

2016•2017  
FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN  
*master in de industriële wetenschappen: bouwkunde*

## Masterproef

Studie van de geologische stabiliteit bij microtunnels op basis van theoretische modellen

Promotor :  
Prof. ir. Bart VAN ZEGBROECK

Promotor :  
ing. BRECHT VANMECHELEN

Copromotor :  
ing. STIJN PHILIPS

Gezamenlijke opleiding Universiteit Hasselt en KU Leuven

Kobe Kellens

*Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde*

2016•2017

Faculteit Industriële

ingenieurswetenschappen

*master in de industriële wetenschappen: bouwkunde*

## Masterproef

Studie van de geologische stabiliteit bij microtunnels  
op basis van theoretische modellen

Promotor :  
Prof. ir. Bart VAN ZEGBROECK

Promotor :  
ing. BRECHT VANMECHELEN

Copromotor :  
ing. STIJN PHILIPS

Kobe Kellens

*Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële  
wetenschappen: bouwkunde*

## Woord vooraf

Ik ben Kobe Kellens, 22 jarige Hasselaar en student aan de gemeenschappelijke opleiding tot industrieel ingenieur bouwkunde KULeuven/UHasselt. Deze thesis is gemaakt met het oog op het afronden van de master en het behalen van de titel 'Ing.'

Samen met een succesvolle stageperiode bij K-Boringen is het voorstel om dit onderzoek uit te voeren naar voor gekomen. Het interessegebied en het beperkte curriculum hieromtrent hebben geleid tot een theoretische verdieping van de processen, systemen en analyses van microtunneling. Veel parameters zijn ervaringsparameters en verschillend voor elk type project. Wanneer een model of berekening beter aansluit bij de praktijk, kunnen de verwachtingen beter voorspeld worden. Dit heeft zowel praktische als economische voordelen.

Na het afronden van het onderzoek werd de complexiteit van dergelijke analyses duidelijk. Het was tijdens de totstandkoming ook niet altijd eenvoudig keuzes te maken en onderzoeksgrenzen te stellen. Bovendien was dit ook de eerste echte kennismaking met onderzoek waar ikzelf de leiding over had. Achteraf kijk ik dan ook met een tevreden blik terug op deze fijne en leerzame periode. Het is dan ook met een zekere trots dat ik deze thesis aan jullie voorstel.

Het resultaat dat volgt was nooit mogelijk geweest zonder de enthousiaste medewerking van ing. Brecht Vanmechelen en ing. Stijn Philips. Het bedrijf K-Boringen heeft mede gezorgd voor de achtergrondinformatie, wekelijkse meetings, werfbezoeken, technische informatie en assistentie bij het schrijven van deze thesis. Ook is ir. Bart Van Zegbroeck bedankt om zijn literatuur en geotechnische expertise te delen. Tot slot was zonder de medewerking van Daan Laeremans (ba. IIW) en duiding van het COB te Delft een analyse veel moeilijker geweest.

Ik wens jullie van harte genot bij het lezen van dit eindwerk.

Inhoudelijke of tekstuele opmerkingen kunnen steeds gericht worden aan:  
kobe.kellens@student.uhasselt.be

Hasselt,  
Kobe Kellens

06/06/2017

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Kobe Kellens', written over a horizontal line.



# Inhoud

Woord vooraf .....	1
Lijst van tabellen .....	7
Lijst van figuren .....	9
Symbolen- en woordenlijst.....	11
Abstract (NL) .....	13
Abstract (ENG) .....	15
Inleiding .....	17
Situering .....	17
Probleemstelling.....	18
Doelstellingen .....	18
Methode.....	19
Vooruitblik.....	19
Hoofdstuk 1: Microtunneling, meer dan een tunnel.....	21
1.1 Wat is microtunneling? .....	21
1.2 Geschiedenis .....	21
1.3 Methoden en systemen .....	22
1.3.1 Ontwerpcriteria.....	22
1.3.2 Microtunneling met hydraulisch grondtransport (AVN).....	23
1.4 Grondonderzoek .....	25
1.4.1 Samenstelling .....	25
1.4.2 Textuur en granulometrie .....	25
1.4.3 Bestanddelen van grond .....	25
1.5 Freeswielen .....	26
1.6 Gesloten front techniek (GFT) .....	27
1.6.1. Hydraulisch grondtransport (AVN).....	27
1.6.2 EPB-freeswiel.....	29
1.6.3 Mix-freeswiel .....	29
1.7 Open front techniek (OFT).....	29
1.8 Andere .....	30
1.9 Conclusie.....	30

Hoofdstuk 2: Bentoniet .....	31
2.1 Wat is bentoniet?.....	31
2.2 Eigenschappen.....	31
2.2.1 Additieven .....	32
2.3 Toepassingen.....	32
2.4 Smeersysteem.....	34
2.5 Boorwater .....	36
2.5.1 Boorfrontondersteuning .....	36
2.5.2 Spoelsysteem.....	36
2.6 Conclusie.....	36
Hoofdstuk 3: Bezwijkmechanismen en berekeningsmethodes .....	37
3.1 Spanningsanalyse .....	37
3.1.1 (Effectieve) spanningen.....	37
3.1.2 Consolidatie.....	38
3.1.3 Grensspanningstoestand .....	38
3.2 Invloeden.....	40
3.3 Rekenmodellen.....	41
3.3.1 Broms en Bennermark.....	42
3.3.2 David et Al. ....	43
3.3.3 Krause .....	44
3.4 Glijvlakmethoden .....	45
3.4.1 Jancseez en Steiner .....	45
3.4.2 Leca en Dormieux .....	62
3.4.3 Anagnosta & Kovari.....	62
3.4.4 Analytische methode.....	65
3.5 Maximale steundruk.....	68
3.5.1 Rekenmethoden .....	69
3.6. Veiligheidsfactoren .....	70
3.6.1 Partiële veiligheidsfactor.....	70
3.6.2 Algemene veiligheidscontrole.....	70
3.6.3 Operationele toleranties.....	70
3.7 Analyse theoretische modellen.....	71
3.8 Vuistregels.....	75
3.9 Steundruk creëren praktijk .....	76
3.10 Conclusie.....	78

Hoofdstuk 4: Verband en optimalisatie.....	79
4.1 Tilburg.....	79
4.1.1 Steundrukberendingen.....	80
4.1.2 Verband boorprotocol .....	80
4.2 Maagdenburg.....	87
4.2.1 Steundrukberending.....	89
4.3 Optimalisatie .....	91
4.3.1 Invloed van gelaagdheid en silo-werking.....	91
4.3.2 Homogene grond met silo-werking.....	91
4.3.3 Gelaagde grond zonder silo-werking .....	93
4.3.4 Gelaagde grond met silo-werking .....	93
4.3.5 Berekening .....	94
 Hoofdstuk 5: Zettingsberendingen .....	 95
5.1 Formule van Peck.....	96
5.2 Zettingstrog .....	97
5.2.1 Relatie troggen-boortracé.....	98
5.2.2 Bepalen onbekende parameters.....	98
5.3 Reële zettingsmetingen .....	99
5.4 Conclusie.....	102
 Hoofdstuk 6: Geologisch rekenblad.....	 103
6.1 Rekenblad.....	103
6.2 Grafische voorstelling .....	105
 Besluit .....	 111
 Bibliografie .....	 113
 BIJLAGEN.....	 115
1. Statistische analyse boorprotocol.....	117
2. Grondonderzoek Tilburg A .....	158
3. Zettingsmetingen Maagdenburg.....	166
4. VBA-code rapport.....	170





## Lijst van tabellen

TABEL 1: MATERIAAL BOOROPSTELLING .....	24
TABEL 2: TEXTUUR OP BASIS VAN DE KLASSE VOOR VERSCHILLENDE GRONDSOORTEN.....	25
TABEL 3: VERSCHIL TUSSEN NATRIUM- EN CALCIUM-BENTONIET.....	31
TABEL 4: SOORTEN BOORspoeling AFHANKELIJK VAN DE ONDERGROND .....	33
TABEL 5: INDICATIEVE WEERGAVE N-WAARDE .....	43
TABEL 6: GLOBALE ANALYSE VAN DE REKENMETHODEN .....	71
TABEL 7: ALGEMENE GEGEVENS TILBURG.....	80
TABEL 8: ANALYSE BEREKENINGSMETHODEN TILBURG .....	84
TABEL 9: ANALYSE BEREKENINGSMETHODEN MAAGDENBURG.....	89
TABEL 10: OPTIMALISATIEWEERGAVE VOOR GELAAGDE GROND.....	91
TABEL 11: GRONDEIGENSCHAPPEN GRONDLAGEN .....	94
TABEL 12: RESULTATEN OPTIMALISATIE STEUNDRUKKEN .....	94
TABEL 13: BEPALING VAN DE BUIGPUNTScoëfficiënt OP BASIS VAN DE GRONDSAMENSTELLING .....	96
TABEL 14: GEOPTIMALISEERDE PARAMETERS ZETTINGSTROG .....	101



## Lijst van figuren

FIGUUR 1: MICROTUNNELING .....	21
FIGUUR 2: EVOLUTIE EN INVLOED VAN HET AANTAL PERSPUTTEN OP EEN BORING .....	22
FIGUUR 3: BOOROPSTELLING MICROTUNNELING MET HYDRAULISCH GRONDTRANSPORT .....	23
FIGUUR 4: GFT-BOORSCHILD (ZANDGROND) .....	26
FIGUUR 5: OVERZICHT BESCHIKBARE FREESWIELEN .....	27
FIGUUR 6: AVN-METHODE .....	28
FIGUUR 7: EPB – METHODE .....	28
FIGUUR 8: BENTONIET LUBRICATIE SYSTEEM (WRIJVING).....	34
FIGUUR 9: CIRKEL VAN MOHR .....	37
FIGUUR 10: VOORBEELDBEREKENING EFFECTIEVE SPANNINGEN .....	38
FIGUUR 11: GRAFISCHE WEERGAVE VAN DE REGELDRIJK .....	39
FIGUUR 12: DRUKVERDELING FREESWIELEN .....	40
FIGUUR 13: BEPALING VAN DE N-FACTOR BIJ ONGEDRAINEERDE REKENMODELLEN.....	42
FIGUUR 14: BASIS BEZWIJKMODEL VAN HORN.....	45
FIGUUR 15: AFSCHUIFHOEKEN JANCSEECZ & STEINER .....	46
FIGUUR 16: AFGELEIDE VAN DE STEUNDRUK NAAR DE WIGHOEK ( $\beta$ ) .....	60
FIGUUR 17: INVLOED VAN DE INWENDIGE WRIJVINGSHOEK OP DE STEUNDRUK (STEINER) .....	61
FIGUUR 18: DIMENSIELOZE PARAMETERS ANAGNOSTA EN KÓVARI .....	63
FIGUUR 19: INTERNE GRONDSPANNINGSWERKING BIJ EEN MAAVELDBELASTING.....	64
FIGUUR 20: INVLOED VAN DE INWENDIGE WRIJVINGSHOEK OP DE STEUNDRUK (KÓVARI).....	64
FIGUUR 21: INVLOED VAN DE INWENDIGE WRIJVINGSHOEK OP DE MAAVELDBELASTING BIJ BEZWIJKEN ...	65
FIGUUR 22: ANALYTISCHE KRACHTSWERKING .....	66
FIGUUR 23: INVLOED VAN DE INWENDIGE WRIJVINGSHOEK OP DE STEUNDRUK (ANALYTISCH) .....	67
FIGUUR 24: INVLOED VAN DE COHESIE OP DE STEUNDRUK (ANALYTISCH) .....	67
FIGUUR 25: INVLOED VAN DE STRAAL OP DE STEUNDRUK (ANALYTISCH) .....	68
FIGUUR 26: VEILIGHEIDSFACTOREN STEUNDRUKBEREKENING.....	70
FIGUUR 27: INVLOED VAN DE GRONDSAMENSTELLING OP DE STEUNDRUK (COHESIEF).....	72
FIGUUR 28: INVLOED VAN DE GRONDSAMENSTELLING OP DE STEUNDRUK (NIET-COHESIEF) .....	73
FIGUUR 29: INVLOED VAN C/D-RATIO BIJ REKENMODELLEN O.B.V. SCHUIFSPANNINGEN .....	73
FIGUUR 30: INVLOED VAN DE STEUNDRUKRATIO OP DE STEUNDRUK (2).....	74
FIGUUR 31: DE INDIVIDUELE KRACHTEN IN DE HOOFDPERSEN (MAAGDENBURG).....	75
FIGUUR 32: VERGELIJKING TUSSEN DE DRUK IN DE AFVOER- EN TOEVOERLEIDING .....	76
FIGUUR 33: RELATIE TUSSEN THEORIE EN PRAKTIJK .....	76
FIGUUR 34: STEUNDRUKBEREKENING K-BORINGEN (TILBURG) .....	81
FIGUUR 35: GRAFISCHE VERGELIJKING VAN DE VERSCHILLENDE BEREKENINGSMETHODEN (TILBURG) .....	85
FIGUUR 36: SITUERING BORINGEN MAAGDENBURG .....	86
FIGUUR 37: LANGSDOORSNEDE 3E BORING MAAGDENBURG .....	88
FIGUUR 38: GRAFISCHE VOORSTELLING VAN DE VERSCHILLENDE BEREKENINGSMETHODEN.....	90
FIGUUR 39: INVLOEDGEBIED VAN HET ZETTINGSGEDRAG .....	95
FIGUUR 40: ZETTINGSTROG OP BASIS VAN DE ZETTINGSMETINGEN.....	98
FIGUUR 41: OVERZICHT MEETPUNTEN MAAGDENBURG.....	99
FIGUUR 42: VOORBEELD VAN EEN RAPPORT M.B.T. ZETTINGSMETINGEN .....	100
FIGUUR 43: GEOPTIMALISEERDE ZETTINGSTROG MET BOCHTENTRACÉ.....	101
FIGUUR 44: GEOPTIMALISEERD REKENBLAD NL.....	104
FIGUUR 45: GEOPTIMALISEERD REKENBLAD DUI .....	104
FIGUUR 46: INFORMATIECELLEN .....	105
FIGUUR 47: GRAFISCHE VOORSTELLING TUNNEL .....	107
FIGUUR 48: BEPALING VAN DE AFSCHUIFHOEK IN HET REKENBLAD .....	108



## Symbolen- en woordenlijst

AVN	Automatische Vortriebstechnik Nass	
DOV	Databank Ondergrond Vlaanderen	
DWA	Droogweerafvoer	
EPB	Earth Pressure Balance	
GFT	Gesloten Front-techniek	
MTBM	Micro Tunnel Boring Machine	
OFT	Open Front-techniek	
RWA	Regenwaterafvoer	
TBM	Tunnelboormachine	
$\sigma'_v$	Gronddruk op bovenkant van actieve wig	[kN/m <sup>2</sup> ]
$\sigma_v$	Verticale grondspanning	[kN/m <sup>2</sup> ]
$\sigma_a$	Actieve grondspanning	[kN/m <sup>2</sup> ]
$\gamma'$	Effectief volumegewicht	[kN/m <sup>2</sup> ]
$\gamma'_{bent.}$	Effectief volumegewicht bentoniet	[kN/m <sup>2</sup> ]
$\gamma_w$	Volumiek gewicht water	[kN/m <sup>3</sup> ]
$\gamma$	Volumiek gewicht verzadigde grond	[kN/m <sup>3</sup> ]
$c$	Cohesie van de grond	[kN/m <sup>2</sup> ]
$c_u$	Ongedraineerde schuifspanning	[kN/m <sup>2</sup> ]
$c_a$	Gedraineerde cohesie	[kN/m <sup>2</sup> ]
$\beta$	Hoek tussen horizontaal vlak en afschuifvlak	[°]
$\varphi$	Hoek van inwendige wrijving	[°]
$p_{water}$	Grondwaterdruk	[kN/m <sup>2</sup> ]
$\gamma_{water}$	Volumegewicht grondwater	[kN/m <sup>3</sup> ]
$h_{water}$	Grondwaterhoogte	[m]
$q_{max}$	Maximale steundruk	[kN/m <sup>2</sup> ]
$q_{min}$	Minimale steundruk	[kN/m <sup>2</sup> ]
$q_{mv}$	Bovenbelasting op het maaiveld	[kN/m <sup>2</sup> ]
C	Overdekking	[m]
C/D	Overdekkingsratio	[-]
D	Buitendiameter tunnel	[m]
E	Steunkracht	[kN]
G'	Eigen (onderwater)gewicht	[kN]
K	Schuifkracht veroorzaakt door korreldruk	[-]
$K_0$	Neutrale gronddrukcoëfficiënt	[-]
$K_a$	Actieve gronddrukcoëfficiënt	[-]
$K_p$	Passieve gronddrukcoëfficiënt	[-]
l	Lengte afschuifvlak	[m]
N	Constante, afhankelijk van overdekkingsratio C/D	[-]
$N_s$	Dimensieloze parameter	[-]
$N_\gamma$	Dimensieloze parameter	[-]

P	Waterkracht	[kN]
r	Straal van cilinder	[m]
T	Schuifkracht	[kN]
W	Eigengewicht grondmoot	[kN]
$w(x)$	Zetting op afstand x uit hart tunnel	[m]
$w_{max}$	Maximale zetting	[m]
$w_{max,s}$	Maximale korte termijn zetting op afstand x	[m]
V	Volume zettingstrog	[m <sup>2</sup> ]
$i$	Horizontale afstand tussen hart tunnelbuis en buigpunt	[m]
$i_s$	Buigpunt-coëfficiënt korte termijn vorm	[m]
$i_c$	Buigpunt-coëfficiënt lange termijn vorm	[m]
x	Horizontale afstand vanaf hart tunnel	[m]
k	Constante afhankelijk van de grondsoort	[-]
$z_0$	Afstand maaiveld tot tunnelas	[m]

## **Abstract**

Vanwege zijn complexiteit vraagt microtunneling een grondige kennis van en ervaring met de geologie. Om de ondergrond zo weinig mogelijk te verstoren en zettingen te beperken wordt de overige ondergrond ondersteund. Dit gebeurt door middel van een bentonietsamenstelling. Te weinig bentoniet leidt tot instorting, teveel tot uitblaas. Om deze frontsteundruk te bepalen bestaan 12 theoretische modellen. Jancseez & Steiner blijkt op basis van historische data het best aan te sluiten bij de praktijk. Optimalisaties van de gelaagdheid en silo-werking bij Jancseez en Steiner hebben geleid tot een betere benadering van de te verwachten steundrukken. Doch leent Leca en Dormieux zich op basis van tabellen ook tot een snelle en eenvoudige berekening met de hand. Om zettingsgedrag beter te voorspellen is de invloed van het boortracé onderzocht. Tijdens bochtboringen ontstaan asymmetrische zettingstroggen. Op basis van zettingsmetingen en een best-fit van de formule van Peck werd een innovatieve en geoptimaliseerde formule bekomen. De reikwijdte van dit onderzoek beperkt zich wel tot zandgronden en grote diameters. Het is een opportuniteit hier verder onderzoek naar te verrichten. De resultaten zijn gebundeld in een rekenblad dat de klant gerust stelt en zorgt voor een eenvoudige, overzichtelijke en betrouwbare berekening. Dit zal, naar alle waarschijnlijkheid, ook bijdragen tot een meer correcte beschrijving van lastenboeken.





## **Abstract**

Due to its complexity, microtunneling requires a thorough knowledge of and experience with geology. With the aim to minimize the surface deformation and to reduce settlements, the remaining surface is supported. Bentonite suspension has this responsibility. Insufficient bentonite leads to collapse, while excessive leads to blowout. To determine this front support pressure, there are 12 theoretical models. Jancseez & Steiner appears to be best connected to practice based on historical data. Layer and silo optimization at Jancseez and Steiner resulted in a better approach to the expected support pressures. However Leca and Dormieux, bases on tables, is suitable for a quick and easy calculation by hand. In order to predict settlement behavior better, the influence of a bend has been investigated. During curved drills, asymmetric behavior occur. Based on set measurements and a best fit of the Peck formula, an innovative and optimized formula was obtained. The scope of this research is limited to sandy soils and large diameters. It is an opportunity to conduct further research. The results are bundled into a calculation form to convince the customer and this form provides a simple, clear and reliable calculation. This will, likelihood, also contribute to a more accurate description of bills.



# Inleiding

## Situering

Met de sleufloze aanleg van leidingen en tunnels heeft K-Boringen, de gespecialiseerde tunnelling-divisie van Kumpen, een grensverleggende reputatie opgebouwd. Als internationaal bedrijf zijn de werven verspreid over Europa. Zorgvuldig afgestemd op de specifieke projecteisen biedt K-Boringen tal van oplossingen voor gestuurde buisdoorpersingen en boringen. Vooral daar waar bepaalde hindernissen voorkomen – wegen, dijken, rivieren, kanalen, spoorwegen, funderingen, bestaande tunnels of leidingen - biedt de "no dig" methode belangrijke voordelen voor de werkomgeving. Zo blijven milieuhinder, verkeersbelemmering tot een minimum beperkt.

De grondige kennis van de geologie is een zeer belangrijke parameter in het welslagen van een project. Een eerste belangrijke keuze, waar het geologisch onderzoek aan de basis ligt, is de keuze van het freeswiel. Een tweede keuze die volgt uit het grondonderzoek<sup>1</sup> zijn de boorparameters. Bijvoorbeeld de bepaling van de frontsteundruk of pompdebieten. Een juiste keuze van de bentonietsmeermiddelen en mogelijke additieven zal zorgen voor een lage wrijvingskracht en bijgevolg voor de risicobeperking van het project. Het geologisch rapport ligt ook aan de basis van de stabiliteits- en zettingsberekeningen voor zowel persput als boortracé.

Een geologisch rapport verschaft vaak heel wat nuttige informatie om de risico's van een project te optimaliseren. In de wetenschappelijke literatuur zijn er verschillende modellen te vinden om zettingsberekeningen en stabiliteitscontroles uit te voeren. Door deze modellen beter te begrijpen en gemakkelijker rapporteerbaar te maken kunnen er op voorhand betere keuzes gemaakt worden en kan het risico van een project aanzienlijk gereduceerd worden. Ook de klant apprecieert een transparante en onderbouwde motivatie van projectkeuzes. [2]

---

<sup>1</sup> De bodem is de bovenste laag van de aardkorst, ca. 1m, tot waar wortels van planten in de aarde dringen. Met grond is een meer algemeen begrip gekend namelijk een mengsel van verweerd gesteenten, lucht en vocht. Verder zal steeds 'ondergrond' gehanteerd worden, dat verwijst naar al het gesteenten dat zich onder het aardoppervlak bevindt.



K-Boringen nv werd in 1978 opgericht toen de jarenlange tunnelling-ervaring van een Duitse partner gebundeld werd met de sterkte van de Kumpen-bedrijven.

Vandaag is K-Boringen als familiale onderneming een zeer performant en oplossingsgericht bedrijf voor buisdoorpersingen en micro-tunnelling doorheen geheel Europa.

Met ca. 60 eigen medewerkers en de ondersteuning van de centrale diensten van Kumpen realiseerde K-Boringen nv in 2008 een omzet van € 18.500.000. [1]

## **Probleemstelling**

Omdat boorparameters sterk afhankelijk zijn van het gedrag van de grond, rijst de vraag naar theoretische methodes die meer rekening houden met praktijkervaring. Maar het gebrek aan kennis leidt vaak tot foutieve of verwarrende beschrijvingen in lastenboeken. Om deze vraag te beantwoorden is dus een grondige kennis van het microtunnelingproces noodzakelijk.

De huidige geologische rapporten vermelden veel nuttige gegevens over de ondergrond. De vraag is dan ook groot naar een duidelijke en overzichtelijke template voor het berekenen van de zettingen en frontsteundruk op basis van deze gegevens. In dit opzicht zal ook een duidelijk rapport gemaakt worden waar de modellen op basis van praktijkervaringen geoptimaliseerd werden en ingevuld kunnen worden uit het grondonderzoek.

### *Studie van de geologische stabiliteit bij microtunnels op basis van theoretische modellen*



## **Doelstellingen**

Het doel bestaat erin meer inzicht te krijgen in het grondonderzoek, de frontsteundruk en het zettingsgedrag. Op basis van deze theoretische studie kan dan de opmaak van een rapport volgen waaruit een duidelijk rekenblad volgt. Er wordt ook getracht een innovatief deel toe te voegen aan het onderzoek om een optimalisatie van de boorparameters te creëren.

Het project kan geslaagd verklaard worden wanneer met een rekenblad de geoptimaliseerde steundruk en verwachte zetting kan worden weergegeven en bovendien inzicht geeft in deze parameters. Het doel bestaat erin te achterhalen welke methode het best aansluit bij de praktijk en op basis hiervan de berekening van K-Boringen te optimaliseren tot een kwaliteitsvolle transparante en theoretisch onderbouwde berekening die de klant geruststelt. Stabiliteitsberekeningen zijn bovendien vaak een eis van de klant.

## **Methode**

Dankzij de stageperiode werden eerste impressies en de globale werking reeds verzameld. Een literatuurstudie van de geologische stabiliteit vormt de basis met een overzicht van de gebruikte modellen. Vervolgens kan een parameteranalyse uitgevoerd worden van de verschillende modellen om op vergelijkende basis een model te optimaliseren dat de beste benadering weergeeft op basis van praktijkervaringen. Het onderzoek bevat geen proeven, maar maakt gebruik van reeds uitgevoerde meetresultaten. De resultaten worden gebundeld in een rekenblad om later snel en eenvoudig een berekening te kunnen uitvoeren. Waar nodig is er de opportuniteit om samen te werken met het COB in Delft.

## **Vooruitblik**

Om duiding te geven bij wat er nog te wachten staat, worden enkele structurele keuzes toegelicht. Vanuit de onderzoeksvraag wordt er toegespitst op steundrukken en zettingen die samen de geologische stabiliteit tijdens het microtunnelingproces vormen. Ook aan de berekening en optimalisatie hiervan is de nodige aandacht besteed.

- 1) Microtunneling
- 2) Geologische stabiliteit
- 3) Theoretische modellen

De structuur van deze masterproef geeft in grote lijnen een indruk van wat een microtunnelingproces inhoudt, wat steundrukken en zettingen zijn en hoe deze berekend worden. Hierbij is telkens een onderscheid gemaakt tussen theoretisch en praktisch gerelateerde informatie, aangegeven door de betreffende kleur.

Het grootste deel bevat een overzicht van de verschillende berekeningsmethoden alsook analyses van de modellen en praktijkgegevens. Met deze analyses sluit de masterproef zich met een geologisch rapportsjabloon dat gebruikt kan worden door K-Boringen om steundrukken te bepalen door het model dat de praktijk reeds het meest benaderde.

Elk hoofdstuk bevat een inleiding, met een vooruitblik naar het komende hoofdstuk, en een conclusie met een korte analyse van het voorgaande hoofdstuk.



## Hoofdstuk 1: Microtunneling, meer dan een tunnel...

### 1.1 Wat is microtunneling?

Met formaliteitsgrenzen van 60 cm tot 4 meter behoort microtunneling op basis van zijn afmetingen tot de tunneling-divisie. Het proces gebruikt een op afstand bestuurbare Microtunneling Tunnel Boring Machine (MTBM) in combinatie met de doorperstechniek. Deze MTBM wordt na elke boring gerecupereerd en hergebruikt. Vooral daar waar bepaalde hindernissen voorkomen – wegen, rivieren, kanalen, spoorwegen of leidingen - biedt de "noodig" methode belangrijke voordelen voor de werkomgeving.

Microtunneling is op dit moment de meest nauwkeurige doorpersmethode. Toleranties bevinden zich binnen de marge van 2-3 cm. Dit kan van groot belang zijn in een gebied waar een doolhof van ondergrondse nutsleidingen al bestaat. Doorheen de jaren heeft microtunneling grote evoluties doorgemaakt. Figuur 1 geeft een indruk van wat microtunneling is. Tussen de hoofdpersen en de MTBM bevinden zich de prefab buiselementen. [3]



Figuur 1: Microtunneling [4]

## 1.2 Geschiedenis

Tunnels en grotten bestaan al sinds menscheit, nog voor de mensheid ze begon te creëren voor algemeen nut. Sinds het begin van de 19e eeuw is het gebruik van tunnelboormachines stilaan toegenomen en ontwikkeld. En al snel volgde het gebruik van freeswielen. Enkele tientallen jaren later was microtunneling geboren...

Het is eind jaren 70 dat K-Boringen de eerste boringen m.b.v. microtunneling uitvoerde met het doel open riolen te vervangen in stedelijke gebieden. Het eerste microtunneling project in de Verenigde Staten vond plaats in het zuiden van Florida in 1984 en had een lengte van bijna 183 meter. Oorspronkelijk is microtunneling ontworpen om zwaartekracht riolen te bouwen. [3]

Herrenknecht is anno 2017 de pionier op het gebied van ontwikkeling en productie van TBM's. Het Duitse bedrijf opgericht in 1975 heeft reeds tal van projecten op het palmares. De grootste evolutie van de laatste decennia is dat boringen ook met bochten kunnen uitgevoerd worden. Het zijn ook machines van Herrenknecht die in dit onderzoek gebruikt werden. Aan de basis van de samenwerking ligt de terugkoppeling tussen het theoretisch ontwerp van Herrenknecht en de praktische optimalisatie van K-Boringen. [4]

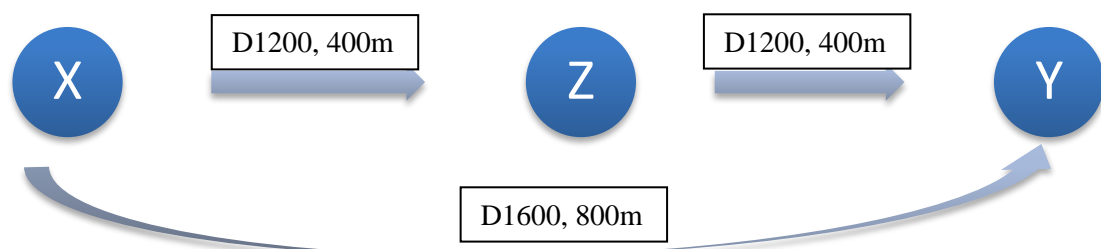
## 1.3 Methoden en systemen

Er bestaan 4 verschillende methodes om microtunneling toe te passen. Welke methode waar geschikt is, hangt af van de ontwerpcriteria.

### 1.3.1 Ontwerpcriteria

De geschikte methode wordt bepaald door onder meer de ontwerpcriteria en anderzijds de ondergrond. Op basis hiervan kan m.b.v. een matrix de methode bepaald worden. In het begin van de ontwerpfase zijn een aantal parameters al gekend. Een voorbeeld hiervan is de inwendige diameter van de buis. Hieruit kan dan de gronddekking en techniek bepaald worden. Maar zijn verder afhankelijk van bodem, buistype, machineuitrusting en ervaring. [5]

De tendens van de laatste jaren is dat economische keuzes steeds belangrijker worden. Door een boring zo lang mogelijk te maken (m.b.v. een andere methode/diameter) en op deze manier een extra persput uit te sparen. Een persput is duur, het herinrichten van een boring is kostelijk. Dit is visueel weergegeven op onderstaande figuur. Voor elk booropstelling, onafhankelijk van de methode, is een basisuitrusting noodzakelijk. De persput, installatie en meetinstrumenten vormen een rode draad doorheen het hele proces.



Figuur 2: Evolutie en invloed van het aantal persputten op een boring



Omwille van de relevantie voor dit onderzoek is enkel de methode met hydraulisch grondtransport (AVN) weerhouden. Deze zal hier ook de voorkeur genieten vanwege de beschikbaarheid aan meetgegevens en het doel van het onderzoek. Enkel hiervan zullen de systeemvereiste verder besproken worden. Er wordt getracht via figuur 3 de belangrijkste onderdelen verder toe te lichten om een beter beeld te krijgen van de werking en noodzaken tijdens het proces.

### 1.3.2 Microtunneling met hydraulisch grondtransport (AVN)

Deze methode vindt zijn toepassingen, net als de andere methode, in het realiseren van rioleringen en afvalwatercollectoren. Buisdiameters van 300mm tot 1600mm zijn geen uitzondering. Grotere diameters zijn ook mogelijk. Hierbij kan, indien gewenst, de machine opgemanteld worden tot een diameter van 3200mm. Dit is echter geen noodzaak. Het grote verschil zit in het feit dat deze methode boringen bedrijfszeker kan uitvoeren onder het grondwater niveau. Het wordt veelvuldig gebruikt in verstedelijkt gebied, waar onderkruisingen van wegen, kabels, leidingen en waterlopen geen eenvoudige opdracht is. [6]



**Figuur 3: Booropstelling microtunneling met hydraulisch grondtransport [4]**

De boring start in het algemeen horizontaal op een bepaald niveau onder het maaiveld. Een startschacht en een ontvangtschacht zijn gemaakt voor de tunnelboormachine. In de startschacht worden hoofdpersen geïnstalleerd die de tunnel stukje voor stukje in de richting van de ontvangtschacht duwt. De boorvloeistof, bentoniet (zie *Hoofdstuk 2: Bentoniet*), wordt gebruikt om de verwijderde grond af te voeren en de stabiliteit van het boorfront te stabiliseren.

Microtunnelling verandert de spanningscondities in de grond. Een relatieve lage schilddruk kan leiden tot verzakking van het maaiveld. Een relatieve hoge schilddruk kan leiden tot het opbarsten van boorvloeistof of kan leiden tot het zwellen van het maaiveld.

**Tabel 1: Materiaal booropstelling [8]**

<b>Persput</b>	De grootte van de persput varieert naar gelang de diameter van de boring. Voor grotere diameters zijn persputten van 8,0 x 4,0m geen uitzondering. Om deze putten mogelijk te maken kan men gebruik maken van beschoeiing (damwanden en grote platenbeschoeiing), glijbeschoeiing, ringvormige of rechthoekige betonsegmenten, spuitbeton,... Wanneer de grond te weinig stabiliteit bezit zijn maatregelen, zoals het aanbrengen van gestabiliseerd zand, ook mogelijk aan de buitenkant van de persput.
<b>Bedieningsunit</b>	De bedieningscontainer of 'stuurunit' is het kloppend hart van de boring. Alle functies van de boormachine en het spoelsysteem worden van hieruit beheerd door de boormeester. Afwijkingen van het freeswiel, de persdrukken, de aan- en afvoerdebieten, de stand van de hoofdpersen en de stand van de kleppen worden continu weergegeven en door de computer geregistreerd. Deze gegevens vormen het 'protocol' van de boring en zijn voor ingenieurs van onschatbare waarde. Het protocol is een soort kwaliteitslabel.
<b>Persinstallatie</b>	Het frame met hydraulische hoofdpersen die worden aangedreven via de stuurcontainer en de stalen drukring om de perskrachten homogeen te verdelen vormen de persinstallatie. Het bevindt zich in de persput tegen de drukverdeelwand (betonmassief). Na het persen van een buislengte, trekken de persen zich terug om het volgende segment klaar te maken. Hierna kan dezelfde cyclus opnieuw beginnen tot uiteindelijk de ontvangstuip bereikt is.
<b>Waterslot</b>	Grondwater is ook bij microtunneling niet gewenst in de persput en vormt een probleem bij het de doorvoer door de schachtwand. De stabiliteit van de ondergrond en de waterdichtheid dienen hier steeds aan de nodige vereisten te voldoen. Daarom wordt op deze plaats een waterslot met rubberen dichting gemonteerd en waterdicht afgelast. Een vertrekprop, met eventueel bijkomende bemaling, verzekert de grondstabiliteit.
<b>Ontzandingsinstallatie</b>	Hydraulische grondtransport maakt gebruik van een ontzandingsinstallatie omdat de grond in suspensie-vorm via de tunnel van het freeswiel naar het maaiveld gepompt wordt. Meestal zal een ontzandingsinstallatie de scheiding tussen grond en boorwater verzorgen. Boorwater wordt, zolang de viscositeit het toelaat, hergebruikt via een buffercontainer. De installatie bestaat uit zeven en één of meer cyclonen waarmee tot 35-40 µm gescheiden kan worden. In de praktijk kan ook zonder ontzander materiaal gescheiden worden.
<b>Meetinstrumenten</b>	Via een laser van de persput tot het freeswiel, worden afwijkingen t.o.v. het vooropgestelde tracé weergegeven. Dit gebeurt elke 20 seconden waarna de boormeester kan corrigeren indien nodig. Ook de verrolling en helling kan gemeten worden met een inclinometer, maar bij bochten maakt men gebruik van geavanceerde automatisch gestuurde theodolieten. Deze theodolieten worden ingemeten via vaste punten.

## 1.4 Grondonderzoek

Wanneer voor een bepaalde methode gekozen is, volgt de keuze van het freeswiel. Deze keuze wordt bepaald door de ondergrond. Het is dan ook van groot belang een goed grondonderzoek te laten uitvoeren. Grondonderzoek wordt steeds uitgevoerd conform de rekenregels en normen in Eurocode 7. Indien het grondonderzoek niet volstaat of niet uitgevoerd werd bestaat er in België ook een Databank Ondergrond Vlaanderen (DOV) waar historische data te vinden is. [9]

### 1.4.1 Samenstelling

In de grondmechanica zijn drie grote, en meest voorkomende, groepen ondergrond te onderscheiden: zandgronden, leemgronden en kleigronden. Rots wordt even buiten beschouwing gelaten.

Zandgronden: Het hoofdbestanddeel van zand zijn silicaten. Ze bestaan voor 80-90% uit kwarts die opgebouwd zijn uit SiO<sub>4</sub>-tetraëders. Dit verklaart de grote hardheid, grote draagkracht, het gebrek aan cohesie tussen de zandkorrels en de hoge doorlatendheid.

Leemgronden: Met leemgronden worden vaak ondergronden fijner dan zand bedoeld. Ze bestaan voornamelijk uit silt. Naast silt bestaat het of uit veel klei (natte leem) of tot wel 60% uit zand (schrle leem). Het is dus een afgeleide van zand- en/of leemgronden met een zeer goede dampdoorlatendheid.

Kleigronden: Klei is eveneens opgebouwd uit silicaat-tetraëders, maar ook uit Al(O,OH)<sub>6</sub>-octaëders. Er bestaan drie soorten klei die verschillen in gelaagdheid van de structuur en de wijze waarop ze verbonden zijn. Vanaf het moment dat er zich 30-40% klei in de ondergrond bevindt, volstaat dit om de eigenschappen van een kleigrond aan te nemen. Dit zijn cohesie, plasticiteit, zwel- en krimpvermogen en een slechte doorlatendheid.

### 1.4.2 Textuur en granulometrie

Deze eigenschappen worden grotendeels bepaald door de grootte van de korrels, de textuur. Op basis van de textuur wordt een korrelverdeling of granulometrie opgemaakt d.m.v. zifting of bezinking. De korrelverdeling van het grondonderzoek uit Tilburg (zie verder) is toegevoegd als bijlage. Het is van belang dat de korrelverdeling gelijkmatig is, en alle fracties dus ongeveer evenveel voorkomen.

Tabel 2: Textuur op basis van de klasse voor verschillende grondsoorten [10]

Fractie	Klasse	Korrelgrootte
<b>FIJN</b>	klei	< 2 µm
	leem	2 – 60 µm
<b>GROF</b>	zand	60 µm – 2 mm
	grind	2 – 60 mm
	keien	> 60 mm

### 1.4.3 Bestanddelen van grond

Tussen de korrels zitten poriën, gevuld met water of lucht. De veranderlijke combinatie lucht-water-korrels bepaalt dus de samenstelling. Zo zal het volumegewicht van de grond afhangen van de grondwaterstand. Dat grondwater een belangrijke invloed heeft zal later nog blijken. Ook zal het poriënvolume mee de dichtheid en dus de sterkte (en het gewicht) van de grond bepalen. [10]

## 1.5 Freeswielen

Afhankelijk van het type freeswiel kan in elke ondergrond microtunneling worden toegepast. Elke geologische samenstelling is verschillend en heeft een andere ideale boormethode. In eerste instantie kunnen twee grote groepen worden onderscheiden; open en gesloten fronttechniek. Dit is afhankelijk van de grondwaterstand. Binnen de gesloten fronttechniek worden de eigenschappen van AVN-machines uitgebreid besproken, maar naast deze standaardwielen kunnen ook mix-types of freeswielen specifiek voor rots gebruikt worden.



**Figuur 4: GFT-boorschild (zandgrond)**

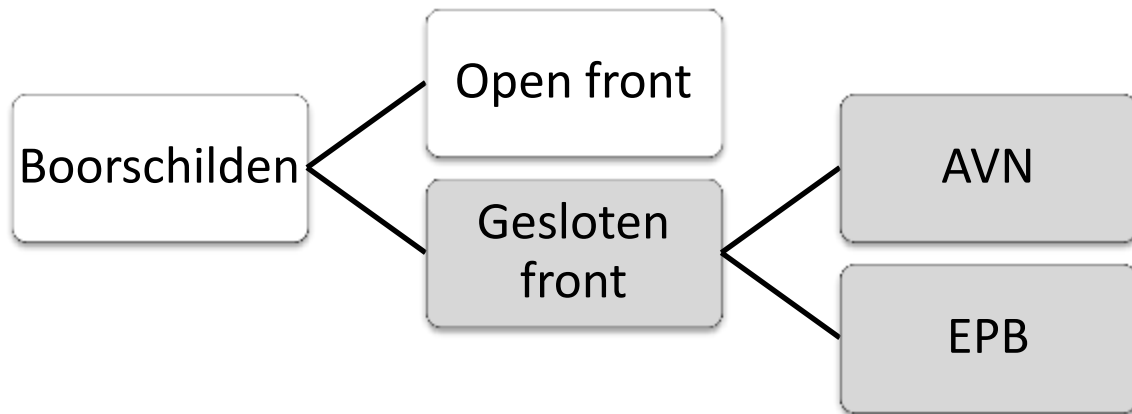
Elke boormachine bestaat uit 2 delen. Een beweegbaar en een vast. Beide delen worden gescheiden door hydraulische stuurpersen, gebruikt om de stuurrichting te bepalen. De waterdichtheid tussen beide delen kan steeds gegarandeerd worden door een rubberen profieldichting.

Het freeswiel bevat beitels. Deze kunnen omwille van slijtage of naargelang de bodemsamenstelling vervangen worden. Deze keuzes worden gemaakt voor de start in het ontwerpproces.

De ruimte achter het freeswiel, de breekruimte genoemd, bevat meestal materiaal in plastische toestand (excl. rots). Deze toestand wordt gecreëerd doordat de los geboorde ondergrond eerst gebroken wordt, waarna bij AVN-freeswielen via de injectieopeningen water wordt toegevoegd aan de grondspecie. Hierdoor ontstaat een verpompbaar mengsel.

Om ervoor te zorgen dat er niet te veel of te weinig bodem wordt afgevoerd is een evenwichtstoestand noodzakelijk. Zowel de berekening als de controle zijn afhankelijk van de rotatiesnelheid en de debieten van aan-en afvoer. [11]

Vooraleer de verschillende freeswielen besproken worden, dient eerst algemeen het onderscheid te worden gemaakt tussen open en gesloten fronttechnieken. Dit onderscheid is hieronder in figuur 5 grafisch weergegeven. De grijze methoden/freeswielen zijn geschikt om onder het grondwaterniveau te boren.



**Figuur 5: Overzicht beschikbare freeswielen**

## 1.6 Gesloten front techniek (GFT)

De gesloten front techniek onderscheidt zich van de open front technologie door het toepassingsgebied. De GFT techniek is geschikt om te boren onder het grondwaterniveau en heeft ook meer keuzemogelijkheden in freeswielen. [12]

### 1.6.1 Hydraulisch grondtransport (AVN)

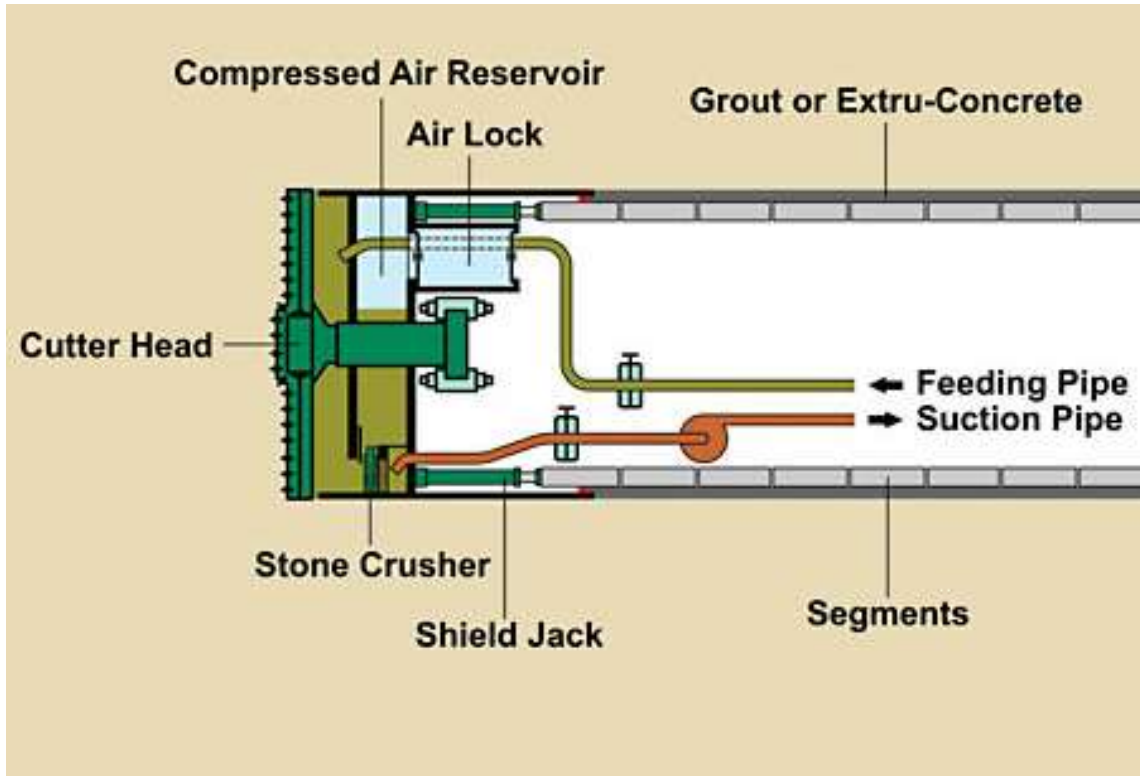
Zandgronden, weinig cohesie en een vloeistofschild; Het is een geslaagde combinatie. Het gebrek aan cohesie wordt opgevangen door gebruik te maken van een steunvloeistof. Deze steunvloeistof heet bentoniet<sup>2</sup>. Door het bentoniet in overdruk toe te voegen aan het freeswiel, dringt het een aantal centimeter in de grond. De filterkoek die gevormd wordt is waterdicht met het doel steun te bieden en instroom van grondwater in de boormachine te voorkomen.

De rotatie van het freeswiel schraapt over de filterkoek en beweegt zich op deze manier naar voor. De combinatie van steunvloeistof en grond die dan ontstaat, wordt in vloeistofvorm door de tunnel gepompt. De ontzander zorgt ervoor dat de verzadigde bentoniet opnieuw gebruikt kan worden. Wanneer de boring in klei zou plaatsvinden, zou de ontzander problemen ondervinden met het scheiden van bentoniet en kleibrokken. Ook kleibrokken kunnen tot verstoppingen leiden. Het ene slurryschild is het andere niet. Ze verschillen onderling door de wijze waarop de druk ter hoogte van het freeswiel opgebouwd wordt. Soms wordt ook lucht gebruikt. [13]

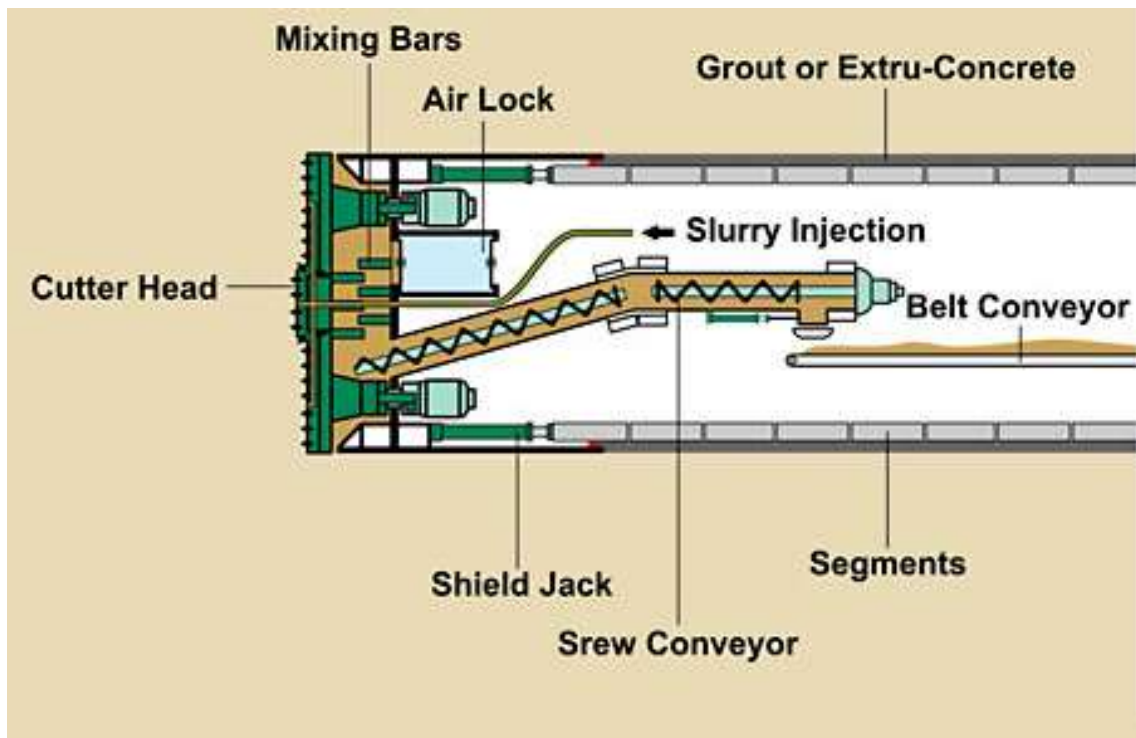
---

<sup>2</sup> Bentoniet is een in de natuur voorkomende kleisoort met grote zwelcapaciteit wanneer het met water in aanraking komt.





Figuur 6: AVN-methode [14]



Figuur 7: EPB – methode [14]

### **1.6.2 EPB-freeswiel**

Een EPB, of Earth Pressure Balance Shield, wordt gebruikt voor kleigronden. Het grote voordeel van dergelijke freeswielen is de minimale oversnijding, waardoor de zettingen beperkt blijven en er geen verlies van boorsnelheid is. Waar bij een slurryschild externe materialen gebruikt werden om een waterdicht front te creëren, maakt een EPB-schild gebruik van de reeds afgegraven grond. Deze grond wordt eerst gecompriëerd in de werkkamer achter het freeswiel vooraleer de grond wordt afgevoerd. De plasticiteit moet hoog genoeg zijn. Wanneer dit niet het geval is kunnen polymeren of schuim gebruikt worden. Het grote voordeel is echter dat ook fijne zandsorten, zoals silt, bedwongen kunnen worden met een EPB-machine. [5]

De werkkamer wordt leeg gegraven met een avegaar. De snelheid die hiervoor gehanteerd is, bepaalt de steundruk aan het front. Het gebruik van een avegaar is enerzijds minder nauwkeurig en heeft dus grotere veiligheidsmarges (zie hoofdstuk 3) nodig. Deze eis beïnvloedt de diepteligging en bijgevolg ook de kostprijs van de tunnel. Anderzijds zijn de gevolgen bij instorting beduidend kleiner dan bij een vloeistofschild. Dit omdat de werkkamer reeds vol met grond zit.

EPB-schilden vinden hoofdzakelijk toepassingen in zachte, cohesieve gronden met lage doorlatendheid. Dit komt omdat zand (> 20%) grote krachten ten gevolge van wrijving teweegbrengt. Schuim kan dit effect reduceren, in combinatie met verlaagde drukken in de avegaar (lekgevaar).

Belangrijk om weten is ook dat de grondwaterdruk kan variëren in de tijd. Onder andere door getijwerking of de aanwezigheid van slecht doorlatende lagen die zorgen voor een faseverschuiving als gevolg van vertraging. Wanneer de druk van de plastische grond in de werkkamer gelijk is aan de grond- en waterdruk, is het nodige evenwicht bereikt. [15]

### **1.6.3 Mix-freeswiel**

Een nieuwe ontwikkeling op het gebied van freeswielen is het mix-freeswiel. Het behoort ook tot de gesloten-fronttechniek. Het vindt zijn belangrijkste toepassingen in wisselende grondsamenstellingen waar het in het verleden economisch en/of praktisch niet haalbaar was om één machine te kiezen. Het kan naargelang de omstandigheden wijzigen van type schild. Dit kan snel gebeuren omdat het zowel een AVN- als een EPB-freeswiel in één kan zijn. [15]

## **1.7 Open front techniek (OFT)**

Zoals eerder vermeld is de open front technologie niet geschikt voor boringen onder het grondwaterniveau. Hiermee wordt bedoeld dat er zich op het moment van de boring geen grondwater mag bevinden. Door middel van bemaling over het volledige tracé kan een boring met OFT techniek onder het oorspronkelijke grondwaterniveau plaatsvinden. De OFT-techniek maakt geen gebruik van een freeswiel. Voorbeelden van OFT technologie zijn de handuitgraving (bij menstoegankelijke diameters), de avegaarmethode, uitgravingen d.m.v. een graafkraantje of m.b.v. een frees. [5]

## 1.8 Andere

Voor harde rots is een speciale, extra krachtig uitgeruste rotskop nodig. Deze zijn zowel verkrijgbaar in open- als gesloten front versie en zijn afwisselend uitgerust met of zonder freeswiel. De machine is identiek, maar de breekruimte is beperkt in omvang vanwege het intensiever gebruik. Vanwege de stabiliteit, blijft na een boring in rots de volledige oversnijding<sup>3</sup> achter als holte. [16]

Voor de volledigheid wordt nog vermeld dat er een derde techniek bestaat, de pneumatische boortechniek. Omdat dit niet relevant is voor het verdere verloop wordt hier niet verder op ingegaan.

## 1.9 Conclusie

Mag blijken dat microtunneling een complex proces is dat veel kennis en materiaal vereist. Toch werden de eerste microtunnels reeds uitgevoerd begin jaren 70. Tot de ontwerpcriteria behoren ook geotechnische grondeigenschappen. Zo zal de aanwezigheid van grondwater, het type ondergrond, alsook de samenstelling van de grond een belangrijke rol spelen in de keuze voor het freeswiel en later voor de bepaling van de steundruk op dat boorfront. De keuze om een AVN (zand), of een EPB (klei) schild te gebruiken is dan voor de hand liggend.

---

<sup>3</sup> De oversnijding is (of snijdt) de annulaire ruimte (of ringspleet). Deze wordt gemaakt door de uiterste diameter van het freesrad, veroorzaakt door de buitenste disk of bijtel, t.o.v. de buitendiameter van de machine.



## Hoofdstuk 2: Bentoniet

Bij gebruik van een AVN-schild tunnelboormachine zijn boorvloeistoffen van wezenlijk belang voor het overbrengen van steundruk op het boorfront. Verder moet de boorvloeistof geschikt zijn om de gronddeeltjes te transporteren en in mindere mate om de wrijving van de tunnelboormachine (TBM) te reduceren tijdens het boren. Tot nu toe wordt gebruik gemaakt van een bentonietslurry als boorspoeling. Dit hoofdstuk gaat dieper in op de werking, de eigenschappen en toepassingen van bentoniet in het microtunnelingproces.

### 2.1 Wat is bentoniet?

Bentoniet is een kleimineraal uit de smectietgroep, bestaande uit minimaal 70% montmorilloniet. Deze klei is genoemd naar zijn originele vindplaats in Montana. Het beschikt over merkwaardige karakteristieken die zijn veelzijdigheid verklaren. Verder kan het stoffen als kwarts, veldspaat, pyriet, kalk en gebonden water bevatten. Montmorilloniet heeft een gelaagde structuur van drie lagen. Het heeft de volgende structuurformule:



Het montmorilloniet is negatief geladen, en moet dus geneutraliseerd worden om een neutraal molecuul te krijgen. Dit kan door de aanwezigheid van Natrium, Calcium of Magnesium. De eigenschappen zijn afhankelijk van het overheersende chemisch element. De voornaamste zijn Natrium-bentoniet en Calcium-bentoniet:

Tabel 3: Verschil tussen Natrium- en Calcium-bentoniet [17]

	Calcium	Natrium
Toepasbaarheid	+	-
Zwilvermogen	-	+
Viscositeit	-	+
Suspensie	-	+
Waterdichtheid	-	+

### 2.2 Eigenschappen

Een van de belangrijkste eigenschappen van bentoniet is het zwilvermogen. Er zal altijd een evenwicht moeten zijn tussen de osmotische en elektrostatische druk. In het voorbeeld van Natriumbentoniet, zal er dissociatie plaatsvinden in water waardoor het zwilvermogen tot 20 keer het eigen volume bedraagt. Naast osmotische zwellings, bestaat ook kristallijne zwellings die zowel bij Calcium als bij Natrium optreedt. Dit wil zeggen dat de natriumionen zich afscheiden tot de elektrostatische druk gelijk is door ionen naar zich toe te trekken. De positieve bentonietplaatjes zullen op hun beurt aangetrokken worden door de negatieve oppervlakten. Het zwilvermogen bedraagt hierbij wel slechts 2 keer het eigen volume. Het water, dat een dipolair karakter heeft, gaat een zwakke binding aan met de elektrostatische (dubbel)laag rond de kleiplaatjes waarna de dispersie een gel wordt. De binding is makkelijk breekbaar, maar het proces is reversibel en dus zullen de bindingen zich in rust ook snel herstellen waarna opnieuw de gel gevormd wordt. [18]



### **2.2.1 Additieven**

Additieven worden gebruikt om de eigenschappen van boorvloeistoffen te optimaliseren. Ze zijn beschikbaar in vele varianten. Onder andere om de viscositeit, dikte, doorlaatbaarheid,... te wijzigen. Het gebruik varieert van 1 tot 35 kg/m<sup>3</sup>. Er zijn verschillende additieven beschikbaar op de markt, verschillend in werking en verbruik. [19]

### **2.3 Toepassingen**

Binnen microtunneling worden twee verschillende bentonietmengsels gebruikt op basis van Natrium. Omdat Calcium-bentoniet veel vaker natuurlijk voorkomt, wordt het na winning geactiveerd met behulp van Natriumcarbonaat (soda). Hierbij worden de Calcium-ionen uit het bentoniet vervangen door de natriumionen. Afhankelijk van de samenstelling worden deze Natrium-mengsels gebruikt in vier toepassingen:

- 1) Smering van de boorkop;
- 2) Versteving ondergrond;
- 3) Reductie van de wrijving;
- 4) Afvoer van het puin.

Voor een bentonietmengsel is het belangrijk dat de kleideeltjes gedispergeerd zijn en het liefst ook gedeflocculeerd. De kleiplaatjes zijn dan geheel los van elkaar en omdat er veel deeltjes in de spoeling aanwezig zijn is de viscositeit hoog. Deze twee eigenschappen zijn zeer bijvoorbeeld gunstig voor de versteving van het boorfront. Wanneer een bentonietmengsel als smeermiddel wordt gebruikt, worden vaak additieven toegevoegd.

De geologie bepaalt de boormethode en de samenstelling van het bentonietmengsel dat gebruikt wordt. Elke grondsoort vergt echter andere eigenschappen van het mengsel. Onderstaande tabel geeft een overzicht van het gebruikte mengsel in functie van de grondsoort. Ook is de samenstelling bepalend voor de soort toepassing. Bij de interpretatie moet er wel rekening gehouden worden met het feit dat er niet enkel geboord wordt in één grondsoort. [19]

Grondsoort	Bentonietmengsel	Toepassingen/eigenschappen
<b>Klei</b>	Water of lage concentratie bentoniet voor eventuele zandlagen	Samenstelling voor optimale scheiding kleideeltjes
<b>Zand (&lt; 2mm)</b>	Bentoniet, eventueel met polymeren	Goede afpleisterende werking; transporteren deeltjes uit TBM
<b>Grond (&gt; 2 mm)</b>	Hoog vaste stof gehalte en viscosifiers	Additieven die poriën afsluiten
<b>Veen</b>	Bentoniet met base (stijging pH)	Stabiele pH
<b>Mergel</b>	Water of lage concentratie bentoniet	/

**Tabel 4: Soorten boorspoeling afhankelijk van de ondergrond [19]**

### **Klei**

Een boring in klei kan enkel water als boorvloeistof gebruiken. Dit omdat klei zelf als afpleisterende eigenschappen heeft vanwege zijn slechte doorlaatbaarheid. Eventueel kan er geboord worden met een lage bentoniet concentraties indien er door meer doorlatende lagen geboord moet worden. Dit moet echter zo veel mogelijk vermeden worden, omdat de scheiding van bentoniet en klei zeer moeilijk verloopt.

### **Zand**

In zand kan het noodzakelijk zijn om boorvloeistoffen met een lagere tot matige bentoniet concentratie te gebruiken en daar polymeren aan toe te voegen. De boorvloeistof heeft een goede afpleisterende werking nodig om niet teveel vloeistofverlies te krijgen en om de steundruk effectief op het grondmassief over te brengen. In zandsoorten met een hoge doorlatendheid kunnen plugmaterialen de afpleistersnelheid versnellen.

