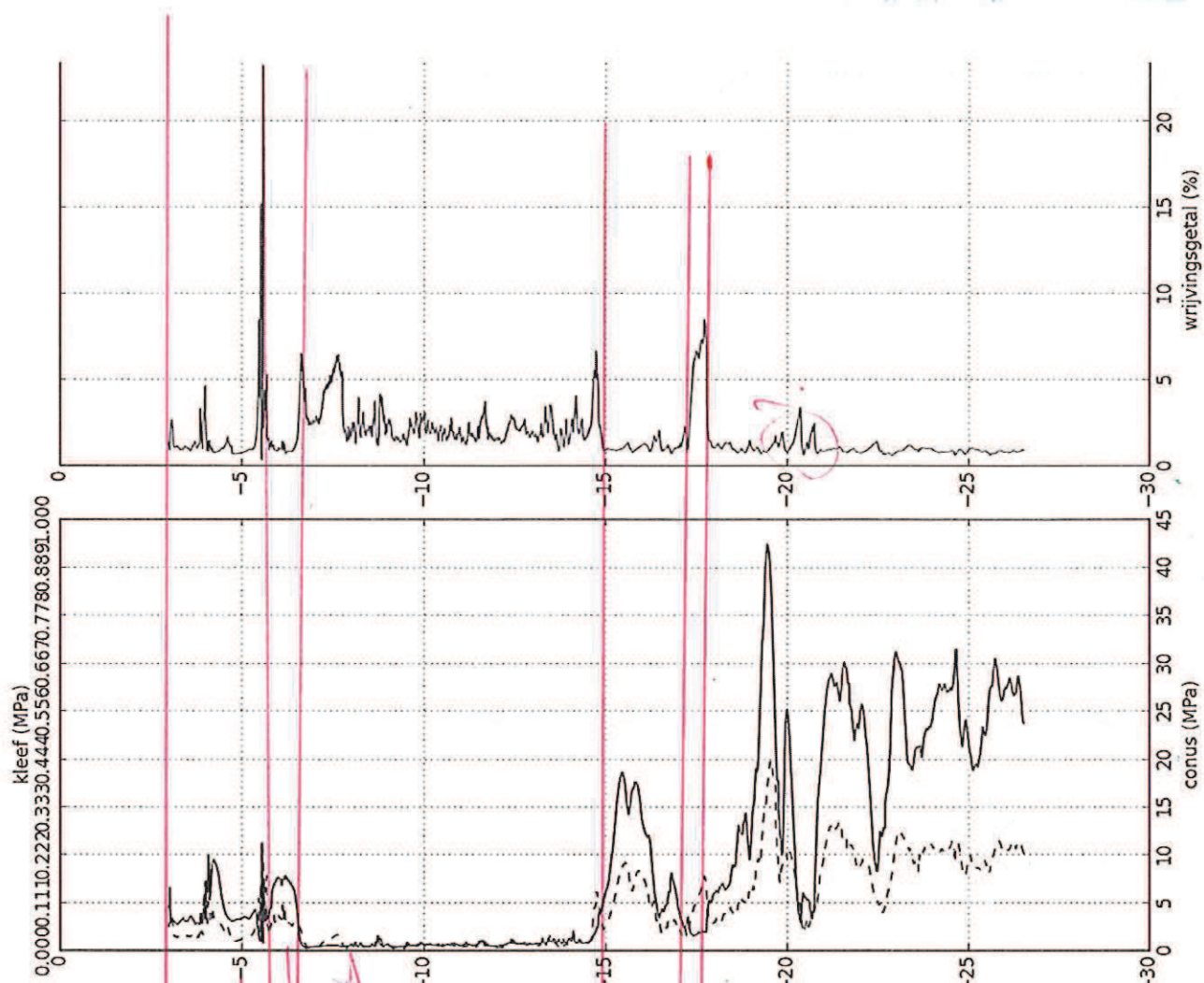


SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
HERINRICHTING STATIONCELAND EN PRINS HENDRIKKADE AMSTERDAM

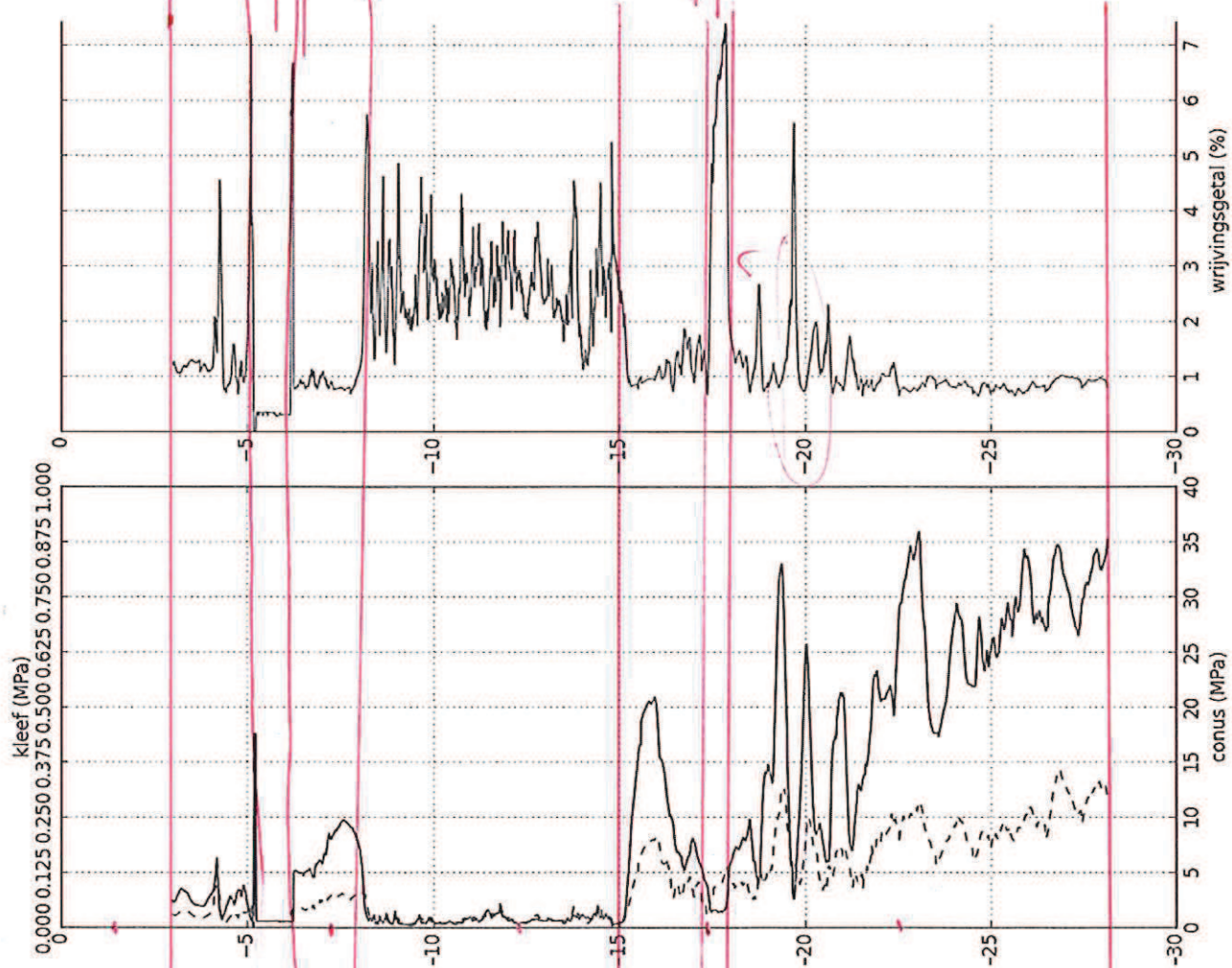
schetting van de
gemiddelde opbouw



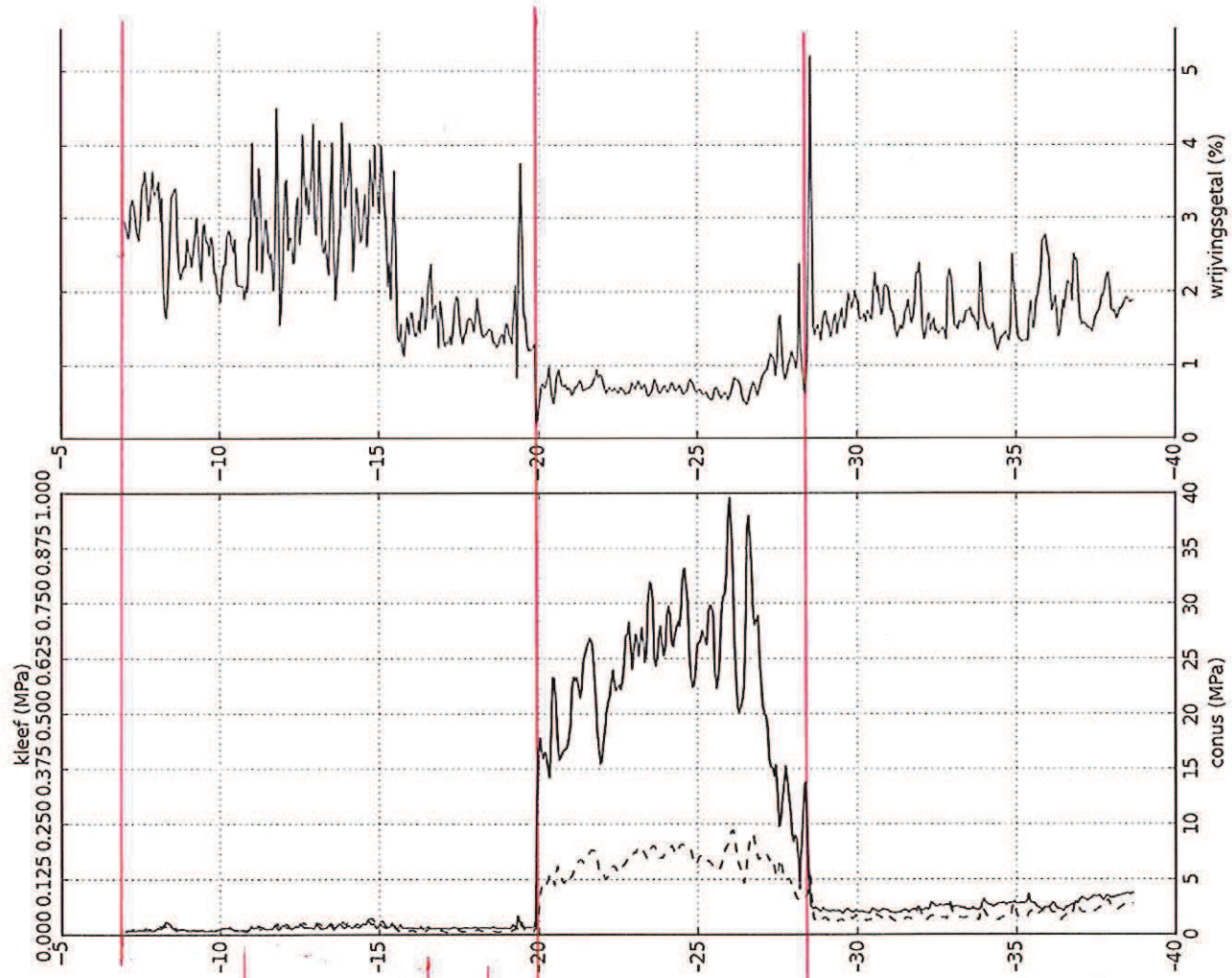
D62682



