

Jet grouting afdichtingslaag
Jet grouting bottom plug
Écran horizontal étanche
réalisé par jet grouting

BGGG webinar *Horizontale waterremmende schermen – Jetgroutvloeren*

Webinar GBMS – *Ecrans horizontaux étanches – jet grouting*

Nicolas Denies & Noël Huybrechts



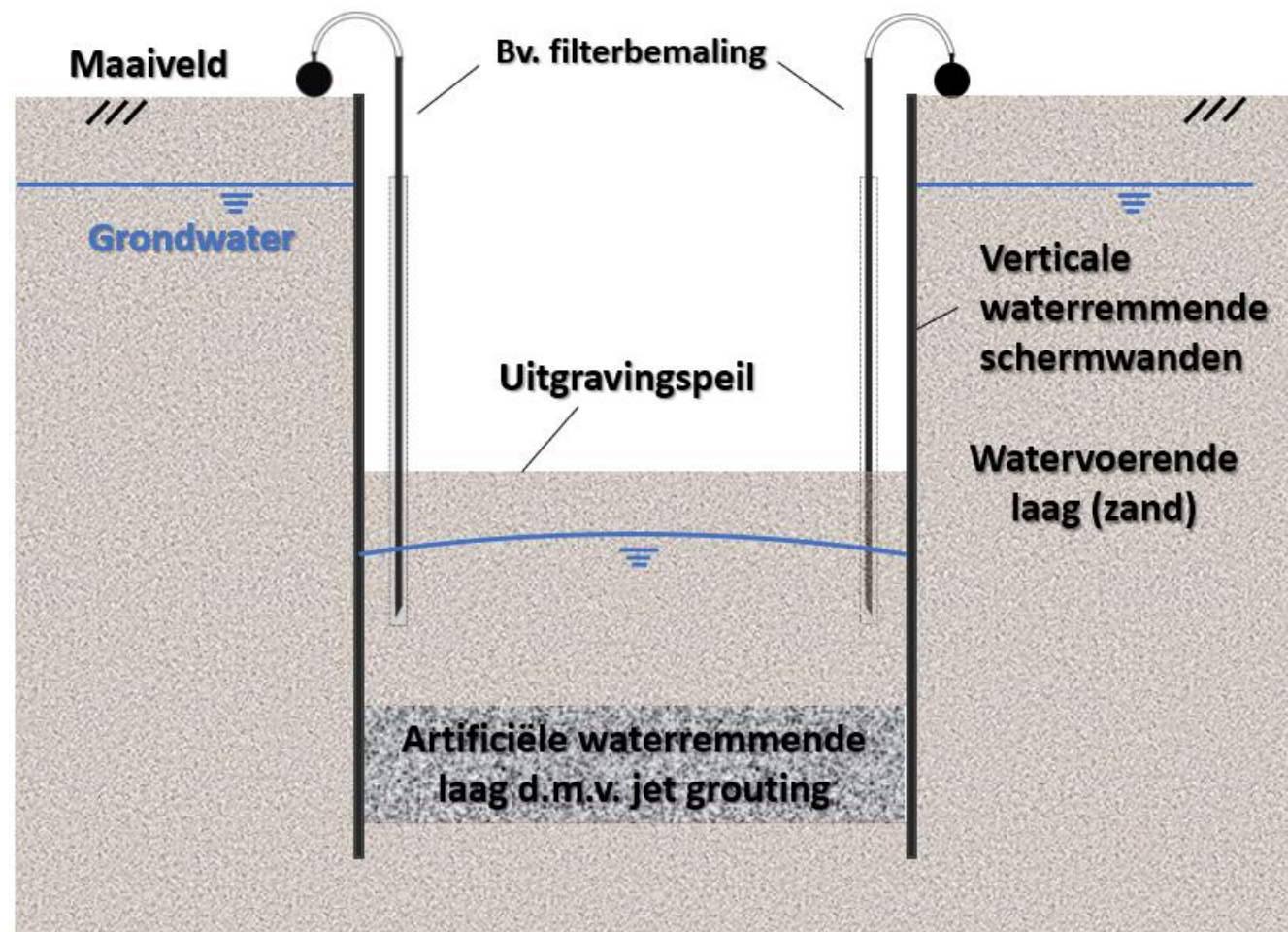
Buildwise

met dank aan Jan Maertens, Peter De Vleeschauwer en Kristof Van Royen voor de aangeleverde informatie

Hydraulische isolatie van de bouwput

Met de **hydraulische isolatie van de bouwput** zal de toestroom van grondwater uit de omgeving buiten de bouwput sterk beperkt worden. Dit kan door middel van het aanbrengen van **verticale schermwanden** rond de omtrek van de bouwput en deze door te trekken tot in een natuurlijke waterremmende laag (bv. kleilaag), die dan dienstdoet als een horizontaal waterremmend scherm of tot een **artificieel horizontaal waterremmend scherm**.

Conceptdetails en uitvoeringsaspecten van bouwputten zijn in het [HANDBOEK Beschoeiingen](#) van de [BGGG](#) gegeven.



Hydraulische isolatie van de bouwput

Hydraulisch isolatie van de bouwput

Artificiële horizontale waterremmende lagen

Waterglasinjectie

BGGG sessie "Horizontale waterremmende schermen – Waterglasinjectie"
- [Webinar van 10 februari 2021](#)

Onderwaterbetonvloeren

BGGG sessie "Horizontale waterremmende schermen –
Onderwaterbetonvloeren" - [Webinar van 19 november 2020](#)

Jet grouting afdichtinglaag

BGGG sessie "Horizontale waterremmende schermen –
Jet grouting afdichtingslaag - [Webinar van 28 november 2022](#)

Verticale schermwanden

Hydraulische isolatie van de bouwput

Verticale schermwanden

Er zijn verschillende mogelijkheden om verticale waterremmende wanden uit te voeren. De meest gebruikte methoden zijn de secanspalenwanden, de soilmix-wanden, de jet grout-wanden, de damwanden en de diepwanden... Deze uitvoeringstechnieken zijn in een reeks WTCB-infociches beschreven:

[WTCB-infociche 56.3 – secanspalenwanden](#)

[WTCB – infociche 56.5 – soilmix-wanden \(opgebouwd uit kolommen\)](#)

[WTCB-infociche 56.6 – soilmix-wanden \(opgebouwd uit panelen\)](#)

[WTCB-infociche 70.1 – stalen damwanden](#)

[WTCB – infociche 70.2 – diepwanden](#)

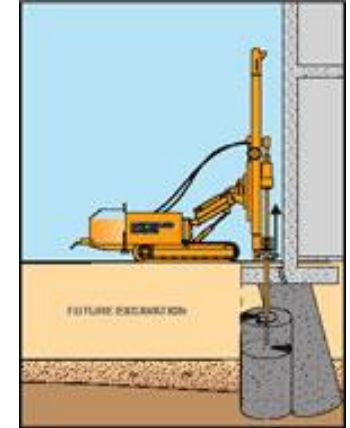
In de afgelopen jaren is de soilmix-wand 'booming' in Vlaanderen. Het [SBRCURnet-WTCB handboek Soilmix-wanden](#) biedt een uitstekende weergave van de huidige kennis op het gebied van de soilmix-techniek voor het realiseren van grondkerende, waterkerende en waterremmende wanden. De publicatie bevat enerzijds een praktisch deel dat richtlijnen en randvoorwaarden bevat voor de toepassing, de uitvoering, het ontwerp en de kwaliteitscontrole van soilmix-wanden in België en Nederland (deel 1) en anderzijds een deel waarin een samenvatting van de internationale state-of-the art is opgenomen (deel 2).

Jet grouting – Constructieprincipe

High speed jets are applied at depth in order to erode the soil and inject a grout (in general water + cement) for the purpose of forming jet grout columns or panels in the ground

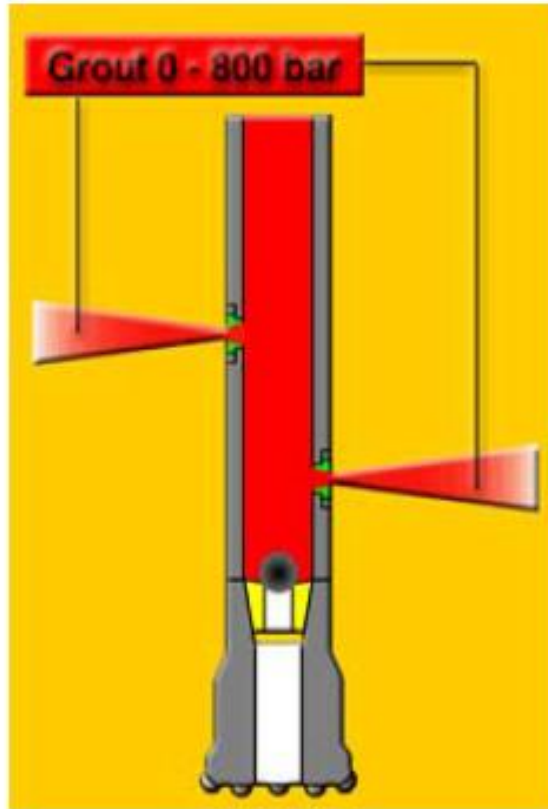
Voornaamst voordeel: vorming van (zeer) brede kolomen vanuit kleine boorgaten

Bron: Alessandro Flora



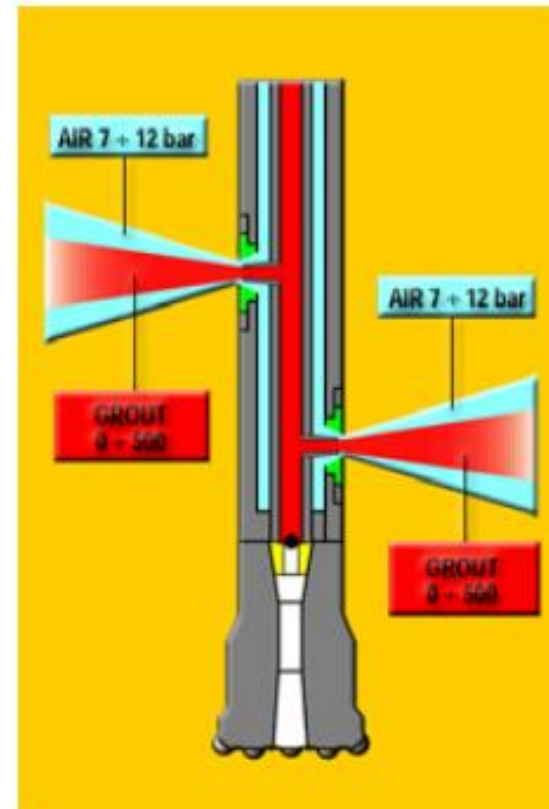
Jet grouting – Constructieprincipe

Single fluid



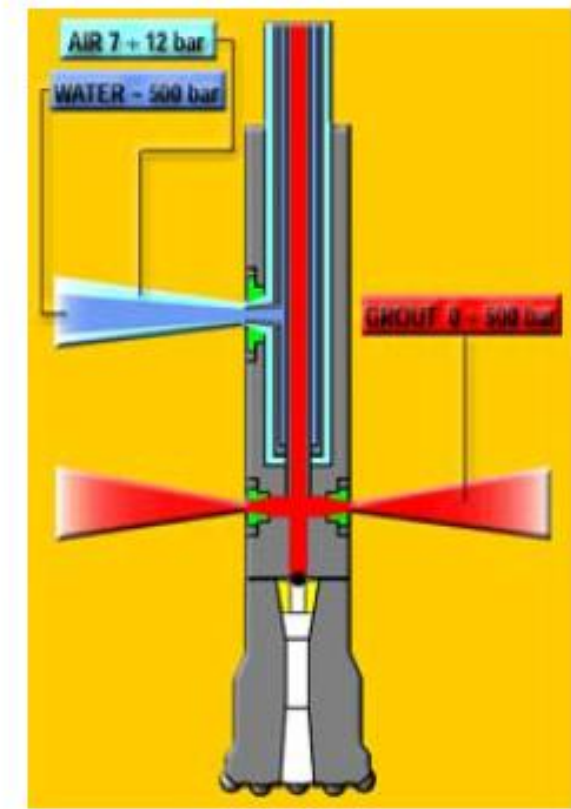
Mono-jet

Double fluid



Bi-jet

Triple fluid



Tri-jet

+ ... evolutions ...

Jet grouting – Constructieprincipe

Jet grouting – engineering issue

Hoe is het mogelijk de reële diameter te bepalen?

Kolommen met een “regelmatige” diameter:



Flora. SC4 IS-GI 2012



Berthelot et al. IS-GI 2012

Jet grouting – Constructieprincipe

Jet grouting – engineering issue

Hoe is het mogelijk de reële diameter te bepalen?