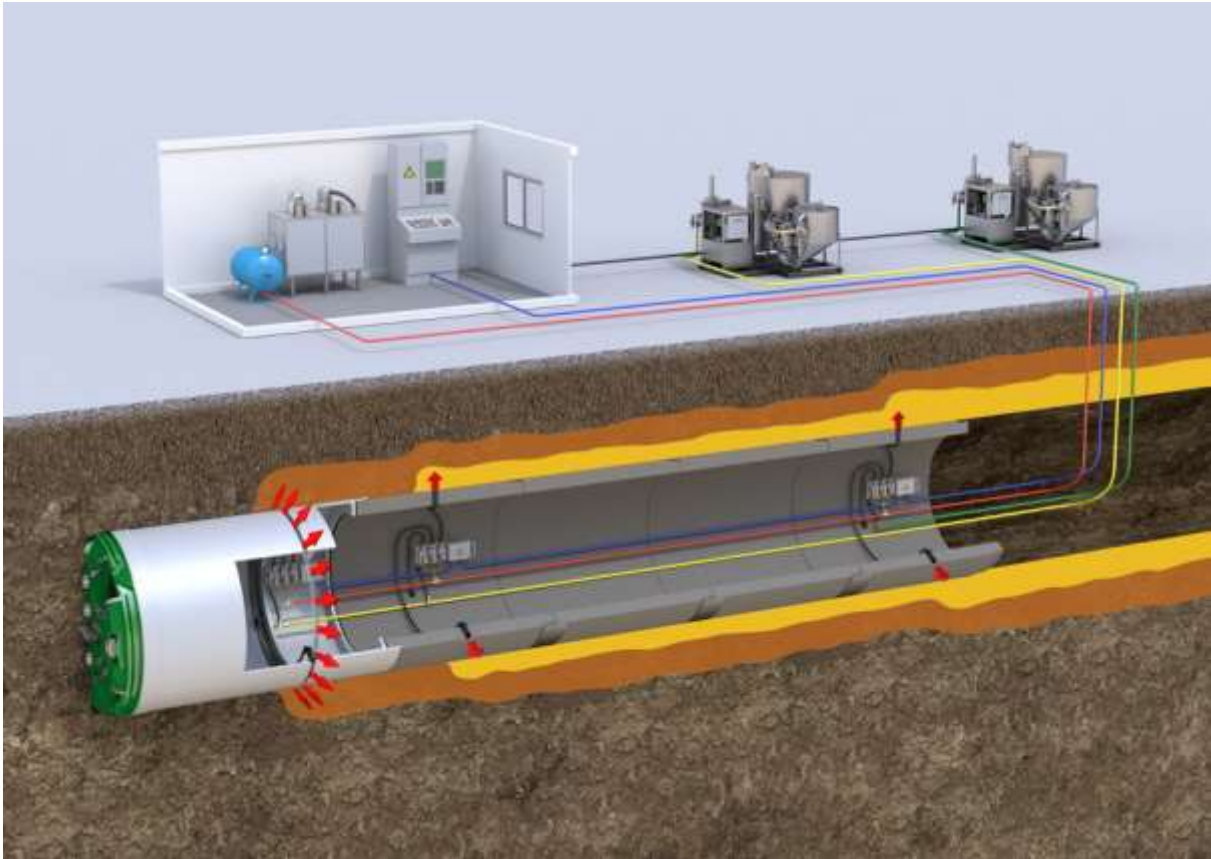
### **Grind**

Bij het boren door grindlagen worden boorvloeistoffen met zeer hoge bentoniet concentraties gebruikt om voldoende afpleistering te krijgen. Daaraan dienen relatief grove plugmaterialen en chemische additieven (viscosifiers) toegevoegd te worden. Buiten deze additieven moeten ook thinners worden gebruikt, die flocculatie en aggregatie in deze geconcentreerde spoeling moeten tegengaan.

### **Rots**

Rotsformaties hebben de eigenschappen zeer hard te zijn en zichzelf in stand te houden. Ondanks hier geen spontane instorting van het front kan plaatsvinden, wordt toch bentoniet als smeervloeistof gebruikt om slijtage tegen te gaan. Ook in het boorwater wordt bentoniet gebruikt voor de afvoer van het afgebouwde materiaal.

## 2.4 Smeersysteem



Figuur 8: Bentoniet lubricatie systeem (wrijving) [20]

Het eerste mengsel wordt een “smeermengsel” genoemd gebruikt om de ringvormige oversnijding rond de betonnen volgbuizen op te vangen. Het hoofddoel is om de laterale schachtwrijving te reduceren. De wrijving tussen de betonnen buis en de geboorde schacht kan rekenen op de zeer lage wrijvingscoëfficiënt van bentoniet. Door de voortdurende beweging is de variatie in de tijd ook beperkt. Dit is van belang om de perskrachten van de hoofpersen in de persput onder controle te houden.

Daarnaast kan deze oversnijding, ongeacht het bodemprofiel, ook zorgen voor zettingen aan het maaiveld. Het volume van deze ruimte kan eenvoudig berekend worden en neemt al snel waarden aan van 0.20 m<sup>3</sup> (200 liter) bentoniet per lopende meter bij gebruik van een DN1800. Deze ruimte vullen met bentoniet zal het zetten van de ondergrond dus tegenwerken. Op deze manier werkt het als een versteviging van de ondergrond om de geologische stabiliteit te waarborgen. [20]

Om een optimaal resultaat te verkrijgen, is niet enkel de samenstelling van het bentonietmengsel van belang, maar ook de uitvoeringsmethode. Er zijn twee manieren waarop de oversnijding kan worden opgevuld. Slechts de meest recente zal hier zijn toepassing vinden. Hierbij wordt geïnjecteerd vanaf de eerste buis na de TBM. Het is vanwege het volumeververschil de belangrijkste plaats om een volledige smering te bereiken. Dit is belangrijk omdat de smeringsfilm zich zeer moeilijk herstelt eens de buis in rechtstreeks contact is gekomen met de ondergrond.

Een tweede aandachtspunt is de interactie met de ondergrond na het injecteren. Wanneer het bentonietmengsel in contact komt met een absorberende ondergrond, zal het bentoniet indringen doorheen de bentonietfilm tot de grond rond de schacht verzadigd is en spreekt men van een inwendige filterkoek. Hierbij zal ook veel geïnjecteerde bentonietvloeistof verloren gaan die toch in rekening gebracht moet worden. Het geabsorbeerde volume is afhankelijk van de poriën- en/of korrelgrootte van de ondergrond en specifieke vloeistofkenmerken. Bij een externe filterkoek zal bentonietvloeistof zich tussen de twee bentonietfilmen (die zich nu wel gevormd heeft langs de schacht) bevinden en de buizen op deze manier geleiden.

### Hoeveelheid bentoniet voor smering?

Voor onderstaande waarden van reële projecten kan aan de hand van de projectparameters en de geologische samenstelling een bentonietberekening gemaakt worden. [21]

Diameter (DN)	1400	mm
Geologie	Zand	-
Tunnellengte	850	m

Zoals vermeld bestaat de bentonietsmering uit meerdere componenten. Deze worden eerste bepaald om het totaal benodigde volume te bepalen:

Oversnijding volume	0.154	m <sup>3</sup> /m
Geïnjecteerd volume	0.128	m <sup>3</sup> /m
Extra volume	0.100	m <sup>3</sup> /m
<b>Totaal volume</b>	<b>0.382</b>	m <sup>3</sup> /m

Met behulp van de densiteit (10,1 kN/m<sup>3</sup>) en de boorsnelheid (10 cm/min) kan het pompdebiet voor het bentonietcircuit bepaald worden. Voor bovenstaand voorbeeld geeft dit een resultaat van 38 liter per minuut.

Het is van belang om de vooraf bepaalde hoeveelheid bentoniet ook in de praktijk te hanteren. Bij het overinjecteren bestaat echter het risico op vastzitten van de tunnel ten gevolge van een wrijvingsverhoging (bij niet absorberende grond) of het aan de oppervlakte komen van bentoniet (bij absorberende grond). Anderzijds kan een tekort aan bentoniet ook zorgen voor een verhoging van de wrijvingskrachten door het contact met de grond of zettingen aan het maaiveld door het instorten van de oversnijding.

Deze injecties rond de buis worden gestuurd vanuit de tunnel via zogenoemde smeerunits. Deze smeerunits gebruiken perslucht-aangedreven ventielen. Tijdens het boren maken ze het mogelijk om bentoniet op een precisie en doelgerichte manier te gebruiken. Een op afstand computergestuurd systeem heeft de mogelijkheid 3 injecties, verdraaid over 120°, elke 15 meter aan te sturen qua tijdstip, hoeveelheid en plaats.



## 2.5 Boorwater

Het tweede mengsel wordt boorwater of “face slurry” genoemd en gebruikt aan de boorkop. Met zijn dubbele functie heeft het ook andere eigenschappen dan het eerste mengsel. Het boorwater bevindt zich ook steeds in een gesloten circuit.

### 2.5.1 Boorfrontondersteuning

Hier wordt het door middel van een bepaalde druk op verschillende plaatsen geïnjecteerd. De grondlagen en het grondwater voor en boven de tunnel oefenen actief gronddruk uit op het boorfront. De stabiliteit kan enkel gewaarborgd blijven als door het freeswiel voldoende tegendruk geleverd wordt om aan de hydrostatische en mechanische druk te weerstaan. Zelfs wanneer de stabiliteit het niet nodig acht steundruk op te bouwen, kan dit toch nodig zijn om de instroom van water te voorkomen. Aan het front worden steeds licht overdrukken gebruikt. Zo is het belangrijk de juiste steundruk te gebruiken. Te weinig druk leidt tot instorting, te veel tot uitblaas en verstoring. [20]

Vlak achter het schild wordt boorwater geïnjecteerd. Bij het roteren van het freeswiel zal de grond weggeschrapen worden en afgevoerd doorheen het freeswiel naar de breekkamer. Hier kan de grond nog verder gebroken worden tot kleinere fracties. Zowel de buitenkant van het freeswiel wordt op deze manier gesmeerd, alsook binnen in de breekkamer.

### 2.5.2 Spoelsysteem

Achter de breekkamer wordt opnieuw boorwater geïnjecteerd. Het wordt dus een tweede keer gemengd om op deze manier een suspensie te verkrijgen die “slurry” genoemd wordt. Het mengsel kan op deze manier makkelijker afgevoerd worden door het spoelsysteem. Dit systeem bestaat bij hydraulisch grondtransport uit een zuiver mengsel van klei en water (= bentoniet) in de toevoer en suspensie van bentoniet en gronddeeltjes in de afvoerleiding. Door de grote viscositeit van het mengsel ontstaat er een drijvend karakter. Dit wil zeggen dat de gronddeeltjes niet zinken naar de bodem en het homogene mengsel eenvoudig verpomptbaar is.

Wanneer de suspensie de persput verlaten heeft worden de gronddeeltjes m.b.v. een ontzander gescheiden van het boorwater. Zolang de kwaliteit van het boorwater het toelaat, kan het hergebruikt worden. Dit wordt steeds in situ gecontroleerd en bijgehouden in de vorm van een protocol.

## 2.6 Conclusie

Bentoniet is een kleimineraal uit de smectietgroep, bestaande uit minimaal 70% montmorilloniet. Het heeft veel eigenschappen ten voordele van de tunneltechniek waaronder een grote zwelcapaciteit als het in contact komt met water. Het bentonietsysteem bestaat uit een smeersysteem en een boorsysteem. Het doel van elke boring is om de omliggende grond zo weinig mogelijk te verstoren. Om de wrijving met de ondergrond te beperken wordt rondom de buis bentoniet geïnjecteerd in de oversnijding-holte. Op deze manier worden ook zettingen tot een minimum beperkt.

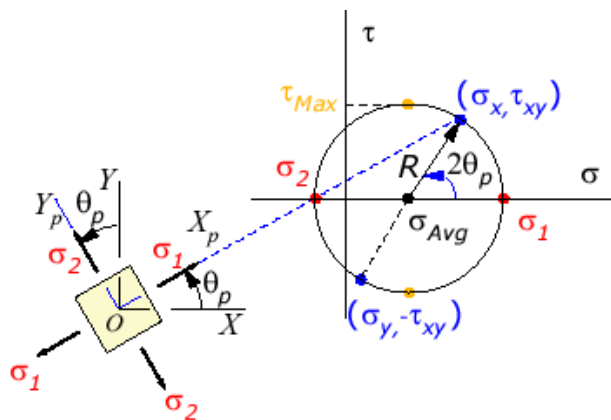
Om de instroming van grondwater te vermijden en de stabiliteit van het boorfront te waarborgen wordt ook een bentonietkoek gevormd aan de boorfront. Ook in het spoelsysteem zorgt het bentoniet voor de opname van afgebouwde grondvolumes om deze suspensie op het maaiveld terug te scheiden in water en grond. Voor elke grondsoort, elk project, moet de samenstelling opnieuw bepaald worden om de eigenschappen te bekomen die voldoen aan het bodemprofiel.

## Hoofdstuk 3: Bezwijkmechanismen en berekeningsmethodes

Bij AVN-boringen is een ondersteuning van het freeswiel noodzakelijk is. De zogenoemde boorfrontondersteuning of frontsteundruk. Een inleiding tot grondspanningen om de krachtwerking beter te begrijpen leidt het hoofdstuk in waarna een overzicht van de verschillende berekeningsmethode, en bijhorende analyses, volgt als basis voor de optimalisatie later.

### 3.1 Spanningsanalyse

Spanningen in grond worden enigszins anders gedefinieerd dan in sterkteleer. Elke kracht op een oppervlak kan ontbonden worden in een normale en tangentiële component. Deze geven aanleiding tot druk- of trekspanningen en schuifspanningen. Uit de spanningsanalyse is geweten dat 2D-spanningen eenvoudig geanalyseerd kunnen worden met de cirkel van Mohr. Beschouw een 2D-situatie met de grootste hoofdspansing verticaal gericht en waarbij een vlak een hoek  $\alpha$  maakt met het vlak van deze grootste hoofdspansing. [22]



Figuur 9: Cirkel van Mohr [22]

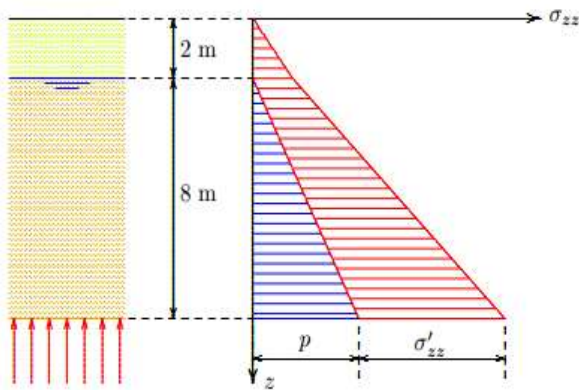
Elk punt op de cirkel geeft de normaal- en schuifspanning weer die inwerken op een vlak met een bepaalde richting. De grondlagen voor en boven de tunnel oefenen actief gronddruk uit op het boorfront. Gebouwen en belasting op het maaiveld vormen een bijkomende last voor de optredende gronddruk.

#### 3.1.1 (Effectieve) spanningen

In 1.4 Grondonderzoek werd duidelijk dat grond bestaat uit korrels, water en lucht. Deze zijn allemaal onderworpen aan spanningen en vervormingen. Afhankelijk van de modellen die volgen zullen ze gebruik maken van effectieve spanningen, hetzij ongedraineerde schuifsterkten. Het zijn niet de korrels die vervormen, maar wel de korrelstructuur, de poriënruimte tussen de korrels dus. De veronderstelling bij lucht is zodanig dat het zich steeds onder atmosferische druk bevindt en dus geen spanningsbijdrage levert.

Effectieve spanningen zijn de gemiddelde contactkrachten tussen de korrels per totaal grondoppervlak. Deze vormen samen met de grondwaterdruk de totale spanning. Omdat bij grondwater een isotrope druk heerst, heeft dit geen invloed op de schuifspanningen. Hierbij moet onderscheid gemaakt worden tussen verzadigde en niet verzadigde gronden. Wanneer grondwater aanwezig is, zal de belasting in theorie volledig door het water opgenomen worden. De effectieve grondspanningen en schuifspanningen zullen dus beduidend lager zijn door het opdrijvend vermogen. Bij droge gronden worden deze spanningen volledig opgenomen door de korrels.

Voor onverzadigde gronden, zoals deze in de praktijk veel voorkomen, is de situatie ingewikkelder. Het grondwater neemt maar een deel van het poriënvolume in en er treedt een zuigspanning op. Er zou dus een correctie moeten plaatsvinden in functie van de verzadigingsgraad. Het bepalen van deze factor is proefondervindelijk en zeer moeilijk. In de praktijk verwaarloost men deze reductiefactor. Dit is verantwoord omdat de zuiging negatief is, en de effectieve spanningen dus onderschat worden. [22]



Voorbeeld: Het betreft hier een onverzadigde situatie waarbij de waterdruk op 10 meter diepte  $80 \text{ kN/m}^2$  bedraagt. Een droge grondspanning gedurende de eerste twee meter is  $34 \text{ kN/m}^2$  (volumegewicht =  $17 \text{ kN/m}^3$ ). Voor de 8 meter die volgen moet het natte volumegewicht van  $19 \text{ kN/m}^3$  gebruikt worden wat resulteert in  $152 \text{ kN/m}^2$  voor dit gebied. De effectieve grondspanning bedraagt op 10 meter diepte dus  $186 - 80 = 106 \text{ kN/m}^2$ .

**Figuur 10: Voorbeeldberekening effectieve spanningen [23]**

### 3.1.2 Consolidatie

Wanneer gebouwen of maaiveldbelasting zorgen voor een spanningstoename wordt deze via een herverdeling van het grondwater op termijn volledig omgezet in effectieve spanningen. De snelheid waarmee dit gebeurt is afhankelijk van de doorlatendheid van de grond. In kleigronden zal dit proces trager verlopen dan in zandgronden. Bij verlaagde grondwaterstand vindt consolidatie plaats, waardoor ook zettingen kunnen optreden aan het maaiveld.

### 3.1.3 Grensspanningstoestand

De theorie van de grensspanningstoestanden werd opgesteld door Rankine. Op basis van de cirkel van Mohr kunnen gronddrukcoëfficiënten gedefinieerd worden om het rekenwerk te vereenvoudigen. De passieve gronddrukcoëfficiënt zegt dat de verticale (grootste) hoofdspanning moet vergroten tot een waarde waarbij breuk optreedt. Voor deze breuk plaatsvindt heeft de grond zich dus passief verzet tegen de vervorming totdat hij uiteindelijk bezwijkt. Een andere grensspanningstoestand is de actieve grensspanningstoestand waarbij de horizontale (kleinste) hoofdspanning verkleint tot breuk. De grond heeft nu meegewerkt om de breuk te veroorzaken.

Steundruk is dus de opgebouwde druk om te weerstaan aan de waterdruk, korreldruk en oppervlaktebelasting. Omdat er steeds een evenwicht moet zijn is de steundruk rechtstreeks gerelateerd met de grondspanning. Een stijging van de grondspanning moet gecompenseerd worden door een toenemende steundruk. De steunkracht kan dus beschouwd worden als een grondspanning op de wig (zie 3.4 *Glijvlakmethoden*). Deze steundruk is echter aan bepaalde grenzen gebonden. Wanneer de steundruk te laag is zal dit leiden tot instorting of actief bezwijken van het boorfront, daar waar een te hoge steundruk een passief bezwijkmechanisme activeert. Een veelvoorkomend gevolg is een 'blow-out'. Bij lage overdekkingen zal steeds het volledige boorfront falen en spreekt men van globaal bezwijken. Soms is lokaal bezwijken ook mogelijk, maar dit kan overgaan in globaal bezwijken. [23]



De minimale steundruk wordt bepaald door de diepteligging van de tunnel, de heersende grondwaterdruk ter hoogte van het boorfront en de samenstelling van de ondergrond. De grondwaterdruk is hierbij de prominente factor. De maximale steundruk is bovendien ook afhankelijk van de keuze voor de AVN-, hetzij EPB-techniek.



**Figuur 11: Grafische weergave van de regeldruk**

Als bovenstaande figuur de steundruk weergeeft is de ondergrens bij instort de onveilige minimale steundruk en de bovengrens bij uitblaas de onveilige maximale steundruk. Men zal dus steeds een druk tussen de minimale en maximale steundruk moeten realiseren, de regeldruk. De marge hierop wordt bepaald door de diepteligging, hoe meer overdekking, hoe groter de marge. [22]

*Tijdens de berekeningen van de frontsteundruk wordt geen rekening gehouden met andere stabiliteitsinvloeden of beperkende factoren. Deze afhankelijk van andere parameters tijdens het boorproces wordt tijdens alle berekeningen verondersteld constant te zijn. Op deze manier kunnen invloeden op de frontsteundruk volledig theoretisch geïnterpreteerd worden.*

#### **PRAKTIJDVOORBEELD:**

Tijdens een boring in het Nederlandse Tilburg, waar de ondergrond uit zand bestond, zijn steundrukken tussen 60 en 100 kN/m<sup>2</sup> berekend en waargenomen. Dit wil zeggen dat het freeswiel een totale tegendruk leverde van ca. 31.000 kg over een cirkelvormige oppervlakte van 2,2 meter diameter. Verdeeld over 4 stuurpersen in de perskuip komt dit overeen met 7750 kg of 76 kN per stuurpers. Deze drukwand moet dergelijke krachten dus ook kunnen weerstaan.

## 3.2 Invloeden

Voor de berekening van frontsteundrukken moeten volgende invloedsfactoren in rekening gebracht worden: [24]

### 1. Dwarsdoorsnede

Een zorgvuldige dwarsdoorsnede zal zorgen voor een goede weergave van de eigenschappen van het traject. Kennis van het traject en de ondergrond is daarbij van groot belang. Het doel is om op basis van deze info de juiste techniek (grondwater), het freeswiel en de steundruk zo economisch mogelijk te bepalen. De hoogte van het grondwater is dus een belangrijke parameter vanwege zijn impact.

### 2. Diepteligging

Met een toenemende diepteligging onder het grondwaterniveau, stijgt ook de grondwaterdruk lineair bij eenzelfde grondwaterstand. Op grote diepte zal deze dus dominerend zijn. Kleine overdekkingen zijn ook kritische punten voor de berekening van zettingen en het risico op uitblaas. De steundruk heeft een omgekeerd evenredig verband met de diepteligging van de tunnel.

### 3. Diameter

Met een toenemende diameter van de tunnel zal de oppervlakte van het boorfront kwadratisch toenemen. Dit zal ter hoogte van de vloei van de buis resulteren in grotere steundrukken. Wanneer de sensor van de steundruk zich boven de as van de tunnel bevindt, zal deze niet diameter afhankelijk zijn, maar overdekkings afhankelijk.

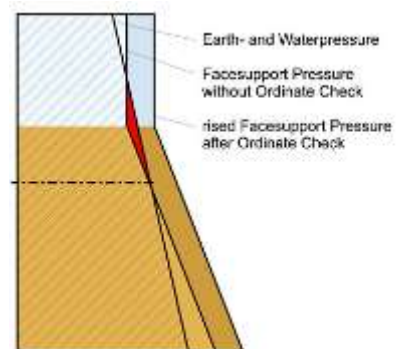
### 4. Grondwaterlevel

Waterdruk wordt zoals eerder aangehaald meegenomen in de berekening van de frontsteundruk. Bij fluctuerende waterlevels moet het meest passende gekozen worden op het moment van de werken.

$$p_{water} = \gamma_{water} \cdot h_{water}$$

### 5. Steunvloeistof

De keuze van de steunvloeistof hangt bij AVN, zoals vermeld, zowel af van het type TBM als van het type freeswiel. Bij het gebruik van luchtdruk, als buffer om de steundruk constant te houden, vindt een andere drukverdeling plaats dan bij een vloeibare steunvloeistof. Dit wordt in rekening gebracht bij de berekeningen en weergegeven in nevenstaande figuur. De EPB-methode maakt gebruik van luchtdruk om het grondwater te verdringen.



Figuur 12: Drukverdeling freeswielen [24]

## 6. Veiligheidsfactoren

Omdat elke berekening een voorspelling is, en grondmechanica geen exacte wetenschap is, worden op verschillende waarden veiligheidsfactoren toegepast. Deze factoren kunnen bijzonder groot worden (x 1.5) waardoor ze een vertekend beeld zouden geven voor het doel van dit onderzoek. Ze worden toegelicht in 3.6 *Veiligheidsfactoren*, maar niet meegenomen in de berekeningen.

## 7. Rekenmodel

De wijze waarop een berekening gemaakt wordt, speelt natuurlijk ook een grote invloed op het eindresultaat. 3.3 *Rekenmodellen* en 3.4 *Glijvlakmethoden* zullen dieper ingaan op de verschillende modellen en berekeningswijze.

### 3.3 Rekenmodellen

Om inzicht te krijgen in de verschillende rekenmodellen moet eerst het begrip ‘totaal bezwijken’ verklaard worden. De meeste rekenmodellen zijn hier echter op gebaseerd. Wanneer de grond aan het maaiveld zich in de plastische fase bevindt, kan men spreken van totaal bezwijken. Dit geldt zowel voor uitblaas als voor instort (zoals eerder beschreven).

Hoe kan met zekerheid gezegd worden dat dit bezwijkmechanisme maatgevend is t.o.v. lokaal bezwijken? Dit hoeft echter niet altijd het geval te zijn en kan verduidelijkt worden met volgende vuistregels die soms meer waarde hebben dan ingewikkelde rekenmodellen:

Als de steundruk groter wordt dan de verticale grondspanning, dan kunnen scheuren snel groter worden tot uitblaas leiden. Dit impliceert een maximale steundruk van  $q_{max} = \sigma_v$ . Daar waar de minimale steundruk wordt weergegeven door een actieve grondspanning. Of in symbolen:  $q_{min} = \sigma_a$

De bovengrens voor instorting is geen bezwijktoestand maar een fysisch fenomeen. Door boogwerking blijft het boorfront staan, maar onder andere wanneer grondwater mee naar binnen spoelt zal instorting optreden ( $q_{min} = p_{water}$ ). Ook zonder grondwater is instorting van het boorfront mogelijk. [25]

Opvallend is dat alle methoden bijzondere nadelen hebben en afhankelijk zijn van de wensen van de gebruiker en dus het project. Grotendeels komen tekortkomingen overeen, maar voor de volledigheid zijn ze achter elke methode gespecificeerd.

#### Anno 2017

De huidige berekening die K-Boringen hanteert is gebaseerd op het gebruik van actieve en passieve gronddrukken. Het is een rekenmodel dat geen gebruik maakt van glijvlakken. Omdat de methode geen wetenschappelijke onderbouwing heeft wordt ze niet besproken. Dit wil echter niet zeggen dat ze niet representatief kan zijn. Het gebruik van actieve en passieve gronddrukken is wel wetenschappelijk onderbouwd in het begin van Hoofdstuk 3. In Hoofdstuk 4 is een voorbeeld toegevoegd van dergelijke berekening op basis van actieve en passieve gronddrukken.

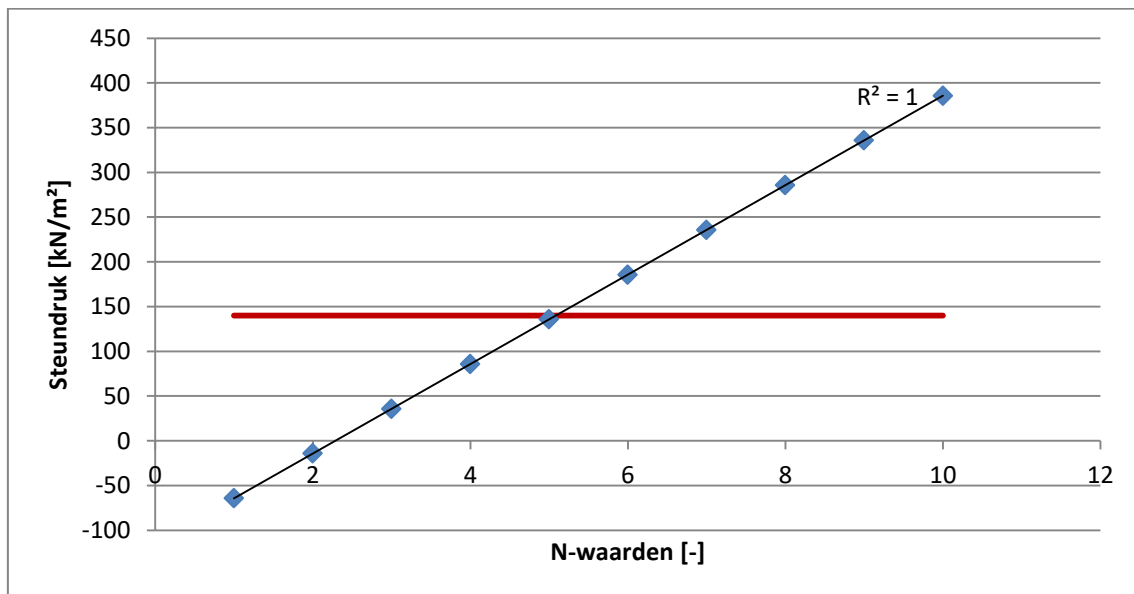
### 3.3.1 Broms en Bennermark

Een van de eerste (1967) en meest algemene methoden in het onderzoek naar de stabiliteit van een boorfront waren Broms en Bennermark. Hun 2D theorie heeft heel wat beperkingen waaronder het feit dat deze enkel geldig is in ongelaaide cohesieve kleigronden. De resultaten zijn representatief voor actief bezwijken. Er bestaat ook een ondergrondse en bovengrondse oplossing voor zuiver niet-cohesieve gronden volgens Atkinson en Potts, maar dit ter zijde.

$$N = \frac{\sigma_s - q_{max/min} + \gamma \cdot \left(C + \frac{D}{2}\right)}{c_u}$$

Met:  $\sigma_s$  = de bovenbelasting op het maaiveld [kN/m<sup>2</sup>]  
 $c_u$  = ongedraineerde schuifspanning [kN/m<sup>2</sup>]  
 $\gamma$  = nat volumegewicht [kN/m<sup>3</sup>]  
 $C$  = overdekking [m]  
 $D$  = buitendiameter tunnel [m]  
 $N$  = een eenvoudige functie van  $C/D$  [-]

Empirisch wordt gehanteerd dat de conusweerstand gedeeld door de conusfactor (= 0.20) een aanvaardbare benadering geeft voor de ongedraineerde schuifspanning. Voor zandgronden is de methode dus niet bruikbaar gezien hier geen ongedraineerde schuifspanning bestaat.



Figuur 13: Bepaling van de N-factor bij ongedraineerde rekenmodellen

Om uit de formule de steundruk  $q_{max/min}$  te berekenen is het nodig een representatieve waarde voor  $N$  te bekomen.  $N$  is hierbij een constante factor en afhankelijk van de overdekkingsratio  $C/D$ . Een analyse waarbij de steundruk bepaald is voor enkele  $N$ -waarden geeft een lineair verband ( $R^2 = 1$ ) weer. Uit historische data van projecten blijkt ook dat wanneer al deze mogelijkheden vergeleken worden met de reële waarden voor de steundruk, uit bovenstaande grafiek afgeleid kan worden dat vanaf een waarde  $N = 6$  de formule representatieve waarden weergeeft.

### **Nadelen:**

Bij het gebruik van Bennermarks methode worden grote aannames gedaan om een oplossing te bekomen. Bovendien maakt de methode gebruik van de *ongedraineerde schuifspanning* wat ze ongeschikt maakt voor bijvoorbeeld zandgronden. Ook het gewicht van de steunvloeistof en de grondwaterstand worden niet in rekening gebracht.

### **Analyse:**

De methode zou onafhankelijk zijn van de diepteligging, wat zeer onwaarschijnlijk is. Onderscheid tussen het mechanisme voor uitblaas of instorting is er niet. Dat passief en actief bezwijken hetzelfde mechanisme gebruiken lijkt ook niet juist, of een vereenvoudiging van de werkelijkheid, te zijn. Bovendien is er voor niet cohesieve gronden geen afhankelijkheid van de gronddekking C!

### ***Ongedraineerde schuifspanning:***

*Het betreft hier gronden waarbij de schuifsterkte van belang is. In de praktijk wil dit zeggen dat er distorsie plaatsvindt. Wanneer de hoofdspansingen toenemen, beginnen de grondkorrels over elkaar te schuiven langs zekere glijvlakken waarna breuk optreedt. Deze schuifsterkte is het gevolg van wrijving tussen de korrels, gelijkaardig aan een voorwerp dat over een vlak schuift. De kritische waarde bestaat uit een cohesie, die de affiniteit tussen het voorwerp en het oppervlak weergeeft en een normaalspanning die het voorwerp tegen het oppervlakte drukt. Op deze manier wordt bekomen dat de grond niet zal bezwijken zolang de schuifspanning kleiner blijft dan een kritische schuifspanning welke gegeven wordt door de cohesie en de effectieve normaalspanning (ongedraineerd) maal de tangens van de inwendige wrijvingshoek. Dit geeft een betere benadering dan de eerder empirisch bepaalde formule. [23]*

### **3.3.2 David et Al.**

David et Al. heeft echter een formule ontwikkeld om de N-waarde te berekenen afhankelijk van het breukvlak. Er is hierbij een onderscheid tussen een cilindrisch en een sferisch of bolvormig breukvlak. Onderstaande tabel geeft een indicatieve weergave voor de N-waarde bij het betreffende breukvlak:

**Tabel 5: Indicatieve weergave N-waarde**

<b>Cilindrisch</b>	$N = 2 + 2 * \ln\left(\frac{C}{R} + 1\right)$
<b>Sferisch</b>	$N = 4 * \ln\left(\frac{C}{R} + 1\right)$

Eerder werd gesteld dat een waarde vanaf  $N = 6$  een goede indicatie zou zijn. Wanneer deze formules ingevuld worden met reële waarden uit de projecten van Tilburg en Maagdenburg worden waarden bekomen tussen de 5,4 en 6,6. Dit bevestigt het eerder resultaat. Met deze N-waarde heeft David et Al. ook een aanzet gegeven tot een benadering voor de minimale steundruk. [24]

$$\Delta q_{min} = \sigma_s + \gamma \cdot \left( C + \frac{D}{2} \right) - c_u \cdot 4 \cdot \sqrt{\left( \frac{C}{D} + 0,25 \right)}$$

Merk hierbij onmiddellijk de gelijkenis op met de formule van Bennermark. Logisch vermits het een optimalisatie is op basis van zijn formule, maar slechts voor de bepaling van de N-waarde. Dit maakt dat de nadelen dezelfde zijn en er ook geen onderscheid gemaakt wordt tussen instort en uitblaas.

### 3.3.3 Krause

Een derde methode die verder bouwt op het onderscheid tussen een cilindrisch en sferisch breukvlak is Krause. Zijn conclusie luidde dat cilindrische breukvlakken leidde tot maximale waarden van de steundruk, maar het sferische breukvlak het best aansluiting vond bij empirische waarnemingen. Het is ook de eerste methode die gebruik maakt van de grondparameter ‘hoek van inwendige wrijving’ en daarmee een stap zet naar de effectieve grondspanningen.

$$q_{min} = \left( \frac{1}{\tan(\varphi)} \right) \cdot \left( D \cdot \frac{\gamma'}{9} - \pi \cdot \frac{c}{2} \right)$$

$$q_{max} = \left( \frac{1}{\tan(\varphi)} \right) \cdot \left( D \cdot \frac{\gamma'}{3} - \pi \cdot \frac{c}{2} \right)$$

Met: c = cohesie van de grond [kN/m<sup>2</sup>]  
 $\varphi$  = inwendige wrijvingshoek [°]  
 $\gamma'$  = effectief volumegewicht [kN/m<sup>3</sup>]

#### Nadelen:

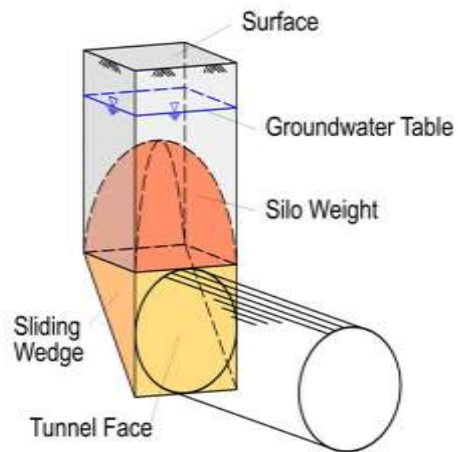
Het cilindrische en sferische breukvlak zijn nog steeds een veronderstelling. In de praktijk komen dergelijke breukvlakken echter zelden voor. Het gewicht van de steunvloeistof en grondwater worden niet in rekening gebracht. Voor wat het gebruik betreft is er geen afhankelijkheid van de verhouding C/D wat een analyse moeilijker maakt. Er bestaat geen onderscheid tussen globaal en lokaal bezwijken alsook geen afhankelijkheid van de overdekking en diepteligging wat zeer onwaarschijnlijk lijkt.

#### Analyse:

De diepteligging en grondwaterstand worden nog steeds niet in rekening gebracht. Het gebruik van cohesie en effectieve grondspanningen zorgen voor een reëler beeld, hetzij met een verkeerde veronderstelling van het breukvlak.

### 3.4 Glijvlakmethoden

In de praktijk worden meestal methodes gebruikt die steunen op analytische formules om steundrukken te berekenen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van verschillende glijvlakken die aanleiding geven tot instorting of uitblaas (= bezwijk). Opvallend aan deze methodes is dat sommige elkaar tegenspreken of onvoldoende aandacht krijgen waar nodig. Zo zou het indringen van bentoniet zorgen voor een reductie van het effect van de steundrukken. Dit effect is echter zeer klein. Ook het water afkomstig van de steunvloeistof doet de waterspanning stijgen waardoor korrelspanningen en bijgevolg ook de sterkte van de ondergrond afneemt. [23]



Figuur 14: Basis bezwijkmodel van Horn [23]

#### 3.4.1 Jancseez en Steiner

De methode dateert al uit 1994 en is gebaseerd op een vrij eenvoudig analytisch model. Namelijk het wigmodel van Horn. De keuze hiervoor kan dan wel verassend lijken, vermits de vorm van de wig niet eens past op de cilindrische doorsnede van een tunnel, maar blijkt zijn nut reeds bewezen te hebben. Het idee achter deze methode vindt zijn oorsprong in 1895 bij de silotheorie van Janssen en beschouwt het evenwicht in de richting van het schuine glijvlak achter de wig. Hierbij kan de schuifkracht, veroorzaakt door de korreldruk, ter hoogte van het schuine vlak weergegeven worden door:

$$K = \frac{\left[1 - \sin(\varphi) + \tan^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right)\right]}{2}$$

Het uitgeschreven krachtenevenwicht geeft volgende vergelijking:

$$E = \frac{(G + P) \cdot (\sin(\beta) - \tan(\varphi) \cdot \cos(\beta)) - K}{\cos(\beta) + \tan(\varphi) \cdot \sin(\beta)}$$

Om de minimale steundruk te berekenen, moet de steunkracht gedeeld worden door het kwadraat van de buitendiameter:

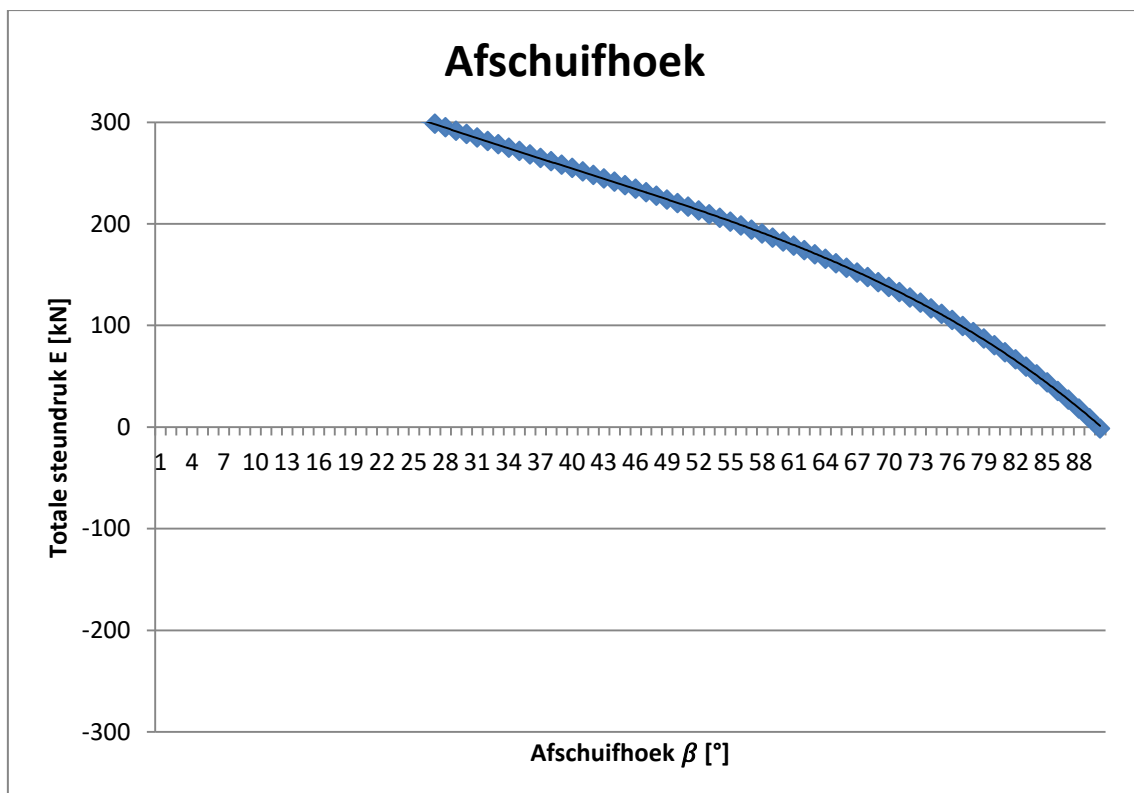
$$\Delta q_{min} = \frac{E}{D^2}$$

Met:	K	= dimensieloze constante [-]
	$\varphi$	= inwendige wrijvingshoek [°]
	$\beta$	= afschuifhoek wig [°]
	E	= totale steunkracht [kN]
	G	= korreldruk vloeiniveau [kN/m <sup>2</sup> ]
	P	= waterdruk vloeiniveau [kN/m <sup>2</sup> ]
	D	= uitwendige tunneldiameter [m]

### **Nadelen:**

Initieel is de methode niet geschikt voor gelaagde grond, maar deze is wel aanpasbaar te maken tot een uniforme formule (zie 3.4 *Invloed van de sillowerking en gelaagdheid*). Bovendien beschouwt de methode enkel instortverschijnselen. De vorm van het glijvlak lijkt hierbij onrealistisch en praktisch onmogelijk voor een instorting. Ook zijn niet alle krachten op de wig meegenomen in de berekeningen zoals de horizontale schuifkracht bovenop of de drukkrachten op de hoeken.

Onderstaande grafiek geeft voor verschillende wighoeken de waarde van de steundruk weer. De steundruk is nul bij een wighoek van 90 graden wat ook normaal is (= verticaal afschuifvlak). Merk ook op dat deze hoek een bijzonder grote invloed heeft op de steundrukwaarde. Het is dus van essentieel belang deze wighoek zo goed mogelijk in te schatten.



**Figuur 15: Afschuifhoeken Jancseez & Steiner**



De bepaling van de afschuifhoek is vrij complex en omslachtig. De meest wetenschappelijke manier om de hoek te vinden waarbij de steundruk minimaal is gebruik maken van afgeleiden. Wanneer het nulpunt van de afgeleide functie naar de wighoek bepaald zou worden, is de wighoek, en de overeenkomstige steundruk gekend. Hiervoor moet de afgeleide van E bepaald worden. G, P en K zijn constanten die geen afhankelijkheid van  $\beta$  kennen. De volledige afleiding is hieronder weergegeven in kleine stappen, met  $x = \beta$  en  $a = \varphi$ :

$$\frac{\partial((G+P)(\sin(\beta)-\tan(\varphi)\cos(\beta))-K)}{(\cos(\beta)+\tan(\varphi)\sin(\beta))\partial\beta}$$

Toepassen van de differentiatieregel

$$\partial fg \partial x = (\partial f \partial x g - \partial g \partial x f) g^2$$

$$\frac{(\partial(G+P)(\sin(x)-\tan(a)\cos(x))-K\partial x(\cos(x)+\tan(a)\sin(x))-\partial\cos(x)+\tan(a)\sin(x))}{\partial x((G+P)(\sin(x)-\tan(a)\cos(x))-K)(\cos(x)+\tan(a)\sin(x))^2}$$

Vereenvoudigen van expressie

$$\begin{aligned} & G\cos(x)\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x \tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 - G\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x \sin(x) \\ & (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + K\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + P\cos(x)\partial\cos(x)+\sin(x) \\ & \tan(a)\partial x \tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 - P\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x \sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 \\ & + \partial - (G\cos(x)\tan(a)) + G\sin(x) - K - P\cos(x)\tan(a) + P\sin(x)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a)) \end{aligned}$$

Toepassen van de differentiatieregel

$$\partial f + g \partial x = \partial f \partial x + \partial g \partial x$$

$$\begin{aligned} & G\cos(x)(\partial\cos(x)\partial x + \partial\sin(x)\tan(a)\partial x) \tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 - G\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x \sin(x) \\ & (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + K\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + P\cos(x)\partial\cos(x)+\sin(x) \\ & \tan(a)\partial x \tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 - P\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x \sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + \\ & \partial - (G\cos(x)\tan(a)) + G\sin(x) - K - P\cos(x)\tan(a) + P\sin(x)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a)) \end{aligned}$$

Vereenvoudigen van expressie

$$\begin{aligned} & G\cos(x)\partial\cos(x)\partial x \tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + G\cos(x)\partial\sin(x)\tan(a)\partial x \tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a) \\ & )^2 - G\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x \sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + K\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x(\cos(x)+\sin(x) \\ & \tan(a))^2 + P\cos(x)\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x \tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 - P\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a) \\ & \partial x \sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + \partial - (G\cos(x)\tan(a)) + G\sin(x) - K - P\cos(x)\tan(a) + \\ & P\sin(x)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a)) \end{aligned}$$

Toepassen van de differentiatieregel

$$\partial\cos(x)\partial x = -\sin(x)$$

$$\begin{aligned} & G\cos(x)-\sin(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + G\cos(x)\partial\sin(x)\tan(a)\partial x \tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a) \\ & )^2 - G\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x \sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + K\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x(\cos(x)+\sin(x) \\ & \tan(a))^2 + P\cos(x)\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x \tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 - P\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a) \\ & \partial x \sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + \partial - (G\cos(x)\tan(a)) + G\sin(x) - K - P\cos(x)\tan(a) + \\ & P\sin(x)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a)) \end{aligned}$$

Vereenvoudigen van expressie

$$\begin{aligned} & -\sin(x)G\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + G\cos(x)\partial\sin(x)\tan(a)\partial x \tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a) \\ & )^2 - G\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x \sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + K\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x(\cos(x)+\sin(x) \\ & \tan(a))^2 + P\cos(x)\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x \tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 - P\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a) \\ & \partial x \sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + \partial - (G\cos(x)\tan(a)) + G\sin(x) - K - P\cos(x)\tan(a) + \\ & P\sin(x)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a)) \end{aligned}$$

Toepassen van de differentiatieregel  
 $\partial f \cdot a \partial x = a \partial f \partial x$  ( $a$  onafhankelijk van  $x$ )

$$-\sin(x)G\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+G\cos(x)\tan(a)\partial\sin(x)\partial x\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-G\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+K\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+P\cos(x)\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-P\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+\partial-(G\cos(x)\tan(a))+G\sin(x)-K-P\cos(x)\tan(a)+P\sin(x)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))$$

Vereenvoudigen van expressie

$$-\sin(x)G\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+G\cos(x)\partial\sin(x)\partial x\tan(a)^2(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-G\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+K\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+P\cos(x)\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-P\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+\partial-(G\cos(x)\tan(a))+G\sin(x)-K-P\cos(x)\tan(a)+P\sin(x)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))$$

Toepassen van de differentiatieregel  
 $\partial\sin(x)\partial x=\cos(x)$

$$-\sin(x)G\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+G\cos(x)\cos(x)\tan(a)^2(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-G\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+K\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+P\cos(x)\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-P\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+\partial-(G\cos(x)\tan(a))+G\sin(x)-K-P\cos(x)\tan(a)+P\sin(x)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))$$

Vereenvoudigen van expressie

$$-\sin(x)G\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+G\cos(x)^2\tan(a)^2(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-G\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+K\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+P\cos(x)\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-P\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+\partial-(G\cos(x)\tan(a))+G\sin(x)-K-P\cos(x)\tan(a)+P\sin(x)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))$$

Toepassen van de differentiatieregel  
 $\partial f+g\partial x=\partial f\partial x+\partial g\partial x$

$$-\sin(x)G\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+G\cos(x)^2\tan(a)^2(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-G(\partial\cos(x)\partial x+\partial\sin(x)\tan(a)\partial x)\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+K\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+P\cos(x)\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-P\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+\partial-(G\cos(x)\tan(a))+G\sin(x)-K-P\cos(x)\tan(a)+P\sin(x)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))$$

Vereenvoudigen van expressie

$$-\sin(x)G\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+G\cos(x)^2\tan(a)^2(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-G\partial\cos(x)\partial x\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-G\partial\sin(x)\tan(a)\partial x\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+K\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+P\cos(x)\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-P\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+\partial-(G\cos(x)\tan(a))+G\sin(x)-K-P\cos(x)\tan(a)+P\sin(x)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))$$



Toepassen van de differentiatieregel

$$\partial f + g \partial x = \partial f \partial x + \partial g \partial x$$

$$-\sin(x)G\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+\sin(x)G\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2- \\ G\cos(x)\sin(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+G\cos(x)2\tan(a)2(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+K(\partial\cos(x)\partial x+ \\ \partial\sin(x)\tan(a)\partial x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+P\cos(x)\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\tan(a) \\ (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-P\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+ \\ \partial-(G\cos(x)\tan(a))+G\sin(x)-K-P\cos(x)\tan(a)+P\sin(x)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))$$

Vereenvoudigen van expressie

$$-\sin(x)G\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+\sin(x)G\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2- \\ G\cos(x)\sin(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+G\cos(x)2\tan(a)2(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+K\partial\cos(x)\partial x \\ (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+K\partial\sin(x)\tan(a)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+P\cos(x)\partial\cos(x)+ \\ \sin(x)\tan(a)\partial x\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-P\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+ \\ \partial-(G\cos(x)\tan(a))+G\sin(x)-K-P\cos(x)\tan(a)+P\sin(x)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))$$

Toepassen van de differentiatieregel

$$\partial\cos(x)\partial x = -\sin(x)$$

$$-\sin(x)G\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+\sin(x)G\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2- \\ G\cos(x)\sin(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+G\cos(x)2\tan(a)2(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+ \\ K-\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+K\partial\sin(x)\tan(a)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+P\cos(x)\partial\cos(x)+ \\ \sin(x)\tan(a)\partial x\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-P\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 \\ +\partial-(G\cos(x)\tan(a))+G\sin(x)-K-P\cos(x)\tan(a)+P\sin(x)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))$$

Vereenvoudigen van expressie

$$-\sin(x)G\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+\sin(x)G\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2- \\ \sin(x)K(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-G\cos(x)\sin(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+ \\ G\cos(x)2\tan(a)2(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+K\partial\sin(x)\tan(a)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+P\cos(x)\partial\cos(x) \\ +\sin(x)\tan(a)\partial x\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-P\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 \\ 2+\partial-(G\cos(x)\tan(a))+G\sin(x)-K-P\cos(x)\tan(a)+P\sin(x)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))$$

Toepassen van de differentiatieregel

$$\partial f \cdot a \partial x = a \partial f \partial x \quad (a \text{ onafhankelijk van } x)$$

$$-\sin(x)G\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+\sin(x)G\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2- \\ \sin(x)K(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-G\cos(x)\sin(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+ \\ G\cos(x)2\tan(a)2(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+K\tan(a)\partial\sin(x)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+P\cos(x)\partial\cos(x) \\ +\sin(x)\tan(a)\partial x\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-P\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 \\ 2+\partial-(G\cos(x)\tan(a))+G\sin(x)-K-P\cos(x)\tan(a)+P\sin(x)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))$$

Vereenvoudigen van expressie

$$-\sin(x)G\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+\sin(x)G\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-\sin(x)K(\cos(x) \\ +\sin(x)\tan(a))^2-G\cos(x)\sin(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+ \\ G\cos(x)2\tan(a)2(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+K\partial\sin(x)\partial x\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+P\cos(x)\partial\cos(x) \\ +\sin(x)\tan(a)\partial x\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-P\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 \\ 2+\partial-(G\cos(x)\tan(a))+G\sin(x)-K-P\cos(x)\tan(a)+P\sin(x)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))$$

Toepassen van de differentiatieregel

$$\partial \sin(x) \partial x = \cos(x)$$

$$\begin{aligned} & -\sin(x)G\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+\sin(x)G\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2- \\ & \sin(x)K(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-G\cos(x)\sin(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+ \\ & G\cos(x)2\tan(a)2(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+K\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+ \\ & P\cos(x)\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-P\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\sin(x) \\ & (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+\partial-(G\cos(x)\tan(a))+G\sin(x)-K-P\cos(x)\tan(a)+ \\ & P\sin(x)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a)) \end{aligned}$$

Toepassen van de differentiatieregel

$$\partial f+g\partial x=\partial f\partial x+\partial g\partial x$$

$$\begin{aligned} & -\sin(x)G\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+\sin(x)G\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2- \\ & \sin(x)K(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-G\cos(x)\sin(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+ \\ & G\cos(x)2\tan(a)2(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+K\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+ \\ & P\cos(x)(\partial\cos(x)\partial x+\partial\sin(x)\tan(a)\partial x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-P\partial\cos(x)+ \\ & \sin(x)\tan(a)\partial x\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+\partial-(G\cos(x)\tan(a))+G\sin(x)-K- \\ & P\cos(x)\tan(a)+P\sin(x)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a)) \end{aligned}$$

Vereenvoudigen van expressie

$$\begin{aligned} & -\sin(x)G\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+\sin(x)G\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2- \\ & \sin(x)K(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-G\cos(x)\sin(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+ \\ & G\cos(x)2\tan(a)2(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+K\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+ \\ & P\cos(x)\partial\cos(x)\partial x\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+P\cos(x)\partial\sin(x)\tan(a)\partial x\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2- \\ & P\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+\partial-(G\cos(x)\tan(a))+ \\ & G\sin(x)-K-P\cos(x)\tan(a)+P\sin(x)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a)) \end{aligned}$$

Toepassen van de differentiatieregel

$$\partial \cos(x) \partial x = -\sin(x)$$

$$\begin{aligned} & -\sin(x)G\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+\sin(x)G\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2- \\ & \sin(x)K(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-G\cos(x)\sin(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+ \\ & G\cos(x)2\tan(a)2(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+K\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+P\cos(x)- \\ & \sin(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+P\cos(x)\partial\sin(x)\tan(a)\partial x\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2- \\ & P\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+\partial-(G\cos(x)\tan(a))+G\sin(x)-K- \\ & P\cos(x)\tan(a)+P\sin(x)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a)) \end{aligned}$$

Vereenvoudigen van expressie

$$\begin{aligned} & -\sin(x)G\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+\sin(x)G\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2- \\ & \sin(x)K(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-\sin(x)P\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2- \\ & G\cos(x)\sin(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+G\cos(x)2\tan(a)2(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+ \\ & K\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+P\cos(x)\partial\sin(x)\tan(a)\partial x\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2- \\ & P\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+\partial-(G\cos(x)\tan(a))+G\sin(x)-K- \\ & P\cos(x)\tan(a)+P\sin(x)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a)) \end{aligned}$$

Toepassen van de differentiatieregel  
 $\partial f \cdot a \partial x = a \partial f \partial x$  ( $a$  onafhankelijk van  $x$ )

$$\begin{aligned} & -\sin(x)G\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+\sin(x)G\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2- \\ \sin(x)K(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 & -\sin(x)P\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-G\cos(x)\sin(x)\tan(a) \\ & (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+G\cos(x)2\tan(a)2(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+K\cos(x)\tan(a) \\ & (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+P\cos(x)\tan(a)\partial\sin(x)\partial x\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2- \\ P\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 & +\partial-(G\cos(x)\tan(a))+G\sin(x)-K- \\ & P\cos(x)\tan(a)+P\sin(x)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a)) \end{aligned}$$

Vereenvoudigen van expressie

$$\begin{aligned} & -\sin(x)G\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+\sin(x)G\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2- \\ \sin(x)K(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 & -\sin(x)P\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-G\cos(x)\sin(x)\tan(a) \\ & (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+G\cos(x)2\tan(a)2(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+K\cos(x)\tan(a) \\ & (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+P\cos(x)\partial\sin(x)\partial x\tan(a)2(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2- \\ P\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 & +\partial-(G\cos(x)\tan(a))+G\sin(x)-K- \\ & P\cos(x)\tan(a)+P\sin(x)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a)) \end{aligned}$$

Toepassen van de differentiatieregel  
 $\partial\sin(x)\partial x=\cos(x)$

$$\begin{aligned} & -\sin(x)G\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+\sin(x)G\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2- \\ \sin(x)K(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 & -\sin(x)P\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-G\cos(x)\sin(x)\tan(a) \\ & (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+G\cos(x)2\tan(a)2(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+K\cos(x)\tan(a) \\ & (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+P\cos(x)\cos(x)\tan(a)2(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-P\partial\cos(x)+ \\ \sin(x)\tan(a)\partial x\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 & +\partial-(G\cos(x)\tan(a))+G\sin(x)-K- \\ & P\cos(x)\tan(a)+P\sin(x)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a)) \end{aligned}$$

Vereenvoudigen van expressie

$$\begin{aligned} & -\sin(x)G\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+\sin(x)G\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2- \\ \sin(x)K(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 & -\sin(x)P\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-G\cos(x)\sin(x)\tan(a) \\ & (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+G\cos(x)2\tan(a)2(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+K\cos(x)\tan(a) \\ (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+P\cos(x)2\tan(a)2(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 & -P\partial\cos(x)+\sin(x)\tan(a)\partial x\sin(x) \\ & (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+\partial-(G\cos(x)\tan(a))+G\sin(x)-K-P\cos(x)\tan(a)+ \\ & P\sin(x)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a)) \end{aligned}$$

Toepassen van de differentiatieregel  
 $\partial f+g\partial x=\partial f\partial x+\partial g\partial x$

$$\begin{aligned} & -\sin(x)G\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+\sin(x)G\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2- \\ \sin(x)K(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 & -\sin(x)P\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-G\cos(x)\sin(x)\tan(a) \\ & (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+G\cos(x)2\tan(a)2(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+K\cos(x)\tan(a) \\ (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+P\cos(x)2\tan(a)2(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 & -P(\partial\cos(x)\partial x+\partial\sin(x)\tan(a)\partial x) \\ \sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 & +\partial-(G\cos(x)\tan(a))+G\sin(x)-K-P\cos(x)\tan(a)+ \\ & P\sin(x)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a)) \end{aligned}$$

Vereenvoudigen van expressie

$$\begin{aligned} & -\sin(x)G\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+\sin(x)G\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2- \\ \sin(x)K(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 & -\sin(x)P\cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-G\cos(x)\sin(x)\tan(a) \\ & (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+G\cos(x)2\tan(a)2(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+K\cos(x)\tan(a) \\ (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+P\cos(x)2\tan(a)2(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 & -P\partial\cos(x)\partial x\sin(x) \\ & (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2-P\partial\sin(x)\tan(a)\partial x\sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2+ \\ \partial-(G\cos(x)\tan(a))+G\sin(x)-K & -P\cos(x)\tan(a)+P\sin(x)\partial x(\cos(x)+\sin(x)\tan(a)) \end{aligned}$$

















Toepassen van de differentiatieregel  
 $\partial a \cdot g \partial x = a \partial g \partial x$  ( $a$  onafhankelijk van  $x$ )

$$\begin{aligned}
 & -(-\sin(x)G \tan(a))(\cos(x)+\sin(x)\tan(a)) - \sin(x)G \cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + \\
 & \sin(x)G \sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 - \sin(x)K(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 - \sin(x)P \cos(x)\tan(a) \\
 & (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + \sin(x)P \sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + \sin(x)P \tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a)) - \\
 & G \cos(x)\sin(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + G \cos(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a)) + G \cos(x)2 \tan(a)^2 \\
 & (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + K \cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 - P \cos(x)\sin(x)\tan(a) \\
 & (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + P \cos(x)2 \tan(a)^2 (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + P \partial \sin(x) \partial x (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))
 \end{aligned}$$

Toepassen van de differentiatieregel  
 $\partial \sin(x) \partial x = \cos(x)$

$$\begin{aligned}
 & -(-\sin(x)G \tan(a))(\cos(x)+\sin(x)\tan(a)) - \sin(x)G \cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + \\
 & \sin(x)G \sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 - \sin(x)K(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 - \sin(x)P \cos(x)\tan(a) \\
 & (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + \sin(x)P \sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + \sin(x)P \tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a)) - \\
 & G \cos(x)\sin(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + G \cos(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a)) + G \cos(x)2 \tan(a)^2 \\
 & (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + K \cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 - P \cos(x)\sin(x)\tan(a) \\
 & (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + P \cos(x)2 \tan(a)^2 (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + P \cos(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))
 \end{aligned}$$

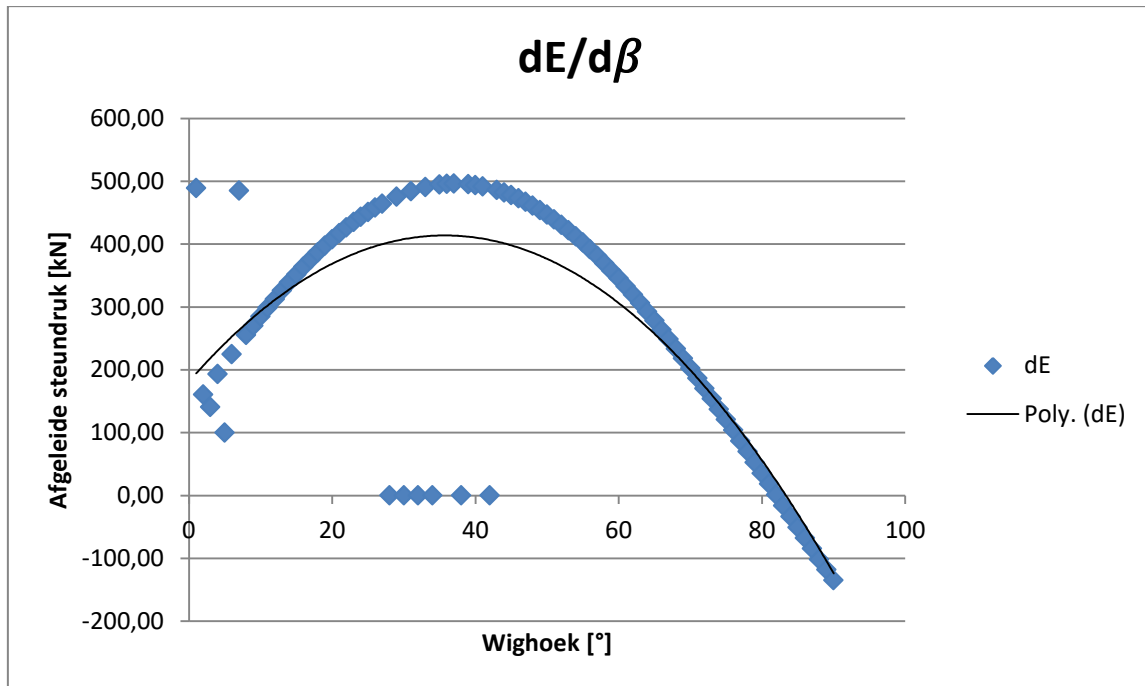
Vereenvoudigen van expressie

$$\begin{aligned}
 & -(-\sin(x)G \tan(a))(\cos(x)+\sin(x)\tan(a)) - \sin(x)G \cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + \\
 & \sin(x)G \sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 - \sin(x)K(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 - \sin(x)P \cos(x)\tan(a) \\
 & (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + \sin(x)P \sin(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + \sin(x)P \tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a)) - \\
 & G \cos(x)\sin(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + G \cos(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a)) + G \cos(x)2 \tan(a)^2 \\
 & (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + K \cos(x)\tan(a)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 - P \cos(x)\sin(x)\tan(a) \\
 & (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2 + P \cos(x)(\cos(x)+\sin(x)\tan(a)) + P \cos(x)2 \tan(a)^2 (\cos(x)+\sin(x)\tan(a))^2
 \end{aligned}$$

Laatste vereenvoudiging en standaardisatie:

$$\partial f \partial x = ((P+G) \cdot \tan(2\varphi) + P+G) \cdot \sin(2\beta) - K \cdot \sin(\beta) + ((P+G) \cdot \tan(2\varphi) + P+G) \cdot \cos(2\beta) + K \cdot \tan(\varphi) \cdot \cos(\beta) \cdot \tan(2\varphi) \cdot \sin(2\beta) + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot \cos(\beta) \cdot \sin(\beta) + \cos(2\beta)$$

Omdat de afleiding rekening houdt met bepaalde constante die afhankelijk zijn van het project (grondwaterstand, overdekkingsratio, inwendige wrijvingshoek,..) zullen de waarden en de grafische voorstelling steeds wijzigen. Voor Tilburg levert deze afgeleide uitzetten op een grafiek onderstaande figuur. De afgeleide is nul bij een hoek van 82 graden in dit geval. Met deze waarde van  $\beta$  kan dan uiteindelijk een nieuwe berekening gemaakt worden voor de steundruk.

