

## Sigma 2024: een update van de HDD-module



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024

Boorproject kan onderverdeeld worden in vier fasen



Voorlopig Ontwerp



Definitief Ontwerp (besteksgereed)



Uitvoeringsontwerp




Revisie (As built)




# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024

## Waar hebben we het over?

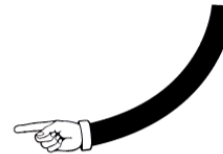



 Wat moet worden geboord?


 Waar gaan we onder door?

 Is er ruimte om de leiding uit te leggen op het maaiveld om deze in te kunnen trekken?

Is er ruimte om de leiding samen te stellen?



 Wat is de grondgesteldheid?

 Zijn er nog randvoorwaarden?



## Vergunningen / Voorschriften / Toestemmingen



Vergunningen



Ontheffingen



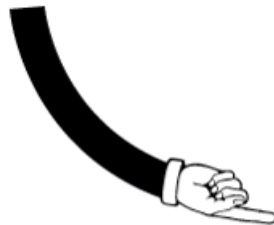
Beschikkingen



Toestemmingen



Overige aandachtspunten



NEN 3650 en NEN 3651

Richtlijn Boortechniek Rijkswaterstaat

Voorschriften ProRail

Eventueel aanvullende eisen/voorschriften



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024

## Materiaalgegevens leidingen



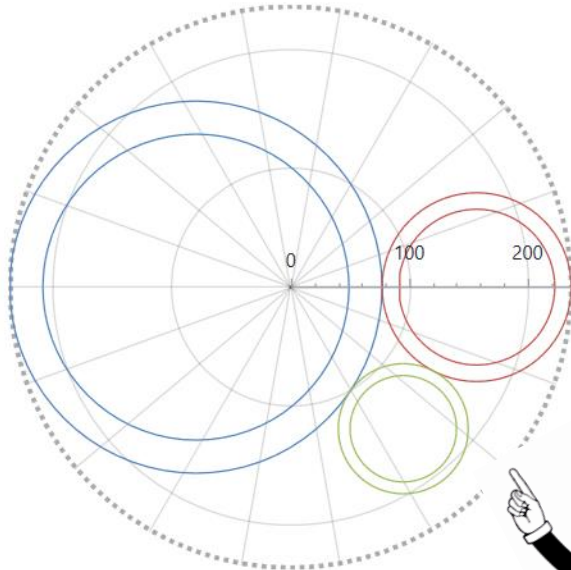
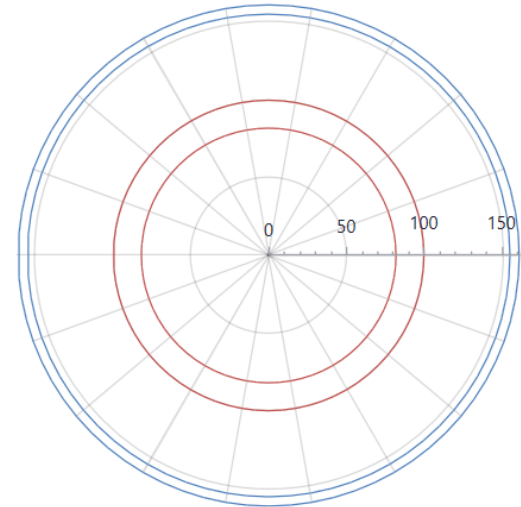
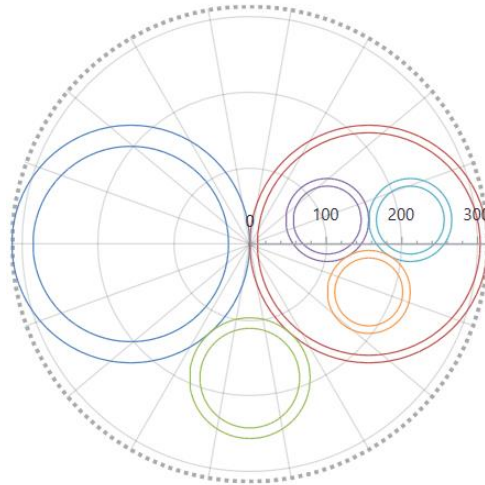
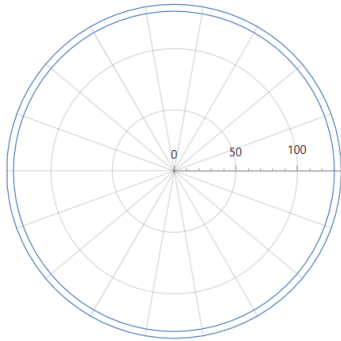
Van belang bij ontwerp:

- Aantal leidingen
- Materiaalsoort
- Diameters
- Wanddiktes

Veel gebruikte materialen: Staal of PE



## Varianten: enkele buis / bundels / buis in buis



Enkele mogelijkheden:

- Enkele buis
- Meerdere buizen (bundel)
- Meerdere buizen met soms buis in buis
- Buis in buis
- Enz. enz.

*Gestippeld is de omhullende straal van de bundel*



## Omgevingsparameters: Onderzoeken die nodig zijn voor het project



1. Historisch onderzoek
2. Geotechnisch onderzoek
  - 2.1 Dinoloket
  - 2.2 Sonderingen
  - 2.3 Mechanische boringen
3. Geologisch onderzoek
4. Milieukundig onderzoek i.v.m. bodemkwaliteit
5. Bemalingsplan (ter plaatse van intrede- en uittredepunt)

### Belangrijke aspecten:

- Zoutgehalte
- Zuurgraad
- Spanningswater
- Wellen/kwel
- Grind/Keien



Foto: linksboven Hoogveld sonderingen



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024

In te zetten materieel: Keuze Aannemer



Boormaterieel gespecificeerd per fase:

- Pilotboring
- 1e ruimgang
- Eventuele 2e ruimgang
- Eventuele 3e ruimgang
- Eventuele Cleaning run/Wiper trip

Uitwerking intrekoperatie

Welk plaatsbepalingssysteem

Keuringsdocumenten materieel

Te verwachten trekkracht



Volgt uit  
het ontwerp

Mobilisatie en demobilisatie

Opslag en transport van boorslurry

Mudretourleiding





## Toe te passen materialen met onderbouwing door Aannemer



### A. Specificatie leiding- en buismateriaal

- Lengte
- Materiaal
- Berekende trekkracht(leeg/vol/gedeeltelijk gevuld)
- Diameter geruimd gat op moment van intrekken
- Intredehoek (graden en procenten)
- Uittredehoek (graden en procenten)
- Verticale bochtstraal (neergaand)
- Verticale bochtstraal (opgaand)
- Horizontale bochtstraal

### B. Samenstellen leiding(en)

### C. Productbeschrijving boorvloeistof en toevoegstoffen



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024

## Ontwerp van een boorprofiel: intredehoek en uittredehoek

Staal



Intredehoek en uittredehoek varieert van 8° tot 12°

PE



Intredehoek en uittredehoek varieert van 15° tot 23°



Flauwere in- of uittredehoek?



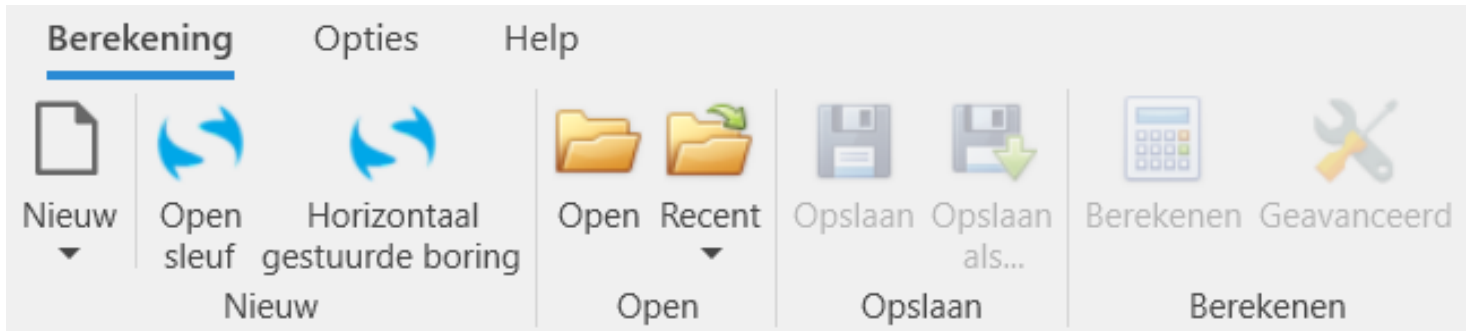
Langere boring!



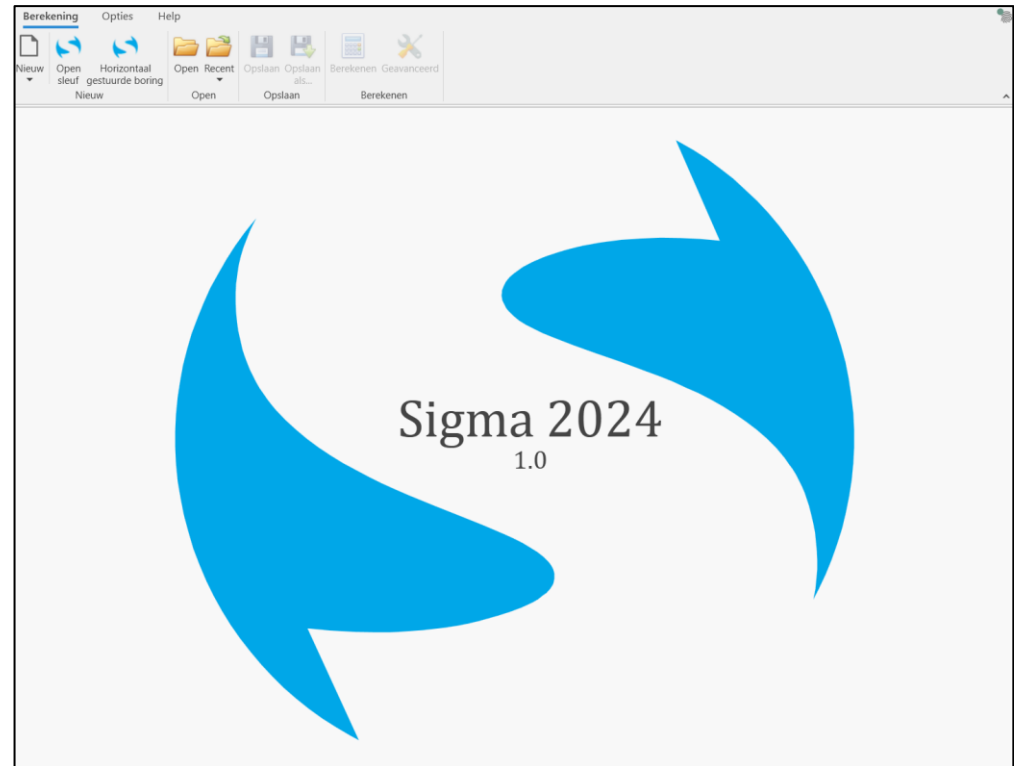
Extra kosten!



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024



Vanuit het opstartscherm is HDD berekening te starten



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: Algemene gegevens

**Berekening** Opties Help

Nieuw Open sleuf gestuurde boring Horizontaal gestuurde boring Open Recent Opslaan Opslaan als... Berekenen Geavanceerd

HDD: Tabblad met algemene gege... x

Algemene gegevens Boorprofiel

Projectgegevens

Naam van het project Voorbeeld Sigma 2024 (Adviesbureau Schrijvers b.v.)

Projectonderdeel Tabblad met algemene gegevens

Samenstelling boring Omstandigheden bovengronds Omstandigheden ondergronds Gegevens pilot

Enkele buis of bundel  Mediumbuis in mantelbuis  Boring ligt op maaiveld  Boring ligt op rollenbaan  Enkele buis (of mediumbuis in mantelbuis)  Samengestelde bundel  Moeilijke omstandigheden

Leiding- en materiaalgegevens (Mediumleiding) Gegevens boorstang

Materiaal PE Diameter boorstang [mm] 127,0

Kwaliteit PE 100

Uitwendige middellijn [mm] 450,0

Wanddikte [mm] 41,0

Dikte bekleding [mm] 0,0

Vulling tijdens intrekken

Gewicht vulling/extra gewicht op rollenbaan [N/mm] 0,0

Gewicht vulling/extra gewicht tpv boorgang [N/mm] 0,0

Medium (Mediumleiding)

Medium  Vloeistof  Gas  Drukloos

Ontwerpdruk [N/mm<sup>2</sup>] 0,3

Volumieke massa medium [kg/m<sup>3</sup>] 1000,0

Temperatuurverschil [°C] 10,0

Opleghoeken

Belastinghoek [°] 180

Ondersteuningshoek [°] 120

Variabele onzekerheids- en wrijvingsfactoren

Onz. factor bij normale boring 1,4

Belastingfactor, ondergronds 1,4

Belastingfactor, bovengronds 1,1

Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan 0,3

Wrijving tussen leiding/boorvloeistof [N/mm<sup>2</sup>] 0,00005

Wrijving tussen leiding/boorgangwand 0,2

Percentage van effectieve limietdruk [%] 90,0

Onzekerheidsfactor straal, ondergronds 0,9

Partiële factor grondbelasting [-] 1,1

Gegevens boorstang

Diameter boorkop/boorgat [mm] 311,0

Plastische viscositeit boorvloeistof [Pa-s] 0,009

Zwichtspanning boorvloeistof [Pa] 13,4

Soortelijk gewicht boorvloeistof [kN/m<sup>3</sup>] 11,5

Debiet boorvloeistof [l/min.] 900,0

Intersectiemethode ('Meet in the middle')

Gegevens ruimgang

Toepassen ruimgang

Boorstangen koppelen tijdens ruimen

Diameter ruimer/boorgat [mm] 406,4

Plastische viscositeit boorvloeistof [Pa-s] 0,009

Zwichtspanning boorvloeistof [Pa] 13,4

Soortelijk gewicht boorvloeistof [kN/m<sup>3</sup>] 11,5

Debiet boorvloeistof [l/min.] 2000,0

Gegevens intrekken

Gecombineerd ruimen/intrekken

Diameter ruimer/boorgat [mm] 675,0

Plastische viscositeit boorvloeistof [Pa-s] 0,009

Zwichtspanning boorvloeistof [Pa] 13,4

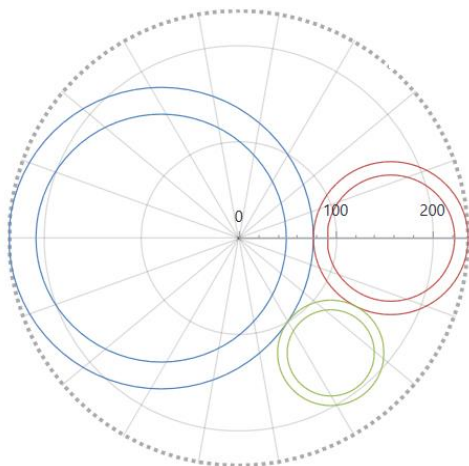
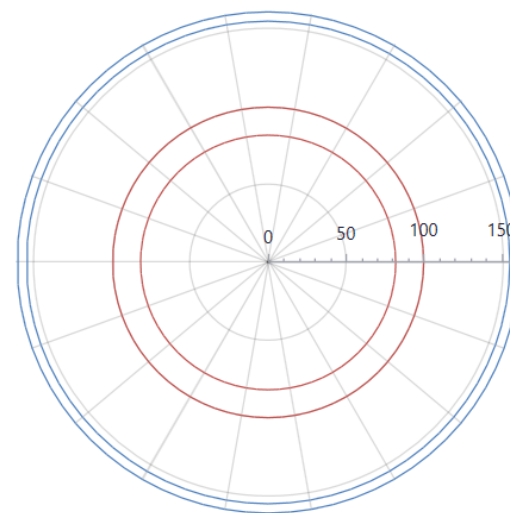
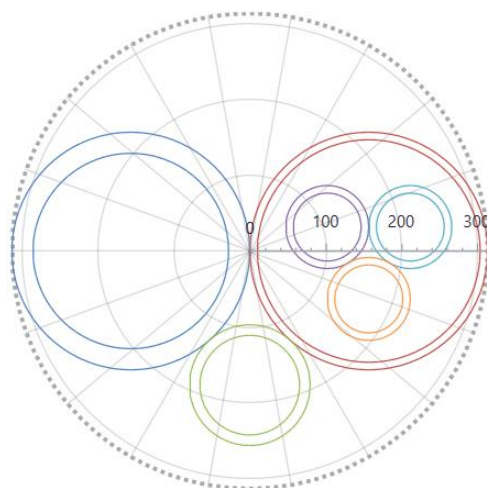
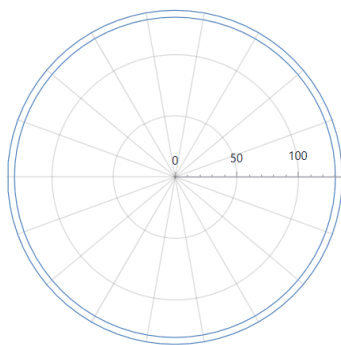
Soortelijk gewicht boorvloeistof [kN/m<sup>3</sup>] 11,5