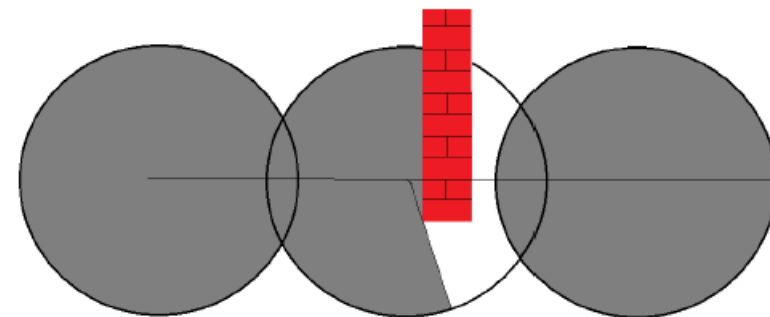
Kolommen met onregelmatige diameter:



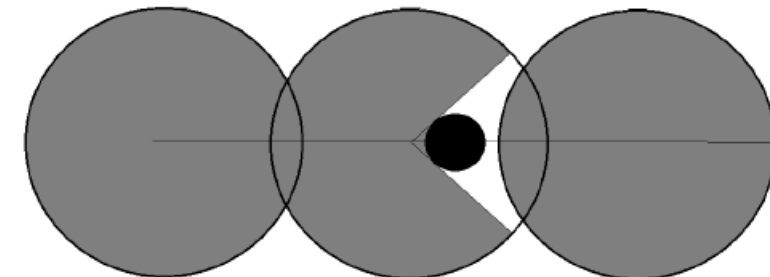
Flora. SC4 IS-GI 2012

Variaties in functie van het type grond en de grondgesteldheid!!!

!Gelaagde gronden, stoorlagen, grind....



Opgelet met ondergrondse obstakels



Jet grouting – Toepassingsgebied



 Smet-F&C
Ondergronds, Uw partner!

Case history:
Onderschoeiing
van een historisch gebouw
in Gent (2013-2014)

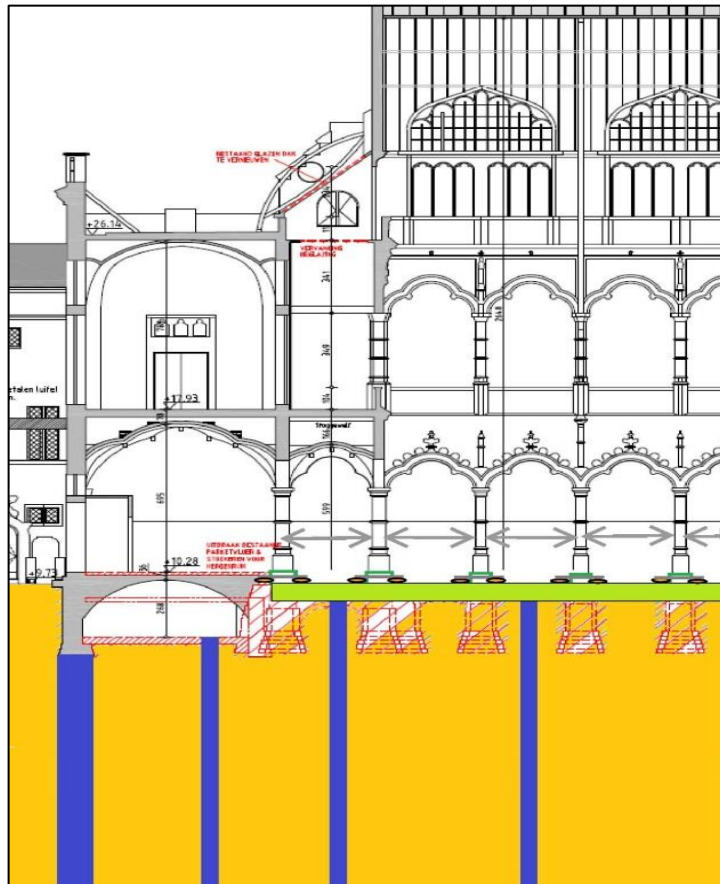
Jet grouting – Toepassingsgebied

Case history:

Versteving van bestaande fundering
van een historisch gebouw
Handelsbeurs, Antwerpen



DENYS



Antwerpen



Jet grouting – Toepassingsgebied



Case history:
Constructie van een **kerende wand**
in Anderlecht (2011-2012)
in opdracht van TUC RAIL



EIFFAGE

HERBOSCH-KIERE



28/11/2022

Case history:
**Construction of a retaining wall
in Anderlecht for TUC RAIL
(2011-2012)**

+ verankering



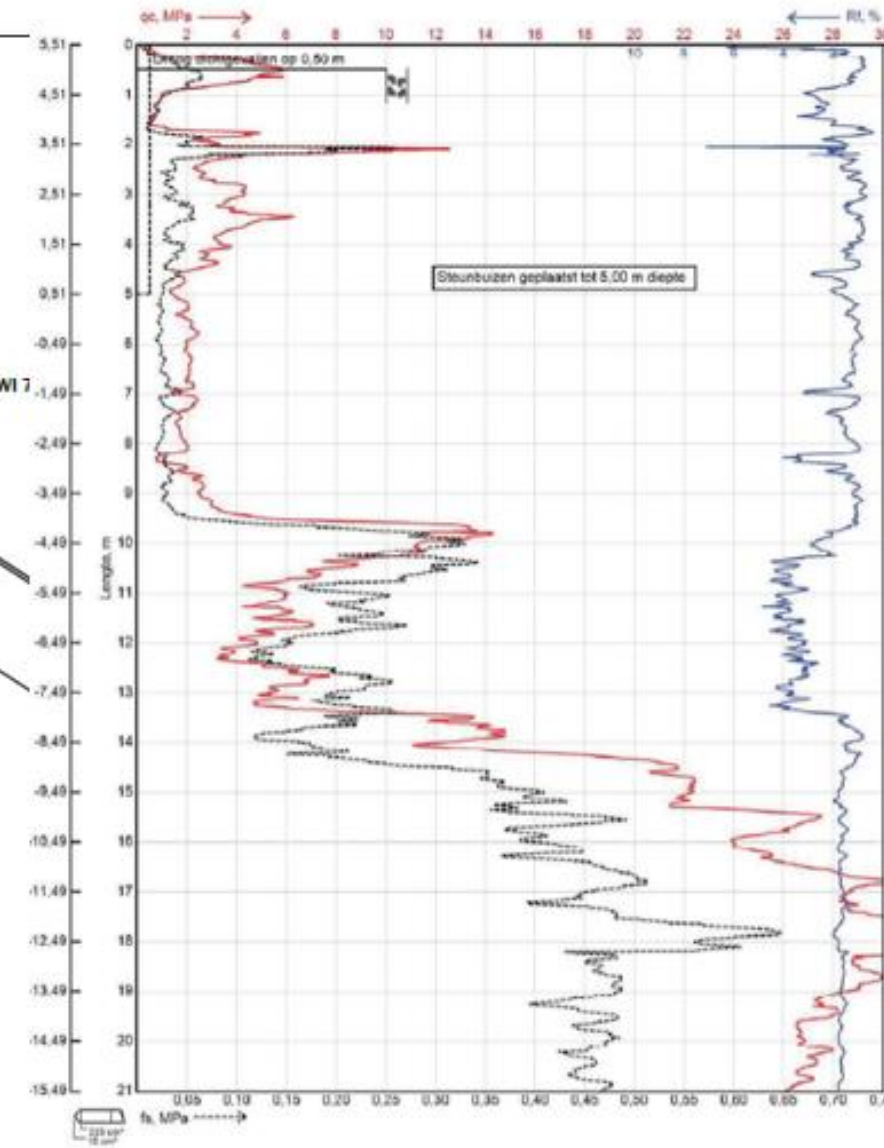
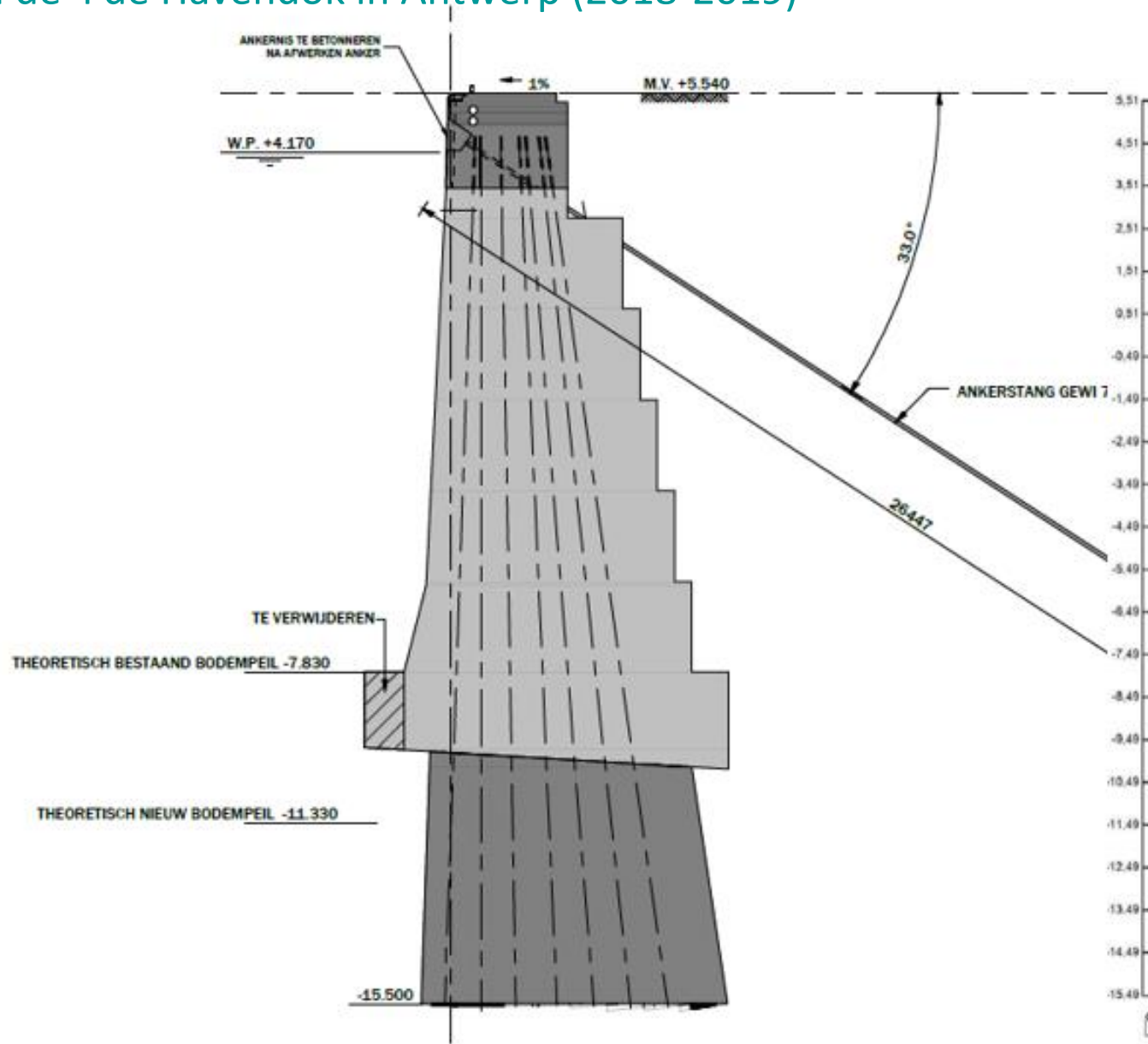