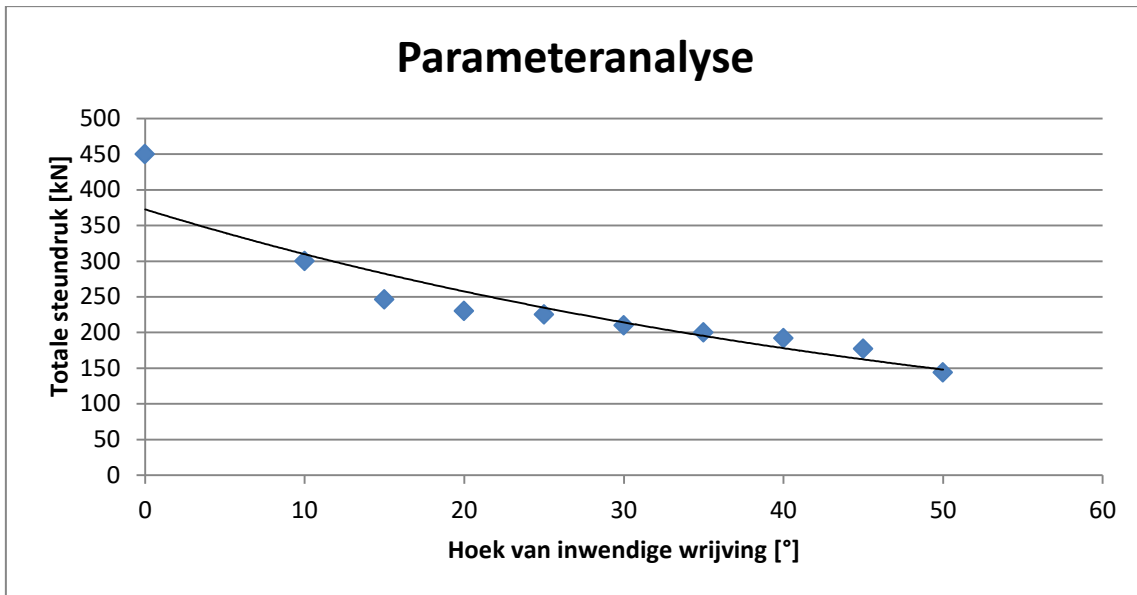


Figuur 16: Afgeleide van de steundruk naar de wighoek ( $\beta$ )

**Analyse:**

Slechts enkele hoofvormen van bezwijken worden geanalyseerd, maar binnen de hoofdvorm wordt de hoek van de wig (= afschuifhoek) wel gevarieerd. Het is belangrijk te begrijpen dat de afschuifhoek niet gelijk is aan de hoek van inwendige wrijving. Bovenstaande grafiek geeft de afgeleide functie van de steundruk weer in functie van de afschuifhoek. Laat het duidelijk zijn dat de afschuifhoek een grote invloed heeft op steundruk. Het bepalen van de afschuifhoek is dan ook een complex, maar belangrijk proces.

Maar door de niet-maatgevende bezwijkvormen (vierkant) te bekijken, wordt het maatgevende ronde glijvlak wel niet gevonden. Er wordt bovendien ook verondersteld dat de bezwijkoppervlakte steeds over de volledige hoogte plaatsvindt. Dit hoeft bij uitblaas of instorting echter niet altijd zo te zijn. De bezwijksterkte wordt, bij niet-cohesieve gronden, ook beïnvloed door steundrukken en spanningen rond het front.



**Figuur 17: Invloed van de inwendige wrijvingshoek op de steundruk (Steiner)**

Een uitgevoerde parameteranalyse met de hoek van inwendige wrijving als variabele leert dat, in tegenstelling tot de afschuifhoek, de steundruk slechts licht afneemt bij aanneembare hoeken (20° - 45°). Dit is verklaarbaar door het feit dat grotere hoeken zorgen voor een grotere stabiliteit. Hierdoor zal de wrijving toenemen en zullen de korreldrukken afnemen waardoor een kleinere ondersteunde druk noodzakelijk is. Desalniettemin is globaal een dalende trend waarneembaar met zowel zeer kleine, als zeer grote hoeken als extremen. Bij een hoek van 0 graden is er bijgevolg geen cohesie en zullen de grootste steundrukken nodig zijn.

### 3.4.2 Leca en Dormieux

Gelijkaardig aan de methode van Jancseez en Steiner is de methode van Leca en Dormieux (1990). Het grote verschil is dat nu niet gerekend wordt met rechthoekige, maar wel met cirkel- en ellipsvormige grondmoten. Deze sluiten beter aan op de ronde vorm van een tunnel en zouden theoretisch dus een betere benadering moeten zijn. Het nadeel situeert zich dan weer in de complexe uitwerking. Dit is de reden waarom onderstaande uitwerking enkel geldt bij  $c = 0$ :

$$\Delta q_{min} = N_s \cdot q_{mv} + N_\gamma \cdot \gamma' \cdot D$$

Met:  $N_s$  = dimensieloze factor op de belasting [-]  
 $q_{mv}$  = maaiveldbelasting [kN/m<sup>2</sup>]  
 $N_\gamma$  = dimensieloze factor op het eigengewicht [-]  
 $\gamma'$  = effectief volumegewicht [kN/m<sup>3</sup>]  
 $D$  = uitwendige tunneldiameter [m]

#### Nadelen:

Net zoals bij de methode van Jancseez en Steiner kan gelaagde grond niet in rekening gebracht worden. Het gaat dus steeds om volledig cohesieve of cohesieloze grond. Opvallend is dat grondwater niet kan meegenomen worden, maar de methode is wel geschikt te maken.

#### Analyse:

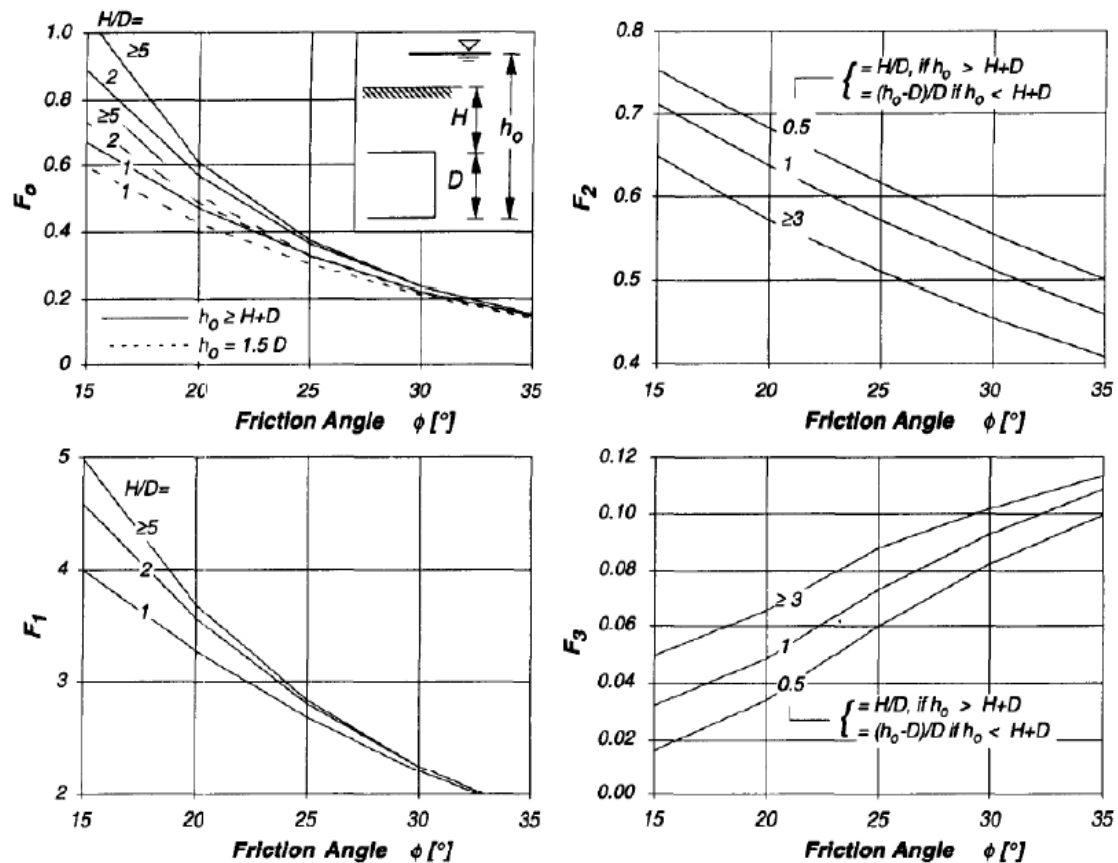
Wat de hoofdvormen van bezwijken betreft, wordt voor uitblaas (wat hier wel in rekening gebracht wordt) één kegelvorm gebruikt en twee glijvlakvormen voor instort. De bezwijkoppervlakte is ellipsvormig, maar loopt over de volledige hoogte van het boorfront.

De N-factoren zijn dimensieloze parameters en moeten bepaald worden met de methode van variatie van parameters. Voor cohesieloze grond zouden de parameters echter wel naar oneindig gaan, wat onmogelijk is en een fout in de methode blijkt te zijn. De bezwijksterkte wordt ook beïnvloed door steundrukken en spanningen rond het front (enkel bij niet-cohesieve gronden). Praktisch is gebleken dat de onder- en bovengrens toch relatief veel afwijkt van de realiteit. Later zal blijken of dit ook in dit onderzoek bevestigd wordt.

### 3.4.3 Anagnosta & Kovari

Kovari maakt gebruik van een berekeningsmethode die afhankelijk is van de methode (EPB of AVN). Ze houdt onder andere rekening met de indringdiepte van bentoniet. De methode maakt ook gebruik van dimensieloze parameters die via tabellen (zie Figuur 18) gevonden kunnen worden. Deze zijn functie van de overdekkingsratio en de hoek van inwendige wrijving. [24]





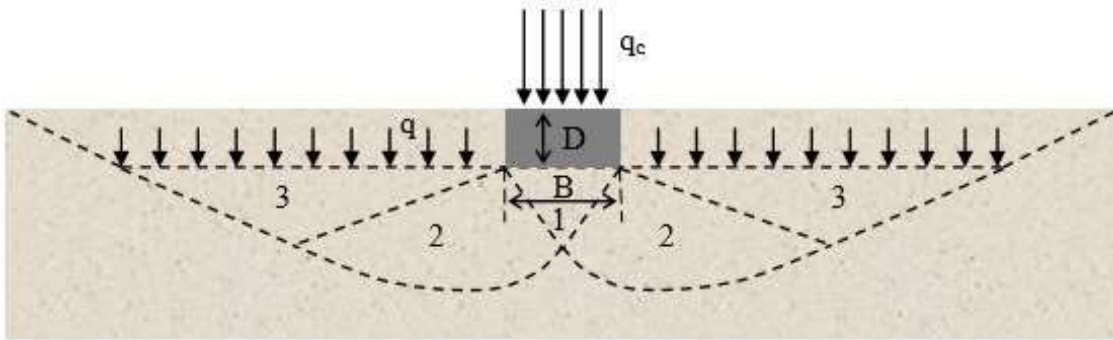
Figuur 18: Dimensieloze parameters Anagnosta en Kóvari [24]

### Nadelen:

De methode is niet praktisch om te berekenen vanwege de afhankelijkheid van tabellen. De tabellen voor de bepaling van de dimensieloze parameters zijn digitaal moeilijk te benaderen. Er wordt ook geen rekening gehouden met gelaagde grond. Bovendien zijn niet alle parameters in de formule gekend. Onderzoek in de literatuur heeft geen oplossing gegeven voor de bepaling van  $\Delta h$  wat deze berekening uiterst onbetrouwbaar maakt.

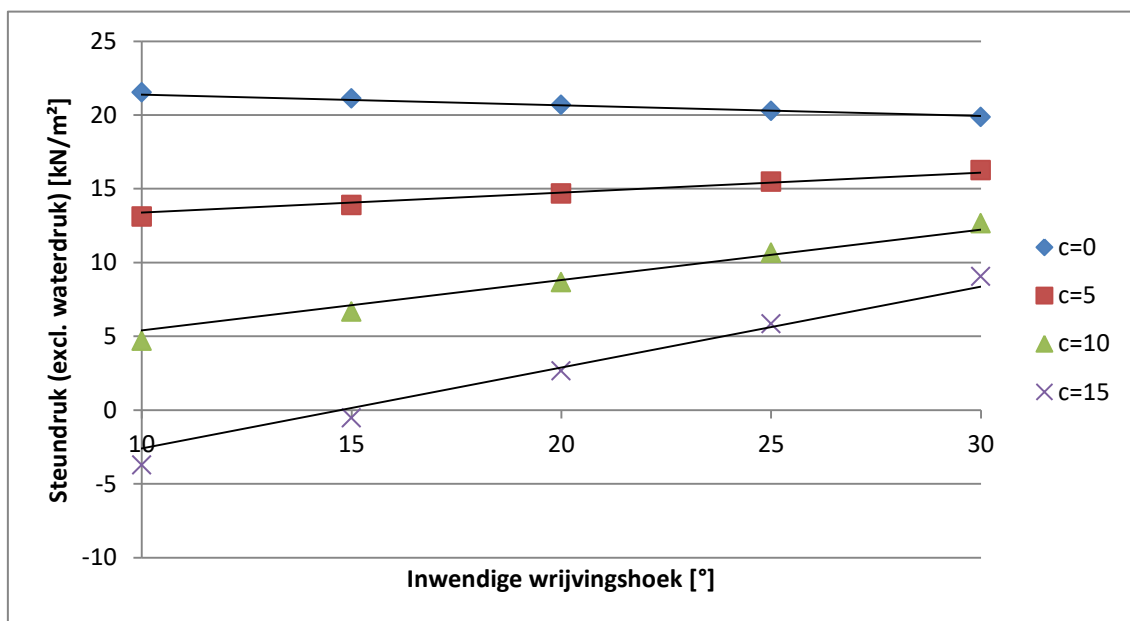
### Analyse:

Het is opnieuw interessant om de invloed van de wrijvingshoek te analyseren, maar ook de invloed van de belasting op het maaiveld waar tot noch toe weinig aandacht aan besteed is. Op de eerste grafiek is ook de invloed van de cohesie uitgezet. Voor eenzelfde inwendige wrijvingshoek is de nodige steundruk groter bij een dalende cohesie. Opmerkelijk is ook dat bij stijgende hoeken er convergentie van de steundrukwaarde plaatsvindt. De combinatie van cohesieve gronden met grote inwendige wrijvingshoeken blijkt nefast te zijn.



Figuur 19: Interne grondspanningswerking bij een maaiveldbelasting [11]

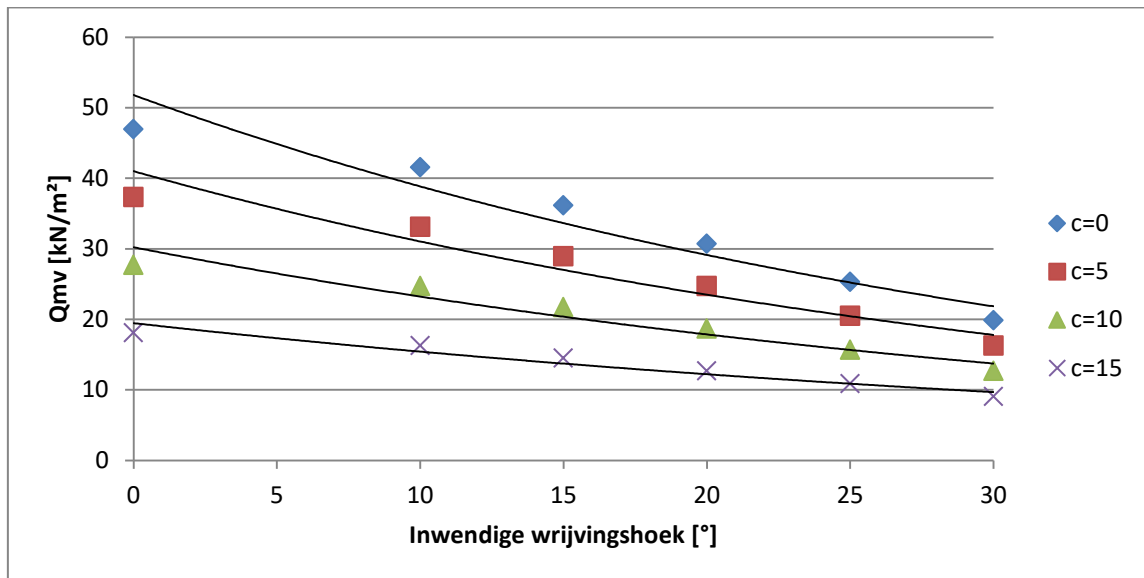
Figuur 20 geeft de belasting op het maaiveld weer voor verschillende cohesieve gronden op het moment van bezwijken. Cohesieve lagen, bv klei, hebben een lagere draagkracht dan niet-cohesieve lagen. De volgorde in stijgend draagvermogen is: klei - leem - zand - grind. Hieruit blijkt dat hoe minder cohesief de grond is, hoe groter de steundruk op het freeswiel moet zijn om een bezwijkmechanisme te voorkomen. Dit is een resultaat dat gestaafd wordt door de schuifsterkte en het consolidatieverschijnsel.



Figuur 20: Invloed van de inwendige wrijvingshoek op de steundruk (Kóvari)

Er moet wel opgemerkt worden dat er een essentieel verschil is tussen boortechnisch ideale omstandigheden, zoals cohesieve gronden, en geologisch ideale gronden, zoals zand. Het is steeds een evenwicht waarbij gestreefd moet worden om de beste totaaloplossing te vinden. Bovenstaande Figuur geeft in dit kader zowel een stijgende als dalende trend weer bij stijgende wrijvingshoeken, afhankelijk van de cohesie. Dit is te verklaren gezien een vaste waarde voor de maaiveldbelasting gehanteerd is. Deze belasting bevindt zich in deze situatie net op de rand waarbij de maaiveldbelasting de cohesie compenseert.

Om toch een correct beeld te krijgen is hieronder deze maaiveldbelasting uitgezet voor verschillende cohesies ten opzichte van de inwendige wrijvingshoeken. Ook hier is duidelijk dat minder cohesie resulteert in hogere maaiveldbelastingen om dezelfde benodigde steundruk te bekomen. Ook is hier wel een duidelijk dalende trend waarneembaar bij stijgende wrijvingshoeken. Deze trend is beter waarneembaar bij niet-cohesieve gronden. Dit verklaart deels de omslag in Figuur 20.



Figuur 21: Invloed van de inwendige wrijvingshoek op de maaiveldbelasting bij bezwijken (Kóvari)

### 3.4.4 Analytische methode

Een andere manier om steundrukken te bepalen is door middel van zuivere wiskunde. Men gaat uit van een cilinder, zowel voor als boven de tunnel. Deze cilindrische vlakken zijn omgeven door schuifspanningen. Door gebruik te maken van ronde 3-dimensionale glijvlakken, kunnen deze cilinders wel bezwijken op een kinematische manier. Het lijkt misschien niet zo, maar dat maakt de methode ook erg eenvoudig. Figuur 22 toont de krachtwerking op het model. Slechts 4 krachten werken in op de glijvlakken:

- 1) Steunkracht

$$Q = q \cdot \pi \cdot r^2$$

- 2) Waterdruk

$$P = p \cdot \pi \cdot r^2$$

- 3) Schuifkracht

$$T = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l \cdot \left( \frac{c + K_o \cdot l \cdot \gamma' \cdot \tan(\varphi)}{2} \right)$$

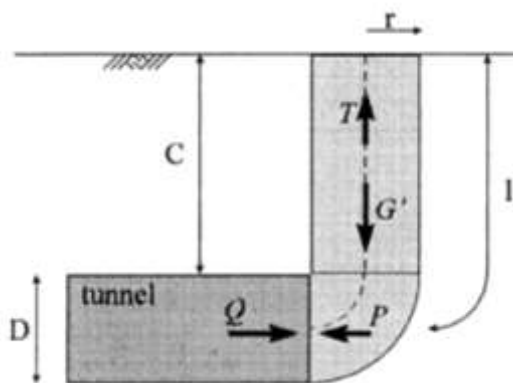
- 4) Eigen(onderwater)gewicht

$$G' = \pi \cdot l \cdot r^2 \cdot \gamma'$$

De oppervlakte en inhoud van de gebogen cilinder (= kwart torus) zijn gelijk aan deze van een rechte cilinder met dezelfde lengte voor de middellijn van de cilinder. De totale lengte van de middellijn is dan  $C + D$ . Hierin is  $C$  de dekking boven de tunnel en  $D$  de uitwendige diameter van de tunnel. Ervan uitgaand dat de krachten in het midden aangrijpen, kan met momentenevenwicht bewezen worden dat instorting onmogelijk is zolang aan onderstaande vergelijking voldaan is:  $Q+T > G'+P$ . [23]

Voor de weerstand tegen het grondwater geldt dat de minimale steundruk gelijk is aan de waterspanning:  $P = q_{min}$ . Zelfs bij deze minimale druk is het mogelijk dat de cilinders blijven zitten (= 'pluggen'). Dit kan verklaard worden door de schuifspanningen die dan uiteraard groot genoeg moeten zijn. Bij de steundruk gelijk aan de waterspanning kan deze plugvorming optreden bij een straal:

$$r < \frac{2 \cdot c}{\gamma'} + K_0 \cdot l \cdot \tan(\varphi)$$



Figuur 22: Analytische krachtwerking [23]

Mocht plugvorming niet optreden dan is een minimale steundruk nodig van:

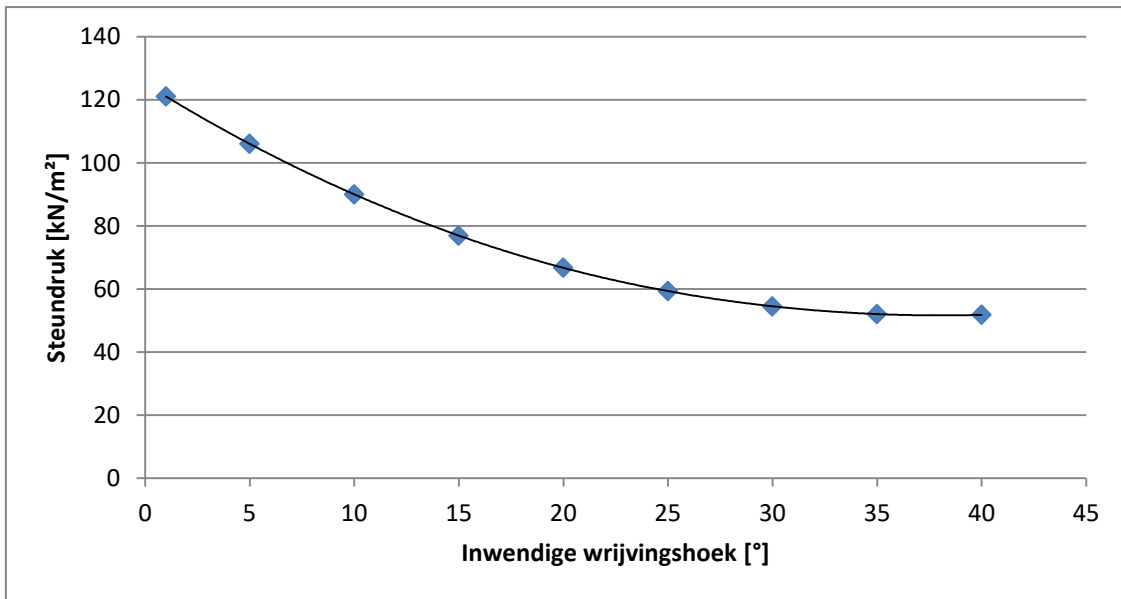
$$q_{min} - p > l \cdot \gamma' - 2 \cdot c \cdot \frac{l}{r} - K_0 \cdot \frac{l^2 \cdot \gamma'}{r} \cdot \tan(\varphi) - \{r \cdot \gamma'_{bent.}\}$$

- Met:
- $q_{min}$  = de minimale steundruk [kN/m<sup>2</sup>]
  - $p$  = waterdruk vloeiniveau [kN/m<sup>2</sup>]
  - $l$  = lengte van het afschuifvlak [m]
  - $\gamma'$  = effectief volumegewicht [kN/m<sup>3</sup>]
  - $c$  = cohesie [kN/m<sup>2</sup>]
  - $r$  = buitenstraal van de tunnel [m]
  - $K_0$  = neutrale gronddrukcoëfficiënt [-]
  - $\varphi$  = inwendige wrijvingshoek [°]
  - $\gamma'_{bent.}$  = volumegewicht bentoniet [kN/m<sup>3</sup>]

Hierin werd een correctie doorgevoerd voor het verschil in soortelijk gewicht tussen de steunvloeistof en het water. Dit is enkel nodig bij 'volledige' (helft of meer) ondersteuning om de terugrekening van de as naar de bovenkant van de tunnelsectie mogelijk te maken (= regeldruk). De werkwijze is idem om een formule te creëren voor totaal passief bezwijken. De schuifspanning richt zich dan naar de andere kant. Het resultaat wordt dan:

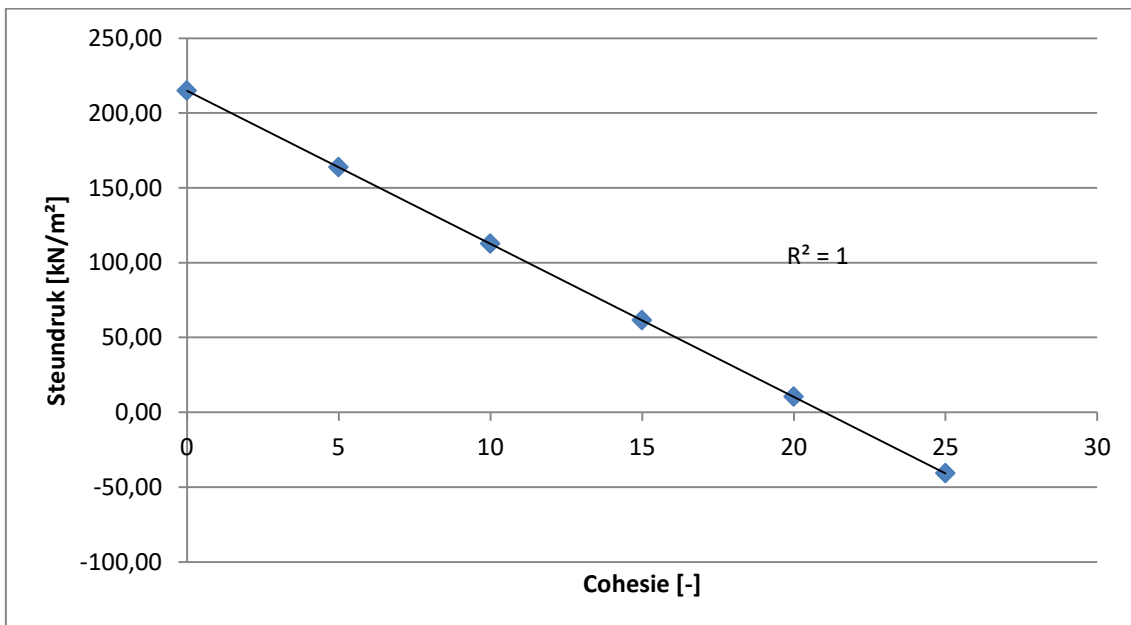
$$q_{max} - p > l \cdot \gamma' + 2 \cdot c \cdot \frac{l}{r} + K_0 \cdot \frac{l^2 \cdot \gamma'}{r} \cdot \tan(\varphi) - \{r \cdot \gamma'_{bent.}\}$$

**Analyse:**



**Figuur 23: Invloed van de inwendige wrijvingshoek op de steundruk (analytisch)**

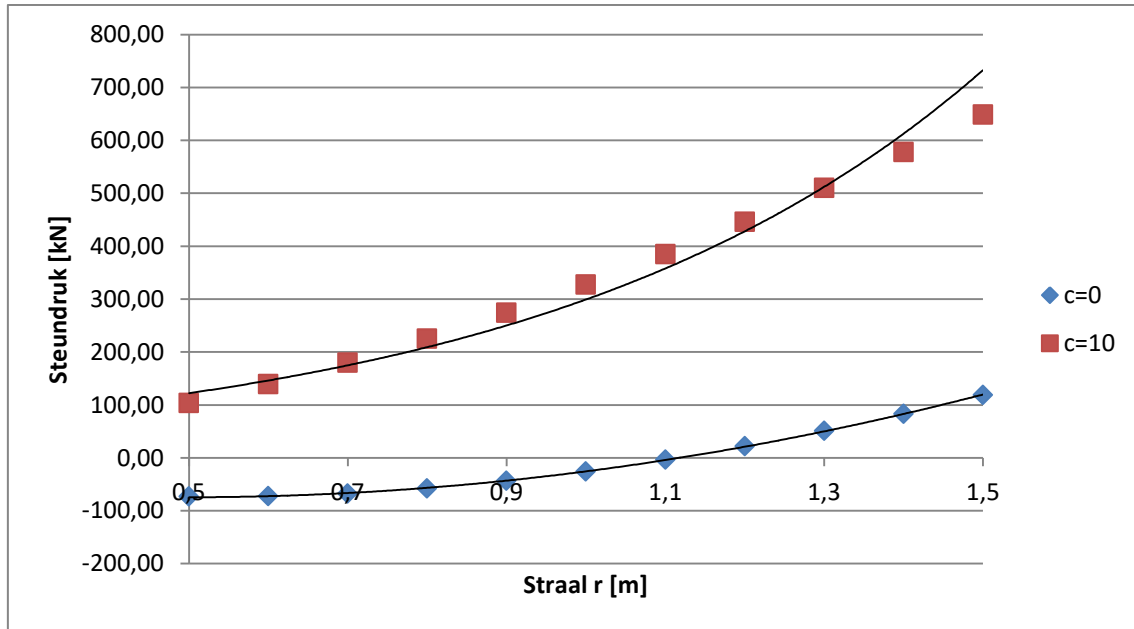
In bovenstaande Figuur is duidelijk het dalend verloop zichtbaar. Dat steundrukken dalen bij stijgende inwendige wrijvingshoeken werd eerder ook al verklaard. Vanaf een inwendige wrijvingshoek van 30 graden stagneren de waarden en is de invloed verwaarloosbaar. Gekeken naar de invloed van de cohesie werd ook al waargenomen dat wanneer de cohesie stijgt, de steundruk afneemt.



**Figuur 24: Invloed van de cohesie op de steundruk (analytisch)**

Het lineaire verloop ( $R^2 = 1$ ) van Figuur 24 was ook de verwachting. Bovendien is hier opnieuw een dalende trend waarneembaar bij stijgende cohesies. De reden waarom vanaf  $c = 21$  negatieve waarden optreden is deels te verklaren door het feit dat dit in de praktijk nooit voorkomt.

Ook de invloed van de straal is uitgezet op Figuur 25. Dit werd gedaan voor twee verschillende waarden van cohesie. Deze grafieken zijn niet meer lineair, maar stijgen exponentieel bij toenemende stralen. Dit wil zeggen dat bij grote diameters de relatieve invloed van de straal ook toeneemt. Tot slot zullen cohesieve gronden ook gevoeliger zijn voor de gevolgen van de diameter.



Figuur 25: Invloed van de straal op de steundruk (analytisch)

### 3.5 Maximale steundruk

Er is reeds veel geschreven rond de minimale steundruk en hoe deze te berekenen. Er is echter ook een maximum aan de steundruk die gehanteerd mag worden. Dit om blow-uit, of uitblaas, te vermijden. Deze maximale steundruk zal oa. afhangen van de diepteligging, de grondeigenschappen en de manier waarop de steundruk praktisch gerealiseerd wordt.

Een ondersteuning door lucht zal een grotere kans op blow-out hebben dan bij gebruik van een slurry-schild. Luchtoverdruk zou leiden tot een drukverdeling aan het front die ongunstig is. Bovendien is de grond meer doorlatend voor lucht dan voor een vloeistof. EPB-schilden kunnen dan weer veel grotere steundrukken aan. Het principe is echter dat de grond weggedrukt wordt en dat vraagt veel kracht. Het moment op het freeswiel loopt hierbij ook op. [25]

### 3.5.1 Rekenmethoden

Er kunnen 4 grote rekenmethoden onderscheiden worden. Van eenvoudig tot complex. Een klein overzicht:

#### 1) Opdrukken van grondlagen

Vooraf bij het gebruik van vloeistof- of luchtverdrinkingondersteuning kunnen grondlagen worden opgedrukt tot boven het freeswiel. Maar ook tussen de grondlagen, ter hoogte van de laagscheidingen, (eveneens bij sterk doorlatende lagen) kan de steunvloeistof of de lucht zich verspreiden. Wanneer dit gebied groot is, wordt de grond opgedrukt als de steundruk aan de bovenzijde van het freeswiel de aanwezige grondspanning overschrijdt. Deze maximale waarde is:

$$\sigma = h_w \cdot \gamma_w + h \cdot \gamma_w$$

Het gebied van opdrukking is zeer moeilijk voorspelbaar. De schuifspanning langs de zijvlakken van de opdrijvende grondmoot worden dan ook niet in rekening gebracht.

#### 2) Scheurvorming

Een ander mogelijk mechanisme verwacht scheurvorming in de lagen boven de tunnel. Door de stijgende steundruk zou hier in horizontale richting de treksterkte van de grond overschreden worden. Deze scheurlengte zou nog toenemen ten gevolge van de steunvloeistof die onder druk staat en de gevormde scheur doet vollopen.

$$\sigma = \sigma_w + K_0 \cdot \sigma'_v + \beta \cdot c_u$$

Met  $K_0$  = horizontale gronddrukcoëfficiënt en  $c_u$  de ongedraineerde schuifsterkte.  $\beta$  is een factor waarvoor de waarde 2 (waarmee de maximale treksterkte  $2 \cdot c_u$  in rekening gebracht wordt) aangehouden wordt.

**BELANGRIJK!** Bovenstaande formule en redenering geldt enkel in kleigronden.

#### 3) Opdrukken van grond boven de tunnel met wrijving

Grond die door de steundruk omhoog gedrukt wordt, heeft een bepaalde kritieke drukkkracht nodig. Deze wordt gegeven door onderstaande formule die ook gebruikt wordt voor grondbelastingen op leidingen.

De factor  $f$  bepaalt de grondsoort en varieert van 0,1 (slappe klei en los zand) tot 0,5 (vast zand). Wrijving wordt hier dus wel in rekening gebracht wat leidt tot hoge waarden voor de maximale steundrukken.

#### 4) Passief bezwijken

Passief bezwijken wordt enkel voor de volledigheid meegegeven, want dit is voor Belgische gronden niet realistisch. Het steunt op de theorie van Leca en Dormieux uit 1990.

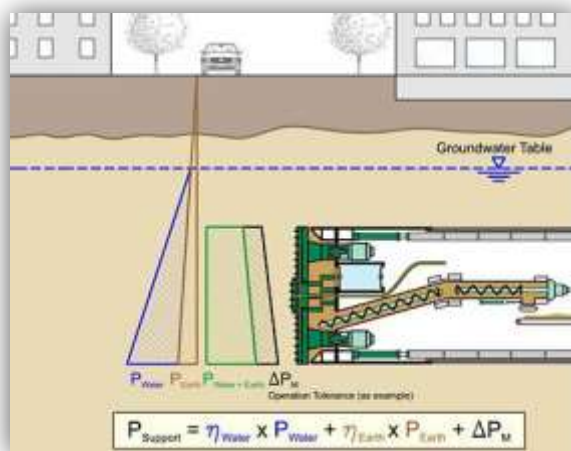
$$\sigma = \sigma'_v + h_w \cdot \gamma'_w$$

Uit de praktijk blijkt echter dat vooral rekenmethode 1 en 2 reëel zijn. Er wordt aanbevolen de steundruk te beperken tot de grondspanning aan de bovenkant van de tunnel. Hierin speelt de grondwaterstand een belangrijke rol. Bij varianties in de tijd moeten of de aanwezigheid van watervoerende zandlagen moet er extra aandachtig worden opgelet met het gebruik van dergelijke formules. Gevaarlijke situaties komen voor bij een hoge minimale steundruk (omwille van faseverschuiving: hoge stijghoogte in watervoerend pakket) en een lage maximale steundruk (lage grondwaterstand oppervlaktewater). [26]

## 3.6. Veiligheidsfactoren

### 3.6.1 Partiële veiligheidsfactor

Om de stabiliteit te waarborgen moet een tegendruk geleverd worden aan de actieve gronddruk en de grondwaterdruk. Op deze krachten moet een veiligheid ingebouwd worden volgens het principe van de partiële veiligheidsfactoren. Dit impliceert een factor  $\eta_a$  voor de actieve gronddruk, en een factor  $\eta_w$  voor de waterdruk. [27]



Figuur 26: Veiligheidsfactoren steundrukberekening [27]

### 3.6.2 Algemene veiligheidscontrole

Om te voorkomen dat het evenwicht op lokaal gebied niet altijd gewaarborgd kan worden, moeten bepaalde knopen individueel gecontroleerd worden. Hier moet de steundruk minimaal 10 kN/m<sup>2</sup> boven de waterdruk liggen. Maar ook aan de veiligheidsfactoren voor grondmoten en uitblaas moet voldaan worden. Figuur 25 toont dergelijke controle waarbij de steundruk op 1/3 drawdown lager is dan de korrel- en waterdruk samen. [27]

### 3.6.3 Operationele toleranties

Bij gebruik van de AVN-technologie wordt de steundruk geregeld door de inlaat en uitstroom van de suspensie. Bepaalde toleranties zijn nodig om de fluctuatie van de steundruk in de werkkamer te compenseren; de operationele tolerantie. Dit is ongeveer 0,1 bar. In het geval van een EPB-schild wordt de steundruk geregeld door de instroom van de uitgraven grond in relatie tot de afvoer van de avegaar. De normale operationele tolerantie aangenomen voor de EPB-methode is 0,3 bar. [27]



### 3.7 Analyse theoretische modellen

Om inzicht te krijgen in de parameters en de verschillen tussen de modellen is een theoretische analyse uitgevoerd van de modellen. Eerst individueel, daarna hier globaal.

Omdat de overdekkingsratio  $C/D$ , de overdekking t.o.v. uitwendige tunneldiameter, bij alle modellen een belangrijke rol speelt, is dit een cruciale en interessante parameter om te vergelijken en onderzoek naar te doen. Maar ook de economische gevolgen van de diepteligging zijn niet te onderschatten. Zowel de productiekosten, operationele kosten, als veiligheid varen wel bij de keuze van kleinere overdekkingen. Maar deze overdekkingsratio is gebonden aan bepaalde grenzen. De bedoeling is om de effecten van deze ratio op de stabiliteit van het front te bepalen. Dit voor verschillende ratio's met verschillende randvoorwaarden en ondergronden.

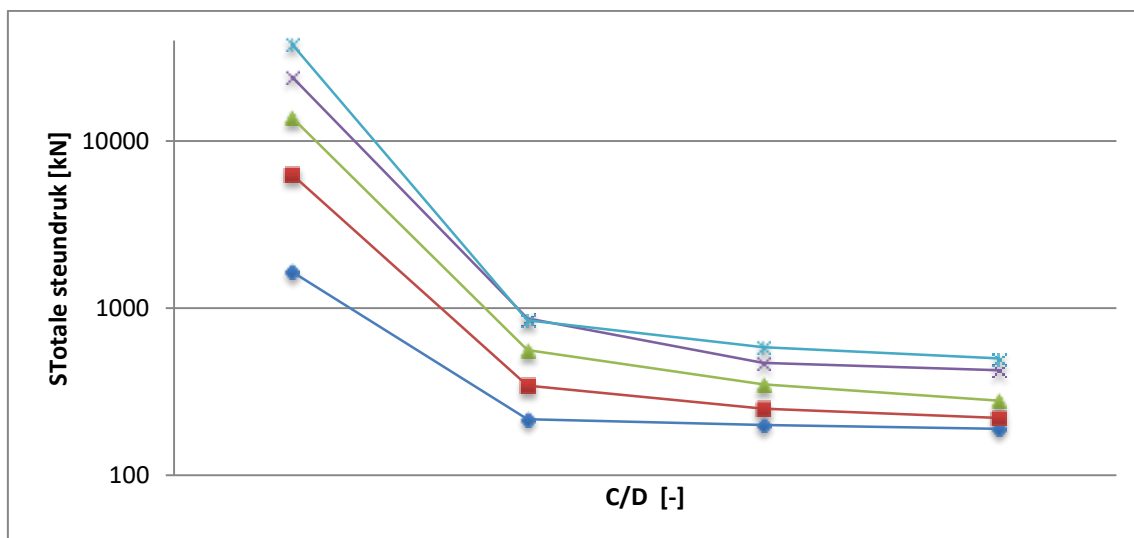
Onderstaande Figuur geeft de curven van de steundrukverhouding (ratio van de steundruk t.o.v. de initiële horizontale gronddruk voor het centrum) t.o.v. de horizontale verplaatsing van het centrum van het tunnelfront weer. Deze analyse werd uitgevoerd voor 4 verschillende diepte,  $C/D = 0,5$  tot  $C/D = 2,5$  en voor 4 verschillende ondergronden, zand en klei. Voor de analyse zijn dit de gebruikte grondparameters: [28]

Tabel 6: Globale analyse van de rekenmethoden

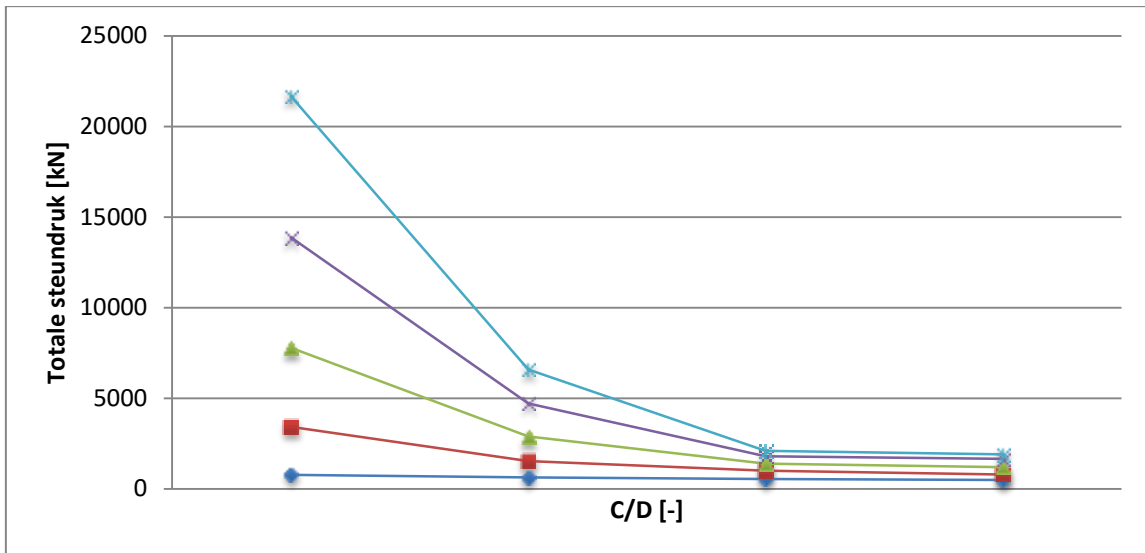
$C/D$ [-]	$\gamma$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$K_0$ [-]	$c$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\varphi$ [°]
0,5	18	0,087	0	20
0,5	18	1,132	0	25
0,5	18	1,988	0	30
0,5	18	1,428	0	35
0,5	18	0,349	7	15
0,5	18	0,087	10	20
0,5	18	1,132	15	25
0,5	18	1,988	20	30
1,0	18	0,087	0	20
1,0	18	1,132	0	25
1,0	18	1,988	0	30
1,0	18	1,428	0	35
1,0	18	0,349	7	15
1,0	18	0,087	10	20
1,0	18	1,132	15	25
1,0	18	1,988	20	30
1,5	18	0,087	0	20
1,5	18	1,130	0	25
1,5	18	1,988	0	30
1,5	18	1,428	0	35
1,5	18	0,349	7	15
1,5	18	0,087	10	20
1,5	18	1,132	15	25
1,5	18	1,988	20	30
2,0	18	0,087	0	20

2,0	18	1,132	0	25
2,0	18	1,988	0	30
2,0	18	1,428	0	35
2,0	18	0,349	7	15
2,0	18	0,087	10	20
2,0	18	1,132	15	25
2,0	18	1,980	20	30
2,5	18	0,087	0	20
2,5	18	1,132	0	25
2,5	18	1,988	0	30
2,5	18	1,428	0	35
2,5	18	0,349	7	15
2,5	18	0,087	10	20
2,5	18	1,132	15	25
2,5	18	1,988	20	30

De berekeningen zijn uitgevoerd met de analytische methode zoals hierboven beschreven. In de grafiek rechts zijn de steundrukken uitgezet zonder cohesie, maar met een variabele hoek van inwendige wrijving. Zoals op onderstaande grafieken zichtbaar is, neemt de steundruk exponentieel af bij stijgende overdekkingsratio's tot een constante waarde (de afgeleide wordt nul). Waar deze rechte de y-as snijdt is de limietwaarde voor de steundruk afleesbaar.

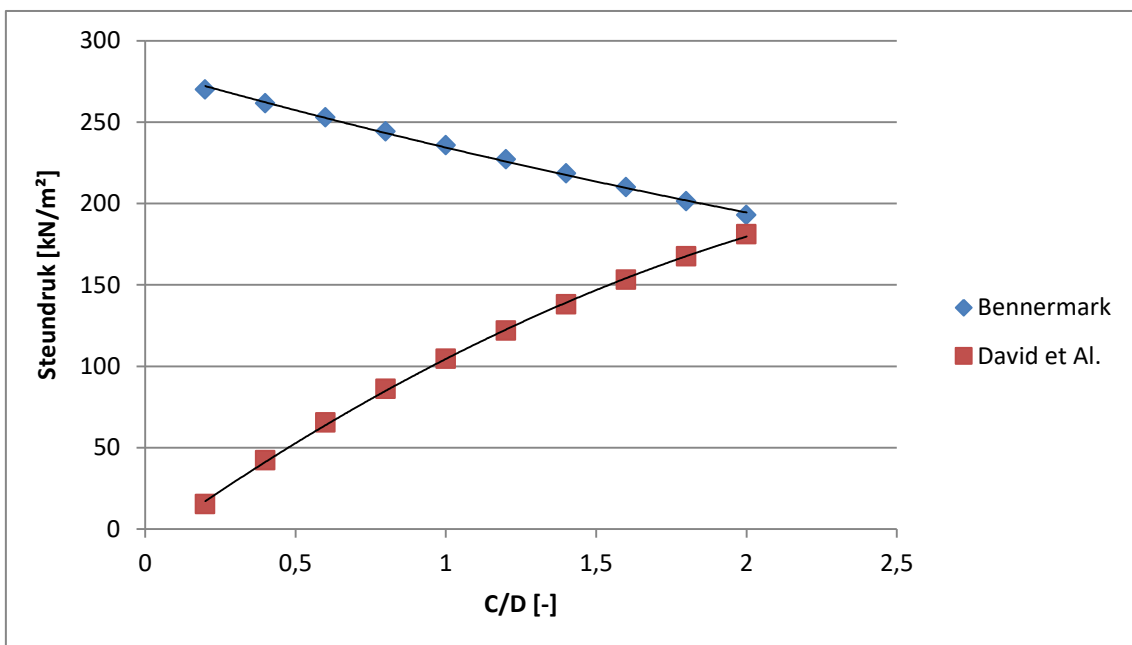


**Figuur 27: Invloed van de grondsamenstelling op de steundruk (cohesief)**



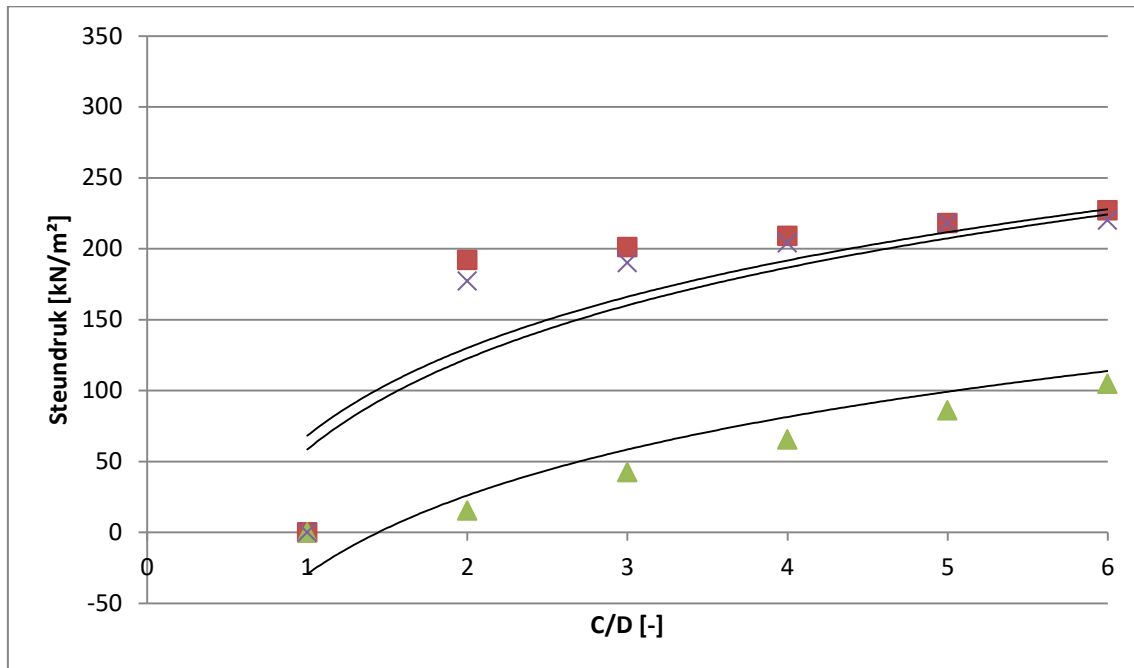
Figuur 28: Invloed van de grondsamenstelling op de steundruk (niet-cohesief)

Hetzelfde fenomeen is merkbaar bij een variërende cohesie en stijgende overdekkingsratio's. Toch zijn de waarden van de steundrukken nu wel beduidend lager. Dit wijst erop dat de overdekkingsratio het verloop bepaald en de cohesie enkel invloed heeft op de waarde van de steundruk. Een grotere overdekking, of kleinere diameter, zorgt dus voor een beduidend lagere steundruk. De grondparameters variëren enkel bij lage ratio's heel verschillend maar convergeren bij grotere ratio's. Dit is de reden waarom ook steeds een overdekkingsratio van minimaal 1,5 maar liefst 2 - 2,5 gevraagd wordt. [29]



Figuur 29: Invloed van C/D-ratio bij rekenmodellen o.b.v. schuifspanningen

Globaal kan gesteld worden dat de invloed van  $C/D$  vrij groot is op de waarden van de modellen. Wanneer echter twee (niet glijvlak) modellen met elkaar vergeleken worden neemt deze onderlinge verschilligheid af naarmate de overdekking groter wordt, of de diameter kleiner. De grafieken convergeren tot een waarde  $C/D = 2$ , waarna de verhouding  $C/D$  geen invloed meer heeft op de keuze van het model.



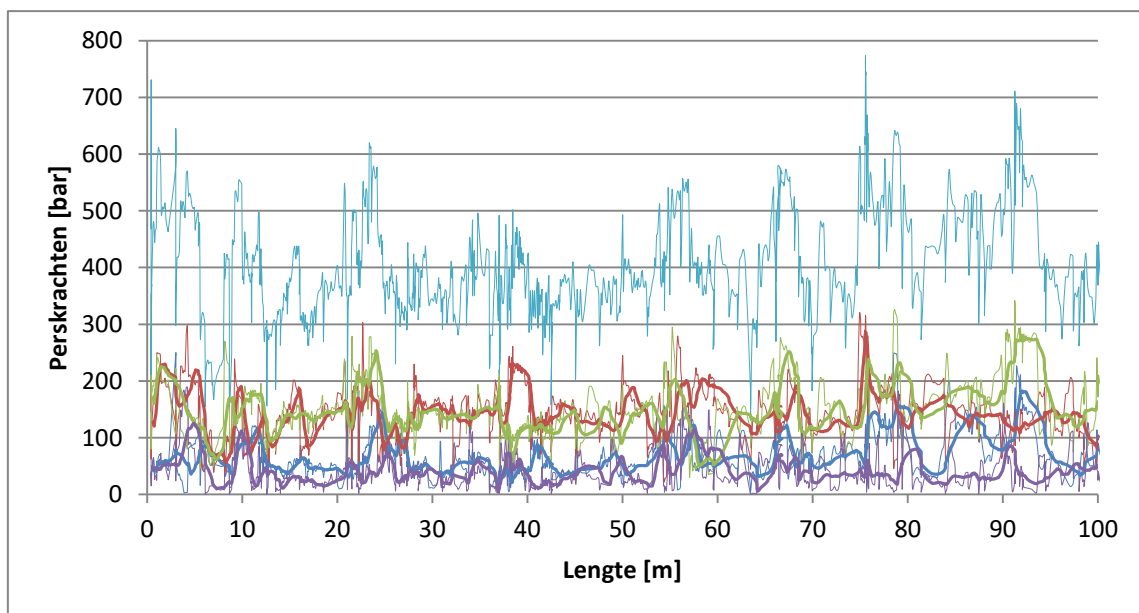
**Figuur 30: Invloed van de steundrukverhouding op de steundruk (2)**

Wanneer enkele glijvlakmethoden met elkaar vergeleken worden verschillen de methoden soms uitdrukkelijk van waarde. Bij stijgende overdekkingen vindt hier geen convergentie plaats en blijft het verschil tussen de methoden duidelijk zichtbaar.

### 3.8 Vuistregels

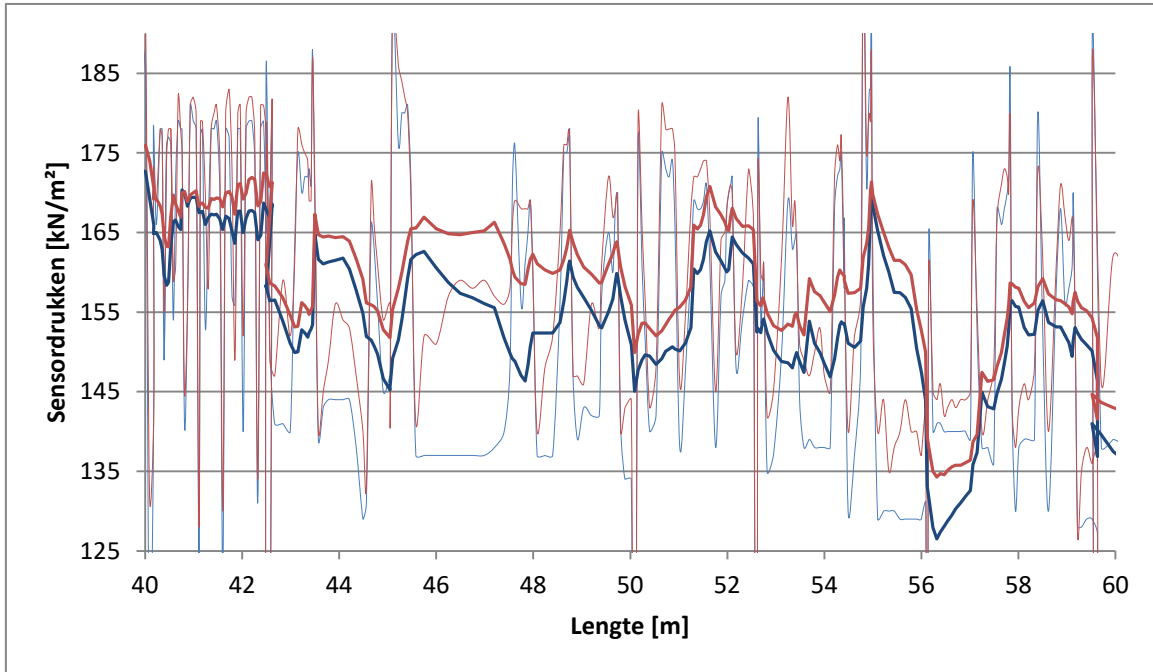
Tijdens het boren worden naast steundrukken, ook perskrachten geregistreerd door het boorprotocol. De steundruk wordt geregistreerd door een druksensor die de korrelspanning meet. Deze sensor bevindt zich bij elke machine op een andere plaats, maar vaak op 0,5 – 1,0 meter boven de as. De drukken in de afvoerleiding worden ook gemeten ter hoogte van het vloeiniveau van de buis. Dit wil zeggen dat bij een binnendiameter van 1600 mm deze drukmeter zich op 80 cm onder de as bevindt. Het verband tussen het korreldrukken en de drukken in de afvoerleiding zijn weergegeven in Figuur 32. De waarden in de afvoerleiding zullen steeds ca. 0,1 bar hoger liggen aangezien hier tussen de 0,8 tot 1,2 meter hydrostatische druk bijkomt. Dit vormt een extra controle van het boorproces.

De drukken van de vier hoofdpersen worden ook gemeten en weergegeven in bar. Elke stuurpers geeft 1000 kN bij 500 bar. Een voorbeeld van de druk in elke individuele hoofd pers, alsook de som van de perskrachten tijdens de boring in Maagdenburg is weergegeven in Figuur 31. Het is de afzonderlijke normaalkracht op de stuurpersen, aan het boorfront van de machine, die de uiteindelijke frontsteundruk bepaalt.



**Figuur 31: De individuele krachten in de hoofdpersen (Maagdenburg)**

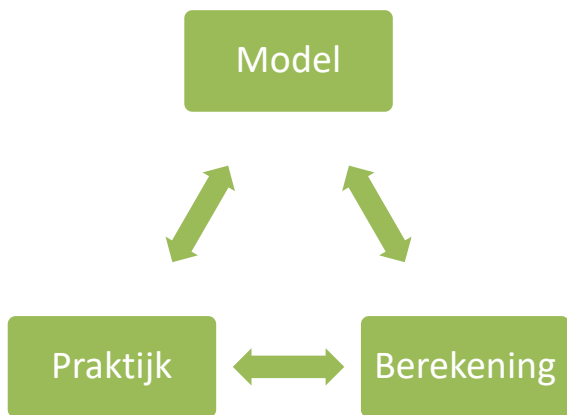
De druksensor ter hoogte van het vloeiniveau is weergegeven door de rode lijn. De waarden hiervan liggen, zoals eerder vermeld, ca 0,1 bar (1 meter) hoger dan de korreldruksensor. Dankzij deze extra controle kan de kwaliteit van een boring stijgen en worden nieuwe inzichten ontwikkeld. Merk op dat de metingen niet altijd continu zijn en een ruw verloop kennen.



**Figuur 32: Vergelijking tussen de druk in de afvoer- en toevoerleiding**

### 3.9 Steundruk creëren praktijk

Het doel van het onderzoek is om een theoretische benadering te vinden voor de steundrukken op basis van historische data. Tegelijkertijd is het doel van een berekening ook om als basis te dienen voor het instellen van een bepaalde steundruk. Dit vormt een vicieuze cirkel.



**Figuur 33: Relatie tussen theorie en praktijk**

Tijdens de boring streven we ernaar het evenwicht in de bodem zo weinig mogelijk te verstoren. Hierdoor dienen we te werken met een steundruk gelijk aan de neutrale gronddruk + hydrostatische druk. Afhankelijk van de gewichtscntrole (afgebouwd volume), de zettingsmetingen, eventueel verlies van boorvloeistof en het perskrachtenverloop kunnen er mogelijks (kleine) wijzigingen aangebracht worden aan de te hanteren steundruk.