Debiet boorvloeistof [l/min.] 1400,0



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: Algemene gegevens

<b>Samenstelling boring</b> ▲	<b>Omstandigheden bovengronds</b> ▲	<b>Omstandigheden ondergronds</b> ▲
<input checked="" type="radio"/> Enkele buis of bundel	<input checked="" type="radio"/> Boring ligt op maaiveld	<input checked="" type="radio"/> Enkele buis (of mediumbuis in mantelbuis)
<input type="radio"/> Mediumbuis in mantelbuis	<input type="radio"/> Boring ligt op rollenbaan	<input type="radio"/> Samengestelde bundel
		<input type="radio"/> Moeilijke omstandigheden



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: Algemene gegevens

Samenstelling boring ▲	Omstandigheden bovengronds ▲	Omstandigheden ondergronds ▲
<input checked="" type="radio"/> Enkele buis of bundel	<input checked="" type="radio"/> Boring ligt op maaiveld	<input checked="" type="radio"/> Enkele buis (of mediumbuis in mantelbuis)
<input type="radio"/> Mediumbuis in mantelbuis	<input type="radio"/> Boring ligt op rollenbaan	<input type="radio"/> Samengestelde bundel
		<input type="radio"/> Moeilijke omstandigheden

Varieert van 0,1 (rollenbaan) tot 0,3 (maaiveld)



Variabele onzekerheids- en wrijvingsfactoren ▲	
Onz. factor bij normale boring	1,4_
Belastingfactor, ondergronds	1,4_
Belastingfactor, bovengronds	1,1_
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan	0,3_
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof [N/mm <sup>2</sup> ]	0,00005
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	0,2_
Percentage van effectieve limietdruk [%]	90,0_
Onzekerheidsfactor straal, ondergronds	0,9_
Partiële factor grondbelasting [-]	1,1_



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: Algemene gegevens

Samenstelling boring ▲		Omstandigheden bovengronds ▲		Omstandigheden ondergronds ▲		
<input checked="" type="radio"/> Enkele buis of bundel	<input type="radio"/> Mediumbuis in mantelbuis	<input checked="" type="radio"/> Boring ligt op maaiveld	<input type="radio"/> Boring ligt op rollenbaan	<input checked="" type="radio"/> Enkele buis (of mediumbuis in mantelbuis)	<input type="radio"/> Samengestelde bundel	<input type="radio"/> Moeilijke omstandigheden

Onzekerheidsfactor is afhankelijk van de omstandigheden. Volgens NEN 3650:  
Normaal: 1,4  
Bundel : 1,8  
Moeilijk : 2,0



Variabele onzekerheids- en wrijvingsfactoren ▲	
Onz. factor bij normale boring	1,4_
Belastingfactor, ondergronds	1,4_
Belastingfactor, bovengronds	1,1_
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan	0,3_
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof [N/mm <sup>2</sup> ]	0,00005
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	0,2_
Percentage van effectieve limietdruk [%]	90,0_
Onzekerheidsfactor straal, ondergronds	0,9_
Partiële factor grondbelasting [-]	1,1_

De gebruiker van Sigma kan alle parameters wijzigen. Er is geen black box.



De diameter van het boorgat is afhankelijk van de boorkop.  
Zie o.a. documentatie van Brownline.

Wanneer er voor gekozen wordt om extra te ruimen dan is voor die fase de diameter van de ruimer belangrijk.

Tijdens intrekken van de leiding(en) is ook een ruimer nodig.

De aannemer moet bij de keuze van de diameters van de ruimers rekening houden met de grondslag (de omstandigheden), de in te trekken leiding(en) en uiteraard de eisen van vergunningverleners.

Gegevens pilot	
Diameter boorkop/boorgat [mm]	311,0_
Plastische viscositeit boorvloeistof [Pa·s]	0,009
Zwichtspanning boorvloeistof [Pa]	13,4_
Soortelijk gewicht boorvloeistof [kN/m <sup>3</sup> ]	11,5_
Debiet boorvloeistof [l/min.]	900,0_
<input type="checkbox"/> Intersectiemethode ('Meet in the middle')	

Gegevens ruimgang	
<input checked="" type="checkbox"/> Toepassen ruimgang	
<input checked="" type="checkbox"/> Boorstangen koppelen tijdens ruimen	
Diameter ruimer/boorgat [mm]	406,4_
Plastische viscositeit boorvloeistof [Pa·s]	0,009
Zwichtspanning boorvloeistof [Pa]	13,4_
Soortelijk gewicht boorvloeistof [kN/m <sup>3</sup> ]	11,5_
Debiet boorvloeistof [l/min.]	2000,0_

Gegevens intrekken	
<input checked="" type="checkbox"/> Gecombineerd ruimen/intrekken	
Diameter ruimer/boorgat [mm]	675,0_
Plastische viscositeit boorvloeistof [Pa·s]	0,009
Zwichtspanning boorvloeistof [Pa]	13,4_
Soortelijk gewicht boorvloeistof [kN/m <sup>3</sup> ]	11,5_
Debiet boorvloeistof [l/min.]	1400,0_





De eigenschappen van de boorvloeistof zijn zeer belangrijk. Deze moeten ook gemeten worden tijdens het boren én tijdens het intrekken!

Mudparameters		OCMA	OCMA + 1% PAC-L	Tunnel Gel Plus
Plastische viscositeit boorvloeistof [Pa-s]	(PV)	0.009	0.015	0.016
Zwichtspanning boorvloeistof [Pa]	(YP)	13.4	9.576	14.364

Mudparameters		Tunnel Gel Max	Drill Grout	Drill Grout Plus
Plastische viscositeit boorvloeistof [Pa-s]	(PV)	0.013	0.007	0.007
Zwichtspanning boorvloeistof [Pa]	(YP)	19.631	12.928	20.11

CEBO heeft deze gegevens verstrekt. De waarden die vermeld zijn bij Drill Grout en Drill Grout Plus zijn laboratoriumwaarden!!! De aannemer dient deze waarden tijdens het intrekken van de leiding(en) in het veld te bepalen. Tabel is op te roepen via de rechter muisknop.

Gegevens pilot

Diameter boorkop/boorgat [mm] 311,0\_

Plastische viscositeit boorvloeistof [Pa-s] 0,009

Zwichtspanning boorvloeistof [Pa] 13,4\_

Soortelijk gewicht boorvloeistof [kN/m<sup>3</sup>] 11,5\_

Debiet boorvloeistof [l/min.] 900,0\_

Intersectiemethode ('Meet in the middle')

---

Gegevens ruimgang

Toepassen ruimgang

Boorstangen koppelen tijdens ruimen

Diameter ruimer/boorgat [mm] 406,4\_

Plastische viscositeit boorvloeistof [Pa-s] 0,009

Zwichtspanning boorvloeistof [Pa] 13,4\_

Soortelijk gewicht boorvloeistof [kN/m<sup>3</sup>] 11,5\_

Debiet boorvloeistof [l/min.] 2000,0\_

---

Gegevens intrekken

Gecombineerd ruimen/intrekken

Diameter ruimer/boorgat [mm] 675,0\_

Plastische viscositeit boorvloeistof [Pa-s] 0,009

Zwichtspanning boorvloeistof [Pa] 13,4\_

Soortelijk gewicht boorvloeistof [kN/m<sup>3</sup>] 11,5\_

Debiet boorvloeistof [l/min.] 1400,0\_



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: Algemene gegevens

Deze gegevens zijn enerzijds nodig voor het berekenen van de toelaatbare en vereiste boorspoeldrukken en anderzijds voor het berekenen van de trekkrachten tijdens het intrekken van de leiding(en).

Type	Debiet boorvloeistof [l/min.]		
	Pilot	Ruimen	Intrekken
Mini	40	110	80
Midi	100	500	300
Maxi	600	2000	1400

De debieten zijn primair afhankelijk van de te gebruiken boorstelling.  
De aannemer kan op basis van ervaringen ook andere debieten kiezen.

Gegevens pilot

Diameter boorkop/boorgat [mm] 311,0\_

Plastische viscositeit boorvloeistof [Pa·s] 0,009

Zwichtspanning boorvloeistof [Pa] 13,4\_

Soortelijk gewicht boorvloeistof [kN/m<sup>3</sup>] 11,5\_

Debiet boorvloeistof [l/min.] 900,0\_

Intersectiemethode ('Meet in the middle')

Gegevens ruimgang

Toepassen ruimgang

Boorstangen koppelen tijdens ruimen

Diameter ruimer/boorgat [mm] 406,4\_

Plastische viscositeit boorvloeistof [Pa·s] 0,009

Zwichtspanning boorvloeistof [Pa] 13,4\_

Soortelijk gewicht boorvloeistof [kN/m<sup>3</sup>] 11,5\_

Debiet boorvloeistof [l/min.] 2000,0\_

Gegevens intrekken

Gecombineerd ruimen/intrekken

Diameter ruimer/boorgat [mm] 675,0\_

Plastische viscositeit boorvloeistof [Pa·s] 0,009

Zwichtspanning boorvloeistof [Pa] 13,4\_

Soortelijk gewicht boorvloeistof [kN/m<sup>3</sup>] 11,5\_

Debiet boorvloeistof [l/min.] 1400,0\_



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: Boorprofiel

**Berekening Opties Help Boorprofiel**

Voeg leidingdeel toe Verwijder leidingdeel Voeg doorsnede toe Verwijder doorsnede Kopieer grondgegevens Profiel Wizard Import HDD Design Import DrillControl Intredepunt rechts Verwissel in- en uitredepunt Zoom Beeld Opslaan Opslaan als... Berekenen

HDD: Sterkteberekening en boor... X

Algemene gegevens Boorprofiel

**Leidingdelen**

Intredehoek [°] 17,00 Uittredehoek [°] 17,00  
 MV intrede t.o.v. NAP [m] -1,00 MV uittrede t.o.v. NAP [m] -1,00  
 Straal maaiveld/rollenbaan [m] 100,00

Beschrijving	Lengte [m]	Horizontale lengte [m]	Lengte (subtotaal) [m]	Horizontale lengte (subtotaal) [m]	Verticale straal [m]	Horizontale straal [m]	Gecombineerde straal [m]	NAP-hoogte links [m]	NAP-hoogte rechts [m]
A	40,00	38,25	40,00	38,25				-1,00	-12,69
B	59,34	58,47	99,34	96,73	200,00			-12,69	-21,43
C	350,00	350,00	449,34	446,73				-21,43	-21,44
D	59,34	58,47	508,68	505,20	200,00			-21,44	-12,70

Totale lengte langs de buis = 548,68 m / Totale horizontale lengte = 543,45 m

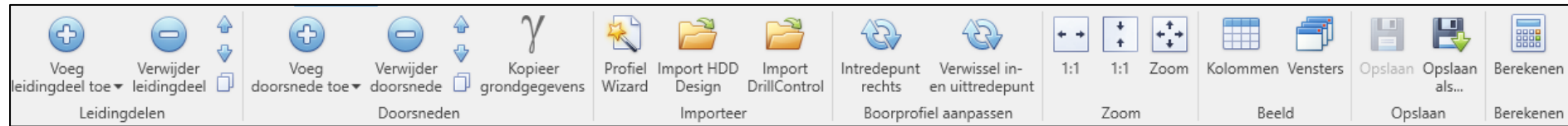
**Doorsneden**

Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Horizontale afstand t.o.v. intredepunt [m]	Hart boring t.o.v. NAP [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Maaiveld t.o.v. NAP [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. NAP [m]	Grondpara	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m³]	Inwendige wrijvingsho grond [°]	Effectieve cohesie [kN/m²]	E-modulus ondergrond [MN/m²]	Gereduceerde grondbelas	Verkeersbe	Horizont steundr
1	40,00	38,25	-12,69	11,69	-1,00	5,00	-6,00	Klei	Klei	17,00	17,00	17,50	5,00	2,00	Geen	Grafie...	<input type="checkbox"/>
2	99,34	96,73	-21,43	20,43	-1,00	5,00	-6,00	Klei	Klei	17,00	17,00	17,50	5,00	2,00	Geen	Grafie...	<input type="checkbox"/>
3	274,34	271,73	-21,43	20,43	-1,00	5,00	-6,00	Klei	Klei	17,00	17,00	17,50	5,00	2,00	Geen	Grafie...	<input type="checkbox"/>
4	449,34	446,73	-21,44	20,43	-1,01	5,00	-6,01	Klei	Klei	17,00	17,00	17,50	5,00	2,00	Geen	Grafie...	<input type="checkbox"/>

**Boorprofiel**



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: Boorprofiel



Menubalk met zeer uitgebreide mogelijkheden:

- Leidingdelen toevoegen of verwijderen aan boorprofiel
- Te berekenen extra doorsnedes kiezen
- Boorprofiel via Wizard samenstellen
- Importeren DWG-tekening op basis van ProCAD HDD Design (verticale/horizontale/combi-bochten)
- Importeren DWG-tekening op basis van DrillControl (verticale/horizontale/combi-bochten)
- In- en uittredepunt omdraaien
- Boorprofiel op beeldscherm verschalen of op schaal 1:1 tonen
- Keuze om verschillende kolommen te verbergen of zichtbaar te maken



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: Boorprofiel

## Drie invoerschermen: elk scherm is afzonderlijk te vergroten/te verplaatsen

**Leidingdelen**

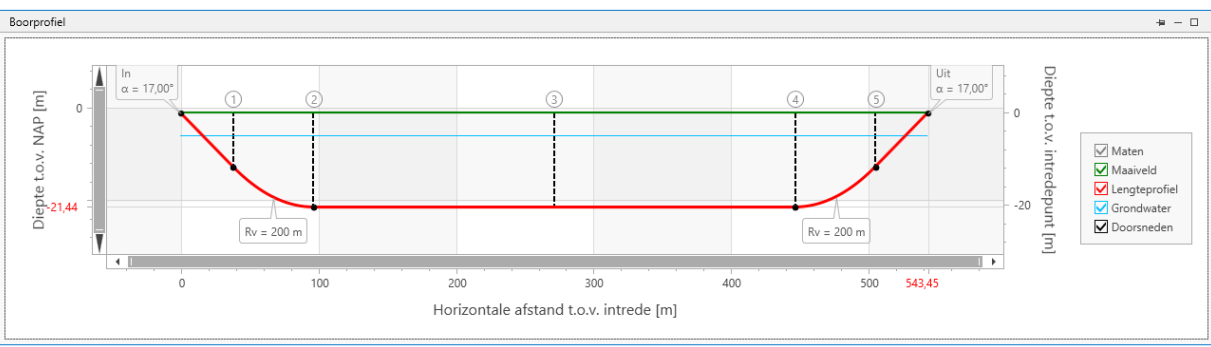
Intredehoek [°]       Uittredehoek [°]   
 MV intrede t.o.v. NAP [m]       MV uittrede t.o.v. NAP [m]   
 Straal maaiveld/rollenbaan [m]

Beschrijving	Lengte [m]	Horizontale lengte [m]	Lengte (subtotaal) [m]	Horizontale lengte (subtotaal) [m]	Verticale straal [m]	Horizontale straal [m]	Gecombineerd straal [m]	NAP-hoogte links [m]	NAP-hoogte rechts [m]
A	40,00	38,25	40,00	38,25				-1,00	-12,69
B	59,34	58,47	99,34	96,73	200,00			-12,69	-21,43
C	350,00	350,00	449,34	446,73				-21,43	-21,44
D	59,34	58,47	508,68	505,20	200,00			-21,44	-12,70
E	40,00	38,25	548,68	543,45				-12,70	-1,00