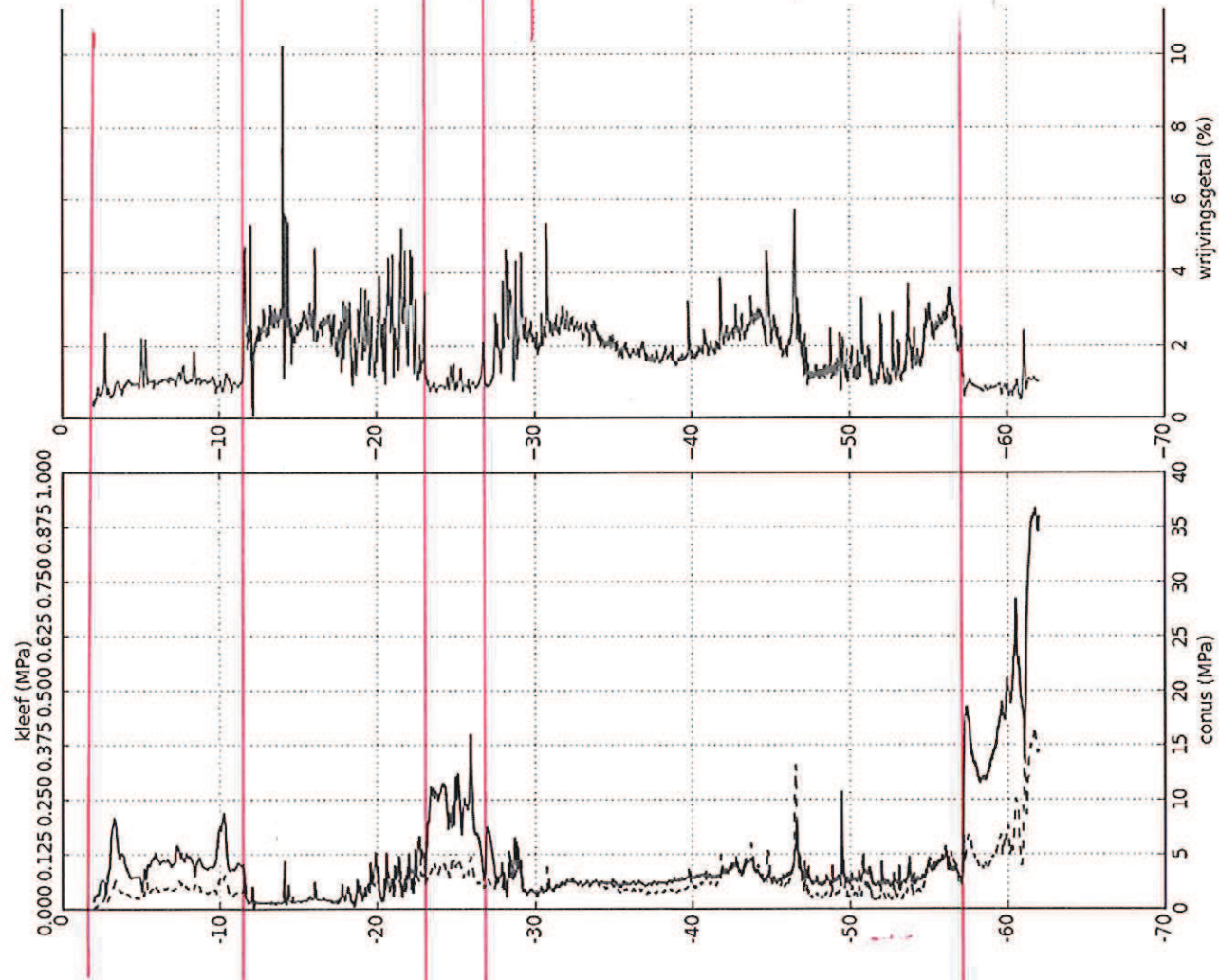
D62683



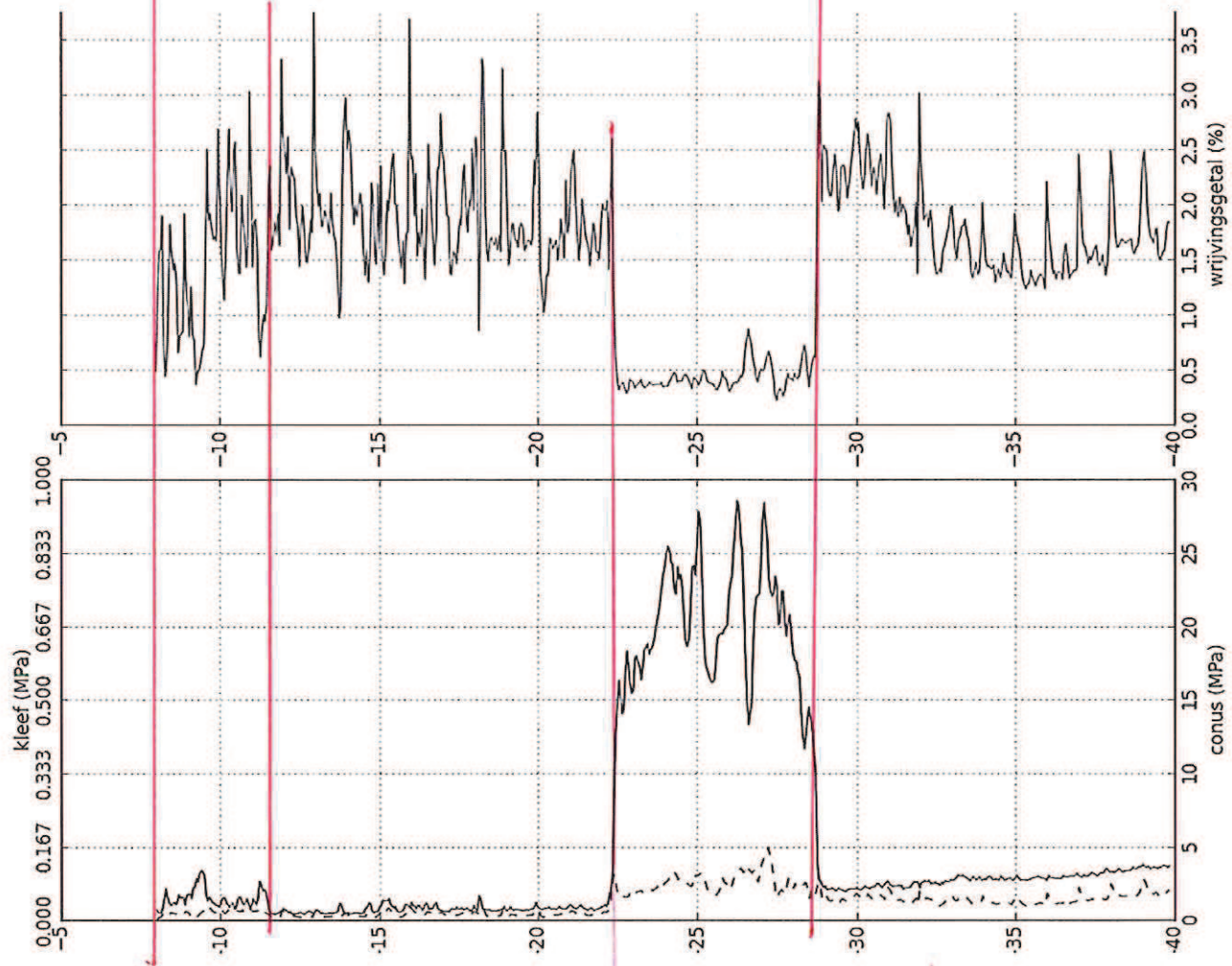
D62501



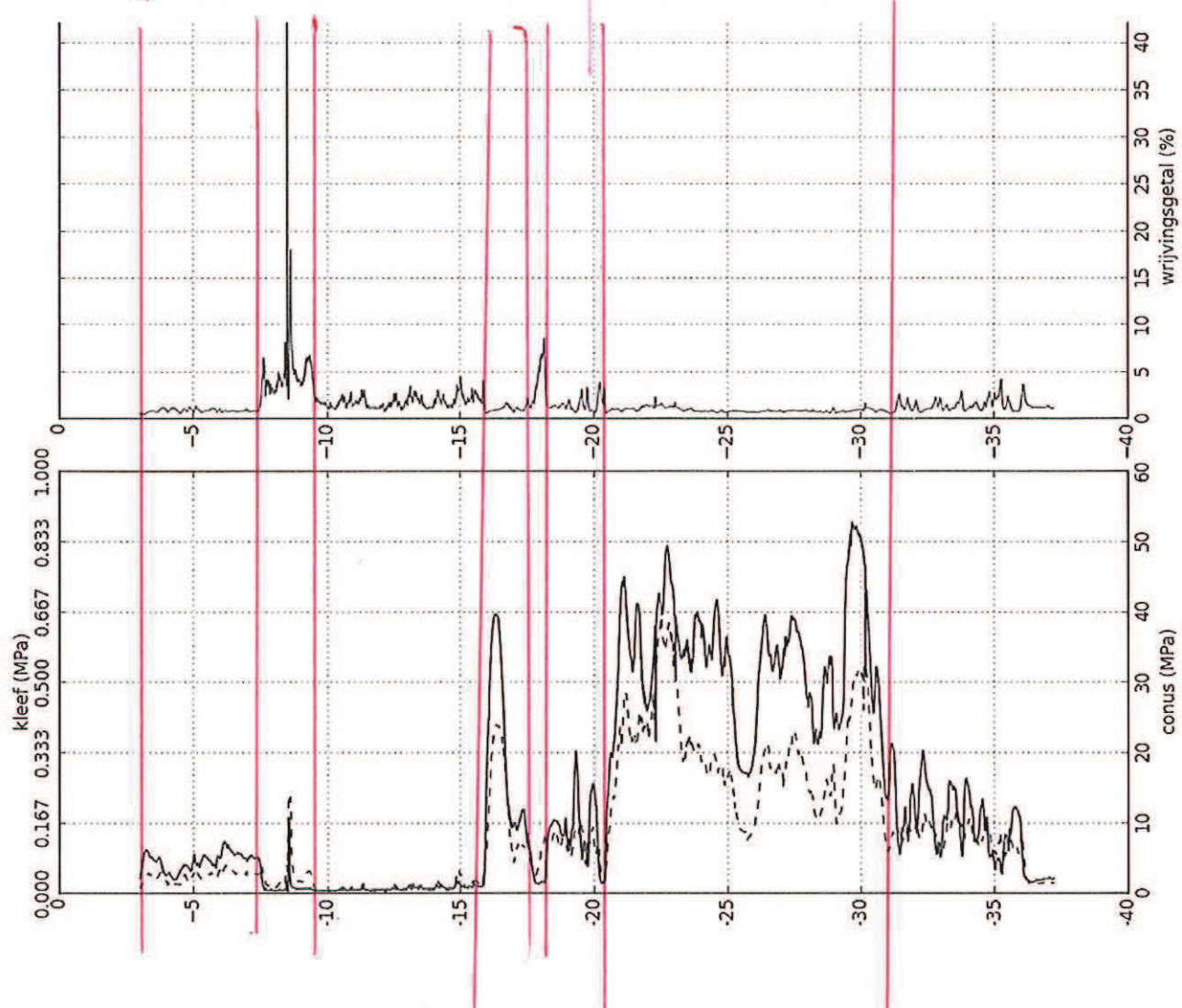
D62623



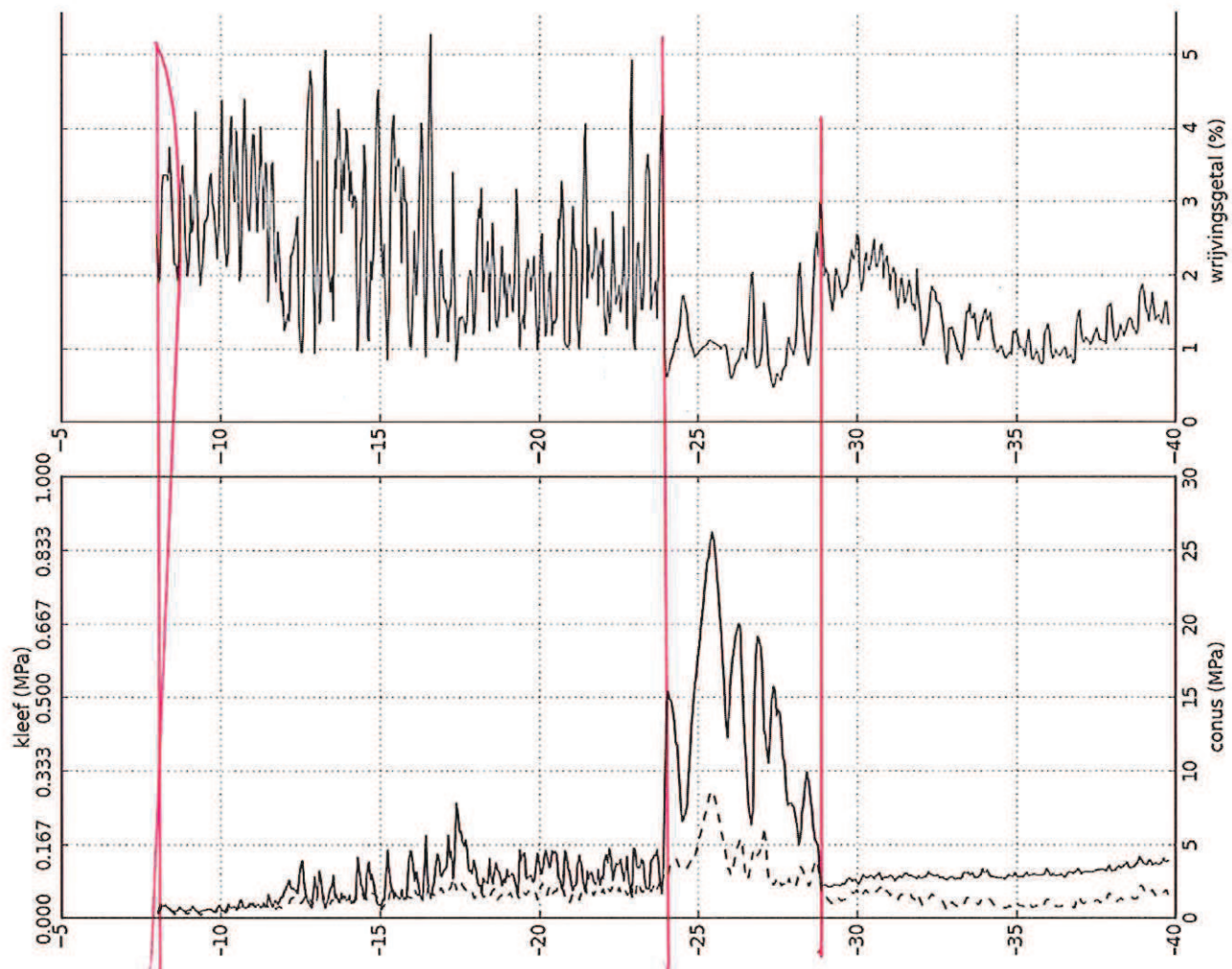
D62499



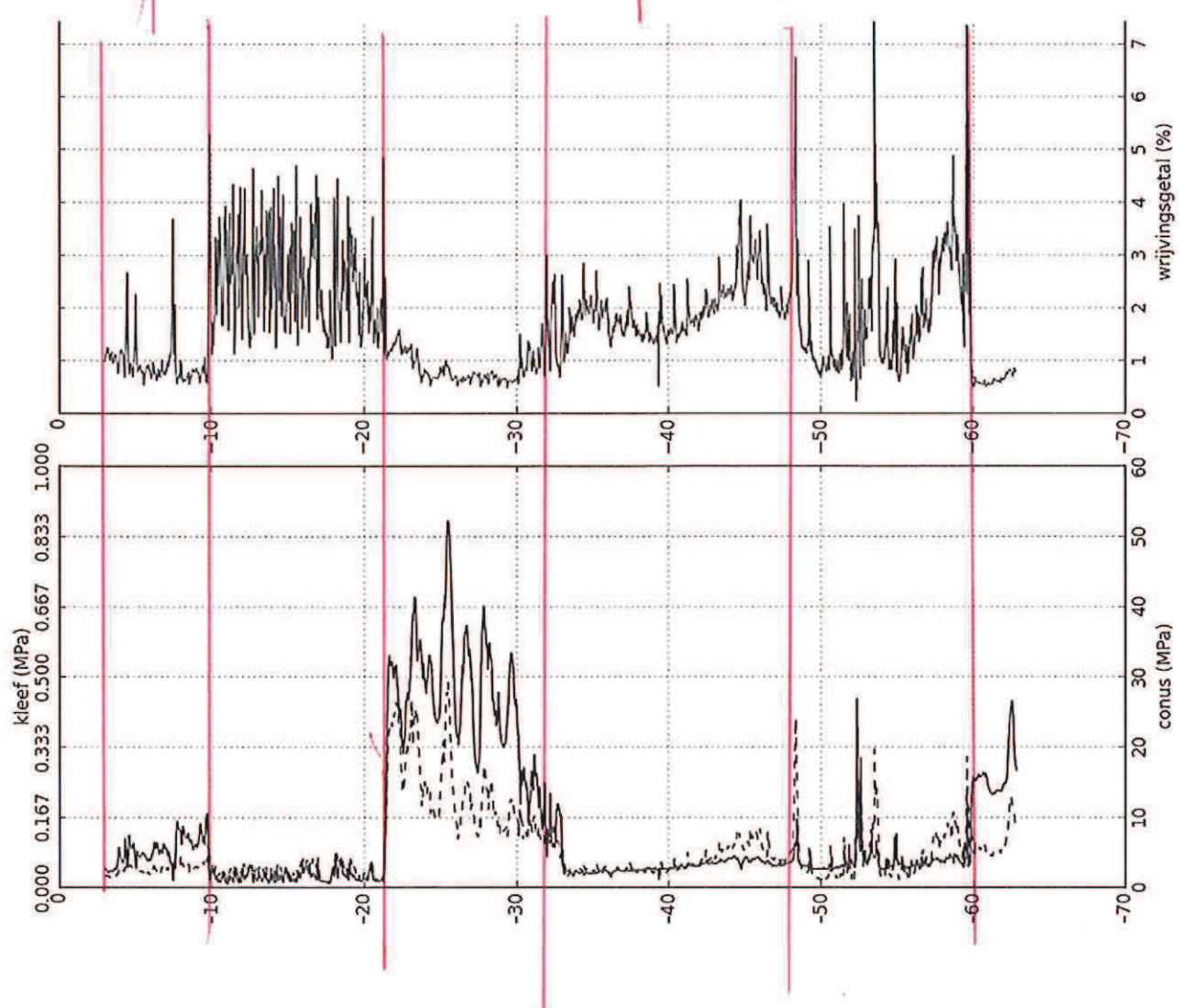
D62500



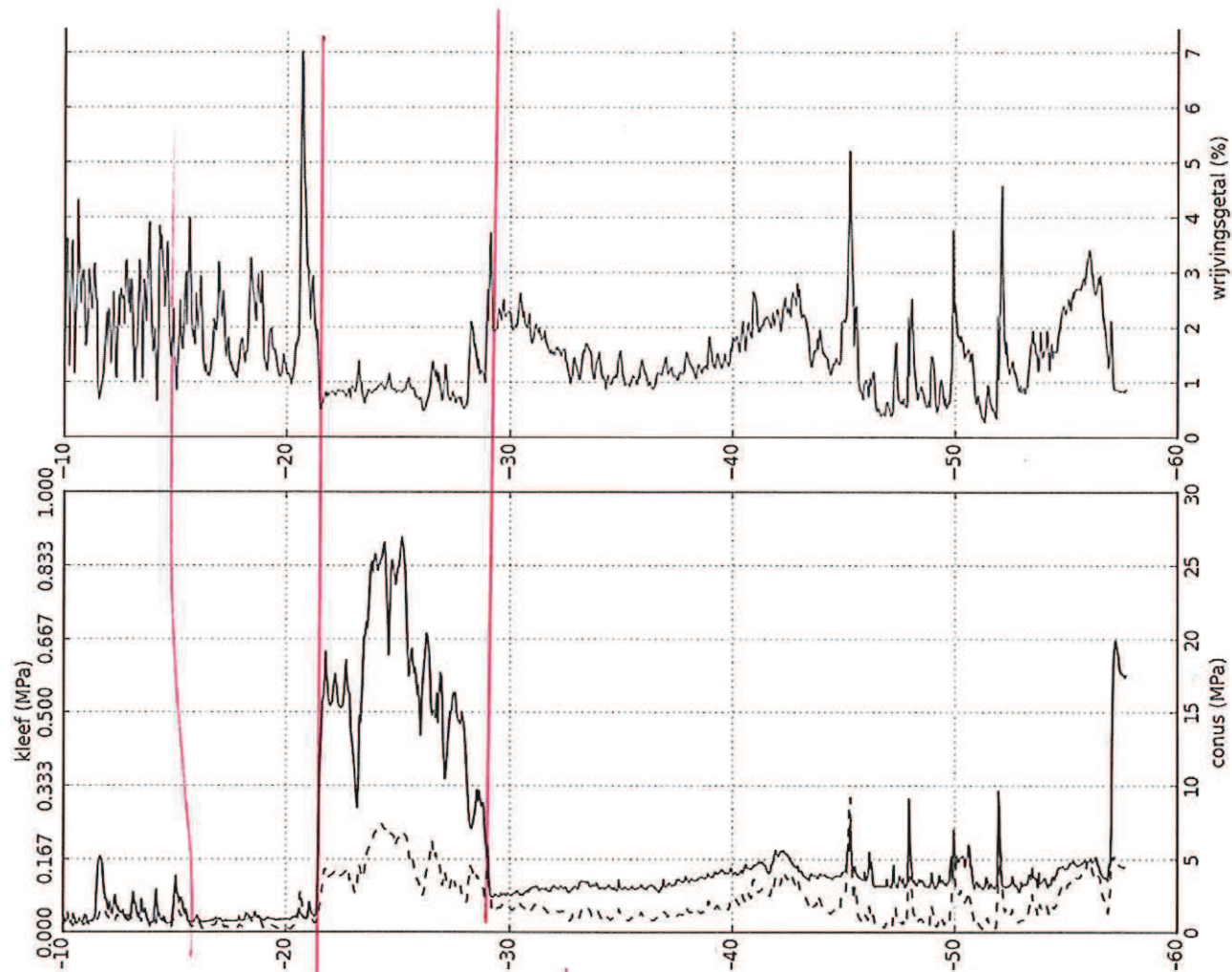