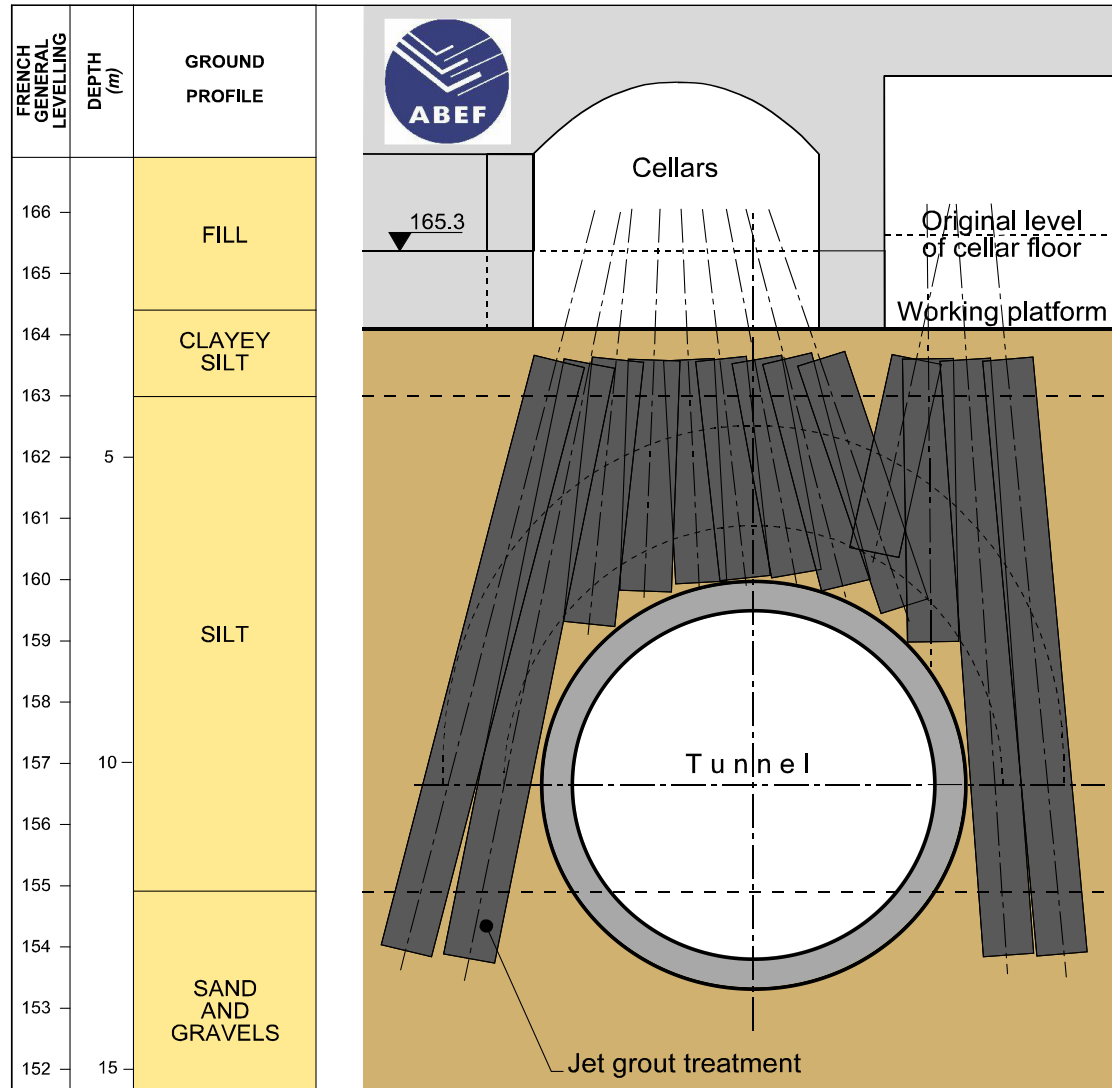
28/11/2022

Case history:
Verankering
in Anderlecht (2011-2012)
in opdracht van TUC RAIL



Case history: Herstelling en verdiepen van de kaaimuur van de 4'de Havendok in Antwerp (2018-2019)

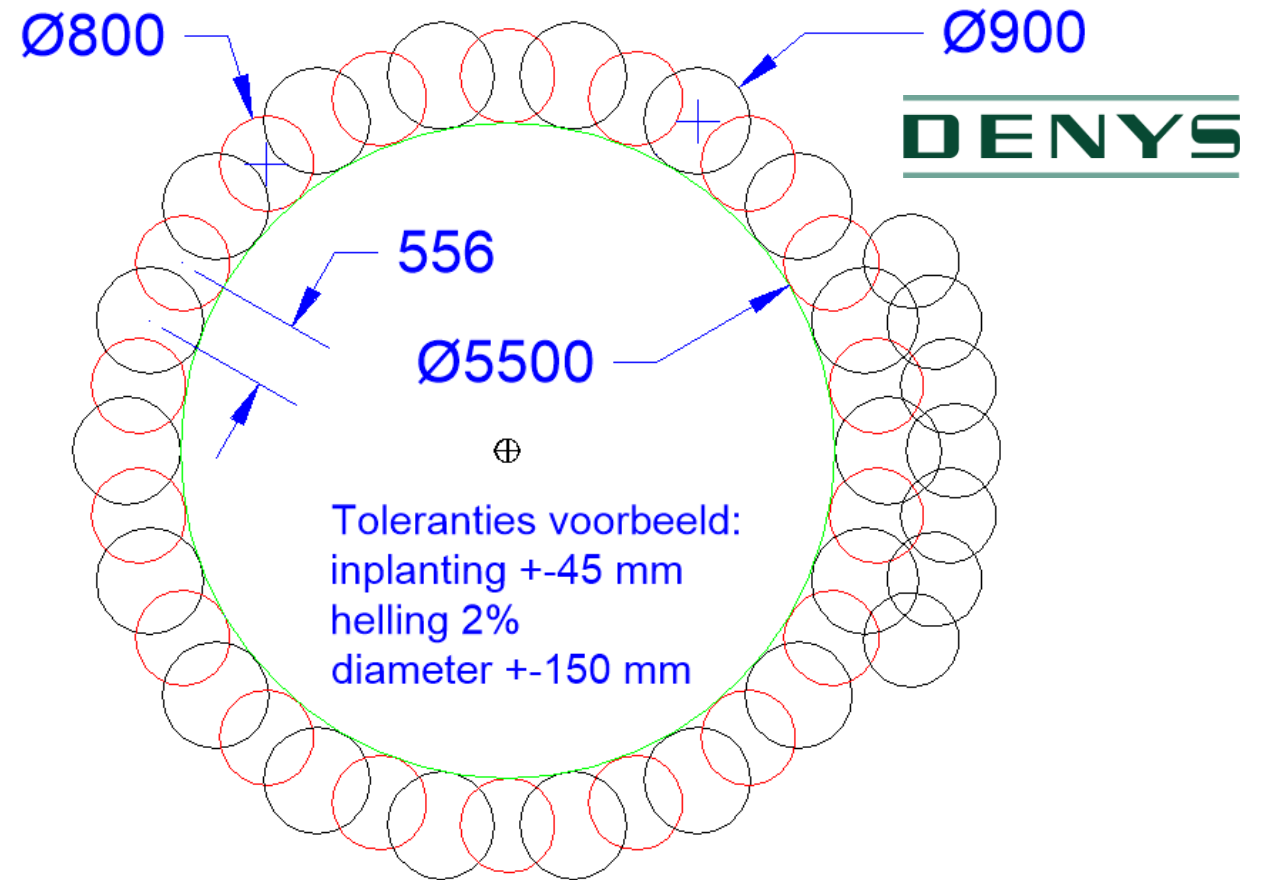




Grondverbetering voor tunnelbouw

Ronde schacht persing microtunnel

DIEPTE SCHACHT 18.0 m - 16.5 m water



Jet-grouting: State of the Art



BGGG-THEMA AVOND "JET GROUTING" - 28.05.2019

Auteurs:
 Em. Prof. Jan Maertens (Jan Maertens BVBA)
 Ir. Peter De Vleeschauer (Smet F&C)
 Ing. Onno Langhorst (Movares Nederland BV)

Versie:
 22 februari 2017



Belgische Groepering voor Grondmechanica en Geotechniek
 Document verspreid n.a.l.v. van de thema-avonden "Verdiepen van bestaande funderingen" maart-april, 2016

BGGG Belgische Groepering voor Grondmechanica en Geotechniek
 (www.bggg-gbms.be)

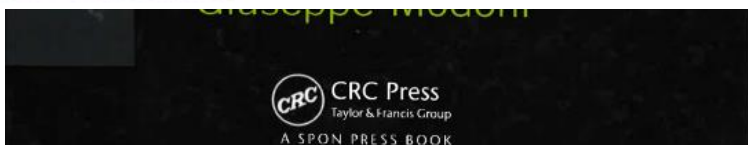
Met de medewerking van



www.normen.be/geotechniek

<i>Belgian Standard</i>	
EN 12716:2018	NBN
NBN EN 12716:2019	L J
Execution of special geotechnical work - Jet grouting	
Valid from 30-01-2019	

reproduce ni



ICS: 93.020

Bureau for Standardisation
 Rue Joseph II 40 PO box 6
 1000 Brussels

T. +32 2 738 01 11
 F. +32 2 733 42 64
 info@nbn.be

BTW BE0880.857.592
 IBAN BE41 0003 2556 2110
 BIC Code BPOTBEB1

www.nbn.be

© NBN 2019



Jet grouting – Afdichtingslagen

Concepten: Hoog- en diepgelegen jetgroutlagen

Fasering met of zonder trekelementen

Verticaal evenwicht voor hoog- en diepgelegen jetgroutlagen

Opbarst en verankering

Risico van lekkage

Connectie met de anker- en micropalen

Connectie met de verticale schermwanden

Doorlatendheid van de jetgroutlaag

Uitvoeringstolerantie (plaatsing, helling en onzekerheid diameter)