Het spreekt voor zich dat in de praktijk situaties voorkomen waar toch moet afgeweken worden van de theoretische steundruk. Het is dan maar zeer de vraag of deze praktijkwaarden dienen benaderd te worden. Deze kritische zelfreflectie vormt de basis om een blik te werpen op de meest voorkomende redenen waarom afgeweken wordt van de berekening: [30]

- 1) De hydrostatische druk in de praktijk wijkt af van het grondonderzoek. Dit kan bijvoorbeeld voorkomen wanneer de tijd tussen het grondonderzoek en de boring danig is, zodat getijdenwerking of seizoenen hier een invloed op hebben. Tegenwoordig wordt er steeds meer gekeken naar  $\Delta p$  dan naar de totale grondwaterdruk zelf.
- 2) Een ander probleem dat kan optreden is het volblazen van de ringspleet met fijndelen. De boormeester kan a.d.h.v. de boorparameters zien dat op dit moment de perskrachten toenemen. Dit impliceert ook een stijging van de te hanteren steundruk. In normale omstandigheden zullen de perskrachten gedurende de boring steeds (relatief) dalen.
- 3) Bij de berekening van de frontsteundrukken vormen grondeigenschappen de input. Toch houden de modellen geen rekening met de gevoeligheid van de ondergrond voor steundrukken. Zo is mergel bijvoorbeeld een bodem die hier niet kritisch voor is. Of er veel, doch weinig, steundruk gebruikt wordt zal geen invloed hebben op de stabiliteit van het boorfront. Het zal toch blijven staan in dergelijk stabiele grondformaties.

Ter volledigheid kunnen ook onvoorziene omstandigheden zorgen voor een wijziging in de frontsteundruk. Voorbeelden hiervan zijn technische problemen, verstoppingen, stroomonderbrekingen...

### **3.10 Conclusie**

De geotechnische samenstelling van de grond en de kennis ervan is bepalend voor de keuze en interpretatie van het model. Elke model heeft bepaalde nadelen, maar dit wil niet zeggen dat ze per definitie onbruikbaar zijn. Er bestaat ook een verschil tussen de boortechnische stabiliteit en de geologische stabiliteit. Deze komen in de praktijk niet altijd overeen. Afhankelijk van de toepassing kan er een geschikt model gekozen worden. Modellen die een groter bereik hebben, zijn ook complexer in uitwerking. Voor de maximale steundruk zijn 2 eenvoudige bezwijkmechanismen gedefinieerd.

Omdat de modellen werken met dimensieloze – en ervaringsparameters zijn veiligheidsfactoren ontwikkeld die deze marge moeten opvangen. Uit de globale analyse van de modellen blijkt dat de overdekkingsratio  $C/D$  een grote invloed heeft op de waarde van de steundruk. Ondanks de verschillende modellen blijkt de werkelijke steundruk toch vaak af te wijken van de berekende. Verklaringen hiervoor zijn afwijkende grondeigenschappen of variaties in de grondwaterstand, en het volblazen van de ringspleet met fijndelen. Hierdoor zullen de perskrachten sterk toenemen. Deze perskrachten worden samen met steundrukken en debieten gemonitord en geregistreerd in het boorprotocol.



## Hoofdstuk 4: Verband en optimalisatie

Het doel van de masterproef bestaat erin een verband te vinden tussen theoretische modellen en praktijkervaringen om deze beter op elkaar af te stemmen. De theoretische modellen werden eerder al besproken. In dit hoofdstuk wordt verder ingegaan op de modellen en de optimalisatie van deze modellen op basis van historische data tijdens twee projecten in zandgrond.

Om deze praktijkervaringen te toetsen, wordt in samenwerking met K-Boringen gebruik gemaakt van twee projecten. Dit zijn Tilburg en Maagdenburg gezien de zettingsgevoelige ondergrond. Als inleiding volgt een korte situering van de betreffende projecten:

### 4.1 Tilburg

Blauwe Aders, zo noemt men de ondergrondse leidingen voor de berging en afvoer van hemelwater in Tilburg (NL). Vroeger had Tilburg 'blauwsloten', stroompjes waarin het afvalwater van de textielindustrie werd geloosd. Maar waar de blauwsloten overlast veroorzaakten in de vorm van vervuilde rivieren, moeten de Blauwe Aders de wateroverlast juist tegengaan.

Over de stad krijgt Tilburg in totaal vijf aparte rioolstelsels, speciaal voor de afvoer van regenwater. Binnen de stad is de bergingscapaciteit gering omdat Tilburg weinig oppervlaktewater heeft. Vandaar dus de nodige splitsing regenwater (RWA) en riool (DWA). Door RWA op een natuurlijke plaats te laten infiltreren zal het risico op overstromingen bij hevige regen aanzienlijk verminderen. Na een eerder project in de Fatimastraat trok K-Boringen met 2 boorinstallaties naar het noorden van de stad voor het vervolg: 4 boringen over een lengte van 3,2 km met onder andere een 900 m lange DN1800-boring waarbij het Wilhelminakanaal wordt onderkruist. Het tracé van beide gevolgde boringen:

- 1) Vanuit een dubbele persput op de Hasseltrotonde, langs de Midden-Brabantweg, onder het Wilhelmina-kanaal (t.h.v. hmp 22,6) door tot aan een ontvangstput aan de Heikantlaan: In het horizontaal tracé zijn er verschillende bochtstralen,  $R = 1000$  m,  $R=1500$  m, verticaal zijn er 2 hellingen, 0,94 % en 0,05 %. Het overgangsstuk tussen deze 2 hellingen is een bocht met bochtstraal  $R= 1500$  m.
- 2) Vanuit een dubbele persput aan de Lijnsheike, langs de Midden-Brabantweg, tot 670 meter verder aan een ontvangstuip aan de Heikantlaan: Horizontaal zijn er geen bochten voorzien, verticaal wordt een constante helling van 0,06 % aangehouden.

De buiselementen bestaan uit een gewapende betonbuis van 3 of 4 meter lengte met een stalen mof. De interne diameter bedraagt 1800 mm, waarna 400 mm wanddikte (360 mm voor 2e boring) volgt.

Bij al deze projecten is er sprake van een geïntegreerde contractvorm. K-Boringen verzorgt samen met de combinatie-partner zowel het ontwerp als de uitvoering van het project. Door in het voortraject intens betrokken te zijn met het project kan de aannemer de juiste maatregelen treffen voor een minimum aan hinder voor de omgeving. [25]

#### 4.1.1 Steundrukberendingen

K-Boringen maakte hier gebruik van een vereenvoudigde berekening voor steundrukken. Op basis van de neutrale gronddruk worden de minimale en maximale steundruk berekend. Het betreft hier de gegevens van de eerste boring vanuit de Kwaadeindstraat. De gerealiseerde steundrukken zouden dus tussen de 68 en 340 kN/m<sup>2</sup> moeten liggen.

De reële steundrukken worden bijgehouden in het boorprotocol en zijn bepaald op basis van de gronddruk. In bijlage zijn de volledige meetresultaten vindbaar. Op deze resultaten werd eerst een statistische gegevensanalyse uitgevoerd. Deze bevat een spreidingsdiagram, QQ-plot, boxplot,... om de uitschieters te verwijderen en representatieve database te krijgen voor het bepalen van de minimale en maximale steundruk in de praktijk (zie *Bijlage 1*).

Tabel 7: Algemene gegevens Tilburg [25]

DN1600 Tilburg	
D (ontgraven diameter)	2,2 m
$\varphi$ (inwendige wrijvingshoek)	35°
c (cohesie)	0 kPa
$\gamma$ (volumegewicht)	19,5 kN/m <sup>2</sup>
$h_{mw}$ (hoogte maaiveld)	13,57 mNAP
$h_w$ (hoogte grondwaterstand)	11,90 mNAP
C (overdekking)	4,59 m

#### 4.1.2 Verband boorprotocol

Bovenstaande berekeningsmethodes voor de minimale en maximale steundruk zijn allemaal berekend met de grondmechanische gegevens uit Tilburg. Het resultaat van deze berekeningen is te vinden in onderstaande tabel, Figuur 35. Voor elk type methode (Bennermark, Jancseecz en Steiner en de analytische methode) is het voorbeeld uitgewerkt. Om onderstaande resultaten te bekomen moeten steeds een aantal basisgegevens gekend zijn. Deze zijn opgelijst in de bovenstaande Tabel 7. Uit het boorprotocol blijkt dat in de praktijk, met een zekerheidsinterval van 95%, tussen de 49 en 95 kN/m<sup>2</sup> plaatsvinden.

<b>GFT Boring : Kwaadeindstraat- Hasseltrotonde - Heikantlaan - Lijnsheike - Eindgemeal</b>							
<b>grondkarakteristieken</b>	<b>Ontvangstkuip Kwaadeindstraat DN1600</b>	<b>Perskuip Hasseltrotonde DN1600</b>	<b>Perskuip Hasseltrotonde DN1800</b>	<b>Onderkruising Wilhelminakanaal DN1800</b>	<b>Ontvangstkuip Heikantlaan DN1800</b>	<b>Perskuip Lijnsheike DN1800</b>	<b>Ontvangstkuip Eindgemeal DN1800</b>
inwendige wrijvingshoek °	35 °	35 °	35 °	35 °	35 °	35 °	35 °
Cohesie c'	0 kPa	0 kPa	0 kPa	0 kPa	0 kPa	0 kPa	0 kPa
Droog volumegewicht kN/m <sup>3</sup>	19,50 kN/m <sup>3</sup>	19,50 kN/m <sup>3</sup>	19,50 kN/m <sup>3</sup>	19,50 kN/m <sup>3</sup>	19,50 kN/m <sup>3</sup>	19,50 kN/m <sup>3</sup>	19,50 kN/m <sup>3</sup>
Nat volumegewicht kN/m <sup>3</sup>	10,00 kN/m <sup>3</sup>	10,00 kN/m <sup>3</sup>	10,00 kN/m <sup>3</sup>	10,00 kN/m <sup>3</sup>	10,00 kN/m <sup>3</sup>	10,00 kN/m <sup>3</sup>	10,00 kN/m <sup>3</sup>
Grondwaterpeil mNAP	11,90 mNAP	11,96 mNAP	11,96 mNAP	12,55 mNAP	11,86 mNAP	11,12 mNAP	11,63 mNAP
Maaiveldpeil mNAP	13,57 mNAP	13,60 mNAP	13,60 mNAP	9,43 mNAP	13,66 mNAP	13,60 mNAP	12,43 mNAP
Niveau Loop Persing mNAP	7,20 mNAP	6,24 mNAP	6,19 mNAP	2,98 mNAP	2,70 mNAP	2,20 mNAP	1,70 mNAP
Niveau drukmeter mNAP	8,70 mNAP	7,74 mNAP	7,69 mNAP	4,48 mNAP	4,20 mNAP	3,50 mNAP	3,00 mNAP
Coëff. Van actieve gronddruk Ka	0,271	0,271	0,271	0,271	0,271	0,271	0,271
Coëff. Van passieve gronddruk Kp	3,690	3,690	3,690	3,690	3,690	3,690	3,690
Coëff. Van neutrale gronddruk Kg	0,426	0,426	0,426	0,426	0,426	0,426	0,426
Korreldruk v:	79,57 kN/m <sup>2</sup>	89,18 kN/m <sup>2</sup>	89,68 kN/m <sup>2</sup>	61,27 kN/m <sup>2</sup>	126,70 kN/m <sup>2</sup>	137,56 kN/m <sup>2</sup>	114,90 kN/m <sup>2</sup>
Actieve Gronddruk	21,56 kN/m <sup>2</sup>	24,17 kN/m <sup>2</sup>	24,30 kN/m <sup>2</sup>	16,60 kN/m <sup>2</sup>	34,33 kN/m <sup>2</sup>	37,28 kN/m <sup>2</sup>	31,14 kN/m <sup>2</sup>
Passieve Gronddruk	293,61 kN/m <sup>2</sup>	329,09 kN/m <sup>2</sup>	330,93 kN/m <sup>2</sup>	226,08 kN/m <sup>2</sup>	467,54 kN/m <sup>2</sup>	507,62 kN/m <sup>2</sup>	424,00 kN/m <sup>2</sup>
neutrale gronddruk	33,93 kN/m <sup>2</sup>	38,03 kN/m <sup>2</sup>	38,24 kN/m <sup>2</sup>	26,13 kN/m <sup>2</sup>	54,03 kN/m <sup>2</sup>	58,66 kN/m <sup>2</sup>	49,00 kN/m <sup>2</sup>
Hydrostatische druk	46,11 kN/m <sup>2</sup>	56,11 kN/m <sup>2</sup>	56,60 kN/m <sup>2</sup>	93,88 kN/m <sup>2</sup>	89,86 kN/m <sup>2</sup>	87,51 kN/m <sup>2</sup>	97,41 kN/m <sup>2</sup>
Minimale Steundruk	67,67 kN/m <sup>2</sup>	80,28 kN/m <sup>2</sup>	80,91 kN/m <sup>2</sup>	110,48 kN/m <sup>2</sup>	124,19 kN/m <sup>2</sup>	124,78 kN/m <sup>2</sup>	128,55 kN/m <sup>2</sup>
te hanteren steundruk	80,04 kN/m <sup>2</sup>	94,14 kN/m <sup>2</sup>	94,85 kN/m <sup>2</sup>	120,01 kN/m <sup>2</sup>	143,89 kN/m <sup>2</sup>	146,16 kN/m <sup>2</sup>	146,41 kN/m <sup>2</sup>
Maximale Steundruk	339,72 kN/m <sup>2</sup>	385,20 kN/m <sup>2</sup>	387,54 kN/m <sup>2</sup>	319,96 kN/m <sup>2</sup>	557,40 kN/m <sup>2</sup>	595,13 kN/m <sup>2</sup>	521,41 kN/m <sup>2</sup>

Figuur 34: Steundrukberekening K-Boringen (Tilburg) [25]

### 1) Bromms & Bennermark

Ondanks de formule van Bennermark dankzij zijn eenvoudigheid al meermaals zijn nut bewezen heeft, is deze niet toepasbaar in zandgronden. De uitwerking van de formule is dus niet mogelijk, maar bij uitbereiding zeker een opportuniteit om te analyseren in andere ondergronden.

### 2) Jancseez en Steiner

De moeilijkheid bij Steiner zit in het bepalen van de afschuifhoek. Zoals eerder aangehaald, wordt dit d.m.v. een afgeleid proces gedaan. Men bekomt een minimale waarde bij  $\beta = 82^\circ$ . Hier is met het oog op de optimalisatie gekozen voor een andere, doch gelijkaardige, methode dan aangehaald in de literatuur.

- a. Hierbij kan de verticale spanning, veroorzaakt door de korrel- en waterdruk, ter hoogte van de vloeï van de buis weergegeven worden door:

$$\begin{aligned}\sigma'_v(h) &= h_w \cdot \gamma' + (h - h_w) \cdot \gamma \quad \text{voor } h_w < h \\ \sigma'_v(h) &= 4,7 \cdot 9,5 + (13,7 - 11,9) \cdot 19,5 \\ \sigma'_v(h) &= 79,75 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_w(h) &= (h_w - h) \cdot \gamma_w \\ \sigma_w(h) &= (11,9 - 7,2) \cdot 9,81 \\ \sigma_w(h) &= 46,11 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- b. Vervolgens moeten ook het eigengewicht van de grondmoot bepaald worden om het krachtenevenwicht te kunnen uitschrijven. Voor de resultante op de wig geldt:

$$\begin{aligned}W &= \frac{1}{2} \cdot (\gamma') \cdot D^3 \cdot \cot(\beta) + \sigma'_v(h) \cdot D^2 \cdot \cot(\beta) \\ W &= \frac{1}{2} \cdot (9,5) \cdot 2,2^3 \cdot \cot(82^\circ) + 79,75 \cdot 2,2^2 \cdot \cot(82^\circ) \\ W &= 391,75 \text{ kN}\end{aligned}$$

- c. De maximale kracht op de schuine vlak wordt gegeven door de gedraineerde cohesie. Hierbij wordt de wrijving en cohesie op de driehoekige zijkanten van de wig wel niet meegenomen.

$$\begin{aligned}C_a &= \frac{c \cdot D^2}{\sin(\beta)} \\ C_a &= \frac{0 \cdot 2,2^2}{\sin(82^\circ)} \\ C_a &= 0\end{aligned}$$

- d. Het uitgeschreven krachtenevenwicht geeft volgende vergelijking. Voor de gronddrukcoëfficiënt wordt het gemiddelde van de neutrale en actieve gronddrukcoëfficiënt gekozen, dit invullen geeft:

$$E = \frac{W \cdot \cos(\beta) \cdot \tan(\varphi) - \sin(\beta) + F_a + C_a}{\tan(\varphi) \cdot \sin(\beta) + \cos(\beta)}$$

$$E = \frac{391,75 \cdot \cos(82^\circ) \cdot \tan(35^\circ) - \sin(82^\circ) + 0 + 0}{\tan(35^\circ) \cdot \sin(82^\circ) + \cos(82^\circ)}$$

$$E = 44,7 \text{ kN}$$

- e. Om de minimale steundruk te berekenen, moet de steunkracht gedeeld worden door het kwadraat van de buitendiameter:

$$\Delta q_{min} = \frac{E}{D^2} = \frac{44,7}{2,2^2} = 9,2 \text{ kN/m}^2$$

Dit is de benodigde toegevoegde spanning aan het front. Hierbij moet dus de reeds heersende horizontale waterspanning toegevoegd worden. Dit geeft een totaal van 55,2 kN/m<sup>2</sup>.

### 3) Analytisch

De werkwijze is analoog aan de methode van Steiner, maar op een vereenvoudigde manier. Er is bijvoorbeeld geen afhankelijkheid van iteratieve processen of empirisch gebaseerde paramaters. De eerste stap is drie van de vier optredende krachten bepalen op het mechanisme. Hierbij is steeds gerekend tot aan de vloei van de buis:

- a. Waterdruk

$$P = p \cdot \pi \cdot r^2$$

$$P = 46,11 \cdot \pi \cdot 1,1^2$$

$$P = 175,3 \text{ kN}$$

- b. schuifkracht

$$T = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l \cdot \left( \frac{c + K_o \cdot l \cdot \gamma' \cdot \tan(\varphi)}{2} \right)$$

$$T = 2 \cdot \pi \cdot 1,1 \cdot 5,22 \cdot \left( \frac{0 + 0,462 \cdot 5,22 \cdot 9,5 \cdot \tan(35^\circ)}{2} \right)$$

$$T = 289,4 \text{ kN}$$

- c. eigen(onderwater)gewicht

$$G' = \pi \cdot l \cdot r^2 \cdot \gamma'$$

$$G' = \pi \cdot 5,22 \cdot 1,1^2 \cdot 9,5$$

$$G' = 188,5 \text{ kN}$$

Het evenwicht is nu bepaald door de som van het eigengewicht en de waterdruk, gelijk te stellen aan de schuifkracht en steundruk aan het boorfront. Dit geeft een steundruk van:

$$188,5 \text{ kN} + 175,3 \text{ kN} = 289,4 \text{ kN} + Q$$

$$363,8 \text{ kN} = 289,4 \text{ kN} + Q$$

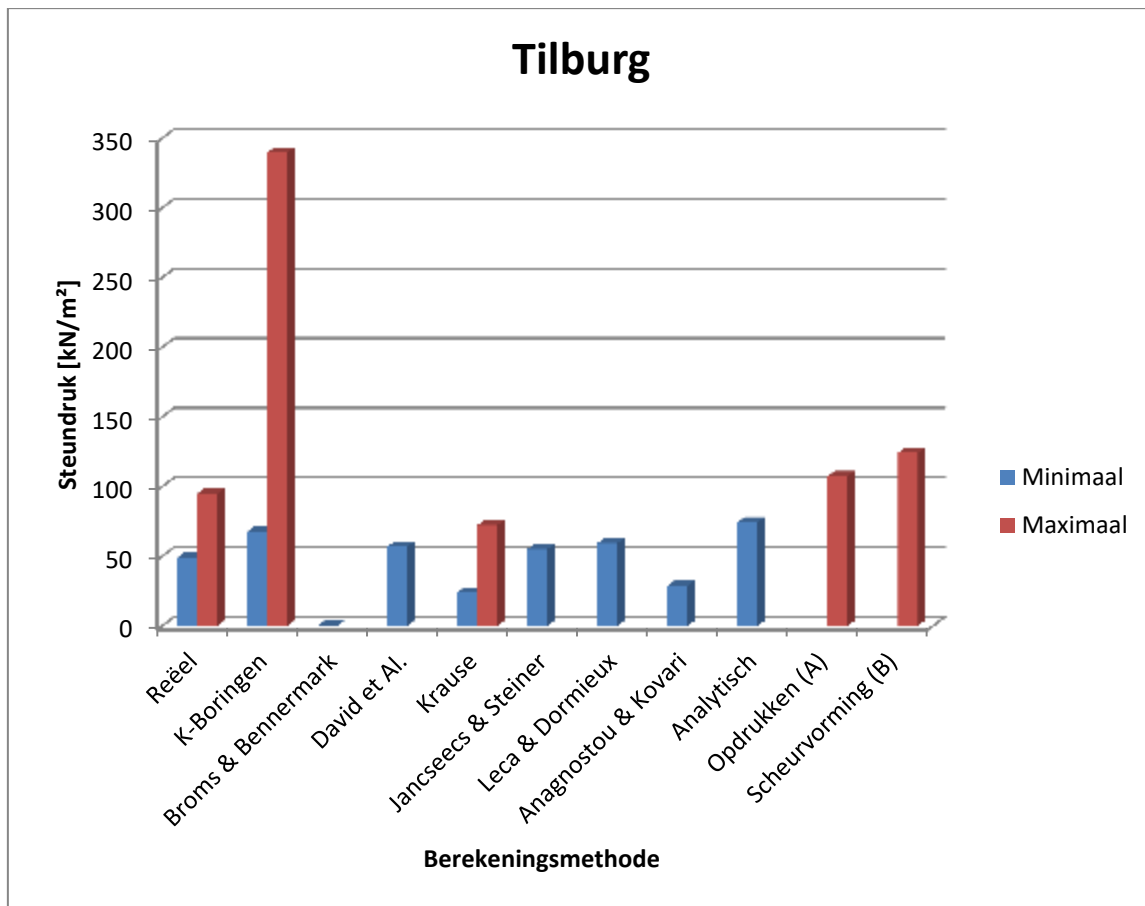
$$Q = 74,4 \text{ kN}$$

**Tabel 8: Analyse berekeningsmethoden Tilburg**

	Minimaal [kN/m <sup>2</sup> ]	Maximaal [kN/m <sup>2</sup> ]
Reëel	49	95
Neutrale gronddruk	67,7	339,7
Broms & Bennermark	(51,2)	-
David et Al.	56,9	-
Krause	24,1	72,4
Jancseecs & Steiner	55,2	-
Leca & Dormieux	59,5	-
Anagnostou & Kovari	28,9	-
Analytisch	74,4	-
Opdrukken (A)	-	107,5
Scheurvorming (B)	-	124,2

Een eerste vaststelling is dat, op Kovari na, alle berekende waarden in de buurt van of boven de werkelijke steundruk ligt. Dit wil zeggen dat er reeds een zekere marge aanwezig is op de modellen. Anders had in de praktijk echter instorting plaatsgevonden. Merkbaar is ook dat David et Al., Jancseecs en Steiner en de analytische methode mooie resultaten levert. Dit mag niet verbazen gezien Steiner reeds veelvuldig toegepast wordt. De analytische methode heeft het voordeel van heel eenvoudig berekenbaar te zijn en sluit goed aan bij de huidige berekeningen die ook vrij eenvoudig zijn. Ook is ze zeer analoog aan de berekening die momenteel in de praktijk gehanteerd wordt. Afwachten of dit bevestigd wordt door de analyse van Maagdenburg.

Het staafdiagram geeft onmiddellijk een visuele weergave. De reële waarden zijn het gevolg van een statistische analyse op het boorprotocol (zie *Bijlage 1*). Voor de maximale steundruk is ook een benadering vindbaar. Echter zou dit willen zeggen dat bijna een blow-out had moeten plaatsvinden. Bij welke praktijkwaarde dit effectief zou gebeuren is, net zoals voor instorting, niet gekend.



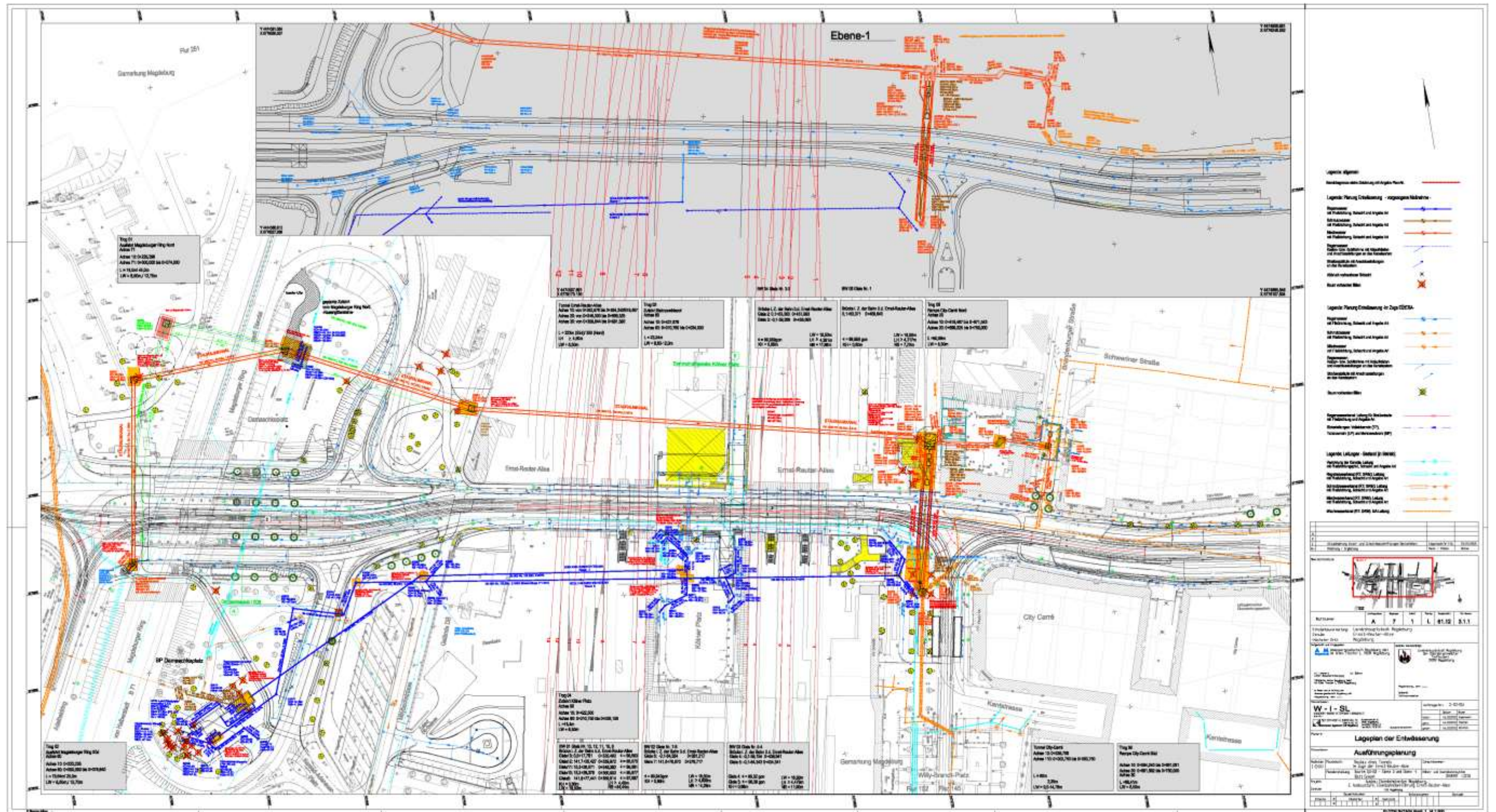
**Figuur 35: Grafische vergelijking van de verschillende berekeningsmethoden (Tilburg)**

Tot noch toe werd weinig gezegd over de methode van Leca en Dormieux. De reden hiervoor is dat ze digitaal zeer moeilijk te benaderen is. De berekening is echter met de hand uitgevoerd op basis van tabellen en levert hierbij zeer goede resultaten. Als Maagdenburg deze waarneming bevestigd is Leca en Dormieux voor handmatige berekeningen dus zeker een aanvaardbaar model.

Ook om in acht te houden is dat een maximale steundruk het kantelpunt is om uitblaas te vermijden. Wanneer de theoretische waarde onder de gemeten waarde ligt, zou dit wijzen op een overdruk en is dit geen goede benadering wanneer er geen uitblaas heeft plaatsgevonden. Het is dus van belang om een zekere marge behouden, al moet deze zo klein mogelijk zijn. Het rendement stijgt wanneer dichter tegen het minimum aangeleund wordt indien dit betrouwbaar is.

Belangrijk om te weten is dat er geen veiligheidsfactoren zijn toegepast op de berekende waarden. De reden hiervoor is, ervan uitgaand dat de berekeningen correct zijn, om op een eerlijke manier de modellen zelf te vergelijken met praktijkwaarden. Het is dus niet nodig dat hier een veiligheid op wordt toegepast. Toch zal dit in de praktijk wel gedaan worden, maar dit geldt bijgevolg ook voor alle modellen. Het interpreteren van de resultaten vraagt de nodige voorzichtigheid. Het is niet omdat de waarde beter aansluit bij de praktijk, ze ook correct is. Bovendien is de representativiteit beperkt omdat enkel voorbeelden in zandgrond met grote diameters getest zijn.





Figuur 36: Situering boringen Maagdenburg [1]



## 4.2 Maagdenburg

Het project in Maagdenburg (D), uitgevoerd in 2014, omvatte drie boringen met een totale lengte van 525 meter. Alle boringen werden uitgevoerd met een DN1800 (interne diameter) en een uitwendige diameter van 2200 mm. Het tracé van de boringen is ook weergegeven op Figuur 36:

- 1) Tussen BG1 en Rü44 werd een boring van 236,30m uitgevoerd. De onderkruising van verschillende spoorfaciliteiten (tracks, wissels) maakte van de boring een complex gegeven ondanks de rechte horizontale lijn. Er is ook een kritiek punt tussen de verschillende sporen vanwege de beperkte overlap. Vanwege de hoge eisen aan spoorweginfrastructuur was het beheersen van zettingen prioritair! De ondergrond bestond voornamelijk uit quartaire grind en zand, met af en toe licht gesteente (Beck-formaties). De grondwaterstand (GW) bevond zich op ongeveer 1 - 2m onder het maaiveld.
- 2) De verbinding tussen BG1 na BG7 overbrugt 164 meter bevat een bochtstraal van 250 meter en een helling van ca. 2,46%. De ondergrond bestond voornamelijk uit quartaire grind en zand, maar met steeds toenemende afzettingen van kleileem. De geschiedenis heeft geleerd dat zich in de ondergrond opgevulde loopgraven met bakstenen muren bevonden. Tijdens deze boring werden ook twee van deze oude stadsmuren doorboord. Maar opvallend genoeg werd ook veel huishoudelijk afval gevonden.
- 3) De kortste boring van 125 meter steekt de hoofdweg (Ernst – Reuter Allée) over. Ook hier is een bochtstraal van 250 meter in verwerkt en een lichte helling van 1,58%. Deze boring werd uitgevoerd vanuit de dubbele pers- en aankomstput BG7, met aankomst in BG8. Quartaire grind en zandcombinaties zijn hier terug te vinden met afzettingen van klei. Een gedeelte van de ondergrond zijn aanvullingen en kunnen dus een belangrijke rol spelen bij het zettingsgedrag indien er onvoldoende verdicht is.

Een visueel overzicht van de langsdoorsnede is weergegeven op Figuur 37. De dubbele rode lijn geeft het traject weer, met de persputten en obstakels. De afbeelding onderaan geeft een lengteprofiel van de boring weer. Hierop is duidelijk weergegeven wat de eigenschappen van de boring zijn, wat de ligging van de pers- en ontvangstuip is. Het lengteprofiel bevat bijzonder veel info, zo ook de grondwaterstanden, nodige steundrukken, hellingen, en veel meer andere informatie. Voor de ingenieur is dit een waardevol document bij uitvoering.

**De bedoeling van de keuze voor dit project was om zettingsberekeningen te kunnen gebruiken bij de voorspelling van het zettingsgedrag, rekening houdend met bochtstralen. Op de dwarsdoorsnede is zichtbaar dat in totaal 13 keer een spoorweg gekruist wordt. Hier zijn ook de zettingsmetingen uitgevoerd. Echter bevond zich op dit stuk tracé geen bochtstraal. Er kan dus enkel een voorspelling gemaakt worden indien dezelfde boring zou plaatsvinden mét een bochtstraal. Maar dit resultaat kan dus niet gecontroleerd worden op basis van praktijkmetingen. Het is dus noodzakelijk hier nog meer onderzoek naar te verrichten.**



### 4.2.1 Steundrukberekening

Het project in Maagdenburg heeft beroep gedaan op een extern bedrijf voor het berekenen van steundrukken. Hun methode is zeer uitgebreid en steunt op het principe van Jancseez en Steiner. Het kan interessant zijn om niet alleen de praktische waarden te vergelijken, maar ook om de verschillende methoden te toetsen op nauwkeurigheid op basis van deze berekening die uitgevoerd werd door het studie bureau. Om deze reden werd de berekening ook toegevoegd als bijlage.

Een opmerkelijk verschil aan de berekening is dat er wel gerekend wordt met veiligheidsfactoren op de water- en korreldruk. Dit impliceert dat de berekende waarden vanuit het studie bureau in principe hogere waarden moeten aannemen. De referentiewaarde bedraagt 0,6 bar, dit komt overeen met 60 kN/m<sup>2</sup>. Uit de resultatentabel blijkt dit ook bevestigd. Bijna alle methoden geven een beduidend lagere steundruk weer.

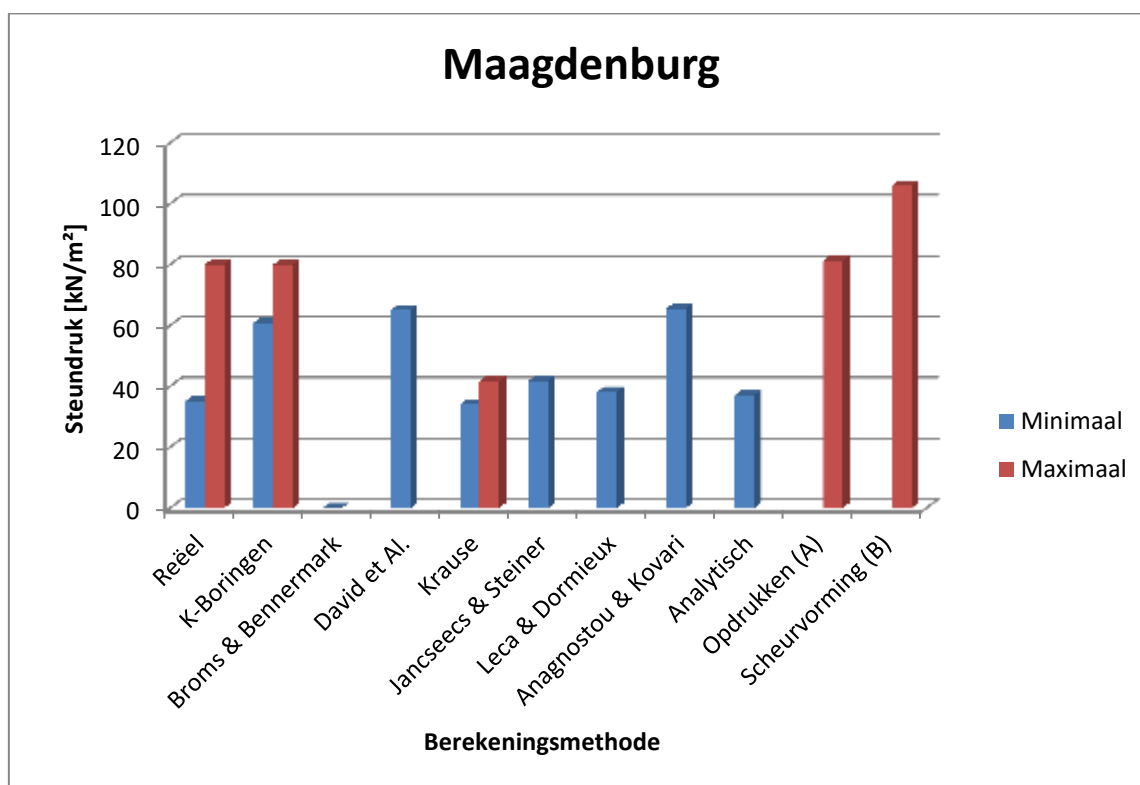
Zonder veiligheidscoëfficiënten zou de waarde net meer dan 40 kN/m<sup>2</sup> bedragen. Het model van Steiner komt dan opnieuw bijzonder goed in buurt. Hierdoor kan aangenomen worden dat de berekende waarden in de tabel grotendeels overeenkomen met de berekening van het studie bureau en dus een realistische weergave zijn. De analytische berekeningsmethode komt bovendien ook zeer dicht in de buurt van de praktijkwaarden. Voor een van de eenvoudigste modellen, die gebruik maken van de schuifsterkte, doet Krause het behoorlijk goed. Toch wordt hier niet verder op ingegaan vanwege het resultaat bij de analyse van Tilburg.

Tabel 9: Analyse berekeningsmethoden Maagdenburg

	Minimaal [kN/m <sup>2</sup> ]	Maximaal [kN/m <sup>2</sup> ]
Reëel	35	80
Studiebureau	60,9	80
Broms & Bennermark	(28,0)	-
David et Al.	65,1	-
Krause	34,1	41,7
Jancseez & Steiner	41,8	-
Leca & Dormieux	38,2	-
Anagnostou & Kovari	65,5	-
Analytisch	37,1	-
Opdrukken (A)	-	81,3
Scheurvorming (B)	-	105,9

Dit geldt echter enkel voor de minimale steundruk. Hierna volgt de analytische methode en de methode van Kovari. De vaststelling voor Leca en Dormieux als handmodel wordt hier bevestigd. Voor wat de maximale steundruk betreft is het opdrukverschijnsel net niet bereikt. Opvallend was dat deze methode ook bij de analyse van Tilburg behoorlijke resultaten gaf.

De reële waarden zijn hier echter wel bepaald met de kwartielsgrenzen. Dit wil zeggen dat er zich nog 50% van de meetwaarden buiten het bereik bevinden. Het is dus nuttig hier rekening mee te houden en minima te kiezen die lager liggen en maxima die hoger liggen dan de maximale steundruk.



**Figuur 38: Grafische voorstelling van de verschillende berekeningsmethoden (Maagdenburg)**

Bovenstaand zijn alle waarden nog eens grafisch uitgezet. Zowel uit de analyse van Tilburg, als die van Maagdenburg, blijkt dat het glijvlakmodel van Steiner een goede benadering is van de praktijkwaarden. Ook bleek de berekening analoog aan in de praktijk en door studiebureau-gerealiseerde berekeningen. Ook de analytische berekening is zeker geen achteruitgang. Voor de niet-analytische methoden is het resultaat wisselvallig en kunnen geen conclusies getrokken worden.

De optimalisatie zal gebeuren voor de methode van Steiner. Deze is als meest belovend uit het onderzoek gekomen. Optimaliseren bestaat erin bestaande methodes uit te bereiden en de invloed van variabele parameters zoveel mogelijk te beperken. Het kan in de toekomst een opportuniteit zijn om het beste van de verschillende methodes te combineren tot een nieuw glijvlakmodel. Toch zal hier eerst getracht worden om met het model van Steiner een betere benadering te vinden.

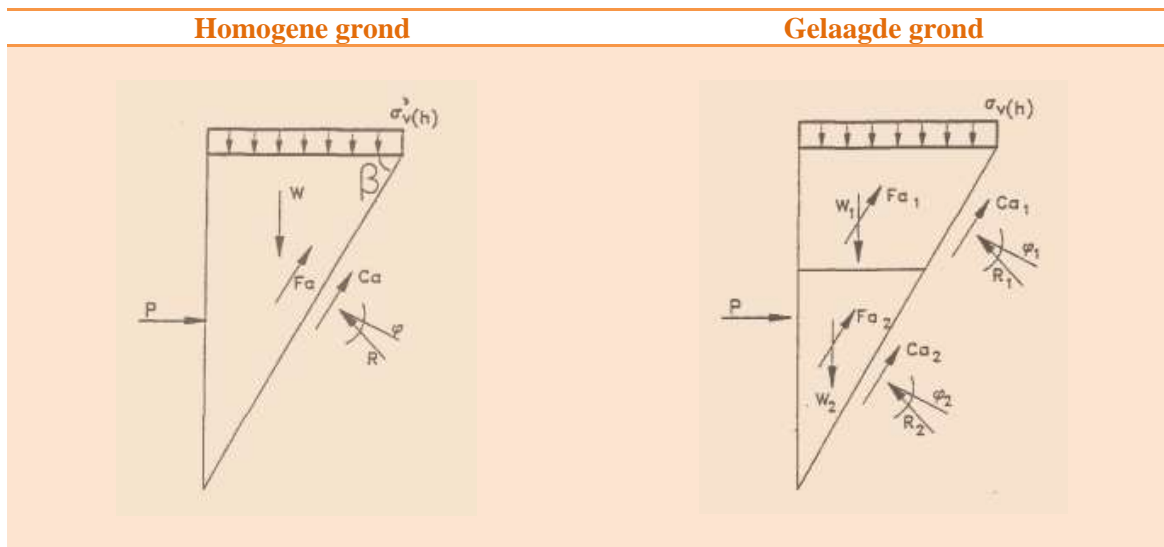
### 4.3 Optimalisatie

De minimaal benodigde steundruk is, bij globaal bezwijken, steeds gebaseerd op de horizontale korreldruk die optreedt op het moment van bezwijken. Om de optimalisatie van deze berekening door te voeren is gekozen voor de methode van Jancseecz en Steiner. Enerzijds is Steiner een vrij vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid, met toch een behoorlijke benadering van de werkelijkheid (zie Tabel 9) en bovendien neemt het model ook voldoende parameters mee die het mogelijk maken om uit te bereiden. Deze berekeningsmethode wordt in de praktijk ook reeds veelvuldig toegepast, zoals oa. in Maagdenburg.

#### 4.3.1 Invloed van gelaagdheid en silo-werking

De methode van Jancseecz en Steiner, zoals eerder beschreven en toegepast, maakt gebruik van een wig in wrijvingsgrond en dus niet voor cohesieve gronden. De korreldruk, die het evenwicht van de wig bepaalt, is afhankelijk van een al dan niet optredende silo-werking in de grondmoot boven de wig. Hiervoor zal de formule van Terzaghi gebruikt worden. Het is de bedoeling met de optimalisatie van deze invloeden een groter bereik en een betere benadering te bekommen. [26]

Tabel 10: Optimalisatieweergave voor gelaagde grond [26]



#### 4.3.2 Homogene grond met silo-werking

Zakkingen van de grond in het gebied net voor het boorfront kunnen de verticale korrelspanning doen dalen als gevolg van wrijving met de omliggende grond aan de bovenkant van het freeswiel. Minder horizontale korreldruk en dus een lagere steundruk is het gevolg. Terzagi gaat uit van rechthoekige silo boven we wig en optimaliseerde op deze manier de formule van Jancseecz en Steiner. [27]

$$\sigma'_v(h) = \frac{F}{U} \cdot \frac{(\gamma_{sat} - \gamma_w) - c}{K_0 \cdot \tan(\psi)} \cdot \left[ 1 - e^{-h \frac{U}{F} K_0 \tan(\psi)} \right] \geq 0$$

$$U = 2 \cdot D \cdot (1 + \cot(\beta))$$

$$F = D^2 \cdot \cot(\beta)$$

Met:

$\beta$	= hoek tussen horizontaal vlak en schuifvlak [°]
$\sigma'_v(h)$	= gronddruk op bovenkant van actieve wig [kN/m <sup>2</sup> ]
$\gamma_{sat}$	= volumiek gewicht verzadigde grond [kN/m <sup>3</sup> ]
$\gamma_w$	= volumiek gewicht water [kN/m <sup>3</sup> ]
$\psi$	= hoek inwendige wrijving [°]
H	= dekking tot bovenkant tunnel [m]
D	= diameter tunnel [m]
$K_0$	= neutrale gronddrukcoëfficiënten [-]
$F_a$	= wrijvingsfactor [-]
c	= cohesie van de grondlaag [kN/m <sup>2</sup> ]
$C_a$	= gedraineerde cohesie [kN]

De effectieve verticale grondspanningen veranderen niet zonder silo-werking. Dit gebeurt analoog aan de gekende methode m.b.v. hoogtes en volumegewichten. De resultante van de korrelspanning vormt samen met het eigengewicht van de wig (G) de kracht W:

$$W = \frac{1}{2} \cdot (\gamma') \cdot D^3 \cdot \cot(\beta) + \sigma'_v(h) \cdot D^2 \cdot \cot(\beta)$$

Op het schuine vlak is nog een onbekende kracht  $C_a$ , dit is de gedraineerde cohesie. Hier zijn ook nog de resultante R van de normaal en schuifkrachten te vinden, maar deze worden niet meegenomen omdat ze niet nodig zijn voor het oplossen van de vergelijking.

$$C_a = \frac{c \cdot D^2}{\sin(\beta)}$$

De wrijving en cohesie, op de zijkanten van de driehoeken, worden in rekening gebracht door de term  $F_a$ , maar de complexe integraal weegt niet op tegen de meerwaarde. Deze term wordt verwaarloosd in de berekeningen.

Voor het bepalen van  $K_0$  wordt het gemiddelde genomen van de neutrale en actieve gronddrukcoëfficiënt. Hiermee kan dan analoog aan de originele formule de steunkracht P bepaald worden. Het verband tussen de steundruk en de steunkracht wordt ook nog steeds weergegeven door de steunkracht te delen door het kwadraat van de tunneldiameter.

Omdat  $\beta$  niet gekend is, kan deze wiskundig bepaald worden op basis van een grafiek waarbij de afgeleide steundruk uitgezet is ten opzichte van de hoek  $\beta$  zelf. De hoek wordt echter gevonden bij de minimale waarde van P. Het bepalen van deze afgeleide kan analytisch of numeriek. Merk op dat de hoek  $\beta$  volledig onafhankelijk is van de bovenbelasting op het maaiveld.

### 4.3.3 Gelaagde grond zonder silo-werking

Opnieuw wordt een wig gebruikt voor het tunnelfront als bezwijkmechanisme. In deze wig worden verdelingen aangebracht naar gelang de gelaagdheid van de grond en met de corresponderende eigenschappen van de betreffende laag. De aanname dat de verschillende lagen als één stijf geheel reageert is wel noodzakelijk.

Het bepalen van de krachten op de deellagen is complex en puur analytisch. Enkel de resultaten zullen worden weergegeven. Sommatie van de horizontale krachten zal opnieuw de minimale steundruk vinden, waar bij verschillende bèta's een maximale waarde gevonden wordt. Deze waarde wordt in eerste instantie gekozen en later aangepast om m.b.v. een iteratie de minimale steundruk te vinden. [27]

Het volumegewicht en de cohesie moeten dus opgesplitst worden onder de verschillende lagen; dit resulteert voor twee grondlagen met dikte  $h_1$  en  $h_2$  in

$$P = \frac{W \cdot \left[ \cos(\beta) \cdot \left( \frac{h_1}{D} \cdot \tan(\varphi_1) + \frac{h_2}{D} \cdot \tan(\varphi_2) \right) - \sin(\beta) \right] + F_a + C_a}{\left( \frac{h_1}{D} \cdot \tan(\varphi_1) + \frac{h_2}{D} \cdot \tan(\varphi_2) \right) \cdot \sin(\beta) + \cos(\beta)}$$

In volgende formule is als voorbeeld kracht W bepaald voor een bovenbelasting en 2 lagen met een verschillend volumegewicht. De diktes van de verschillende grondlagen zijn aangegeven met  $h_1$  en  $h_2$ .

$$W = \sigma'_v(h) \cdot D^2 \cdot \cot(\beta) + \frac{1}{2} \cdot h_1^2 \cdot D \cdot \cot(\beta) \cdot \gamma'_1 + h_1 \cdot h_2 \cdot D \cdot \cot(\beta) \cdot \gamma'_1 + \frac{1}{2} \cdot h_2^2 \cdot D \cdot \cot(\beta) \cdot \gamma'_2$$

$F_a$  wordt om dezelfde reden als eerst, de complexiteit tegenover de invloed, buiten beschouwing gelaten. Cohesie op schuine vlak voor dit geval:

$$C_a = \frac{c_1 \cdot D^2}{\sin(\beta)} \cdot \frac{h_1}{D} + \frac{c_2 \cdot D^2}{\sin(\beta)} \cdot \frac{h_2}{D}$$

### 4.3.4 Gelaagde grond met silo-werking

De methode om silo-werking in gelaagde grond te bepalen is vrij eenvoudig. Silowerking kan in rekening worden gebracht door het gewicht van de toplaat te bepalen. Deze vervolgens te verminderen met de kracht door cohesie en wrijving langs de omtrek. Dit gewicht op de volgende laag plaatsen en de berekening herhalen voor de tweede, derde, ... laag tot de tunnel bereikt is.

Tot slot kan zowel verticaal als horizontaal de korrelspanning per laag bepaald worden waarna uit de horizontale spanning ook de wrijving gehaald wordt. De berekening is dus volledig analoog aan de methode zonder silo-werking. Enkel de verticale korrelspanning ter hoogte van de tunnel zal voor iedere bèta-waarde opnieuw berekend moeten worden. [28]

### 4.3.5 Berekening

Om te controleren of er nog een betere benadering zou kunnen gevonden worden met de optimalisatie, worden de invloeden uitgerekend. Hiervoor worden de waarden van Tilburg gebruikt omdat hier ook gelaagde grond aanwezig is. Zoals op het grondonderzoek aangegeven is, bevindt de tunnel zich in de tweede grondlaag. Er zullen dus twee grondlagen gedefinieerd worden tot de bovenkant van de tunnel. Hieronder de eigenschappen:

Tabel 11: Grondeigenschappen grondlagen [6]

Grondeigenschap	Grondlaag 1	Grondlaag 2
<b>Naam</b>	Leem	Zand
<b>Dikte</b>	2,5 m	2,09 m
<b>Volumengewicht</b>	19 kN/m <sup>3</sup>	19 kN/m <sup>3</sup>
<b>Effectief VG</b>	9 kN/m <sup>3</sup>	11 kN/m <sup>3</sup>
<b>Cohesie</b>	8	4
<b>Inw. wrijvingshoek</b>	24°	34°

De berekening is, gezien de grote mate van overeenkomst, uitgevoerd met een Excel-werkblad. Dit resulteert in volgende waarden. De gelaagdheid heeft slechts een beperkte invloed op de verticale spanningen. Concluderen dat dit een geen betere benadering zou zijn is voorbarig, maar hoe meer invloeden in rekening gebracht worden, hoe meer variabelen uitgeschakeld worden met een preciezer resultaat tot gevolg. In dit geval is gewerkt met een leemlaag boven de zandlaag. Gezien de hogere cohesie en de lagere inwendige wrijvingshoek is het niet verwonderlijk dat de invloed van de gelaagdheid beperkt is. Dit zegt natuurlijk niets voor andere formaties.

Tabel 12: Resultaten optimalisatie steundrukken

<b>Homogene grond zonder silo-werking</b>	55,2 kN/m <sup>2</sup>
<b>Homogene grond met silo-werking</b>	48,5 kN/m <sup>2</sup>
<b>Gelaagde grond zonder silo-werking</b>	56,2 kN/m <sup>2</sup>
<b>Gelaagde grond met silo-werking</b>	50,9 kN/m <sup>2</sup>

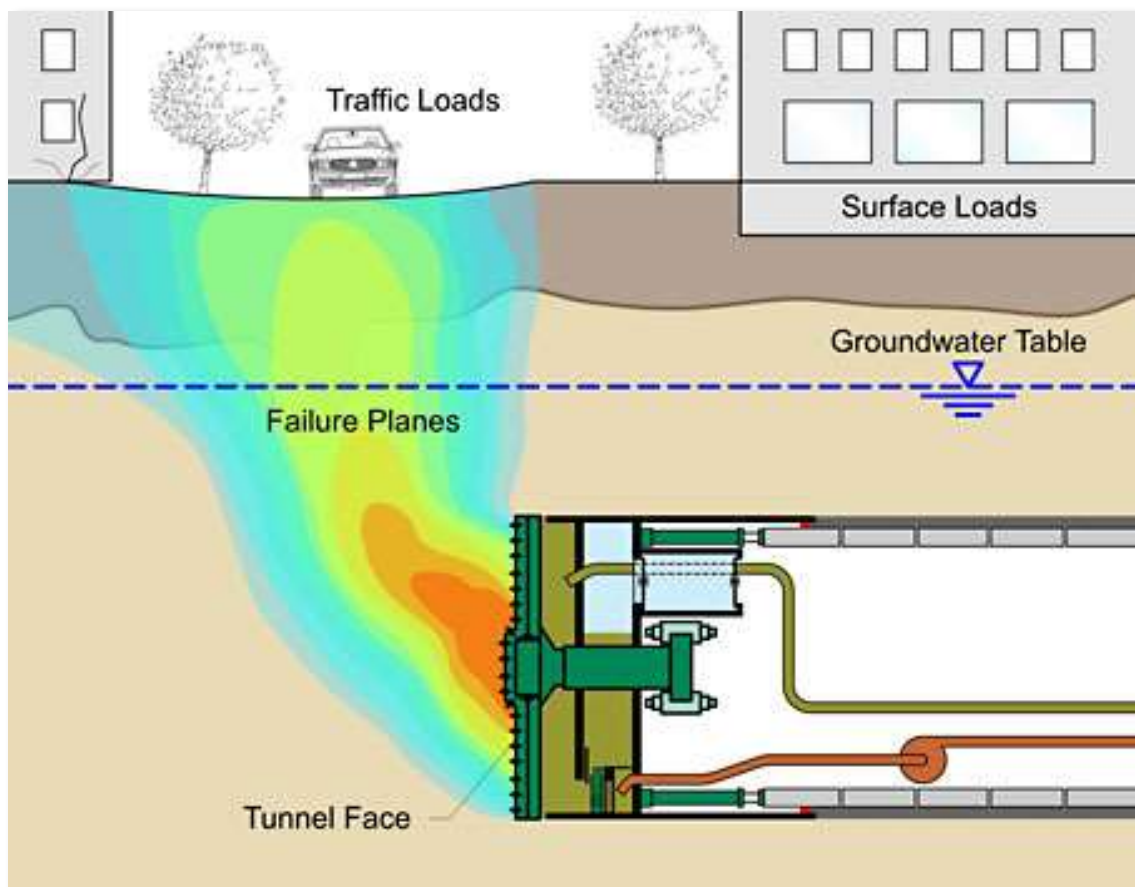
Uit de resultaten blijkt dat de silo-werking meenemen in de berekeningen een beduidend grote invloed heeft op de frontsteundruk. Wat opvalt is dat de silo-werking de reële waarde van 49 kN/m<sup>2</sup> goed benaderd, ongeacht of gelaagdheid in rekening gebracht wordt. De invloed van de silo-werking is ook groter bij de homogene grond. Dit komt omdat de kritische schuifspanning,  $\tau_f = c + \sigma' (\tan \varphi)$  [N/m<sup>2</sup>] die de oorzaak is van de silo-werking hier ook groter is. De wrijvingskracht zal groter zijn bij zand waardoor het tekort aan cohesie wordt teniet gedaan. Schuifspanning is dus een samenspel van cohesie en adhesie (wrijving).

Gekeken naar de historische data reist de vraag of de silo-werking wel optreedt in de praktijk en of de gelaagde grond wel reageert als één stijf geheel. Echter is het, zoals eerder aangehaald, niet de bedoeling een bezwijktoestand te benaderen. De berekende waarden geven de minimaal benodigde steundruk weer. Ervan uitgaand dat er een zekere veilige marge bestaat, al dan niet in combinatie met de veiligheidsfactoren, is het best mogelijk dat deze effecten niet optreden. Momenteel is er nog geen reden om het basismodel te optimaliseren met bovenstaande invloeden. Meer onderzoek en een uitgebreidere analyse zouden zeker een opportuniteit zijn.



## Hoofdstuk 5: Zettingsberekeningen

Zettingen, of gronddeformaties, beperken behoort ook tot het garanderen van de geologische stabiliteit. Het voorspellen van zettingen is een bijzonder moeilijk gegeven. Eerst worden de componenten uit de formule van Peck uitgelicht waaruit een voorstel tot uitbereiding volgt. Ook wordt toegelicht op welke manier de toegepaste aanpassing vergeleken is met de meetwaarden. Het doel is om op deze manier een betere voorspelling te maken voor zettingen in bochtentracés.



Figuur 39: Invloedgebied van het zettingsgedrag [22]

Eerder werd gesteld dat het verstoren van de grond zoveel als mogelijk moest vermeden worden. Tijdens het boren wordt grond verwijderd aan het boorfront. De grond voor het front ondergaat hierbij een actieve gronddruk. Oppervlaktebelastingen vormen ook nog een bijkomende gronddruk indien ze aanwezig zijn.

Ook de grondwaterstand heeft hierbij een belangrijke invloed. Bij een verlaagde grondwaterstand vindt consolidatie<sup>4</sup> plaats, waardoor ook zettingen kunnen optreden aan het maaiveld. Figuur 39 geeft een zettingsprognose weer waarbij de invloed breukvlakken grafisch getoond wordt.

<sup>4</sup> Consolidatie is een proces waarbij sedimenten of bodems onder hun eigen druk inkrimpen.

## 5.1 Formule van Peck

Omdat microtunneling vooral gebruikt wordt op plaatsen waar de open-sleuf methode geen oplossing biedt, is het belangrijk de zettingen aan het maaiveld binnen de perken te houden. De te verwachte maaiveldzettingen kunnen worden bepaald met de formule van Peck. Maar omdat zettingsgedrag een invloedrijke grootte is, zijn er twee ervaringsparameters opgenomen in de formule:

- de steilheid van de zettingstrog ( $k$ )
- het volume van de zettingstrog ( $V$ )

Peck ontwikkelde in 1969 een methode om de vorm van de zakkingsstrog te berekenen in de dwarsrichting van de tunnel. De praktijk heeft reeds geleerd dat de methode van Peck de realiteit goed benaderd. Omdat de formule inzicht geeft in het volumeverlies aan het maaiveld, is het van belang dat de berekende waarden zo goed mogelijk aansluiten bij de meetwaarden. [29] Hier is de formule van Peck weergegeven:

$$w(x) = w_{max} \cdot e^{\left(\frac{-x^2}{2 \cdot i^2}\right)}$$

$$w_{max} = \frac{V_s}{i \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}}$$

Met:

$w(x)$	= zetting op afstand $x$ uit hart tunnel [m]
$w_{max}$	= maximale zetting [m]
$V$	= volume zettingstrog [m <sup>3</sup> /m]
$i$	= horizontale afstand tussen hart tunnelbuis en buigpunt zettingskromme [m]
$x$	= horizontale afstand vanaf hart tunnel [m]
$k$	= constante afhankelijk van de grondsoort [-]
$z_0$	= afstand maaiveld tot tunnelas [m]

Onderzoek [30] heeft het mogelijk gemaakt een gemiddelde voor de ervaringsparameters te bepalen. Met onderstaande tabel kan het volumeverlies als percentage van het oorspronkelijk volume tunnel bepaald worden op basis van de buigpuntscoëfficiënt van de zettingstrog en de grondsamenstelling.

Tabel 13: Bepaling van de buigpuntscoëfficiënt op basis van de grondsamenstelling [5]

Vergelijking $i$	Voorwaarden	Opmerkingen
$i = 0.43 \cdot z_0 + 1.1$	Cohesieve grond (3-34m)	$z_0$ = afstand GW – as boring
$i = 0.28 \cdot z_0 - 0.1$	Niet-cohesieve grond (6-10m)	$z_0$ = afstand GW – as boring
$i = 0.43 \cdot z_a + 0.28 \cdot z_b + 1.1$	Kleigrond overdekt met zand	$z_a$ = afstand laaggrens <sup>5</sup> – as boring, $z_b$ = laagdikte
$i = 0.28 \cdot z_a + 0.43 \cdot z_b - 0.1$	Zandgrond overdekt met klei	$z_a$ = afstand laaggrens – as boring, $z_b$ = laagdikte

<sup>5</sup> Laaggrens: Bij gelaagde grond de overgang tussen de verschillende grondlagen.

Ook de gelaagdheid van de grond heeft een invloed. Net de parameter die bij de optimalisatie van de steundruk werd meegenomen. Voor homogene gronden zal de buigpuntscoëfficiënt kleiner worden naarmate de cohesie van de ondergrond daalt. Een kleinere coëfficiënt zorgt voor een stijging van de maximale zetting aan het maaiveld. Merk op dat de formules voor homogene gronden afgeleid zijn van gelaagde gronden en eigenlijk een randgeval zijn van de algemene formule.

Wanneer dezelfde redenering gemaakt wordt voor gelaagde gronden, zal de coëfficiënt stijgen wanneer de afstand tot de laaggrens toeneemt, en/of wanneer de laag zelf in dikte toeneemt. Hier kan afgeleid worden dat de laaggrens het zwakke punt is. Wanneer een boring plaatsvindt doorheen deze grens, de zettingen zelfs groter zullen zijn dan bij een homogene grondsamenstelling. Deze coëfficiënten staan in rechtstreeks verband met de zettingstrog.