D62497



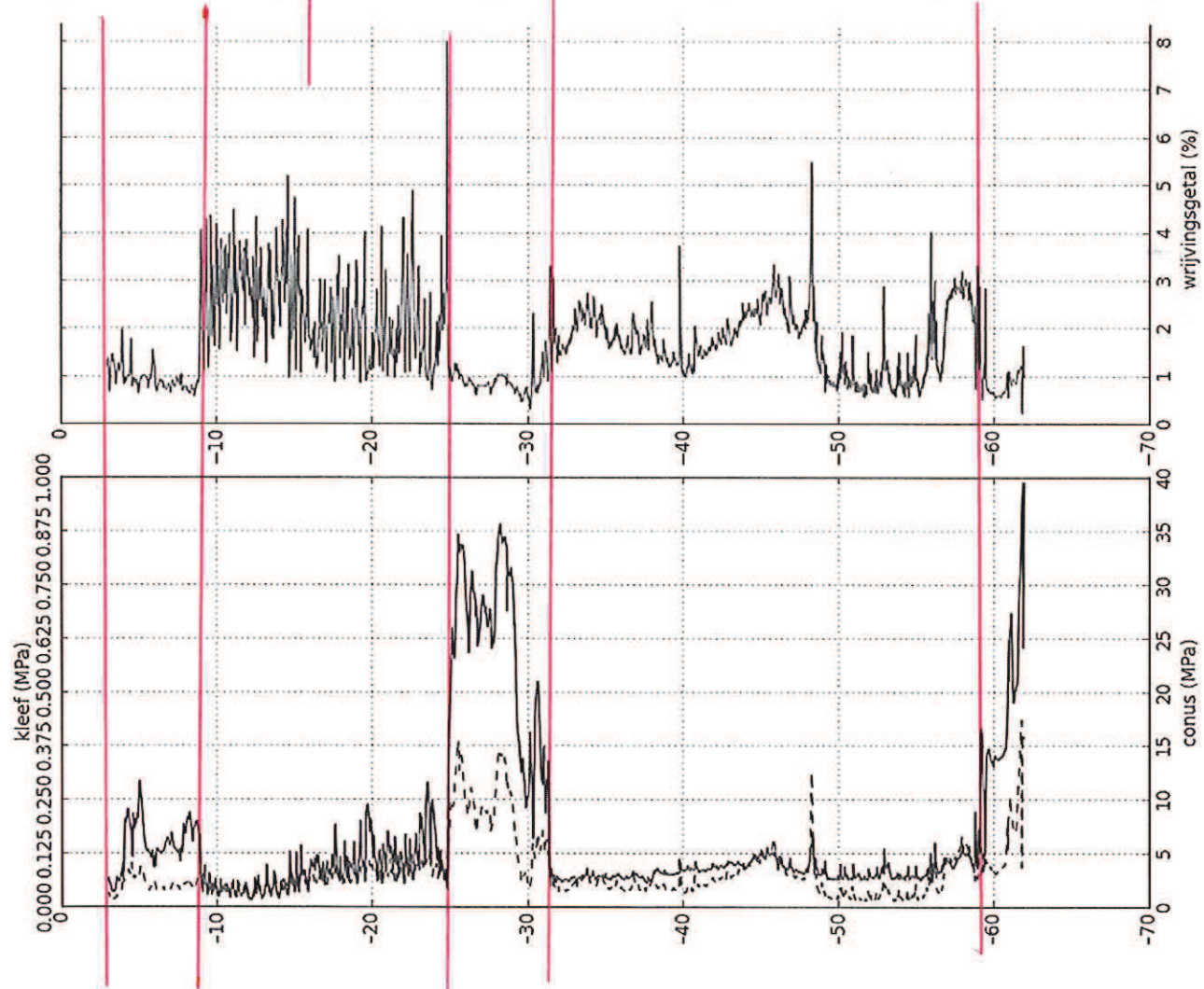
D62498



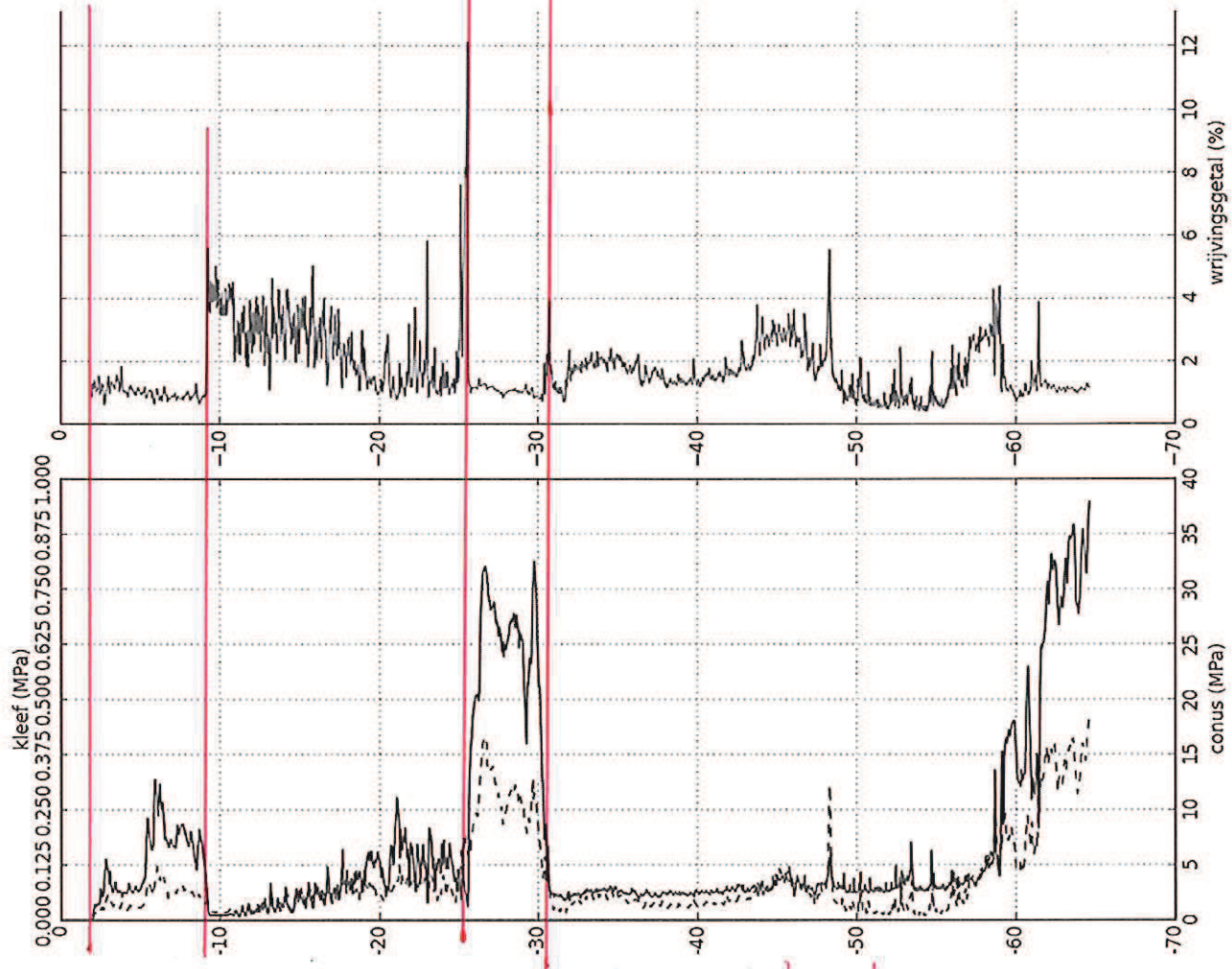
D62495



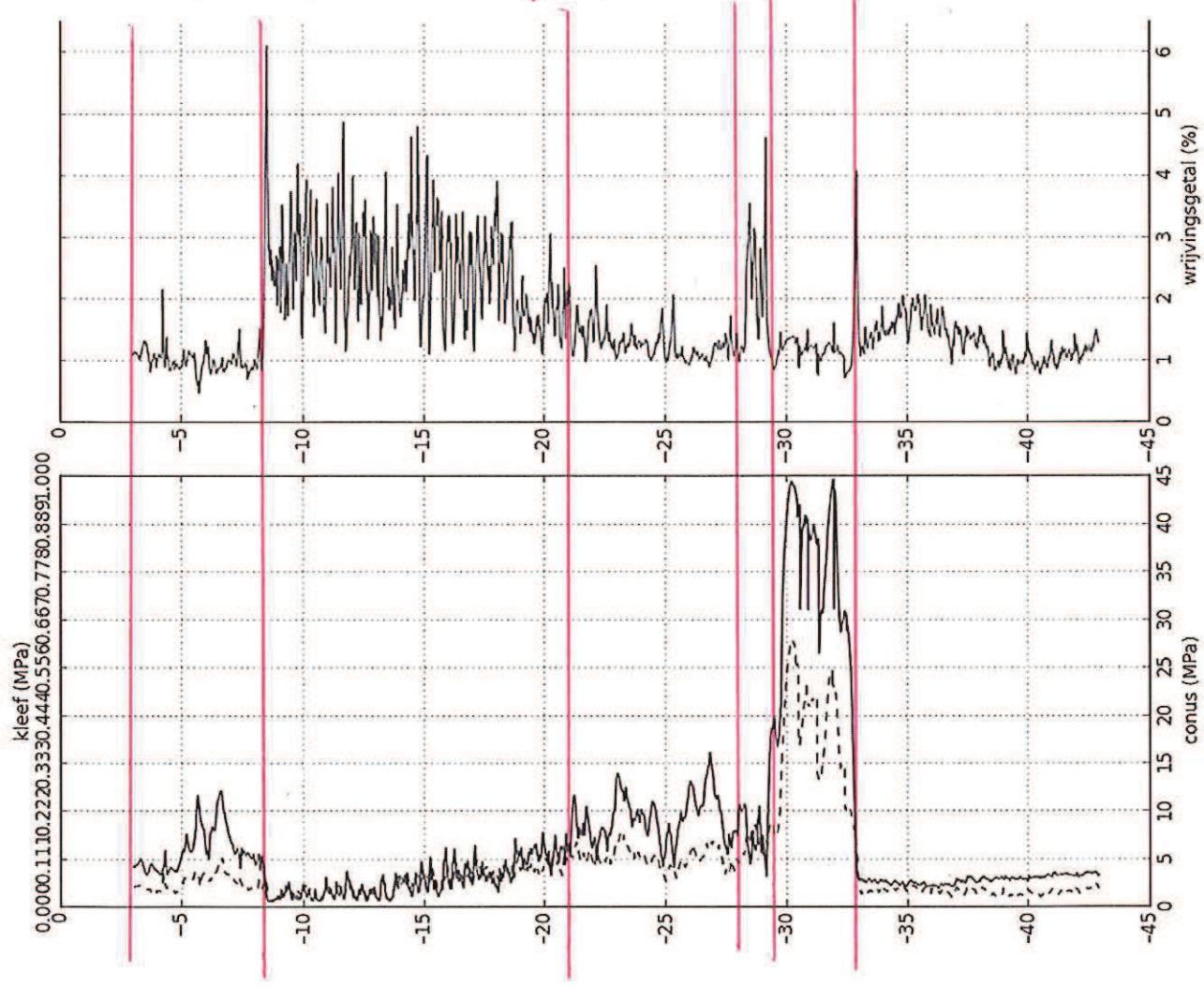
D62496



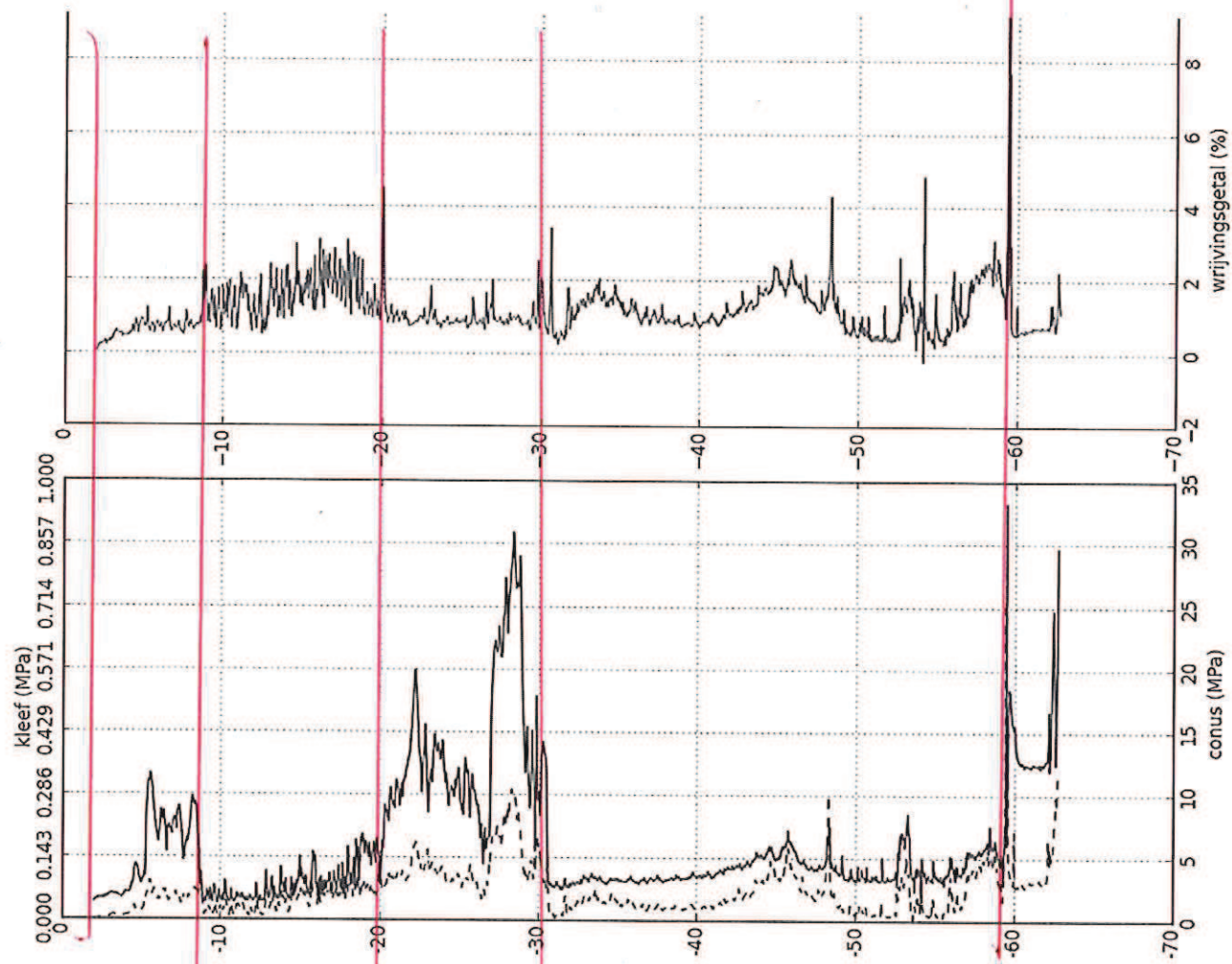
D62490



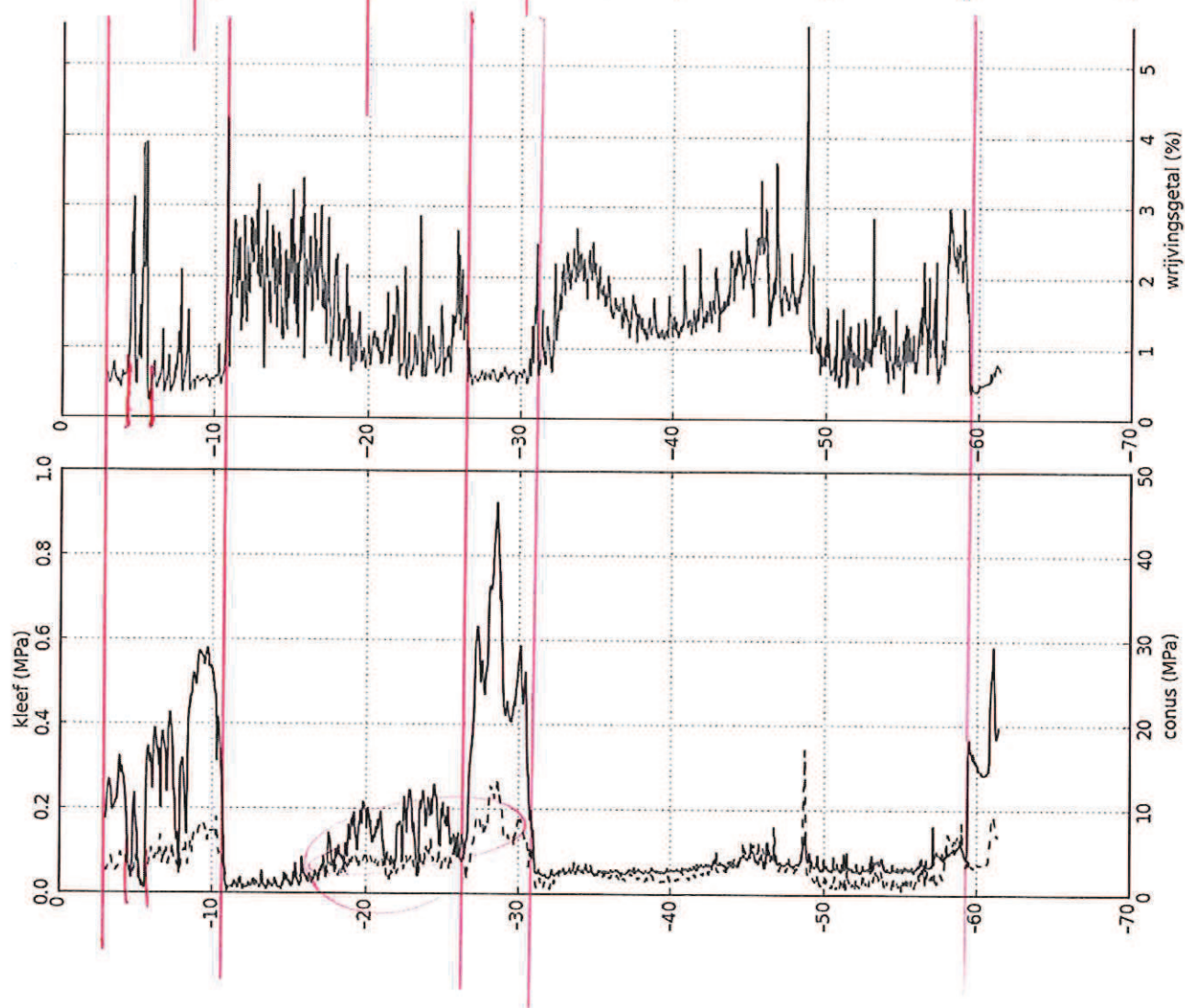
D62493