**Totale lengte langs de buis = 548,68 m / Totale horizontale lengte = 543,45 m**

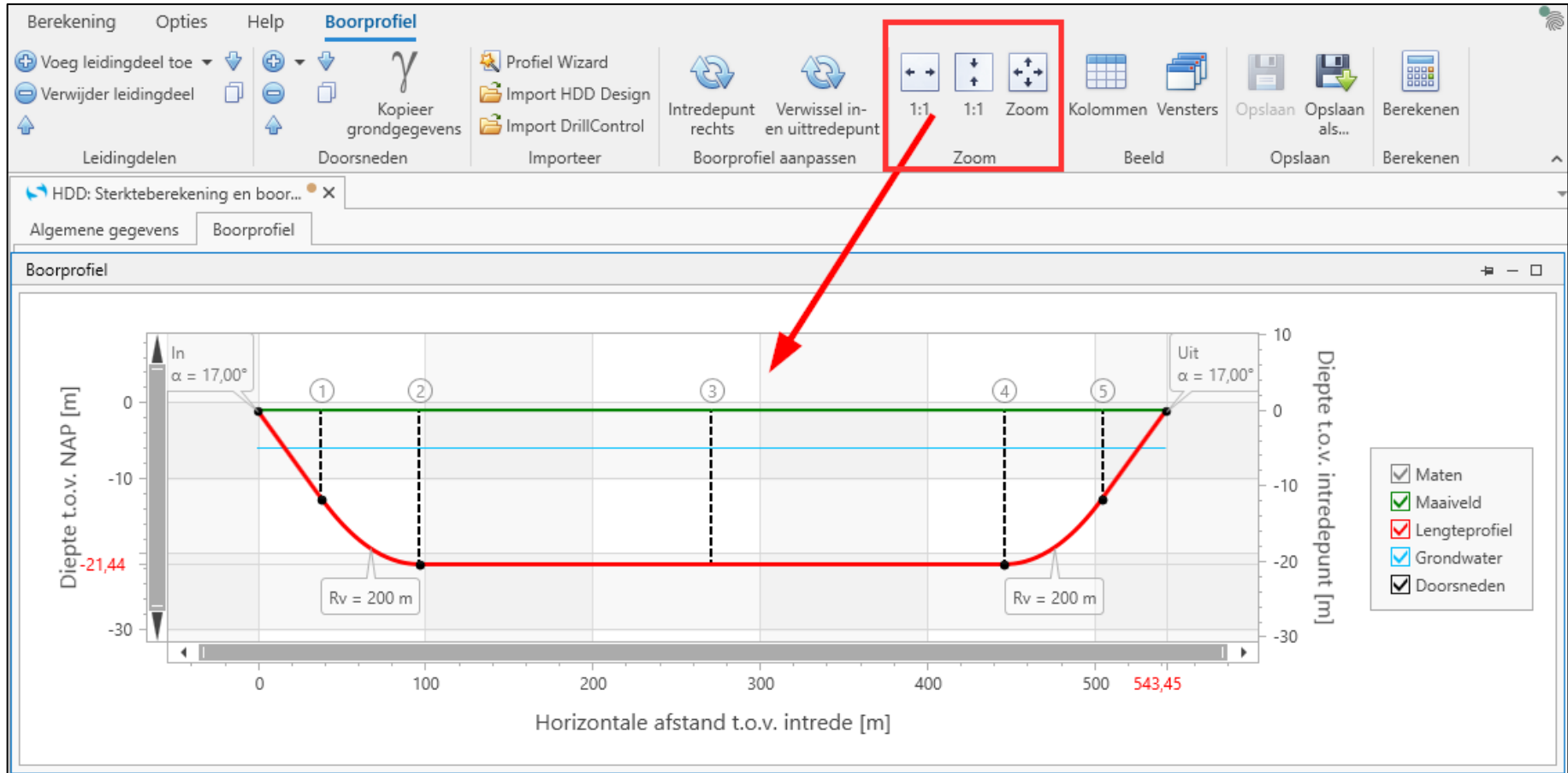
**Doorsneden**

Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Horizontaal afstand t.o.v. intredepunt [m]	Hart boring t.o.v. NAP [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Maaiveld t.o.v. NAP [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. NAP [m]	Grondpare	Grondsoor	Volumiek gewicht droge grond [kN/m³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m³]	Inwendige wrijvingshi grond [°]	Effectieve cohesie [kN/m²]	E-modulus ondergrond [MN/m²]	Gereducee grondbela:	Verkeersb	Horizon steun
1	40,00	38,25	-12,69	11,69	-1,00	5,00	-6,00	Klei	Klei	17,00	17,00	17,50	5,00	2,00	Geen	Grafi...	<input type="checkbox"/>
2	99,34	96,73	-21,43	20,43	-1,00	5,00	-6,00	Klei	Klei	17,00	17,00	17,50	5,00	2,00	Geen	Grafi...	<input type="checkbox"/>
3	274,34	271,73	-21,43	20,43	-1,00	5,00	-6,00	Klei	Klei	17,00	17,00	17,50	5,00	2,00	Geen	Grafi...	<input type="checkbox"/>
4	449,34	446,73	-21,44	20,43	-1,01	5,00	-6,01	Klei	Klei	17,00	17,00	17,50	5,00	2,00	Geen	Grafi...	<input type="checkbox"/>



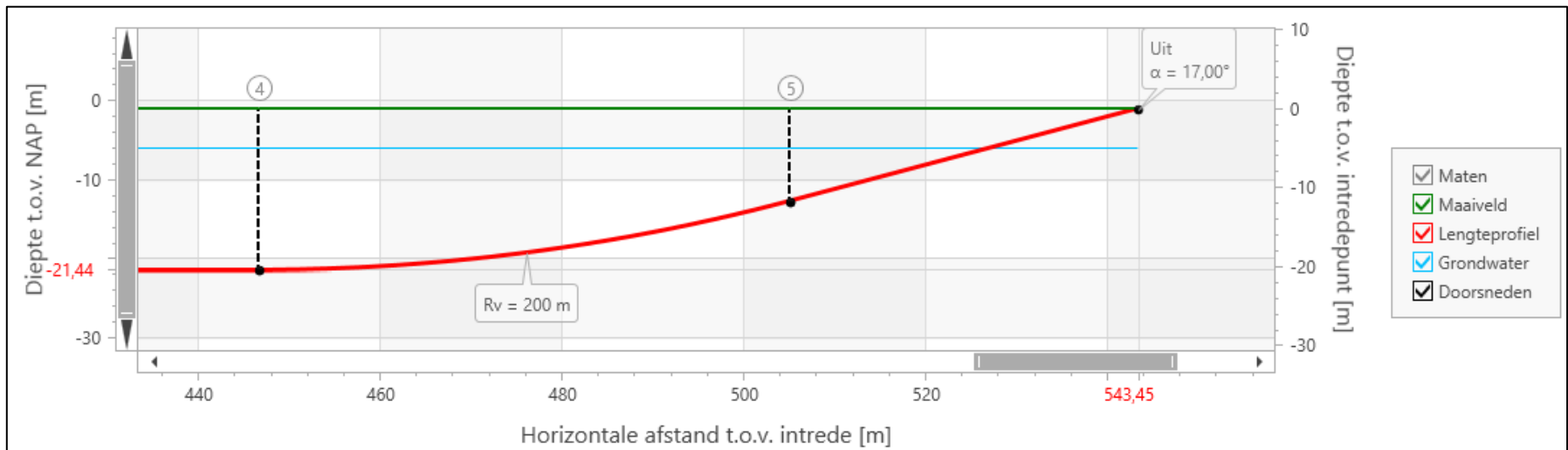
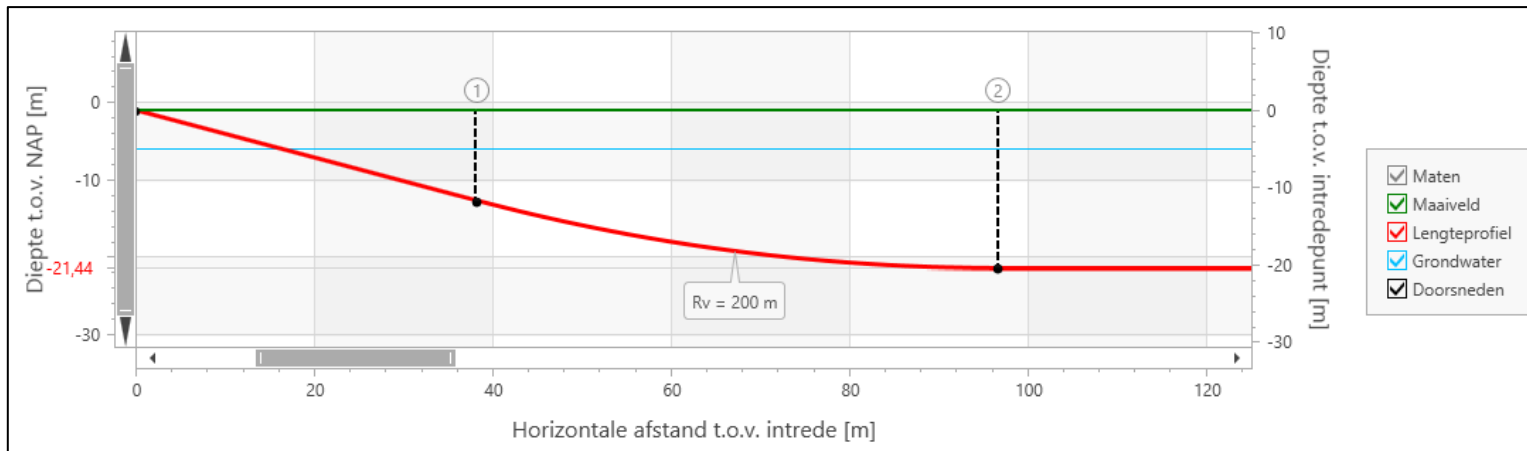
# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: Boorprofiel

Tekening van het boorprofiel biedt veel informatie: met 1:1 zoom is het boorprofiel met juiste hoogte/lengteschaal zien.



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: Boorprofiel

Tekening van het boorprofiel biedt veel informatie: met 1:1 zoom is het boorprofiel met juiste hoogte/lengteschaal zien. Bochtstralen worden vermeld.



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: Boorprofiel

Boorprofiel met meerdere bochten mogelijk. “Meerdere” = “Oneindig”

Beschrijving	Lengte [m]	Horizontale lengte [m]	Lengte (subtotaal) [m]	Horizontale lengte (subtotaal) [m]	Verticale straal [m]	Horizontale straal [m]	Gecombineerd straal [m]	NAP-hoogte links [m]	NAP-hoogte rechts [m]
▶ A	40,00	38,25	40,00	38,25				-1,00	-12,69
B	59,34	58,47	99,34	96,73	200,00			-12,69	-21,43
C	350,00	350,00	449,34	446,73				-21,43	-21,44
D	59,34	58,47	508,68	505,20	200,00			-21,44	-12,70
E	40,00	38,25	548,68	543,45				-12,70	-1,00
<b>Totale lengte langs de buis = 548,68 m / Totale horizontale lengte = 543,45 m</b>									

Beschrijving	Lengte [m]	Horizontale lengte [m]	Lengte (subtotaal) [m]	Horizontale lengte (subtotaal) [m]	Verticale straal [m]	Horizontale straal [m]	Gecombineerd straal [m]	NAP-hoogte links [m]	NAP-hoogte rechts [m]
A	40,00	38,25	40,00	38,25				-1,00	-12,69
B	59,34	58,47	99,34	96,73	200,00			-12,69	-21,43
◀ C	350,00	350,00	449,34	446,73		200,00		-21,43	-21,44
D	59,34	58,47	508,68	505,20	200,00			-21,44	-12,70
<b>Totale lengte langs de buis = 548,68 m / Totale horizontale lengte = 543,45 m</b>									

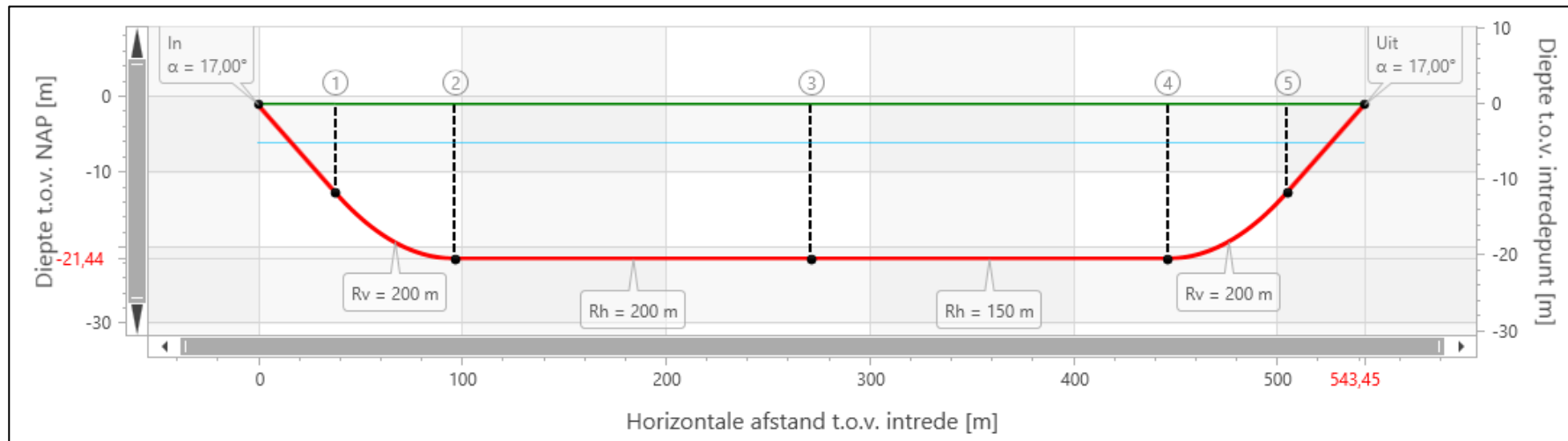




# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: Boorprofiel

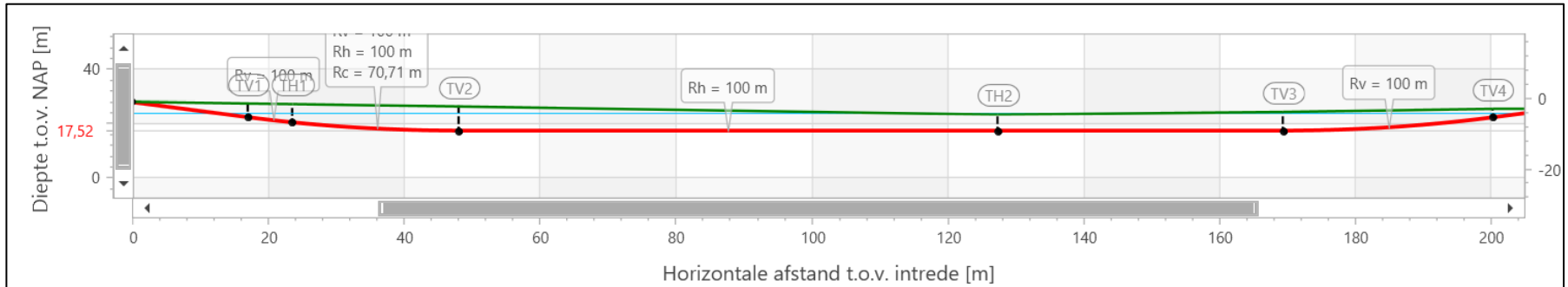
Boorprofiel met meerdere bochten mogelijk. “Meerdere” = “Oneindig”

Beschrijving	Lengte [m]	Horizontale lengte [m]	Lengte (subtotaal) [m]	Horizontale lengte (subtotaal) [m]	Verticale straal [m]	Horizontale straal [m]	Gecombineerde straal [m]	NAP-hoogte links [m]	NAP-hoogte rechts [m]
A	40,00	38,25	40,00	38,25				-1,00	-12,69
B	59,34	58,47	99,34	96,73	200,00			-12,69	-21,43
C1	175,00	175,00	274,34	271,73		200,00		-21,43	-21,43
C2	175,00	175,00	449,34	446,73		150,00		-21,43	-21,44
D	59,34	58,47	508,68	505,20	200,00			-21,44	-12,70
E	40,00	38,25	548,68	543,45				-12,70	-1,00

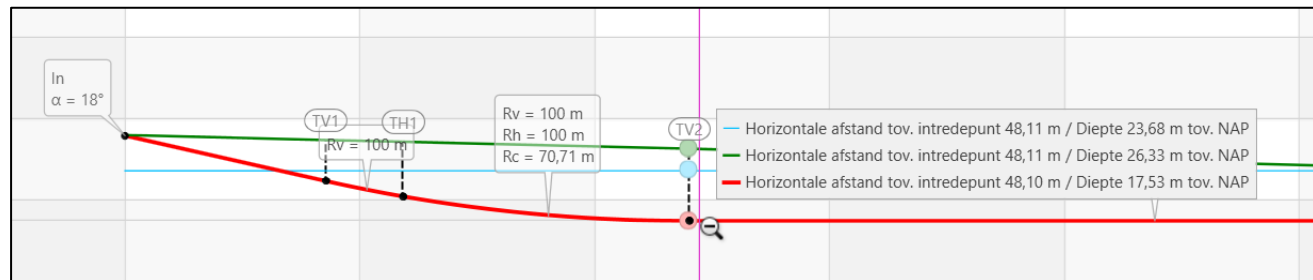


# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: Boorprofiel

Boorprofiel met meerdere bochten mogelijk. “Meerdere” betekent eigenlijk “Oneindig” aantal bochten. En deze bochten zien we ook in het boorprofiel.