## 5.2 Zettingstrog

Peck beschouwt een twee - dimensionaal probleem. Dit wil zeggen in het vlak loodrecht op de tunnelas. Op verschillende plaatsen, loodrecht op de boorrichting, ontstaan asymmetrische zakkingsstroggen. De zakkingsstrog wordt bepaald door een Gaussverdeling volgens de formule van Peck. Toch blijken deze waarden op een afstand uit de tunnelas af te wijken van metingen. Een verklaring voor de afwijking is waarschijnlijk te vinden in horizontale en verticale bochten in het tracé en bijhorende stuur- en correctiegegevens in het protocol van de stuurcontainer. Er wordt geopteerd voor een methode die dicht aanleunt bij de door Hurrell ontwikkelde strategie uit 1985. Het oorspronkelijk doel van Hurrell was om lange termijn zettingen in rekening te brengen. De uitgebreide formule is gedefinieerd als: [30]

$$w(x) = w_{max,s} \cdot e^{\left(\frac{-x^2}{2 \cdot i_s^2}\right)} + w_{max,c} \cdot \left( e^{\left(\frac{-(x+D)^2}{2 \cdot i_c^2}\right)} + e^{\left(\frac{-(x+D)^2}{2 \cdot i_c^2}\right)} \right)$$

Met:

$w(x)$	= zetting aan het maaiveld [m]
$w_{max,s}$	= maximale korte termijn zetting aan het maaiveld [m]
$x$	= horizontale afstand vanuit tunnelas [m]
$i_s$	= buigpunt-coëfficiënt die de korte termijn vorm bepaalt [m]
$i_c$	= buigpunt-coëfficiënt die de lange termijn vorm bepaalt [m]
$D$	= ontgraven buitendiameter [m]

Er kan gesteld worden dat het nodig is een verband te zoeken tussen de bochtstraal en het volume van de zettingstrog (én dus bijhorende buigpuntscoëfficiënt). Het benaderen van een best-fit curve is de methode die hiervoor toegepast zal worden. Om rekening te houden met de bochten in het tracé moet de formule van Peck uitgebreid worden met de formule van Hurrell.

Consolidatieverschijnselen zullen bovendien ook zorgen voor een toename van de maximale zetting alsook een toename in de breedte van de zettingstrog. Om de invloed op lange termijn te analyseren, worden twee discrete zettingstroggen toegevoegd, die over een afstand  $D$  verschoven zijn (ten opzichte van de korte termijn).

### 5.2.1 Relatie troggen-boortracé

Omdat duidelijk zichtbaar is dat formule van Peck afwijkt van de korte termijn meetwaarden, moet er een optimalisatie doorgevoerd worden van Hurrell's formule.  $V_s$ ,  $i$ ,  $\alpha$ ,  $\beta_r$  en  $\beta_l$  kunnen bepaald worden door variatie van parameters. [30]

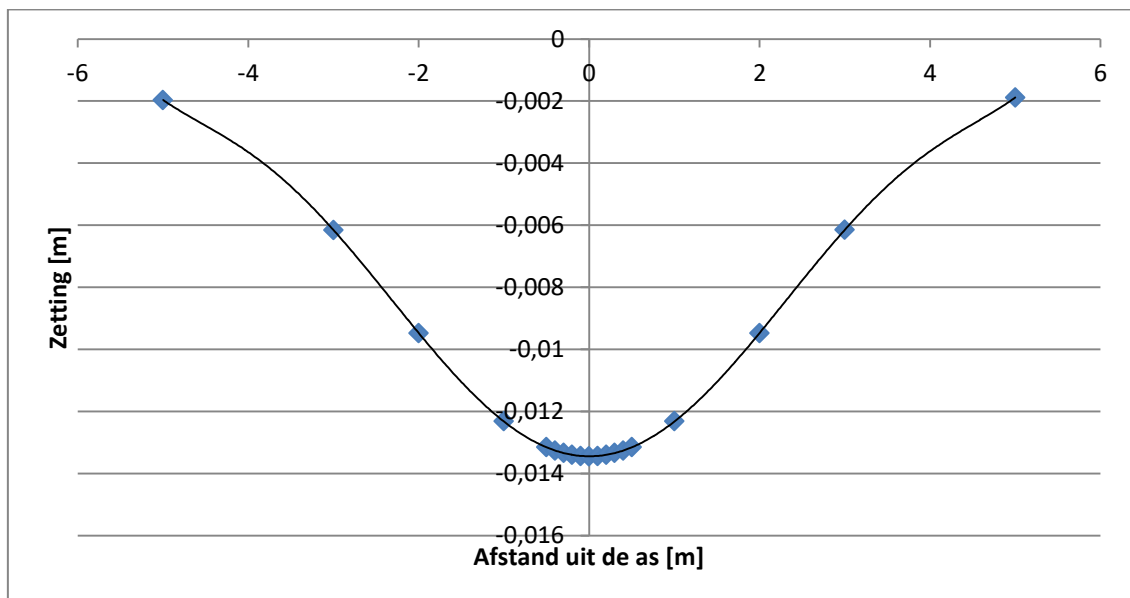
$$w(x) = \frac{V_s}{i \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \left( e^{\left(\frac{-x^2}{2 \cdot i_s^2}\right)} + \beta_r \cdot e^{\left(\frac{-(x-(\alpha \cdot D))^2}{2 \cdot i_c^2}\right)} + \beta_l \cdot e^{\left(\frac{-(x+(\alpha \cdot D))^2}{2 \cdot i_c^2}\right)} \right)$$

### 5.2.2 Bepalen onbekende parameters

Het resultaat van de methode met variatie van parameters is niet enig, er zijn dus meerdere juiste oplossingen. Eerst  $\beta$  gelijkstellen aan 0 (merk op dat hierdoor de formule wordt gereduceerd tot de oorspronkelijke formule van Peck). Hierna is het van belang een best-fit over het traject  $-10 < z' < 10$ m uit te voeren. Dit dient zo nauwkeurig mogelijk te gebeuren. Tot slot kunnen ook aan  $\alpha$ ,  $\beta_r$  en  $\beta_l$  een waarde toegekend worden door middel van iteratie en variatie met de waarden van de onbekende.

In Figuur 40 is  $\beta$  gelijkgesteld aan 0 en is de zettingstrog volgens Peck weergegeven.

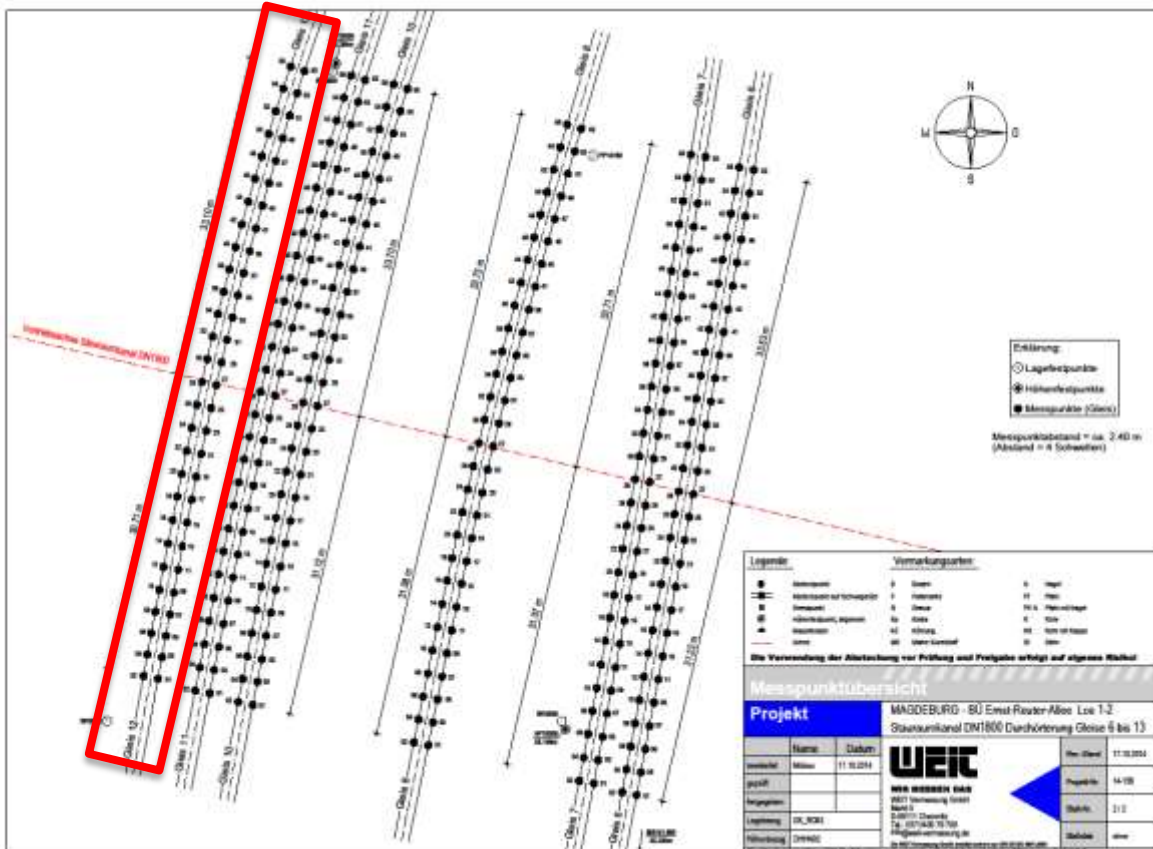
Om nu een best-fit uit te voeren moeten de reële zettingsmetingen geanalyseerd worden. Er zijn 30 metingen uitgevoerd per dwarsdoorsnede, op 2 meter uit elkaar en tot 30 meter uit de as van de boring. Op basis hiervan zal geïtereerd worden tot het verschil klein genoeg is door middel van variatie van parameters. Het doel is om uiteindelijk de bochtstraal te linken aan de waarden van de onbekende parameters. Omdat er slechts met één meting gewerkt wordt, is dit een aanzet waar geen conclusies aan gekoppeld kunnen worden.



Figuur 40: Zettingstrog op basis van de zettingsmetingen

### 5.3 Reële zettingsmetingen

Bij het project in Maagdenburg (zie eerder) werd een boring uitgevoerd onder treinsporen. Omdat het beperken van zettingen hier enorm belangrijk was, werden zowel voor als na de boring controlemetingen uitgevoerd. Op de eerste Figuur is zichtbaar waar de metingen uitgevoerd werden:



Figuur 41: Overzicht meetpunten Maagdenburg [1]

Hier zal enkel het dertiende spoor bestudeerd worden. De reden hiervoor is omdat uit de gegevens blijkt dat de zettingen hier het grootst zijn. Dit is ook het eerste spoor dat onderboord werd. De volledige zettingsmetingen zijn terug te vinden in bijlage 2. Voor de start van het project is een referentiemeting uitgevoerd. De eindmetingen werden uitgevoerd op twee momenten, zowel 's morgens om 8u alsook om 16u. Dit om de invloed van weersomstandigheden mee te nemen in de interpretatie van de resultaten. De eerste kolom geeft de referentiemeting of nulmeting weer.

Blijkt dat er geen bochtstraal in het tracé van de boring aanwezig is, waardoor er geen gegevens beschikbaar zijn om een asymmetrische zettingstrog te simuleren. Dit kan opgevangen worden door een zeer grote bochtstraal te gebruiken om het minimale effect te simuleren en op deze manier een waarde voor de parameters te vinden. Achteraf kan dan voor elke mogelijke bochtstraal de asymmetrie bepaald worden. Het is niet de ideale methode, maar voldoende voor een eerste aanzet.

Projekt: **MAGDEBURG BÜ Ernst-Reuter-Allee Los 1 - 2**  
**Durchörterung DN1800**

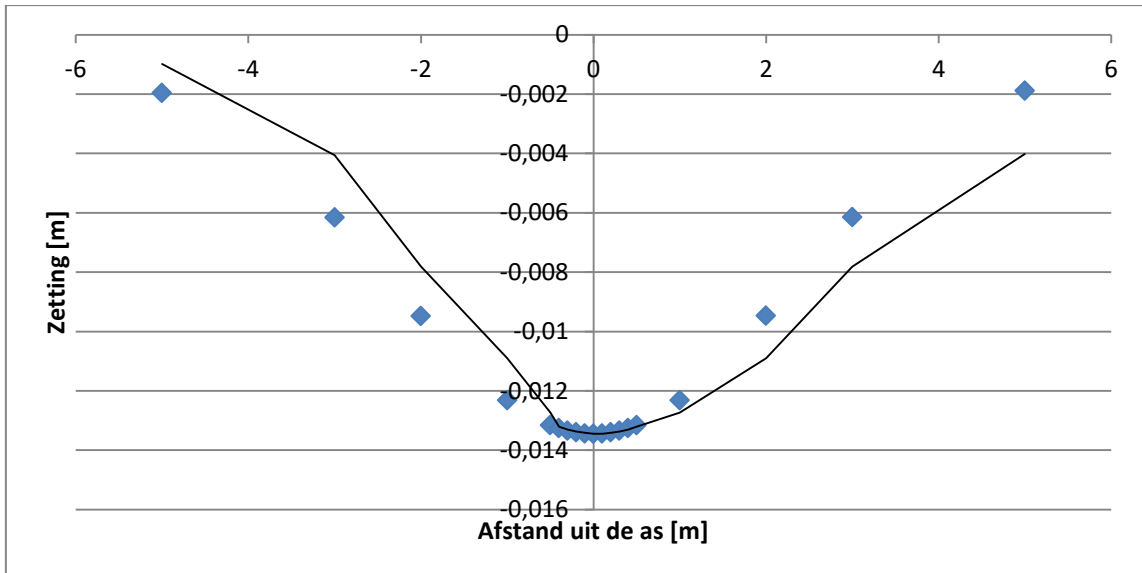


**Gleisüberwachung - Kreuzung der Strecke**  
**Maadeburg-Sudenburg - Maadeburg Hbf. (6424) bei km 141,688 (Gleis 13)**

Lagesystem : GK_RD83 (EC1) Höhensystem : DHN92 (R00)										
Messung-Nr.	1		2				3			
Messung	Nullmessung		Begleitmessung				Begleitmessung			
Datum / Uhrzeit	17.10.2014		30.10.2014 8:00 Uhr				30.10.2014 16:00 Uhr			
Temp. / Wetter	14°C, Regen, leichter Wind		9°C, bewölkt, kein Wind				10°C, bewölkt, kein Wind			
Punktnr.	Querrichtung	Höhe	Querrichtung	Höhe	Veränder.		Querrichtung	Höhe	Veränder.	
	In mm	(OK Schiene) In m	In mm	(OK Schiene) In m	Δ Q In mm	Δ H In mm	In mm	(OK Schiene) In m	Δ Q In mm	Δ H In mm
13.01	-604	55,451	-605	55,449	-1	-2	-606	55,448	-2	-3
13.02	-604	55,452	-605	55,450	-1	-2	-606	55,449	-2	-3
13.03	-737	55,458	-740	55,456	-3	-2	-738	55,456	-1	-2
13.04	-737	55,458	-740	55,457	-3	-1	-738	55,457	-1	-1
13.05	-874	55,458	-875	55,455	-2	-3	-874	55,456	0	-2
13.06	-874	55,456	-876	55,455	-2	-1	-874	55,455	0	-1
13.07	-1011	55,459	-1012	55,457	-1	-2	-1010	55,457	1	-2
13.08	-1011	55,457	-1012	55,456	-1	-1	-1010	55,456	1	-1
13.09	-1147	55,460	-1149	55,459	-2	-1	-1147	55,459	0	-1
13.10	-1147	55,457	-1149	55,456	-2	-1	-1147	55,456	0	-1
13.11	-1285	55,460	-1286	55,459	-1	-1	-1284	55,458	1	-2
13.12	-1285	55,455	-1286	55,454	-1	-1	-1284	55,454	1	-1
13.13	-1419	55,462	-1421	55,460	-2	-2	-1419	55,460	0	-2
13.14	-1419	55,457	-1421	55,456	-2	-1	-1419	55,456	0	-1
13.15	-1540	55,460	-1543	55,459	-3	-1	-1542	55,459	-2	-1
13.16	-1540	55,455	-1543	55,454	-3	-1	-1542	55,454	-2	-1
13.17	-1650	55,455	-1650	55,454	0	-1	-1652	55,454	-2	-1
13.18	-1650	55,451	-1650	55,450	0	-1	-1652	55,450	-2	-1
13.19	-1748	55,450	-1745	55,449	3	-1	-1746	55,449	2	-1
13.20	-1748	55,446	-1745	55,445	3	-1	-1746	55,445	2	-1
13.21	-1835	55,441	-1836	55,441	-1	0	-1834	55,441	1	0
13.22	-1835	55,436	-1836	55,435	-1	-1	-1834	55,436	1	0
13.23	-1910	55,432	-1910	55,431	0	-1	-1910	55,431	0	-1
13.24	-1910	55,426	-1910	55,425	0	-1	-1910	55,425	0	-1
13.25	-1974	55,422	-1973	55,422	1	0	-1972	55,422	2	0
13.26	-1974	55,417	-1973	55,416	1	-1	-1972	55,416	2	-1
13.27 (KP)	-2025	55,412	-2025	55,412	0	0	-2021	55,411	4	-1
13.28 (KP)	-2025	55,408	-2025	55,407	0	-1	-2021	55,406	4	-2
13.29	-2060	55,399	-2060	55,399	0	0	-2059	55,398	1	-1
13.30	-2060	55,395	-2060	55,394	0	-1	-2059	55,394	1	-1
13.31	-2085	55,385	-2084	55,385	1	0	-2084	55,385	1	0
13.32	-2085	55,381	-2084	55,380	1	-1	-2084	55,380	1	-1
13.33	-2090	55,373	-2091	55,372	-1	-1	-2090	55,372	0	-1
13.34	-2090	55,366	-2091	55,366	-1	0	-2090	55,366	0	0
13.35	-2078	55,358	-2076	55,358	2	0	-2076	55,358	2	0
13.36	-2078	55,352	-2076	55,352	2	0	-2076	55,352	2	0
13.37	-2048	55,347	-2047	55,346	1	-1	-2047	55,347	1	0
13.38	-2048	55,342	-2047	55,341	1	-1	-2047	55,342	1	0
13.39	-2003	55,331	-2001	55,330	2	-1	-2001	55,331	2	0
13.40	-2003	55,327	-2001	55,326	2	-1	-2001	55,326	2	-1
13.41	-1937	55,316	-1936	55,315	1	-1	-1938	55,316	-1	0
13.42	-1937	55,312	-1936	55,311	1	-1	-1938	55,311	-1	-1
13.43	-1856	55,301	-1855	55,300	1	-1	-1856	55,300	0	-1
13.44	-1856	55,296	-1855	55,296	1	0	-1856	55,296	0	0
13.45	-1756	55,285	-1757	55,284	-1	-1	-1756	55,284	0	-1
13.46	-1756	55,280	-1757	55,279	-1	-1	-1756	55,279	0	-1
13.47	-1638	55,274	-1637	55,273	1	-1	-1638	55,273	0	-1
13.48	-1638	55,268	-1637	55,267	1	-1	-1638	55,268	0	0
13.49	-1502	55,265	-1503	55,264	-1	-1	-1503	55,263	-1	-2
13.50	-1502	55,260	-1503	55,259	-1	-1	-1503	55,259	-1	-1
13.51	-1347	55,252	-1346	55,251	1	-1	-1347	55,251	0	-1
13.52	-1347	55,248	-1346	55,246	1	-2	-1347	55,247	0	-1
13.53	-1177	55,241	-1176	55,240	1	-1	-1175	55,240	2	-1
13.54	-1177	55,237	-1176	55,236	1	-1	-1175	55,236	2	-1
13.55	-988	55,223	-986	55,222	2	-1	-986	55,222	2	-1
13.56	-988	55,220	-986	55,218	2	-2	-986	55,219	2	-1
<b>mittlerer Fehler der Veränderungen</b>					<b>0,3</b>	<b>-0,9</b>	<b>0,7</b> <b>-0,8</b>			
<b>Beobachter:</b>	Möblus		Wärzocha				Wärzocha			

Figuur 42: Voorbeeld van een rapport m.b.t. zettingsmetingen [1]

Figuur 43 geeft de nieuwe zettingstrog volgens Peck weer. De benadering van 14 mm is behoorlijk goed, wetende dat de oorspronkelijke berekening waarden aangaf tot 12 mm. De reële zettingen bedragen tussen de 8 en 12 mm. Ook voor de zettingstrog, rekening houdend met het lengte- en dwarsprofiel, wordt deze maximale zetting behouden. Hierbij is het duidelijk zichtbaar dat de zettingen groter zijn langs de kant waar de grond ontspant (= binnenkant bocht).



**Figuur 43: Geoptimaliseerde zettingstrog met bochtentracé**

De verkregen zettingstrog lijkt realistisch te zijn. Dit is een veronderstelling omdat er geen bochten aanwezig waren bij deze meting. Bij benadering zal een tracé met een bochtstraal van  $R = 1000$  hetzelfde zettingsgedrag vertonen. Dit voorbeeld dient enkel om de werkwijze te benadrukken en een voorstel tot een model toe te lichten. Deze werkwijze, en best-fit methode, zou toepast moeten worden a.d.h.v. de reële zettingsmetingen. Deze benadering werd gevonden met behulp van volgende parameters:

**Tabel 14: Geoptimaliseerde parameters zettingstrog**

Parameter	Waarde
$V_s$ [m <sup>3</sup> ]	0.008
$i$ [m]	2.38
$\alpha$ [-]	0.4
$\beta_l$ [-]	0.000015
$\beta_r$ [-]	0.00002
$R$ [m]	1000

## 5.4 Conclusie

Consolidatieverschijnselen of verkeerde steundrukken kunnen zettingsproblemen veroorzaken. Peck ligt aan de basis van deze zettingsberekeningen. Analoog met de steundrukken zullen niet-cohesieve gronden zettingsgevoeliger zijn. Ook hier is er invloed van de gelaagdheid op de vorm van de zettingstrog. De zettingen zullen bij gelaagde gronden globaal lager zijn dan bij homogene gronden, behalve als de boring de grenslaag tussen twee grondlagen raakt. Het zijn net deze zettingstroggen die een afhankelijkheid van asymmetrisch zettingsgedrag kunnen weergeven.

Op basis van de zettingsmetingen in Maagdenburg, worden de nodige parameters bepaald om asymmetrische zettingen ten gevolge van bochtstralen, in rekening te brengen. De veronderstelling hierbij is dat er geen zettingsgedrag bijkomt voor bochtstralen vanaf  $R = 1000$ . De resultaten geven een indicatie maar zijn niet representatief voor veralgemening. Hiervoor zijn te weinig analyses gemaakt en moet het bekomen model opnieuw gelinkt kunnen worden aan reële metingen.



## Hoofdstuk 6: Geologisch rekenblad

De verwerking van de resultaten gebeurt door middel van een geologisch rekenblad dat het sluitstuk van deze masterproef vormt. Een geologisch rekenblad verschaft de optimale steundruk en vaak heel wat nuttige informatie om de risico's van een project te optimaliseren. Het commerciële doel bestaat uit de klant die een transparante en onderbouwde motivatie van projectkeuzes apprecieert.

Dergelijke steundrukberekeningen zijn niet enkel van belang voor een correcte en veilige uitvoering van het project, maar worden steeds meer en meer een eis van de klant. Om de klant gerust te stellen is het noodzakelijk een overzichtelijk en aantrekkelijk rapport te presenteren op basis van onderbouwde berekeningen.

Het is de bedoeling een berekening aan te bieden op maat van de klant, en dus ook in de taal van de klant. Ze bestaat in het Nederlands en Duits. Veel literatuur en projecten zijn Duitstalig, en Herrenknecht is een Duits bedrijf. Het berekent de benodigde steundruk volgens de methode van Jancseez en Steiner alsook analytisch.

Aanvankelijk was de keuze om een VBA-project (Visual Basics Application) te gebruiken. Dit is een grafische interface die eenvoudig programmeerbaar en aanpasbaar is. Echter is het ook van belang om een eenvoudige output van de berekeningen te verkrijgen. Dit bleek minder eenvoudig. Ook het maken van visualisaties en grafische weergaven (zie verder) was een beperkende factor voor VBA.

Uiteindelijk is het resultaat tweeledig: Een aanvulling en optimalisatie van het huidige rekenblad, aangevuld met een bijlage die dieper ingaat op de methodes en grafische weergaven. Omdat een Excel-werkblad deze mogelijkheden wel bood is gekozen voor een grafische *overlay* op een Excel-werkblad met de implementatie van macro's en drukknoppen. De code hiervan is toegevoegd als bijlage 5. Verder is een voorbeeld te vinden van de uiteindelijke applicatie.

### 6.1 Rekenblad

Het grote voordeel van het huidige rekenblad is dat zeer eenvoudig berekeningen kunnen worden uitgevoerd op verschillende punten in het tracé. Het steunt op actieve en passieve gronddrukken die sterk afhankelijk zijn van het geologisch onderzoek. Hierbij treden problemen op wanneer het grondwater lager staat dan de vloei van de buis, of bij zeer lage overdekkingen. Met dit in het achterhoofd werd getracht een optimalisatie van het huidige rekenmodel door te voeren. Deze resultaten worden hier besproken en toegelicht.

Berekening frontsteundrukken							
GFT Boring - Kwaadeindstraat - Hasseltrotonde - Heikantlaan - Lijnsheike - Eindgemaal							
grondkarakteristieken	Ontvangstkuip	Perskuip	Perskuip	Onderkruising	Ontvangstkuip	Perskuip	Ontvangstkuip
	Kwaadeindstraat DN1600	Hasseltrotonde DN1600	Hasseltrotonde DN1800	Wilhelminakanaal DN1800	Heikantlaan DN1800	Lijnsheike DN1800	Eindgemaal DN1800
inwendige tunneldiameter m	1,6 m	1,6 m	1,8 m	1,8 m	1,8 m	1,8 m	1,8 m
Uitwendige tunneldiameter m	2,0 m	2,0 m	2,24 m	2,24 m	2,24 m	2,24 m	2,24 m
inwendige wrijvingshoek °	35 °	35 °	35 °	35 °	35 °	35 °	35 °
Cohesie c'	0 kPa	0 kPa	0 kPa	0 kPa	0 kPa	0 kPa	0 kPa
Droog volumegewicht kN/m <sup>3</sup>	19,50 kN/m <sup>3</sup>	19,50 kN/m <sup>3</sup>	19,50 kN/m <sup>3</sup>	19,50 kN/m <sup>3</sup>	19,50 kN/m <sup>3</sup>	19,50 kN/m <sup>3</sup>	19,50 kN/m <sup>3</sup>
Nat volumegewicht kN/m <sup>3</sup>	10,00 kN/m <sup>3</sup>	10,00 kN/m <sup>3</sup>	10,00 kN/m <sup>3</sup>	10,00 kN/m <sup>3</sup>	10,00 kN/m <sup>3</sup>	10,00 kN/m <sup>3</sup>	10,00 kN/m <sup>3</sup>
Grondwaterpeil mNAP	11,90 mNAP	11,96 mNAP	11,96 mNAP	12,55 mNAP	11,86 mNAP	11,12 mNAP	11,63 mNAP
Maaiveldpeil mNAP	13,57 mNAP	13,60 mNAP	13,60 mNAP	9,43 mNAP	13,66 mNAP	13,60 mNAP	12,43 mNAP
Niveau Loop Persing mNAP	7,20 mNAP	6,24 mNAP	6,19 mNAP	2,98 mNAP	2,70 mNAP	2,20 mNAP	1,70 mNAP
Niveau drukmeter mNAP	8,70 mNAP	7,74 mNAP	7,69 mNAP	4,48 mNAP	4,20 mNAP	3,50 mNAP	3,00 mNAP
Coëff. Van actieve gronddruk Ka	0,271	0,271	0,271	0,271	0,271	0,271	0,271
Coëff. Van passieve gronddruk Kp	3,690	3,690	3,690	3,690	3,690	3,690	3,690
Coëff. Van neutrale gronddruk K <sub>0</sub>	0,426	0,426	0,426	0,426	0,426	0,426	0,426
Korreldruk v:	79,57 kN/m <sup>2</sup>	89,18 kN/m <sup>2</sup>	89,68 kN/m <sup>2</sup>	61,27 kN/m <sup>2</sup>	126,70 kN/m <sup>2</sup>	137,56 kN/m <sup>2</sup>	114,90 kN/m <sup>2</sup>
Afschuifhoek	82 °	82 °	82 °	82 °	82 °	82 °	82 °
Actieve Gronddruk	21,56 kN/m <sup>2</sup>	24,17 kN/m <sup>2</sup>	24,30 kN/m <sup>2</sup>	16,60 kN/m <sup>2</sup>	34,33 kN/m <sup>2</sup>	37,28 kN/m <sup>2</sup>	31,14 kN/m <sup>2</sup>
Passieve Gronddruk	293,61 kN/m <sup>2</sup>	329,09 kN/m <sup>2</sup>	330,93 kN/m <sup>2</sup>	226,08 kN/m <sup>2</sup>	467,54 kN/m <sup>2</sup>	507,62 kN/m <sup>2</sup>	424,00 kN/m <sup>2</sup>
neutrale gronddruk	33,93 kN/m <sup>2</sup>	38,03 kN/m <sup>2</sup>	38,24 kN/m <sup>2</sup>	26,13 kN/m <sup>2</sup>	54,03 kN/m <sup>2</sup>	58,66 kN/m <sup>2</sup>	49,00 kN/m <sup>2</sup>
Hydrostatische druk	46,11 kN/m <sup>2</sup>	56,11 kN/m <sup>2</sup>	56,60 kN/m <sup>2</sup>	93,88 kN/m <sup>2</sup>	89,86 kN/m <sup>2</sup>	87,51 kN/m <sup>2</sup>	97,41 kN/m <sup>2</sup>
Minimale Steundruk	67,67 kN/m <sup>2</sup>	80,28 kN/m <sup>2</sup>	80,91 kN/m <sup>2</sup>	110,48 kN/m <sup>2</sup>	124,19 kN/m <sup>2</sup>	124,78 kN/m <sup>2</sup>	128,55 kN/m <sup>2</sup>
te hanteren steundruk	80,04 kN/m <sup>2</sup>	94,14 kN/m <sup>2</sup>	94,85 kN/m <sup>2</sup>	120,01 kN/m <sup>2</sup>	143,89 kN/m <sup>2</sup>	146,16 kN/m <sup>2</sup>	146,41 kN/m <sup>2</sup>
Maximale Steundruk	339,72 kN/m <sup>2</sup>	385,20 kN/m <sup>2</sup>	387,54 kN/m <sup>2</sup>	319,96 kN/m <sup>2</sup>	557,40 kN/m <sup>2</sup>	595,13 kN/m <sup>2</sup>	521,41 kN/m <sup>2</sup>
<b>Model Jancseez&amp;Steiner</b>							
Minimale Steundruk	82,53 kN/m <sup>2</sup>	96,48 kN/m <sup>2</sup>	97,66 kN/m <sup>2</sup>	123,29 kN/m <sup>2</sup>	146,08 kN/m <sup>2</sup>	148,18 kN/m <sup>2</sup>	148,80 kN/m <sup>2</sup>
Maximale Steundruk	126,57 kN/m <sup>2</sup>	146,38 kN/m <sup>2</sup>	147,38 kN/m <sup>2</sup>	156,97 kN/m <sup>2</sup>	218,30 kN/m <sup>2</sup>	226,76 kN/m <sup>2</sup>	214,20 kN/m <sup>2</sup>
<b>Analytisch Model</b>							
Minimale Steundruk	41,71 kN/m <sup>2</sup>	38,81 kN/m <sup>2</sup>	48,56 kN/m <sup>2</sup>	95,67 kN/m <sup>2</sup>	16,93 kN/m <sup>2</sup>	3,55 kN/m <sup>2</sup>	29,98 kN/m <sup>2</sup>
Maximale Steundruk	126,57 kN/m <sup>2</sup>	146,38 kN/m <sup>2</sup>	147,38 kN/m <sup>2</sup>	156,97 kN/m <sup>2</sup>	218,30 kN/m <sup>2</sup>	226,76 kN/m <sup>2</sup>	214,20 kN/m <sup>2</sup>

Tijdens de boring streven we ernaar het evenwicht in de bodem zo weinig mogelijk te verstoren. Hierdoor dienen we te werken met een steundruk gelijk aan de neutrale gronddruk + hydrostatische druk. Afhankelijk van de gewichtscntrole (afgebouwd volume), de zettingsmetingen, eventueel verlies van boorvloeistof en het perskrachtenverloop kunnen er mogelijks (kleine) wijzigingen aangebracht moeten worden aan de te hanteren steundruk. Indien dit moet gebeuren zal dit steeds in overleg met de bouwheer gebeuren.

Figuur 44: Geoptimaliseerd rekenblad NL

Berechnung Stützdrücken							
Bodeneigenschaften	Zielschacht (6)	neben SBB (5)	SBB (4)	Geheweg (3)	Kanaal (2)	Startschacht (1b)	Startschacht (1a)
	DN3200	DN3200	DN3200	DN3200	DN3200	DN3200	DN3200
Innerdurchmesser Tunnel m	3,2 m	3,2 m	3,2 m	3,2 m	3,2 m	3,2 m	3,2 m
Außendurchmesser Tunnel m	3,6 m	3,6 m	3,6 m	3,6 m	3,6 m	3,6 m	3,6 m
Interner Reibungswinkel °	35 °	35 °	35 °	35 °	35 °	35 °	35 °
Cohesion c'	0 kPa	0 kPa	0 kPa	0 kPa	0 kPa	0 kPa	0 kPa
Trockengewicht γ <sub>d</sub> kN/m <sup>3</sup>	19 kN/m <sup>3</sup>	19 kN/m <sup>3</sup>	19 kN/m <sup>3</sup>	19 kN/m <sup>3</sup>	19 kN/m <sup>3</sup>	19 kN/m <sup>3</sup>	19 kN/m <sup>3</sup>
Nassgewicht γ <sub>n</sub> kN/m <sup>3</sup>	13 kN/m <sup>3</sup>	13 kN/m <sup>3</sup>	13 kN/m <sup>3</sup>	13 kN/m <sup>3</sup>	13 kN/m <sup>3</sup>	13 kN/m <sup>3</sup>	13 kN/m <sup>3</sup>
Grundwasser m.ü.W	581,35 m.ü.W	581,35 m.ü.W	581,35 m.ü.W	579,46 m.ü.W	577 m.ü.W	575,75 m.ü.W	575,75 m.ü.W
Terrain m.ü.W	582,74 m.ü.W	582,05 m.ü.W	585,07 m.ü.W	590,65 m.ü.W	577 m.ü.W	579,51 m.ü.W	578,01 m.ü.W
Niveau Wasserlauf m.ü.W	577,28 m.ü.W	574,18 m.ü.W	574,12 m.ü.W	573,18 m.ü.W	573 m.ü.W	573 m.ü.W	573 m.ü.W
Abstand Wasserlauf - Erdrucksens	2,6 m	2,6 m	2,6 m	2,6 m	2,6 m	2,6 m	2,6 m
Coëff. Van aktive Bodendruck Ka	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
Coëff. Van passive Bodendruck Kp	3,69	3,69	3,69	3,69	3,69	3,69	3,69
Coëff. Van neutrale gronddruk K <sub>0</sub>	0,426	0,426	0,426	0,426	0,426	0,426	0,426
Korndruk v:	79,32 kN/m <sup>2</sup>	106,51 kN/m <sup>2</sup>	164,67 kN/m <sup>2</sup>	294,25 kN/m <sup>2</sup>	52 kN/m <sup>2</sup>	107,19 kN/m <sup>2</sup>	78,69 kN/m <sup>2</sup>
Abschneif-Erke °	55 °	55 °	55 °	55 °	55 °	55 °	55 °
Active Bodendruck	21,51 kN/m <sup>2</sup>	28,88 kN/m <sup>2</sup>	44,66 kN/m <sup>2</sup>	79,80 kN/m <sup>2</sup>	14,10 kN/m <sup>2</sup>	29,07 kN/m <sup>2</sup>	21,34 kN/m <sup>2</sup>
Passive Bodendruck	292,48 kN/m <sup>2</sup>	392,74 kN/m <sup>2</sup>	607,20 kN/m <sup>2</sup>	1085,01 kN/m <sup>2</sup>	191,74 kN/m <sup>2</sup>	395,25 kN/m <sup>2</sup>	290,16 kN/m <sup>2</sup>
Neutral Bodendruck	33,82 kN/m <sup>2</sup>	45,42 kN/m <sup>2</sup>	70,22 kN/m <sup>2</sup>	125,48 kN/m <sup>2</sup>	22,17 kN/m <sup>2</sup>	45,71 kN/m <sup>2</sup>	33,56 kN/m <sup>2</sup>
Hydrostatische druk	39,93 kN/m <sup>2</sup>	70,34 kN/m <sup>2</sup>	70,93 kN/m <sup>2</sup>	61,61 kN/m <sup>2</sup>	39,24 kN/m <sup>2</sup>	26,98 kN/m <sup>2</sup>	26,98 kN/m <sup>2</sup>
Minimal Stützdruck	61,44 kN/m <sup>2</sup>	99,22 kN/m <sup>2</sup>	115,58 kN/m <sup>2</sup>	141,41 kN/m <sup>2</sup>	53,34 kN/m <sup>2</sup>	56,05 kN/m <sup>2</sup>	48,32 kN/m <sup>2</sup>
Referenz Stützdruck	73,75 kN/m <sup>2</sup>	115,76 kN/m <sup>2</sup>	141,15 kN/m <sup>2</sup>	187,08 kN/m <sup>2</sup>	61,41 kN/m <sup>2</sup>	72,69 kN/m <sup>2</sup>	60,53 kN/m <sup>2</sup>
Maximal Stützdruck	332,41 kN/m <sup>2</sup>	463,08 kN/m <sup>2</sup>	678,13 kN/m <sup>2</sup>	1146,62 kN/m <sup>2</sup>	230,98 kN/m <sup>2</sup>	422,23 kN/m <sup>2</sup>	317,14 kN/m <sup>2</sup>
Minimal Stützdruck (Perd)	35,44 kN/m <sup>2</sup>	73,22 kN/m <sup>2</sup>	89,58 kN/m <sup>2</sup>	115,41 kN/m <sup>2</sup>	27,34 kN/m <sup>2</sup>	30,05 kN/m <sup>2</sup>	22,32 kN/m <sup>2</sup>
Maximal Stützdruck (Perd)	306,41 kN/m <sup>2</sup>	437,08 kN/m <sup>2</sup>	652,13 kN/m <sup>2</sup>	1120,62 kN/m <sup>2</sup>	204,98 kN/m <sup>2</sup>	396,23 kN/m <sup>2</sup>	291,14 kN/m <sup>2</sup>
<b>Modell Jancseez&amp;Steiner</b>							
Minimal Stützdruck	37,54 kN/m <sup>2</sup>	67,32 kN/m <sup>2</sup>	66,56 kN/m <sup>2</sup>	54,23 kN/m <sup>2</sup>	37,49 kN/m <sup>2</sup>	23,94 kN/m <sup>2</sup>	24,60 kN/m <sup>2</sup>
Maximal Stützdruck	120,02 kN/m <sup>2</sup>	178,21 kN/m <sup>2</sup>	236,97 kN/m <sup>2</sup>	357,05 kN/m <sup>2</sup>	92,00 kN/m <sup>2</sup>	134,69 kN/m <sup>2</sup>	106,19 kN/m <sup>2</sup>
<b>Analytisch Modell</b>							
Minimal Stützdruck	25,76 kN/m <sup>2</sup>	21,97 kN/m <sup>2</sup>	-38,24 kN/m <sup>2</sup>	-239,48 kN/m <sup>2</sup>	40,09 kN/m <sup>2</sup>	-0,65 kN/m <sup>2</sup>	17,90 kN/m <sup>2</sup>
Maximal Stützdruck	120,02 kN/m <sup>2</sup>	178,21 kN/m <sup>2</sup>	236,97 kN/m <sup>2</sup>	357,05 kN/m <sup>2</sup>	92,00 kN/m <sup>2</sup>	134,69 kN/m <sup>2</sup>	106,19 kN/m <sup>2</sup>

Während des Vortriebs wird der Stützdruck zwischen der aktive und passive Bodendruck gehalten. Diese Berechnung zeichnet eine Indikation von der An zu wenden Stützdruck. Der angelegte Stützdruck muss in realität angeschaut werden auf grund der Fortgang und Gegendrücken im Stillstand. Dieser Druck wird bestimmt durch der Machinefahrer und Bauleiter. Bei merkbare abweichungen werden diese weiter geleitet an der Planer und Bauherr.

Figuur 45: Geoptimaliseerd rekenblad DUI

### Toevoegingen:

Zoals het doel vereiste werden de huidige rekenbladen geoptimaliseerd met een nieuwe berekeningsmethode. Uit de resultaten is gebleken dat de methode van Jancseecz & Steiner zeer goede resultaten levert. Ook de analytische methode werd toegevoegd vanwege haar eenvoud. Om deze methoden uit te rekenen worden grotendeels dezelfde inputwaarden gebruikt. Enkel de inwendige- en uitwendige buisdiameter zijn voor de gemakkelijker toegevoegd, alsook de afschuifhoek (Steiner). De bepaling van deze afschuifhoek is ook geautomatiseerd in de bijlage van dit rekenblad, zie verder.

### Verbeteringen:

Ook werd naar een oplossing gezocht voor problemen die zich in het verleden gesteld hebben bij bepaalde situaties. Een voorbeeld is wanneer het grondwater lager staat dan de vloei van de buis en grondwater bijgevolg geen rol speelt in de berekening van de frontsteundruk. In deze situatie werd ook een onrealistische waarde weergegeven. Om dit op te lossen moet het onderscheid gemaakt worden tussen situaties met of zonder grondwater. Door middel van een macro, zijn twee berekeningsmethodes geïmplementeerd waarbij automatisch de juiste macro gekozen wordt, afhankelijk van de grondwaterstand.

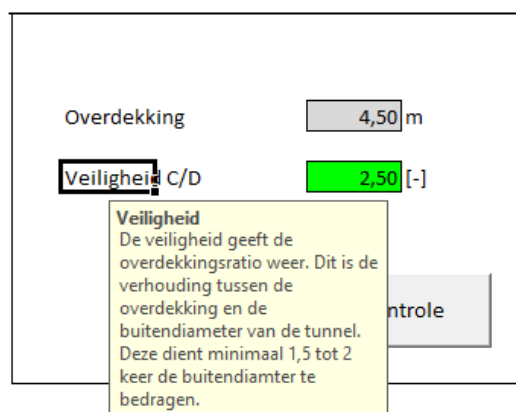
### Resultaten:

De resultaten kunnen nu ook op grotere schaal getest worden. Ook hierbij houdt de methode van Steiner zeer goed stand. Voor het analytisch model zijn de resultaten sterk afhankelijk van het type ondergrond. Voor zandgronden is het wel representatief, maar wanneer de ondergrond niet eenduidig bepaald is, worden onrealistische waarden weergegeven.

## 6.2 Grafische voorstelling

De volledige grafische applicatie bestaat uit 3 delen. Enerzijds moet er input gegeven worden door de gebruiker inzake grondparameters en eigenschappen van de TBM. Ten tweede wordt achter de schermen de berekening uitgevoerd en het resultaat weergegeven op een apart tabblad. Tot slot wordt een grafische situatie weergegeven van de ondergrond inclusief de ligging van de tunnel.

Omdat niet alle parameters altijd even duidelijk zijn, is steeds meer informatie beschikbaar bij de betreffende termen of waarden. Op deze manier is het voor iedereen mogelijk gebruik te maken van de applicatie. Een voorbeeld wordt weergegeven in Figuur 46.



**Figuur 46: Informatiecellen**

Project:

Tilburg: Test

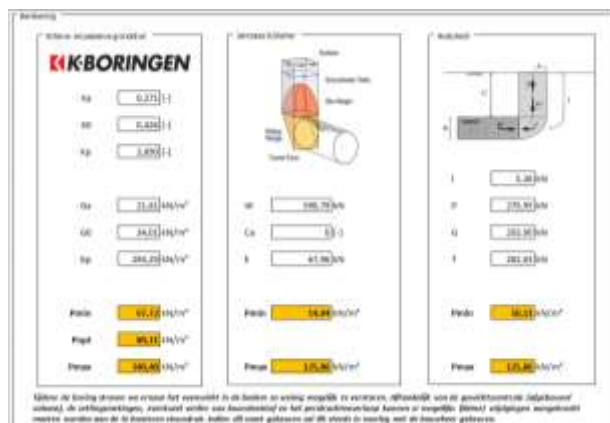
Projectgegevens		Geologie	
Bultendiameter DA	2,2 m	Dikte [m]	Gewicht [kN/(m <sup>3</sup> )]
Nominale diameter DN	1,8 m	Eigengewicht	7,2   19,5
Maaiveld	13,7 mNAP	Belasting MV	N.V.T   0
Grondwaterstand	11,9 mNAP	Cohesie	0 kPa
Vloei buis	7,2 mNAP	Wrijvingshoek	0,611 rad
Overdekking	4,50 m	Afschuifhoek	1,431 rad
Veiligheid C/D	2,30 [-]	Korreldruk	79,75 kN/m <sup>2</sup>
	Controle	Waterdruk	46,11 kN/m <sup>2</sup>
		Annuleer	Bereken

Het eerste deel bestaat uit een inputvenster dat analoog is aan het originele rekenblad. Hierbij is enkel meer aandacht besteed aan de grafische vormgeving. Echter is het niet mogelijk meerdere berekeningen met verschillende input tegelijkertijd uit te voeren. Tijdens het onderzoek is aandacht besteed aan de optimalisatie en invloed van gelaagdheid en silo-werking. Deze invloed bleek echter beperkt en is daarom niet standaard meegenomen. Het model is wel danig duurzaam opgesteld zodat uitbereidingen, via de macro-functie, zeer eenvoudig berekenbaar zijn. Mits de invoering van een extra macro, kan op analoge manier een extra grondlaag toegevoegd worden.

**Controle:** Deze macro gaat na of de overdekking groot genoeg is (min. 1.5xD). Indien dit het geval is, kleurt de cel groen, in het andere geval rood.

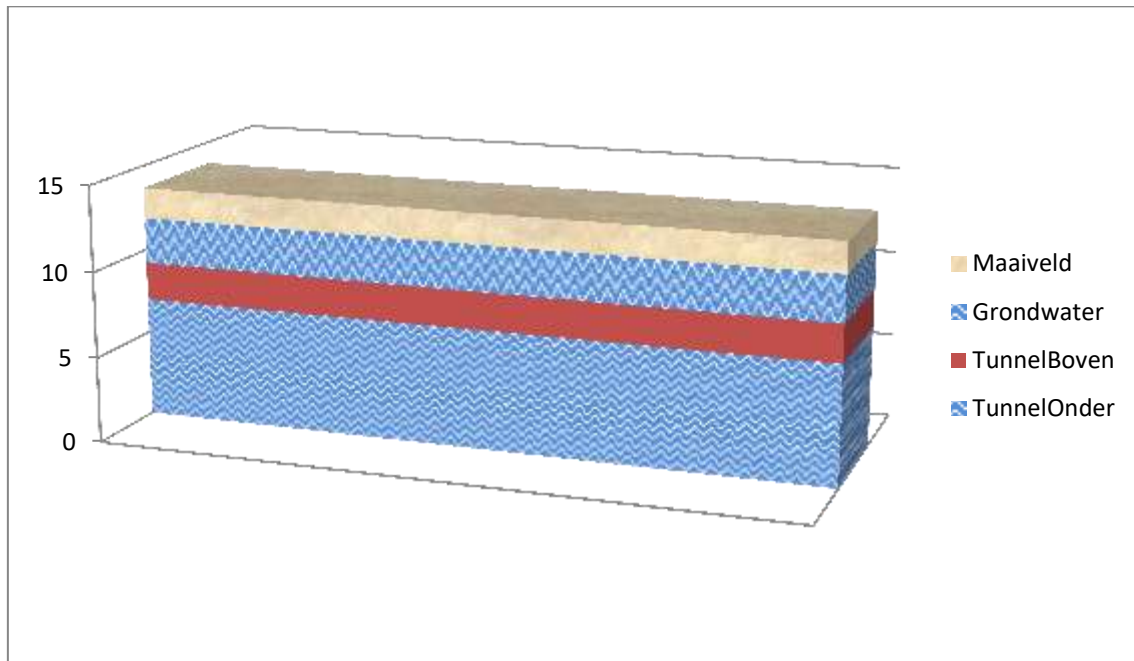
**Annuleer:** Maakt alle resultaatcellen (geel) leeg. Dit kan anders een foutief beeld geven tijdens het invullen/wijzigen van de parameters.

**Bereken:** De resultaatcellen worden gelijktijdig opgevuld met de betreffende resultaten.



Ook tussenresultaten blijven zichtbaar. Zo maakt Steiner gebruik van de afschuifhoek van de wig. Deze wordt iteratief analytisch bepaald. Deze grafiek wordt ook weergegeven op basis van de geotechnische gegevens en is toegevoegd als extra resultaat.

Getallen en cijfers zeggen niet alles. Om een beter inzicht te krijgen in de berekening, én een extra controle voor de gebruiker, is een grafische voorstelling toegevoegd. Ook dit is uitbreidbaar naar modellen waarbij de gelaagdheid meegenomen wordt. In deze weergave worden zowel de ligging van de tunnel, als de grondwaterstand, in rekening gebracht. Deze waarden heeft de gebruiker in stap 1 ingegeven ten opzichte van een referentievlak (mNAP voor Nederland en mTAW voor België bijvoorbeeld). Dezelfde referentie wordt hier gebruikt om interpretatie te vereenvoudigen.



**Figuur 47: Grafische voorstelling tunnel**

De laatste pagina bevat de bepaling van de afschuifhoek waarbij het snijpunt van de kromme met de horizontale as moet gezocht worden. Bij een wijzigende parameter zullen de grafiek en de grafische weergave zich ook automatisch aanpassen. Daarnaast is er ook ruimte voor vrije opmerkingen of aanvullende informatie met betrekking tot het project.

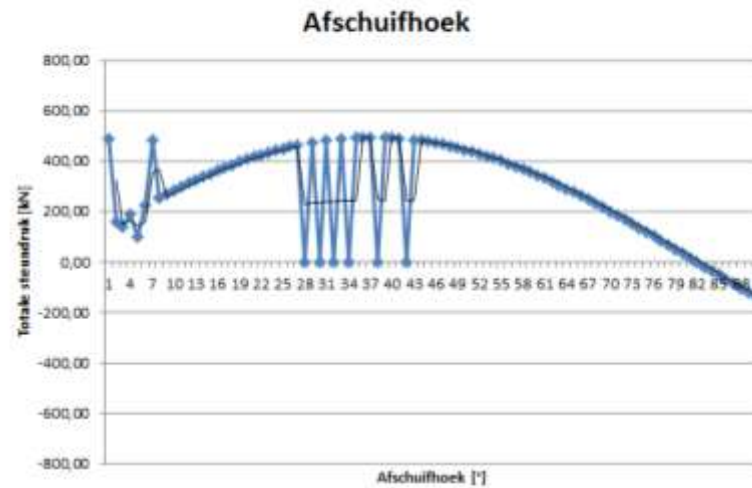
Elk model heeft ook zo zijn eigen beperkingen. Voor dit rekenblad is ook een macro opgenomen om situaties waarbij het grondwater lager staat dan de vloei van de buis op te vangen, analoog als bij de uitbereiding van het huidige rekenblad. Wanneer bij zeer lage overdekkingen en grote watermassa's boven de tunnel (zoals de onderkruising van een kanaal) gerekend wordt, is het model niet representatief. Het is nog onduidelijk waarom dergelijke situaties niet geldig zijn.

## Bepaling afschuifhoek

De afschuifhoek is de hoek die de wig maakt met de horizontale as. Deze hoek heeft een grote invloed op de bepaling van de minimale of maximale steundruk. De werkwijze om deze hoek te bepalen is de volgende:

- 1) Zoek het snijpunt met de horizontale as.
- 2) Bepaal de overeenkomstige hoek.
- 3) Geef deze hoek in bij de geologie.

Deze methode steunt op de afgeleide functie van de steundruk naar de afschuifhoek. Op deze plaats zal de afgeleide dus een minima of maxima bereiken.



## Opmerkingen

**Figuur 48: Bepaling van de afschuifhoek in het rekenblad**







## Besluit

Vanwege de complexiteit vraagt microtunneling een grondige kennis van en ervaring met de geologie en ingewikkelde berekeningen naar werking en ontwerp. Toch werden de eerste microtunnels reeds uitgevoerd begin jaren 70. Grondwater en geotechnische eigenschappen spelen een belangrijke rol in de systeemkeuze en de keuze van het boorfront. Om de ondergrond zo weinig mogelijk te verstoren en zettingen te beperken wordt de overige ondergrond ondersteund met bentoniet.

Bentoniet is een kleimineraal uit de smectietgroep, bestaande uit minimaal 70% montmorilloniet. Het heeft bovendien een grote zwelcapaciteit als het in contact komt met water. Het betonietsysteem bestaat uit een smeersysteem en een spoelsysteem. Om de instroming van grondwater te vermijden en de stabiliteit van het boorfront te waarborgen wordt ook een bentonietkoek gevormd aan de boorfront. Het is van belang de juiste hoeveelheid bentoniet te gebruiken. Te weinig leidt tot instorting, te veel tot uitblaas.

Deze kennis kan op basis van historische data aangevuld worden. Steundrukberendingen variëren soms behoorlijk van de praktijk. Er bestaan 12 modellen om de steundruk te bepalen. Modellen die een groter bereik hebben, zijn ook complexer in uitwerking. Uit de globale analyse van de modellen blijkt dat de overdekkingsratio C/D en de inwendige wrijvingshoek een grote invloed hebben op de waarde van de frontsteundruk. Op basis van historische data (projecten Tilburg en Maagdenburg) is gebleken dat Jancseecz & Steiner een bijzonder goede praktijkbenadering weergeeft. Parameteranalyses en optimalisaties van de gelaagdheid en silo-werking hebben geleid tot een betere benadering van de te verwachten steundrukken. Doch leent Leca en Dormieux zich op basis van tabellen ook tot een snelle en eenvoudige berekening met de hand.

Consolidatieverschijnselen of foutieve steundrukken kunnen zettingsproblemen veroorzaken. Zo ontstaan bijvoorbeeld asymmetrische zettingstroggen in een bocht. Peck ligt aan de basis van deze zettingsberekeningen. Ook hier is er invloed van de gelaagdheid op de vorm van de zettingstrog. De zettingen zullen bij gelaagde gronden globaal lager zijn dan bij homogene gronden. Op basis van de zettingsmetingen in Maagdenburg en een best-fit analyse wordt een innovatieve en geoptimaliseerde formule bekomen die de praktijkzetting in bochtstralen beter benadert. De resultaten geven een indicatie maar zijn niet representatief voor veralgemening. Hiervoor zijn te weinig analyses gemaakt en moet het bekomen model opnieuw gelinkt kunnen worden aan reële metingen.

De reikwijdte van dit onderzoek beperkt zich ook tot zandgronden en grote diameters (>DN2000). Het is een opportuniteit hier verder onderzoek naar te verrichten. De verwerking van de resultaten gebeurt door middel van een geologisch rekenblad dat het sluitstuk van deze masterproef vormt. Het verschaft de optimale steundruk en vaak heel wat nuttige informatie om de risico's van een project te optimaliseren. Stabiliteitsberekeningen zijn ook vaker een eis van de klant. Het stelt de klant gerust en zorgt voor een eenvoudige, overzichtelijke en betrouwbare berekening. Dit zal, naar alle waarschijnlijkheid, ook bijdragen tot een meer correcte beschrijving van lastenboeken.



## Bibliografie

- [1] Kumpen NV, „Kumpen,” [Online]. Available: <http://www.kumpen.be/>. [Geopend 8 Oktober 2016].
- [2] T. J. Wahyu Adi, „Geology Prediction Support System For Microtunneling Projects Using Hybrid Neural-Hidden Markov Model,” National Taiwan University of Science and Technology, TAIPEI, 2011.
- [3] Dienst Weg- en Waterbouwkunde, afdeling Realisatie en Onderhoud infrastructuur, sectie Geotechniek, „Richtlijn Boortechnieken,” *Handleiding Wegenbouw - Ontwerp Onderbouw*, nr. 1, p. 82, 1995.
- [4] R. Schuerch en G. Anagnostou, „Analysis of the stand-up time of the tunnel face,” in *Underground - the way to the future!*, ETH Zurich, Switzerland, 2013.
- [5] D. Stein, *Trenchless Technology for Installation of Cables and Pipelines*, Bochum: Stein & Partner, 2005.
- [6] Fugro Geoservices B.V., „Project doorpersing Hasseltstraat te Tilburg,” Zuid-Nederland, 2014.
- [7] D. i. S. van Baars, „Overzicht Berekeningsmethoden Boorfrontstabiliteit Vloeistofschild,” Bouwdienst Rijkswaterstaat, Utrecht, 1998.
- [8] i. W. Leendertse en d. H. Derksen-Zijm, „Boren in Japan doorgrond,” Visucom, Vorm & Visie Waalwijk, 1997.
- [9] i. J. Plekkenpol en i. E. Kwast, „Deformaties van de grond, spanningsveranderingen in de omgeving en gronddrukken op twee tunnels,” CUR/COB, Gouda, 2003.
- [10] i. J. van der Schrier, „Invloed boorfrontstabiliteit - Experimentele predictie V10 Meetgebied Noord,” CUR/COB, Gouda, 1996.
- [11] V. Zegbroeck, *Geotechniek 1*, Hasselt: UHasselt, 2015.
- [12] i. H. Hergarden, i. C. Wouters en i. R. Boeijeir, „Richtlijnen boorfrontstabiliteit,” CUR/COB, Gouda, 1999.
- [13] N. Khezri, H. Mohamad, M. HajiHassani en B. Fatahi, „The stability of shallow circular tunnels in soil considering variations in cohesion with dept,” Elsevier Ltd., Malaysia and Australia, 2015.
- [14] I. M. K. de Kreuk en I. C. A. Messemaeckers van de Graaf, „Alternatieven voor boorvloeistoffen,” K200, 1998.
- [15] D. i. K. Thoofit, „Empirische regels voor de interpretatie van sonderingen en het afleiden van mechanische parameters van grond in Vlaanderen,” De Nayer Instituut, Sint-Katelijne

Waver, België, 2007.

- [16] S. Psomas, „Properties of foam/sand mixtures for tunnelling applications,” St Hugh's College, Michaelmas, 2001.
- [17] J. Bosch, W. Broere en M. Ngan Vu, „The Impact of shallow cover on stability when tunnelling in soft soils,” Elsevier Ltd., 2015.
- [18] B. Rho, S. Choo en M. Song, „A study on the causes of troubles in shield tunneling site with numerical analysis,” Danwoo E&C Co. Ltd., Sungnam, Korea.
- [19] A. van Kessel, „Het boren van tunnels in Nederland - Het bepalen van de besturingsparameters voor een Hydroschild tunnelboormachine,” TU Delft, Faculteit der Civiele Techniek, GA Delft, 1996.
- [20] Infrabel, „Technische Voorschriften bij kruising onder de sporen en parallelle ligging van kabels en leidingen van derden,” Directie Infrastructuur, 2013.
- [21] Vlario vzw, „Overzicht van sleufloze technieken voor gemeentelijke rioleringsinfrastructuur,” Werkgroep 8, Genk, België, 2014.
- [22] i. C. Messemaeckers van de Graaff en i. I. Plekkenpol, „Gronddeformaties in de meetvelden van het COB en het meetveld van de Noord-Zuidlijn,” CUR/COB commissie K100 "Praktijkonderzoek Voortunnels", Gouda.
- [23] i. D. van Zanten, „Ervaringen van de realisatie boortunnels RandstadRail Rotterdam,” Ingenieursbureau Gemeentewerken, Rotterdam, 2011.
- [24] I. B. V. Zegbroeck, Geotechniek 2, Hasselt: UHasselt, 2016.
- [25] S. P. Gert Dehaen, „Optimalisatie van het tunnelboorproces,” XIOS Hogeschool Limburg, Heerlen, 2016.
- [26] D. R. Walpot, „Boorplan GFT - Boringen,” Dhr. M. den Otter, Brakel, 2016.
- [27] Hoofdstuk 2 - ZETTINGEN, STABILITEIT, AANLEG en ONTWATERING van de AARDEBAAN alsmede TOEPASSING van LICHTE OPHOOGMATERIALEN en GEOKUNSTOFFEN, p. 33.
- [28] J. Hoogerwerf, „Risicoanalyse Boorfrontstabiliteit,” Technische Universiteit Delft, Delft, 1999.
- [29] M. T. U. M. Bernhard Maidl, Handbook of Tunnel Engineering I: Structures and Methods, 1e red., Berlijn: Ernst & Sohn, 2013.
- [30] D. i. S. v. Baars, „Overzicht Berekeningsmethoden Boorfrontstabiliteit Vloeistofschild,” Rijkswaterstaat, Utrecht, September 1998.
- [31] A. Verruijt, GRONDMECHANICA, Delft: Delft University Press, 1999.

## **BIJLAGEN**



## 1. Statistische analyse boorprotocol

Zoals vermeld is het noodzakelijk een statistische analyse uit te voeren op de boorgegevens om een representatieve database te bekomen. Dit ten doele een berekende minimale en maximale steundruk te kunnen vergelijken met de overeenkomstige waarden uit de praktijk.