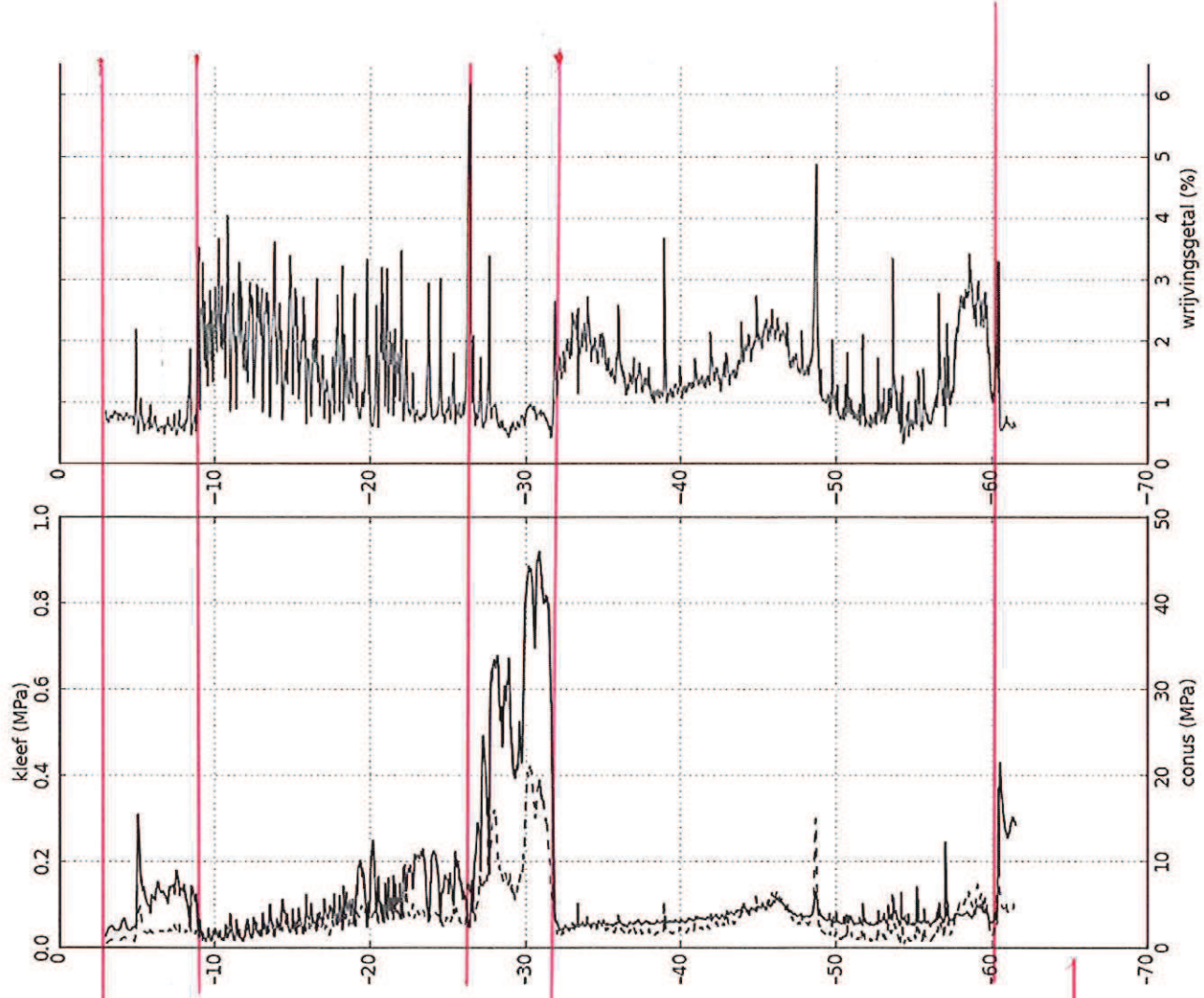
D62488



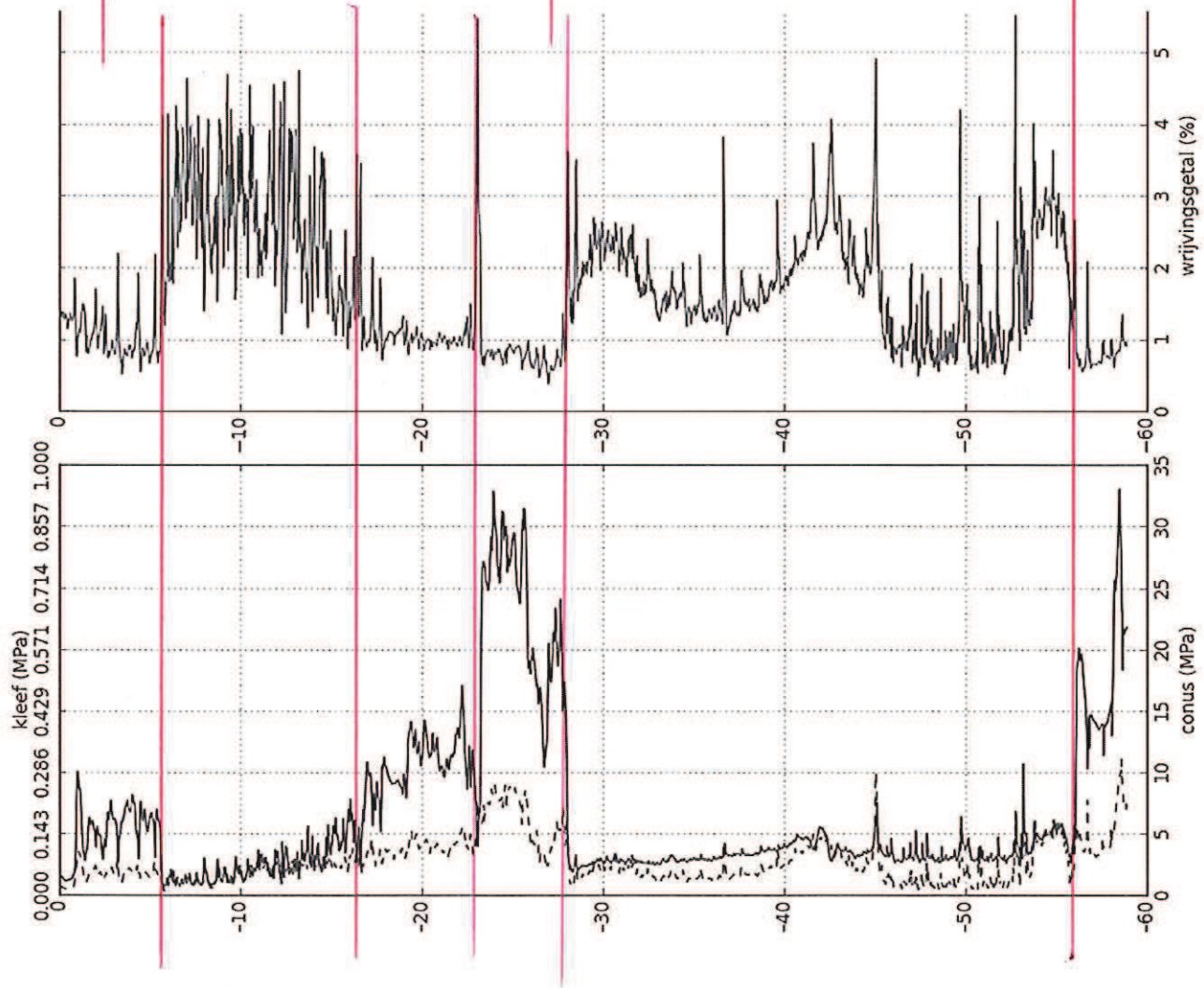
D62489



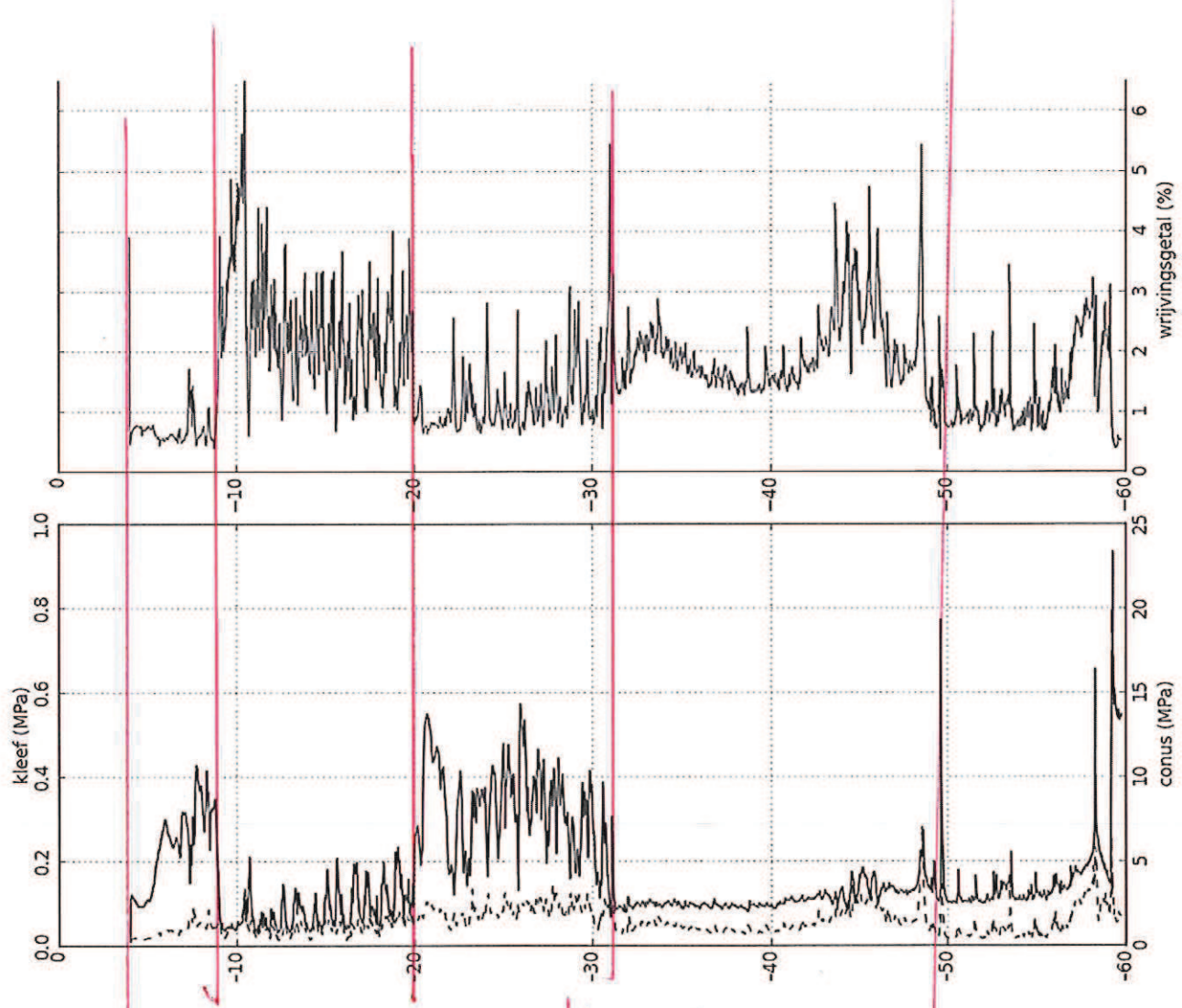
D62486



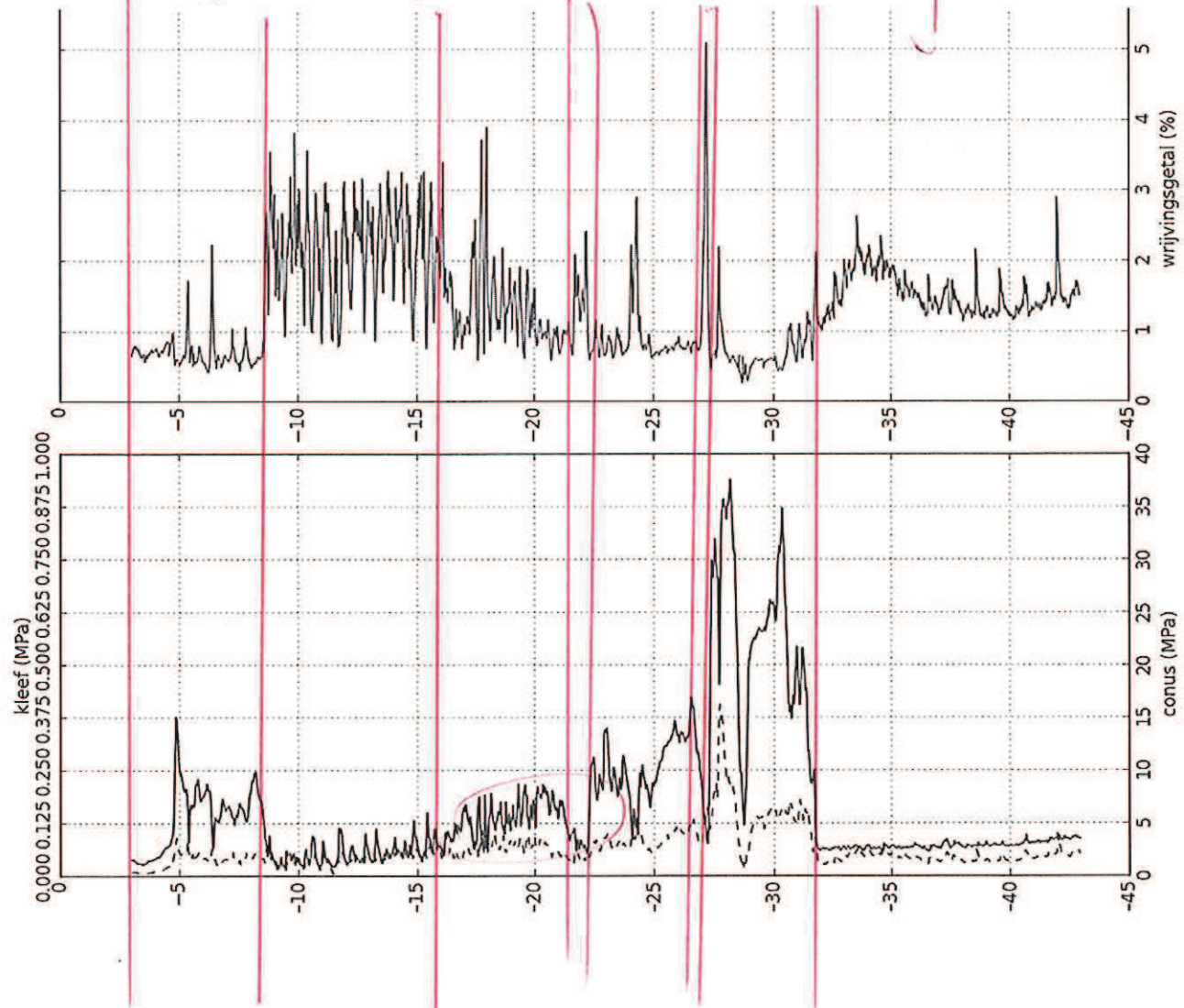
D62487



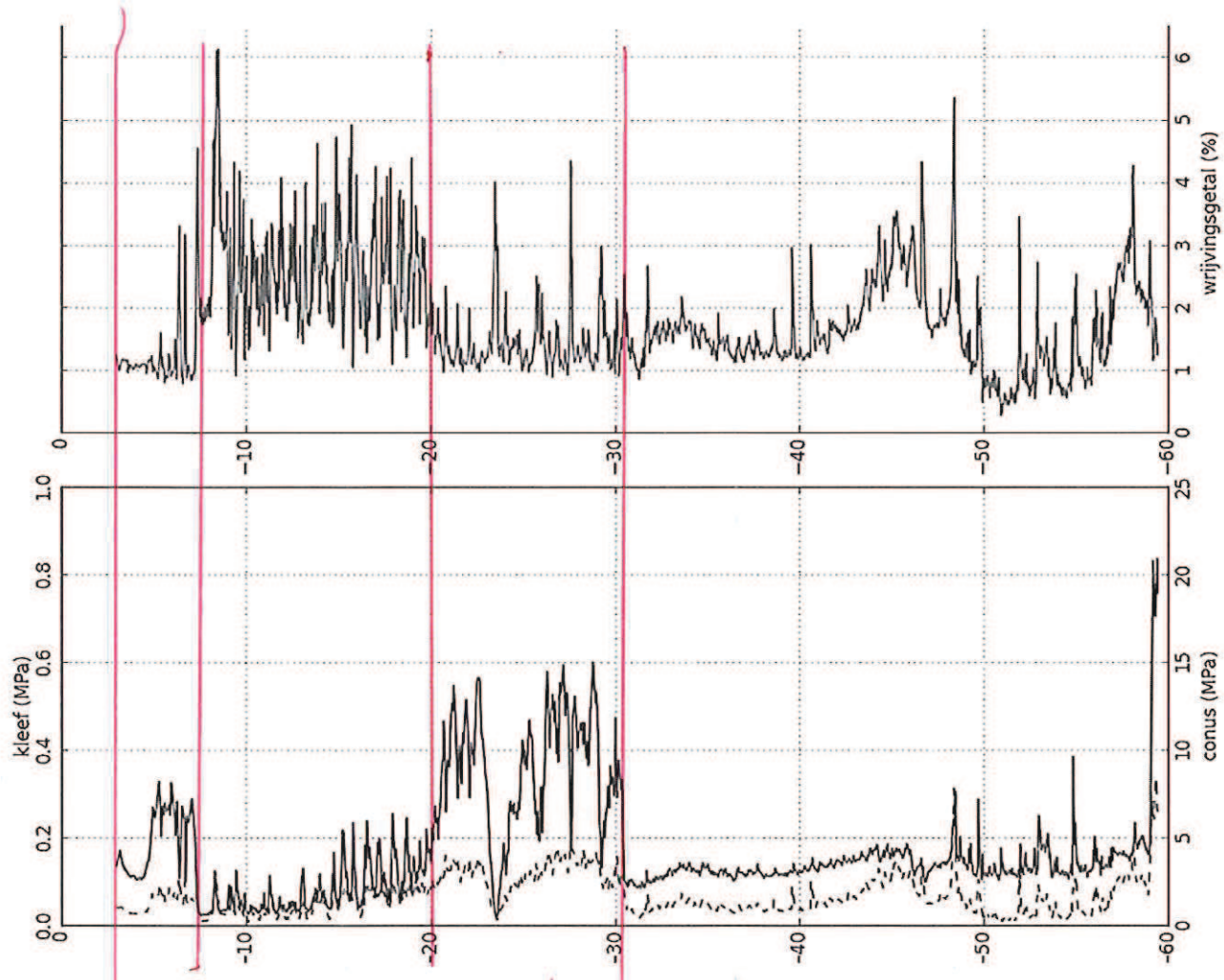
D62480



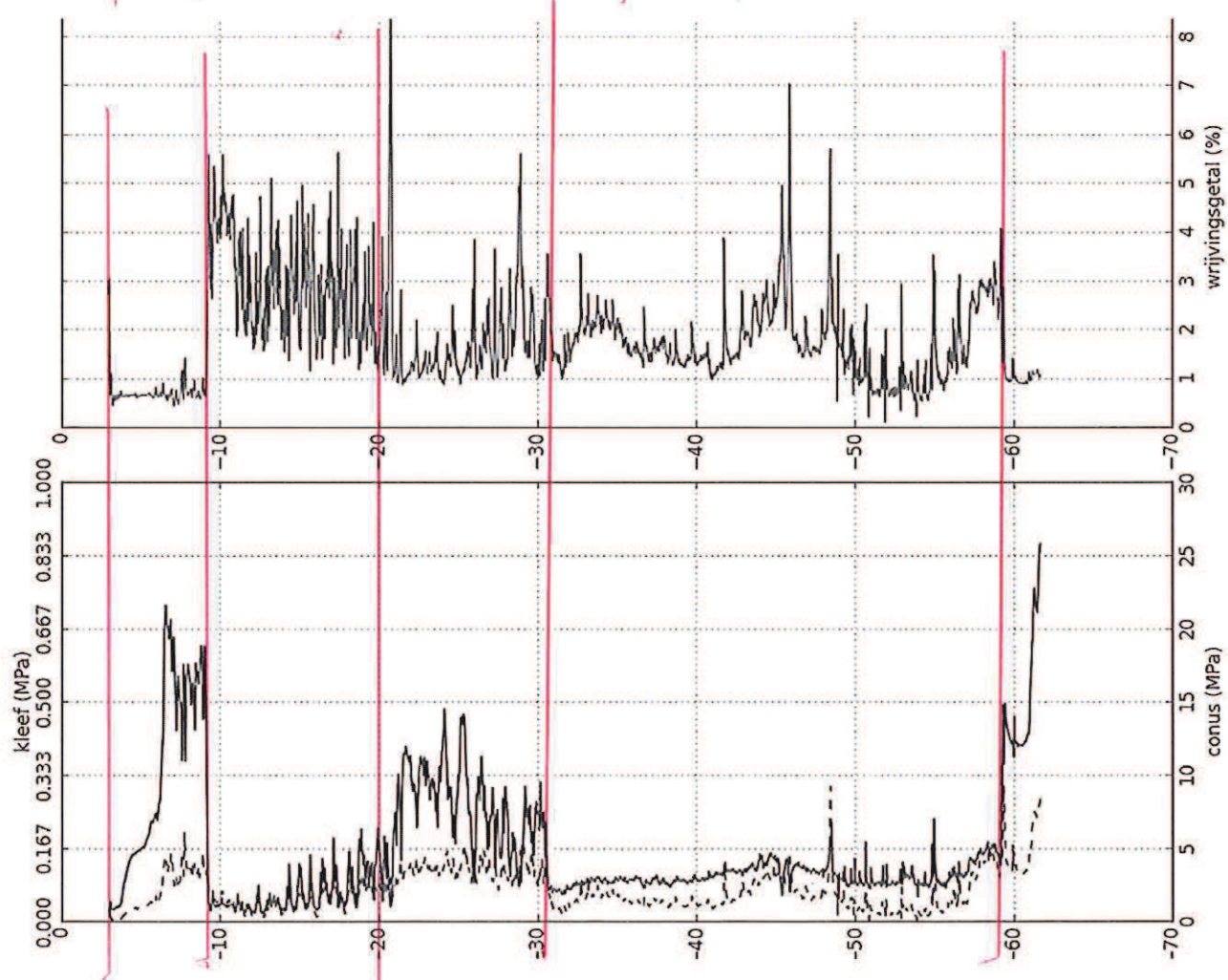