Wanneer met de muis over het boorprofiel wordt bewogen is informatie over de boring te zien.



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: Doorsneden

Elk boorprofiel heeft een aantal doorsneden waarvan informatie nodig is.

Beschrijving	Lengte [m]	Horizontale lengte [m]	Lengte (subtotaal) [m]	Horizontale lengte (subtotaal) [m]	Verticale straal [m]	Horizontale straal [m]	Gecombineerde straal [m]	NAP-hoogte links [m]	NAP-hoogte rechts [m]
A	40,00	38,25	40,00	38,25				-1,00	-12,69
B	59,34	58,47	99,34	96,73	200,00			-12,69	-21,43
C1	175,00	175,00	274,34	271,73		200,00		-21,43	-21,43
C2	175,00	175,00	449,34	446,73		150,00		-21,43	-21,44
D	59,34	58,47	508,68	505,20	200,00			-21,44	-12,70
E	40,00	38,25	548,68	543,45				-12,70	-1,00

Totale lengte langs de buis = 548,68 m / Totale horizontale lengte = 543,45 m

Veel informatie over de ligging van het boorprofiel ten opzichte van NAP/TAW en maaiveld. Referentiehoogte kan via “Opties” worden aangepast.

Referentiehoogte:

- NAP 
- TAW 
- NHN 
- MAMSL 
- RNG 



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: Doorsneden

Elk boorprofiel heeft een aantal doorsneden waarvan informatie nodig is.

Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Horizontale afstand t.o.v. intredepunt [m]	Hart boring t.o.v. NAP [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Maaiveld t.o.v. NAP [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. NAP [m]	Grondpar	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m <sup>3</sup> ]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m <sup>3</sup> ]	Inwendige wrijvingshoek grond [°]	Effectieve cohesie [kN/m <sup>2</sup> ]
1	40,00	38,25	-12,69	11,69	-1,00	5,00	-6,00	Klei	Klei	17,00	17,00	17,50	5,00
2	99,34	96,73	-21,43	20,43	-1,00	5,00	-6,00					7,50	5,00
3	274,34	271,73	-21,43	20,43	-1,00	5,00	-6,00					7,50	5,00
4	449,34	446,73	-21,44	20,43	-1,01	5,00	-6,01					7,50	5,00
5	508,68	505,20	-12,70	11,69	-1,01	5,00	-6,01					7,50	5,00

Grondparameters

Grondsoort:

Volumiek gewicht droge grond [kN/m<sup>3</sup>]:

Volumiek gewicht natte grond [kN/m<sup>3</sup>]:

Inwendige wrijvingshoek grond [°]:

Effectieve cohesie [kN/m<sup>2</sup>]:

E-modulus ondergrond [MN/m<sup>2</sup>]:

Grondparameters zijn per doorsnede in te voeren.

- volgens tabel NEN 3650
- met behulp van een sondering (GEF-bestand inlezen)
- volgens pull down menu (op basis van de NEN 3650)



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: Doorsneden

Via de opties kan alle informatie over de grondsoort ook in het scherm getoond worden.

Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m <sup>3</sup> ]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m <sup>3</sup> ]	Inwendige wrijvingshoek grond [°]	Effectieve cohesie [kN/m <sup>2</sup> ]	E-modulus ondergrond [MN/m <sup>2</sup> ]
Klei ▼	17,00	17,00	17,50	5,00	2,00
Klei ▼	17,00	17,00	17,50	5,00	2,00
Klei ▼	17,00	17,00	17,50	5,00	2,00
Klei ▼	17,00	17,00	17,50	5,00	2,00
Klei ▼	17,00	17,00	17,50	5,00	2,00

Gereduceerde grondbelasting is per doorsnede in te voeren.

Grondparamete	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m <sup>3</sup> ]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m <sup>3</sup> ]	Inwendige wrijvingshoek grond [°]	Effectieve cohesie [kN/m <sup>2</sup> ]	E-modulus ondergrond [MN/m <sup>2</sup> ]	Gereduceerde grondbelasting
Klei ▼	Klei ▼	17,00	17,00	17,50	5,00	2,00	Geen ▼
Klei ▼	Klei ▼	17,00	17,00	17,50	5,00	2,00	Geen ▼
Klei ▼	Klei ▼	17,00	17,00	17,50	5,00	2,00	Geen ▼
Klei ▼	Klei ▼	17,00	17,00	17,50	5,00	2,00	Geen ▼
Klei ▼	Klei ▼	17,00	17,00	17,50	5,00	2,00	Geen ▼



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: Doorsneden

Bij elke doorsnede kan gekozen worden om te gaan rekenen met gereduceerde grondbelasting. De gebruiker beslist of hij/zij hier gebruik van wil maken (of kan maken, want je mag niet overal gereduceerde grondbelasting toepassen!).

Gereduceerde grondbelasting	Verkeersbelasting	Horizontale steundruk <input type="checkbox"/>
Geen ▼	Grafiek I ▼	<input type="checkbox"/>
Geen ▼	Grafiek I ▼	<input type="checkbox"/>
Geen ▼	Grafiek I ▼	<input type="checkbox"/>

Gereduceerde grondbelasting

Type Geen ▼

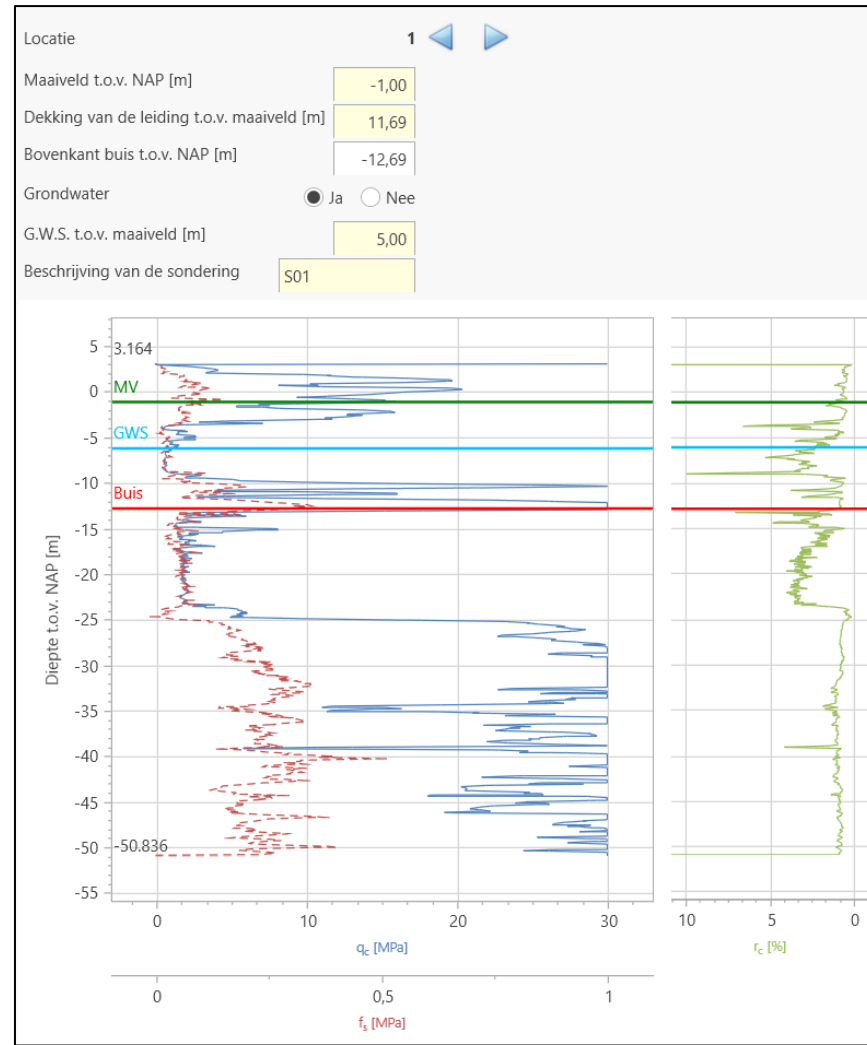
- Geen
- Homogeen (zand)
- Homogeen (samendrukbaar)
- Gelaagd



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: Doorsneden

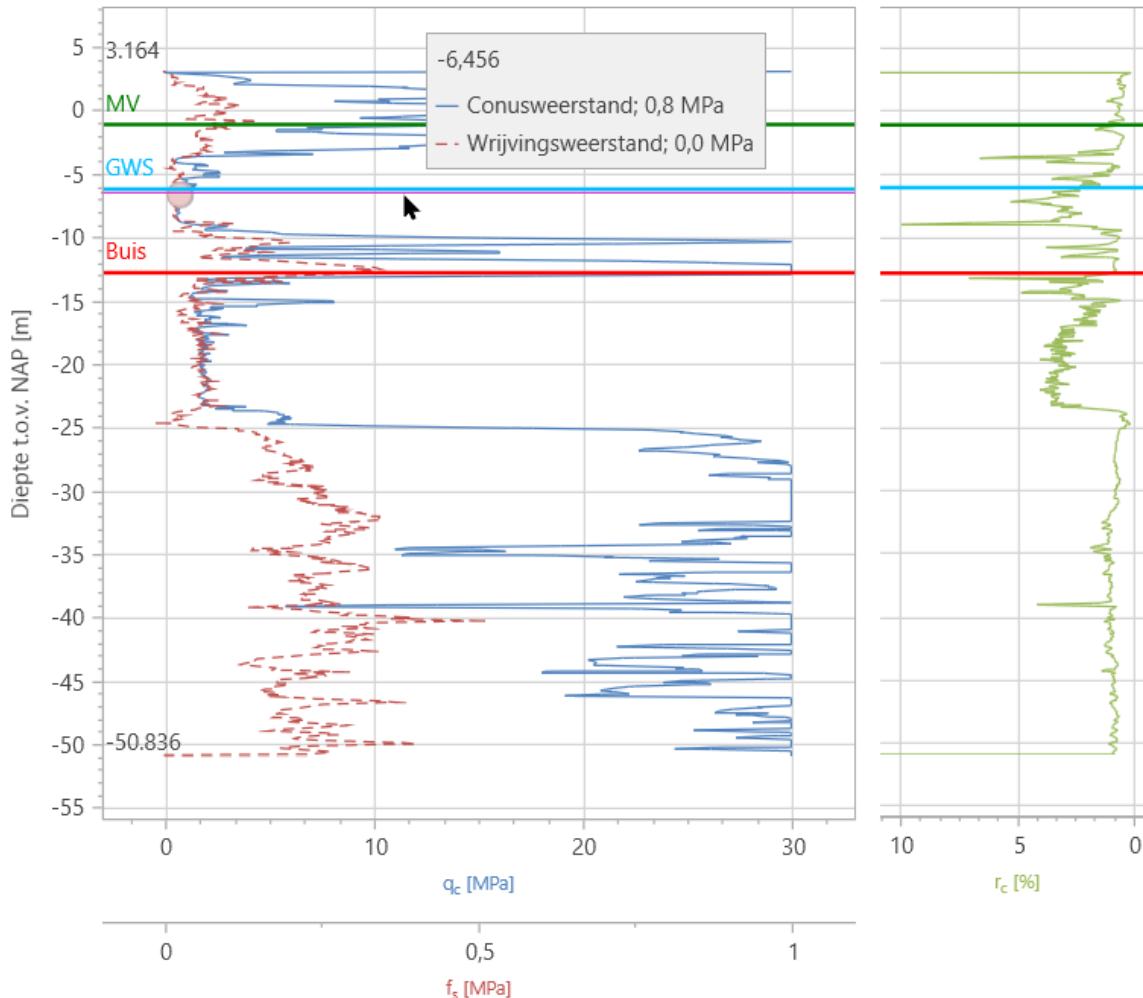
Bij elke doorsnede kunnen de grondparameters berekend worden met een GEF-bestand (de gegevens worden uit het grondonderzoek gehaald).

Informatie over de ligging van het maaiveld, de grondwaterstand en de buis wordt getoond in de sondering.



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: Doorsneden

Met de muis kan over elk punt in de sondering worden geanalyseerd wat de sonderingsresultaten zijn.





# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: Doorsneden

Bij elke doorsnede kan gekozen worden om te gaan rekenen met gereduceerde grondbelasting. De gebruiker beslist of hier gebruik gemaakt moet worden (of kan maken, want je mag niet overal gereduceerde grondbelasting toepassen!).

Gereduceerde grondbelasting	Verkeersbelasting	Horizontale steundruk
Geen	Grafie...	<input type="checkbox"/>
Homogeen (	Grafie...	<input type="checkbox"/>

Gereduceerde grondbelasting

Type Homogeen (samendrukbaar)

Dikte samendrukbaar grondmassief [m] 15,00

Samendrukkingsconstante [-] 15,00

Relatieve verplaatsing [mm] 6,00

Tabel grondgegevens

Gereduceerde grondbelasting	Verkeersbelasting	Horizontale steundruk
Geen	Grafiek I	<input type="checkbox"/>
Homogeen (z	Grafiek I	<input type="checkbox"/>

Gereduceerde grondbelasting

Type Homogeen (zand)

Gereduceerde grondbelasting	Verkeersbelasting	Horizontale steundruk
Geen	Grafiek I	<input type="checkbox"/>
Gelaagd	Grafiek I	<input type="checkbox"/>

Gereduceerde grondbelasting

Type Gelaagd

Dekking pleistoceen [m] 8,00

Gewicht nat, pleistoceen [m] 21,00

Tabel grondgegevens





Uitgangspunt bij onze berekeningen: goede inzichtelijkheid. Makkelijk bladeren of inzoomen in de printuitvoer.

- Geen verborgen parameters.
- Bij elke doorsnede is precies te zien wat de spanningen zijn.
- De trekkrachtberekening is zeer helder en daardoor goed te analyseren.