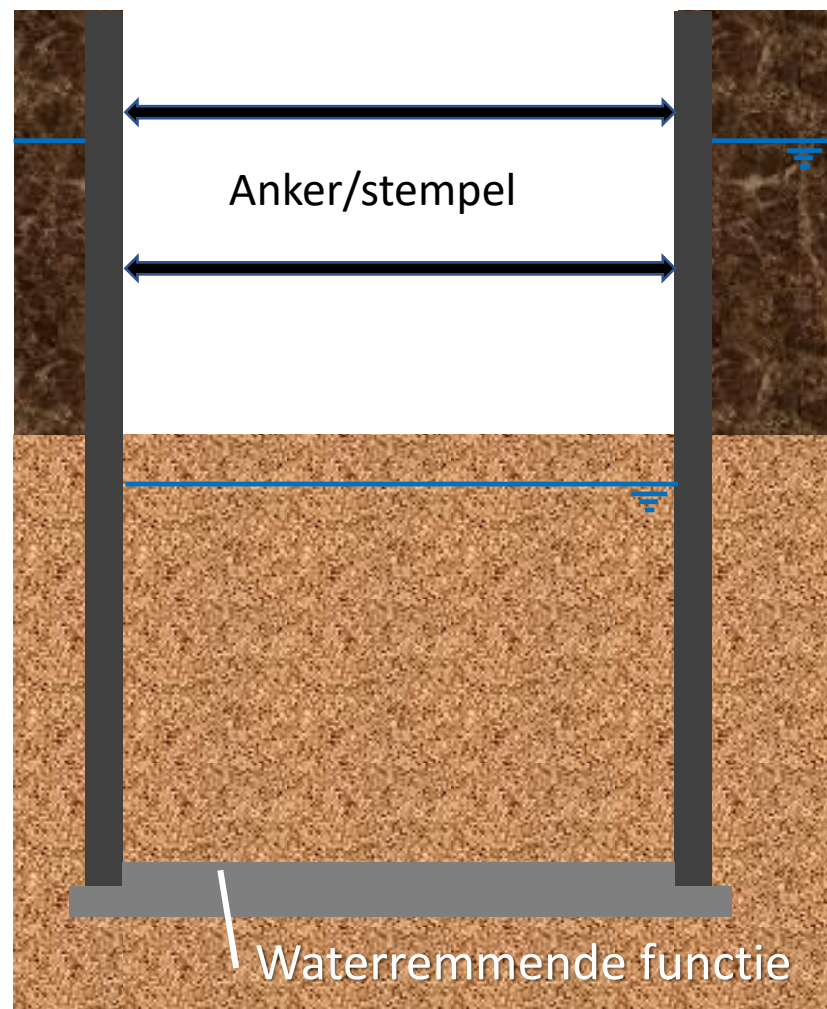
Kwaliteitszorg

Spoil

Jet grouting – Afdichtingslaag - concepten

Diepgelegen afdichtinglaag

Diepe en dunne laag



Hooggelegen afdichtinglaag

Ondiepe en dikke laag

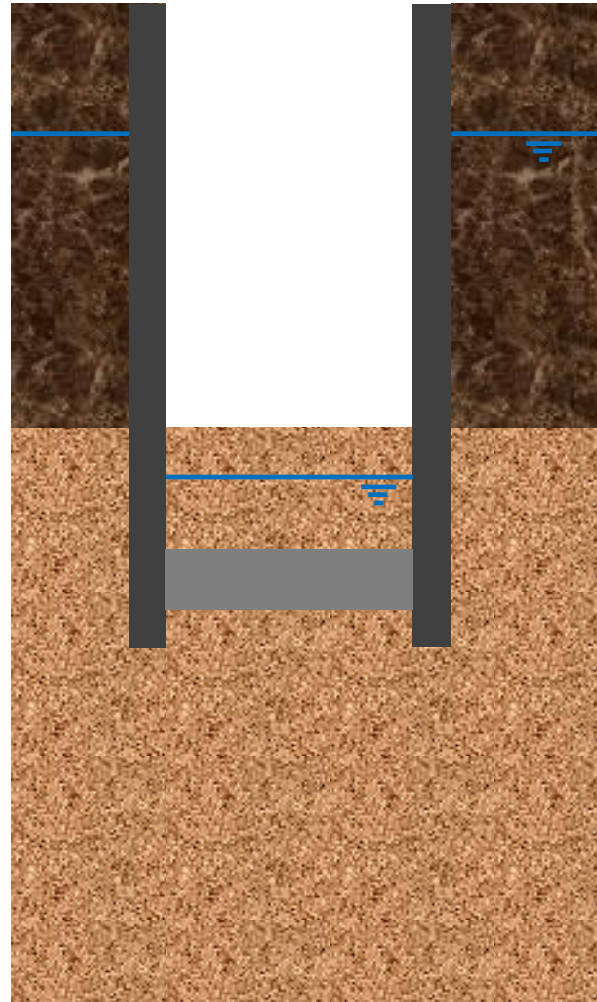


Aanpassing i.f.v. de geologie



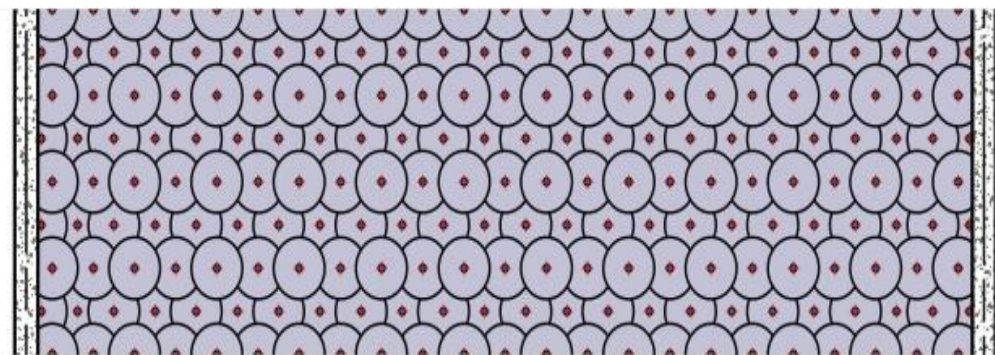
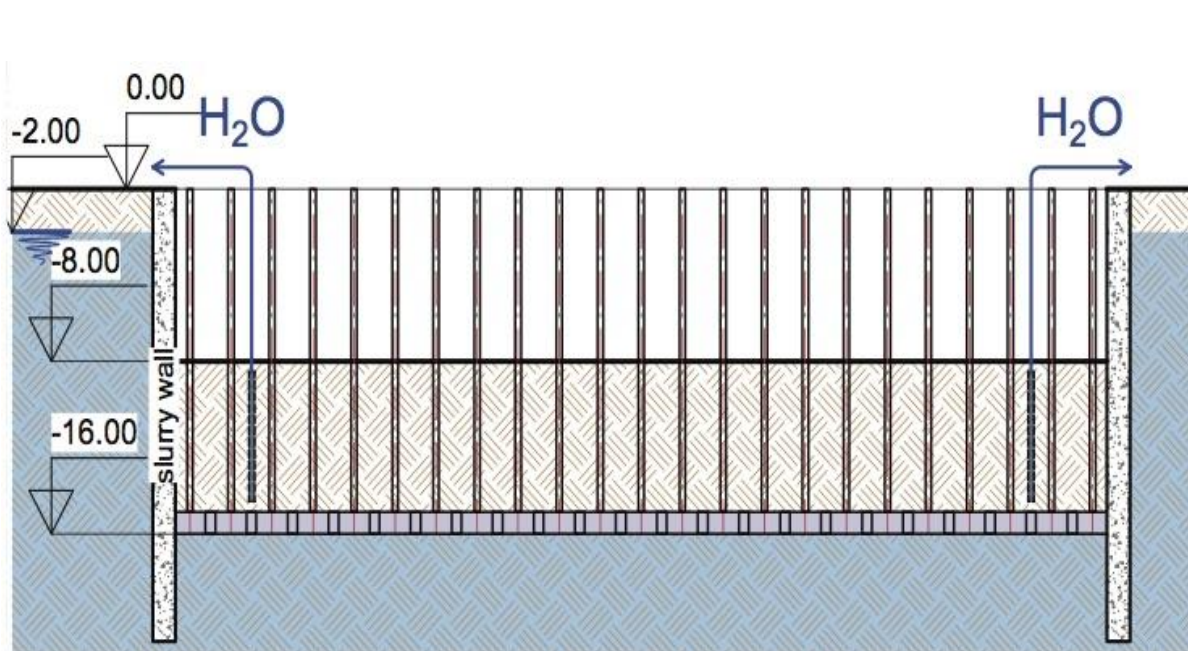
Jet grouting – Afdichtingslaag - concepten

In geval van
een bouwput
met een
beperkte
breedte



Hooggelegen afdichtingslaag
Geen anker- of micropalen
→ Boogwerken in de
jetgroutingvloer en wrijving
tussen de jetgroutingvloer
en de verticale wanden

Jet grouting – diepgelegen afdichtingslaag



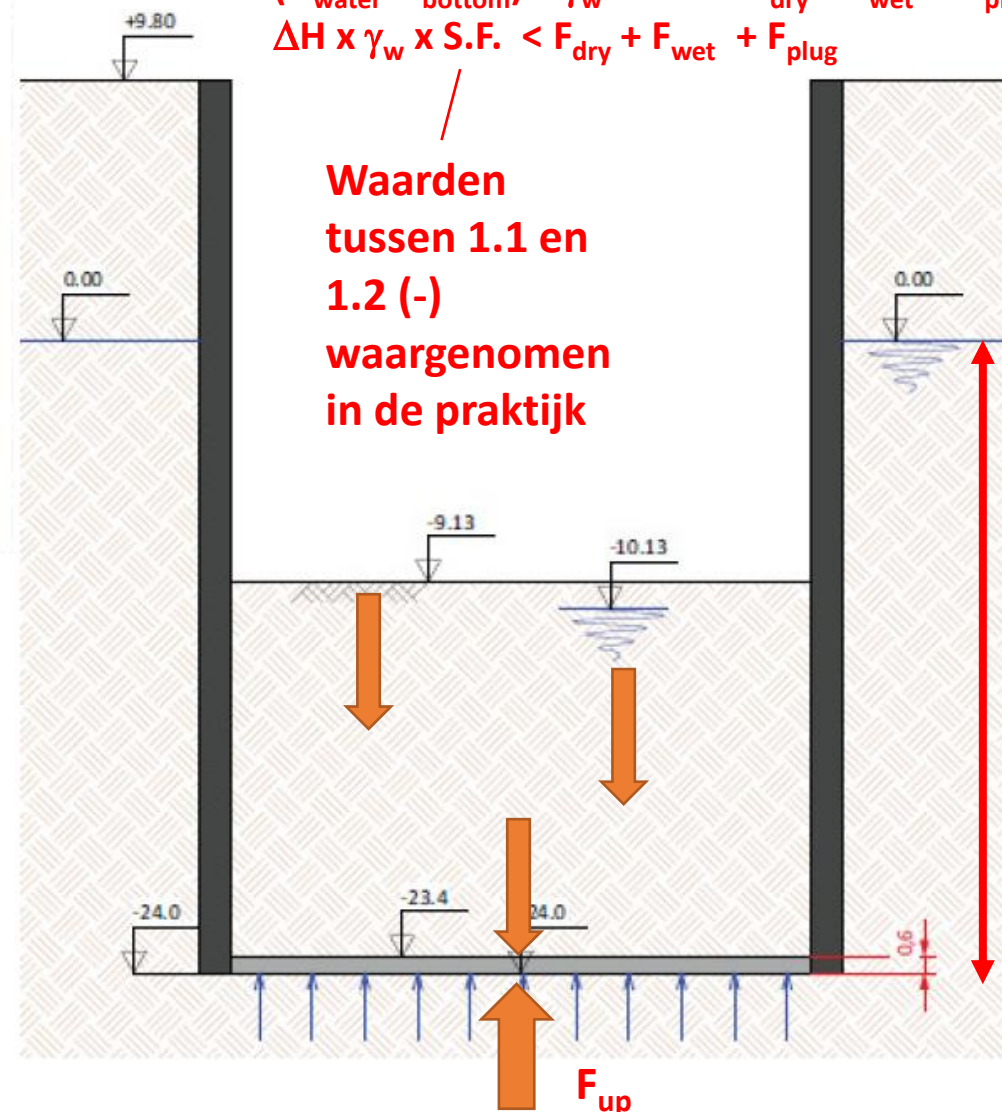
Bron: Peter De Vleeschauer

$$F_{up} \times S.F. < F_{down}$$

$$(H_{water} - H_{bottom}) \times \gamma_w \times S.F. < F_{dry} + F_{wet} + F_{plug}$$

$$\Delta H \times \gamma_w \times S.F. < F_{dry} + F_{wet} + F_{plug}$$

Waarden
tussen 1.1 en
1.2 (-)
waargenomen
in de praktijk



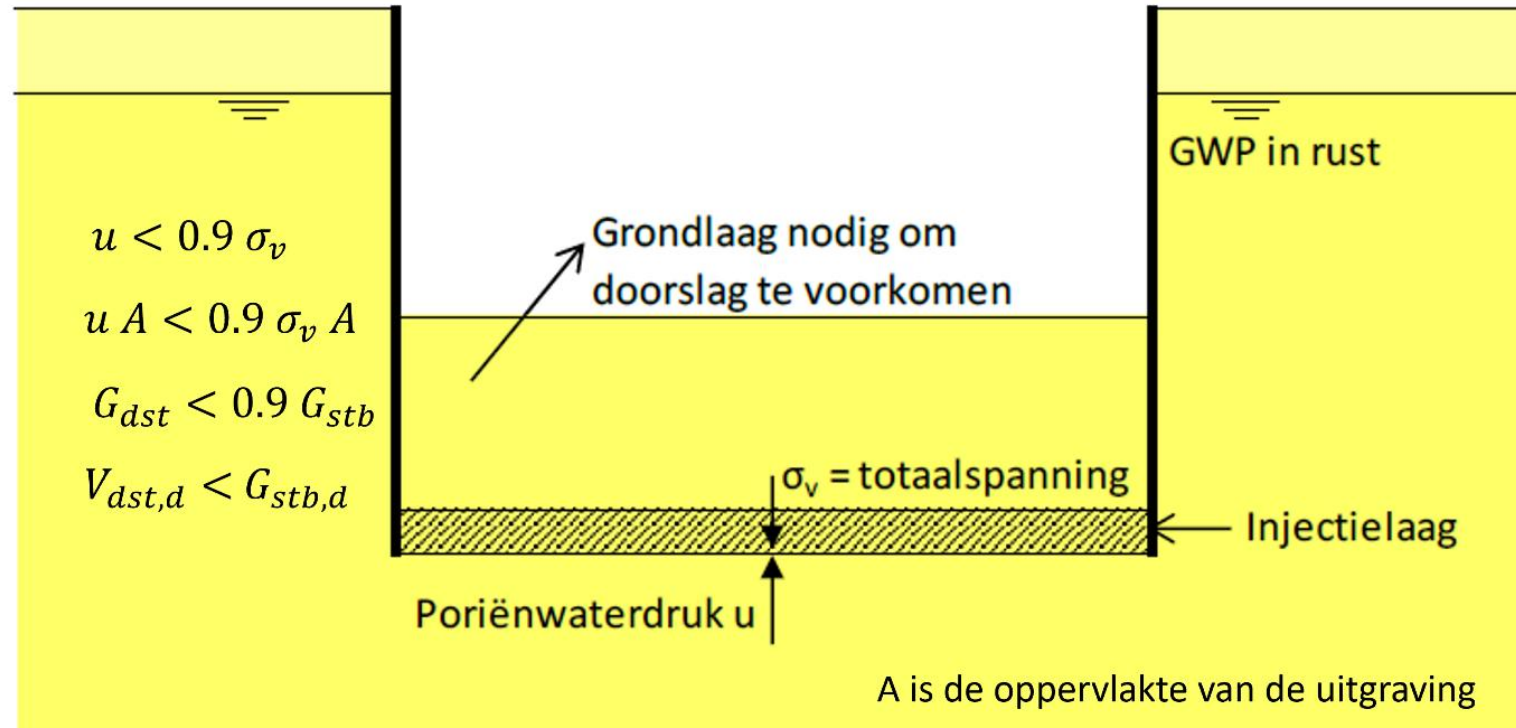
Jet grouting – hooggelegen afdichtingslaag

NBN EN 1997-1 ANB:2022

A.4 Partiële factoren voor de toetsing van de uiterste grenstoestand door opdrijven (UPL)

Tabel A.15 ANB - Partiële factoren (γ_F) op belastingen

Belasting	Symbool	Waarde
Blijvend		
Ongunstig ^a	$\gamma_{G;dst}$	1,00
Gunstig ^b	$\gamma_{G;stb}$	0,90
Veranderlijk		
Ongunstig ^a	$\gamma_{Q;dst}$	1,10 ^c
^a Aandrijvend ^b Weerstandbiedend ^c Waarde wijkt af van deze in EN 1997-1		