D62485



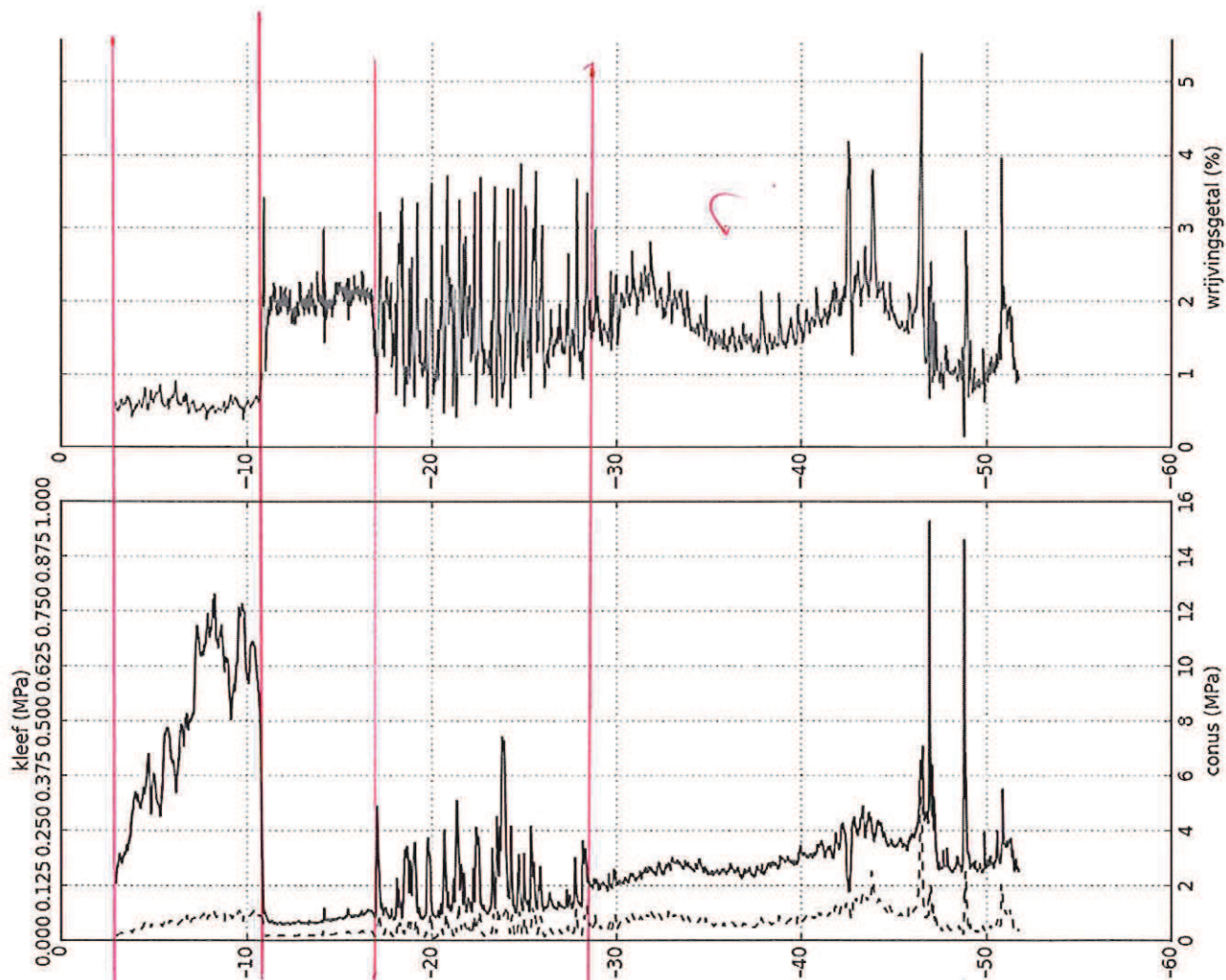
D62478



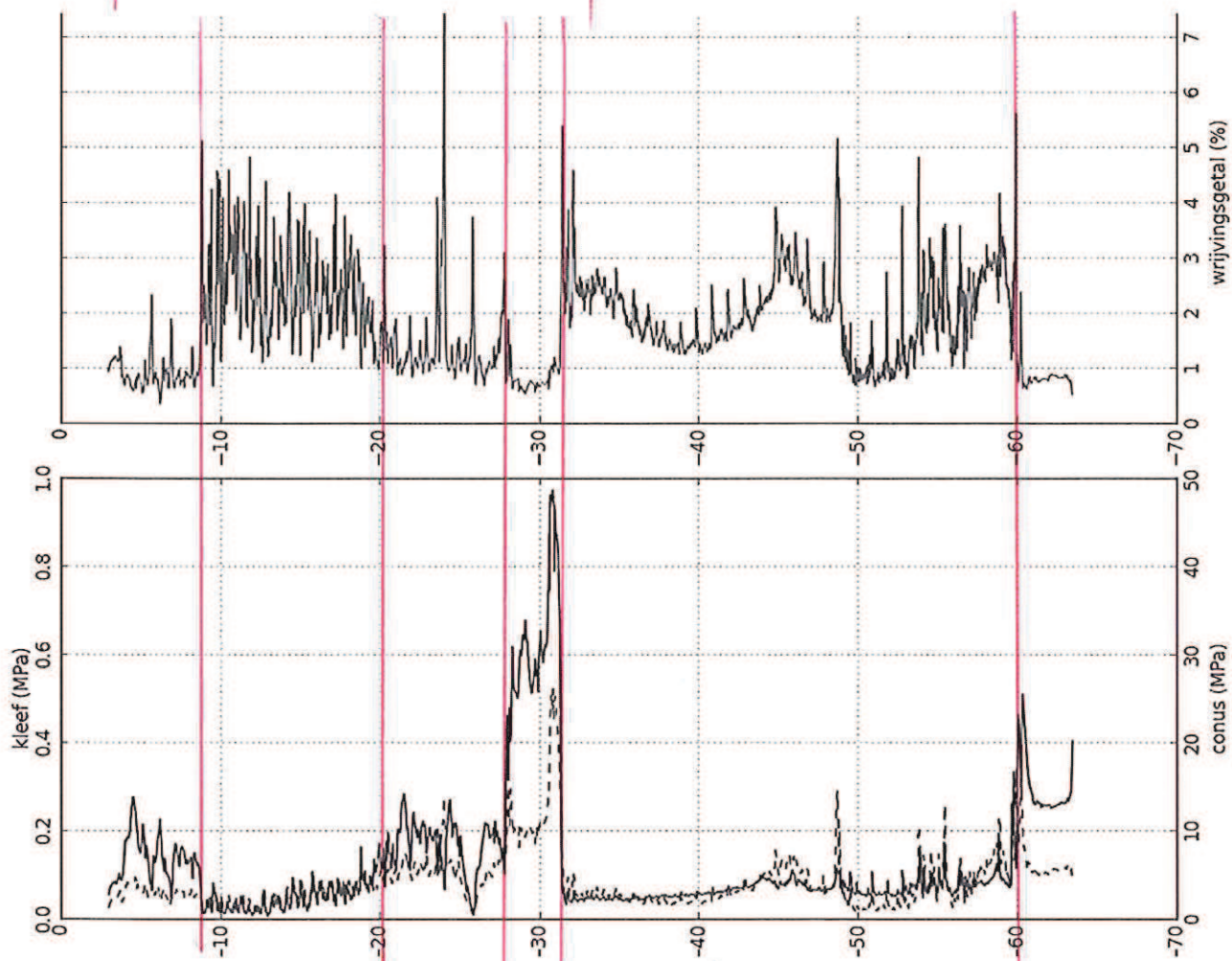
D62479



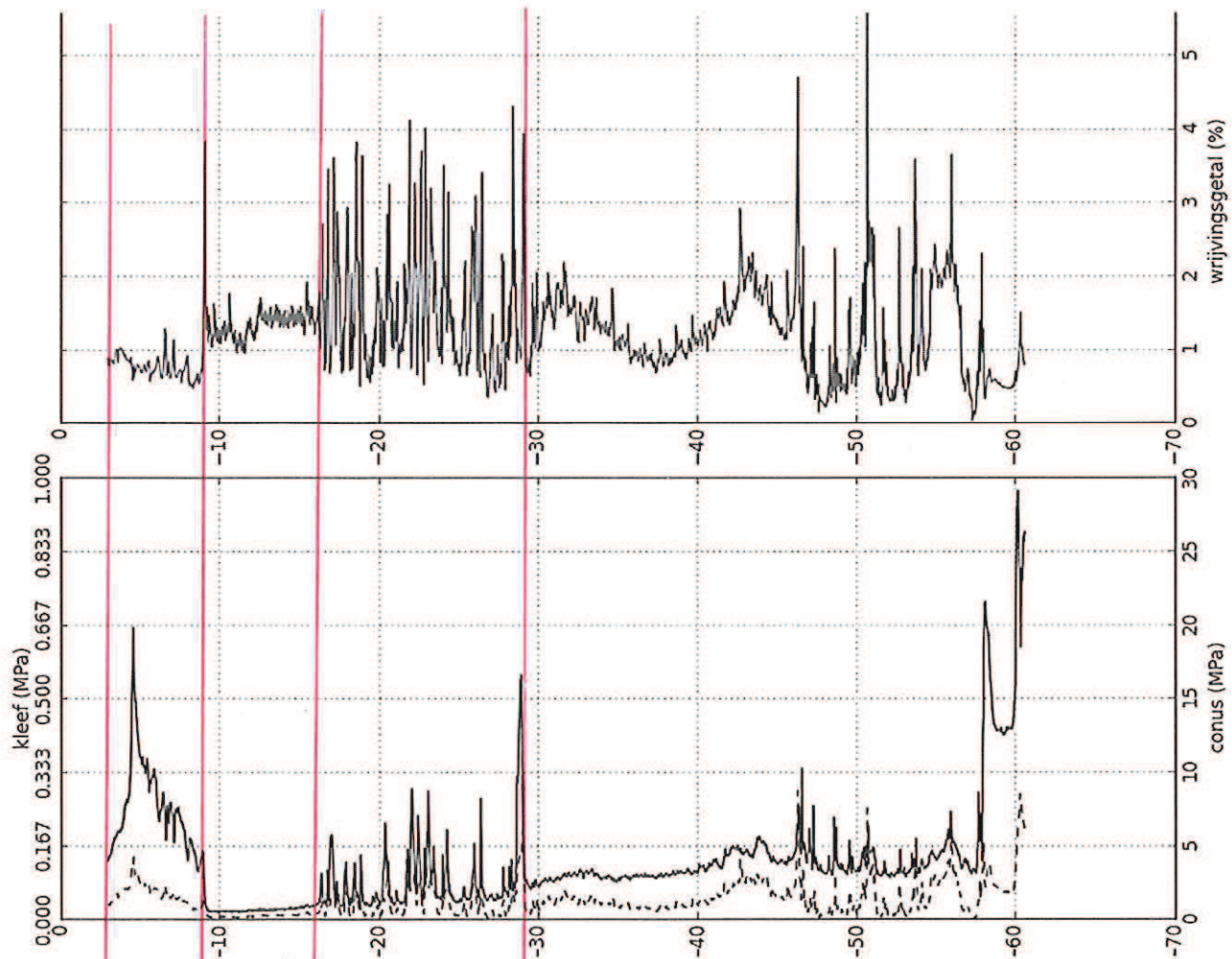
D62476



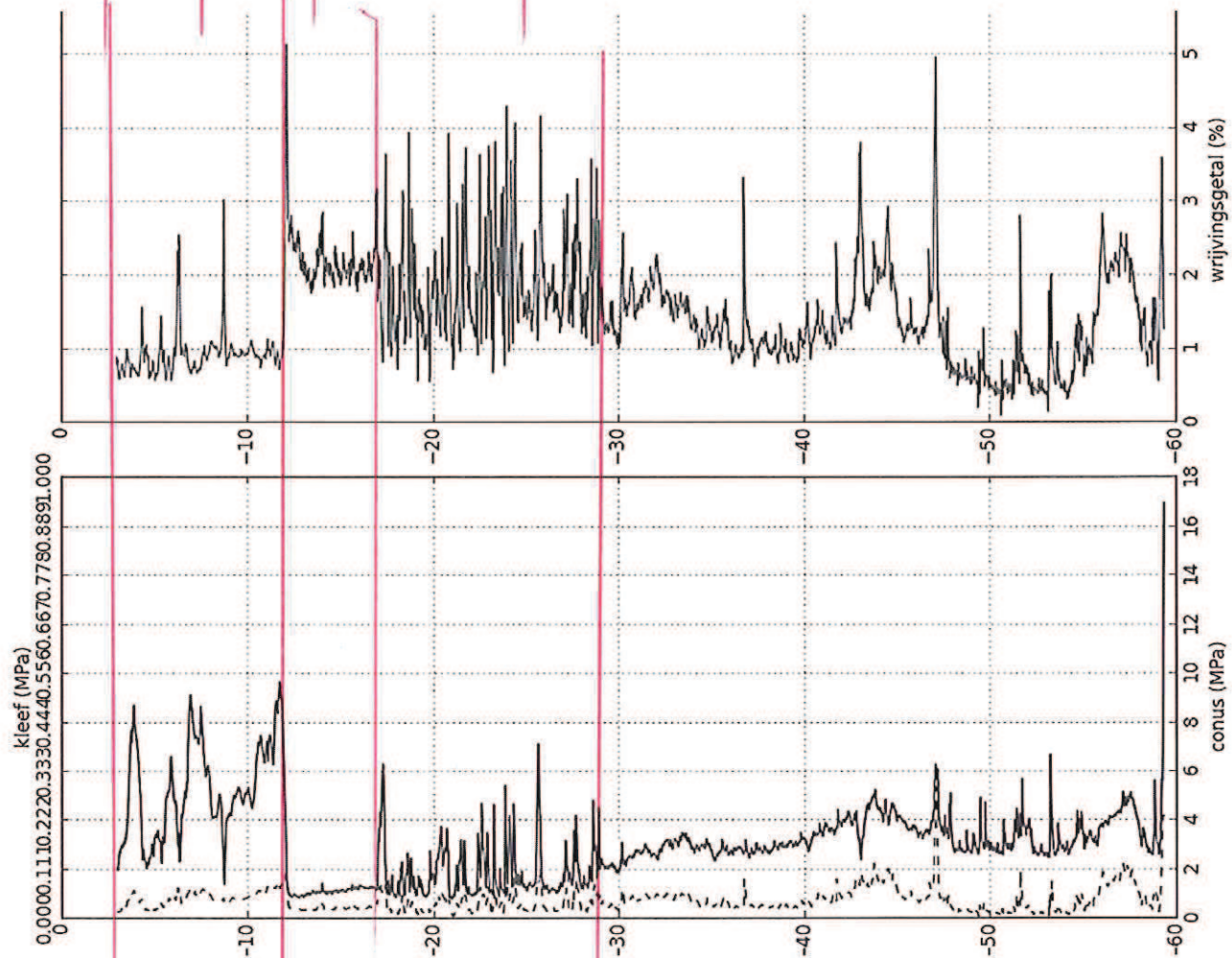
D62477



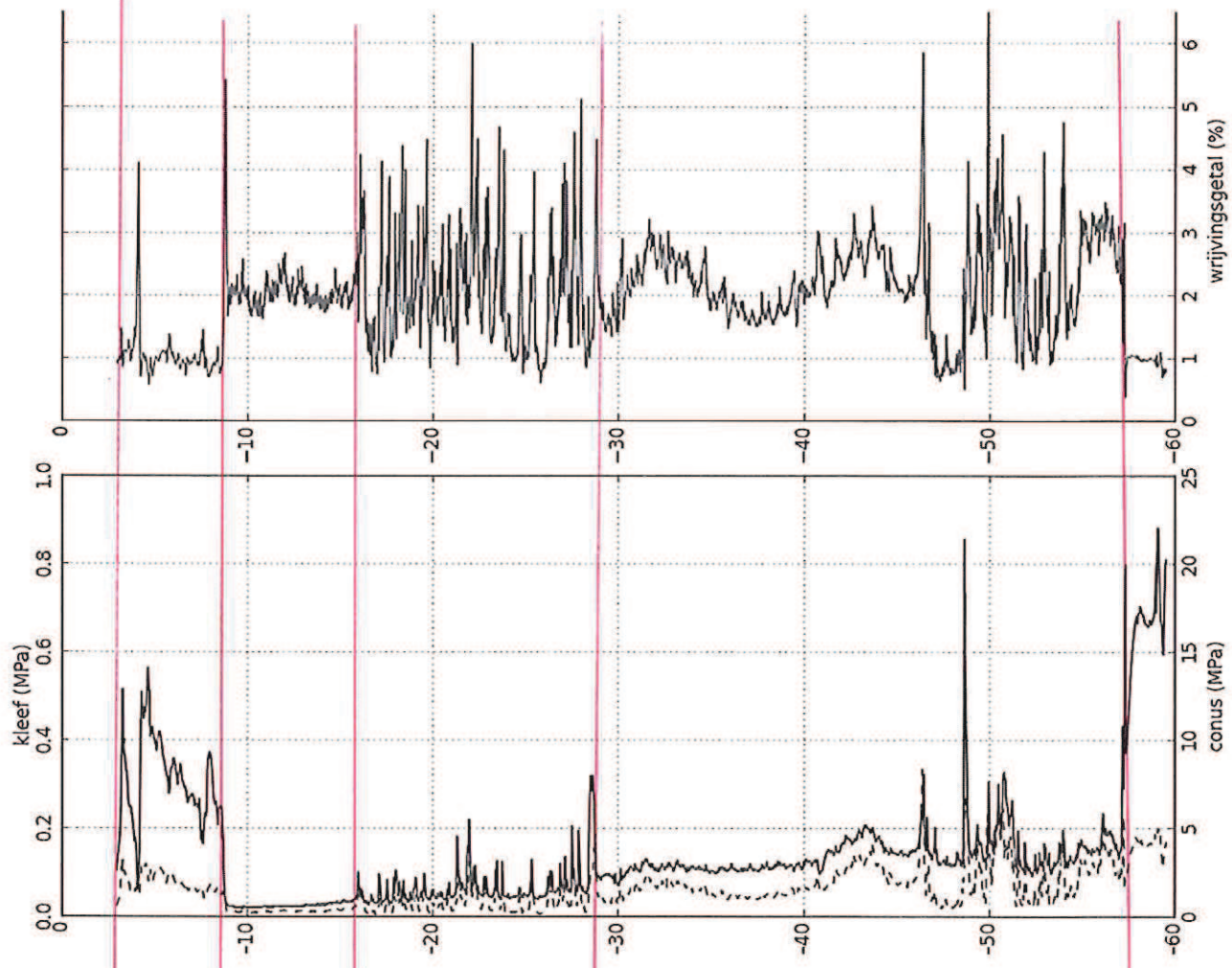
D62473



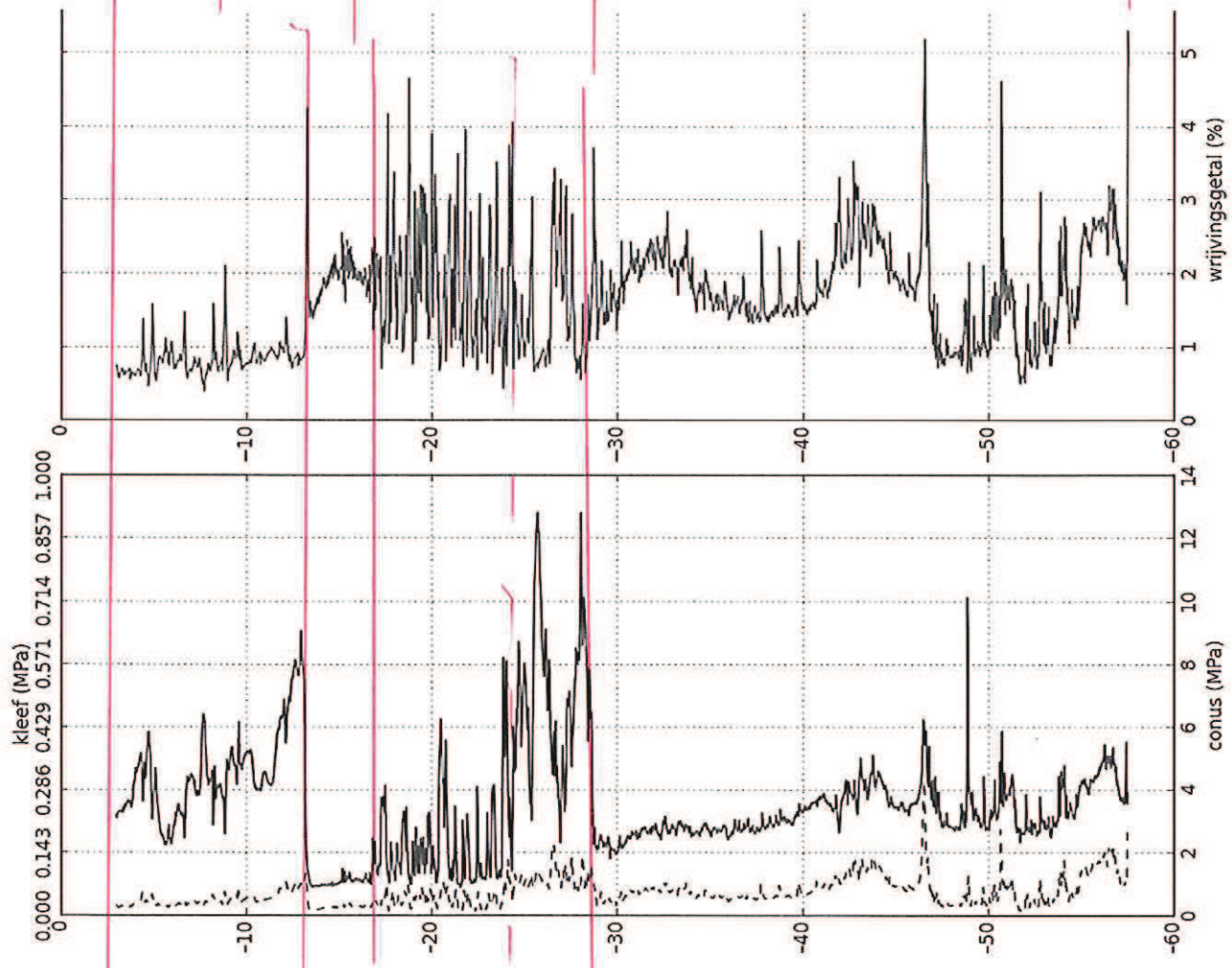