Hiervoor werd in eerste instantie gekeken naar ontbrekende gegevens, start- en eindgegevens,... Bij de start duurt het enige tijd voor de gegevens zich stabiliseren. Onderstaand is de procedure toegepast op Tilburg A, dezelfde analyse is analoog uitgevoerd bij alle andere gegevens:

DATUM	BUIS	afwijking (mm)		Perskracht	Steundruk (bar)	Gewicht (kg)
		H	V			
3/okt	BK	-17	67	70	0,25	21700
4/okt	VB	-35	38	70	0,48	18520
	1 (3m)	-32	32	64	0,54	
	2	-22	35	64	0,54	18160
5/okt	3	-3	39	60	0,54	17700
	4	16	43	60	0,55	19560
6/okt	5	37	49	68	0,55	15960
	6	46	35	60	0,55	18260
	7	63	24	70	0,55	17140
7/okt	8	61	26	60	0,57	10060
11/okt	9	88	19	75	0,51	11200
	10	92	8	135	0,52	13620
	11	78	14	80	0,52	11560
	12	73	4	80	0,53	12640
	13	73	7	75	0,52	12440
	14	64	6	75	0,53	14460
	15	57	6	75	0,53	14040
12/okt	16	51	15	75	0,55	11940
	17	43	4	70	0,49	12900
	18A	45	15	70	0,55	14200
	18B	43	17	70	0,55	7540
	19	42	5	70	0,56	13640
	20	35	8	70	0,56	20200
13/okt	21	21	4	75	0,57	18000
	22	3	-2	80	0,57	16440
	23	2	3	75	0,61	17300
	24	15	1	75	0,61	18060
	25	2	6	75	0,61	18480
	26	-6	11	75	0,61	19060
14/okt	27	-14	9	80	0,61	19060
	28	2	6	85	0,58	17720
	29	0	27	80	0,62	17500
	30	-13	21	75	0,62	18840
17/okt	31	-25	5	115	0,61	17860
	32	-40	12	90	0,62	18260
	33	5	24	95	0,63	18820
	34	10	10	90	0,63	18360
	35	18	15	85	0,64	21220
18/okt	36	7	19	90	0,64	21080
	37	13	8	95	0,65	23580
	38	14	-2	100	0,65	20880

	39	13	-12	90	0,65	20160
	40	6	13	95	0,67	20240
	41	-10	8	95	0,67	21320
	42	-9	22	95	0,68	17660
19/okt	43	-11	8	110	0,69	15460
	44	0	-2	100	0,69	22380
	45	-8	4	100	0,70	20260
	46	-21	10	110	0,70	18360
	47	-14	17	110	0,70	18820
20/okt	48	-16	1	130	0,70	16940
	49	-8	7	110	0,72	18460
	50	-9	-1	100	0,72	20940
	51	-6	22	100	0,73	20960
	52	4	17	100	0,73	21680
	53	8	22	110	0,73	24600
21/okt	54	3	15	130	0,74	17160
	55	16	17	100	0,74	22000
	56	22	12	100	0,75	21720
24/okt	57	93	25	180	0,72	22440
	58	99	34	140	0,72	21240
	59	87	30	130	0,72	21640
	60	74	23	135	0,72	21620
	61	64	2	150	0,72	21600
	62	64	17	140	0,72	21440
25/okt	63	65	9	160	0,74	23640
	64	52	8	170	0,73	24220
	65	38	-2	180	0,73	23760
	66	66	-5	150	0,72	25200
	67	75	10	140	0,72	25380
	68	79	3	125	0,72	25060
	69	45	4	120	0,72	21000
26/okt	70	23	7	130	0,72	20380
	71	20	1	165	0,72	18820
	72	28	4	140	0,72	19240
	73	24	5	160	0,72	24800
	74	4	-9	160	0,72	26080
	75	-3	10	180	0,72	26520
27/okt	76	-5	12	175	0,75	26380
	77	-42	55	210	0,75	25800
	78	-53	40	200	0,75	19000
28/okt	79	-52	33	210	0,80	21460
	80	-48	35	160	0,85	22700
31/okt	81	-46	32	280	0,85	24120
	82	-36	13	190	0,85	24760
1/nov	83	-28	11	250	0,90	21420
	84	-25	27	190	0,90	16920
	85	-10	16	170	0,90	19720
	86	1	27	165	0,90	19300
2/nov	87	-4	18	210	0,90	16600
	88	-1	4	160	0,85	17020
	89	11	0	140	0,85	17200
	90	19	-16	140	0,85	16740



3/nov	91	32	-13	190	0,88	15840
4/nov	92	32	-21	250	0,88	16620
	93	26	-8	170	0,88	15980
7/nov	94	53	1	410	0,9	23140
	95	66	-8	330	0,9	25980
	96	54	4	200	0,9	23100
	97	37	0	200	0,9	18060
8/nov	98	4	-1	380	0,9	15200
	99	-9	-17	270	0,9	16660
	100	-22	-9	200	0,9	12840
	101	-17	-15	210	0,90	14460
	102	-16	-11	200	0,95	15640
9/nov	103	-23	-15	220	0,95	23220
	104	-34	-7	200	0,95	25380
	105	-9	6	180	0,95	26360
	106	6	10	200	0,95	26360
	107	14	15	200	0,95	26720
	108	26	13	220	0,95	24660
10/nov	109	-2	8	230	0,95	26740
	110	-9	1	190	0,95	20420
	111	-10	10	170	0,95	19400
	112	17	4	180	0,95	26280
	113	57	10	170	0,95	25700
	114	86	6	170	0,95	22600
11/nov	115	82	15	165	0,90	24100
	116	60	15	160	0,90	21140
	117	41	10	160	0,95	23680
	118	52	12	160	0,95	22480
14/nov	119	84	46	380	0,90	27740
	120	77	47	220	0,90	26100
	121	59	50	210	0,90	22480
	122	34	48	200	0,95	23280
	123	31	41	180	0,95	23760
	124	31	42	160	0,95	22480
15/nov	125	25	34	180	0,90	24660
	126	19	29	190	0,90	24240
	127	16	21	170	0,90	20740
	128	15	17	175	0,90	24320
	129	25	20	170	0,90	26580
	130	25	20	170	0,90	24320
16/nov	131	22	26	210	0,90	25060
	132	-5	14	260	0,90	21960
	133	-16	19	260	0,90	21820
	134	-4	20	260	0,90	22860
	135	11	18	230	0,90	24380
	136	17	36	210	0,90	24140
17/nov	137	5	20	240	0,90	17300
	138	-8	11	250	0,90	16900
	139	-24	19	260	0,90	19440
	140	1	21	260	0,90	19540
	141	8	21	260	0,90	19040
	142	6	27	270	0,90	18040

	143	-8	13	235	0,90	12740
18/nov	144	-33	-2	250	0,90	17480
	145	-20	10	200	0,90	20020
	146	-1	32	160	0,90	20420
21/nov	147	-16	36	560	0,90	22520
	148	-12	46	370	0,90	24080
	149	-10	40	260	0,90	18740
	150	-14	34	240	0,90	20620
	151	-13	23	220	0,95	21760
	152	-5	24	190	0,95	18100
22/nov	153	6	27	240	0,95	11240
	154	6	37	200	0,95	17280
	155	5	30	210	0,95	20940
	156	0	30	190	0,95	18460
	157	-1	34	180	0,95	21000
	158	-9	26	210	0,95	19620
23/nov	159	-12	30	230	0,95	23880
	160	3	28	180	0,95	14420
	161	6	29	180	0,95	20660
	162	-5	26	200	0,90	20440
	163	-21	36	180	0,90	20820
	164	-25	34	170	0,90	22580
24/nov	165	-2	15	160	0,90	18580
	166	-8	21	160	0,90	17400
	167	-3	20	170	0,90	18340
	168	4	12	160	0,90	17820
	169	1	17	150	0,90	19440
	170	-7	23	150	0,90	20020
25/nov	171	5	32	224	0,90	18920
	172	6	32	200	0,90	20900
	173	-4	34	150	0,90	21000
28/nov	174	-32	45	600	0,90	22840
	175	-34	44	360	0,90	22600
	176	-34	45	290	0,90	24100
	177	-30	23	250	0,90	22440
	178	-27	18	220	0,90	23000
	179	-12	32	180	0,90	23820
	180	-16	28	170	0,90	21060
29/nov	181	-7	27	180	0,90	21740
	182	-4	29	170	0,90	21780
	183	-3	27	180	0,90	21900
	184	-29	22	190	0,90	19240
	185	-38	16	190	0,90	18480
	186	-29	-1	180	0,90	24260
	187	-6	4	180	0,90	23220
	188	1	24	170	0,90	23320
30/nov	189	200	170	32	0,90	23920
	190	37	12	220	0,90	21200
	191	10	14	190	0,90	22320
	192	-4	15	180	0,90	24200
	193	2	27	180	0,90	24140
	194	14	24	190	0,90	24360

	195	24	21	200	0,90	22360
	196	9	34	190	0,90	19780
1/dec	197	-22	22	230	0,90	18180
	198	-24	31	240	0,90	16500
	199	1	15	230	0,90	17680
	200	25	15	230	0,90	17680
	201	41	15	230	0,90	19500
	202	35	24	230	0,90	19980
	203	15	22	240	0,90	26760
2/dec	204	-24	12	270	0,90	21440
	205	4	21	260	0,90	21700
	206	55	17	270	0,90	21650
	207	67	22	260	0,90	17300
	208	53	14	290	0,90	17820
5/dec	209	2	47	520	0,90	24620
	210	2	44	480	0,90	23420
	211	-9	41	380	0,90	25000
	212	21	36	360	0,90	20000
	213	-14	16	330	0,90	20160
	214	-12	17	310	0,90	20180
	215	-5	17	275	0,90	19860
	216	-4	17	270	0,90	21380
	217	7	30	280	0,90	23840
6/dec	218	4	25	270	0,90	19940
	219	-20	20	280	0,90	21500
	220	-25	13	270	0,90	23120
	221	-18	18	260	0,90	25300
	222	-11	33	250	0,90	23180
	223	6	35	250	0,90	23160
	224	14	33	250	0,90	23740
7/dec	225	12	30	220	0,90	25460

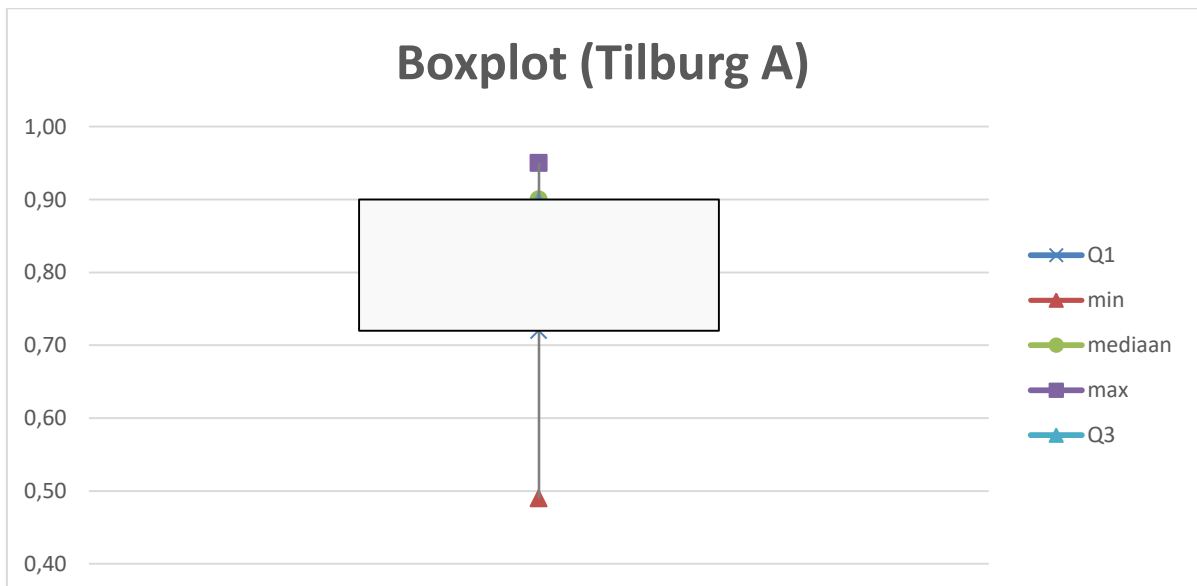
De eerste 9 doorpersbuizen zijn niet meegenomen vanwege ontbrekende waarde voor de perskrachten. Ook is aan de eerste waarden duidelijk merkbaar dat de steundruk zich nog moet stabiliseren. Het begin van een boring brengt ook steeds nieuwe problemen met zich mee wat niet bijdraagt tot een coherente boring.

De lagere waarden in het begin van de boring zijn te verklaren door de ondergrond. Hier werd door een veenlaag geboord wat impliceert dat de nodige steundruk lager is dan bij de latere zandgrond. Deze gegevens zijn essentieel bij de interpretatie en beschikbaar via het eerder uitgevoerd grondonderzoek.

Nu kan van de gekozen database een analyse gemaakt worden om outliers te detecteren. Dit kan met behulp van een boxplot. De kwartielen worden bepaald:

		Steekproefvariantie	
1	Q1		0,72
0	min		0,49
2	mediaan		0,90
4	max		0,95
3	Q3		0,90

Hieruit volgt de boxplot zelf. Een boxplot geeft een visuele weergave van de verdeling van de waarden. Opmerkelijk is dat de mediaan samenvalt met de derde kwartierwaarde. Dit wil zeggen dat het merendeel van de waarde aan de hogere kant liggen en dit dus de referentie volgt. De verklaring werd hierboven al gegeven als verlaagde steundrukken in het begin vanwege de ondergrond. Ook is het bereik tussen de mediaan en het maximum veel kleiner dan tussen de mediaan en het minimum. Dit zou erop kunnen wijzen dat er outliers bestaan aan de kant van de ondergrens.



Het bepalen van de outliers gaat gepaard met interkwartielafstanden op basis van bovenstaande tabel. Het onderscheid tussen gematigde en extreme outliers ligt in de afstand van de mediaan.

Gematigde outliers		Extreme outliers	
<	>	<	>
0,45	0,99	0,18	1,26
Aantal: 0 0		0 0	

Het besluit van de analyse is goed nieuws, er zijn geen gematigde, noch extreme outliers. De minimale steundruk bedraagt 0,49 en de maximale steundruk 0,95. Deze waarden kunnen vergeleken worden met de waarde uit de theoretische modellen (o.b.v. grondonderzoek).

Date	Time	lange	P_Zyl1	P_Zyl2	P_Zyl3	P_Zyl4	P_Fltg	P_Erd
11/09/14	14:33:02	0,41	107	146	174	41	-0,07	0
11/09/14	14:34:30	0,42	69	293	354	15	-0,06	0
11/09/14	14:35:58	0,41	31	62	80	38	-0,06	0
11/09/14	14:37:27	0,42	29	95	116	37	-0,06	0
11/09/14	14:38:56	0,42	30	96	116	35	-0,06	0
11/09/14	14:40:25	0,44	30	99	121	36	-0,06	0
11/09/14	14:41:53	0,46	32	101	147	41	-0,06	0
11/09/14	14:43:23	0,48	36	108	175	51	-0,02	0
11/09/14	14:44:52	0,48	36	108	174	49	0,05	0
11/09/14	14:46:21	0,47	37	110	174	47	0,08	0
11/09/14	14:47:50	0,49	39	115	179	49	-0,02	0
11/09/14	14:49:18	0,52	41	129	181	49	-0,04	0
11/09/14	14:50:47	0,54	46	139	183	52	0,03	0
11/09/14	14:52:16	0,58	53	147	187	57	0,05	0
11/09/14	14:53:46	0,61	61	158	192	61	0,07	0
11/09/14	14:55:15	0,67	65	163	191	62	0,04	0
11/09/14	14:56:44	0,73	52	174	199	47	0,03	0
11/09/14	14:58:14	0,79	35	182	200	27	0,01	0
11/09/14	14:59:43	0,85	41	188	203	32	0	0
11/09/14	15:01:12	0,91	43	188	203	33	0,01	0
11/09/14	15:02:40	0,96	41	189	209	32	0,01	0
11/09/14	15:04:09	0,99	59	198	248	35	0	0
11/09/14	15:05:38	1	38	248	230	25	-0,02	0
11/09/14	15:07:07	1,04	54	250	239	45	-0,04	0
11/09/14	15:08:37	1,08	58	249	240	47	-0,04	0
11/09/14	15:10:06	1,13	60	249	241	51	-0,03	0
11/09/14	15:11:34	1,19	67	249	236	60	-0,02	0
11/09/14	15:13:03	1,24	68	248	233	58	0	0
11/09/14	15:14:32	1,28	70	248	229	60	0	0
11/09/14	15:16:02	1,33	70	248	224	62	0,01	0
11/09/14	15:17:31	1,38	71	247	220	61	0,01	0
11/09/14	15:19:00	1,44	61	218	214	73	0,02	0
11/09/14	15:20:29	1,49	45	196	207	44	0,02	0
11/09/14	15:21:57	1,55	49	196	200	51	0,03	0
11/09/14	15:23:26	1,63	55	198	201	53	0,04	0
11/09/14	15:24:55	1,76	54	199	198	52	0,05	0
11/09/14	15:26:23	1,88	62	205	196	51	0,1	0
11/09/14	15:27:52	1,95	53	197	195	50	0,14	0,04
11/09/14	15:29:21	2	50	190	199	42	0,19	0,09
11/09/14	15:30:50	2,21	42	190	202	29	0,1	0
11/09/14	15:32:19	2,21	44	195	200	26	0,11	0,03
11/09/14	17:26:25	3	246	125	107	99	0,11	0
11/09/14	17:27:54	3,01	207	147	222	61	0,2	0,02
11/09/14	17:29:23	3,01	41	45	188	24	0,22	0,03
11/09/14	17:30:52	3,02	50	53	195	32	0,22	0,09
11/09/14	17:32:21	3,14	46	108	190	74	0,26	0,02
11/09/14	17:33:50	3,27	34	134	168	82	0,15	0,02

11/09/14	17:35:19	3,39	36	147	157	89	0,16	0,04
11/09/14	17:36:48	3,52	26	226	116	148	0,16	0,02
11/09/14	17:38:17	3,65	25	226	111	137	0,15	0,02
11/09/14	17:39:46	3,76	15	214	109	178	0,14	0
11/09/14	17:41:14	3,88	3	219	101	184	0,14	0
11/09/14	17:42:43	3,99	3	217	100	170	0,15	0,04
11/09/14	17:44:12	4,11	4	282	89	189	0,19	0,06
11/09/14	17:45:42	4,23	4	296	81	189	0,2	0,07
11/09/14	17:47:10	4,35	81	208	149	88	0,2	0,07
11/09/14	17:48:39	4,47	83	211	145	92	0,19	0,05
11/09/14	17:50:08	4,6	86	207	141	89	0,14	0
11/09/14	17:51:37	4,72	87	202	136	83	0,09	0
11/09/14	17:53:05	4,84	87	200	136	81	0,07	0
11/09/14	17:54:34	4,96	90	199	136	81	0,08	0
11/09/14	18:18:27	5,05	89	193	128	57	0,11	0
11/09/14	18:19:57	5,1	96	197	133	49	0,13	0
11/09/14	18:21:25	5,37	105	197	135	59	0,1	0
11/09/14	18:22:54	5,39	128	132	101	77	0,14	0
11/09/14	18:24:23	5,52	121	174	100	81	0,11	0
11/09/14	18:25:52	5,57	16	137	46	104	0,1	0
11/09/14	18:27:21	5,6	19	107	51	96	0,1	0
11/09/14	18:28:49	5,7	76	55	103	74	0,1	0
11/09/14	18:30:18	5,82	96	43	133	49	0,08	0
11/09/14	18:31:47	5,95	90	52	133	40	0,08	0
11/09/14	18:33:16	6,07	113	56	83	45	0,08	0
12/09/14	10:13:41	6,11	64	47	44	0	-0,04	0
12/09/14	10:15:09	6,09	67	48	44	1	0,02	0
12/09/14	10:16:38	6,12	87	50	57	2	0,04	0
12/09/14	10:18:07	6,24	90	66	70	3	0,01	0
12/09/14	10:19:36	6,37	79	83	70	5	0	0
12/09/14	10:21:05	6,48	71	94	57	8	0,02	0
12/09/14	10:22:33	6,52	59	102	59	13	0,03	0
12/09/14	10:24:03	6,63	52	114	52	15	0,02	0
12/09/14	10:25:32	6,74	51	112	55	15	0,03	0,01
12/09/14	10:27:01	6,84	56	61	60	16	0,04	0,01
12/09/14	10:28:30	6,88	52	64	70	15	0,06	0,01
12/09/14	10:29:59	6,99	63	39	50	15	0,05	0,01
12/09/14	10:31:28	7,11	53	54	71	15	0,06	0,02
12/09/14	10:32:57	7,21	52	55	80	14	0,08	0,02
12/09/14	10:34:26	7,32	52	59	86	13	0,08	0,03
12/09/14	10:35:54	7,44	51	62	91	11	0,09	0,03
12/09/14	10:37:23	7,55	51	59	102	9	0,1	0,04
12/09/14	10:38:52	7,67	50	60	109	8	0,11	0,04
12/09/14	10:40:21	7,79	49	59	112	8	0,11	0,04
12/09/14	10:41:50	7,91	50	60	116	9	0,12	0,04
12/09/14	10:43:18	8,02	50	59	122	9	0,12	0,04
12/09/14	10:44:47	8,11	100	75	242	8	0,14	0,04
12/09/14	10:52:24	8,15	41	33	270	37	0,2	0,03

12/09/14	10:53:53	8,21	47	41	269	32	0,13	0,04
12/09/14	10:55:22	8,31	56	76	249	37	0,09	0,05
12/09/14	10:56:51	8,4	40	103	235	46	0,09	0,04
12/09/14	10:58:19	8,5	40	93	231	50	0,08	0,03
12/09/14	10:59:48	8,62	40	97	229	49	0,08	0,04
15/09/14	15:12:34	8,66	13	80	67	0	-0,06	0,01
15/09/14	15:34:11	8,66	12	75	66	2	0,02	0,01
15/09/14	15:35:39	8,64	13	78	68	3	0,05	0,01
15/09/14	15:37:08	8,73	12	80	78	3	0,05	0,01
15/09/14	15:38:37	8,84	14	86	115	8	0,18	0,14
15/09/14	15:40:06	8,89	16	99	125	10	0,28	0,17
15/09/14	15:41:35	8,93	50	155	153	42	0,33	0,28
15/09/14	15:43:05	8,97	65	156	166	62	0,35	0,26
15/09/14	15:44:33	9,01	65	152	164	61	0,29	0,22
15/09/14	15:46:02	9,04	64	152	164	60	0,28	0,23
15/09/14	15:47:31	9,08	65	152	166	61	0,28	0,24
15/09/14	15:49:00	9,11	64	150	171	62	0,3	0,24
15/09/14	15:50:28	9,15	62	149	173	61	0,3	0,24
15/09/14	15:51:57	9,19	78	239	71	93	0,3	0,26
15/09/14	15:53:26	9,24	84	220	100	129	0,32	0,27
15/09/14	15:54:55	9,28	86	210	113	126	0,33	0,26
15/09/14	15:56:24	9,33	90	201	122	122	0,34	0,26
15/09/14	15:57:54	9,37	90	196	124	120	0,34	0,27
15/09/14	15:59:23	9,42	90	192	125	118	0,35	0,27
15/09/14	16:00:52	9,46	91	189	126	116	0,34	0,26
15/09/14	16:02:22	9,51	89	189	125	113	0,35	0,27
15/09/14	16:03:51	9,56	89	185	133	113	0,35	0,28
15/09/14	16:05:20	9,6	89	178	170	110	0,36	0,27
15/09/14	16:06:49	9,66	88	175	186	106	0,36	0,28
15/09/14	16:08:17	9,71	89	173	188	104	0,37	0,28
15/09/14	16:09:46	9,77	89	172	188	103	0,38	0,29
15/09/14	16:11:14	9,83	89	170	190	102	0,38	0,29
15/09/14	16:12:44	9,89	89	169	191	100	0,39	0,29
15/09/14	16:14:13	9,95	88	169	192	98	0,39	0,29
15/09/14	16:15:41	10	90	120	136	78	0,39	0,3
15/09/14	16:17:10	10,06	91	93	130	65	0,39	0,29
15/09/14	16:18:39	10,11	88	96	138	62	0,39	0,29
15/09/14	16:20:08	10,16	103	83	112	73	0,39	0,29
15/09/14	16:21:37	10,22	97	68	136	112	0,39	0,29
15/09/14	16:23:05	10,26	87	68	191	117	0,39	0,28
15/09/14	16:24:35	10,31	88	71	187	103	0,35	0,19
15/09/14	16:26:03	10,37	88	73	181	92	0,28	0,16
15/09/14	16:27:31	10,43	89	70	177	79	0,26	0,16
15/09/14	16:29:00	10,5	89	82	175	78	0,31	0,23
15/09/14	16:30:28	10,56	90	83	178	74	0,33	0,21
15/09/14	16:31:57	10,61	90	76	177	55	0,31	0,26
15/09/14	16:33:26	10,66	90	79	180	47	0,34	0,23
15/09/14	16:34:55	10,7	91	76	179	39	0,35	0,25

15/09/14	16:36:23	10,74	91	81	177	37	0,36	0,28
15/09/14	16:37:52	10,78	92	82	176	38	0,35	0,25
15/09/14	16:39:21	10,83	93	74	179	28	0,35	0,26
15/09/14	16:40:50	10,88	100	70	184	21	0,37	0,27
15/09/14	16:42:18	10,94	99	78	179	20	0,37	0,28
15/09/14	16:43:47	11	95	94	173	22	0,4	0,3
15/09/14	16:45:15	11,06	96	96	174	22	0,41	0,29
15/09/14	16:46:44	10,95	97	99	172	22	0,43	0,33
15/09/14	18:32:44	10,99	105	50	141	7	0,34	0,13
15/09/14	18:34:13	11,01	115	84	165	7	0,37	0,29
15/09/14	18:35:41	11,06	120	104	181	12	0,31	0,27
15/09/14	18:37:10	11,12	121	103	184	15	0,32	0,29
15/09/14	18:38:38	11,17	120	103	183	11	0,32	0,26
15/09/14	18:40:07	11,21	119	102	180	9	0,33	0,28
15/09/14	18:41:36	11,26	119	104	180	9	0,34	0,29
15/09/14	18:43:04	11,32	121	106	183	11	0,34	0,28
15/09/14	18:44:33	11,37	121	105	184	11	0,34	0,27
15/09/14	18:46:02	11,41	121	108	182	15	0,34	0,28
15/09/14	18:47:31	11,46	117	111	177	28	0,35	0,29
15/09/14	18:48:59	11,51	115	119	176	30	0,35	0,29
15/09/14	18:50:27	11,57	118	115	169	31	0,34	0,27
15/09/14	18:51:56	11,63	119	112	169	30	0,35	0,27
15/09/14	18:53:24	11,69	89	159	171	70	0,36	0,27
15/09/14	18:54:52	11,75	90	157	166	85	0,35	0,27
15/09/14	18:56:21	11,8	92	151	163	83	0,34	0,26
15/09/14	18:57:50	11,85	36	146	162	26	0,34	0,19
15/09/14	18:59:18	11,91	43	143	180	23	0,34	0,11
15/09/14	19:00:46	11,97	66	137	196	34	0,37	0,12
15/09/14	19:21:18	12,01	56	119	182	11	0,35	0,13
15/09/14	19:22:47	12,03	73	136	175	19	0,37	0,26
15/09/14	19:24:15	12,09	83	117	125	35	0,32	0,27
15/09/14	19:25:44	12,15	43	160	90	44	0,32	0,26
15/09/14	19:27:12	12,21	35	162	96	40	0,32	0,27
15/09/14	19:28:41	12,28	74	74	75	61	0,33	0,28
15/09/14	19:30:10	12,33	58	79	75	57	0,32	0,28
15/09/14	19:31:39	12,39	57	79	89	61	0,34	0,3
15/09/14	19:33:08	12,45	56	80	94	64	0,33	0,28
15/09/14	19:34:37	12,52	53	81	97	63	0,34	0,27
15/09/14	19:36:06	12,59	35	105	124	43	0,36	0,3
16/09/14	07:15:51	12,59	30	56	70	0	0,23	0,06
16/09/14	07:17:20	12,59	31	68	80	1	0,27	0,26
16/09/14	07:18:49	12,63	41	106	133	10	0,48	0,14
16/09/14	07:20:17	12,71	43	99	129	12	0,31	0,19
16/09/14	07:21:46	12,79	81	52	88	52	0,3	0,2
16/09/14	07:23:15	12,88	56	87	82	57	0,3	0,2
16/09/14	07:24:43	12,98	52	92	89	49	0,3	0,22
16/09/14	07:26:12	13,07	49	94	94	42	0,31	0,24
16/09/14	07:27:41	13,18	49	103	104	39	0,33	0,24



16/09/14	07:29:10	13,29	48	110	113	36	0,35	0,25
16/09/14	07:30:39	13,41	46	112	116	33	0,37	0,31
16/09/14	07:32:07	13,51	43	107	116	28	0,4	0,24
16/09/14	08:54:02	13,51	32	71	77	5	0,23	0,09
16/09/14	08:55:31	13,55	35	102	92	6	0,39	0,36
16/09/14	08:57:00	13,6	41	131	120	11	0,47	0,37
16/09/14	08:58:28	13,67	47	129	123	10	0,47	0,4
16/09/14	08:59:57	13,73	50	131	134	8	0,48	0,42
16/09/14	09:01:26	13,79	46	130	134	7	0,48	0,41
16/09/14	09:02:54	13,86	50	134	133	8	0,49	0,43
16/09/14	09:04:23	13,93	47	140	131	8	0,49	0,42
16/09/14	09:05:52	14,01	47	136	133	9	0,51	0,42
16/09/14	09:18:11	14,01	39	107	115	2	0,31	0,13
16/09/14	09:19:40	14,04	38	113	125	12	0,46	0,27
16/09/14	09:21:09	14,1	39	119	127	20	0,37	0,28
16/09/14	09:22:37	14,16	36	122	135	16	0,36	0,27
16/09/14	09:24:06	14,23	32	128	148	21	0,36	0,28
16/09/14	09:25:35	14,29	34	124	143	24	0,36	0,26
16/09/14	09:27:04	14,36	28	141	164	21	0,36	0,27
16/09/14	09:28:33	14,43	33	133	156	27	0,36	0,27
16/09/14	09:30:02	14,49	35	131	153	29	0,36	0,26
16/09/14	09:31:30	14,56	36	129	152	29	0,36	0,26
16/09/14	09:32:59	14,63	36	128	149	28	0,36	0,31
16/09/14	09:34:28	14,7	38	150	143	42	0,4	0,31
16/09/14	10:22:58	14,73	39	141	126	24	0,26	0,04
16/09/14	10:24:26	14,75	38	136	126	18	0,39	0,31
16/09/14	10:25:56	14,84	53	152	132	30	0,42	0,3
16/09/14	10:27:24	14,89	57	154	124	30	0,41	0,3
16/09/14	10:28:53	14,94	56	160	129	29	0,42	0,31
16/09/14	10:30:21	14,99	58	150	139	35	0,42	0,34
16/09/14	10:31:49	15,07	57	150	133	35	0,42	0,31
16/09/14	10:33:18	15,15	54	172	119	36	0,43	0,32
16/09/14	10:34:47	15,26	50	182	115	50	0,45	0,33
16/09/14	10:36:17	15,35	44	198	147	31	0,45	0,38
16/09/14	10:37:46	15,43	59	202	142	29	0,45	0,3
16/09/14	10:39:15	15,53	63	200	144	30	0,44	0,28
16/09/14	10:40:44	15,6	56	195	145	24	0,42	0,28
16/09/14	10:42:13	15,66	56	189	145	26	0,42	0,3
16/09/14	10:43:42	15,75	64	185	158	31	0,42	0,28
16/09/14	10:45:11	15,81	59	179	154	30	0,41	0,28
16/09/14	10:46:40	15,88	59	188	155	29	0,42	0,31
16/09/14	10:48:09	15,95	62	190	157	28	0,43	0,29
16/09/14	10:49:38	16	60	187	141	27	0,42	0,3
16/09/14	12:52:40	16,01	58	172	114	9	0,28	0,04
16/09/14	12:54:08	16,06	67	188	131	15	0,35	0,3
16/09/14	12:55:37	16,1	86	60	132	29	0,37	0,31
16/09/14	12:57:06	16,16	86	62	140	21	0,37	0,33
16/09/14	12:58:35	16,23	66	78	139	32	0,39	0,31

16/09/14	13:00:04	16,28	64	78	141	21	0,39	0,32
16/09/14	13:01:33	16,34	61	78	141	22	0,38	0,32
16/09/14	13:03:02	16,4	62	85	150	24	0,38	0,31
16/09/14	13:04:31	16,46	59	84	148	20	0,38	0,29
16/09/14	13:05:59	16,5	53	81	142	17	0,37	0,29
16/09/14	13:07:28	16,55	51	81	140	16	0,37	0,3
16/09/14	13:08:57	16,61	54	87	148	28	0,36	0,19
16/09/14	13:10:26	16,67	40	85	148	30	0,35	0,19
16/09/14	13:11:54	16,72	29	92	140	32	0,38	0,38
16/09/14	13:13:23	16,77	29	96	139	28	0,38	0,42
16/09/14	13:14:53	16,81	31	103	141	28	0,41	0,31
16/09/14	13:16:22	16,86	30	103	140	25	0,36	0,31
16/09/14	13:17:51	16,9	41	80	111	31	0,34	0,31
16/09/14	13:19:20	16,94	40	97	109	28	0,34	0,3
16/09/14	13:20:49	16,99	63	69	107	24	0,33	0,32
16/09/14	13:22:18	17,04	62	76	127	25	0,35	0,3
16/09/14	13:23:46	17,08	56	80	127	23	0,36	0,3
16/09/14	13:25:15	17,13	54	83	128	22	0,36	0,32
16/09/14	13:26:44	17,19	56	94	137	21	0,37	0,33
16/09/14	13:28:13	17,25	55	98	144	22	0,36	0,32
16/09/14	13:29:42	17,31	54	102	147	21	0,36	0,05
16/09/14	13:31:11	17,38	43	108	139	21	0,32	0,22
16/09/14	14:30:04	17,41	35	108	118	15	0,25	0,05
16/09/14	14:31:33	17,47	41	113	129	12	0,38	0,3
16/09/14	14:33:02	17,54	44	124	135	14	0,38	0,3
16/09/14	14:34:30	17,6	46	133	138	14	0,39	0,3
16/09/14	14:35:59	17,65	43	140	135	13	0,4	0,29
16/09/14	14:37:28	17,69	41	132	126	11	0,39	0,29
16/09/14	14:38:57	17,74	41	113	135	11	0,39	0,19
16/09/14	14:40:26	17,81	43	125	143	19	0,45	0,28
16/09/14	14:41:55	17,93	49	133	150	19	0,43	0,29
16/09/14	14:43:24	18,07	53	137	150	19	0,45	0,3
16/09/14	14:44:54	18,2	55	134	153	19	0,47	0,32
16/09/14	14:46:22	18,33	47	143	161	19	0,48	0,33
16/09/14	14:47:52	18,46	41	155	173	20	0,5	0,33
16/09/14	15:57:22	18,54	31	114	120	4	0,28	0,06
16/09/14	15:58:51	18,56	30	121	127	4	0,33	0,31
16/09/14	16:00:20	18,66	43	155	148	22	0,56	0,38
16/09/14	16:01:49	18,74	44	161	151	22	0,51	0,27
16/09/14	16:03:18	18,83	44	160	149	21	0,43	0,29
16/09/14	16:04:46	18,91	45	159	146	20	0,42	0,26
16/09/14	16:06:15	18,98	45	156	141	19	0,42	0,26
16/09/14	16:07:43	19,05	45	145	137	17	0,39	0,29
16/09/14	16:09:12	19,12	46	146	138	24	0,39	0,28
16/09/14	16:10:40	19,19	47	144	139	26	0,39	0,3
16/09/14	16:12:09	19,26	47	146	138	28	0,39	0,29
16/09/14	16:13:38	19,35	56	134	149	36	0,41	0,33
16/09/14	16:15:07	19,42	51	131	153	31	0,39	0,3

16/09/14	16:16:37	19,53	51	131	153	24	0,36	0,21
16/09/14	16:18:06	19,71	53	138	151	24	0,37	0,29
16/09/14	16:19:35	19,87	51	154	161	28	0,41	0,32
16/09/14	16:21:05	20,03	17	179	162	45	0,41	0,27
16/09/14	16:22:34	20,21	10	178	147	29	0,43	0,31
16/09/14	16:24:03	20,37	11	177	147	33	0,45	0,29
16/09/14	16:25:32	20,49	11	167	141	32	0,42	0,28
16/09/14	16:27:01	20,64	19	194	202	45	0,41	0,27
16/09/14	16:28:30	20,75	27	235	239	47	0,45	0,38
16/09/14	16:29:59	20,83	28	233	222	44	0,44	0,36
16/09/14	16:31:28	20,92	57	120	139	61	0,45	0,34
16/09/14	16:32:56	20,98	41	108	58	143	0,44	0,34
16/09/14	16:34:26	21,05	32	128	73	117	0,46	0,36
16/09/14	20:50:58	21,05	34	89	52	26	0,29	0,04
16/09/14	21:01:43	21,07	36	76	47	9	0,23	0,02
16/09/14	21:03:12	21,1	40	103	72	34	0,36	0,41
16/09/14	21:04:42	21,14	43	127	99	53	0,41	0,42
16/09/14	21:06:10	21,2	50	133	103	65	0,38	0,34
16/09/14	21:07:39	21,25	48	131	107	64	0,34	0,35
16/09/14	21:09:07	21,32	49	138	117	63	0,37	0,39
16/09/14	21:10:36	21,39	49	142	118	58	0,38	0,38
16/09/14	21:12:06	21,45	46	137	116	52	0,38	0,37
16/09/14	21:13:34	21,5	108	63	246	17	0,4	0,41
16/09/14	21:15:03	21,55	128	41	279	10	0,42	0,43
16/09/14	21:16:32	21,59	28	182	231	60	0,44	0,39
16/09/14	21:18:02	21,64	29	183	226	59	0,42	0,4
16/09/14	21:19:31	21,68	27	179	220	56	0,41	0,38
16/09/14	21:21:00	21,72	31	191	220	57	0,42	0,38
16/09/14	21:22:29	21,77	36	191	220	55	0,42	0,41
16/09/14	21:23:58	21,82	37	190	217	53	0,43	0,39
16/09/14	21:25:27	21,87	38	191	218	51	0,43	0,38
16/09/14	21:26:56	21,92	35	196	216	50	0,42	0,35
16/09/14	21:28:25	21,98	38	193	217	49	0,41	0,39
16/09/14	22:24:59	22,04	29	185	193	27	0,27	0,04
16/09/14	22:26:28	22,07	29	184	179	13	0,35	0,36
16/09/14	22:27:57	22,12	37	189	178	19	0,38	0,33
16/09/14	22:29:26	22,17	36	191	180	19	0,37	0,31
16/09/14	22:30:55	22,22	145	53	161	11	0,38	0,34
16/09/14	22:32:24	22,26	183	24	222	2	0,39	0,36
16/09/14	22:33:52	22,31	90	76	230	12	0,39	0,35
16/09/14	22:35:21	22,36	33	124	197	10	0,4	0,34
16/09/14	22:36:50	22,41	31	141	199	10	0,4	0,33
16/09/14	22:38:18	22,46	31	164	207	10	0,41	0,48
16/09/14	22:39:48	22,49	33	154	205	17	0,45	0,31
16/09/14	22:41:17	22,54	38	147	198	16	0,38	0,33
16/09/14	22:42:46	22,61	27	200	178	32	0,39	0,33
16/09/14	22:44:15	22,67	21	303	138	72	0,39	0,34
16/09/14	22:45:44	22,73	59	255	196	42	0,39	0,34

16/09/14	22:47:14	22,78	74	214	217	22	0,39	0,34
16/09/14	22:48:43	22,83	75	211	214	22	0,4	0,34
16/09/14	22:50:11	22,88	75	206	211	23	0,4	0,34
16/09/14	22:51:40	22,94	78	200	208	21	0,41	0,35
16/09/14	22:53:10	23	84	193	220	40	0,42	0,34
16/09/14	22:54:39	23,07	83	185	219	52	0,41	0,35
16/09/14	22:56:08	23,13	88	173	218	49	0,41	0,35
16/09/14	22:57:36	23,19	87	168	152	50	0,42	0,33
16/09/14	22:59:05	23,24	86	164	150	42	0,41	0,35
16/09/14	23:00:34	23,3	88	169	160	41	0,42	0,36
16/09/14	23:02:03	23,36	108	182	277	53	0,42	0,35
16/09/14	23:03:32	23,42	121	173	278	43	0,42	0,35
16/09/14	23:05:01	23,48	119	173	278	40	0,41	0,34
16/09/14	23:06:31	23,54	120	173	278	42	0,42	0,35
17/09/14	00:22:27	23,59	102	149	242	20	0,32	0,02
17/09/14	00:23:55	23,6	97	139	225	19	0,29	0,17
17/09/14	00:25:24	23,65	110	159	242	30	0,29	0,29
17/09/14	00:26:53	23,7	115	168	248	33	0,4	0,32
17/09/14	00:28:22	23,76	121	171	247	35	0,41	0,35
17/09/14	00:29:51	23,82	122	171	249	37	0,41	0,33
17/09/14	00:31:20	23,87	120	167	249	36	0,41	0,32
17/09/14	00:32:49	23,92	119	167	249	34	0,41	0,32
17/09/14	00:34:18	23,97	116	165	248	31	0,41	0,33
17/09/14	00:35:47	24,02	116	164	247	30	0,4	0,32
17/09/14	00:37:17	24,07	117	164	248	31	0,41	0,33
17/09/14	00:38:46	24,13	120	163	246	32	0,42	0,33
17/09/14	00:40:15	24,18	129	163	244	41	0,42	0,32
17/09/14	00:41:44	24,24	157	81	173	71	0,41	0,33
17/09/14	00:43:13	24,29	155	64	173	64	0,41	0,33
17/09/14	00:44:42	24,35	152	68	174	57	0,41	0,32
17/09/14	00:46:11	24,4	153	67	164	58	0,41	0,33
17/09/14	00:47:40	24,46	151	65	155	66	0,42	0,33
17/09/14	00:49:09	24,51	150	79	167	60	0,42	0,31
17/09/14	00:50:39	24,57	146	83	170	54	0,42	0,32
17/09/14	00:52:08	24,62	145	88	175	50	0,43	0,33
17/09/14	00:59:55	24,65	136	88	176	37	0,51	0,24
17/09/14	01:01:24	24,69	143	81	160	39	0,45	0,33
17/09/14	01:02:53	24,75	183	46	160	58	0,41	0,29
17/09/14	01:04:22	24,79	100	74	133	79	0,4	0,29
17/09/14	01:05:51	24,84	64	93	122	85	0,39	0,32
17/09/14	01:07:20	24,89	65	102	129	77	0,41	0,3
17/09/14	01:08:49	24,93	66	101	100	94	0,41	0,31
17/09/14	01:10:19	24,98	69	99	87	95	0,41	0,32
17/09/14	01:16:07	25,03	61	103	94	69	0,53	0,27
17/09/14	01:17:37	25,05	63	100	96	60	0,47	0,31
17/09/14	01:19:05	25,1	67	117	121	64	0,42	0,33
17/09/14	01:20:35	25,15	90	88	99	91	0,43	0,33
17/09/14	01:22:04	25,2	94	90	107	85	0,43	0,33

17/09/14	01:23:34	25,24	91	96	112	76	0,43	0,32
17/09/14	01:25:03	25,28	86	100	116	65	0,43	0,31
17/09/14	01:26:32	25,31	82	101	118	58	0,42	0,31
17/09/14	01:28:01	25,34	79	100	119	52	0,39	0,28
17/09/14	01:29:31	25,37	77	100	121	48	0,4	0,3
17/09/14	01:31:00	25,41	76	102	123	43	0,41	0,29
17/09/14	01:32:29	25,44	76	105	126	39	0,4	0,31
17/09/14	01:33:59	25,48	76	105	128	39	0,4	0,31
17/09/14	01:35:27	25,51	71	105	112	93	0,4	0,3
17/09/14	01:36:55	25,55	75	105	117	87	0,4	0,3
17/09/14	01:38:24	25,58	74	112	117	73	0,4	0,31
17/09/14	01:39:53	25,62	76	114	121	70	0,4	0,3
17/09/14	01:41:21	25,65	81	118	121	67	0,4	0,31
17/09/14	01:42:50	25,68	89	125	125	66	0,38	0,28
17/09/14	01:44:19	25,72	86	126	128	59	0,41	0,33
17/09/14	01:45:48	25,77	82	124	129	51	0,42	0,31
17/09/14	01:47:17	25,8	76	123	131	42	0,42	0,32
17/09/14	01:48:46	25,84	74	125	137	39	0,42	0,31
17/09/14	01:50:15	25,87	73	127	139	36	0,42	0,32
17/09/14	01:51:43	25,9	70	126	138	30	0,41	0,31
17/09/14	01:53:13	25,94	67	126	138	25	0,42	0,31
17/09/14	01:54:42	25,97	66	127	141	24	0,42	0,33
17/09/14	01:56:11	26	64	129	143	21	0,42	0,33
17/09/14	01:57:40	26,03	61	131	144	18	0,43	0,34
17/09/14	01:59:09	26,07	60	132	144	17	0,42	0,32
17/09/14	02:00:38	26,1	58	132	143	15	0,42	0,32
17/09/14	03:57:46	26,12	45	87	92	6	0,31	0,03
17/09/14	03:59:15	26,14	48	105	112	7	0,32	0,31
17/09/14	04:00:44	26,18	85	93	136	39	0,38	0,34
17/09/14	04:02:13	26,22	105	97	150	34	0,35	0,34
17/09/14	04:03:41	26,25	97	105	146	27	0,36	0,36
17/09/14	04:05:10	26,28	94	110	145	25	0,38	0,36
17/09/14	04:06:38	26,31	96	95	132	29	0,37	0,36
17/09/14	04:08:07	26,34	111	73	124	26	0,37	0,35
17/09/14	04:09:36	26,37	103	85	124	23	0,38	0,35
17/09/14	04:11:04	26,4	96	87	124	21	0,38	0,36
17/09/14	04:12:32	26,44	90	94	127	20	0,38	0,37
17/09/14	04:14:01	26,48	89	102	137	19	0,39	0,35
17/09/14	04:15:30	26,51	79	102	140	18	0,38	0,35
17/09/14	04:16:59	26,53	72	103	136	16	0,39	0,36
17/09/14	04:18:27	26,56	68	105	134	14	0,38	0,36
17/09/14	04:19:56	26,6	91	67	116	22	0,39	0,37
17/09/14	04:21:25	26,64	108	51	124	26	0,4	0,36
17/09/14	04:22:54	26,67	101	68	124	22	0,4	0,36
17/09/14	04:24:22	26,72	102	70	114	30	0,41	0,37
17/09/14	04:25:51	26,76	120	69	85	65	0,41	0,37
17/09/14	04:27:19	26,79	108	78	98	52	0,4	0,35
17/09/14	04:28:48	26,82	99	80	99	42	0,41	0,38

17/09/14	04:30:17	26,85	97	83	102	38	0,4	0,4
17/09/14	04:31:46	26,88	93	88	106	34	0,37	0,35
17/09/14	04:33:15	26,92	89	92	111	30	0,37	0,34
17/09/14	04:34:44	26,96	82	95	115	25	0,37	0,35
17/09/14	04:36:13	27	77	97	115	22	0,37	0,35
17/09/14	04:37:42	27,04	72	98	117	20	0,38	0,35
17/09/14	04:39:11	27,08	86	86	128	32	0,38	0,35
17/09/14	04:40:39	27,11	80	92	125	32	0,37	0,33
17/09/14	04:42:08	27,15	77	99	124	29	0,38	0,35
17/09/14	04:43:37	27,19	75	97	125	27	0,38	0,34
17/09/14	04:45:06	27,23	73	101	124	25	0,38	0,35
17/09/14	04:46:34	27,27	72	99	127	24	0,38	0,35
17/09/14	04:48:03	27,32	71	107	120	19	0,4	0,58
17/09/14	04:51:41	27,32	49	117	109	15	0,55	0,32
17/09/14	04:53:10	27,34	58	105	130	27	0,37	0,26
17/09/14	04:54:39	27,36	56	97	125	23	0,29	0,29
17/09/14	04:56:07	27,39	48	133	200	50	0,32	0,29
17/09/14	04:57:36	27,42	36	164	175	69	0,33	0,3
17/09/14	04:59:05	27,44	35	154	165	64	0,33	0,28
17/09/14	05:00:34	27,47	38	155	162	61	0,33	0,27
17/09/14	05:02:02	27,49	36	151	156	56	0,33	0,29
17/09/14	05:03:31	27,52	35	153	160	53	0,33	0,3
17/09/14	05:04:59	27,54	35	138	132	42	0,33	0,3
17/09/14	05:06:28	27,57	37	141	120	38	0,43	0,28
17/09/14	05:07:57	27,6	44	143	120	40	0,34	0,3
17/09/14	05:09:26	27,64	44	137	118	36	0,34	0,3
17/09/14	05:10:55	27,68	44	137	119	35	0,34	0,29
17/09/14	05:12:23	27,71	45	135	117	34	0,36	0,31
17/09/14	05:13:52	27,74	46	136	118	33	0,38	0,34
17/09/14	05:15:21	27,76	46	135	116	31	0,39	0,34
17/09/14	05:16:49	27,79	46	135	115	28	0,39	0,34
17/09/14	05:18:18	27,83	47	136	116	29	0,4	0,33
17/09/14	05:19:47	27,85	48	138	110	29	0,54	0,29
17/09/14	05:21:16	27,9	50	132	134	39	0,35	0,31
17/09/14	05:22:44	27,93	48	128	134	35	0,35	0,28
17/09/14	05:24:12	27,97	51	129	142	30	0,35	0,29
17/09/14	05:25:41	28,01	59	131	176	46	0,35	0,3
17/09/14	05:27:10	28,04	57	138	177	52	0,35	0,31
17/09/14	05:46:06	28,08	39	230	79	40	0,25	0,06
17/09/14	05:47:35	28,09	28	188	80	33	0,33	0,14
17/09/14	05:49:03	28,15	35	193	90	49	0,44	0,43
17/09/14	05:50:32	28,13	34	184	69	36	0,47	0,3
17/09/14	05:52:00	28,2	42	201	85	43	0,44	0,38
17/09/14	05:53:29	28,27	52	210	94	52	0,39	0,31
17/09/14	05:54:57	28,33	35	199	124	49	0,39	0,31
17/09/14	05:56:26	28,39	41	174	144	39	0,4	0,31
17/09/14	05:57:54	28,44	57	162	153	29	0,4	0,28
17/09/14	05:59:23	28,49	57	160	148	27	0,39	0,29

17/09/14	06:00:51	28,54	57	165	150	26	0,4	0,29
17/09/14	06:02:21	28,59	57	166	150	25	0,4	0,31
17/09/14	07:59:52	28,5	59	130	112	7	0,33	0,06
17/09/14	08:01:21	28,54	54	127	129	15	0,42	0,33
17/09/14	08:02:50	28,6	52	119	152	22	0,5	0,13
17/09/14	08:04:18	28,69	47	121	144	19	0,35	0,36
17/09/14	08:05:47	28,76	46	145	144	49	0,44	0,36
17/09/14	08:07:15	28,82	48	144	148	55	0,45	0,38
17/09/14	08:08:45	28,89	41	150	149	42	0,45	0,34
17/09/14	08:10:14	28,94	36	159	156	42	0,45	0,34
17/09/14	08:11:43	28,99	50	157	152	51	0,47	0,37
17/09/14	08:13:12	29,06	56	164	148	55	0,48	0,37
17/09/14	08:14:42	29,12	60	161	145	57	0,46	0,29
17/09/14	08:16:11	29,19	60	156	147	55	0,38	0,31
17/09/14	08:17:40	29,26	67	165	149	57	0,38	0,28
17/09/14	08:19:09	29,31	64	161	150	53	0,34	0,15
17/09/14	08:20:38	29,38	60	157	145	46	0,4	0,28
17/09/14	08:22:07	29,49	39	151	141	43	0,37	0,29
17/09/14	08:23:36	29,64	12	149	147	26	0,38	0,33
17/09/14	08:25:04	29,8	12	152	154	24	0,4	0,35
17/09/14	08:26:34	29,96	12	156	159	18	0,4	0,31
17/09/14	08:28:02	30,13	11	157	158	15	0,42	0,37
17/09/14	08:29:31	30,27	13	168	157	17	0,48	0,41
17/09/14	08:30:59	30,44	17	164	140	16	0,39	0,33
17/09/14	08:32:28	30,62	29	170	143	29	0,53	0,52
17/09/14	08:33:57	30,66	39	171	132	40	0,76	0,48
17/09/14	08:35:25	30,75	39	162	121	41	0,44	0,31
17/09/14	08:36:54	30,82	94	110	131	35	0,4	0,27
17/09/14	08:38:23	30,87	92	118	134	21	0,38	0,24
17/09/14	08:39:52	30,93	51	128	131	12	0,41	0,31
17/09/14	08:41:20	30,98	30	151	141	16	0,39	0,25
17/09/14	08:42:49	31,02	26	156	139	24	0,37	0,24
17/09/14	10:18:16	31,05	28	145	125	10	0,37	0,03
17/09/14	10:19:45	31,06	26	142	118	5	0,38	0,23
17/09/14	10:21:14	31,08	26	150	127	7	0,32	0,18
17/09/14	10:22:43	31,13	31	162	141	14	0,38	0,15
17/09/14	10:24:13	31,24	30	161	143	12	0,27	0,41
17/09/14	10:25:42	31,34	35	158	147	21	0,38	0,27
17/09/14	10:27:10	31,47	37	148	139	32	0,41	0,31
17/09/14	10:34:48	31,52	38	129	115	21	0,42	0,16
17/09/14	10:36:17	31,6	36	134	126	21	0,47	0,36
17/09/14	10:37:46	31,72	37	144	136	29	0,46	0,36
17/09/14	10:39:16	31,83	38	143	137	30	0,46	0,39
17/09/14	10:40:45	31,9	40	159	145	40	0,42	0,32
17/09/14	10:42:14	31,95	44	168	144	52	0,4	0,28
17/09/14	10:43:43	31,99	48	167	144	52	0,4	0,33
17/09/14	10:50:02	32,02	48	165	143	44	0,6	0,33
17/09/14	10:51:30	32,04	50	167	138	33	0,48	0,31



17/09/14	10:53:00	32,08	50	168	135	28	0,4	0,24
17/09/14	10:54:29	32,1	53	174	143	30	0,46	0,4
17/09/14	10:55:58	32,13	51	169	149	30	0,58	0,3
17/09/14	10:57:27	32,2	81	48	129	48	0,39	0,24
17/09/14	10:58:56	32,32	91	60	147	20	0,37	0,27
17/09/14	11:00:25	32,45	65	83	139	16	0,36	0,26
17/09/14	11:01:54	32,61	59	86	137	13	0,39	0,29
17/09/14	11:10:52	32,7	58	84	130	9	0,46	0,2
17/09/14	11:12:20	32,85	64	89	139	12	0,53	0,47
17/09/14	11:13:49	33,07	51	160	151	21	0,59	0,48
17/09/14	11:15:19	33,29	44	168	141	23	0,5	0,41
17/09/14	11:16:47	33,55	46	174	144	38	0,51	0,42
17/09/14	14:15:05	33,58	41	136	107	14	0,45	0,04
17/09/14	14:16:34	33,62	39	150	127	6	0,62	0,61
17/09/14	14:28:18	33,71	39	162	141	8	0,53	0,25
17/09/14	14:29:47	33,78	40	174	151	9	0,49	0,45
17/09/14	14:31:16	33,85	78	143	132	59	0,46	0,41
17/09/14	14:32:45	33,92	69	108	128	148	0,46	0,6
17/09/14	14:34:14	34	68	132	124	117	0,48	0,4
17/09/14	14:35:42	34,09	60	127	115	91	0,39	0,39
17/09/14	14:37:11	34,23	80	153	142	109	1,21	0,76
17/09/14	15:02:17	34,23	50	134	130	36	0,51	0,25
17/09/14	15:03:46	34,32	70	145	148	54	0,8	0,48
17/09/14	15:05:14	34,42	74	145	150	60	0,99	0,75
17/09/14	15:06:43	34,42	56	135	142	36	0,78	0,51
17/09/14	15:08:38	34,42	51	133	140	27	0,68	0,45
17/09/14	15:10:07	34,49	62	137	146	39	0,56	0,37
17/09/14	15:11:35	34,6	61	135	145	38	0,35	0,29
17/09/14	15:13:04	34,68	64	137	147	37	0,37	0,31
17/09/14	15:14:33	34,73	60	148	158	37	0,39	0,44
17/09/14	15:16:02	34,78	74	177	193	50	0,46	0,44
17/09/14	15:17:31	34,86	75	172	182	50	0,46	0,24
17/09/14	15:19:00	35,03	71	162	168	38	0,4	0,27
17/09/14	15:20:28	35,24	49	145	143	58	0,36	0,45
17/09/14	15:21:57	35,48	33	152	147	54	0,42	0,62
17/09/14	15:23:25	35,72	46	167	155	65	0,47	0,46
17/09/14	15:24:55	35,96	51	163	150	63	0,42	0,38
17/09/14	21:47:01	36	9	91	120	2	0,21	0,03
17/09/14	21:48:30	36,07	9	92	123	6	0,29	1,11
17/09/14	21:49:59	36,1	14	109	140	18	0,6	0,1
17/09/14	21:51:28	36,32	15	115	138	13	0,22	0,36
17/09/14	21:52:57	36,45	24	160	153	15	0,29	0,19
17/09/14	21:54:26	36,52	23	173	156	10	0,24	0,2
17/09/14	21:55:55	36,59	30	186	166	14	0,22	0,26
17/09/14	21:57:24	36,64	36	202	176	15	0,22	0,25
17/09/14	21:58:54	36,67	27	198	173	8	0,2	0,29
17/09/14	22:00:23	36,7	23	196	170	5	0,18	0,25
17/09/14	22:01:52	36,74	18	192	167	4	0,18	0,27



17/09/14	22:03:21	36,77	11	185	163	4	0,21	0,26
17/09/14	22:04:50	36,81	10	183	163	4	0,22	0,26
17/09/14	22:06:19	36,84	9	178	162	3	0,21	0,24
17/09/14	22:07:48	36,88	8	163	154	3	0,22	0,26
17/09/14	22:09:17	36,91	5	155	153	3	0,2	0,23
17/09/14	22:31:24	36,94	3	156	151	3	0,12	0,45
17/09/14	22:32:53	36,93	3	146	154	3	0,32	0,56
17/09/14	22:34:23	37,01	27	175	188	28	0,6	0,9
17/09/14	22:35:51	37,02	38	192	220	42	1,28	1,1
17/09/14	22:37:19	37,02	35	191	210	27	1,05	0,93
17/09/14	22:40:13	37,02	28	178	203	20	1,34	1,16
17/09/14	22:41:42	37,01	27	173	206	22	0,97	0,6
17/09/14	22:43:11	37,01	26	160	199	14	0,35	0,33
17/09/14	22:44:40	37,01	17	139	181	7	0,25	0,33
17/09/14	22:46:08	37,01	13	136	179	5	0,3	0,39
17/09/14	22:47:37	37,03	16	140	182	6	0,32	0,39
17/09/14	22:49:06	37,03	17	146	185	6	0,34	0,38
17/09/14	22:50:35	37,03	10	140	183	4	0,33	0,38
17/09/14	22:52:03	37,03	5	139	183	2	0,32	0,38
17/09/14	22:53:32	37,03	4	138	182	2	0,32	0,37
17/09/14	22:55:01	37,07	9	143	185	5	0,38	0,67
17/09/14	22:56:29	37,07	15	149	178	5	0,66	0,66
17/09/14	22:57:58	37,05	48	61	57	46	0,46	0,1
17/09/14	22:59:26	37,06	58	88	37	48	0,34	0,22
17/09/14	23:00:55	37,07	55	102	39	48	0,17	0,21
17/09/14	23:02:23	37,09	39	97	47	46	0,21	0,03
17/09/14	23:03:52	37,17	33	110	66	52	0,37	0,21
17/09/14	23:05:21	37,2	51	150	95	90	0,98	0,5
17/09/14	23:06:50	37,28	46	150	103	84	0,76	0,71
17/09/14	23:08:18	37,35	34	141	103	63	0,6	0,48
17/09/14	23:09:47	37,43	34	138	105	59	0,59	0,51
17/09/14	23:11:16	37,52	38	139	107	63	0,58	0,54
17/09/14	23:12:45	37,6	45	143	115	76	0,58	0,69
17/09/14	23:14:14	37,67	51	150	131	96	0,6	0,77
17/09/14	23:15:43	37,72	55	162	153	106	0,6	0,85
17/09/14	23:17:12	37,75	51	161	154	90	0,53	0,82
17/09/14	23:18:41	37,78	51	160	155	83	0,54	0,82
17/09/14	23:20:09	37,81	49	159	154	72	0,55	0,82
17/09/14	23:21:38	37,84	50	162	159	68	0,4	0,13
17/09/14	23:23:07	37,88	29	118	131	16	0,21	0,31
17/09/14	23:24:35	37,93	30	116	129	16	0,25	0,24
17/09/14	23:26:04	37,98	8	225	46	71	0,22	0,19
17/09/14	23:27:33	38,04	5	241	34	97	0,19	0,55
17/09/14	23:29:01	38,09	6	244	36	114	0,22	0,58
17/09/14	23:54:20	38,14	10	228	38	58	0,66	0,48
17/09/14	23:55:49	38,13	18	224	41	42	0,78	0,6
17/09/14	23:57:18	38,17	21	231	41	53	0,35	0,56
17/09/14	23:58:46	38,19	16	229	41	49	0,35	0,54