Jet grouting – hooggelegen afdichtingslaag

Tabel 2.1 ANB - Standaardtabel met karakteristieke waarden voor grondparameters

Grondsoort		Pakkingsdichtheid/ consistentie	q_c (MPa)	R_r (%)	γ^k boven F.O.* (kN/m ³)	γ^k beneden F.O.* (kN/m ³)	ϕ^k (°)	c^k (kPa)	$C_{u,k}$ (kPa)
grind	-	matig dicht	$10 \leq q_c < 20$ $q_c \geq 20$	< 1	18 19	20 21	35 40	0 0	- -
	leem- of kleihoudend	matig dicht	$10 \leq q_c < 20$ $q_c \geq 20$	1-2	19 20	21 22	32 37	0 0	- -
zand	-	los matig dicht zeer dicht	$2 \leq q_c < 4$ $4 \leq q_c < 10$ $10 \leq q_c < 15$ $q_c \geq 15$	< 1	16 17 18 18	18 19 20 20	27 30 32 35	0 0 0 0	- - - -
	leem- of kleihoudend	los matig dicht zeer dicht	$2 \leq q_c < 4$ $4 \leq q_c < 10$ $10 \leq q_c < 15$ $q_c \geq 15$	1-2	16 17 18 19	18 19 20 20	25 27 30 32	0 0 0 0	- - - -
Leem	-	weinig vast matig vast vrij vast vast	$0.4 \leq q_c < 1$ $1 \leq q_c < 2$ $2 \leq q_c < 4$ $q_c \geq 4$	2-4	17 18 19 20	17 18 19 20	22 22 22 22	0 2 4 8	10 25 50 100
	zandhoudend	weinig vast matig vast vrij vast vast	$0.4 \leq q_c < 1$ $1 \leq q_c < 2$ $2 \leq q_c < 4$ $q_c \geq 4$	1-3	17 18 19 20	17 18 19 20	25 25 25 25	0 2 4 8	10 25 50 100
klei	-	weinig vast matig vast vrij vast vast	$0.4 \leq q_c < 1$ $1 \leq q_c < 2$ $2 \leq q_c < 4$ $q_c \geq 4$	3-6	16 17 18 19	16 17 18 19	20 20 20 20	2 4 8 15	20 50 100 200
	zandhoudend	weinig vast matig vast vrij vast vast	$0.4 \leq q_c < 1$ $1 \leq q_c < 2$ $2 \leq q_c < 4$ $q_c \geq 4$	2-5	16 17 18 19	16 17 18 19	22 22 22 22	2 4 8 15	20 50 100 200
veen		weinig vast matig vast vast	$0.2 \leq q_c < 0.5$ $0.5 \leq q_c < 1$ $q_c \geq 1$	> 6	10 12 14	10 12 14	15 15 15	2 5 10	10 20 40

NBN EN 1997-1 ANB:2022

Opgelet: de volumegewichten uit de ANB zijn hoge karakteristieke waarden terwijl in dit geval lage karakteristieke waarden maatgevend zijn

*Voor de volumegewichten : eerdere lage karakteristieke waarden hanteren

Dichtheid van het jet grout-materiaal

1.5 (-) grout

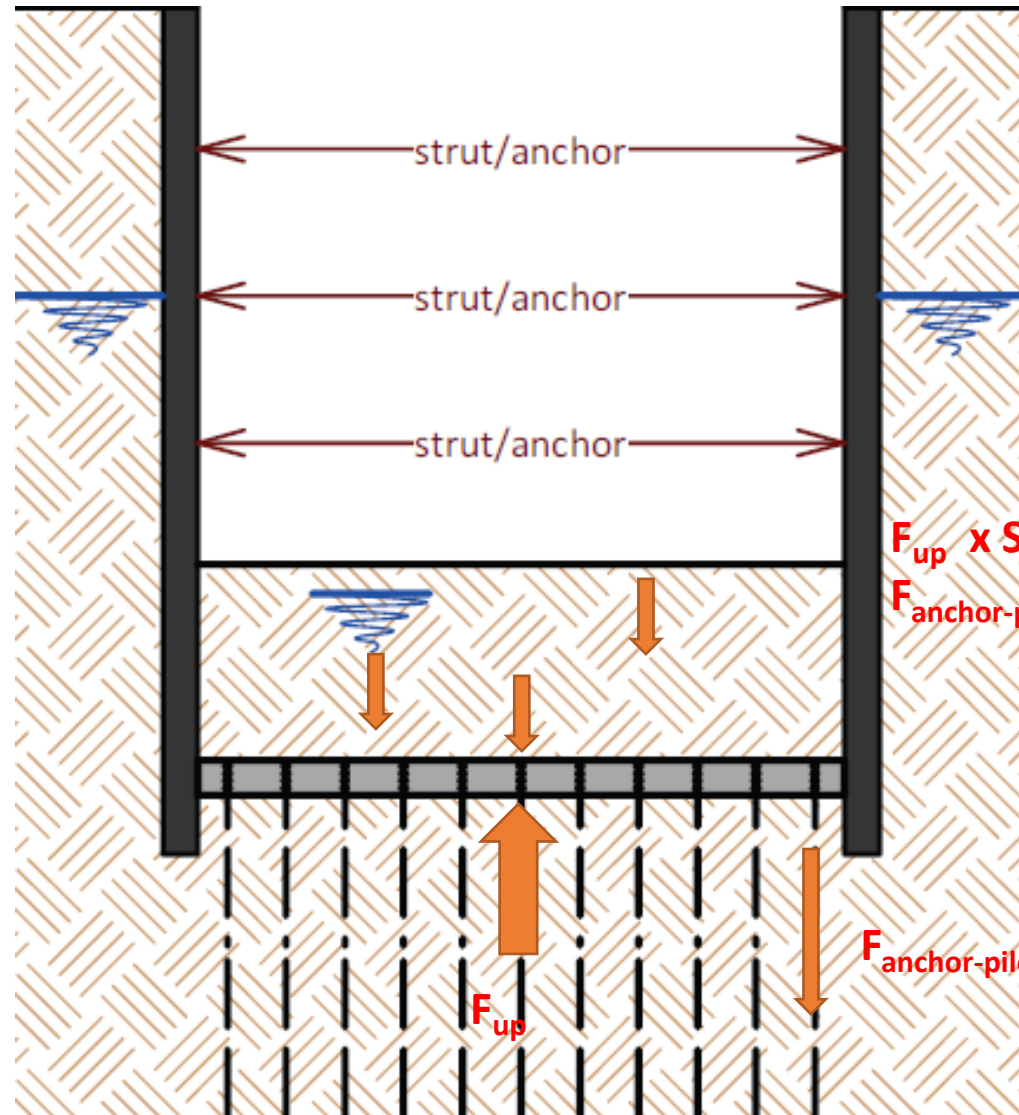
1.6 (-) bi-jet

1.7 (-) mono-jet

Resultaten verkregen op gekernde monsters

* F.O. = freatisch oppervlak

Jet grouting – hooggelegen afdichtingslaag



$$F_{up} \times S.F < F_{down}$$
$$F_{anchor-pile} > \Delta H \times \gamma_w \times F.S$$
$$- F_{dry} - F_{wet} - F_{plug}$$

Bron: Peter De Vleeschauwer

Jet grouting – hooggelegen afdichtingslaag



AXIAAL OP TREK BELASTE PALEN

RAPPORT

nr. 20

November 2020

5.4 WRIJVINGSWEERSTAND OP TREK LANGS DE PAALSCHACHT: GEO-CONTROLE

5.5 KLUITCRITERIUM: UPL-CONTROLE

$$V_{dst,d} \leq G_{stb,d} + R_d$$

RICHTLIJNEN VOOR DE TOEPASSING
VAN DE EUROCODE 7 IN BELGIË
VOLGENS DE NBN EN 1997-1 ANB
Deel 1: het grondmechanische ontwerp in de
uiterste grenstoestand (UGT) van axiaal belaste
funderingspalen en micropalen op basis van
statische sonderingen (CPT's)
(herziening van Rapport nr. 19)

Tabel 13 Belastingsfactoren γ_{Gdst} , γ_{Gstb} en γ_{Qdst} voor een UPL-controle.

Belasting		Symbol	Factor
Blijvend	Ongunstig (¹)	γ_{Gdst}	1,0
	Gunstig (²)	γ_{Gstb}	0,9
Veranderlijk	Ongunstig (¹)	γ_{Qdst}	1,1 (³)

(¹) Destabiliserend.

(²) Stabiliserend.

(³) Deze waarde wijkt af van de informatieve waarde uit tabel A.15 van de norm NBN EN 1997-1 [B9].

BIJLAGE C

Richtwaarden voor de waterstand en
belastingen door waterdrukken

BIJLAGE E

ACHTERGROND BIJ DE VERIFICATIES VAN
AXIAAL OP TREK BELASTE PALEN

Jet grouting – hooggelegen afdichtingslaag

Richtwaarden voor de waterstand en belastingen door waterdrukken

Tabel C.1 In aanmerking te nemen waterstand voor de bepaling van de opwaartse waterdrukken.

Regime van de watertafel	Beschikbare metingen van de waterstand ⁽¹⁾	Waterstand Z_w [m] ⁽³⁾
Vrij – zonder bemaling	geen	maaiveld
	1 meting	$Z_{w,m} + 1,50$ m
	meetreeks ⁽²⁾ ≥ 6 maanden	$Z_{w,m,max} + 1,00$ m
	meetreeks ⁽²⁾ ≥ 1 jaar	$Z_{w,m,max} + 0,50$ m
Onder druk – zonder bemaling	(–)	op basis van een hydrogeologische studie
Met bemaling	(–)	op basis van een bemalingsstudie

⁽¹⁾ De meting dient uitgevoerd te worden in een peilbuis op het terrein.

⁽²⁾ Minimum 1 meting per maand.

⁽³⁾ Z_w is de in rekening te brengen waterstand; $Z_{w,m}$ is de gemeten waterstand; $Z_{w,m,max}$ is de hoogst gemeten waterstand.

Jet grouting – hooggelegen afdichtingslaag – risico van lekkage/erosie

De lessen van de Haagse Tramtunnel, van Tol (COB, 2016)

Twee parkeer dekken onder elkaar waaronder de tram op een diepte van 11 à 12 m onder het straatniveau rijdt

Wanden-dak methode (verticale schermen = diepwanden en damplanken)

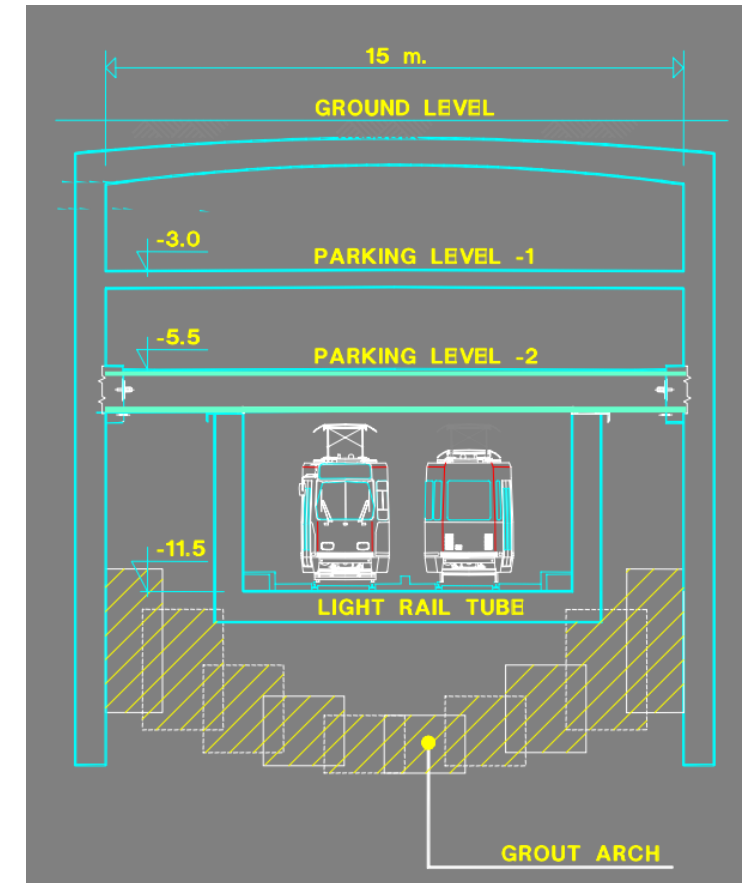
Groutboog uitgevoerd met korte elkaar overlappende jetgroutkolommen

Groutboog = waterkering

Groutboog verzekert het verticale evenwicht door de opwaarste waterdruk naar de wanden te leiden

Groutboog = stempel voor de wanden

Het ontgraven van een injectielaag met gaten alleen veilig mogelijk indien voldoende gronddekking op de laag aanwezig blijft.