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: De resultaten

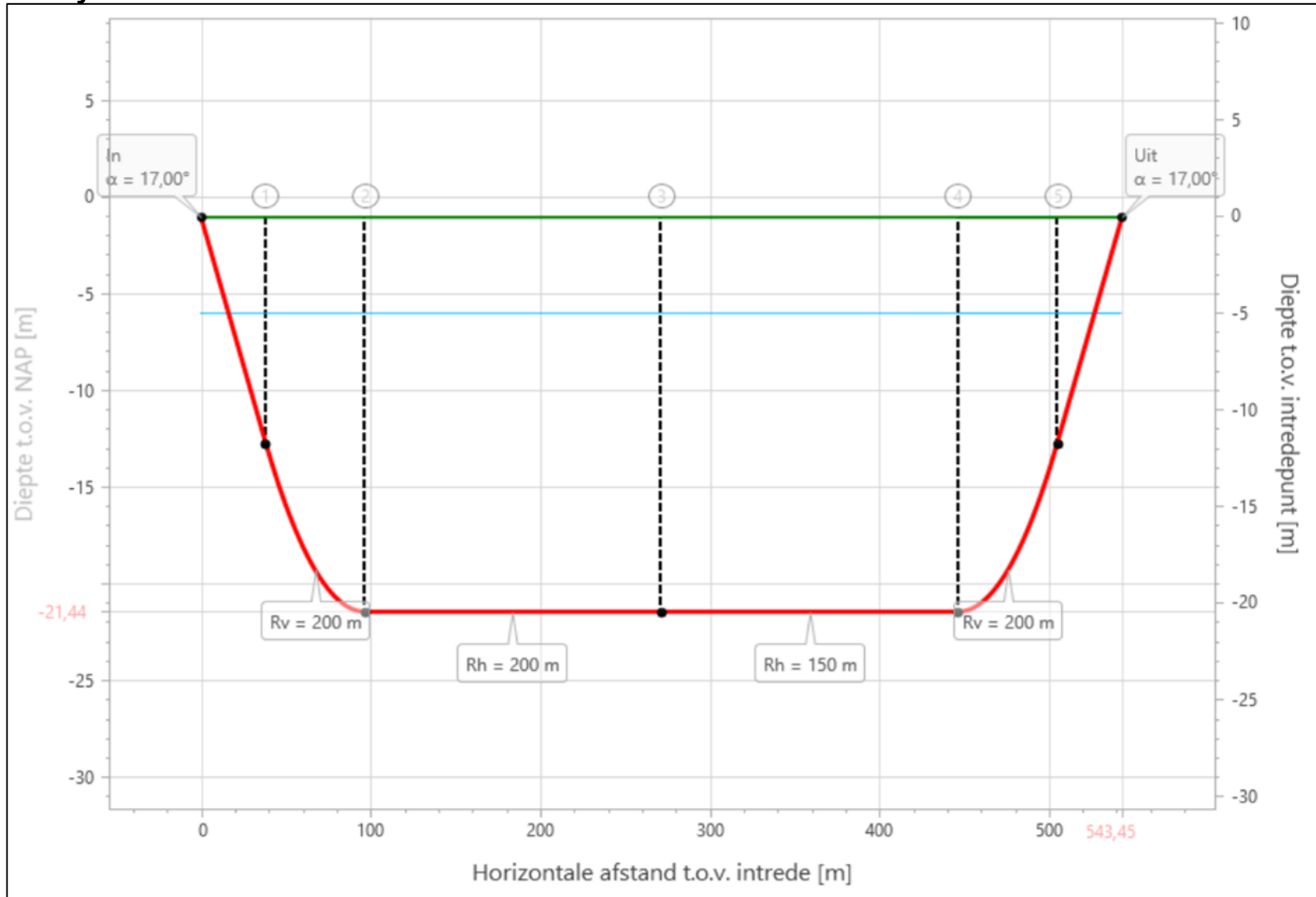
Duidelijk overzicht met alle bochten.

Beschrijving	Lengte langs buis [m]	Horizontale lengte [m]	Cumulative lengte langs buis [m]	Cumulative horizontale lengte [m]	Verticale straal [m]	Horizontale straal [m]
A	40,00	38,25	40,00	38,25	-	-
B	59,34	58,47	99,34	96,73	200,00	-
C1	175,00	175,00	274,34	271,73	-	200,00
C2	175,00	175,00	449,34	446,73	-	150,00
D	59,34	58,47	508,68	505,20	200,00	-
E	40,00	38,25	548,68	543,45	-	-



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: De resultaten

Duidelijk overzicht met alle bochten.



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: De resultaten

## 5.1 Berekening van de vereiste trekkracht $T_2$ en $T_{3a}$ in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof/boorgangwand

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof.

100% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet.

Hieruit volgt:  $D_{e,omtrek} = 1.413,72 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat  $g_{gat} = 0,503 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof:  $g_{opw} = \rho_{m,i} \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 450,00^2 \cdot \pi/4 = 1,829 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is  $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 1,326 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht $T_2$ en $T_{3a}$ tijdens verschillende stadia [N]	$L_2 / L_b$ [m]	$T_2$ [N] ( $f = 1,4$ )	$T_{3a}$ [N] ( $f = 1,4$ )	$T_2$ [N] ( $f = 1$ )	$T_{3a}$ [N] ( $f = 1$ )
Na intrekken van E	548,68	<b>18.808</b>	-	<b>13.435</b>	-
Na intrekken van D	508,68	-	<b>46.711</b>	-	<b>33.365</b>
Na intrekken van C2	449,34	-	<b>128.997</b>	-	<b>92.141</b>
Na intrekken van C1	274,34	-	<b>211.284</b>	-	<b>150.917</b>
Na intrekken van B	99,34	-	<b>239.186</b>	-	<b>170.847</b>
Na intrekken van A	40,00	<b>257.994</b>	-	<b>184.282</b>	-

Rechte delen:  $T_2 = f \cdot L_2 \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = f \cdot L_2 \cdot (1.413,72 \cdot 0,00005 + 1,326 \cdot 0,2)$

Gebogen delen:  $T_{3a} = f \cdot L_b \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = f \cdot L_b \cdot (1.413,72 \cdot 0,00005 + 1,326 \cdot 0,2)$

Duidelijk overzicht met trekkrachten tijdens intrekken.



## 5.2 Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding $\lambda$ en beddingsconstanten in de bochten $k_v$

Leidingdeel (Doorsnede)	$E_{100, \text{norm}}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\nu$ [-]	$\ell$ [mm]	$m$ [-]	$\lambda$ [mm <sup>-1</sup> ]	$k_v$ [N/mm <sup>3</sup> ]
D (4)	3,86	0,4115	4.492,7	0,72	0,00070	0,00231
D (5)	2,79	0,4115	4.492,7	0,72	0,00070	0,00231
C2 (3)	3,86	0,4115	4.492,7	0,72	0,00070	0,00231
C2 (4)	3,86	0,4115	4.492,7	0,72	0,00070	0,00231
C1 (2)	3,86	0,4115	4.492,7	0,72	0,00070	0,00231
C1 (3)	3,86	0,4115	4.492,7	0,72	0,00070	0,00231
B (1)	2,79	0,4115	4.492,7	0,72	0,00070	0,00231
B (2)	3,86	0,4115	4.492,7	0,72	0,00070	0,00231

$$E_{100, \text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,5} \quad (\text{Zand/Leem/Grind}) \quad \text{of} \quad E_{100, \text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,8} \quad (\text{Veen/Klei})$$

$$K = 1 - \sin(\phi) \quad \nu = \frac{K}{1 + K}$$

$$\ell = \frac{\pi}{\lambda} \quad A = \ell \cdot b \quad b = \beta \cdot r_e = 120^\circ \cdot 225 = 471,24 \text{ mm}$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_v}{4 \cdot E \cdot I_b}}$$

$$k_v = \frac{E_{100, \text{norm}}}{m \cdot (1 - \nu^2) \cdot \sqrt{A}} \quad (\text{m volgens tabel C.5 NEN3650-1 C.4.3.3c})$$

Berekening beddingsconstanten in de bochten is grondsoortafhankelijk.



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: De resultaten

## 5.6 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Wanneer een totaalfactor van  $f=1,4$  wordt toegepast gelden de volgende waarden voor de trekkrachten.

Trekkracht $T_{tot}$ tijdens verschillende stadia [N]	$T_1$ [N]	$T_2$ [N]	$T_{3a}$ [N]	$\Sigma T_{3b}$ [N]	$\Sigma T_{3c}$ [N]	$T_{tot}$ [N]	$T_{tot}$ [ton]
Na intrekken van E	107.487	18.808	-	-	-	<b>126.295</b>	<b>12,63</b>
Na intrekken van D	94.948	-	46.711	2.390	8.517	<b>152.565</b>	<b>15,26</b>
Na intrekken van C2	57.969	-	128.997	5.578	50.939	<b>243.483</b>	<b>24,35</b>
Na intrekken van C1	20.991	-	211.284	7.968	91.653	<b>331.896</b>	<b>33,19</b>
Na intrekken van B	8.452	-	239.186	10.359	106.906	<b>364.903</b>	<b>36,49</b>
Na intrekken van A	0	257.994	-	10.359	106.906	<b>375.259</b>	<b>37,53</b>

Gebruiker kan precies zien hoe de trekkrachten verlopen. Trekkrachten zijn ook in tonnen vermeld. Resultaat per bochtgedeelte wordt getoond.



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: De resultaten

## 5.7 Karakteristieke waarden van de benodigde trekkrachten in fase II

Wanneer geen totaalfactor wordt toegepast ( $f = 1$ ), gelden de volgende karakteristieke waarden voor de trekkrachten.

Trekkracht $T_{\text{tot}}$ tijdens verschillende stadia [N]	$T_1$ [N]	$T_2$ [N]	$T_{3a}$ [N]	$\Sigma T_{3b}$ [N]	$\Sigma T_{3c}$ [N]	$T_{\text{tot}}$ [N]	$T_{\text{tot}}$ [ton]
Na intrekken van E	76.776	13.435	-	-	-	<b>90.211</b>	<b>9,02</b>
Na intrekken van D	67.820	-	33.365	1.707	6.083	<b>108.975</b>	<b>10,90</b>
Na intrekken van C2	41.407	-	92.141	3.984	36.385	<b>173.916</b>	<b>17,39</b>
Na intrekken van C1	14.994	-	150.917	5.692	65.466	<b>237.068</b>	<b>23,71</b>
Na intrekken van B	6.037	-	170.847	7.399	76.362	<b>260.645</b>	<b>26,06</b>
Na intrekken van A	0	184.282	-	7.399	76.362	<b>268.042</b>	<b>26,80</b>

De maximale karakteristieke waarde voor de benodigde trekkracht bedraagt **268.042 N** ( $\approx$  **26,80 ton**).

De karakteristieke waarden kunnen gebruikt worden om te bepalen welke boormachine minimaal nodig is.





## 5.10 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{\text{tot}}$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Na intrekken van E	126.295	2,40	-	<b>2,40</b>
Na intrekken van D	152.565	2,90	1,71	<b>4,01</b>
Na intrekken van C2	243.483	4,62	2,27	<b>6,10</b>
Na intrekken van C1	331.896	6,30	1,71	<b>7,41</b>
Na intrekken van B	364.903	6,93	1,71	<b>8,04</b>
Na intrekken van A	375.259	7,12	-	<b>7,12</b>

Rechte delen:  $\sigma_a = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{52.681,37} = \sigma_t$

Gebogen delen:  $\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$

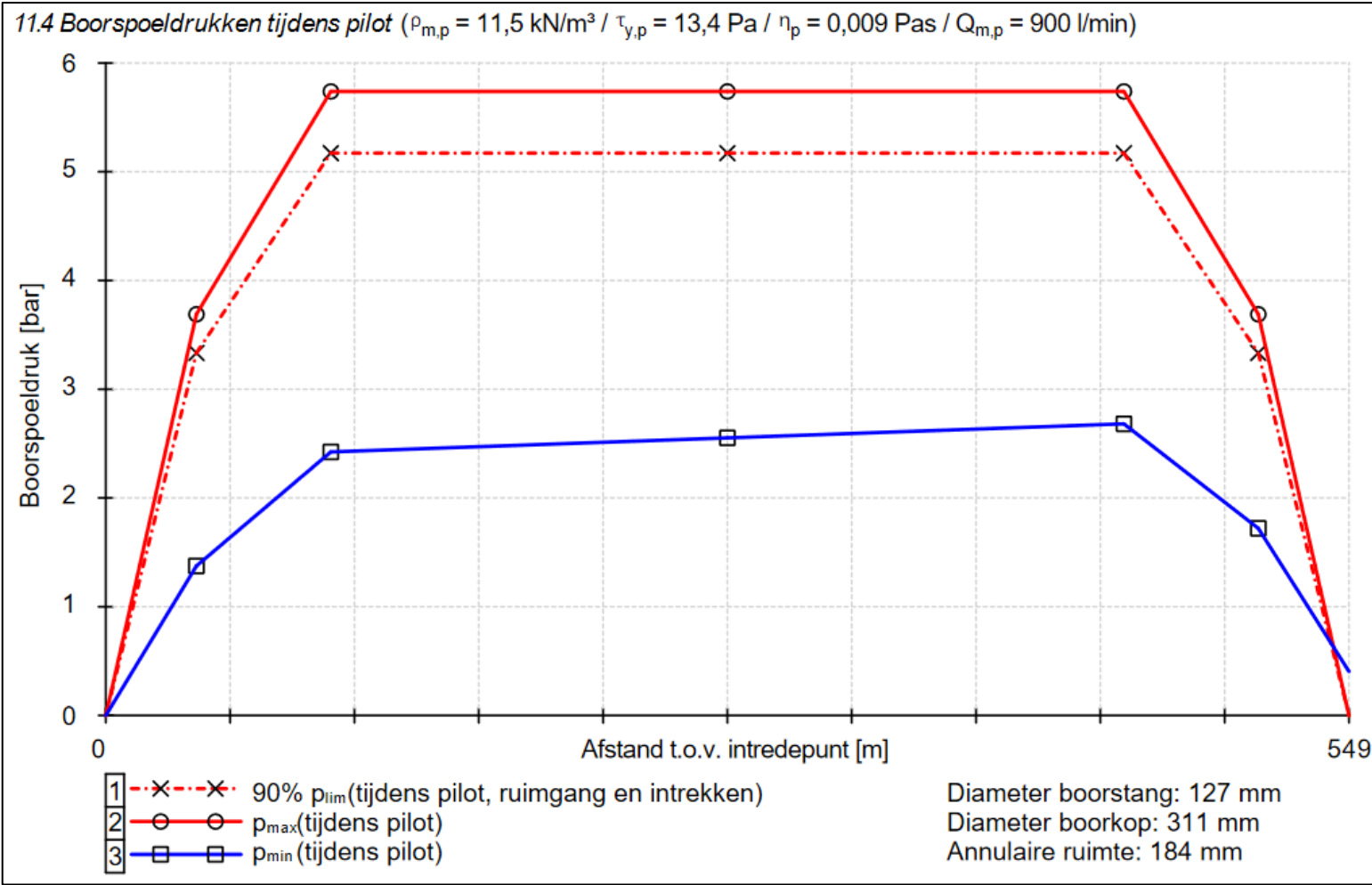
Toelaatbare spanning:  $\sigma_{kd} = \text{MRS} = \mathbf{10,00}$  N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_a \leq \sigma_{kd} \rightarrow 8,04 \leq 10,00 \rightarrow$  Voldoet

We vergelijken voortaan de maximaal optredende spanning met de toelaatbare spanning. Dit geeft de gebruiker gelijk inzicht of de boring mogelijk is.



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: De resultaten



Boorspoeldrukken met alle invoer worden in een overzicht getoond voor elke fase (pilot, ruimen en intrekken).



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: De resultaten

## 11.1 Tijdens pilot

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	$\Delta h_{in}$ [m]	$p_{max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{max}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2</span>	$p_{min}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{min}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</span>
1	5,85	11,69	0,37	<b>3,69</b>	0,14	<b>1,37</b>
2	10,22	20,43	0,57	<b>5,74</b>	0,24	<b>2,42</b>
3	10,22	20,43	0,57	<b>5,74</b>	0,26	<b>2,55</b>
4	10,22	20,44	0,57	<b>5,74</b>	0,27	<b>2,68</b>
5	5,85	11,70	0,37	<b>3,69</b>	0,17	<b>1,72</b>

$$R_{p,max} = \frac{H}{2}, R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \epsilon_{g,max}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$R_o = \frac{D_p}{2} = \frac{311}{2} = 155,5 \text{ mm}$$

$$p_{max} = (p'_f + c \cdot \cot(\phi)) \cdot \left( \frac{R_o^2}{R_{p,max}} + Q \right)^{\frac{-\sin \phi}{1 + \sin \phi}} - c \cdot \cot(\phi) + u$$

$$v_{m,p} = \frac{Q_{m,p}}{A_p} = \frac{900}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{900}{1/4 \cdot \pi \cdot (311^2 - 127^2)} = 0,237 \text{ m/s}$$

$$p_{min} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_p \cdot v_{m,p}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,p}}{(D_p - D_b)} \right) \cdot L + \rho_{m,p} \cdot \Delta h_{in} = \left( \frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,237}{(311 - 127)^2} + \frac{13,4}{(311 - 127)} \right) \cdot L + 11,5 \cdot \Delta h_{in}$$

We laten zien hoe we dit allemaal berekenen.