18/09/14	00:00:15	38,22	12	229	42	51	0,09	0
18/09/14	01:58:34	38,24	23	209	52	25	0,5	0,24
18/09/14	02:00:02	38,23	26	204	56	12	0,44	0,29
18/09/14	02:01:31	38,31	43	238	84	54	0,39	0,39
18/09/14	02:03:01	38,35	44	242	93	60	0,37	0,43
18/09/14	02:04:29	38,37	30	229	87	39	0,29	0,39
18/09/14	02:05:58	38,38	27	228	86	31	0,29	0,41
18/09/14	02:07:27	38,4	27	228	83	25	0,39	0,42
18/09/14	02:08:56	38,42	36	237	89	38	0,43	0,34
18/09/14	02:10:24	38,46	60	261	106	75	0,35	0,33
18/09/14	02:11:53	38,5	34	223	99	57	0,19	0,12
18/09/14	02:13:22	38,58	28	214	94	46	0,2	0,09
18/09/14	02:14:51	38,66	35	218	96	55	0,45	0,57
18/09/14	02:16:20	38,73	48	227	107	80	0,56	0,41
18/09/14	02:17:48	38,79	45	222	103	70	0,43	0,29
18/09/14	02:19:17	38,85	49	225	107	75	0,39	0,31
18/09/14	02:20:46	38,89	50	226	113	82	0,4	0,3
18/09/14	02:22:15	38,93	46	224	114	72	0,37	0,3
18/09/14	02:23:44	38,96	48	227	114	71	0,4	0,32
18/09/14	02:25:13	39	40	218	106	53	0,42	0,44
18/09/14	02:26:42	39,03	44	223	110	56	0,39	0,26
18/09/14	02:28:10	39,06	43	221	111	51	0,35	0,29
18/09/14	02:29:40	39,08	46	225	113	52	0,39	0,36
18/09/14	02:31:09	39,11	39	218	104	36	0,25	0,17
18/09/14	02:32:38	39,15	54	228	118	64	0,56	0,36
18/09/14	02:34:07	39,19	48	222	115	52	0,42	0,42
18/09/14	02:35:35	39,23	52	228	119	55	0,38	0,2
18/09/14	02:37:04	39,27	44	215	109	41	0,49	0,36
18/09/14	02:38:33	39,31	47	217	115	48	0,45	0,36
18/09/14	02:40:02	39,35	48	219	120	48	0,47	0,39
18/09/14	02:41:32	39,39	43	214	114	37	0,41	0,61
18/09/14	02:43:00	39,43	44	213	114	35	0,47	0,29
18/09/14	02:44:29	39,47	44	214	115	33	0,4	0,32
18/09/14	02:45:58	39,5	47	216	120	38	0,4	0,33
18/09/14	02:47:26	39,54	47	218	123	38	0,41	0,42
18/09/14	02:48:55	39,59	43	217	118	27	0,29	0,06
18/09/14	02:50:24	39,67	38	217	124	27	0,37	0,19
18/09/14	02:51:53	39,77	21	194	125	7	0,22	0,07
18/09/14	02:53:23	39,85	35	192	119	21	0,45	0,31
18/09/14	02:54:51	39,92	41	192	119	26	0,44	0,38
18/09/14	02:56:21	40,01	45	199	138	37	0,4	0,2
18/09/14	02:57:50	40,09	50	196	139	40	0,52	0,26
18/09/14	04:18:11	40,18	44	157	105	12	0,51	0,34
18/09/14	04:19:40	40,17	44	145	93	4	0,43	0,17
18/09/14	04:21:09	40,23	44	161	108	7	0,34	0,22
18/09/14	04:22:38	40,31	45	180	125	9	0,36	0,42
18/09/14	04:24:06	40,35	102	83	101	32	0,36	0,5
18/09/14	04:25:36	40,39	96	79	110	18	0,15	0,6

18/09/14	04:27:04	40,44	84	89	106	12	0,43	0,34
18/09/14	04:28:33	40,48	94	102	123	12	0,37	0,36
18/09/14	04:30:02	40,53	100	113	135	12	0,35	0,35
18/09/14	04:31:31	40,58	83	114	120	10	0,13	0
18/09/14	04:33:00	40,63	74	118	111	11	0,46	0,23
18/09/14	04:34:29	40,68	86	125	120	11	0,29	0,25
18/09/14	04:35:59	40,73	95	127	126	11	0,29	0,34
18/09/14	04:37:28	40,76	91	122	122	11	0,29	0,35
18/09/14	04:38:57	40,81	75	119	109	8	0,04	0,03
18/09/14	04:40:25	40,87	72	123	109	11	0,38	0,31
18/09/14	04:41:54	40,93	85	132	122	14	0,41	0,32
18/09/14	04:43:23	40,99	92	133	131	14	0,41	0,35
18/09/14	04:44:52	41,05	97	136	134	14	0,38	0
18/09/14	04:46:21	41,11	63	118	104	8	0,21	0,46
18/09/14	04:47:50	41,14	80	133	129	14	0,44	0,3
18/09/14	04:49:18	41,18	88	137	135	14	0,4	0,33
18/09/14	04:50:47	41,24	82	131	131	11	0,22	0
18/09/14	04:52:16	41,3	62	127	114	13	0,41	0,33
18/09/14	04:53:45	41,36	78	133	123	18	0,42	0,35
18/09/14	04:55:15	41,42	106	71	146	17	0,4	0,31
18/09/14	04:56:44	41,47	91	106	117	31	0,37	0,34
18/09/14	04:58:13	41,54	72	139	102	49	0,3	0,03
18/09/14	04:59:42	41,6	46	109	76	15	0,1	0,28
18/09/14	05:01:11	41,66	47	124	96	20	0,42	0,33
18/09/14	05:02:40	41,73	54	133	102	26	0,4	0,33
18/09/14	05:04:08	41,79	55	130	102	24	0,24	0
18/09/14	05:05:38	41,85	46	118	97	15	0,43	0,36
18/09/14	05:07:07	41,91	51	134	111	23	0,41	0,35
18/09/14	05:08:36	41,96	61	145	121	29	0,38	0,36
18/09/14	05:10:05	42,02	51	128	107	17	0,18	0,47
18/09/14	05:11:34	42,08	48	138	115	15	0,39	0,3
18/09/14	05:13:03	42,14	57	146	123	22	0,35	0,34
18/09/14	05:14:31	42,2	62	151	131	25	0,38	0,49
18/09/14	05:16:00	42,26	67	154	138	27	0,3	0
18/09/14	05:17:29	42,32	46	120	97	7	0,24	0,41
18/09/14	05:18:57	42,38	49	137	117	11	0,4	0,33
18/09/14	05:20:25	42,44	55	139	122	15	0,38	0,34
18/09/14	05:21:55	42,5	57	137	124	17	0,27	0
18/09/14	05:23:24	42,56	47	124	106	8	0,49	0,31
18/09/14	05:24:53	42,62	48	133	113	9	0,4	0,36
18/09/14	12:49:55	42,5	39	92	73	1	0,38	0,12
18/09/14	12:51:24	42,49	26	74	57	1	0,39	0,23
18/09/14	12:52:52	42,57	28	166	92	20	0,65	0,5
18/09/14	12:54:21	42,67	26	174	98	38	0,53	0,5
18/09/14	12:55:51	42,84	26	159	108	39	0,49	0,5
18/09/14	12:57:20	42,99	26	159	123	34	0,52	0,44
18/09/14	12:59:35	43,08	29	150	138	11	0,62	0,36
18/09/14	13:01:04	43,15	30	157	132	14	0,57	0,39

18/09/14	13:02:33	43,23	34	161	130	16	0,39	0,31
18/09/14	13:04:01	43,29	39	159	132	22	0,36	0,37
18/09/14	13:05:30	43,35	31	147	127	20	0,37	0,41
18/09/14	13:07:00	43,38	33	152	128	24	0,35	0,36
18/09/14	13:08:29	43,42	32	158	130	20	0,41	0,65
18/09/14	13:09:58	43,45	37	168	141	33	0,51	0,72
18/09/14	13:11:27	43,5	38	167	137	33	0,4	0,59
18/09/14	13:12:56	43,57	39	160	132	36	0,42	0,3
18/09/14	13:14:25	43,67	44	160	132	43	0,46	0,47
18/09/14	13:15:54	43,78	41	158	138	38	0,47	0,56
18/09/14	13:17:23	43,92	37	151	165	35	0,54	0,59
18/09/14	13:18:52	44,08	39	143	154	37	0,53	0,47
18/09/14	13:20:21	44,21	40	142	156	39	0,55	0,63
18/09/14	13:21:49	44,35	41	140	157	43	0,51	0,4
18/09/14	13:23:18	44,49	36	131	149	33	0,45	0,47
18/09/14	13:24:47	44,56	34	125	141	26	0,62	0,5
18/09/14	13:26:16	44,66	33	151	157	19	0,62	0,31
18/09/14	13:27:45	44,72	33	163	162	28	0,42	0,32
18/09/14	13:29:14	44,79	42	167	161	40	0,46	0,41
18/09/14	13:30:43	44,91	33	152	152	26	0,44	0,44
18/09/14	13:32:12	45,05	36	113	102	69	0,56	0,68
18/09/14	15:28:23	45,05	36	63	81	21	0,37	0,06
18/09/14	15:29:52	45,1	55	67	96	18	0,53	0,49
18/09/14	15:31:21	45,22	100	89	123	46	0,48	0,38
18/09/14	15:32:50	45,29	48	143	65	76	0,42	0,35
18/09/14	15:34:19	45,35	44	137	64	68	0,42	0,32
18/09/14	15:35:48	45,41	46	141	70	68	0,42	0,32
18/09/14	15:37:17	45,48	42	137	70	68	0,47	0,42
18/09/14	15:38:46	45,58	40	152	91	78	0,72	0,57
18/09/14	15:40:15	45,75	38	125	91	52	0,44	0,31
18/09/14	15:41:45	46	38	133	100	56	0,44	0,39
18/09/14	15:43:14	46,25	37	148	153	32	0,41	0,49
18/09/14	15:44:43	46,49	41	138	190	35	0,45	0,45
18/09/14	15:46:12	46,75	45	132	190	28	0,44	0,53
18/09/14	15:47:40	46,99	46	144	178	27	0,44	0,37
18/09/14	15:49:10	47,2	47	129	164	27	0,46	0,42
18/09/14	15:50:38	47,4	52	123	161	30	0,51	0,43
18/09/14	15:52:07	47,52	58	115	146	27	0,56	0,2
18/09/14	17:29:15	47,57	46	92	114	10	0,3	0,04
18/09/14	17:30:44	47,62	51	98	120	8	0,5	0,69
18/09/14	17:32:13	47,75	70	116	147	20	0,56	0,38
18/09/14	17:33:42	47,83	63	111	141	19	0,44	0,38
18/09/14	17:35:11	47,89	74	118	144	19	0,45	0,38
18/09/14	17:36:40	47,94	79	120	147	18	0,45	0,41
18/09/14	17:38:09	47,99	84	125	155	18	0,51	0,46
18/09/14	17:39:38	48,08	73	127	155	18	0,61	0,4
18/09/14	17:41:06	48,24	55	125	151	17	0,47	0,35
18/09/14	17:42:35	48,4	49	123	151	16	0,47	0,4

18/09/14	17:44:05	48,55	66	129	165	16	0,64	0,45
18/09/14	17:45:34	48,63	58	123	165	16	0,52	0,4
18/09/14	17:47:03	48,69	59	121	162	16	0,5	0,38
18/09/14	17:48:32	48,73	65	108	115	53	0,46	0,37
18/09/14	17:50:01	48,75	66	95	76	80	0,45	0,54
18/09/14	17:51:30	48,82	77	85	66	96	0,56	0,36
18/09/14	17:52:59	48,91	95	78	68	97	0,46	0,52
18/09/14	17:54:28	49,04	99	98	103	84	0,57	0,45
18/09/14	17:55:56	49,2	84	126	88	72	0,55	0,48
18/09/14	17:57:25	49,36	59	163	80	77	0,5	0,59
18/09/14	17:59:23	49,41	41	143	69	54	0,46	0,22
18/09/14	18:00:52	49,55	35	144	81	59	0,53	0,32
18/09/14	18:02:21	49,64	31	140	88	62	0,42	0,35
18/09/14	18:03:51	49,69	34	144	92	62	0,46	0,32
18/09/14	18:05:19	49,72	34	143	92	58	0,44	0,36
18/09/14	18:06:48	49,74	34	141	90	56	0,43	0,4
18/09/14	18:08:17	49,8	41	155	98	62	0,6	0,35
18/09/14	18:09:46	49,89	20	188	141	34	0,42	0,29
18/09/14	18:11:15	50,02	19	245	195	34	0,44	0,29
18/09/14	19:49:19	50,09	17	194	138	13	0,3	0,03
18/09/14	19:50:48	50,16	32	200	144	16	0,47	0,3
18/09/14	19:52:17	50,24	45	200	147	23	0,34	0,29
18/09/14	19:53:46	50,31	45	200	144	21	0,25	0,15
18/09/14	19:55:15	50,4	43	192	140	21	0,3	0,24
18/09/14	19:56:44	50,53	45	192	142	21	0,35	0,31
18/09/14	19:58:13	50,65	50	191	145	29	0,51	0,36
18/09/14	19:59:42	50,73	49	178	138	25	0,4	0,38
18/09/14	20:01:11	50,8	50	175	138	27	0,41	0,35
18/09/14	20:02:39	50,87	53	175	139	30	0,37	0,34
18/09/14	20:04:09	50,92	54	169	132	27	0,2	0
18/09/14	20:05:37	51,02	50	164	125	17	0,2	0,2
18/09/14	20:07:06	51,14	50	167	134	20	0,35	0,41
18/09/14	20:08:35	51,25	54	167	142	28	0,43	0,39
18/09/14	20:10:04	51,31	50	150	147	18	0,44	0,38
18/09/14	20:11:33	51,38	50	150	149	19	0,45	0,38
18/09/14	20:13:02	51,45	50	149	151	21	0,45	0,4
18/09/14	20:14:31	51,51	51	150	153	23	0,42	0,28
18/09/14	20:16:00	51,57	51	138	146	26	0,38	0,31
18/09/14	20:17:29	51,64	53	140	151	37	0,3	0,16
18/09/14	20:18:57	51,76	51	136	150	29	0,28	0,2
18/09/14	20:20:26	51,87	51	141	154	21	0,34	0,22
18/09/14	20:21:55	51,95	50	150	160	19	0,33	0,24
18/09/14	20:23:24	51,99	51	155	162	25	0,4	0,34
18/09/14	20:24:53	52,03	51	155	159	20	0,4	0,32
18/09/14	20:26:22	52,07	51	156	160	21	0,39	0,33
18/09/14	20:27:51	52,1	52	158	162	23	0,39	0,37
18/09/14	20:29:20	52,18	51	148	160	13	0,28	0,36
18/09/14	20:30:48	52,31	49	149	158	9	0,42	0,53

18/09/14	20:32:17	52,44	50	153	163	10	0,46	0,27
18/09/14	20:33:46	52,54	55	120	165	10	0,37	0,28
18/09/14	22:42:57	52,61	60	66	152	2	0,29	0,06
18/09/14	22:44:26	52,63	58	66	148	7	0,4	0,31
18/09/14	22:45:55	52,69	68	84	162	16	0,35	0,25
18/09/14	22:47:24	52,73	68	83	162	15	0,34	0,3
18/09/14	22:48:52	52,75	65	80	158	11	0,35	0,65
18/09/14	22:50:21	52,82	74	87	165	18	0,32	0,35
18/09/14	22:51:50	52,95	76	88	168	20	0,35	0,55
18/09/14	22:53:19	53,12	84	90	173	25	0,57	0,52
18/09/14	22:54:47	53,25	74	85	110	113	0,53	0,26
18/09/14	22:56:16	53,34	78	99	109	107	0,39	0,46
18/09/14	22:57:45	53,39	82	107	123	105	0,37	0,59
18/09/14	22:59:14	53,43	81	108	125	93	0,36	0,46
18/09/14	23:00:44	53,49	80	110	128	82	0,22	0,44
18/09/14	23:02:12	53,58	99	123	99	136	0,4	0,21
18/09/14	23:03:41	53,69	99	142	78	140	0,33	0,24
18/09/14	23:05:09	53,8	103	161	96	131	0,37	0,33
18/09/14	23:06:38	53,91	102	179	113	116	0,39	0,3
18/09/14	23:08:06	54	70	147	93	69	0,37	0,28
18/09/14	23:09:36	54,12	67	140	94	65	0,38	0,3
18/09/14	23:11:05	54,21	77	147	109	81	0,53	0,2
18/09/14	23:12:34	54,27	88	101	140	45	0,37	0,36
18/09/14	23:14:03	54,32	156	23	215	15	0,4	0,36
18/09/14	23:15:32	54,35	157	26	229	16	0,35	0,45
18/09/14	23:17:01	54,41	153	27	234	13	0,08	0
18/09/14	23:18:30	54,41	111	22	187	4	0,12	0,78
18/09/14	23:19:58	54,49	147	29	230	14	0,15	0,14
18/09/14	23:21:27	54,62	140	31	233	7	0,32	0,16
18/09/14	23:22:56	54,75	62	181	178	51	0,46	1,07
18/09/14	23:24:25	54,8	58	218	177	88	0,85	0,19
18/09/14	23:25:54	54,87	54	194	172	72	0,38	0,53
18/09/14	23:27:23	54,91	54	184	173	68	0,29	0,48
18/09/14	23:28:53	54,93	54	173	175	60	0,26	0,5
18/09/14	23:30:22	54,95	54	157	170	42	0,25	0,43
18/09/14	23:50:20	54,97	50	137	148	17	0,67	0,46
18/09/14	23:51:48	55	51	159	166	30	0,38	1
18/09/14	23:53:18	55,1	64	182	196	49	0,38	0,46
18/09/14	23:54:47	55,22	122	117	292	7	0,36	0,5
18/09/14	23:56:16	55,33	123	109	270	7	0,34	0,36
18/09/14	23:57:44	55,44	109	116	251	11	0,32	0,4
18/09/14	23:59:13	55,56	61	173	215	48	0,35	0,34
19/09/14	00:00:42	55,67	36	232	175	77	0,34	0,35
19/09/14	00:02:11	55,79	8	278	132	117	0,34	0,31
19/09/14	00:03:40	55,9	9	266	131	125	0,33	0,33
19/09/14	00:05:09	56	10	258	130	121	0,31	0,26
19/09/14	00:06:38	56,09	13	259	130	132	0,31	0,28
19/09/14	02:01:18	56,12	35	223	118	25	0,4	0,12



19/09/14	02:02:46	56,15	40	214	119	35	0,42	0,2
19/09/14	02:04:15	56,24	55	195	147	71	0,43	0,36
19/09/14	02:05:44	56,32	120	144	143	150	0,43	0,45
19/09/14	02:07:13	56,39	129	152	137	130	0,41	0,39
19/09/14	02:08:42	56,47	132	153	133	117	0,38	0,38
19/09/14	02:10:11	56,54	135	154	133	114	0,4	0,38
19/09/14	02:11:40	56,63	140	156	134	115	0,4	0,43
19/09/14	02:13:09	56,71	142	156	136	116	0,39	0,36
19/09/14	02:14:38	56,81	142	154	133	103	0,43	0,53
19/09/14	02:16:07	56,91	146	161	140	108	0,45	0,48
19/09/14	02:17:36	57,01	162	128	59	140	0,45	0,4
19/09/14	02:31:14	57,06	160	110	30	78	0,5	0,22
19/09/14	02:32:43	57,15	158	110	57	82	0,47	0,46
19/09/14	02:34:12	57,25	113	156	69	131	0,47	0,5
19/09/14	02:35:41	57,37	51	187	42	132	0,45	0,53
19/09/14	02:37:09	57,49	48	189	44	118	0,42	0,51
19/09/14	02:38:38	57,56	56	199	48	107	0,83	0,55
19/09/14	02:40:07	57,65	54	209	52	90	0,64	0,48
19/09/14	02:41:36	57,71	42	223	44	95	0,54	0,41
19/09/14	02:43:05	57,77	44	220	50	94	0,5	0,42
19/09/14	02:44:34	57,8	43	215	50	85	0,46	0,35
19/09/14	02:48:11	57,83	42	210	48	72	0,67	0,48
19/09/14	02:49:40	57,87	47	212	50	95	0,72	1,04
19/09/14	02:51:09	57,94	46	211	58	102	0,49	0,24
19/09/14	02:52:38	58,01	40	194	52	78	0,39	0,36
19/09/14	02:54:07	58,12	50	202	59	89	0,48	0,4
19/09/14	02:55:36	58,21	48	198	61	80	0,51	0,49
19/09/14	02:57:04	58,33	54	203	68	83	0,53	0,56
19/09/14	03:28:53	58,4	61	190	69	34	0,62	0,26
19/09/14	03:30:22	58,5	66	179	77	29	0,5	0,26
19/09/14	03:31:50	58,62	71	175	92	31	0,4	0,32
19/09/14	03:34:44	58,78	69	166	90	29	0,56	0,34
19/09/14	03:36:12	58,87	75	170	97	43	0,63	0,39
19/09/14	03:37:41	58,96	70	172	85	70	0,46	0,3
19/09/14	03:39:09	59,04	42	195	35	147	0,39	0,38
19/09/14	03:40:39	59,11	44	211	36	149	0,37	0,48
19/09/14	03:42:08	59,13	40	194	36	119	0,6	0,66
19/09/14	03:43:37	59,17	44	212	36	114	0,69	0,59
19/09/14	03:45:06	59,22	44	212	37	120	0,68	0,43
19/09/14	03:46:34	59,3	42	204	36	94	0,41	0,18
19/09/14	03:48:04	59,41	41	207	37	84	0,38	0,22
19/09/14	03:49:32	59,52	41	205	38	76	0,33	0,23
19/09/14	03:51:00	59,63	40	203	44	74	0,39	0,12
19/09/14	07:17:45	59,63	48	165	44	8	0,34	0,07
19/09/14	07:19:14	59,52	44	156	46	11	0,41	0,24
19/09/14	07:20:43	59,71	58	173	110	61	0,59	0,71
19/09/14	07:22:11	59,95	105	149	168	32	0,55	0,56
19/09/14	07:23:41	60,21	114	152	161	28	0,59	0,43

19/09/14	07:25:09	60,38	100	146	154	25	0,46	0,49
19/09/14	07:26:38	60,55	92	143	149	22	0,52	0,49
19/09/14	07:28:07	60,76	65	161	148	31	0,6	0,54
19/09/14	07:29:37	60,99	67	149	154	28	0,54	0,48
19/09/14	07:31:05	61,17	62	136	146	25	0,47	0,36
19/09/14	07:38:12	61,2	44	119	130	20	0,44	0,21
19/09/14	07:39:41	61,35	48	133	137	24	0,53	0,45
19/09/14	07:41:10	61,52	54	133	144	30	0,55	0,46
19/09/14	07:42:39	61,7	51	132	145	26	0,54	0,48
19/09/14	07:44:07	61,88	46	133	150	20	0,55	0,51
19/09/14	07:45:36	62,06	46	133	154	20	0,64	0,62
19/09/14	07:47:05	62,1	34	119	124	14	0,64	0,42
19/09/14	07:48:34	62,3	88	109	109	104	0,63	0,45
19/09/14	07:50:03	62,51	111	79	148	83	0,69	0,64
19/09/14	07:51:32	62,74	113	94	156	69	0,72	0,65
19/09/14	07:53:01	62,91	102	103	154	50	0,64	0,55
22/09/14	12:39:10	63,45	14	63	111	1	0,11	0,01
22/09/14	12:40:39	63,46	3	45	82	1	0,16	0,04
22/09/14	12:42:08	63,56	20	83	126	1	0,51	0,5
22/09/14	12:43:37	63,67	39	124	137	2	0,49	0,46
22/09/14	12:45:06	63,75	40	134	134	2	0,46	0,39
22/09/14	12:46:35	63,83	32	129	128	2	0,45	0,43
22/09/14	12:48:04	63,91	36	131	133	2	0,45	0,38
22/09/14	12:49:32	63,97	32	128	130	2	0,43	0,37
22/09/14	12:51:01	64,02	32	128	131	2	0,43	0,33
22/09/14	12:52:30	64,07	27	125	128	2	0,44	0,41
22/09/14	12:53:59	64,12	35	131	139	2	0,49	0,64
22/09/14	12:55:28	64,13	20	114	123	2	0,61	0,36
22/09/14	12:56:57	64,14	37	116	130	6	0,66	0,62
22/09/14	12:58:26	64,22	45	127	145	9	0,66	0,68
22/09/14	12:59:55	64,34	65	183	120	74	0,83	0,67
22/09/14	13:01:24	64,56	34	154	108	70	0,46	0,35
22/09/14	13:02:53	64,79	26	161	188	50	0,43	0,48
22/09/14	13:04:22	65,05	41	153	183	63	0,47	0,51
22/09/14	13:05:52	65,25	53	138	177	61	0,38	0,41
22/09/14	13:17:34	65,31	59	134	168	51	0,64	0,35
22/09/14	13:19:03	65,45	56	141	183	43	0,46	0,55
22/09/14	13:20:32	65,59	71	148	219	42	0,35	0,6
22/09/14	13:22:01	65,69	78	152	227	42	0,3	0,85
22/09/14	13:23:29	65,79	88	157	234	44	0,33	1,48
22/09/14	13:24:59	65,9	95	160	239	46	0,42	1,8
22/09/14	13:29:37	65,92	80	141	202	36	0,89	0,57
22/09/14	13:31:06	66	96	112	175	58	0,49	0,47
22/09/14	13:32:35	66,06	103	89	114	112	0,54	0,62
22/09/14	13:34:04	66,1	93	82	108	95	0,55	0,45
22/09/14	13:35:32	66,14	83	73	95	74	0,55	0,82
22/09/14	13:37:01	66,14	74	61	81	58	0,9	0,58
22/09/14	13:38:29	66,14	75	61	80	54	0,68	0,5



22/09/14	13:39:57	66,14	76	65	82	51	0,71	1,4
22/09/14	13:41:27	66,18	112	151	162	76	0,82	0,95
22/09/14	13:42:55	66,18	96	126	138	57	0,95	1,65
22/09/14	13:44:24	66,2	92	119	130	50	0,65	0,99
22/09/14	13:45:52	66,19	88	115	128	45	1,07	0,79
22/09/14	13:47:21	66,28	111	152	168	68	0,52	1,25
22/09/14	13:48:50	66,38	113	156	183	74	0,67	1,33
22/09/14	13:50:19	66,48	112	152	187	78	0,49	1,18
22/09/14	13:51:47	66,57	116	154	196	83	0,45	1,85
22/09/14	13:53:17	66,67	120	157	205	88	0,56	1,38
22/09/14	13:54:46	66,77	118	154	207	86	0,52	1,28
22/09/14	13:56:15	66,35	125	157	210	87	0,53	1,2
22/09/14	13:57:44	66,42	112	147	200	66	0,68	1,13
22/09/14	15:52:06	66,43	121	130	201	13	0,82	0,52
22/09/14	15:53:35	66,47	121	130	221	12	0,51	0,74
22/09/14	15:55:04	66,53	120	136	223	9	0,37	0,97
22/09/14	15:56:33	66,6	103	126	277	67	0,44	0,78
22/09/14	15:58:01	66,67	108	122	273	52	0,43	0,77
22/09/14	15:59:30	66,75	112	126	267	46	0,39	0,77
22/09/14	16:00:59	66,83	116	127	263	43	0,42	0,77
22/09/14	16:02:27	66,91	121	129	259	41	0,33	1,06
22/09/14	16:03:56	66,99	124	126	255	39	0,45	0,65
22/09/14	16:05:25	67,07	130	130	257	39	0,34	1,09
22/09/14	16:06:54	67,15	137	134	262	40	0,42	1,29
22/09/14	16:08:23	67,22	141	131	261	40	0,42	1,04
22/09/14	16:09:51	67,29	144	129	255	37	0,4	1,07
22/09/14	16:11:21	67,36	44	212	250	49	0,44	1,32
22/09/14	16:12:49	67,43	27	221	231	76	0,45	1,22
22/09/14	16:14:18	67,52	36	214	221	81	0,47	0,93
22/09/14	16:15:47	67,6	46	209	217	87	0,48	1,05
22/09/14	16:17:15	67,66	44	196	207	80	0,39	0,84
22/09/14	16:18:44	67,73	46	194	206	76	0,34	1,1
22/09/14	16:20:13	67,79	47	190	202	72	0,44	0,75
22/09/14	16:21:42	67,86	48	186	199	69	0,39	0,71
22/09/14	16:23:11	67,92	49	185	200	68	0,4	0,79
22/09/14	16:24:40	68	53	183	201	71	0,35	0,93
22/09/14	16:26:09	68,07	57	185	207	76	0,41	0,64
22/09/14	16:27:38	68,09	54	177	201	69	0,97	1,11
22/09/14	16:48:45	68,1	45	162	188	35	1,18	0,96
22/09/14	16:50:14	68,16	63	173	191	44	0,5	0,78
22/09/14	16:51:44	68,25	66	183	227	27	0,32	1,1
22/09/14	16:53:13	68,34	78	177	234	14	0,42	1,23
22/09/14	16:54:41	68,44	81	179	224	17	0,44	0,99
22/09/14	16:56:10	68,53	64	201	130	48	0,88	1,2
22/09/14	16:57:38	68,53	53	178	119	40	1,38	1,14
22/09/14	16:59:07	68,53	50	175	116	34	1,32	1,11
22/09/14	17:00:37	68,53	50	173	115	31	1,3	1,1
22/09/14	17:02:06	68,53	50	172	114	28	1,28	1,07

22/09/14	17:03:35	68,53	50	171	114	25	1,27	1,05
22/09/14	17:05:04	68,53	50	171	113	24	1,25	1,05
22/09/14	17:06:33	68,53	50	171	113	22	1,24	1,03
22/09/14	17:08:02	68,53	50	171	113	21	1,23	1
22/09/14	17:09:31	68,53	50	170	112	20	1,22	1
22/09/14	17:10:59	68,53	50	170	112	19	1,21	0,99
22/09/14	17:12:28	68,51	50	169	111	18	1,21	1,01
22/09/14	17:13:57	68,59	67	176	128	25	0,43	0,82
22/09/14	17:15:25	68,68	79	174	135	32	0,32	0,99
22/09/14	17:16:54	68,77	78	152	104	65	0,41	0,44
22/09/14	17:18:23	68,86	59	134	60	119	0,31	0,52
22/09/14	17:19:52	68,95	104	82	100	97	0,32	0,66
22/09/14	17:21:21	69,05	96	89	106	75	0,32	0,48
22/09/14	17:40:07	69,08	89	85	100	35	0,83	0,58
22/09/14	17:41:36	69,15	88	91	103	22	0,44	0,38
22/09/14	17:43:05	69,25	89	97	113	25	0,35	0,61
22/09/14	17:44:34	69,37	65	144	151	19	0,47	0,69
22/09/14	17:46:03	69,48	70	137	152	23	0,43	0,4
22/09/14	17:47:31	69,6	51	144	154	18	0,6	0,86
22/09/14	17:49:14	69,6	37	138	133	12	0,93	0,67
22/09/14	17:50:42	69,59	37	128	121	11	0,92	0,7
22/09/14	17:52:11	69,6	40	127	121	13	0,93	0,5
22/09/14	17:53:40	69,7	64	152	139	22	0,41	0,39
22/09/14	17:55:09	69,82	58	109	103	56	0,31	0,41
22/09/14	17:56:38	69,88	52	104	107	44	0,83	0,63
22/09/14	17:59:02	69,88	40	90	91	28	0,78	0,53
22/09/14	18:00:30	69,92	40	96	97	27	0,59	0,44
22/09/14	19:26:49	69,94	27	73	73	10	0,34	0,08
22/09/14	19:28:18	69,95	34	79	77	6	0,31	0
22/09/14	19:29:47	70,09	47	109	113	10	0,2	0,24
22/09/14	19:31:16	70,27	49	106	117	11	0,29	0,38
22/09/14	19:32:44	70,45	56	105	116	15	0,34	0,41
22/09/14	19:34:13	70,63	59	125	177	43	0,35	0,58
22/09/14	19:35:42	70,81	76	132	206	67	0,33	0,54
22/09/14	19:37:11	71	80	126	202	63	0,33	0,56
22/09/14	19:38:40	71,16	84	132	203	59	0,41	0,54
22/09/14	19:40:09	71,31	43	148	157	47	0,36	0,5
22/09/14	19:41:38	71,48	55	144	158	45	0,38	0,53
22/09/14	19:43:07	71,65	57	141	161	42	0,42	0,7
22/09/14	19:44:36	71,82	59	138	158	39	0,38	0,76
22/09/14	20:48:07	71,85	52	118	120	13	0,39	0,16
22/09/14	20:49:36	71,91	56	121	128	7	0,49	0,5
22/09/14	20:51:05	72,12	77	135	154	9	0,49	0,77
22/09/14	20:52:34	72,3	86	134	165	14	0,49	0,83
22/09/14	20:54:03	72,47	73	128	156	8	0,48	0,82
22/09/14	20:55:32	72,66	71	128	165	8	0,56	0,77
22/09/14	20:57:01	72,84	74	117	161	23	0,51	0,79
22/09/14	20:58:30	73,02	81	85	103	97	0,48	0,69

22/09/14	20:59:59	73,2	68	90	112	69	0,46	0,67
22/09/14	21:01:28	73,38	80	103	82	107	0,46	0,69
22/09/14	22:31:18	73,45	59	109	66	24	0,48	0,16
22/09/14	22:32:47	73,58	82	127	84	26	0,55	0,51
22/09/14	22:34:15	73,76	90	138	93	32	0,62	0,83
22/09/14	22:35:44	74	89	127	89	35	0,69	0,75
22/09/14	22:37:13	74,16	80	112	86	33	0,81	0,51
22/09/14	22:38:42	74,39	71	125	116	28	0,44	0,98
22/09/14	22:40:11	74,56	80	149	139	35	0,41	0,9
22/09/14	22:41:40	74,69	72	148	133	18	0,23	0,65
22/09/14	22:43:09	74,82	55	254	187	41	0,17	0,68
22/09/14	22:44:37	74,94	50	319	185	59	0,19	0,73
22/09/14	22:46:06	75,05	54	306	174	54	0,13	0,73
22/09/14	22:58:38	75,06	38	281	145	30	0,59	0,44
22/09/14	23:00:07	75,1	42	280	154	25	0,32	0,32
22/09/14	23:01:35	75,14	43	279	160	28	0,27	0,38
22/09/14	23:03:04	75,2	47	277	155	26	0,24	0,39
22/09/14	23:04:33	75,25	51	279	152	25	0,25	0,39
22/09/14	23:06:01	75,29	49	277	152	22	0,26	0,4
22/09/14	23:07:30	75,34	45	274	158	22	0,24	0,42
22/09/14	23:08:59	75,39	49	270	156	22	0,25	0,42
22/09/14	23:10:28	75,44	49	264	150	20	0,28	0,42
22/09/14	23:11:56	75,48	65	278	174	34	0,24	0,38
22/09/14	23:13:26	75,52	89	290	187	65	0,39	0,38
22/09/14	23:14:55	75,52	83	283	186	65	0,44	0,51
22/09/14	23:16:25	75,56	120	314	216	124	0,78	0,98
22/09/14	23:17:54	75,55	124	316	211	107	1,12	0,84
22/09/14	23:19:23	75,58	120	313	211	95	0,85	0,4
22/09/14	23:20:52	75,6	110	293	249	93	0,45	0,35
22/09/14	23:22:20	75,62	95	245	275	66	0,42	0,29
22/09/14	23:23:49	75,64	95	233	259	55	0,39	0,72
23/09/14	00:12:06	75,69	109	233	228	18	0,48	0,22
23/09/14	00:13:35	75,67	81	203	192	4	0,54	0,38
23/09/14	00:15:03	75,71	117	227	223	33	0,46	0,32
23/09/14	00:16:32	75,74	140	233	239	57	0,41	0,32
23/09/14	00:18:00	75,77	140	219	241	44	0,46	0,41
23/09/14	00:19:29	75,79	220	80	258	47	0,51	0,45
23/09/14	00:20:57	75,81	224	105	280	28	0,51	0,74
23/09/14	00:22:26	75,85	182	113	252	12	0,4	0,16
23/09/14	00:23:54	75,9	162	119	244	10	0,38	0,41
23/09/14	00:25:23	75,95	99	214	104	90	0,37	0,33
23/09/14	00:26:51	76,01	129	214	175	34	0,38	0,41
23/09/14	00:28:20	76,07	136	197	202	33	0,4	0,42
23/09/14	00:29:49	76,12	139	194	201	30	0,42	0,41
23/09/14	00:31:18	76,19	137	189	197	27	0,45	0,38
23/09/14	00:32:46	76,27	132	190	184	20	0,47	0,46
23/09/14	00:34:14	76,37	124	190	179	18	0,48	0,43
23/09/14	00:35:42	76,52	108	175	175	17	0,47	0,38

23/09/14	00:37:12	76,67	88	164	172	58	0,48	0,48
23/09/14	00:38:40	76,88	92	152	167	104	0,57	0,67
23/09/14	02:38:17	76,97	111	141	161	12	0,3	0,06
23/09/14	02:39:47	76,98	100	129	160	9	0,39	0,09
23/09/14	02:41:16	77,08	133	153	172	32	0,47	0,44
23/09/14	02:42:45	77,17	125	193	163	35	0,46	0,39
23/09/14	02:44:14	77,26	131	192	167	36	0,44	0,34
23/09/14	02:45:43	77,33	132	189	170	36	0,46	0,4
23/09/14	02:47:12	77,4	133	188	172	34	0,47	0,49
23/09/14	02:48:41	77,45	126	184	169	27	0,65	0,56
23/09/14	02:50:10	77,5	123	179	184	36	0,83	0,95
23/09/14	02:51:39	77,6	143	185	212	52	0,92	0,43
23/09/14	02:53:08	77,72	117	176	191	22	0,59	0,41
23/09/14	02:54:37	77,77	86	167	160	15	0,47	0,59
23/09/14	02:56:06	77,93	108	193	180	15	0,64	0,61
23/09/14	02:57:35	78,08	133	208	194	17	0,72	0,59
23/09/14	03:05:16	78,22	104	202	174	13	0,46	0,16
23/09/14	03:06:45	78,28	93	203	166	10	0,44	0,47
23/09/14	03:08:15	78,39	127	213	205	12	0,51	0,44
23/09/14	03:09:43	78,52	249	47	320	4	0,46	0,36
23/09/14	03:11:12	78,63	249	60	326	6	0,44	0,39
23/09/14	03:12:41	78,72	248	61	319	7	0,41	0,34
23/09/14	03:14:10	78,81	248	61	316	8	0,4	0,35
23/09/14	03:15:39	78,91	237	66	305	31	0,41	0,36
23/09/14	03:17:09	79	101	156	200	178	0,41	0,38
23/09/14	03:18:37	79,1	101	167	211	139	0,4	0,33
23/09/14	03:20:06	79,2	105	176	217	116	0,44	0,36
23/09/14	03:21:35	79,3	120	127	116	131	0,41	0,35
23/09/14	03:23:05	79,38	96	130	82	137	0,4	0,37
23/09/14	09:39:12	79,4	114	121	126	9	0,28	0,02
23/09/14	09:40:41	79,44	103	117	132	11	0,55	0,46
23/09/14	09:42:10	79,59	103	157	148	134	0,64	0,33
23/09/14	09:43:39	79,83	97	152	128	108	0,49	0,37
23/09/14	09:45:08	80,1	88	152	134	88	0,54	0,51
23/09/14	09:46:36	80,39	54	197	164	69	0,54	0,71
23/09/14	11:29:16	80,48	37	163	117	15	0,36	0,02
23/09/14	11:30:46	80,54	34	155	130	9	0,34	1,52
23/09/14	11:32:15	80,74	42	160	147	24	0,68	0,63
23/09/14	11:33:43	81,01	48	159	154	30	0,73	0,47
23/09/14	11:35:13	81,22	43	147	148	22	0,59	0,42
23/09/14	11:36:41	81,41	44	145	146	21	0,67	0,71
23/09/14	11:38:10	81,41	33	134	129	8	0,82	0,55
23/09/14	11:39:39	81,41	31	129	120	6	0,69	0,44
23/09/14	11:41:08	81,41	31	126	116	5	0,61	0,38
23/09/14	11:42:37	81,41	30	124	115	4	0,56	0,33
23/09/14	11:44:06	81,6	40	148	138	17	0,62	0,6
23/09/14	11:45:35	81,85	38	205	160	34	0,7	0,6
23/09/14	11:47:04	82,11	31	212	157	35	0,63	0,55

23/09/14	11:48:33	82,38	33	208	170	26	0,62	0,54
23/09/14	11:50:02	82,64	31	198	177	32	0,64	0,55
23/09/14	11:51:31	82,91	31	197	176	30	0,64	0,58
23/09/14	11:53:00	83,14	30	194	174	26	0,61	0,45
23/09/14	11:54:28	83,36	56	194	169	17	0,56	0,46
23/09/14	11:55:57	83,59	77	199	173	13	0,59	0,64
23/09/14	11:57:26	83,81	87	204	182	18	0,76	0,66
23/09/14	14:40:16	83,98	129	50	207	1	0,24	0,01
23/09/14	14:41:45	83,95	122	45	204	3	0,25	0,03
23/09/14	14:43:14	84,13	165	65	249	11	0,63	0,64
23/09/14	14:44:43	84,35	201	95	197	79	0,79	0,74
23/09/14	14:46:12	84,54	161	126	160	86	0,61	0,44
23/09/14	14:47:41	84,74	150	128	167	67	0,57	0,53
23/09/14	14:49:10	84,96	143	133	177	53	0,59	0,49
23/09/14	14:57:35	85,05	115	137	172	21	0,55	0,24
23/09/14	14:59:04	85,25	128	151	186	23	0,66	0,72
23/09/14	15:00:34	85,52	121	154	192	17	0,65	0,53
23/09/14	15:02:03	85,79	120	158	186	16	0,58	0,54
23/09/14	15:03:33	86,06	148	147	196	37	0,62	0,61
23/09/14	15:05:01	86,34	147	134	199	38	0,45	1,48
23/09/14	15:09:36	86,35	135	129	181	15	0,91	0,53
23/09/14	15:11:05	86,46	110	120	148	10	0,44	0,59
23/09/14	15:12:35	86,73	134	169	193	35	0,71	1,02
23/09/14	15:17:03	86,75	106	162	167	35	0,75	0,57
23/09/14	15:18:31	87	141	160	200	34	0,79	0,36
23/09/14	15:19:59	87,23	154	135	206	36	0,69	0,58
23/09/14	15:21:29	87,29	137	115	163	35	0,72	0,5
23/09/14	15:22:58	87,39	139	133	157	34	0,67	0,58
24/09/14	07:15:59	87,46	108	93	98	1	0,16	0,02
24/09/14	07:17:28	87,53	92	107	130	13	0,45	0,61
24/09/14	07:18:57	87,68	106	157	201	60	0,89	0,75
24/09/14	07:20:27	87,88	82	157	176	56	0,58	0,49
24/09/14	07:29:09	88,07	63	159	164	23	0,47	0,18
24/09/14	07:30:38	88,07	59	132	131	11	0,43	0,25
24/09/14	07:32:06	88,07	55	128	126	6	0,39	0,21
24/09/14	07:33:35	88,13	56	143	143	9	0,46	0,44
24/09/14	07:35:04	88,4	67	164	171	35	0,6	0,48
24/09/14	07:36:33	88,64	69	163	171	35	0,53	0,73
24/09/14	07:38:01	88,65	59	152	164	23	0,55	0,3
24/09/14	07:39:30	88,8	60	143	168	27	0,66	0,87
24/09/14	07:41:00	89,08	91	141	209	45	0,71	0,62
24/09/14	07:42:28	89,38	105	137	216	55	0,53	0,4
24/09/14	07:43:57	89,56	105	137	219	55	0,5	0,45
24/09/14	07:45:26	89,73	123	113	227	66	0,52	0,61
24/09/14	07:46:55	89,86	72	64	245	75	0,51	0,51
24/09/14	07:48:25	89,97	96	68	192	107	0,46	0,42
24/09/14	07:49:54	90,07	101	101	140	160	0,51	0,57
24/09/14	07:51:23	90,16	100	109	146	138	0,55	0,57

24/09/14	07:52:52	90,24	79	136	178	119	0,46	0,48
24/09/14	07:54:21	90,31	81	122	284	105	0,45	0,39
24/09/14	07:55:50	90,38	91	122	272	98	0,44	0,45
24/09/14	07:57:19	90,46	76	147	291	68	0,44	0,46
24/09/14	07:58:48	90,52	85	141	287	68	0,46	0,46
24/09/14	08:00:16	90,56	82	134	269	54	0,69	0,68
24/09/14	08:01:45	90,67	102	140	283	68	0,75	0,85
24/09/14	08:03:13	90,86	117	108	255	50	0,63	0,59
24/09/14	09:07:21	91	115	74	195	6	0,33	0,03
24/09/14	09:08:50	91,2	134	99	244	16	0,49	0,21
24/09/14	09:10:20	91,26	176	146	342	40	0,42	0,53
24/09/14	09:11:48	91,32	188	107	307	46	0,3	0,08
24/09/14	09:13:17	91,31	148	89	271	34	0,39	0,31
24/09/14	09:14:46	91,31	148	87	274	27	0,54	0,28
24/09/14	09:19:37	91,31	138	86	267	19	0,48	0,2
24/09/14	09:21:06	91,39	165	140	247	64	0,45	0,73
24/09/14	09:22:35	91,45	226	150	258	55	0,67	0,36
24/09/14	09:24:05	91,53	219	119	279	37	0,51	0,33
24/09/14	09:25:33	91,61	209	116	284	34	0,46	0,37
24/09/14	09:27:02	91,7	206	113	293	36	0,54	0,38
24/09/14	09:29:36	91,75	184	94	279	30	0,61	0,34
24/09/14	09:31:05	91,77	181	102	270	14	0,58	0,4
24/09/14	09:32:35	91,85	211	140	294	32	0,57	0,46
24/09/14	09:34:04	91,92	174	151	272	50	0,53	0,36
24/09/14	09:35:32	91,98	167	142	273	44	0,53	0,43
24/09/14	09:37:00	92,06	171	145	268	39	0,59	0,42
24/09/14	10:25:05	92,06	148	119	232	8	0,28	0,04
24/09/14	10:26:35	92,13	151	121	273	27	0,45	0,48
24/09/14	10:28:03	92,2	159	126	283	13	0,57	0,37
24/09/14	10:29:32	92,32	148	119	276	12	0,51	0,43
24/09/14	10:31:00	92,45	154	113	280	12	0,53	0,45
24/09/14	10:32:29	92,59	141	117	273	11	0,63	0,6
24/09/14	10:33:58	92,73	147	116	269	11	0,62	0,45
24/09/14	10:35:27	92,88	145	128	269	10	0,58	0,45
24/09/14	10:36:55	93,07	145	131	278	9	0,64	0,55
24/09/14	10:38:24	93,3	118	139	285	5	0,7	0,58
24/09/14	10:39:53	93,56	97	149	279	3	0,56	0,53
24/09/14	10:41:21	93,85	51	180	106	68	0,58	0,48
24/09/14	10:42:51	94,14	44	172	115	66	0,8	0,57
24/09/14	10:44:20	94,36	54	180	111	71	0,87	1,22
24/09/14	10:45:49	94,39	60	189	110	66	1,32	0,99
24/09/14	10:52:50	94,37	47	179	101	31	0,56	0,33
24/09/14	10:54:19	94,47	54	139	151	58	0,54	0,39
24/09/14	12:59:54	94,51	45	86	150	6	0,38	0,2
24/09/14	13:01:22	94,53	52	102	166	6	0,39	0,21
24/09/14	13:02:51	94,63	61	142	194	17	0,54	0,42
24/09/14	13:04:20	94,77	62	144	185	14	0,46	0,44
24/09/14	13:05:48	94,93	62	128	159	32	0,44	0,33



24/09/14	13:07:17	95,11	76	150	89	64	0,45	0,41
24/09/14	13:08:47	95,32	70	159	106	62	0,5	0,48
24/09/14	13:10:16	95,52	56	113	136	61	0,54	0,45
24/09/14	13:11:46	95,71	58	117	137	58	0,5	0,44
24/09/14	13:13:15	95,89	53	111	133	47	0,5	0,43
24/09/14	13:14:44	96,09	48	112	132	34	0,5	0,49
24/09/14	13:19:15	96,22	34	103	120	17	0,56	0,26
24/09/14	13:20:44	96,31	36	115	130	20	0,68	0,45
24/09/14	13:22:13	96,6	29	176	140	38	0,6	0,5
24/09/14	13:23:42	96,86	20	179	123	61	0,58	0,51
24/09/14	13:25:11	97,12	14	206	96	107	0,59	0,56
24/09/14	13:26:40	97,38	18	196	94	111	0,6	0,57
24/09/14	14:31:43	97,42	22	160	76	30	0,28	0,03
24/09/14	14:33:12	97,57	32	137	131	54	0,56	0,47
24/09/14	14:34:41	97,81	36	111	146	55	0,48	0,45
24/09/14	14:36:10	98,01	40	132	138	54	0,59	0,65
24/09/14	16:05:04	98,01	37	101	118	6	0,3	0,02
24/09/14	16:06:33	98,1	38	111	131	25	0,48	0,66
24/09/14	16:08:02	98,27	74	109	169	40	0,68	0,46
24/09/14	16:09:31	98,39	70	108	178	23	0,53	0,37
24/09/14	16:11:00	98,48	73	107	189	26	0,47	0,37
24/09/14	16:12:29	98,54	101	50	185	22	0,52	0,43
24/09/14	16:14:05	98,54	79	51	159	14	0,58	0,38
24/09/14	16:15:34	98,59	99	60	217	20	0,65	0,76
24/09/14	16:17:03	98,73	113	70	197	45	0,68	0,46
24/09/14	16:18:32	98,93	64	90	88	125	0,51	0,45
24/09/14	16:20:01	99,14	51	91	107	100	0,53	0,42
24/09/14	16:21:30	99,38	51	90	113	93	0,59	0,56
24/09/14	16:30:57	99,54	50	91	114	56	0,61	0,23
24/09/14	16:32:26	99,62	50	85	124	43	0,53	0,38
24/09/14	16:33:55	99,79	51	92	140	63	0,55	0,52
24/09/14	16:35:24	99,89	112	45	238	45	0,55	0,38
24/09/14	16:36:53	99,96	96	88	210	42	0,49	0,39
24/09/14	16:38:21	100,01	86	101	190	37	0,6	0,53
24/09/14	16:39:51	100,01	76	96	172	25	0,73	0,49
24/09/14	16:41:20	100,06	90	105	210	40	0,71	0,48
24/09/14	16:42:49	100,19	74	101	197	26	0,59	0,37
24/09/14	16:44:18	100,36	66	96	191	19	0,55	0,49
24/09/14	16:45:47	100,52	70	92	191	20	0,6	0,63
24/09/14	16:47:16	100,7	82	87	192	25	0,65	0,36
24/09/14	16:50:04	100,78	64	76	155	16	0,68	0,37
24/09/14	16:51:33	100,9	78	85	177	23	0,72	0,37
24/09/14	16:53:02	101,08	84	74	189	34	0,63	0,55
24/09/14	16:54:31	101,28	92	69	181	43	0,61	0,41
24/09/14	16:56:00	101,48	90	65	172	37	0,51	0,48
24/09/14	17:50:27	101,52	87	61	153	13	0,49	0,04
24/09/14	17:51:56	101,65	72	61	166	17	0,53	0,45
24/09/14	17:53:25	101,9	67	73	179	44	0,66	0,6

24/09/14	17:54:53	102,12	63	76	167	58	0,6	0,49
24/09/14	17:56:21	102,36	65	71	165	64	0,57	0,5
24/09/14	17:57:50	102,59	66	73	169	61	0,61	0,5
24/09/14	17:59:19	102,81	67	82	177	54	0,65	0,58
24/09/14	18:00:47	103,06	65	83	184	46	0,62	0,65
24/09/14	18:02:16	103,28	62	81	176	31	0,49	0,59
24/09/14	18:03:45	103,51	66	81	179	40	0,6	0,55
24/09/14	18:05:14	103,73	66	78	173	36	0,54	0,4
24/09/14	18:06:42	103,93	64	75	173	31	0,47	0,44
24/09/14	18:09:31	104,01	63	78	167	20	0,7	0,41
24/09/14	18:11:01	104,25	69	83	191	40	0,65	0,57
24/09/14	18:12:29	104,46	65	87	187	47	0,6	0,49
24/09/14	18:13:59	104,65	62	88	178	64	0,7	0,63
24/09/14	18:20:21	104,66	62	84	161	27	0,61	0,27
24/09/14	18:21:49	104,78	60	94	164	46	0,65	0,41
24/09/14	18:25:22	104,88	9	124	56	92	0,58	0,33
24/09/14	18:26:51	104,96	10	140	102	93	0,61	0,6
24/09/14	18:28:20	105,02	11	147	115	82	0,56	0,52
24/09/14	21:19:53	105,04	14	130	104	14	0,46	0,17
24/09/14	21:21:21	105,02	14	126	103	3	0,36	0,1
24/09/14	21:22:51	105,09	17	148	142	41	0,38	0,28
24/09/14	21:24:20	105,12	15	150	147	34	0,33	0,32
24/09/14	21:25:49	105,15	15	149	147	23	0,3	0,37
24/09/14	21:27:18	105,19	15	153	155	27	0,32	0,4
24/09/14	21:28:46	105,23	9	241	133	29	0,29	0,38
24/09/14	21:30:15	105,27	16	318	119	30	0,3	0,37
24/09/14	21:31:43	105,29	19	302	130	25	0,28	0,34
24/09/14	21:33:12	105,32	17	299	131	23	0,27	0,21
24/09/14	21:34:41	105,36	18	295	131	23	0,33	0,5
24/09/14	21:36:09	105,37	20	287	105	19	0,44	0,27
24/09/14	21:38:12	105,41	17	276	101	18	0,53	0,54
24/09/14	21:39:41	105,42	13	269	111	23	0,57	0,38
24/09/14	21:41:10	105,42	13	273	123	21	0,4	0,25
24/09/14	21:44:55	105,45	5	297	94	15	0,34	0,19
24/09/14	21:46:24	105,48	23	304	136	39	0,47	0,64
24/09/14	21:48:26	105,48	25	292	133	33	0,73	0,58
24/09/14	21:50:55	105,48	38	207	130	23	0,69	0,54
24/09/14	21:52:23	105,48	51	127	139	15	0,67	0,58
24/09/14	21:53:52	105,46	57	156	155	17	0,89	0,77
24/09/14	21:55:21	105,49	61	266	126	19	0,34	0,24
24/09/14	21:56:50	105,5	64	263	131	28	0,41	0,52
24/09/14	21:58:18	105,54	68	260	142	26	0,62	0,85
24/09/14	22:03:00	105,54	57	244	142	23	0,71	0,54
24/09/14	22:04:29	105,52	52	243	132	20	0,69	0,35
24/09/14	22:06:12	105,54	44	241	127	17	0,49	0,32
24/09/14	22:07:41	105,57	71	258	185	21	0,49	0,72
24/09/14	22:09:35	105,57	78	261	186	18	0,84	0,67
24/09/14	22:11:04	105,59	82	257	179	13	0,84	0,98



24/09/14	22:12:32	105,59	82	251	174	15	1,08	0,86
24/09/14	22:14:00	105,59	78	245	165	7	0,95	0,28
24/09/14	22:16:09	105,59	83	67	187	17	0,79	0,62
24/09/14	22:17:54	105,59	33	23	278	11	0,79	0,61
24/09/14	22:19:54	105,59	42	51	136	18	0,76	0,6
24/09/14	22:22:30	105,59	47	83	73	23	0,85	0,71
24/09/14	22:24:43	105,59	48	85	71	20	0,85	0,67
24/09/14	22:26:44	105,59	48	81	69	18	0,8	0,62
24/09/14	22:28:31	105,59	43	71	58	16	0,79	0,61
24/09/14	22:30:00	105,59	39	56	139	43	0,81	0,61
24/09/14	22:31:28	105,58	28	147	280	95	0,7	0,32
24/09/14	22:33:10	105,61	49	142	283	103	0,72	0,62
24/09/14	22:34:39	105,59	38	125	266	81	0,8	0,55
24/09/14	22:36:08	105,61	55	141	276	78	0,59	0,71
24/09/14	22:37:36	105,63	59	138	277	72	0,96	0,74
24/09/14	22:41:43	105,64	47	128	267	48	0,88	0,67
24/09/14	22:43:12	105,64	31	97	120	34	0,9	0,59
24/09/14	22:44:40	105,61	3	260	129	38	0,66	0,4
24/09/14	22:46:09	105,62	3	256	124	32	0,6	0,41
24/09/14	22:47:38	105,62	3	254	121	28	0,58	0,43
24/09/14	23:07:57	105,64	8	252	124	17	0,57	0,36
24/09/14	23:09:26	105,63	9	249	125	9	0,57	0,35
24/09/14	23:10:54	105,64	14	254	134	15	0,54	0,4
24/09/14	23:12:23	105,67	38	273	177	45	0,4	0,37
24/09/14	23:14:07	105,71	31	257	169	23	0,51	0,63
25/09/14	00:01:39	105,71	19	235	119	6	0,71	0,45
25/09/14	00:03:07	105,71	23	239	136	8	0,54	0,29
25/09/14	00:04:36	105,72	28	244	152	7	0,37	0,31
25/09/14	00:06:04	105,73	30	244	156	9	0,39	0,32
25/09/14	00:07:33	105,75	26	241	151	6	0,39	0,34
25/09/14	00:09:01	105,75	28	241	149	6	0,47	0,37
25/09/14	00:10:30	105,76	37	201	155	11	0,47	0,35
25/09/14	00:11:59	105,77	59	208	165	23	0,47	0
25/09/14	00:13:35	105,8	69	216	194	30	0,74	0,64
25/09/14	00:15:04	105,78	58	201	157	19	0,89	0,37
25/09/14	00:16:33	105,8	63	214	186	28	0,53	0,39
25/09/14	00:18:01	105,83	73	222	211	32	0,51	0,39
25/09/14	00:19:31	105,85	27	219	213	25	0,48	0,41
25/09/14	00:21:00	105,87	15	218	217	22	0,48	0,42
25/09/14	00:22:29	105,88	16	215	215	20	0,5	0,42
25/09/14	00:23:58	105,9	24	221	222	29	0,54	0,38
25/09/14	00:25:27	105,92	29	224	224	31	0,53	0,43
25/09/14	00:26:57	105,94	29	224	225	28	0,49	0,4
25/09/14	00:28:26	105,96	32	230	226	25	0,51	0,67
25/09/14	00:29:54	105,98	35	226	227	30	0,52	0,43
25/09/14	00:31:33	106	34	229	226	22	0,59	0,6
25/09/14	00:33:18	106,01	17	206	178	6	0,79	0,59
25/09/14	00:35:10	106,01	16	198	165	5	0,76	0,64

25/09/14	00:37:58	106,01	16	190	165	6	0,85	0,68
25/09/14	00:40:11	106	17	176	153	6	0,79	0,58
25/09/14	00:42:25	106,01	14	185	94	11	0,67	0,41
25/09/14	00:43:54	105,99	16	121	109	12	0,61	0,4
25/09/14	00:45:22	106,01	19	126	133	16	0,53	0,36
25/09/14	00:46:51	106,03	19	187	138	17	0,48	0,43
25/09/14	00:48:20	106,05	19	177	135	13	0,47	0,33
25/09/14	00:49:48	106,06	19	181	130	9	0,47	0,38
25/09/14	00:51:17	106,08	19	179	132	9	0,55	0,64
25/09/14	00:52:45	106,08	19	165	128	2	0,82	0,58
25/09/14	00:54:31	106,08	19	162	124	2	0,78	0,56
25/09/14	00:57:46	106,08	19	162	121	5	0,79	0,57
25/09/14	00:59:15	106,08	19	165	120	9	0,75	0,43
25/09/14	01:00:44	106,08	19	162	117	3	0,54	0,29
25/09/14	01:02:14	106,08	18	162	117	2	0,51	0,29
25/09/14	01:03:43	106,06	18	163	117	3	0,49	0
25/09/14	01:05:12	106,07	20	166	124	11	0,91	0,44
25/09/14	01:06:41	106,11	25	221	173	26	0,58	0,31
25/09/14	01:08:10	106,14	23	221	165	23	0,47	0,35
25/09/14	01:09:38	106,16	23	219	163	18	0,46	0,33
25/09/14	01:11:07	106,18	23	218	163	17	0,46	0,39
25/09/14	01:12:36	106,2	24	218	162	15	0,49	0,41
25/09/14	01:14:04	106,23	23	210	155	7	0,63	0,26
25/09/14	01:15:34	106,23	17	195	144	3	0,54	0,34
25/09/14	01:17:02	106,24	20	206	169	18	0,58	0,41
25/09/14	01:18:31	106,27	27	210	192	22	0,48	0,36
25/09/14	01:19:59	106,29	45	209	209	23	0,46	0,39
25/09/14	01:21:29	106,31	44	205	207	21	0,47	0,47
25/09/14	01:22:58	106,33	45	203	203	18	0,47	0,6
25/09/14	01:24:26	106,35	115	170	257	8	0,48	0,94
25/09/14	01:25:55	106,37	157	144	317	4	0,5	0,39
25/09/14	01:27:24	106,39	150	142	303	3	0,48	0,41
25/09/14	01:28:52	106,41	153	147	305	8	0,5	0,46
25/09/14	01:30:22	106,43	153	148	308	11	0,51	0,71
25/09/14	01:31:50	106,45	156	149	309	13	0,5	0,35
25/09/14	01:33:19	106,47	156	150	303	8	0,48	0,42
25/09/14	01:34:47	106,49	155	151	301	6	0,44	0,89
25/09/14	01:36:16	106,52	158	154	305	9	0,47	1,08
25/09/14	01:37:44	106,54	157	152	307	13	0,49	0,38
25/09/14	01:39:13	106,56	156	152	309	13	0,46	0,33
25/09/14	01:40:41	106,58	155	152	307	10	0,48	0,37
25/09/14	01:42:10	106,6	157	154	305	9	0,46	1,05
25/09/14	01:43:39	106,63	154	155	305	9	0,46	0,56
25/09/14	01:45:07	106,64	149	153	296	4	0,46	0,33
25/09/14	01:46:37	106,66	152	154	298	13	0,45	0,39
25/09/14	01:48:05	106,67	145	150	288	5	0,42	0,35
25/09/14	01:49:34	106,69	144	147	280	6	0,46	0,44
25/09/14	01:51:02	106,71	149	150	295	15	0,51	0,45