D62475



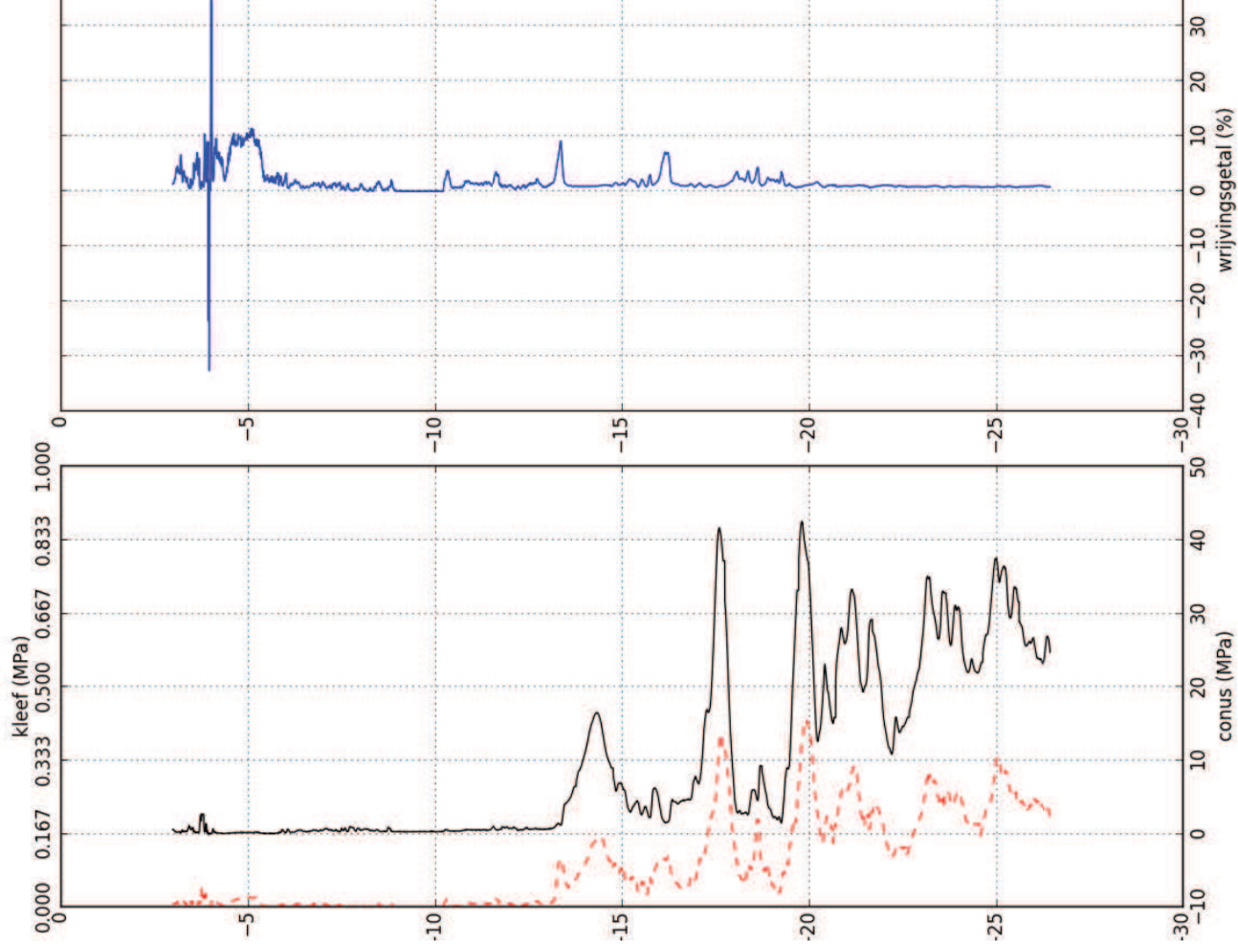
D62462



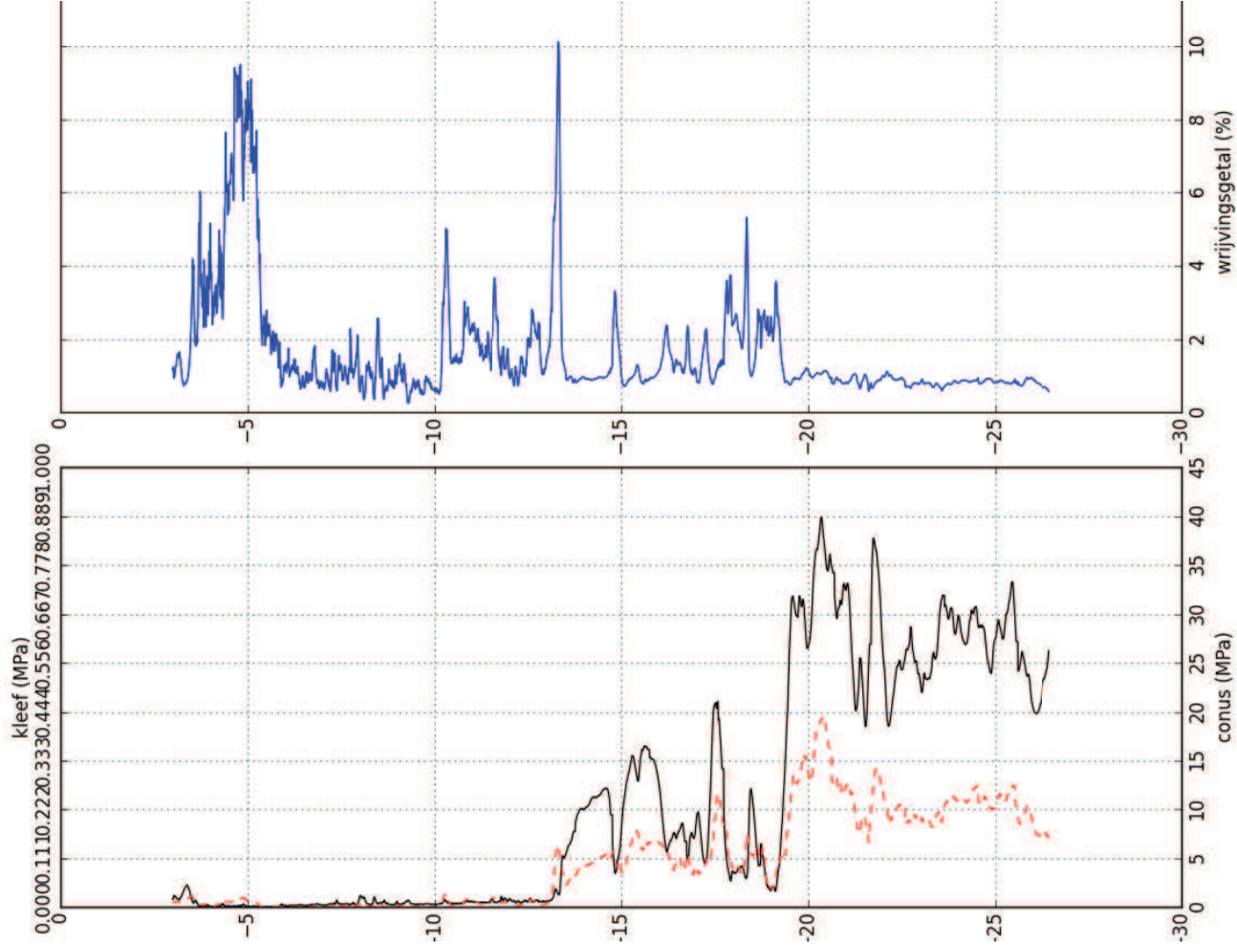
D62472



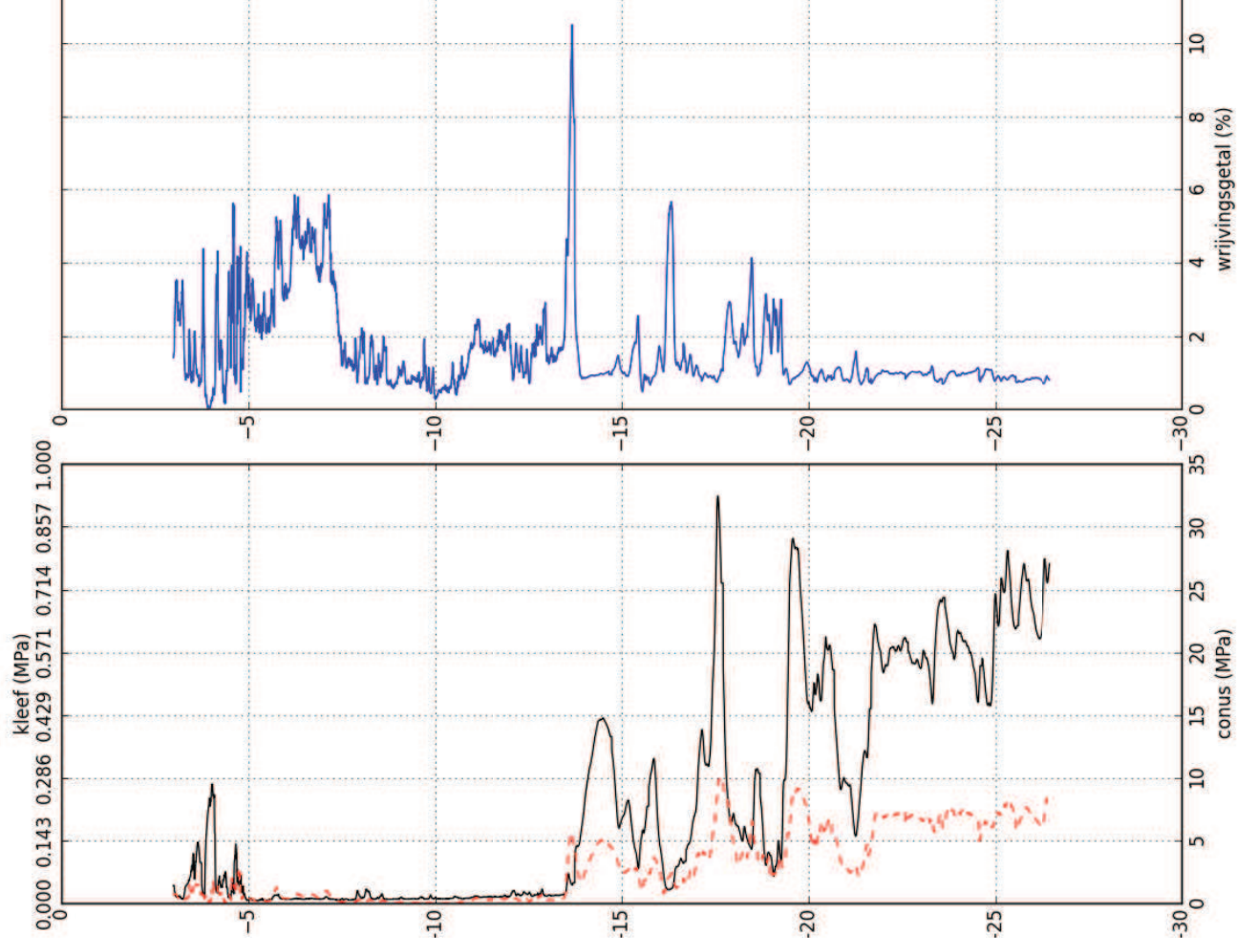
D62667



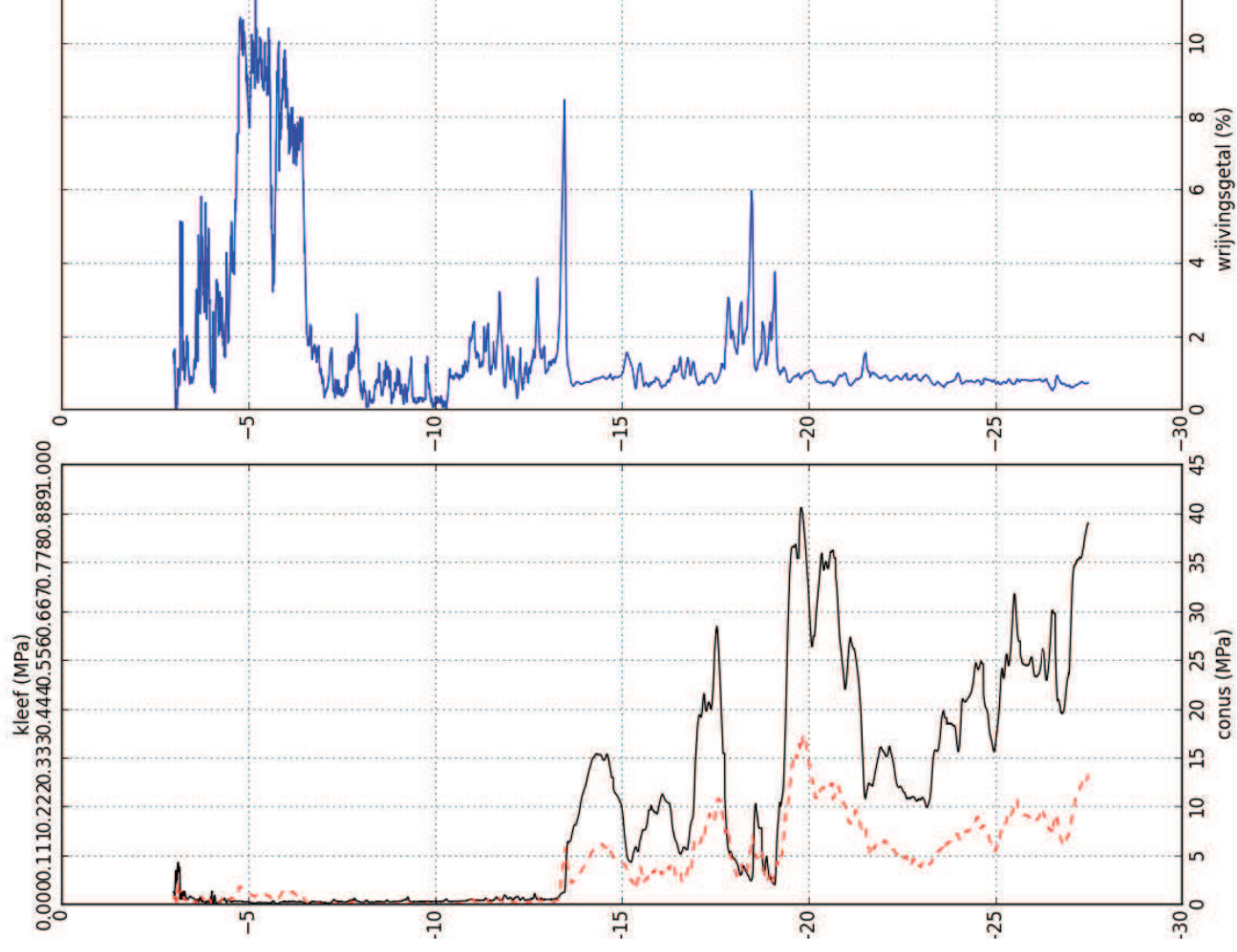
D62668



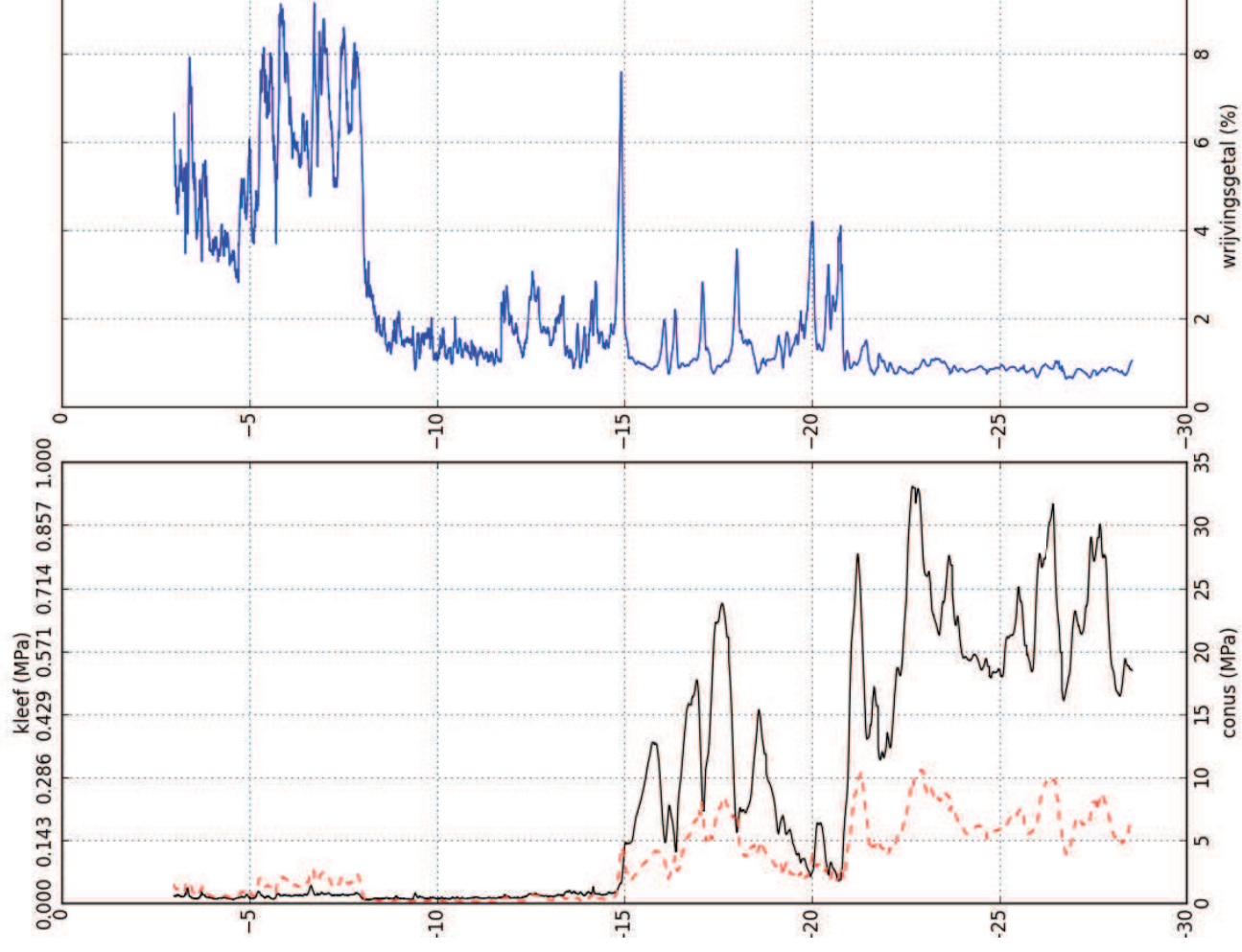
D62670