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: De resultaten

## 9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	$\sigma_q$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{qr}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_\sigma$ [-]	$\sigma_{y2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	6,50	0,063	0,65	<b>4,26</b>
2	9,60	0,063	0,65	<b>6,28</b>
3	9,60	0,084	0,65	<b>6,29</b>
4	9,60	0,084	0,65	<b>6,29</b>
5	6,50	0,063	0,65	<b>4,26</b>

Rechte delen:  $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$

Bochten:  $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = 8,00$  N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_{y2} \leq \sigma_{ld} \rightarrow 6,29 \leq 8,00 \rightarrow$  Voldoet

## 9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	$\sigma_{pl}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{ax}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_\sigma$ [-]	$\sigma_x$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	0,60	1,56	1,71	0,65	<b>3,27</b>
2	0,60	1,56	1,71	0,65	<b>3,27</b>
3	0,60	1,56	2,27	0,65	<b>3,64</b>
4	0,60	1,56	2,27	0,65	<b>3,64</b>
5	0,60	1,56	1,71	0,65	<b>3,27</b>

Rechte delen:  $\sigma_x = \sigma_{pl} + \sigma_{ax}$

Bochten:  $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_A \cdot \sigma_b + \sigma_{ax}$

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = 8,00$  N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_{y2} \leq \sigma_{ld} \rightarrow 3,64 \leq 8,00 \rightarrow$  Voldoet

Duidelijke overzichten van optredende en toelaatbare spanningen



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: Aanschafkosten

Aantal gebruikers	1 jaar	2 jaar	3 jaar
Single user	€ 1.300,-	€ 2.210,-	€ 2.925,-
Multi user (3 users)	€ 1.700,-	€ 2.890,-	€ 3.825,-
Multi user (6 users)	€ 2.000,-	€ 3.400,-	€ 4.500,-
Multi user (10 users)	€ 2.300,-	€ 3.910,-	€ 5.175,-
Multi user (15 users)	€ 2.600,-	€ 4.420,-	€ 5.850,-
Multi user (20 users)	€ 2.900,-	€ 4.930,-	€ 6.525,-
Multi user (25 users)	€ 3.200,-	€ 5.400,-	€ 7.200,-
Multi user (30 users)	€ 3.500,-	€ 5.950,-	€ 7.875,-

Abonnementstarieven:

Bij 2 jaar abonnement  
15% korting.

Bij 3 jaar abonnement  
25% korting.

Helpdesk 250 Euro per  
bedrijf per jaar.

Bedragen excl. BTW



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: Cursuskosten

Adviesbureau Schrijvers verzorgt meerdere cursussen. De [driedaagse cursus Sigma en NEN normen 3650 / 3651](#) wordt regelmatig gegeven. De locatie is afhankelijk van de reistijden van de deelnemers. Uiteraard wordt met Sigma 2024 gewerkt.

Ook kunt u zich opgeven voor de driedaagse praktijkgerichte cursus No-Dig Ontwerp en uitvoering. Bij deze cursus bespreken we ook de Richtlijn Boortechiek van Rijkswaterstaat en de voorschriften van ProRail: [driedaagse cursus No-Dig Ontwerp en uitvoering](#). Combinatie van beide cursussen is mogelijk.

## **Tarieven (excl. BTW) per persoon**

Op een locatie waar deelnemers naar toe moeten komen:

Eendaagse cursus: 590 Euro

Tweedaagse cursus: 990 Euro

Driedaagse cursus: 1390 Euro

Indien de cursus in-company gegeven kan worden zijn de tarieven als volgt:

Eendaagse cursus: 575 Euro

Tweedaagse cursus: 950 Euro

Driedaagse cursus: 1290 Euro



# Ontwerpen van een HDD met Sigma 2024: Opmerkingen?

Sigma 2024. Vragen of opmerkingen? Wensen? Laat het weten.



Bellen: 06 204 278 34

Mailen: [info@schrijvers.nl](mailto:info@schrijvers.nl)

Postadres: Hockeypad 41 | 3223EE | Hellevoetsluis



Sigma 2024. Voorbeeld van een berekening van een HDD.







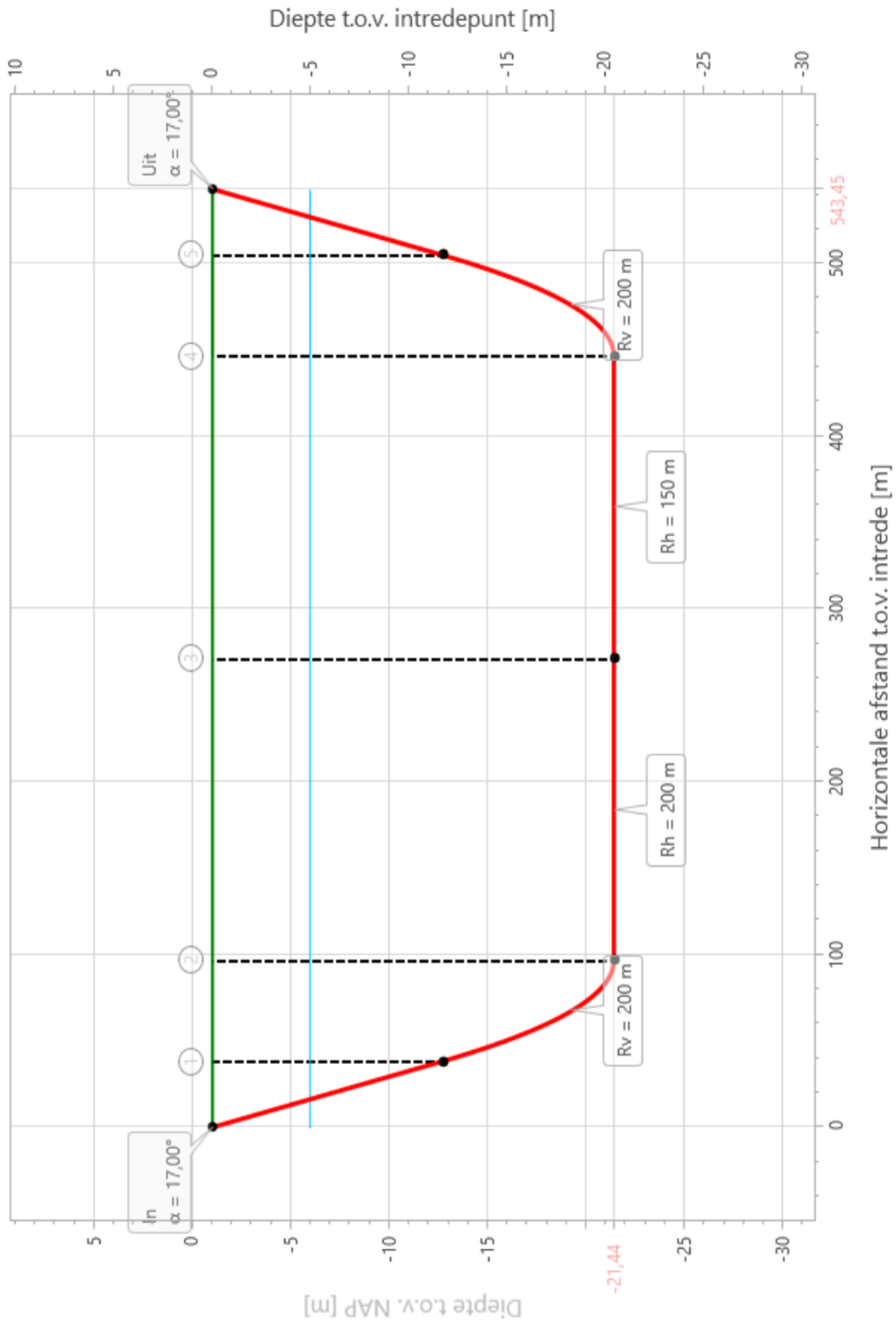
Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020				Sigma 2024 1.0 ©		
<b>Algemene gegevens</b>						
Naam van het project : Berekenen horizontaal gestuurde boring met Sigma 2024						
Projectonderdeel : Sterkteberekening en boorspoeldrukberekening Ø450 mm PE SDR 11						
<b>Materiaalgegevens</b>						
Materiaalsoort:	PE					
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11					
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm <sup>2</sup>			
Materiaalfactor	$\gamma_M$	= 1,25	-			
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm <sup>2</sup>			
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm <sup>2</sup>			
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm <sup>2</sup>			
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	$\alpha_g$	= 16,0·10 <sup>-5</sup>	mm/(mm·K)			
Alfa Tangentieel / Alfa Axiaal	$\alpha_\sigma$	= 0,65	-			
Soortelijk gewicht buis	$\rho_L$	= 9,55	kN/m <sup>3</sup>			
Toelaatbare deflectie	$\delta$	= 8,00	%			
<b>Leidinggegevens</b>						
Uitwendige middellijn	D <sub>e</sub>	= 450,00	mm			
Wanddikte	d <sub>n</sub>	= 41	mm			
<b>Procesgegevens</b>						
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)	= Vloeistof					
Ontwerpdruk	p <sub>d</sub>	= 0,3	N/mm <sup>2</sup>			
Volumieke massa medium	$\rho$	= 1000	kg/m <sup>3</sup>			
Temperatuurverschil	$\Delta t$	= 10	°			
<b>Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken</b>						
Totale lengte	L	= 548,68	m			
Totale horizontale lengte	L <sub>hor</sub>	= 543,45	m			
Straal maaiveld/rollenbaan	R <sub>r</sub>	= 100,00	m			
Intredehoek (bij boorstelling)	$\alpha_1$	= 17,00 / 30,57	° / %			
Uittredehoek (bij rollenbaan)	$\alpha_2$	= 17,00 / 30,57	° / %			
Belastinghoek	$\alpha$	= 180	°			
Ondersteuningshoek	$\beta$	= 120	°			
Horizontale steundrukhoek	$\gamma$	= 120	°			
MV intrede t.o.v. NAP	MV <sub>in</sub>	= -1,00	m			
MV uittrede t.o.v. NAP	MV <sub>uit</sub>	= -1,00	m			
Beschrijving	Lengte langs buis [m]	Horizontale lengte [m]	Cummulatieve lengte langs buis [m]	Cummulatieve horizontale lengte [m]	Verticale straal [m]	Horizontale straal [m]
A	40,00	38,25	40,00	38,25	-	-
B	59,34	58,47	99,34	96,73	200,00	-
C1	175,00	175,00	274,34	271,73	-	200,00
C2	175,00	175,00	449,34	446,73	-	150,00
D	59,34	58,47	508,68	505,20	200,00	-
E	40,00	38,25	548,68	543,45	-	-
					20-04-2024 10:21:30	



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020					Sigma 2024 1.0 ©		
Uitvoeringsaspecten							
Diameter boorstang		$D_b$	= 127	mm			
<i>Tijdens pilot</i>							
Diameter boorkop/boorgat		$D_p$	= 311	mm			
Soortelijk gewicht boorvloeistof		$\rho_{m,p}$	= 11,5	kN/m <sup>3</sup>			
Zwichtspanning boorvloeistof		$\tau_{y,p}$	= 13,4	Pa			
Plastische viscositeit boorvloeistof		$\eta_p$	= 0,009	Pa·s			
Debiet boorvloeistof		$Q_{m,p}$	= 900	l/min			
<i>Tijdens ruimgang</i>							
Boorstangen koppelen tijden ruimen							
Diameter ruimer/boorgat		$D_{g,r}$	= 406,4	mm			
Soortelijk gewicht boorvloeistof		$\rho_{m,r}$	= 11,5	kN/m <sup>3</sup>			
Zwichtspanning boorvloeistof		$\tau_{y,r}$	= 13,4	Pa			
Plastische viscositeit boorvloeistof		$\eta_r$	= 0,009	Pa·s			
Debiet boorvloeistof		$Q_{m,r}$	= 2000	l/min			
<i>Tijdens intrekken</i>							
Gecombineerd ruimen/intrekken							
Diameter ruimer/boorgat		$D_{g,i}$	= 675	mm			
Soortelijk gewicht boorvloeistof		$\rho_{m,i}$	= 11,5	kN/m <sup>3</sup>			
Zwichtspanning boorvloeistof		$\tau_{y,i}$	= 13,4	Pa			
Plastische viscositeit boorvloeistof		$\eta_i$	= 0,009	Pa·s			
Debiet boorvloeistof		$Q_{m,i}$	= 1400	l/min			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan							
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang							
Onzekerheids- en wrijvingsfactoren							
Totaalfactor bij normale boring		$f$	= 1,4				
Belastingfactor, bovengronds		$f_{k,b}$	= 1,1				
Belastingfactor, ondergronds		$f_{k,o}$	= 1,4				
Onzekerheidsfactor straal, ondergronds		$f_{r,o}$	= 0,9				
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan		$f_1$	= 0,3				
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof		$f_2$	= 0,00005	N/mm <sup>2</sup>			
Wrijving tussen leiding/boorgangwand		$f_3$	= 0,2				
Partiële factor grondbelasting		$\gamma$	= 1,1				
Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting							
Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m <sup>3</sup> ]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m <sup>3</sup> ]	Wrijvingshoek grond [°]
1	40,00	11,69	5,00	Klei	17,00	17,00	17,50
2	99,34	20,43	5,00	Klei	17,00	17,00	17,50
3	274,34	20,43	5,00	Klei	17,00	17,00	17,50
4	449,34	20,43	5,00	Klei	17,00	17,00	17,50
5	508,68	11,69	5,00	Klei	17,00	17,00	17,50
					20-04-2024 10:21:30		



Locatie	Effectieve cohesie [kN/m <sup>2</sup> ]	E-modulus ondergrond [MN/m <sup>2</sup> ]	Verkeersbelasting
1	5,00	2,00	Grafiek I
2	5,00	2,00	Grafiek I
3	5,00	2,00	Grafiek I
4	5,00	2,00	Grafiek I
5	5,00	2,00	Grafiek I



\* Niet op schaal



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2024 1.0 ©
---	------------------

## 2. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 368,00	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 409,00	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 450,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 225,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 184,00	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 204,50	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 1.112.643.645,78	mm <sup>4</sup>
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 4.945.082,87	mm <sup>3</sup>
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 5.743,42	mm <sup>4</sup> /mm <sup>1</sup>
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 280,17	mm <sup>3</sup> /mm <sup>1</sup>
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 52.681,37	mm <sup>2</sup>
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,5031	N/mm <sup>1</sup>

## 3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding

	<i>Leiding op rollenbaan/maaiveld</i>		<i>Leiding in boorgat</i>	
Gewicht mediumleiding	g	= 0,5031 N/mm <sup>1</sup>	g	= 0,5031 N/mm <sup>1</sup>
Gewicht vulling	g <sub>vul</sub>	= N.v.t. +	g <sub>vul</sub>	= N.v.t. +
Totaal gewicht	g <sub>rol</sub>	= 0,5031 N/mm <sup>1</sup>	g <sub>gat</sub>	= 0,5031 N/mm <sup>1</sup>

## 4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds

### 4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Trekkracht T <sub>1</sub> tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T <sub>1</sub> [N] (f = 1,4)	T <sub>1</sub> [N] (f = 1)
Starten met trekken	548,68	<b>115.939</b>	<b>82.813</b>
Na intrekken van E	508,68	<b>107.487</b>	<b>76.776</b>
Na intrekken van D	449,34	<b>94.948</b>	<b>67.820</b>
Na intrekken van C2	274,34	<b>57.969</b>	<b>41.407</b>
Na intrekken van C1	99,34	<b>20.991</b>	<b>14.994</b>
Na intrekken van B	40,00	<b>8.452</b>	<b>6.037</b>

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = f \cdot L \cdot 0,5031 \cdot 0,3$$

### 4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	T <sub>1</sub> [N] (f = 1,4)	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Starten met trekken	115.939	<b>2,20</b>
Na intrekken van E	107.487	<b>2,04</b>
Na intrekken van D	94.948	<b>1,80</b>
Na intrekken van C2	57.969	<b>1,10</b>
Na intrekken van C1	20.991	<b>0,40</b>
Na intrekken van B	8.452	<b>0,16</b>

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{52.681,37}$$



4.3 Berekening van de optredende spanning t.g.v. kromming van de leiding op rollenbaan/maaiveld

$$M_b = f_{k,b} \cdot E \cdot \frac{I_b}{R_r}$$

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{1.112.643.646}{100.000} = 11.933.103,10 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{11.933.103,10}{4.945.083} = 2,41 \text{ N/mm}^2$$

4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Starten met trekken	2,20	<b>3,77</b>
Na intrekken van E	2,04	<b>3,61</b>
Na intrekken van D	1,80	<b>3,37</b>
Na intrekken van C2	1,10	<b>2,67</b>
Na intrekken van C1	0,40	<b>1,97</b>
Na intrekken van B	0,16	<b>1,73</b>

$$\sigma_a = \alpha_\sigma \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 2,41 + \sigma_t$$

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{kd} = MRS = 10,00 \text{ N/mm}^2$

$$\sigma_a \leq \sigma_{kd} \rightarrow 3,77 \leq 10,00 \rightarrow \text{Voldoet}$$



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2024 1.0 ©

### 5. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat

#### 5.1 Berekening van de vereiste trekkracht $T_2$ en $T_{3a}$ in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof/boorgangwand

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof.

100% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet.