Snede Grote Marktstraat

Jet grouting – hooggelegen afdichtingslaag – risico van lekkage/erosie

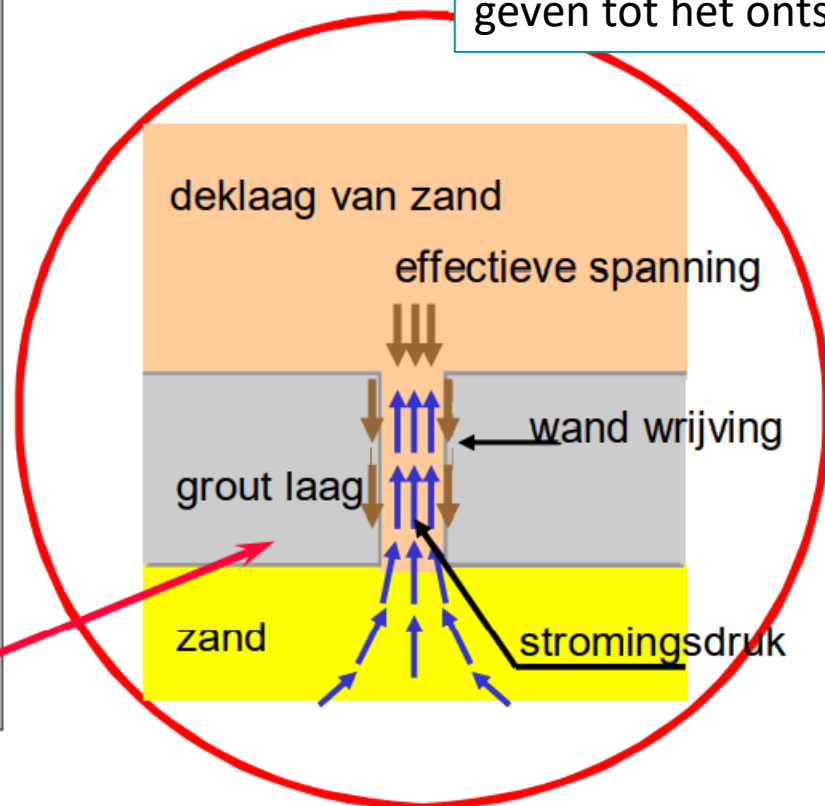
De lessen van de Haagse Tramtunnel

TU-Delft en GEO-Delft model:

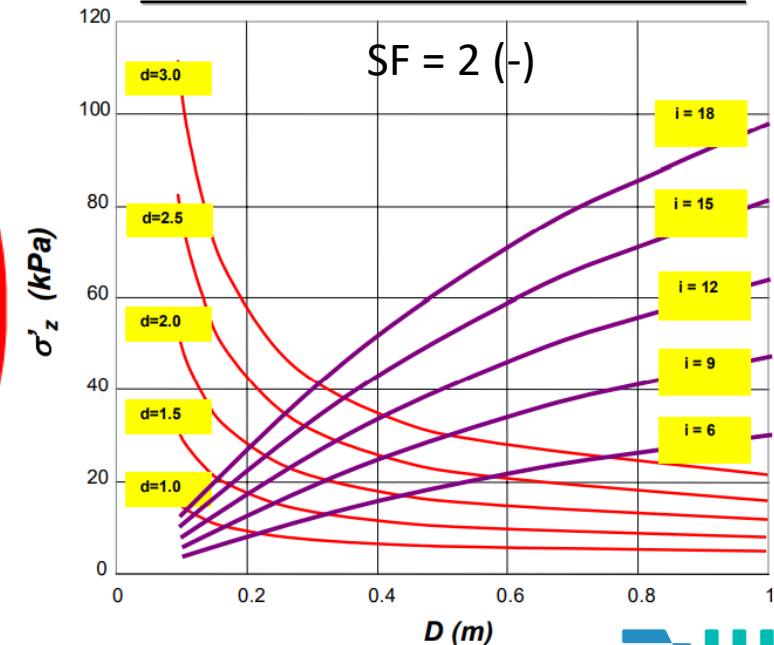
BEPALING d_{min} om geen uitspoeling van grond via een gat te hebben



De ervaring opgedaan bij de tramtunnel in Den Haag heeft duidelijk aangetoond dat er een voldoende afstand (min. 1,5 à 2m) moet worden aangehouden tussen de bodem van de bouwput en de bovenkant van de afdichtingslaag zodat een eventuele stroming doorheen de afdichtingslaag geen aanleiding kan geven tot het ontstaan van terugschrijdende erosie.

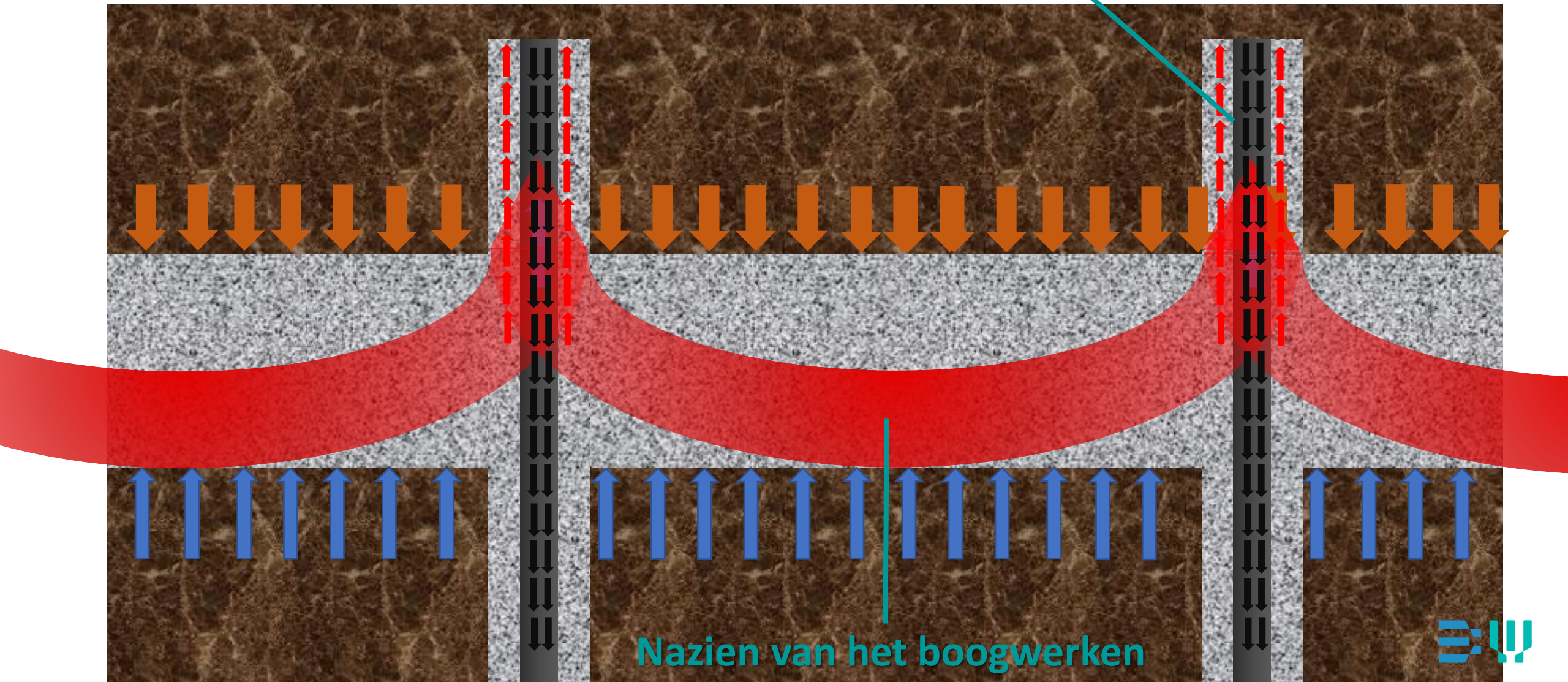


!ZANDLAAG BOVENOP DE GROUTLAAG



Jet grouting – hooggelegen afdichtingslaag – verankering/verzwaring

Nazien van de aanhechting



Nazien van het boogwerken

Jet grouting – hooggelegen afdichtingslaag – verankering/verzwaring

**Nazien van de aanhechting/afschuifsterkte tussen staal en
het jet grout-materiaal?**

DENYS



BGGG – Vormingsavond voor Praktijkingenieurs
JET GROUTING
Dinsdag 28 mei 2019 – OCW Sterrebeek

Jet grouting: Hoe ontwerpen in het bestaande normatieve kader
Ir. Kristof Van Royen – Denys NV

Jet grouting – hooggelegen afdichtingslaag – verankering/verzwaring

BGGG – Vormingsavond voor Praktijkingenieurs
JET GROUTING

Dinsdag 28 mei 2019 – OCW Sterrebeek
Jet grouting: Hoe ontwerpen in het bestaande normatieve kader
Ir. Kristof Van Royen – Denys NV

Karakteristieke en rekenwaarden van de druksterkte van het jet grout-materiaal

Systematiek Handboek soilmix op basis van ontwerpniveau's ifv risicoklasse structuur en projectfase:

1. Ontwerpniveau 1 – bepaling druksterkte algemene ervaringsgegevens – ruime databank
2. Ontwerpniveau 2
 - a) specifieke ervaringsgegevens in vergelijkbare omstandigheden;
 - b) Voorafgaand geschiktheidsonderzoek - in situ mengsels of laboratorium mengsels;

Voor langetermijne toepassing:

$$f_{cd} = 0.85 \frac{f_{c,k}}{1.5}$$

Projectfase	Vereist ontwerpniveau in functie van risicoklasse		
	RK1	RK2	RK3
[-]			
Voorontwerp	1	1 of 2	1 of 2
Detailontwerp	1 of 2	2	2
Uitvoeringsontwerp	2	2	2

Richtwaarden druksterktes UCS-monsters (28d) Handboek Soilmix:

Tabel 6.5. Gemiddelde en karakteristieke druksterkten per grondsoort naar sterkte 28 dagen en met de D6-regel

Type grondsoort	Gemiddelde druksterkte $f_{sm,m}$		Karakteristieke druksterkte $f_{sm,k}$	
	Ruime range	Nauwe range	Ruime range	Nauwe range
Klei	1,5 – 4,0 MPa	2,0 – 3,0 MPa	0,5 – 2,0 MPa	1,0 - 1,5 MPa
Leem	2,0 – 5,0 MPa	2,5 – 4,0 MPa	0,75 – 3,0 MPa	1,25 - 2,0 MPa
Zand	4,0 – 16,0 MPa	6,0 – 10,0 MPa	2,0 – 8,0 MPa	3,0 - 5,0 MPa

Jet grouting – hooggelegen afdichtingslaag – verankering/verzwaring

Nazien van de aanhechting/afschuifsterkte tussen staal en het grout-materiaal

3. Materiaalkarakterisatie jetgrout

3.6 Afschuifsterkte f_{bd} tussen staal en jetgrout

- Quasi geen specifieke gegevens beschikbaar over jetgrouting → kijken naar HB soilmix
- Ervaring leert dat het zeer moeilijk is een geribde staaf uit een jetgroutelement te trekken
- Invloedsfactoren cfr EN 1994-1-1
 - Treksterkte jetgrout
 - Graad omhulling staalprofiel
 - Aard van oppervlak
 - Geribd of glad
 - Normaalspanningen

$$f_{bd} = \min \left(\mu_1 \cdot \mu_2 \cdot 0,240 \cdot f_{jet,k}^{\frac{1}{2}}, 0,10 \cdot f_{jet,d}, 0,3MPa \right)$$

- μ -waarden = f(hechting, staafdiameter, flens)
- Details in HB soilmix
- Belangrijk voor buigcapaciteit

Karakteristieke druksterkte soilmix	Afschuifsterkte soilmix - geribde staven	Rekenwaarde van de 28d afschuifsterkte soilmix – glad wapeningsprofiel			
		criterium 1		criterium 2	criterium 2 + criterium 3
$f_{sm,k}$	$2,25f_{ctd}$	$\eta_1 \eta_2 0,24 f_{ck}^{(1/2)}$		10% $f_{sm,d}$	0,30 MPa
	$(x \eta_1 \eta_2)$	$(\eta_1 \eta_2)=1,0$ (klein profiel)	$(\eta_1 \eta_2)=0,5$ (groot profiel)		
1	0,32	0,24	0,12	0,07	0,07
2	0,50	0,34	0,17	0,13	0,13
3	0,66	0,42	0,21	0,20	0,20
4	0,79	0,48	0,24	0,27	0,27
5	0,92	0,54	0,27	0,33	0,30
6	1,04	0,59	0,29	0,40	0,30
7	1,15	0,63	0,32	0,47	0,30
8	1,26	0,68	0,34	0,53	0,30
9	1,36	0,72	0,36	0,60	0,30
10	1,46	0,76	0,38	0,67	0,30
11	1,56	0,80	0,40	0,74	0,30
12	1,65	0,83	0,42	0,80	0,30

BGGG – Vormingsavond voor Praktijkingenieurs
 JET GROUTING
 Dinsdag 28 mei 2019 – OCW Sterrebeek
 Jet grouting: Hoe ontwerpen in het bestaande normatieve kader
 Ir. Kristof Van Royen – Denys NV

Jet grouting – doorlatendheid

De doorlatendheid van een jet grout-wand/laag wordt bepaald door:

- de aard van de grond;
- de hoeveelheid ingebrachte groutspecie;
- de nauwkeurigheid waarmee de wand/laag wordt uitgevoerd