25/09/14	01:52:30	106,72	155	155	304	19	0,5	0,99
25/09/14	01:53:59	106,74	155	155	307	19	0,51	1,07
25/09/14	01:55:28	106,77	157	157	309	18	0,51	0,7
25/09/14	01:56:57	106,78	158	158	328	23	0,51	0,55
25/09/14	01:58:25	106,79	150	158	337	31	0,69	0,73
25/09/14	01:59:54	106,81	149	155	320	17	0,65	0,48
25/09/14	02:01:23	106,82	143	149	310	9	0,5	0,36
25/09/14	02:02:51	106,84	145	147	307	10	0,49	0,35
25/09/14	02:04:20	106,87	150	148	310	13	0,53	0,38
25/09/14	02:06:28	106,87	135	134	298	12	0,82	0,61
25/09/14	02:08:23	106,87	123	124	288	13	0,96	0,74
25/09/14	02:11:08	106,87	119	114	274	10	0,85	0,58
25/09/14	02:48:14	106,87	123	116	270	5	0,63	0,39
25/09/14	02:49:43	106,86	126	120	270	4	0,54	0,29
25/09/14	02:51:21	106,91	167	156	327	26	0,71	0,69
25/09/14	02:52:51	106,91	147	134	307	25	1,15	0,94
25/09/14	02:54:54	106,91	132	121	288	16	1,13	0,87
25/09/14	02:56:59	106,91	129	118	284	12	1,08	0,82
25/09/14	02:58:28	106,89	132	121	288	12	0,95	0,61
25/09/14	02:59:57	106,9	127	120	277	4	0,73	0,5
25/09/14	03:01:25	106,93	152	142	307	14	0,54	0,38
25/09/14	03:02:54	106,92	134	98	292	9	0,8	0,41
25/09/14	03:04:23	106,94	149	62	316	12	0,56	0,41
25/09/14	03:05:51	106,95	155	70	323	8	0,47	0,26
25/09/14	03:07:20	106,96	155	65	306	5	0,59	0,27
25/09/14	03:08:49	106,97	159	69	303	3	0,5	0,38
25/09/14	03:10:17	106,99	168	79	317	7	0,62	0,44
25/09/14	03:11:46	107,01	183	92	342	13	0,65	0,57
25/09/14	03:13:15	107,02	175	80	322	4	0,57	0,41
25/09/14	03:14:44	107,02	171	43	302	2	0,77	0,44
25/09/14	03:16:12	107,04	179	54	318	15	0,54	0,41
25/09/14	03:21:06	107,06	172	42	300	10	0,82	0,58
25/09/14	03:23:41	107,06	161	36	287	5	0,91	0,72
25/09/14	03:25:09	107,06	142	25	285	22	0,89	0,59
25/09/14	03:26:38	107,07	142	24	290	19	0,71	0,42
25/09/14	03:28:06	107,09	177	29	347	24	0,57	0,44
25/09/14	03:29:35	107,1	164	27	323	10	0,54	0,45
25/09/14	03:31:04	107,11	144	65	216	61	0,54	0,47
25/09/14	03:32:32	107,13	142	67	226	49	0,76	0,63
25/09/14	03:34:01	107,17	156	89	288	63	0,81	0,99
25/09/14	03:35:29	107,24	145	134	283	56	0,85	0,4
25/09/14	03:36:58	107,41	94	244	236	75	0,81	0,79
25/09/14	03:38:27	107,61	135	212	254	74	1,01	0,96
25/09/14	03:39:55	107,65	119	207	223	65	1,15	0,96
25/09/14	03:41:24	107,74	121	216	223	58	1	0,79
25/09/14	03:42:53	107,85	128	218	235	52	0,93	0,83
25/09/14	03:44:22	107,93	132	214	248	46	0,93	0,86
25/09/14	03:45:50	107,99	134	215	252	41	0,92	0,86

25/09/14	03:47:19	108,04	132	218	232	37	0,91	0,83
25/09/14	03:48:48	108,08	133	227	226	33	0,91	0,84
25/09/14	03:50:17	108,11	121	223	204	30	1,18	0,89
25/09/14	03:51:45	108,14	114	224	188	26	0,89	0,79
25/09/14	03:53:13	108,17	118	230	192	23	0,88	0,76
25/09/14	03:54:42	108,19	117	233	191	18	0,87	0,7
25/09/14	03:56:11	108,22	119	240	199	18	0,89	0,8
25/09/14	03:57:39	108,24	115	239	191	10	0,86	0,73
25/09/14	03:59:08	108,27	119	242	195	12	0,99	0,94
25/09/14	04:01:13	108,27	101	230	170	2	1,09	0,81
25/09/14	04:02:45	108,27	98	226	164	5	1,06	1,02
25/09/14	04:04:24	108,27	93	216	159	6	1,1	0,87
25/09/14	04:05:52	108,27	90	215	168	10	1	1,07
25/09/14	04:07:21	108,3	112	248	213	26	0,87	0,77
25/09/14	04:08:49	108,33	118	253	227	28	0,93	0,75
25/09/14	04:10:18	108,34	114	252	221	22	0,89	0,73
25/09/14	04:11:47	108,35	110	249	210	14	0,77	0,66
25/09/14	04:13:16	108,37	115	252	214	16	0,77	0,67
25/09/14	04:14:44	108,39	120	254	220	18	0,81	0,66
25/09/14	04:16:13	108,41	119	254	219	15	0,78	0,66
25/09/14	04:17:42	108,43	119	251	221	15	0,81	0,93
25/09/14	04:19:11	108,45	121	252	226	17	0,81	0,67
25/09/14	04:21:28	108,48	121	251	222	13	1,11	0,92
25/09/14	04:23:41	108,47	116	238	203	6	1,17	0,91
25/09/14	04:25:38	108,47	103	225	192	4	1,05	0,58
25/09/14	04:27:51	108,47	79	139	132	17	0,96	0,59
25/09/14	04:30:25	108,47	67	85	102	22	1,06	0,73
25/09/14	04:31:54	108,51	88	129	166	21	0,87	1,23
25/09/14	04:34:50	108,52	119	168	245	22	1,13	0,67
25/09/14	04:37:02	108,52	128	133	130	35	0,92	0,65
25/09/14	04:39:06	108,52	111	133	123	29	0,95	0,65
25/09/14	04:41:36	108,52	102	134	119	18	0,91	0,62
25/09/14	06:09:30	108,5	112	138	117	5	0,58	0,29
25/09/14	06:10:58	108,5	117	141	123	7	0,59	0,24
25/09/14	06:12:27	108,5	110	145	114	2	0,46	0,21
25/09/14	06:13:57	108,5	115	40	315	31	0,54	0,45
25/09/14	06:28:02	108,5	122	35	300	16	0,7	0,4
25/09/14	06:29:31	108,52	136	49	320	18	0,62	0,42
25/09/14	06:30:59	108,54	156	72	346	17	0,55	0,42
25/09/14	06:32:28	108,58	161	73	344	16	0,57	0,43
25/09/14	06:33:56	108,6	160	73	342	13	0,56	0,42
25/09/14	06:35:25	108,63	161	74	342	12	0,56	0,43
25/09/14	06:36:53	108,65	195	68	315	22	0,56	0,42
25/09/14	06:38:21	108,67	211	76	271	44	0,54	0,45
25/09/14	06:40:02	108,7	200	86	257	46	0,67	0,54
25/09/14	06:41:31	108,69	191	78	247	31	0,74	0,58
25/09/14	06:42:59	108,72	196	85	262	34	0,59	0,46
25/09/14	06:44:28	108,74	197	85	267	33	0,58	0,43

25/09/14	06:45:56	108,76	199	85	268	29	0,6	0,47
25/09/14	06:47:25	108,78	200	85	272	29	0,59	0,52
25/09/14	06:48:53	108,8	201	85	276	29	0,63	0,58
25/09/14	06:50:21	108,82	201	85	276	26	0,58	0,44
25/09/14	06:51:51	108,84	200	85	277	22	0,54	0,39
25/09/14	06:53:19	108,85	200	84	280	22	0,55	0,42
25/09/14	06:54:49	108,87	201	85	281	20	0,56	0,47
25/09/14	06:56:17	108,89	202	84	282	19	0,55	0,41
25/09/14	06:57:46	108,91	199	82	278	15	0,7	0,58
25.09.2014	07:17:01	108,91	190	79	266	3	0,76	0,47
25.09.2014	07:29:29	108,91	184	78	258	2	0,37	0,03
25.09.2014	07:30:58	108,91	182	78	254	2	0,35	0,14
25.09.2014	07:32:27	108,92	185	81	259	8	0,42	0,45
25.09.2014	07:33:55	108,97	175	228	180	56	0,7	0,29
25.09.2014	07:35:24	109,11	111	322	64	99	0,54	0,68
25.09.2014	07:47:03	109,12	96	286	86	58	0,57	0,22
25.09.2014	07:48:32	109,17	105	288	115	43	0,67	0,46
25.09.2014	07:50:00	109,26	109	293	129	40	0,61	0,46
25.09.2014	07:51:29	109,33	108	295	128	31	0,6	0,5
25.09.2014	07:52:57	109,41	110	297	130	27	0,59	0,5
25.09.2014	07:54:26	109,47	111	301	133	24	0,6	0,49
25.09.2014	07:55:54	109,55	112	301	133	22	0,59	0,71
25.09.2014	08:01:54	109,54	96	294	108	16	0,75	0,43
25.09.2014	08:03:22	109,64	103	302	124	14	0,74	0,79
25.09.2014	08:04:51	109,82	108	300	146	15	0,75	0,42
25.09.2014	08:13:16	110,01	96	251	126	12	0,72	0,39
25.09.2014	08:14:45	110,09	100	249	131	18	0,9	1,15
25.09.2014	08:16:14	110,28	99	238	142	24	0,56	0,39
25.09.2014	08:24:29	110,35	96	225	130	14	0,7	0,5
25.09.2014	08:25:57	110,43	104	236	150	25	0,5	0,38
25.09.2014	08:27:26	110,47	105	235	151	23	0,66	0,63
25.09.2014	08:28:54	110,47	98	229	137	10	0,8	0,55
25.09.2014	08:30:22	110,47	97	228	134	7	0,76	0,53
25.09.2014	08:31:51	110,47	97	227	133	6	0,74	0,47
25.09.2014	08:33:19	110,47	96	227	131	5	0,71	0,42
25.09.2014	08:34:47	110,47	96	227	130	5	0,68	0,4
25.09.2014	08:36:16	110,47	97	226	129	5	0,66	0,4
25.09.2014	08:37:44	110,47	97	225	127	4	0,67	0,44
25.09.2014	08:39:13	110,53	83	213	189	28	0,74	0,53
25.09.2014	08:40:42	110,57	43	181	196	31	0,43	0,43
25.09.2014	08:42:10	110,59	44	177	175	20	0,4	0,33
25.09.2014	08:43:39	110,69	55	196	204	30	0,62	0,53
25.09.2014	08:45:08	110,79	61	205	209	38	0,88	0,82
25.09.2014	08:46:36	110,79	61	192	178	25	1,05	0,77
25.09.2014	08:48:04	110,81	61	190	173	23	1,01	0,72
25.09.2014	08:49:33	110,81	61	190	170	20	0,98	0,7
25.09.2014	08:51:02	110,81	61	189	168	19	0,96	0,69
25.09.2014	08:52:31	110,89	64	195	179	21	0,75	0,43

25.09.2014	08:54:00	111,03	77	209	203	32	0,66	0,55
25.09.2014	08:55:28	111,17	87	218	215	39	0,61	0,52
25.09.2014	08:56:57	111,21	76	211	188	20	0,61	0,77
25.09.2014	08:58:25	111,21	63	205	159	11	0,84	0,73
25.09.2014	08:59:54	111,21	63	204	155	10	0,87	0,74
25.09.2014	09:01:23	111,21	63	204	154	9	0,86	0,73
25.09.2014	09:02:51	111,21	63	204	152	9	0,83	0,55
25.09.2014	09:04:20	111,29	123	327	161	33	0,54	0,6
25.09.2014	09:05:48	111,34	118	352	169	36	0,51	0,47
25.09.2014	09:07:17	111,39	101	339	155	32	0,4	0,48
25.09.2014	09:08:46	111,43	94	335	151	29	0,37	0,47
25.09.2014	09:10:14	111,47	94	331	151	27	0,38	0,48
25.09.2014	09:11:42	111,52	94	328	152	25	0,42	0,62
25.09.2014	09:13:11	111,52	86	322	145	23	0,77	0,67
25.09.2014	09:14:40	111,52	84	320	142	21	0,76	0,65
25.09.2014	09:16:09	111,52	83	320	141	19	0,7	0,6
25.09.2014	09:17:37	111,52	83	319	140	18	0,67	0,59

Analyse:

De laatste kolom geeft de korreldrukken, en bijgevolg ook de steundrukken, tijdens de boring in Maagdenburg weer. Deze steundrukken variëren enorm, met ook een groot aantal niet-representatieve waarden of nulwaarden. Het was dan ook geen optie om hier een statistische analyse op uit te voeren omdat de afwijkingen statistisch gezien geen uitschieters zijn. Doch mag een nulwaarde natuurlijk niet meegenomen worden in de bepaling van de minimaal en maximaal optredende steundruk.

Er is geopteerd om het bereik te beperken tussen het eerste en derde kwartiel. Dit wil zeggen dat de gevonden waarden een bereik weergeven waarin zich 50% van de meetwaarden bevinden, waarvan 25% zich onder het gemiddelde bevindt en 25% boven. Omdat waarschijnlijk slechts de laagste en hoogste 5% van de waarden een afwijking vertonen, wordt een groot deel onterecht niet meegenomen in de berekening. Voor de volledigheid zullen ook deze waarden berekend worden:

50% bereik		90% bereik	
minimaal (Q1)	maximaal (Q3)	minimaal (5%)	maximaal (95%)
0,29	0,5	0,10	1,76

Nu kan van de gekozen database een analyse gemaakt worden om toch een zicht te krijgen op de verdeling van de waarden. Dit kan met behulp van een boxplot. De kwartielen worden bepaald:

		Steekproefvariantie
1	Q1	0,29
0	min	0,00
2	mediaan	0,37
4	max	1,85
3	Q3	0,50

Opmerkelijk is dat de mediaan aan de lage kant ligt, doch vrij goed verdeeld tussen Q1 en Q3. Dit wil zeggen dat de waarden tussen de kwartielen 1 en 3 zo goed als evenredig verdeeld zijn. Merk ook de nulwaarde op als minimum. Deze is echter niet enig! Dit zou een verklaring kunnen zijn voor de relatief lage mediaan. Anderzijds is ook het bereik tussen de mediaan en het maximum veel groter dan tussen de mediaan en het minimum. Dit zou erop kunnen wijzen dat er outliers bestaan aan de kant van de bovengrens.

**Dit is nog geen reële weergave en een onderschatting van de maximale steundruk, alsook een overschatting van de minimale steundruk. De gevonden waarden zijn dan ook eerder ter indicatie, maar de resultaten op basis hiervan moeten met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden.**



## 2. Grondonderzoek Tilburg A

FUGRO GEOSERVICES B.V.



### RAPPORTAGE GEOTECHNISCH VELDWERK

Project	project doorpersing Hasseltstraat te Tilburg	Opdrachtnummer	7014-0056-000
Opdrachtgever	Gemeente Tilburg Ruimtelijke Uitvoering, team contractvorming Postbus 90155 5000 LH Tilburg	Datum rapportage	23 april 2014
		Uitvoeringsperiode	2 tot en met 18 april 2014
Opgesteld door	F. de Valk		
Gecontroleerd door	M. Werner		
Projectleider	ir. E. Vlasblom		
Documentnaam	7014-0056-000_21.KR01.doc		

Deze rapportage bevat de resultaten van het geotechnisch veldwerk dat ten behoeve van bovengenoemd project door Fugro GeoServices B.V. is uitgevoerd. De gerapporteerde resultaten van dit onderzoek mogen slechts worden gehanteerd voor het doel zoals in de opdracht is beschreven.

Tot deze rapportage behoren de volgende bijlagen:

- Situatiekening
- Sonderingen
- Veldboorstaten
- Continu Elektrisch Sonderen
- Legenda Terreinproeven en Grondsoorten

DKMP1 t/m DKMP12  
B6 t/m B11

#### 1. GEOTECHNISCH VELDWERK

Het geotechnisch veldwerk voor dit project heeft bestaan uit:

- 12 sonderingen met meting van de plaatselijke wrijvingsweerstand en met meting van de waterspanning tijdens het sonderen (DKMP);
- 6 mechanische boringen,

Voor een verklaring van de op de situatietekening gebruikte tekens en symbolen wordt verwezen naar de bijlage "Legenda Terreinproeven en Grondsoorten".

#### 2. COORDINATEN EN HOOGTE VAN ONDERZOEKSPUNTEN

De hoogte en de coördinaten van de onderzoekslocaties zijn bepaald in NAP en RD. De maximale afwijking van de meting van de coördinaten bedraagt 10 cm, de maximale afwijking van de meting van de hoogte bedraagt 5 cm.

Tijdens de uitvoering van het onderzoek zijn er puthoogtes ingemeten op NAP +13,59 m (1), NAP +13,52 m (2) en NAP +13,32 m (3).

De bijgevoegde situatietekening is gebruikt voor het aangeven van de onderzoekslocaties.

De hoogtebepaling van de onderzoekslocaties is uitgevoerd met als doel de bodemopbouw te refereren aan een vaste referentiehoogte. Deze gegevens zijn niet geschikt voor andere doeleinden dan dit onderzoek.

7014-0056-000\_21.KR01.doc

Opdr. : 7014-0056-000  
Blz. : 1



### 3. SONDEREN

Het sonderen is uitgevoerd conform de vigerende richtlijnen en de NEN-EN-ISO 22476-1. Een beschrijving van de gevolgde meet- en registratiemethode is gegeven in de bijlage "Continu Elektrisch Sonderen".

In verband met de mogelijke aanwezigheid van kabels en leidingen is ter plaatse van de sondeerlocaties voorgeboord.

### 4. BOREN

Het mechanisch boorwerk is verbuisd uitgevoerd, waarbij de grond uit de buis is verwijderd met behulp van een puls (niet cohesieve gronden, zand, grind) en/of een avegaarboor (cohesieve gronden, klei, veen).

De werkzaamheden zijn uitgevoerd conform de NEN-EN-ISO 22475-1.

Tijdens het boren zijn geroerde monsters genomen en in het veld geïdentificeerd. Als er laboratoriumonderzoek volgt na het veldwerk, worden in het laboratorium de monsters extra gedetailleerd geïdentificeerd. Bij eventuele verschillen tussen de veld- en laboratoriumclassificatie, is de laboratoriumclassificatie bepalend. De classificatie van de grond is uitgevoerd conform NEN 5140.

De in de boorgaten geïnstalleerde peilbuizen zijn geplaatst conform NEN-EN-ISO 22475-1. De filterdiepte, omstorting en afdichting zijn aangegeven op de betreffende boorstaten. De boringen met peilbuis zijn met bijbehorend symbool aangegeven op de situatietekening.

Op basis van de sondeerresultaten is de diepte bepaald van de ongeroerde monsters. De ongeroerde monsternamen bij het mechanisch boren heeft plaatsgevonden door met een slaghamer (Ackermann) een steekbus te slaan. Bij het handboren is dit gebeurd met een Van der Horst steekapparaat. De steekbussen zijn dunwandige metalen bussen met een diameter van 70 mm en een lengte van 400 mm

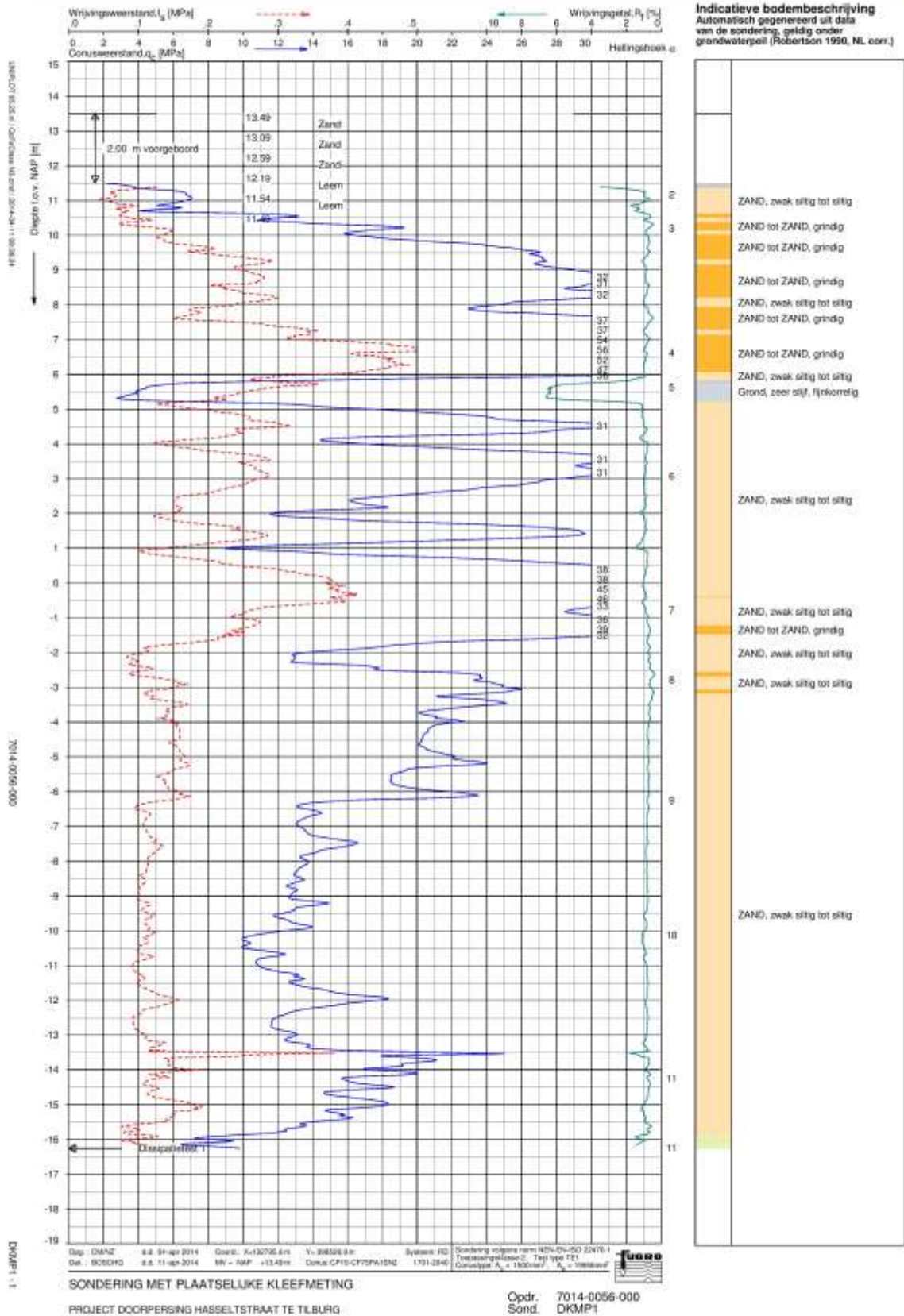
De boringen B1 t/m B5 zijn vervallen.

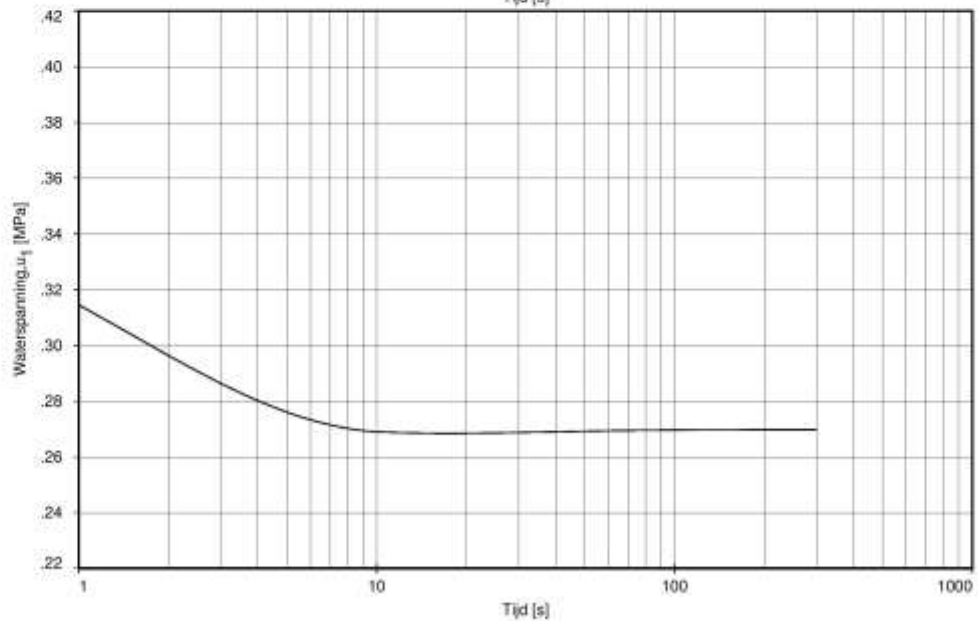
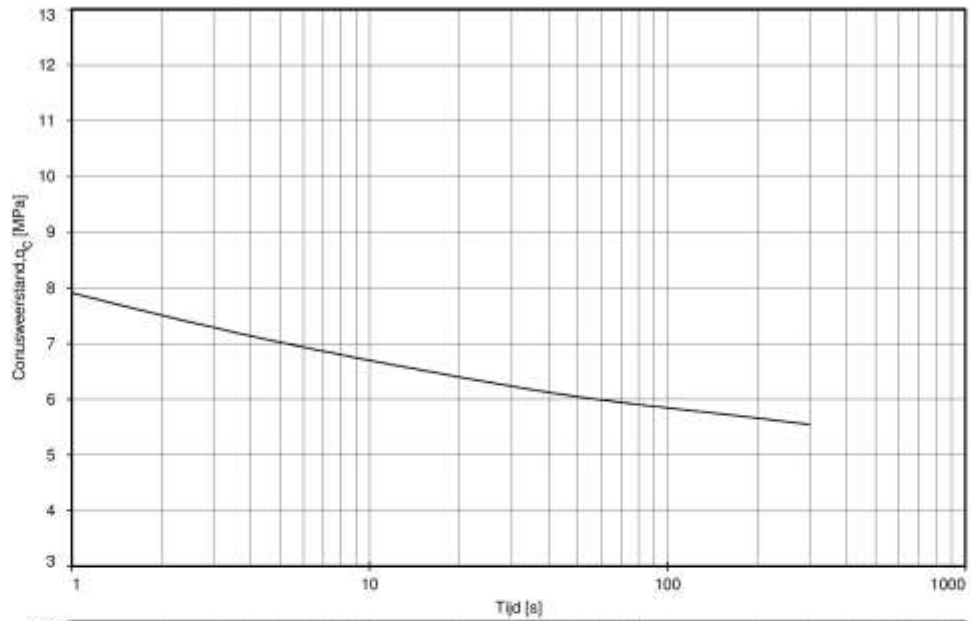
### 5. GRONDWATERSTAND

Tijdens de uitvoering van het grondonderzoek is de grondwaterstand in de recent geplaatste peilbuizen aangetroffen op 1,9 m tot 2,0 m beneden maaiveld, hetgeen overeenkomt met circa NAP +11,6 m tot NAP +11,1 m. Deze grondwaterstand is een eenmalige opname en bedoeld als een oriënterend gegeven. De grondwaterstand kan in de tijd fluctueren onder invloed van de weersgesteldheid en de seizoenen.

### 6. KWALITEITSBORGING

Alle werkzaamheden zijn verricht in overeenstemming met het managementsysteem van Fugro GeoServices B.V. dat voldoet aan de NEN-ISO 9001:2008 en VCA \*\* 2008/05.



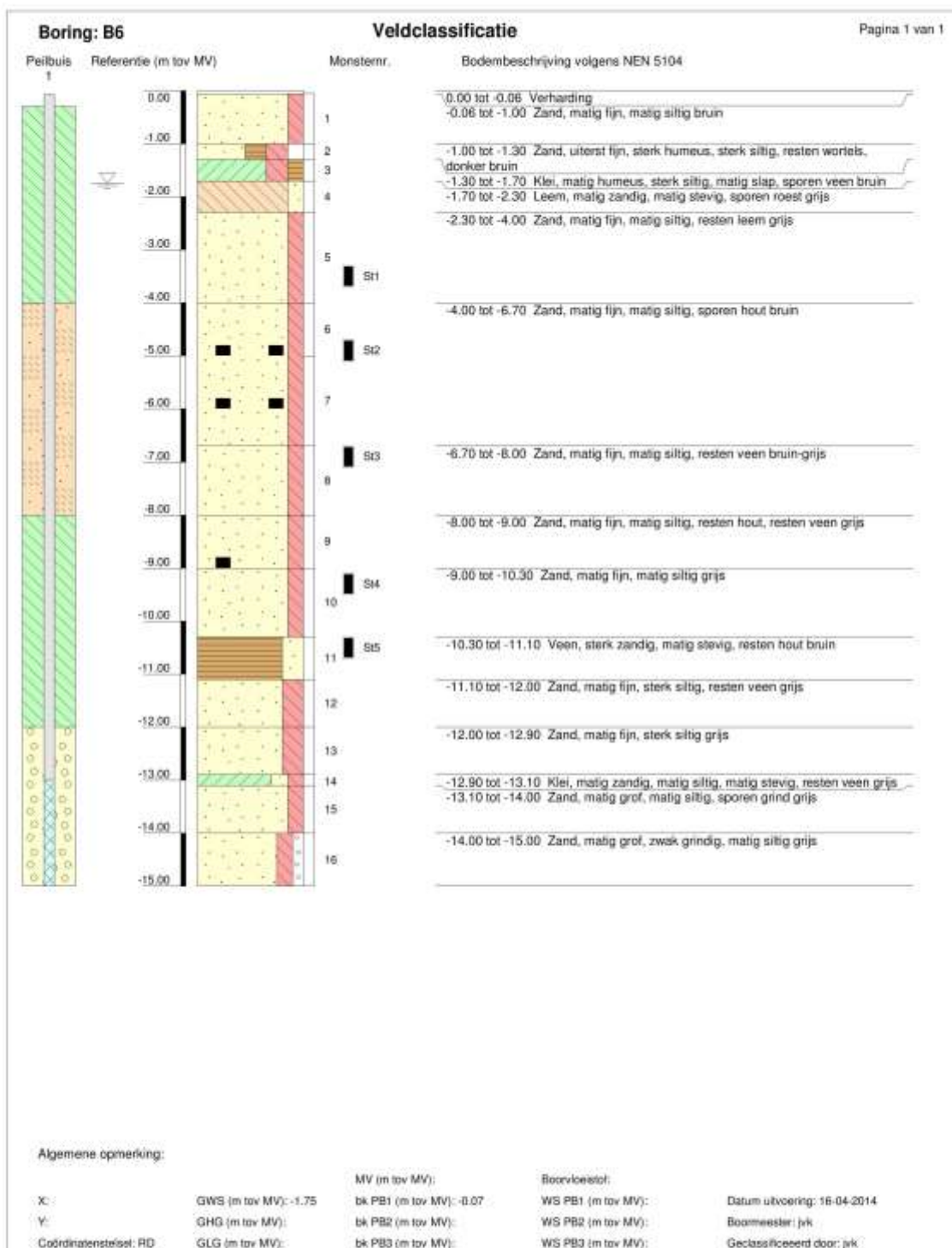


Dissipatietest nummer	: 1		
Dissipatietest diepte	: NAP -16.26	m	MV = NAP +13.49 m
Waterspanning begin dissipatietest	: 0.375	MPa	Opp.: CMNZ d.d. 04-apr-2014
Waterspanning einde dissipatietest	: 0.270	MPa	Get.: BOSCHG d.d. 11-apr-2014

**DISSIPATIETEST**

PROJECT DOORPERSING HASSELTSTRAAT TE TILBURG

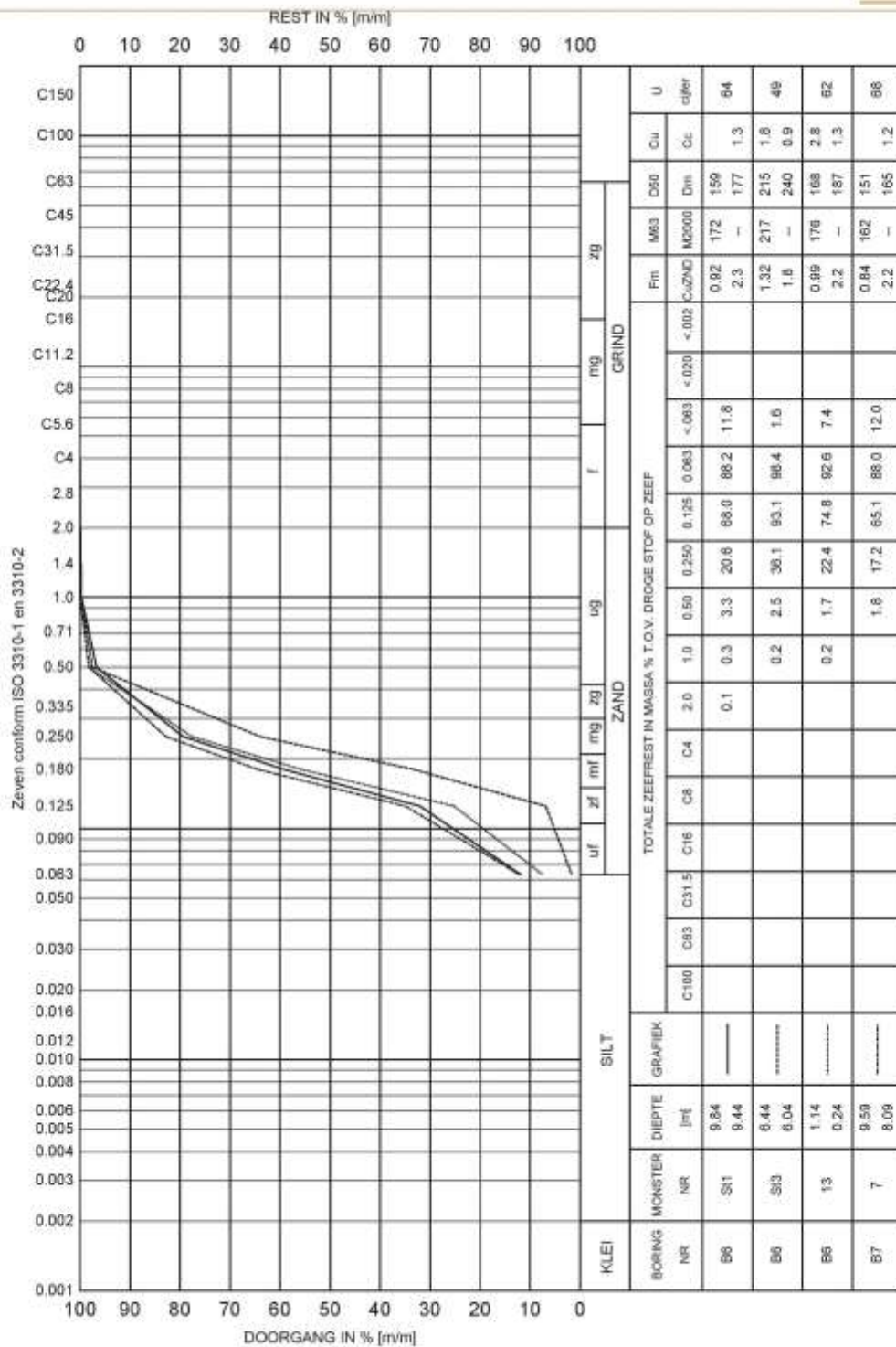
Opdr. 7014-0056-000  
Sond. DKMP1



Versie 2013-05-14







Opm.: Diepte is in meters tov. N.A.P.

L:\05000 - Project Data Distributie 1.2.2008 - Grondwet (over gebied) P\0705.MJ - 08-2014-04-20-03:21:18

## KORRELVERDELINGSDIAGRAM

project doorpersing Hasseltstraat te Tilburg

Opdr. 7014-0056-000

### Grondwaterstanden peilbuizen

7014-0056-000

PROJECT DOORPERSING HASSELTSTRAAT TE TILBURG

Gegevens peilbuizen in m tov NAP						
peilbuis	B6	B7	B8	B9	B10	B11
datum hoogtemeting	2-apr-2014	2-apr-2014	2-apr-2014	2-apr-2014	2-apr-2014	2-apr-2014
maaiveld hoogte ca.	+13,19	+13,08	+13,12	+13,48	+13,40	+13,50
bovenkant peilbuis	+13,14	+12,99	+13,08	+13,43	+13,33	+13,48
onderkant peilbuis ca.	-2,11	+3,35	+5,57	-0,87	+6,73	-1,62

Gemeten grondwaterstanden in m tov NAP							
datum	tijdstip	B6	B7	B8	B9	B10	B11 <sup>1)</sup>
02-mei-2014	09:50	+11,27	+11,31	+11,31	+11,32	+11,39	+11,40
16-mei-2014	13:20	+11,32	+11,37	+11,38	+11,37	+11,45	+11,45
02-jun-2014	10:14	+11,38	+11,43	+11,43	+11,44	+11,51	+11,51
13-jun-2014	10:05	+11,36	+11,40	+11,41	+11,40	+11,47	+11,47
26-jun-2014	13:05	+11,20	+11,25	+11,24	+11,23	+11,33	+11,35
14-jul-2014	12:35	+11,19	+11,23	+11,23	+11,22	+11,32	+11,32
01-aug-2014	10:50	+11,51	+11,61	+11,63	+11,55	+11,65	+11,63
15-aug-2014	10:08	+11,41	+11,46	+11,47	+11,45	+11,53	+11,53
01-sep-2014	07:06	+11,60	+11,65	+11,66	+11,69	+12,01	+11,89
17-sep-2014	11:10	+11,43	+11,48	+11,47	+11,46	+11,62	+11,56
06-okt-2014	09:25	+11,27	+11,30	+11,32	+11,31	+11,40	+11,40
23-okt-2014	10:55	+11,23	+11,28	+11,29	+11,27	+11,34	--
14-nov-2014	11:26	+11,32	+11,36	+11,36	+11,35	+11,42	--
28-nov-2014	09:50	+11,35	+11,39	+11,39	+11,38	+11,46	--
16-dec-2014	10:22	+11,43	+11,46	+11,47	+11,46	+11,54	--

<sup>1)</sup> Peilbuis B11 door riolerings- en graafwerkzaamheden niet meer vindbaar  
 -- geen meetwaarden, peilbuis verdwenen

### 3. Zettingsmetingen Maagdenburg

Messung-Nr.	1		2				3			
Messung	<i>Nullmessung</i>		<i>Begleitmessung</i>				<i>Begleitmessung</i>			
Datum / Uhrzeit	17.10.2014		30.10.2014 8:00 Uhr				30.10.2014 16:00 Uhr			
Temp. / Wetter	14°C, Regen, leichter Wind		9°C, bewölkt, kein Wind				10°C, bewölkt, kein Wind			
Punktnr.	Querrichtung	Höhe	Querrichtung	Höhe	Veränder.		Querrichtung	Höhe	Veränder.	
	ng		ng		Δ Q	Δ H	ng		Δ Q	Δ H
					mm	mm			mm	mm
13.01	-604	55,451	-605	55,449	-1	-2	-606	55,448	-2	-3
13.02	-604	55,452	-605	55,450	-1	-2	-606	55,449	-2	-3
13.03	-737	55,458	-740	55,456	-3	-2	-738	55,456	-1	-2
13.04	-737	55,458	-740	55,457	-3	-1	-738	55,457	-1	-1
13.05	-874	55,458	-876	55,455	-2	-3	-874	55,456	0	-2
13.06	-874	55,456	-876	55,455	-2	-1	-874	55,455	0	-1
13.07	-1011	55,459	-1012	55,457	-1	-2	-1010	55,457	1	-2
13.08	-1011	55,457	-1012	55,456	-1	-1	-1010	55,456	1	-1
13.09	-1147	55,460	-1149	55,459	-2	-1	-1147	55,459	0	-1
13.10	-1147	55,457	-1149	55,456	-2	-1	-1147	55,456	0	-1
13.11	-1285	55,460	-1286	55,459	-1	-1	-1284	55,458	1	-2
13.12	-1285	55,455	-1286	55,454	-1	-1	-1284	55,454	1	-1
13.13	-1419	55,462	-1421	55,460	-2	-2	-1419	55,460	0	-2
13.14	-1419	55,457	-1421	55,456	-2	-1	-1419	55,456	0	-1
13.15	-1540	55,460	-1543	55,459	-3	-1	-1542	55,459	-2	-1
13.16	-1540	55,455	-1543	55,454	-3	-1	-1542	55,454	-2	-1
13.17	-1650	55,455	-1650	55,454	0	-1	-1652	55,454	-2	-1
13.18	-1650	55,451	-1650	55,450	0	-1	-1652	55,450	-2	-1
13.19	-1748	55,450	-1745	55,449	3	-1	-1746	55,449	2	-1
13.20	-1748	55,446	-1745	55,445	3	-1	-1746	55,445	2	-1
13.21	-1835	55,441	-1836	55,441	-1	0	-1834	55,441	1	0
13.22	-1835	55,436	-1836	55,435	-1	-1	-1834	55,436	1	0
13.23	-1910	55,432	-1910	55,431	0	-1	-1910	55,431	0	-1
13.24	-1910	55,426	-1910	55,425	0	-1	-1910	55,425	0	-1
13.25	-1974	55,422	-1973	55,422	1	0	-1972	55,422	2	0
13.26	-1974	55,417	-1973	55,416	1	-1	-1972	55,416	2	-1
13.27 (KP)	-2025	55,412	-2025	55,412	0	0	-2021	55,411	4	-1
13.28 (KP)	-2025	55,408	-2025	55,407	0	-1	-2021	55,406	4	-2
13.29	-2060	55,399	-2060	55,399	0	0	-2059	55,398	1	-1
13.30	-2060	55,395	-2060	55,394	0	-1	-2059	55,394	1	-1
13.31	-2085	55,385	-2084	55,385	1	0	-2084	55,385	1	0
13.32	-2085	55,381	-2084	55,380	1	-1	-2084	55,380	1	-1
13.33	-2090	55,373	-2091	55,372	-1	-1	-2090	55,372	0	-1
13.34	-2090	55,366	-2091	55,366	-1	0	-2090	55,366	0	0
13.35	-2078	55,358	-2076	55,358	2	0	-2076	55,358	2	0
13.36	-2078	55,352	-2076	55,352	2	0	-2076	55,352	2	0
13.37	-2048	55,347	-2047	55,346	1	-1	-2047	55,347	1	0
13.38	-2048	55,342	-2047	55,341	1	-1	-2047	55,342	1	0
13.39	-2003	55,331	-2001	55,330	2	-1	-2001	55,331	2	0
13.40	-2003	55,327	-2001	55,326	2	-1	-2001	55,326	2	-1
13.41	-1937	55,316	-1936	55,315	1	-1	-1938	55,316	-1	0
13.42	-1937	55,312	-1936	55,311	1	-1	-1938	55,311	-1	-1
13.43	-1856	55,301	-1855	55,300	1	-1	-1856	55,300	0	-1
13.44	-1856	55,296	-1855	55,296	1	0	-1856	55,296	0	0
13.45	-1756	55,285	-1757	55,284	-1	-1	-1756	55,284	0	-1
13.46	-1756	55,280	-1757	55,279	-1	-1	-1756	55,279	0	-1
13.47	-1638	55,274	-1637	55,273	1	-1	-1638	55,273	0	-1
13.48	-1638	55,268	-1637	55,267	1	-1	-1638	55,268	0	0
13.49	-1502	55,265	-1503	55,264	-1	-1	-1503	55,263	-1	-2
13.50	-1502	55,260	-1503	55,259	-1	-1	-1503	55,259	-1	-1
13.51	-1347	55,252	-1346	55,251	1	-1	-1347	55,251	0	-1
13.52	-1347	55,248	-1346	55,246	1	-2	-1347	55,247	0	-1
13.53	-1177	55,241	-1176	55,240	1	-1	-1175	55,240	2	-1
13.54	-1177	55,237	-1176	55,236	1	-1	-1175	55,236	2	-1
13.55	-988	55,223	-986	55,222	2	-1	-986	55,222	2	-1
13.56	-988	55,220	-986	55,218	2	-2	-986	55,219	2	-1
<b>mittlerer Fehler der Veränderungen</b>					<b>0,3</b>	<b>-0,9</b>			<b>0,7</b>	<b>-0,8</b>



Lagesystem : GK\_RD83  
 (EC1) Höhensystem :

Messung-Nr.	1		4				5			
Messung	Nullmessung		Begleitmessung				Begleitmessung			
Datum / Uhrzeit	17.10.2014		03.11.2014 16:00 Uhr				04.11.2014 08:00 Uhr			
Temp. / Wetter	14°C, Regen, leichter Wind		15°C, bedeckt, leichter Wind				12°C, bedeckt, leichter Wind			
Punktnr.	Querrichtung	Höhe	Querrichtung	Höhe	Veränder.		Querrichtung	Höhe	Veränder.	
					$\Delta Q$	$\Delta H$			$\Delta Q$	$\Delta H$
					in	in			in	in
					mm	mm			mm	mm
13.01	-604	55,451	-602	55,449	2	-2	-605	55,449	-1	-2
13.02	-604	55,452	-602	55,450	2	-2	-605	55,450	-1	-2
13.03	-737	55,458	-738	55,457	-1	-1	-740	55,457	-3	-1
13.04	-737	55,458	-738	55,457	-1	-1	-740	55,457	-3	-1
13.05	-874	55,458	-873	55,456	1	-2	-877	55,456	-3	-2
13.06	-874	55,456	-873	55,455	1	-1	-877	55,455	-3	-1
13.07	-1011	55,459	-1011	55,458	0	-1	-1012	55,458	-1	-1
13.08	-1011	55,457	-1011	55,456	0	-1	-1012	55,456	-1	-1
13.09	-1147	55,460	-1147	55,459	0	-1	-1149	55,459	-2	-1
13.10	-1147	55,457	-1147	55,456	0	-1	-1149	55,456	-2	-1
13.11	-1285	55,460	-1284	55,459	1	-1	-1286	55,458	-1	-2
13.12	-1285	55,455	-1284	55,455	1	0	-1286	55,454	-1	-1
13.13	-1419	55,462	-1419	55,461	0	-1	-1419	55,460	0	-2
13.14	-1419	55,457	-1419	55,456	0	-1	-1419	55,456	0	-1
13.15	-1540	55,460	-1542	55,460	-2	0	-1542	55,460	-2	0
13.16	-1540	55,455	-1542	55,454	-2	-1	-1542	55,454	-2	-1
13.17	-1650	55,455	-1649	55,455	1	0	-1649	55,455	1	0
13.18	-1650	55,451	-1649	55,450	1	-1	-1649	55,450	1	-1
13.19	-1748	55,450	-1747	55,449	1	-1	-1748	55,449	0	-1
13.20	-1748	55,446	-1747	55,445	1	-1	-1748	55,445	0	-1
13.21	-1835	55,441	-1834	55,441	1	0	-1836	55,441	-1	0
13.22	-1835	55,436	-1834	55,436	1	0	-1836	55,436	-1	0
13.23	-1910	55,432	-1908	55,431	2	-1	-1910	55,431	0	-1
13.24	-1910	55,426	-1908	55,425	2	-1	-1910	55,424	0	-2
13.25	-1974	55,422	-1972	55,420	2	-2	-1972	55,420	2	-2
13.26	-1974	55,417	-1972	55,414	2	-3	-1972	55,414	2	-3
13.27 (KP)	-2025	55,412	-2024	55,408	1	-4	-2024	55,407	1	-5
13.28 (KP)	-2025	55,408	-2024	55,403	1	-5	-2024	55,402	1	-6
13.29	-2060	55,399	-2060	55,396	0	-3	-2060	55,396	0	-3
13.30	-2060	55,395	-2060	55,391	0	-4	-2060	55,390	0	-5
13.31	-2085	55,385	-2083	55,384	2	-1	-2084	55,384	1	-1
13.32	-2085	55,381	-2083	55,379	2	-2	-2084	55,379	1	-2
13.33	-2090	55,373	-2089	55,372	1	-1	-2089	55,372	1	-1
13.34	-2090	55,366	-2089	55,366	1	0	-2089	55,366	1	0
13.35	-2078	55,358	-2075	55,357	3	-1	-2077	55,358	1	0
13.36	-2078	55,352	-2075	55,352	3	0	-2077	55,352	1	0
13.37	-2048	55,347	-2047	55,347	1	0	-2047	55,347	1	0
13.38	-2048	55,342	-2047	55,342	1	0	-2047	55,342	1	0
13.39	-2003	55,331	-2001	55,331	2	0	-2002	55,331	1	0
13.40	-2003	55,327	-2001	55,326	2	-1	-2002	55,326	1	-1
13.41	-1937	55,316	-1938	55,316	-1	0	-1938	55,316	-1	0
13.42	-1937	55,312	-1938	55,311	-1	-1	-1938	55,311	-1	-1
13.43	-1856	55,301	-1856	55,301	0	0	-1857	55,300	-1	-1
13.44	-1856	55,296	-1856	55,295	0	-1	-1857	55,296	-1	0
13.45	-1756	55,285	-1757	55,284	-1	-1	-1756	55,284	0	-1
13.46	-1756	55,280	-1757	55,279	-1	-1	-1756	55,279	0	-1
13.47	-1638	55,274	-1638	55,273	0	-1	-1639	55,273	-1	-1
13.48	-1638	55,268	-1638	55,268	0	0	-1639	55,268	-1	0
13.49	-1502	55,265	-1502	55,264	0	-1	-1502	55,264	0	-1
13.50	-1502	55,260	-1502	55,259	0	-1	-1502	55,259	0	-1
13.51	-1347	55,252	-1347	55,252	0	0	-1347	55,251	0	-1
13.52	-1347	55,248	-1347	55,247	0	-1	-1347	55,247	0	-1
13.53	-1177	55,241	-1176	55,241	1	0	-1177	55,240	0	-1
13.54	-1177	55,237	-1176	55,237	1	0	-1177	55,237	0	0
13.55	-988	55,223	-990	55,222	-2	-1	-987	55,222	1	-1
13.56	-988	55,220	-990	55,219	-2	-1	-987	55,219	1	-1
<b>mittlerer Fehler der Veränderungen</b>					<b>0,6</b>	<b>-1,0</b>			<b>0,1</b>	<b>-1,2</b>

Lagesystem : GK\_RD83  
 (EC1) Höhensystem :

Messung-Nr.	1		6				7			
Messung	Nullmessung		Begleitmessung				Begleitmessung			
Datum / Uhrzeit	17.10.2014		04.11.2014 18:00 Uhr				05.11.2014 08:00 Uhr			
Temp. / Wetter	14°C, Regen, leichter Wind		7°C, bedeckt, leichter Wind				10°C, bedeckt, leichter Wind			
Punktnr.	Querrichtung	Höhe	Querrichtung	Höhe	Veränder.		Querrichtung	Höhe	Veränder.	
	u ng		u ng		Δ Q	Δ H	u ng		Δ Q	Δ H
					in	in			in	in
					mm	mm			mm	mm
13.01	-604	55,451		55,449		-2	-604	55,449	0	-2
13.02	-604	55,452		55,450		-2	-604	55,449	0	-3
13.03	-737	55,458		55,457		-1	-739	55,456	-2	-2
13.04	-737	55,458		55,457		-1	-739	55,457	-2	-1
13.05	-874	55,458		55,456		-2	-875	55,456	-1	-2
13.06	-874	55,456		55,455		-1	-875	55,454	-1	-2
13.07	-1011	55,459		55,458		-1	-1010	55,457	1	-2
13.08	-1011	55,457		55,456		-1	-1010	55,456	1	-1
13.09	-1147	55,460		55,459		-1	-1148	55,459	-1	-1
13.10	-1147	55,457		55,456		-1	-1148	55,455	-1	-2
13.11	-1285	55,460		55,458		-2	-1284	55,458	1	-2
13.12	-1285	55,455		55,455		0	-1284	55,454	1	-1
13.13	-1419	55,462		55,460		-2	-1419	55,460	0	-2
13.14	-1419	55,457		55,456		-1	-1419	55,456	0	-1
13.15	-1540	55,460		55,459		-1	-1543	55,460	-3	0
13.16	-1540	55,455		55,454		-1	-1543	55,454	-3	-1
13.17	-1650	55,455		55,455		0	-1650	55,455	0	0
13.18	-1650	55,451		55,450		-1	-1650	55,450	0	-1
13.19	-1748	55,450		55,449		-1	-1748	55,449	0	-1
13.20	-1748	55,446		55,445		-1	-1748	55,445	0	-1
13.21	-1835	55,441		55,441		0	-1835	55,441	0	0
13.22	-1835	55,436		55,436		0	-1835	55,436	0	0
13.23	-1910	55,432		55,431		-1	-1909	55,431	1	-1
13.24	-1910	55,426		55,425		-1	-1909	55,425	1	-1
13.25	-1974	55,422		55,419		-3	-1973	55,419	1	-3
13.26	-1974	55,417		55,414		-3	-1973	55,413	1	-4
13.27 (KP)	-2025	55,412		55,407		-5	-2025	55,407	0	-5
13.28 (KP)	-2025	55,408		55,402		-6	-2025	55,401	0	-7
13.29	-2060	55,399		55,396		-3	-2060	55,395	0	-4
13.30	-2060	55,395		55,390		-5	-2060	55,390	0	-5
13.31	-2085	55,385		55,384		-1	-2084	55,384	1	-1
13.32	-2085	55,381		55,379		-2	-2084	55,379	1	-2
13.33	-2090	55,373		55,371		-2	-2088	55,372	2	-1
13.34	-2090	55,366		55,366		0	-2088	55,366	2	0
13.35	-2078	55,358		55,357		-1	-2076	55,357	2	-1
13.36	-2078	55,352		55,351		-1	-2076	55,352	2	0
13.37	-2048	55,347		55,346		-1	-2047	55,347	1	0
13.38	-2048	55,342		55,341		-1	-2047	55,341	1	-1
13.39	-2003	55,331		55,331		0	-2001	55,331	2	0
13.40	-2003	55,327		55,326		-1	-2001	55,326	2	-1
13.41	-1937	55,316		55,316		0	-1937	55,316	0	0
13.42	-1937	55,312		55,311		-1	-1937	55,311	0	-1
13.43	-1856	55,301		55,300		-1	-1855	55,300	1	-1
13.44	-1856	55,296		55,296		0	-1855	55,296	1	0
13.45	-1756	55,285		55,284		-1	-1755	55,284	1	-1
13.46	-1756	55,280		55,279		-1	-1755	55,279	1	-1
13.47	-1638	55,274		55,273		-1	-1637	55,273	1	-1
13.48	-1638	55,268		55,268		0	-1637	55,268	1	0
13.49	-1502	55,265		55,264		-1	-1502	55,264	0	-1
13.50	-1502	55,260		55,259		-1	-1502	55,259	0	-1
13.51	-1347	55,252		55,251		-1	-1346	55,251	1	-1
13.52	-1347	55,248		55,247		-1	-1346	55,247	1	-1
13.53	-1177	55,241		55,240		-1	-1174	55,240	3	-1
13.54	-1177	55,237		55,236		-1	-1174	55,237	3	0
13.55	-988	55,223		55,222		-1	-984	55,222	4	-1
13.56	-988	55,220		55,219		-1	-984	55,219	4	-1
<b>mittlerer Fehler der Veränderungen</b>						<b>-1,3</b>			<b>0,8</b>	<b>-1,3</b>

Messung-Nr.	1		8				9			
Messung	Nullmessung		Begleitmessung				Begleitmessung			
Datum / Uhrzeit	17.10.2014		05.11.2014 18:00 Uhr				06.11.2014 08:00 Uhr			
Temp. / Wetter	14°C, Regen, leichter Wind		9°C, leichter Regen, kein Wind				8°C, bewölkt, kein Wind			
Punktnr.	Querrichtung	Höhe	Querrichtung	Höhe	Veränderung		Querrichtung	Höhe	Veränderung	
					$\Delta Q$ in	$\Delta H$ in mm			$\Delta Q$ in	$\Delta H$ in mm
13.0	-604	55,451		55,449		-2	-603	55,450	1	-1
13.0	-604	55,452		55,450		-2	-603	55,450	1	-2
13.0	-737	55,458		55,456		-2	-738	55,457	-1	-1
13.0	-737	55,458		55,457		-1	-738	55,457	-1	-1
13.0	-874	55,458		55,456		-2	-874	55,456	0	-2
13.0	-874	55,456		55,455		-1	-874	55,455	0	-1
13.0	-1011	55,459		55,458		-1	-1010	55,458	1	-1
13.0	-1011	55,457		55,456		-1	-1010	55,456	1	-1
13.0	-1147	55,460		55,459		-1	-1147	55,459	0	-1
13.1	-1147	55,457		55,456		-1	-1147	55,456	0	-1
13.1	-1285	55,460		55,458		-2	-1286	55,458	-1	-2
13.1	-1285	55,455		55,455		0	-1286	55,455	-1	0
13.1	-1419	55,462		55,460		-2	-1419	55,460	0	-2
13.1	-1419	55,457		55,456		-1	-1419	55,456	0	-1
13.1	-1540	55,460		55,460		0	-1541	55,459	-1	-1
13.1	-1540	55,455		55,454		-1	-1541	55,454	-1	-1
13.1	-1650	55,455		55,455		0	-1648	55,455	2	0
13.1	-1650	55,451		55,450		-1	-1648	55,450	2	-1
13.1	-1748	55,450		55,449		-1	-1746	55,449	2	-1
13.2	-1748	55,446		55,445		-1	-1746	55,445	2	-1
13.2	-1835	55,441		55,441		0	-1835	55,441	0	0
13.2	-1835	55,436		55,436		0	-1835	55,436	0	0
13.2	-1910	55,432		55,431		-1	-1909	55,431	1	-1
13.2	-1910	55,426		55,425		-1	-1909	55,425	1	-1
13.2	-1974	55,422		55,419		-3	-1972	55,420	2	-2
13.2	-1974	55,417		55,414		-3	-1972	55,414	2	-3
13.27 (KP)	-2025	55,412		55,407		-5	-2024	55,407	1	-5
13.28 (KP)	-2025	55,408		55,401		-7	-2024	55,401	1	-7
13.2	-2060	55,399		55,395		-4	-2060	55,395	0	-4
13.3	-2060	55,395		55,390		-5	-2060	55,390	0	-5
13.3	-2085	55,385		55,384		-1	-2083	55,384	2	-1
13.3	-2085	55,381		55,379		-2	-2083	55,379	2	-2
13.3	-2090	55,373		55,372		-1	-2089	55,372	1	-1
13.3	-2090	55,366		55,366		0	-2089	55,366	1	0
13.3	-2078	55,358		55,357		-1	-2078	55,358	0	0
13.3	-2078	55,352		55,352		0	-2078	55,352	0	0
13.3	-2048	55,347		55,347		0	-2048	55,347	0	0
13.3	-2048	55,342		55,342		0	-2048	55,342	0	0
13.3	-2003	55,331		55,331		0	-2003	55,331	0	0
13.4	-2003	55,327		55,326		-1	-2003	55,326	0	-1
13.4	-1937	55,316		55,316		0	-1938	55,316	-1	0
13.4	-1937	55,312		55,311		-1	-1938	55,311	-1	-1
13.4	-1856	55,301		55,300		-1	-1857	55,301	-1	0
13.4	-1856	55,296		55,296		0	-1857	55,296	-1	0
13.4	-1756	55,285		55,284		-1	-1759	55,284	-3	-1
13.4	-1756	55,280		55,280		0	-1759	55,279	-3	-1
13.4	-1638	55,274		55,273		-1	-1639	55,273	-1	-1
13.4	-1638	55,268		55,268		0	-1639	55,268	-1	0
13.4	-1502	55,265		55,264		-1	-1504	55,264	-2	-1
13.5	-1502	55,260		55,259		-1	-1504	55,259	-2	-1
13.5	-1347	55,252		55,251		-1	-1348	55,251	-1	-1
13.5	-1347	55,248		55,247		-1	-1348	55,247	-1	-1
13.5	-1177	55,241		55,240		-1	-1176	55,240	1	-1
13.5	-1177	55,237		55,237		0	-1176	55,236	1	-1
13.5	-988	55,223		55,222		-1	-986	55,222	2	-1
13.5	-988	55,220		55,219		-1	-986	55,219	2	-1
<b>mittlerer Fehler der Veränderungen</b>						<b>-1,2</b>			<b>0,1</b>	<b>-1,2</b>

## 4. VBA-code rapport

```
Sub Bereken_Klikken()  
  
Dim Kmin As Double  
Dim Kmax As Double  
Dim Gmin As Double  
Dim Gmax As Double  
Dim Amin As Double  
Dim Amax As Double  
  
Kmin = Range("D47").Value + Range("K24").Value  
Range("D55").Value = Kmin  
  
Kopt = Range("D49").Value + Range("K24").Value  
Range("D57").Value = Kopt  
  
Kmax = Range("D51").Value + Range("K24").Value  
Range("D59").Value = Kmax  
  
Dim K As Double  
Dim G As Double  
Dim P As Double  
Dim B As Integer  
Dim phi As Integer  
Dim D As Double  
Dim E As Double  
  
Gmin = Range("H51").Value / ((Range("E8").Value) ^ 2)  
Range("H55").Value = Gmin  
  
Gmax = Range("K22").Value + (Range("E14").Value - Range("E16").Value) * 9.81  
Range("H59").Value = Gmax  
  
Amin = Range("L49").Value + Range("L47").Value - Range("L51").Value  
X = Amin / (3.1415 * ((Range("E8").Value) / 2) ^ 2)  
Range("L55").Value = X  
  
Amax = Range("K22").Value + (Range("E14").Value - Range("E16").Value) * 9.81  
Range("L59").Value = Amax  
  
End Sub
```

---

```
Sub Controle_Klikken()  
  
If Range("E10").Value = "" Then  
    Range("E22").Interior.ColorIndex = 3  
  
ElseIf Range("E22").Value >= 1.5 Then  
    Range("E22").Interior.ColorIndex = 4  
  
Else  
    Range("E22").Interior.ColorIndex = 3  
  
End If  
  
End Sub
```

```

Sub Annuleer_Klikken()

Kmin = Range("D47").Value + Range("K24").Value
Range("D55").Value = ""

Kopt = Range("D49").Value + Range("K24").Value
Range("D57").Value = ""

Kmax = Range("D51").Value + Range("K24").Value
Range("D59").Value = ""

Gmin = Range("H51").Value / ((Range("E8").Value) ^ 2)
Range("H55").Value = ""

Gmax = Range("K22").Value + (Range("E14").Value - Range("E16").Value) * 9.81
Range("H59").Value = ""

Amin = Range("L49").Value + Range("L47").Value - Range("L51").Value
X = Amin / (3.1415 * ((Range("E8").Value) / 2) ^ 2)
Range("L55").Value = ""

Amax = Range("K22").Value + (Range("E14").Value - Range("E16").Value) * 9.81
Range("L59").Value = ""

End Sub

```

# Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:  
**Studie van de geologische stabiliteit bij microtunnels op basis van theoretische modellen**

Richting: **master in de industriële wetenschappen: bouwkunde**  
Jaar: **2017**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

**Kellens, Kobe**

Datum: **13/06/2017**