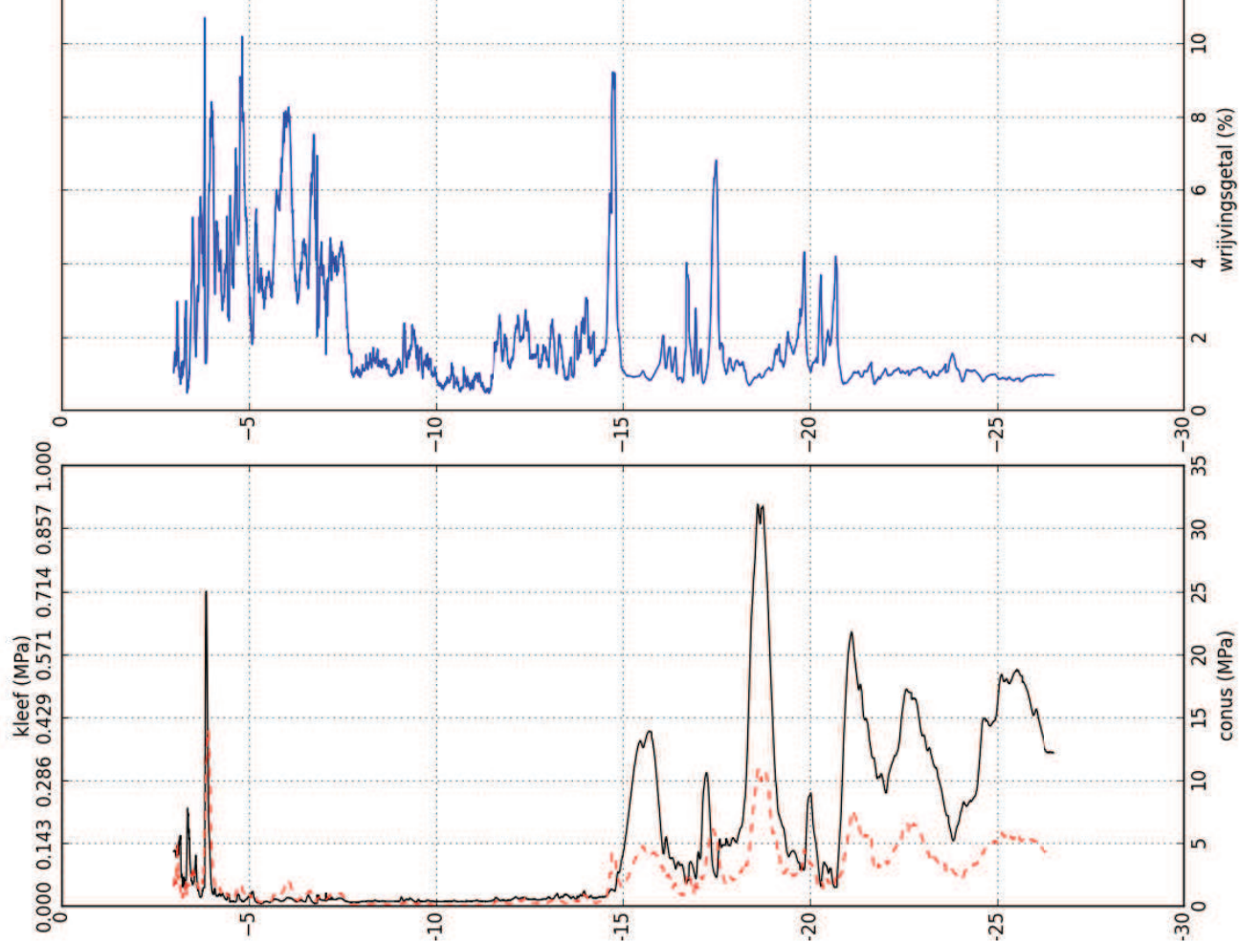
D62669



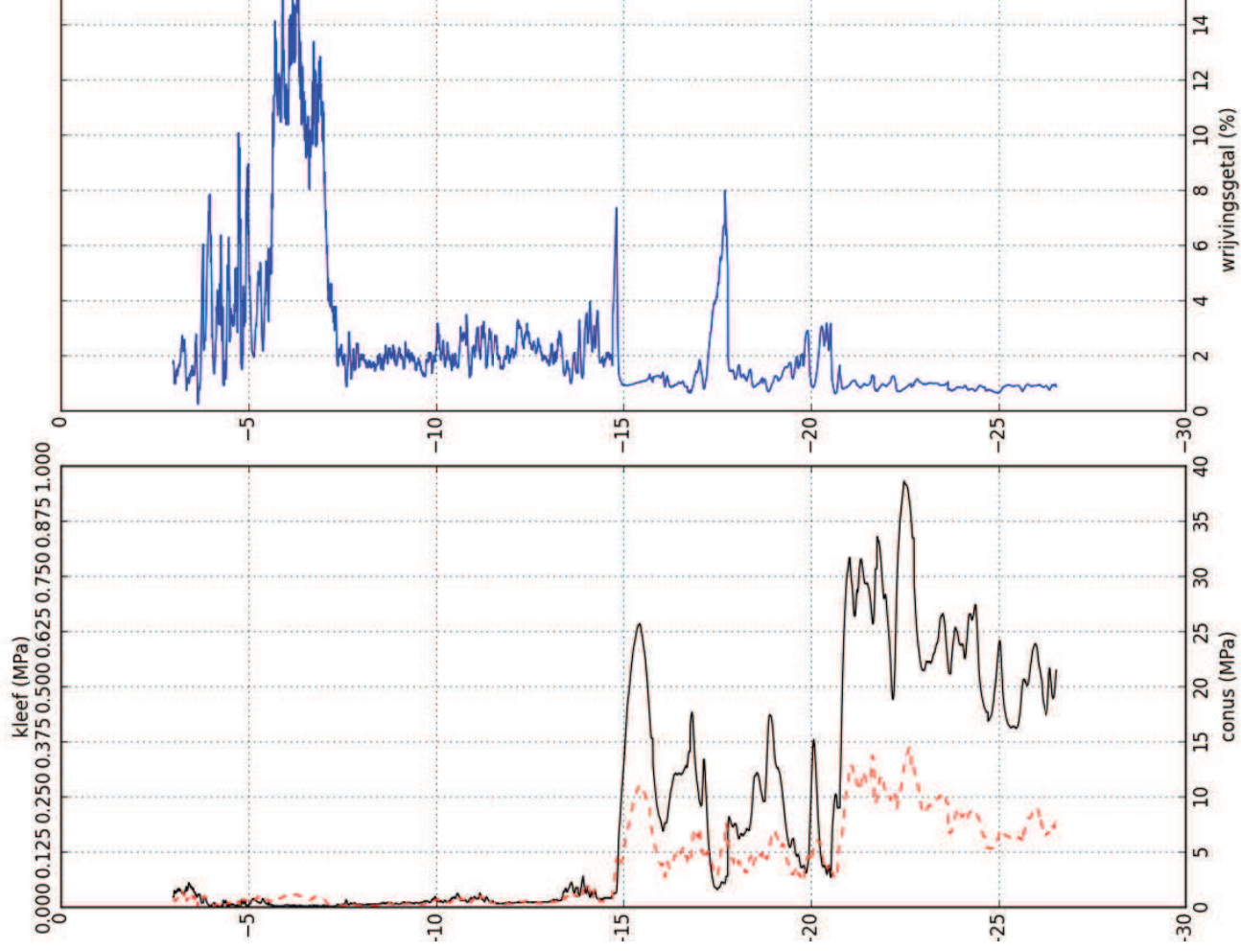
D62672



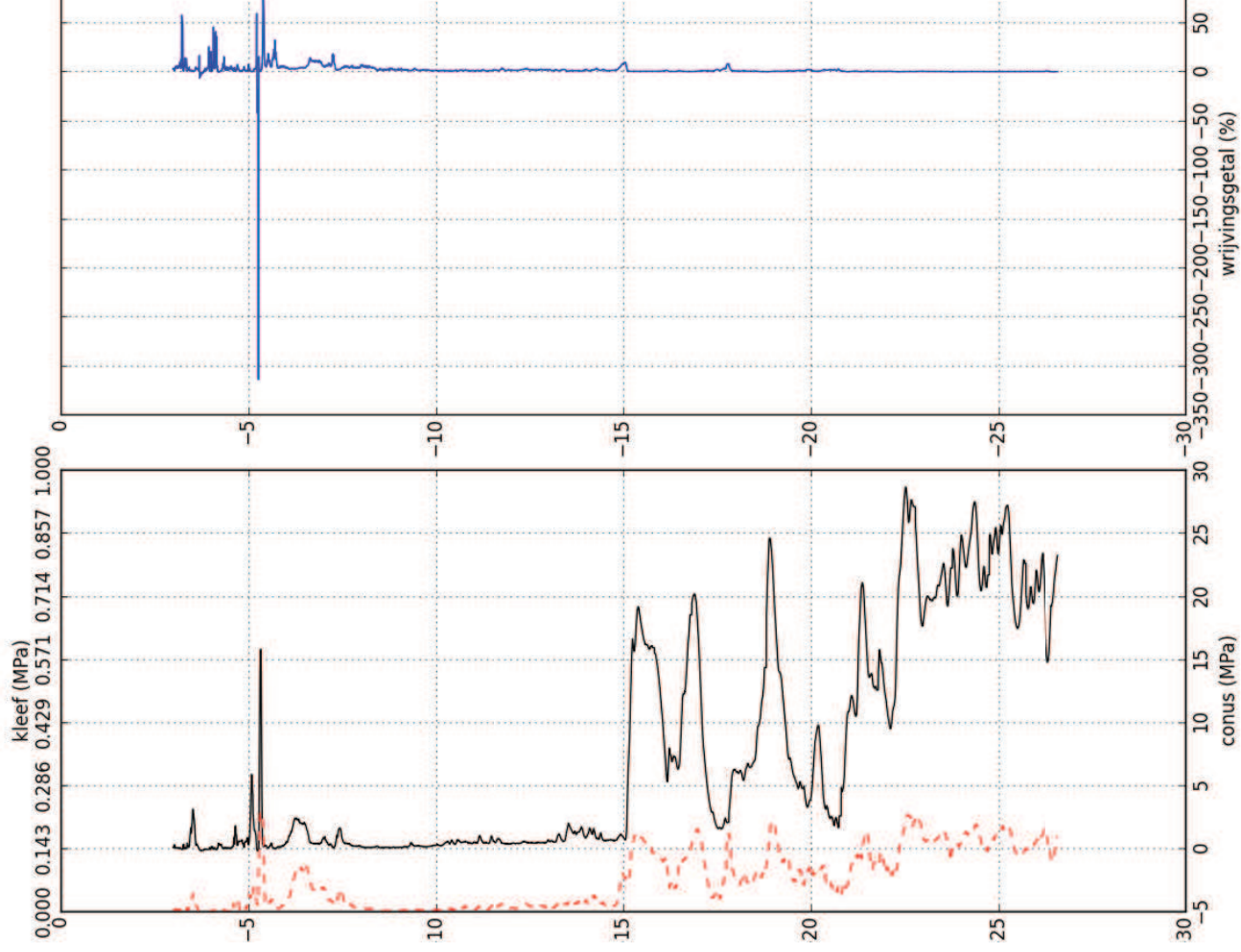
D62671



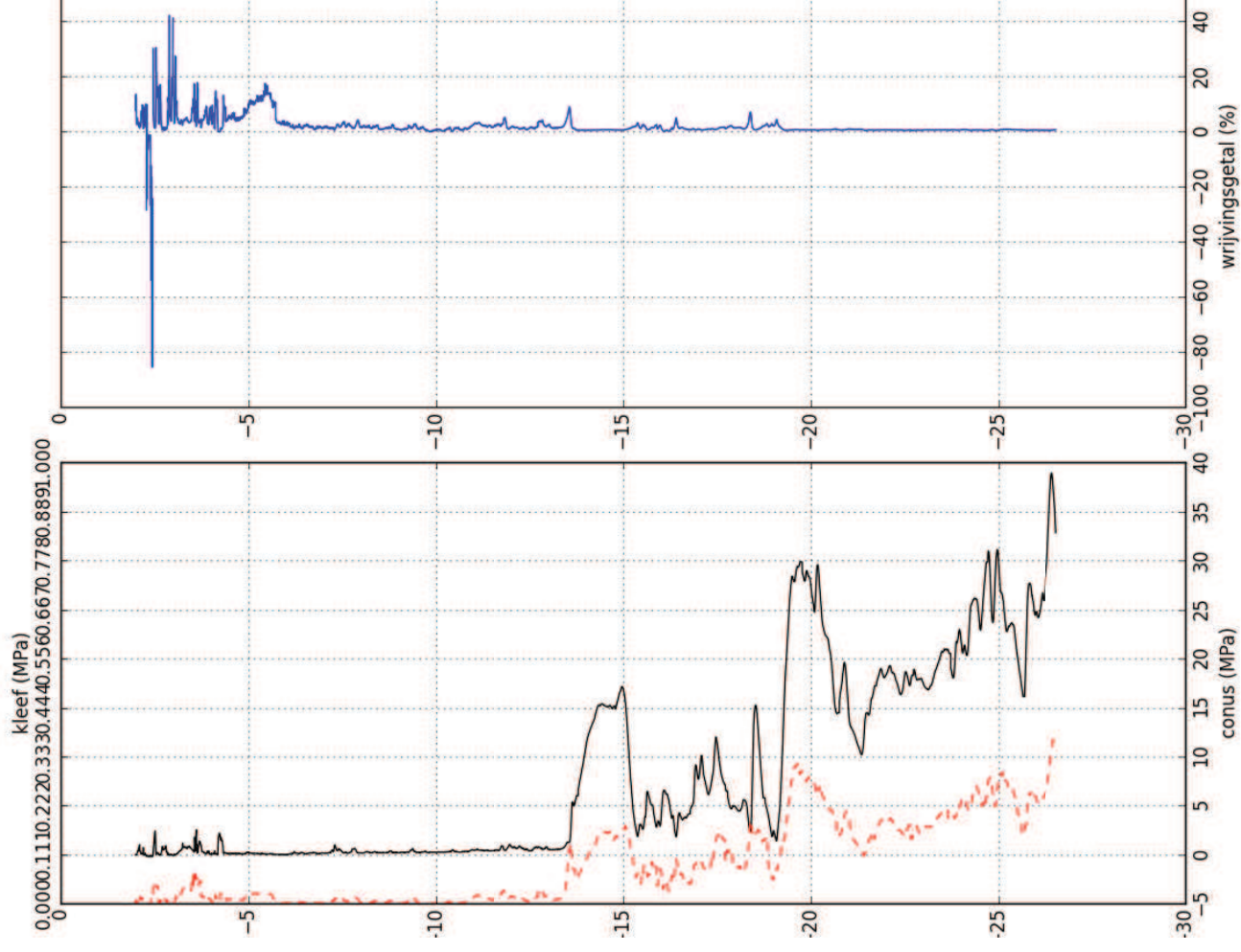
D62674



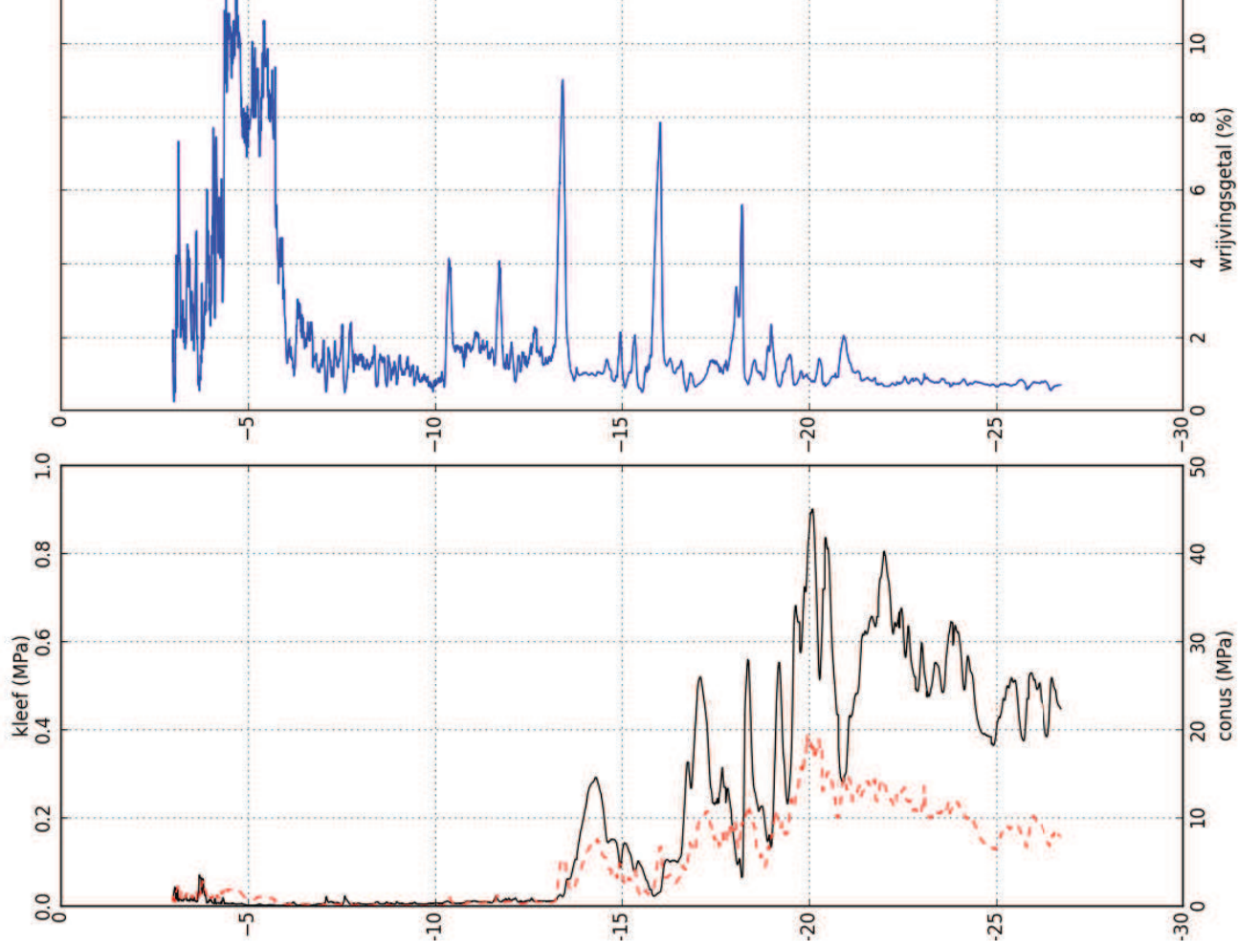
D62673



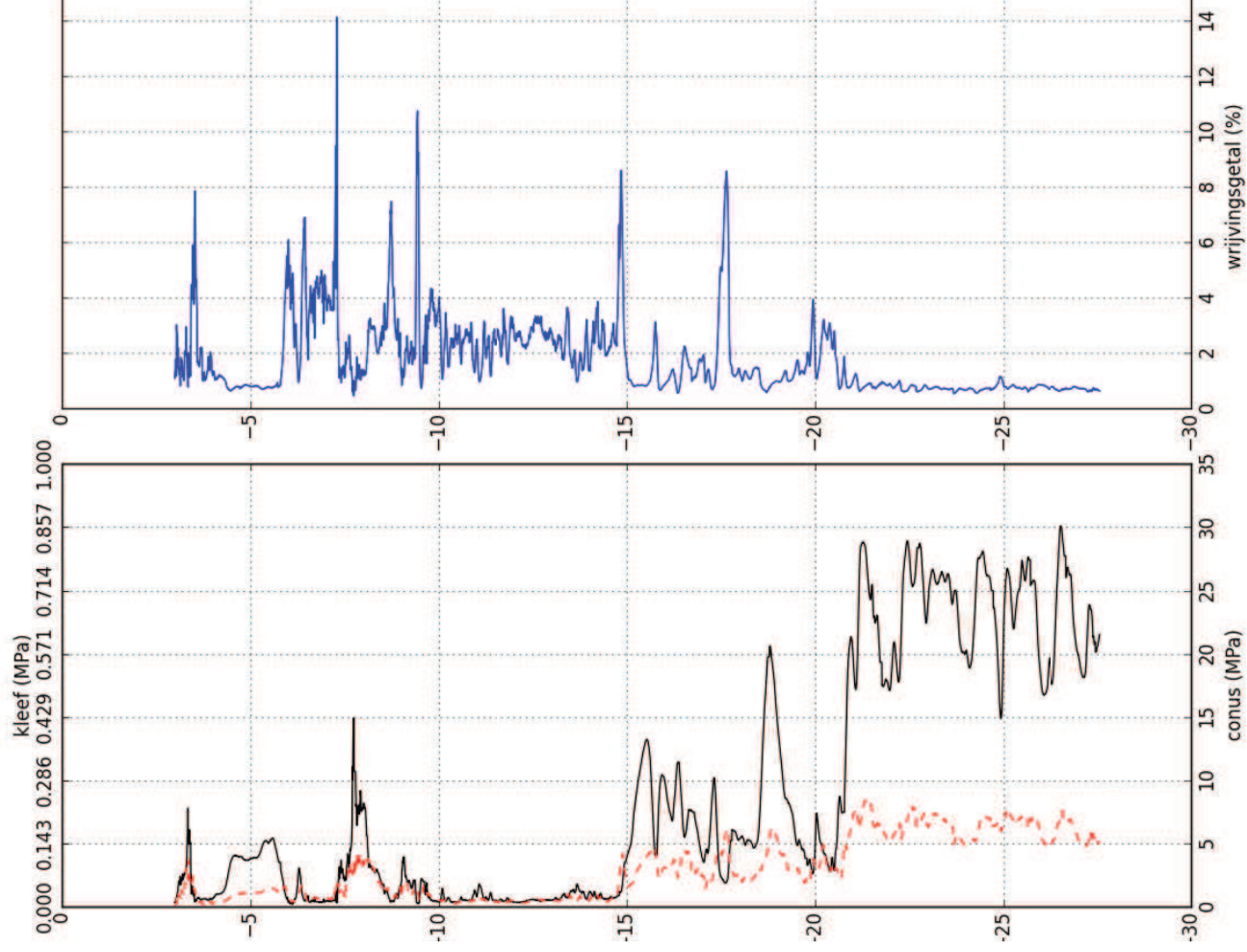