Doorlatendheid – zeer sterke relatie met afmetingen, geometrie, afwijkingen

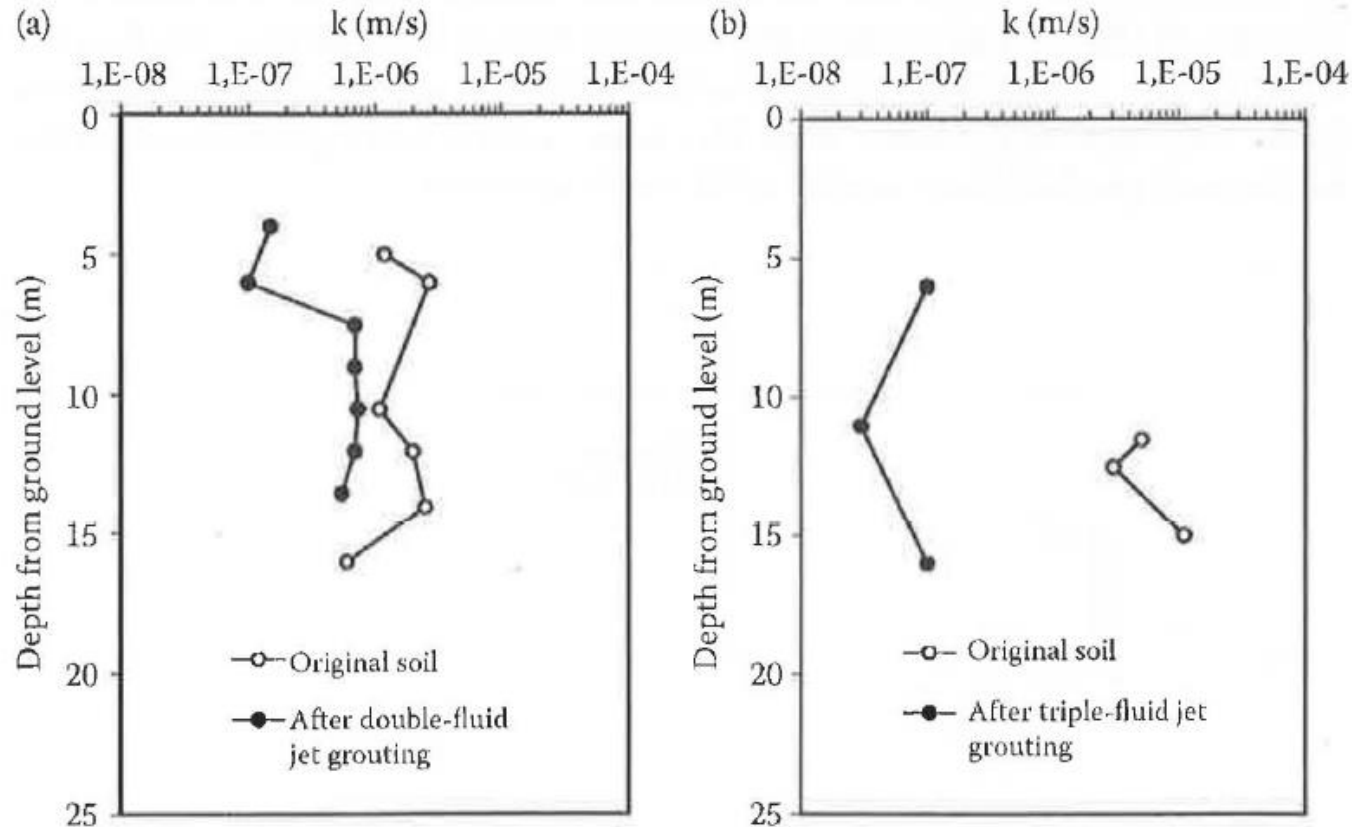
Bron: Jan Maertens

Doorlatendheid van het jet grout-materiaal: verschil tussen labo-resultaten en de realiteit van het terrein

In practice, the Darcy coefficient of permeability k of the treated soil (pertaining to a homogenous, completely treated volume of soil or at the laboratory scale) has values between 10^{-7} and 10^{-9} m/s.

Bron: Croce et al.

Jet grouting – doorlatendheid



Opgelet met grind →
verhoging van de k-waarde

Figure 4.29 Reduction of permeability by double-fluid (a) and triple-fluid (b) jet grouting measured with Lugeon tests in silty sands. (From Hong, W. P. et al., Case study on ground improvement by high-pressure jet grouting. *Proceedings of the 12th International Conference on Offshore and Polar Engineering*, International Society of Offshore and Polar Engineers, Kitakyushu, Japan, May 26–31, 2002: pp. 610–615, 2002.)

Jet grouting – doorlatendheid

De doorlatendheid van een jet grout-wand/laag wordt bepaald door:

- de aard van de grond;
- de hoeveelheid ingebrachte groutspecie;
- de nauwkeurigheid waarmee de wand/laag wordt uitgevoerd

Doorlatendheid – zeer sterke relatie met afmetingen, geometrie, afwijkingen

Bron: Jan Maertens

Doorlatendheid van jet-groutwanden

= probleem: schuimlaag omheen groutkolommen uitgevoerd in grove zanden door indringing van cementmelk in de omringende grond

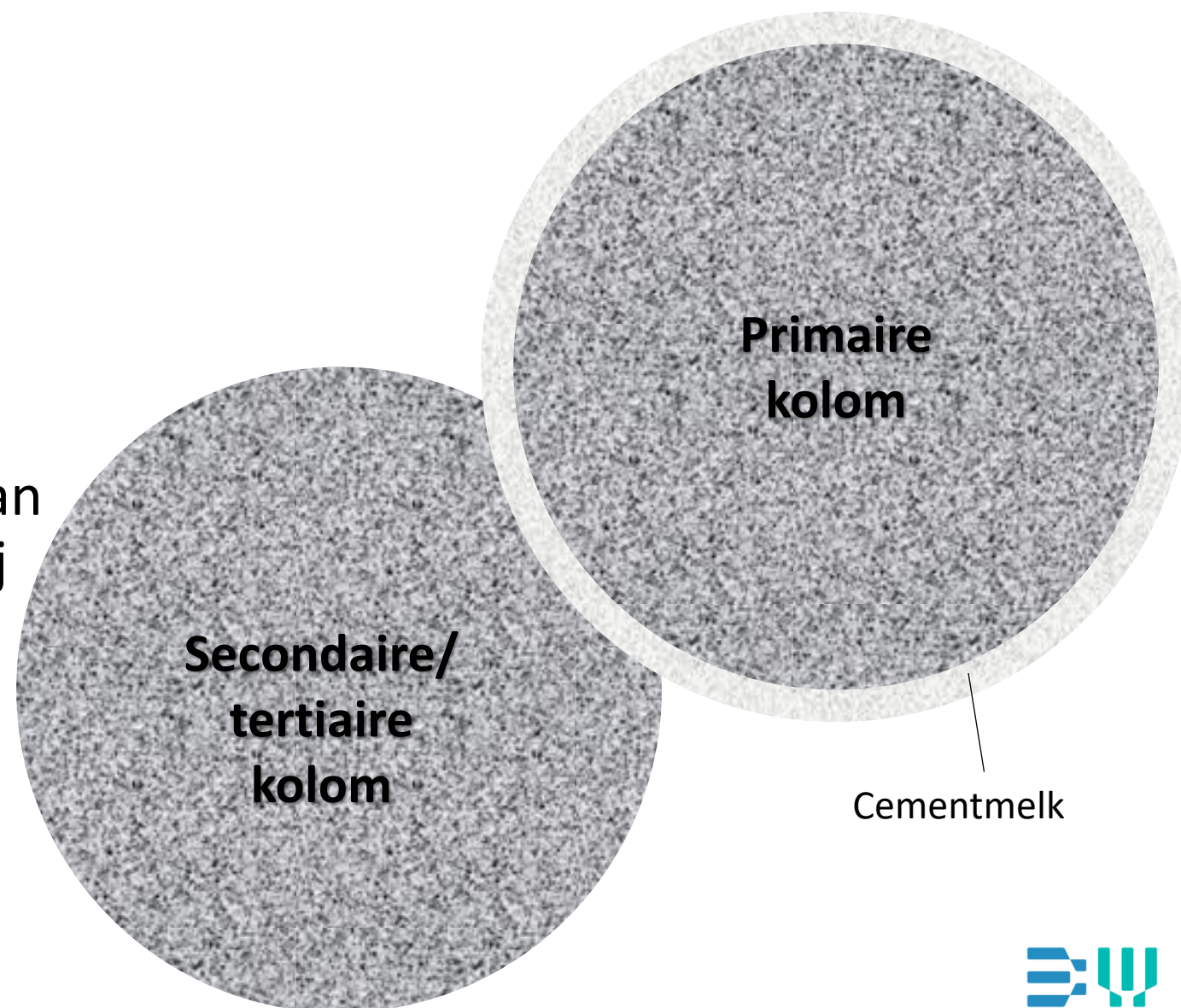
- wordt niet weggenomen bij uitvoering naastgelegen kolom
- zorgt voor een grotere doorlatendheid

Bron: Jan Maertens

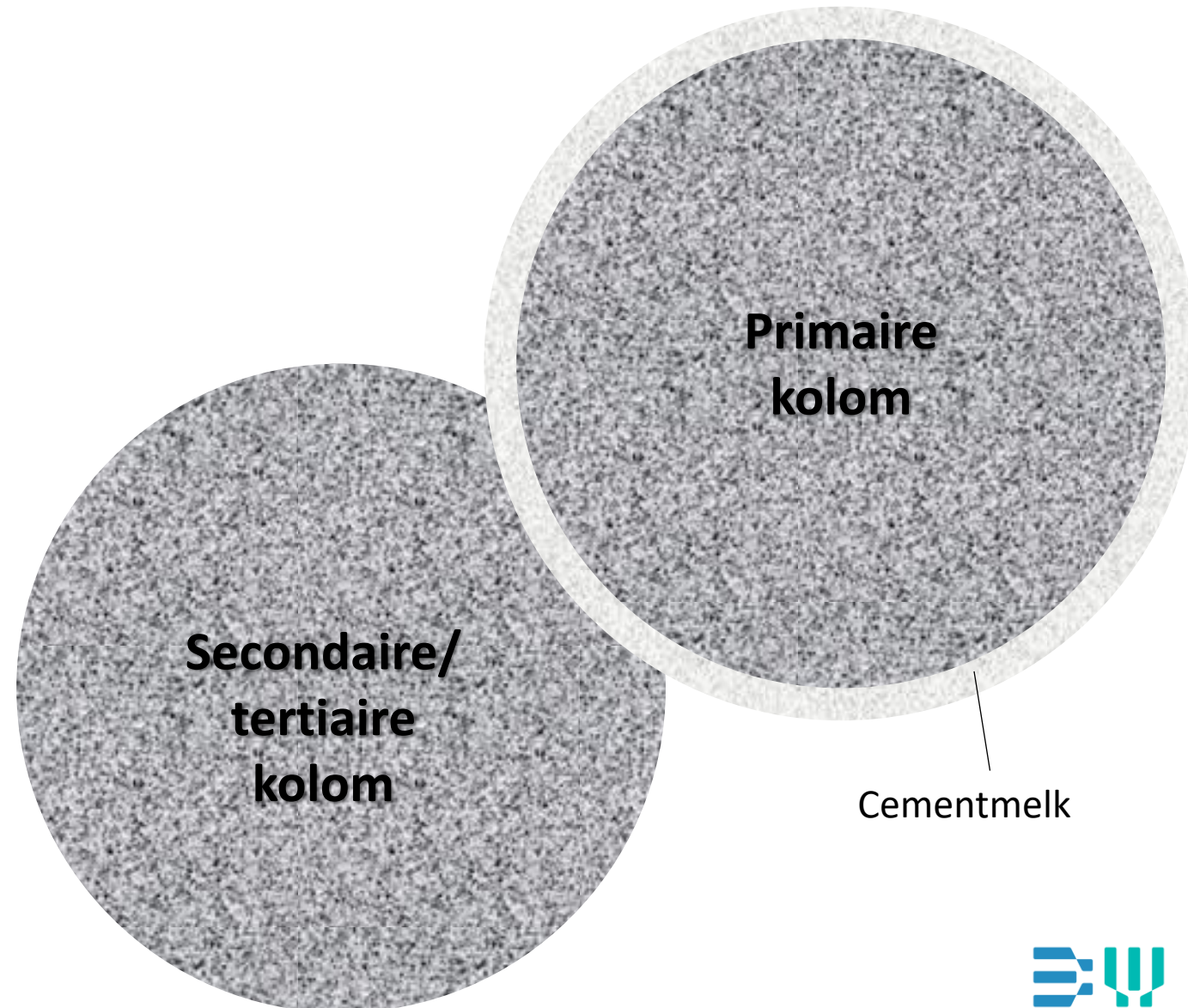
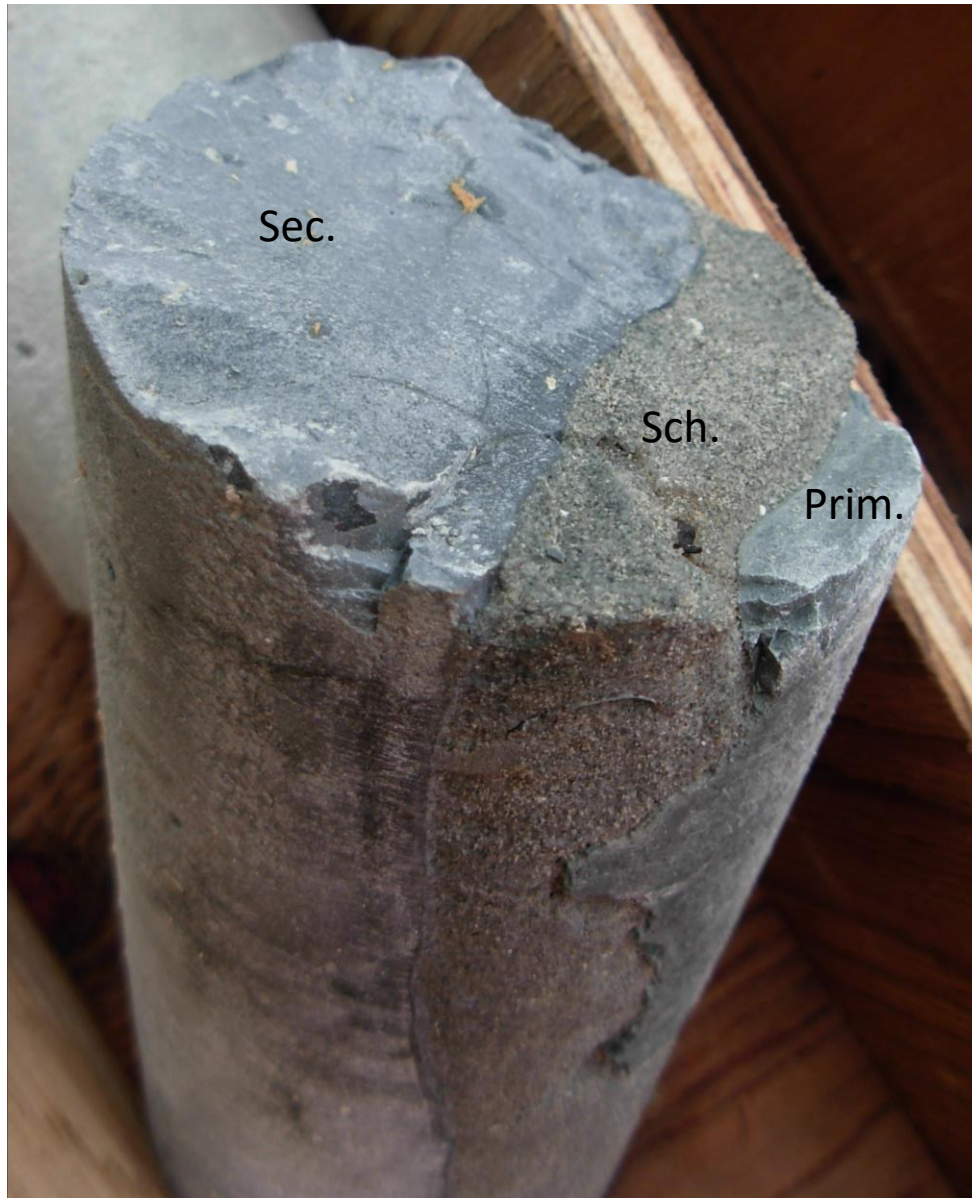