Hieruit volgt:  $D_{e,omtrek} = 1.413,72 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat  $g_{gat} = 0,503 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof:  $g_{opw} = \rho_{m,i} \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 450,00^2 \cdot \pi/4 = 1,829 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is  $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 1,326 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht $T_2$ en $T_{3a}$ tijdens verschillende stadia [N]	$L_2 / L_b$ [m]	$T_2$ [N] ( $f = 1,4$ )	$T_{3a}$ [N] ( $f = 1,4$ )	$T_2$ [N] ( $f = 1$ )	$T_{3a}$ [N] ( $f = 1$ )
Na intrekken van E	548,68	<b>18.808</b>	-	<b>13.435</b>	-
Na intrekken van D	508,68	-	<b>46.711</b>	-	<b>33.365</b>
Na intrekken van C2	449,34	-	<b>128.997</b>	-	<b>92.141</b>
Na intrekken van C1	274,34	-	<b>211.284</b>	-	<b>150.917</b>
Na intrekken van B	99,34	-	<b>239.186</b>	-	<b>170.847</b>
Na intrekken van A	40,00	<b>257.994</b>	-	<b>184.282</b>	-

Rechte delen:  $T_2 = f \cdot L_2 \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = f \cdot L_2 \cdot (1.413,72 \cdot 0,00005 + 1,326 \cdot 0,2)$

Gebogen delen:  $T_{3a} = f \cdot L_b \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = f \cdot L_b \cdot (1.413,72 \cdot 0,00005 + 1,326 \cdot 0,2)$

#### 5.2 Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding $l$ en beddingsconstanten in de bochten $k_v$

Leidingdeel (Doorsnede)	$E_{100,norm}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\nu$ [-]	$l$ [mm]	$m$ [-]	$\lambda$ [mm <sup>-1</sup> ]	$k_v$ [N/mm <sup>3</sup> ]
D (4)	3,86	0,4115	4.492,7	0,72	0,00070	0,00231
D (5)	2,79	0,4115	4.492,7	0,72	0,00070	0,00231
C2 (3)	3,86	0,4115	4.492,7	0,72	0,00070	0,00231
C2 (4)	3,86	0,4115	4.492,7	0,72	0,00070	0,00231
C1 (2)	3,86	0,4115	4.492,7	0,72	0,00070	0,00231
C1 (3)	3,86	0,4115	4.492,7	0,72	0,00070	0,00231
B (1)	2,79	0,4115	4.492,7	0,72	0,00070	0,00231
B (2)	3,86	0,4115	4.492,7	0,72	0,00070	0,00231

$E_{100,norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,5}$  (Zand/Leem/Grind) of  $E_{100,norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,8}$  (Veen/Klei)

$$K = 1 - \sin(\varphi) \quad \nu = \frac{K}{1 + K}$$

$$l = \frac{\pi}{\lambda} \quad A = l \cdot b \quad b = \beta \cdot r_e = 120^\circ \cdot 225 = 471,24 \text{ mm}$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_v}{4 \cdot E \cdot l_b}}$$

$$k_v = \frac{E_{100,norm}}{m \cdot (1 - \nu^2) \cdot \sqrt{A}} \quad (\text{m volgens tabel C.5 NEN3650-1 C.4.3.3c})$$



5.3 Berekening van de vereiste trekkraft  $T_{3b}$  in verband met wrijving door grondreactie in de bochten

Leidingdeel (Doorsnede)	$R_v$ [m]	$R_h$ [m]	$q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$Q_r$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$T_{3b}$ [N] ( $f = 1,4$ )	$T_{3b}$ [N] ( $f = 1$ )
D (4)	200,00	-	0,0021	0,95	<b>2.390</b>	<b>1.707</b>
D (5)	200,00	-	0,0021	0,95	<b>2.390</b>	<b>1.707</b>
C2 (3)	-	150,00	0,0028	1,27	<b>3.187</b>	<b>2.277</b>
C2 (4)	-	150,00	0,0028	1,27	<b>3.187</b>	<b>2.277</b>
C1 (2)	-	200,00	0,0021	0,95	<b>2.390</b>	<b>1.707</b>
C1 (3)	-	200,00	0,0021	0,95	<b>2.390</b>	<b>1.707</b>
B (1)	200,00	-	0,0021	0,95	<b>2.390</b>	<b>1.707</b>
B (2)	200,00	-	0,0021	0,95	<b>2.390</b>	<b>1.707</b>

$$q_r = e^{(-\pi/4)} \cdot \sin(\pi/4) \cdot \frac{\lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot f_{r,0} \cdot R} = 0,322 \cdot \frac{\lambda^2 \cdot 975 \cdot 1.112.643.645,78}{450 \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$Q_r = q_r \cdot D_o = q_r \cdot 450$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = f \cdot 4 \cdot \frac{q_r}{2} \cdot 450 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

5.4 Trekkraft  $T_{bocht}$  tijdens verschillende stadia

Trekkraft $T_{bocht}$ tijdens verschillende stadia [N]	$T_1$ [N] ( $f = 1$ )	$T_2 / T_{3a}$ [N] ( $f = 1$ )	$T_{3b,max}$ [N] ( $f = 1$ )	$\Sigma T_{3b}$ [N] ( $f = 1$ )	$T_{bocht}$ [N]
D	67.820	33.365	1.707	1.707	<b>102.892</b>
C2	41.407	92.141	2.277	3.984	<b>137.532</b>
C1	14.994	150.917	1.707	5.692	<b>171.602</b>
B	6.037	170.847	1.707	7.399	<b>184.283</b>

$$T_{bocht} = T_1 + T_2 + T_{3a} + \Sigma T_{3b}$$

5.5 Berekening van de wrijving door bochtkracht  $T_{3c}$

Trekkraft $T_{3c}$ tijdens verschillende stadia [N]	$\alpha$ [°]	$T_{bocht}$ [N]	$T_{3c}$ [N] ( $f = 1,4$ )	$T_{3c}$ [N] ( $f = 1$ )
D	8,50	102.892	<b>8.517</b>	<b>6.083</b>
C2	33,42	137.532	<b>42.422</b>	<b>30.301</b>
C1	25,07	171.602	<b>40.714</b>	<b>29.081</b>
B	8,50	184.283	<b>15.253</b>	<b>10.895</b>

$$T_{3c} = f \cdot L_B \cdot g_t \cdot f_3$$

$$L_B = 2 \cdot R \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha}{360}$$

$$g_t = \frac{2 \cdot T_{bocht} \cdot \sin(\alpha)}{L_B}$$

$$T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{bocht} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = f \cdot 2 \cdot T_{bocht} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$





**5.6 Totalisatie van de trekkrachten in fase II**

Wanneer een totaalfactor van  $f=1,4$  wordt toegepast gelden de volgende waarden voor de trekkrachten.

Trekkracht $T_{tot}$ tijdens verschillende stadia [N]	$T_1$ [N]	$T_2$ [N]	$T_{3a}$ [N]	$\Sigma T_{3b}$ [N]	$\Sigma T_{3c}$ [N]	$T_{tot}$ [N]	$T_{tot}$ [ton]
Na intrekken van E	107.487	18.808	-	-	-	<b>126.295</b>	<b>12,63</b>
Na intrekken van D	94.948	-	46.711	2.390	8.517	<b>152.565</b>	<b>15,26</b>
Na intrekken van C2	57.969	-	128.997	5.578	50.939	<b>243.483</b>	<b>24,35</b>
Na intrekken van C1	20.991	-	211.284	7.968	91.653	<b>331.896</b>	<b>33,19</b>
Na intrekken van B	8.452	-	239.186	10.359	106.906	<b>364.903</b>	<b>36,49</b>
Na intrekken van A	0	257.994	-	10.359	106.906	<b>375.259</b>	<b>37,53</b>

$$T_{tot} = T_1 + T_2 + T_{3a} + \Sigma T_{3b} + \Sigma T_{3c}$$

**5.7 Karakteristieke waarden van de benodigde trekkrachten in fase II**

Wanneer geen totaalfactor wordt toegepast ( $f = 1$ ), gelden de volgende karakteristieke waarden voor de trekkrachten.

Trekkracht $T_{tot}$ tijdens verschillende stadia [N]	$T_1$ [N]	$T_2$ [N]	$T_{3a}$ [N]	$\Sigma T_{3b}$ [N]	$\Sigma T_{3c}$ [N]	$T_{tot}$ [N]	$T_{tot}$ [ton]
Na intrekken van E	76.776	13.435	-	-	-	<b>90.211</b>	<b>9,02</b>
Na intrekken van D	67.820	-	33.365	1.707	6.083	<b>108.975</b>	<b>10,90</b>
Na intrekken van C2	41.407	-	92.141	3.984	36.385	<b>173.916</b>	<b>17,39</b>
Na intrekken van C1	14.994	-	150.917	5.692	65.466	<b>237.068</b>	<b>23,71</b>
Na intrekken van B	6.037	-	170.847	7.399	76.362	<b>260.645</b>	<b>26,06</b>
Na intrekken van A	0	184.282	-	7.399	76.362	<b>268.042</b>	<b>26,80</b>

De maximale karakteristieke waarde voor de benodigde trekkracht bedraagt **268.042 N (» 26,80 ton)**.

Volgens het voorschrift van de Drilling Contractors Association (DCA - Europe) wordt een boormachine voorgeschreven met een trekkracht 2 tot 3 keer deze maximale waarde.

**5.8 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten in fase II**

Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{tot}$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Na intrekken van E	126.295	<b>2,40</b>
Na intrekken van D	152.565	<b>2,90</b>
Na intrekken van C2	243.483	<b>4,62</b>
Na intrekken van C1	331.896	<b>6,30</b>
Na intrekken van B	364.903	<b>6,93</b>
Na intrekken van A	375.259	<b>7,12</b>

$$\sigma_t = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{52.681,37}$$



5.9 Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat

Trekkkracht $T_{3c}$ tijdens verschillende stadia [N]	R [m]	$M_b$ [Nmm]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]
D	200,00	8.437.547,65	<b>1,71</b>
C2	150,00	11.250.063,53	<b>2,27</b>
C1	200,00	8.437.547,65	<b>1,71</b>
B	200,00	8.437.547,65	<b>1,71</b>

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,o} \cdot R} = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{1.112.643.645,78}{0,9 \cdot R}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{M_b}{4.945.082,87}$$

5.10 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{tot}$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Na intrekken van E	126.295	2,40	-	<b>2,40</b>
Na intrekken van D	152.565	2,90	1,71	<b>4,01</b>
Na intrekken van C2	243.483	4,62	2,27	<b>6,10</b>
Na intrekken van C1	331.896	6,30	1,71	<b>7,41</b>
Na intrekken van B	364.903	6,93	1,71	<b>8,04</b>
Na intrekken van A	375.259	7,12	-	<b>7,12</b>

Rechte delen:  $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{52.681,37} = \sigma_t$

Gebogen delen:  $\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{kd} = MRS = 10,00$  N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_a \leq \sigma_{kd} \rightarrow 8,04 \leq 10,00 \rightarrow$  Voldoet



**6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase**

*6.1 Berekening van de spanningen  $s_p$  en  $s_{pl}$  t.g.v. inwendige druk*

$$D_g/d_n = 409,00/41,00 = 9,98 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow \text{Dikwandige leiding}$$

$$\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$$

$$\sigma_p = \frac{225,00^2 + 184,00^2}{225,00^2 - 184,00^2} \cdot 0,3 = 1,51 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{y1} = \sigma_p = 1,51 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 1,51 = 0,60 \text{ N/mm}^2$$

Toelaatbare spanning =  $\bar{\sigma}_t = 8,00 \text{ N/mm}^2$

$$\sigma_p \leq \bar{\sigma}_t \rightarrow 1,51 \leq 8,00 \rightarrow \text{Voldoet}$$

$$\sigma_{pl} \leq \bar{\sigma}_t \rightarrow 0,60 \leq 8,00 \rightarrow \text{Voldoet}$$

*6.2 Berekening reroundingfactor  $f_{rr}$*

$$f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w} \right)$$

$$f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 204,5^3 \cdot 0,089}{975 \cdot 5.743,42} \right) = 0,92$$

*6.3 Berekening van de neutrale grondbelasting  $Q_n$*

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	$q_{\text{droog}}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_{\text{nat}}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_n$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1	11,69	5,00	Klei	93,50	58,20	151,70	68,27
2	20,43	5,00	Klei	93,50	134,24	227,74	102,48
3	20,43	5,00	Klei	93,50	134,24	227,74	102,48
4	20,43	5,00	Klei	93,50	134,24	227,74	102,48
5	11,69	5,00	Klei	93,50	58,20	151,70	68,27

$$q_{\text{droog}} = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$$

$$q_{\text{nat}} = \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$Q_n = q_n \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot 450$$

*6.4 Berekening van de verkeersbelasting  $Q_v$*

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeersbelasting	$q_v$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1	11,69	Grafiek I	3,32	1,50
2	20,43	Grafiek I	1,26	0,57
3	20,43	Grafiek I	1,26	0,57
4	20,43	Grafiek I	1,26	0,57
5	11,69	Grafiek I	3,32	1,50

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 450$$



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2024 1.0 ©

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_{\text{boven}}$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$M_q$ [Nmm]	$\sigma_q$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	68,27	1,50	69,76	1.968,76	<b>6,50</b>
2	102,48	0,57	103,05	2.908,22	<b>9,60</b>
3	102,48	0,57	103,05	2.908,22	<b>9,60</b>
4	102,48	0,57	103,05	2.908,22	<b>9,60</b>
5	68,27	1,50	69,76	1.968,76	<b>6,50</b>

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,138 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 204,50$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 0,92 \cdot \frac{M_q}{280,17}$$

6.6 Optredende spanning  $s_{qr}$  tgv. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	$q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{qr}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	200,00	0,0021	0,063
2	200,00	0,0021	0,063
3	150,00	0,0028	0,084
4	150,00	0,0028	0,084
5	200,00	0,0021	0,063

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,083 \cdot q_r \cdot 450 \cdot \frac{225,00}{280,17}$$

6.7 Berekening van de spanning  $s_{ax}$  t.g.v. temperatuurverschil

$$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$$

$$\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,00016 \cdot 975 = \mathbf{1,56 \text{ N/mm}^2}$$

7. Toetsing op minimale ringstijfheid  $S_N$

$$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$$

$$S_N = 975 \cdot \frac{5.743,42}{409^3} = 0,0818 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,85 \text{ kN/m}^2}$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m<sup>2</sup>

8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

Veiligheidsfactor  $\gamma$  voor langdurige onderdruk:  $\gamma = 3$

Veiligheidsfactor  $\gamma$  voor kortdurende onderdruk:  $\gamma = 1,5$

$$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$$

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 5.743,42}{409,00^3} = 1,56 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 5.743,42}{409,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **27,98** m grondwater boven de leiding



## 9. Berekening van het totaal aan optredende spanningen

### 9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	$\sigma_q$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{qr}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_\sigma$ [-]	$\sigma_{y2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	6,50	0,063	0,65	<b>4,26</b>
2	9,60	0,063	0,65	<b>6,28</b>
3	9,60	0,084	0,65	<b>6,29</b>
4	9,60	0,084	0,65	<b>6,29</b>
5	6,50	0,063	0,65	<b>4,26</b>

Rechte delen:  $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$

Bochten:  $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = 8,00$  N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_{y2} \leq \sigma_{ld} \rightarrow 6,29 \leq 8,00 \rightarrow$  Voldoet

### 9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	$\sigma_{pl}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{ax}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_\sigma$ [-]	$\sigma_x$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	0,60	1,56	1,71	0,65	<b>3,27</b>
2	0,60	1,56	1,71	0,65	<b>3,27</b>
3	0,60	1,56	2,27	0,65	<b>3,64</b>
4	0,60	1,56	2,27	0,65	<b>3,64</b>
5	0,60	1,56	1,71	0,65	<b>3,27</b>

Rechte delen:  $\sigma_x = \sigma_{pl} + \sigma_{ax}$

Bochten:  $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_A \cdot \sigma_b + \sigma_{ax}$

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = 8,00$  N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_{y2} \leq \sigma_{ld} \rightarrow 3,64 \leq 8,00 \rightarrow$  Voldoet

## 10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_r$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$\delta_Y$ [mm]	$\delta_Y/D_g$ [%]
1	68,27	1,50	0,95	<b>6,63</b>	1,62
2	102,48	0,57	0,95	<b>9,87</b>	2,41
3	102,48	0,57	1,27	<b>9,87</b>	2,41
4	102,48	0,57	1,27	<b>9,87</b>	2,41
5	68,27	1,50	0,95	<b>6,63</b>	1,62