D62676



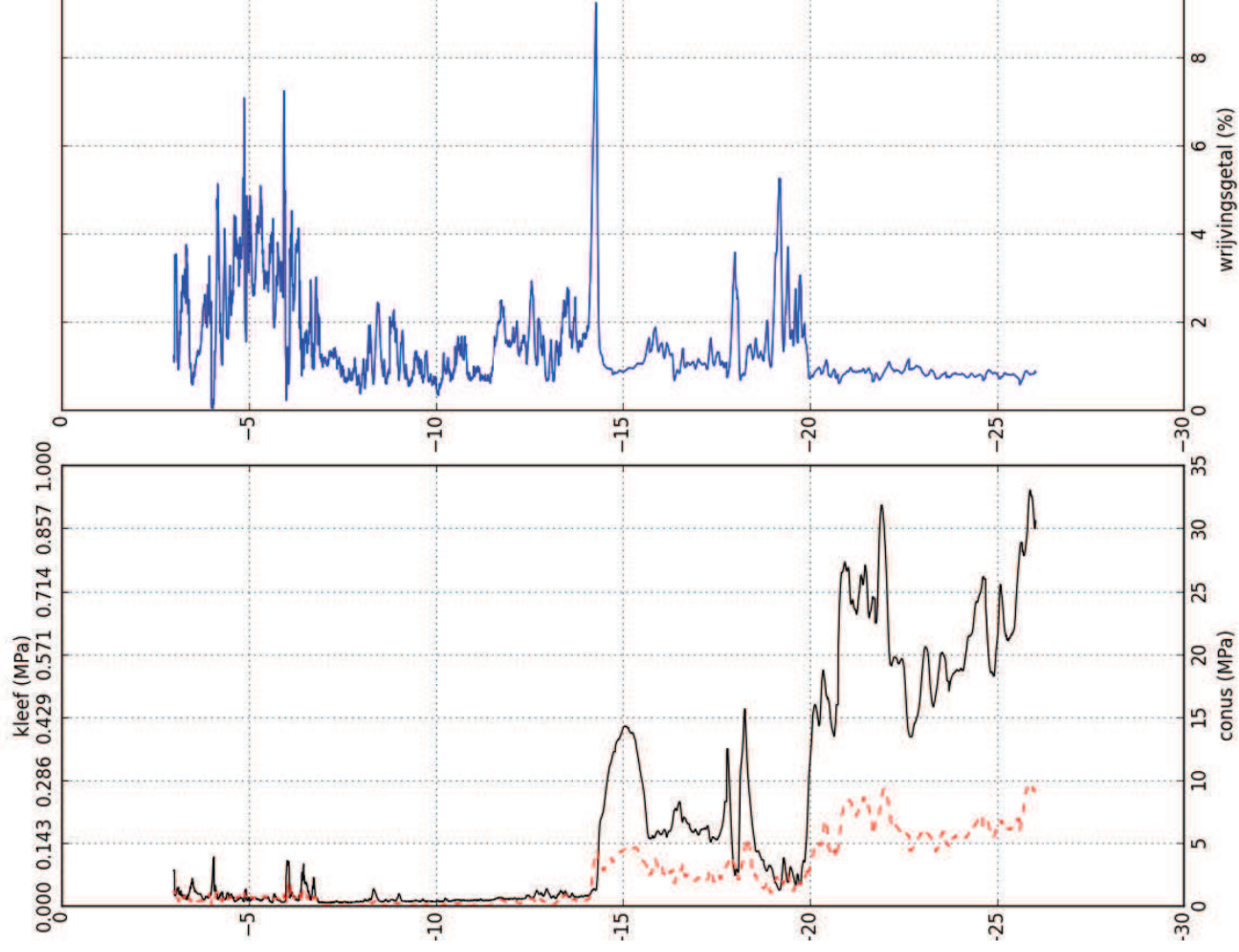
D62675



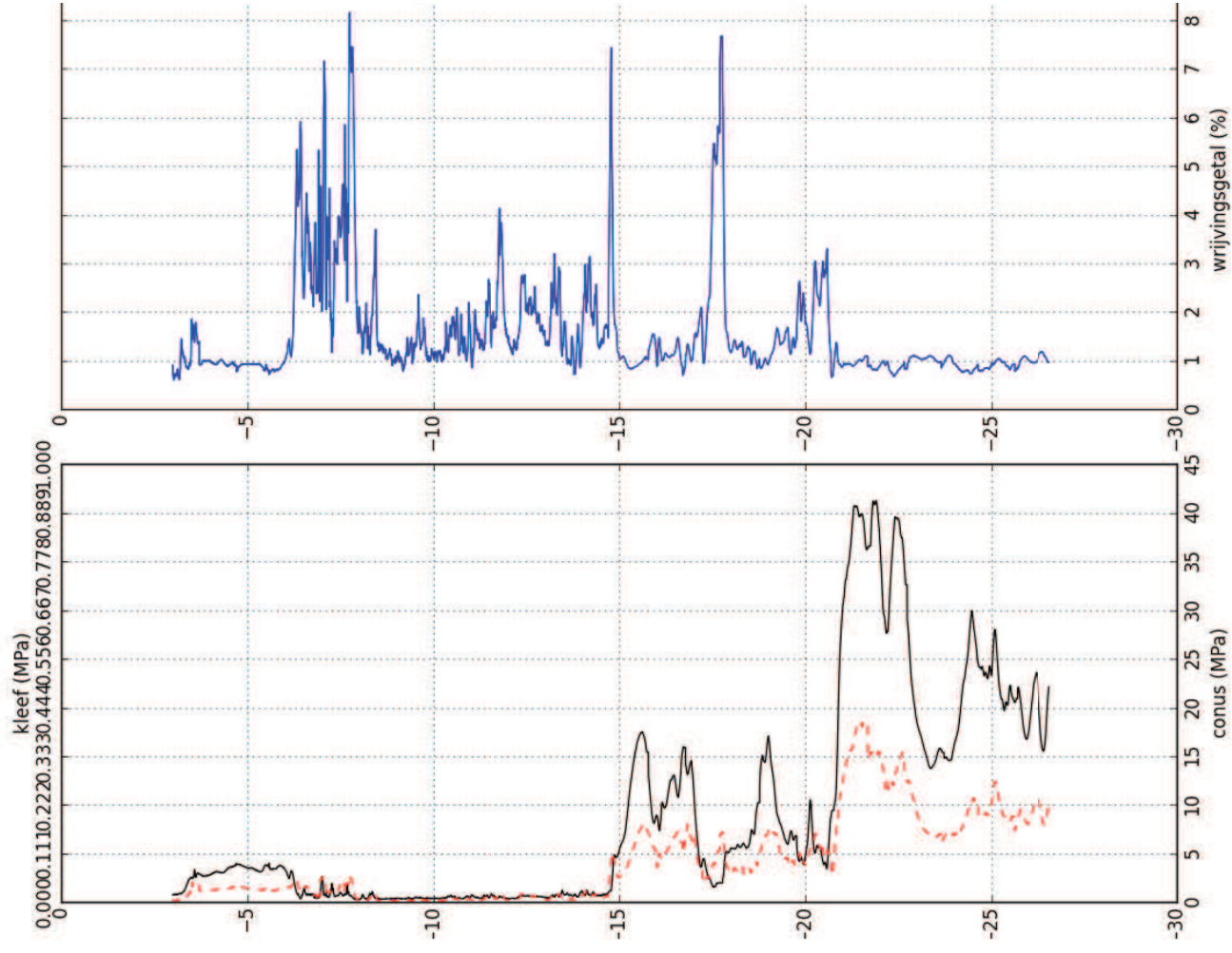
D62680



D62677



D62681



BIJLAGE II MODELLAGEN IN RELATIE TOT BODEMOPBOUW OP BASIS VAN SONDERINGEN

Afbeelding II.1. Modellagen in relatie tot bodemopbouw op basis van sonderingen