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 204,50^3}{350 \cdot 5.743,42}$$

Toelaatbare deflectie:  $\delta_{Y,max} = 8,00\% \cdot D_g = 0,08 \cdot 409,00 = 32,72$  mm

$\delta_Y \leq \delta_{Y,max} \rightarrow 9,87 \leq 32,72 \rightarrow$  Voldoet



**11. Berekening van de boorspoeldrukken**

Locatie	H [m]	$\sigma_{vert}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{hor}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_o'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$p'_f$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$E_{100,norm}$ [MN/m <sup>2</sup> ]
1	11,69	113,76	79,55	96,66	130,49	2,79
2	20,43	161,44	112,89	137,16	183,18	3,86
3	20,43	161,44	112,89	137,16	183,18	3,86
4	20,43	161,44	112,89	137,16	183,18	3,86
5	11,69	113,76	79,55	96,66	130,49	2,79

$$\sigma_{vert} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$\sigma_{hor} = \sigma_{vert} \cdot (1 - \sin(\varphi))$$

$$\sigma_o' = \frac{\sigma_{vert} + \sigma_{hor}}{2}$$

$$p'_f = \sigma_o' \cdot (1 + \sin(\varphi)) + c \cdot \cos(\varphi)$$

$$E_{100,norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^m \quad (\text{Zand/Leem/Grind} \rightarrow m = 0,5; \text{Veen/Klei} \rightarrow m = 0,8)$$

Locatie	G [MN/m <sup>2</sup> ]	Q [-]	u [N/mm <sup>2</sup> ]	v [-]	$p_{lim}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	90% $p_{lim}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1</span>
1	0,99	0,034	0,0669	0,4115	0,37	<b>3,33</b>
2	1,37	0,034	0,1543	0,4115	0,57	<b>5,17</b>
3	1,37	0,034	0,1543	0,4115	0,57	<b>5,17</b>
4	1,37	0,034	0,1543	0,4115	0,57	<b>5,17</b>
5	0,99	0,034	0,0669	0,4115	0,37	<b>3,33</b>

$$G = \frac{E_{100,norm}}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

$$Q = \frac{\sigma_o' \cdot \sin(\varphi) + c \cdot \cos(\varphi)}{G}$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$K = 1 - \sin(\varphi)$$

$$\nu = \frac{K}{1 + K}$$

$$p_{lim} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$



11.1 Tijdens pilot

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	$\Delta h_{in}$ [m]	$\rho_{max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\rho_{max}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2</span>	$\rho_{min}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\rho_{min}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</span>
1	5,85	11,69	0,37	<b>3,69</b>	0,14	<b>1,37</b>
2	10,22	20,43	0,57	<b>5,74</b>	0,24	<b>2,42</b>
3	10,22	20,43	0,57	<b>5,74</b>	0,26	<b>2,55</b>
4	10,22	20,44	0,57	<b>5,74</b>	0,27	<b>2,68</b>
5	5,85	11,70	0,37	<b>3,69</b>	0,17	<b>1,72</b>

$$R_{p,max} = \frac{H}{2}, R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \varepsilon_{g,max}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$R_o = \frac{D_p}{2} = \frac{311}{2} = 155,5 \text{ mm}$$

$$\rho_{max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left( \frac{R_o^2}{R_{p,max}} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$v_{m,p} = \frac{Q_{m,p}}{A_p} = \frac{900}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{900}{1/4 \cdot \pi \cdot (311^2 - 127^2)} = 0,237 \text{ m/s}$$

$$\rho_{min} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_p \cdot v_{m,p}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,p}}{(D_p - D_b)} \right) \cdot L + \rho_{m,p} \cdot \Delta h_{in} = \left( \frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,237}{(311 - 127)^2} + \frac{13,4}{(311 - 127)} \right) \cdot L + 11,5 \cdot \Delta h_{in}$$



112 Tijdens ruimgang

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	$\Delta h_{uit}$ [m]	$p_{max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{max}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">4</span>	$p_{min}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{min}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">5</span>
5	5,85	11,70	0,37	<b>3,68</b>	0,14 <sup>(1)</sup>	<b>1,36</b>
4	10,22	20,44	0,57	<b>5,73</b>	0,24 <sup>(1)</sup>	<b>2,40</b>
3	10,22	20,43	0,57	<b>5,73</b>	0,25 <sup>(1)</sup>	<b>2,48</b>
2	10,22	20,43	0,57	<b>5,73</b>	0,24 <sup>(2)</sup>	<b>2,42</b>
1	5,85	11,69	0,37	<b>3,68</b>	0,14 <sup>(2)</sup>	<b>1,37</b>

$$R_o = \frac{D_{g,r}}{2} = \frac{406,4}{2} = 203,2 \text{ mm}$$

$$v_{m,r,uit} = \frac{Q_{m,r}}{A_r} = \frac{2000}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_b^2)} = \frac{2000}{1/4 \cdot \pi \cdot (406,4^2 - 127^2)} = 0,285 \text{ m/s}$$

$$v_{m,r,in} = \frac{Q_{m,r}}{A_p} = \frac{2000}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{2000}{1/4 \cdot \pi \cdot (311^2 - 127^2)} = 0,527 \text{ m/s}$$

$$p_{min,uit} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_r \cdot v_{m,r,uit}}{(D_{g,r} - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,r}}{(D_{g,r} - D_b)} \right) \cdot (L_{tot} - L) + \rho_{m,r} \cdot \Delta h_{uit}$$

$$p_{min,uit} = \left( \frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,285}{(406,4 - 127)^2} + \frac{13,4}{(406,4 - 127)} \right) \cdot (548,68 - L) + 11,5 \cdot \Delta h_{uit} \quad (1)$$

$$p_{min,in} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_r \cdot v_{m,r,in}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,r}}{(D_p - D_b)} \right) \cdot L + \rho_{m,r} \cdot \Delta h_{in}$$

$$p_{min,in} = \left( \frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,527}{(311 - 127)^2} + \frac{13,4}{(311 - 127)} \right) \cdot L + 11,5 \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$





11.3 Tijdens intrekken

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	$\Delta h_{uit}$ [m]	$p_{max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{max}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">6</span>	$p_{min}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{min}$ [bar] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">7</span>
5	5,85	11,70	0,36	<b>3,64</b>	0,14 <sup>(1)</sup>	<b>1,37</b>
4	10,22	20,44	0,57	<b>5,71</b>	0,24 <sup>(1)</sup>	<b>2,41</b>
3	10,22	20,43	0,57	<b>5,71</b>	0,25 <sup>(2)</sup>	<b>2,48</b>
2	10,22	20,43	0,57	<b>5,71</b>	0,24 <sup>(2)</sup>	<b>2,40</b>
1	5,85	11,69	0,36	<b>3,64</b>	0,14 <sup>(2)</sup>	<b>1,36</b>

$$R_o = \frac{D_{g,i}}{2} = \frac{675}{2} = 337,5 \text{ mm}$$

$$v_{m,i,uit} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{1400}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,i}^2 - D_o^2)} = \frac{1400}{1/4 \cdot \pi \cdot (675^2 - 450^2)} = 0,117 \text{ m/s}$$

$$v_{m,i,in} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{1400}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_b^2)} = \frac{1400}{1/4 \cdot \pi \cdot (675^2 - 127^2)} = 0,199 \text{ m/s}$$

$$p_{min,uit} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,i,uit}}{(D_{g,i} - D_o)^2} + \frac{\tau_{y,i}}{(D_{g,i} - D_o)} \right) \cdot (L_{tot} - L) + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{uit}$$

$$p_{min,uit} = \left( \frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,117}{(675 - 450)^2} + \frac{13,4}{(675 - 450)} \right) \cdot (548,68 - L) + 11,5 \cdot \Delta h_{uit} \quad (1)$$

$$p_{min,in} = \left( \frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,i,in}}{(D_{g,r} - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,i}}{(D_{g,r} - D_b)} \right) \cdot L + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{in}$$

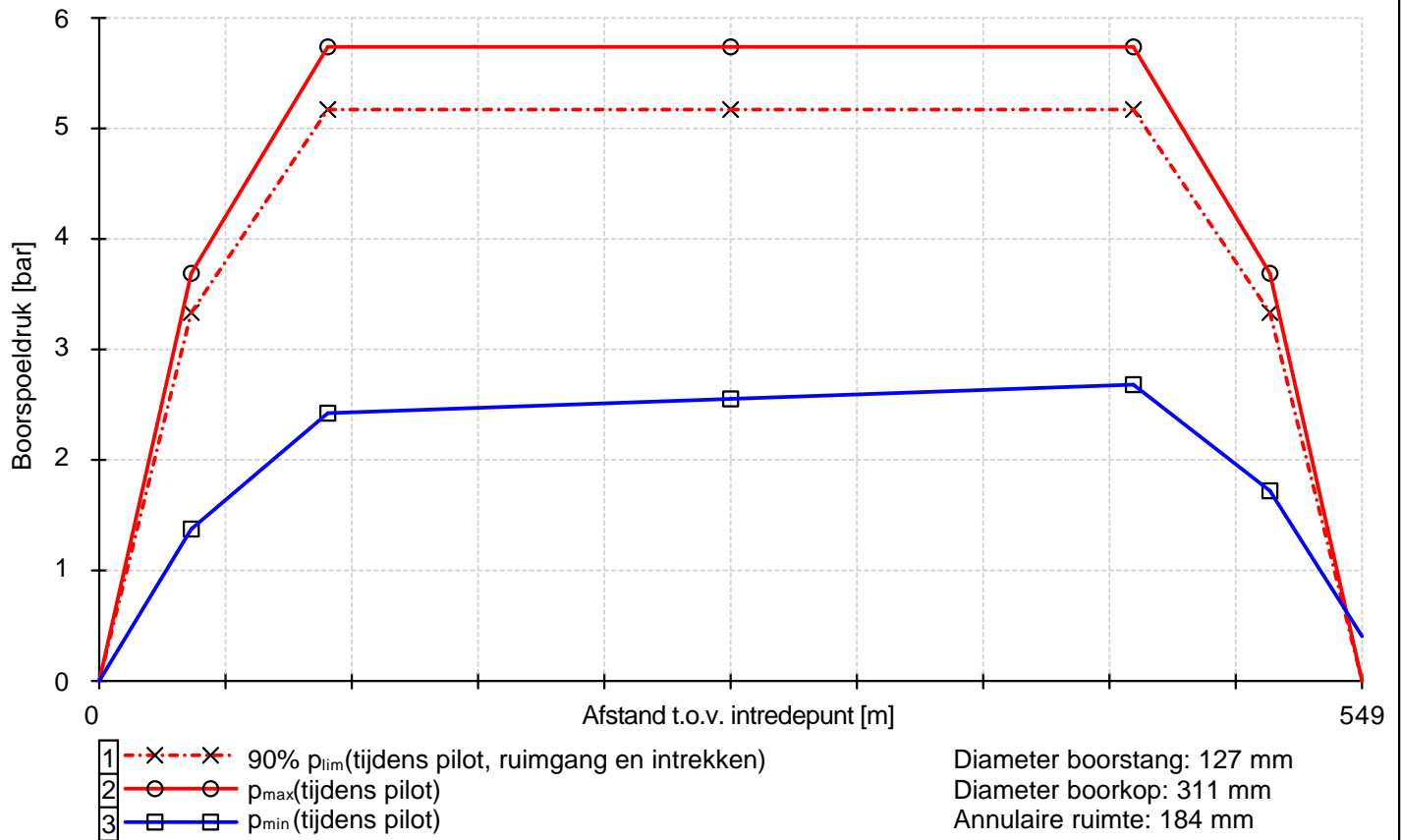
$$p_{min,in} = \left( \frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,199}{(406,4 - 127)^2} + \frac{13,4}{(406,4 - 127)} \right) \cdot L + 11,5 \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$



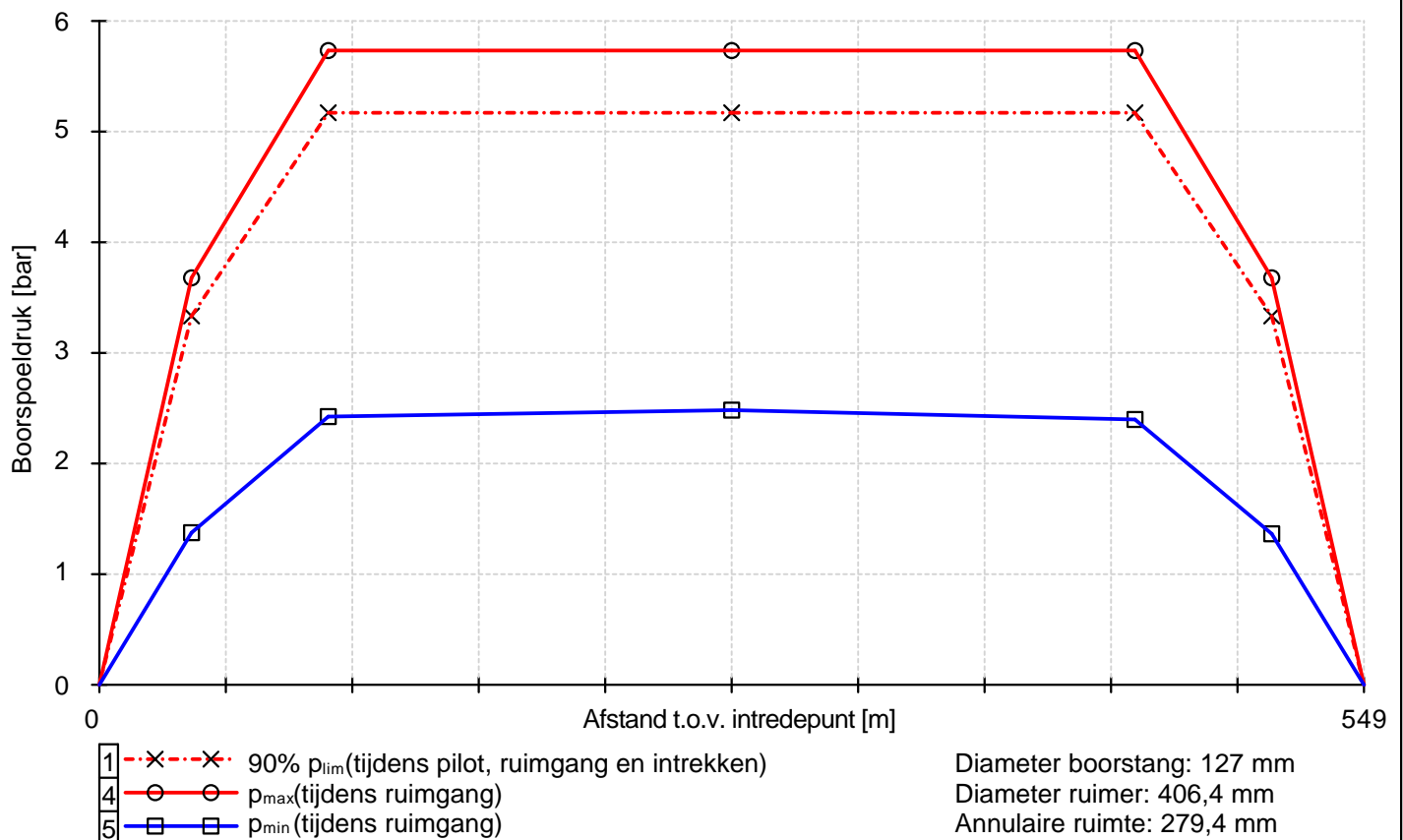
Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2024 1.0 ©

11.4 Boorspoeldrukken tijdens pilot ( $\rho_{m,p} = 11,5 \text{ kN/m}^3$  /  $\tau_{y,p} = 13,4 \text{ Pa}$  /  $\eta_p = 0,009 \text{ Pas}$  /  $Q_{m,p} = 900 \text{ l/min}$ )



11.5 Boorspoeldrukken tijdens ruimen ( $\rho_{m,r} = 11,5 \text{ kN/m}^3$  /  $\tau_{y,r} = 13,4 \text{ Pa}$  /  $\eta_r = 0,009 \text{ Pas}$  /  $Q_{m,r} = 2000 \text{ l/min}$ )





11.6 Boorspoeldrukken tijdens intrekken ( $\rho_{m,i} = 11,5 \text{ kN/m}^3$  /  $\tau_{y,i} = 13,4 \text{ Pa}$  /  $\eta_i = 0,009 \text{ Pas}$  /  $Q_{m,i} = 1400 \text{ l/min}$ )