Jet grouting – doorlatendheid - schuimlaag

Schuimlaag in contactvlak tussen primaire en secundaire/tertiaire kolommen
= in zandgronden kan **cementmelk** over een zekere afstand in de grond dringen. Wanneer de zandlaag daardoor een zekere sterkte heeft kan deze niet worden weggeerodeerd bij het uitvoeren van de naastgelegen kolom
→ **invloed op lekdebiet**: toename lekdebiet is moeilijk te voorspellen



Jet grouting – doorlatendheid - schuimlaag



Jet grouting – schikking van de kolommen

Plaatsing, helling en onzekerheid diameter

Bij de uitvoering van horizontale afdichtingslagen is de keuze van de schikking van de groutkolommen zeer belangrijk. Er dient dan immers voor te worden gezorgd dat er nagenoeg geen openingen tussen naast elkaar uitgevoerde groutkolommen kunnen ontstaan.

De mogelijke aanwezigheid van dergelijke openingen wordt bepaald door:

- De juiste positie van de groutkolommen;
- De diameter van de groutkolommen.

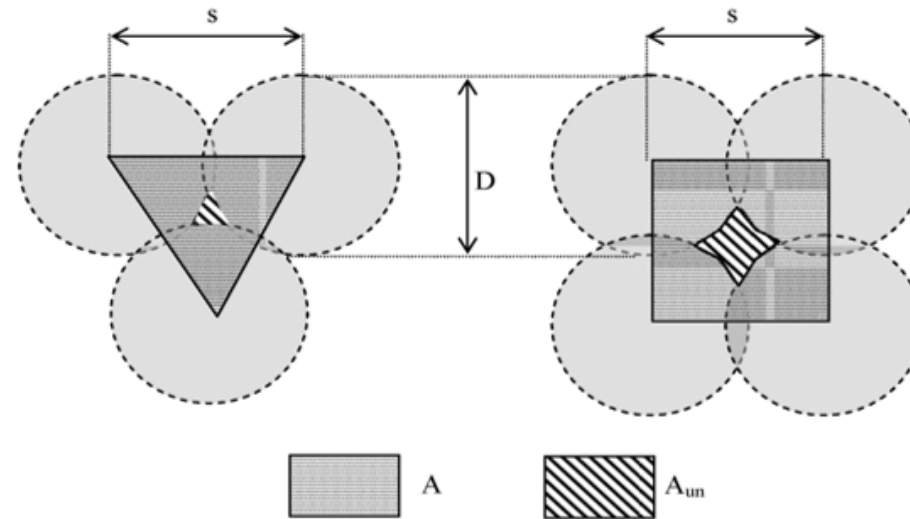
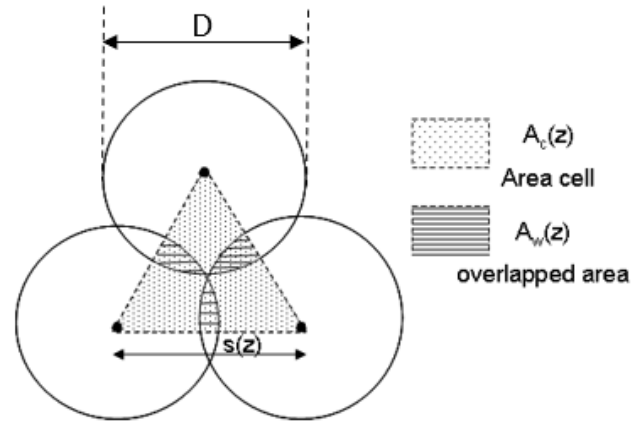
De positie van de groutkolommen wordt in een belangrijke mate bepaald door de mogelijke afwijking van de boorstangen t.o.v. de verticale. De onzekerheid i.v.m. de positie van de groutstangen kan in een belangrijke mate worden opgeheven door het systematisch opmeten van de helling van de groutstangen.

Op basis van de aldus verkregen informatie kunnen dan zones worden afgebakend waar mogelijke openingen kunnen bestaan. In deze zones kunnen dan controleboringen worden uitgevoerd of kunnen bijkomende kolommen worden aangebracht.

Jet grouting – schikking van de kolommen

The example of jet grouted water sealing bottom plugs

Triangular array



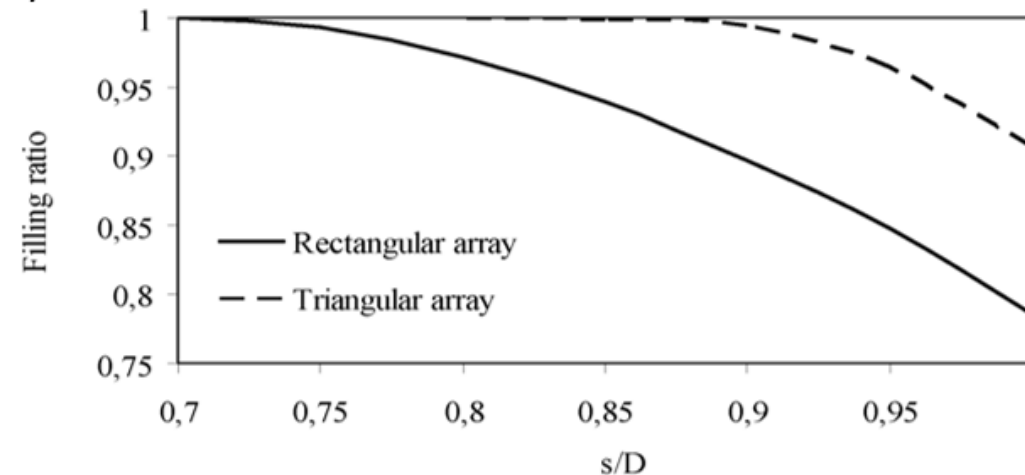
Bron: Allesandro Flora

To have a fully treated cross section in ideal conditions with a triangular array:

$$s(z)_{\max} = 0.87 \cdot D$$

Filling ratio:

$$F(s/D) = \frac{A - A_{un}}{A}$$



Jet grouting – Uitvoeringstoleranties

prEN 1997-3 CLAUSULE 11 - Grondverbetering

(2) The geometrical properties of the ground improvement shall be specified by the relevant **execution standard**.

NOTE 1 In the absence of a relevant execution standard geometrical properties can be specified in the **National Annex**.

NOTE 2 When no national choices are made, the values of geometrical properties can be specified by a **relevant authority**.

(3) In the absence of specification according to (2) the geometrical properties shall be based on **comparable experience** or, in the absence of comparable experience, on the **results of trials**.



Jet grouting – Uitvoeringstoleranties

BGGG – Vormingsavond voor Praktijkingenieurs
JET GROUTING
Dinsdag 28 mei 2019 – OCW Sterrebeek
Jet grouting: Hoe ontwerpen in het bestaande normatieve kader
Ir. Kristof Van Royen – Denys NV

De reikwijdte van de jetstraal (\approx diameter van de paal, afmetingen jetgrout element) wordt bepaald door:

- de injectiedruk
 - de diameter/vorm van de düzen
 - de capaciteit van de pomp => debiet
 - de snelheid waarmee de groutstangen worden opgetrokken
 - de rotatiesnelheid => de verblijftijd van de injectiestraal
 - in een beperkte mate de reikwijdte,
 - in een belangrijke mate het vervangingspercentage en daardoor de druksterkte
 - **de aard van de grond**
 - de gebruikte techniek: mono-jet / bi-jet / tri-jet
- Niet onafhankelijk, functie van capaciteit van de hoge drukpomp

Jet grouting – Uitvoeringstoleranties

BGGG – Vormingsavond voor Praktijkingenieurs

JET GROUTING

Dinsdag 28 mei 2019 – OCW Sterrebeek

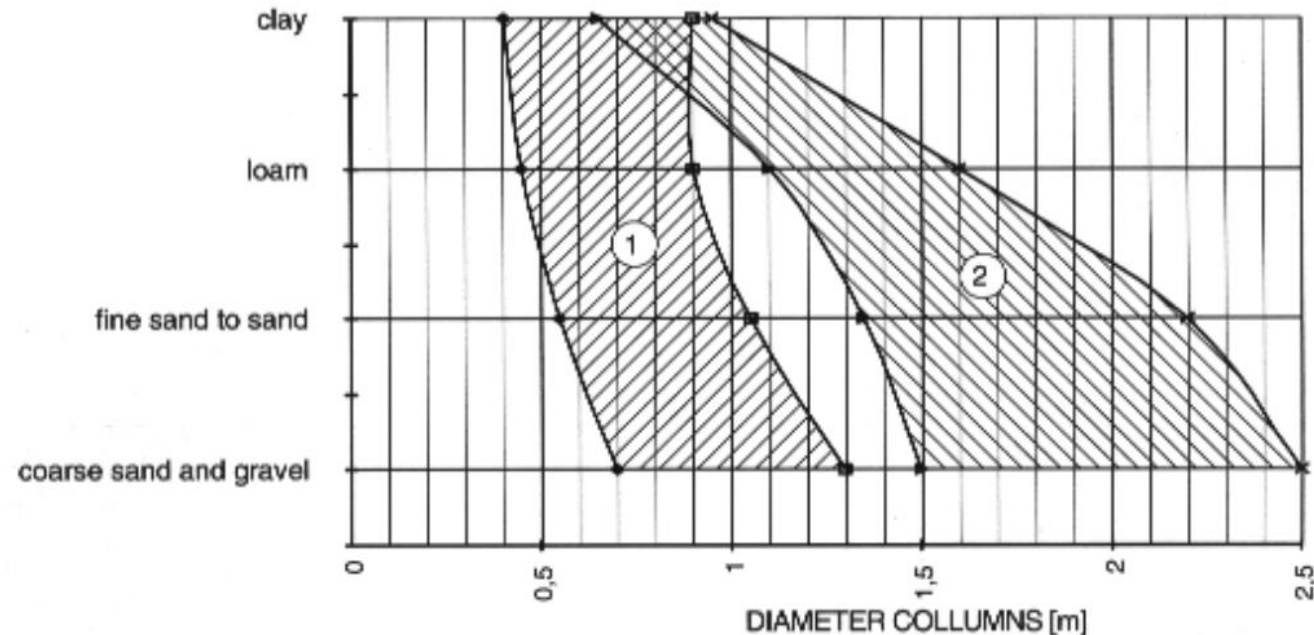
Jet grouting: Hoe ontwerpen in het bestaande normatieve kader

Ir. Kristof Van Royen – Denys NV

- geen algemeen aanvaarde regels voor het vastleggen van de reikwijdte van een groutstraal
- Enkel richtwaarden – zie grafiek
- Veel formules in literatuur i.v.m. de invloed van bepaalde parameters => niet te veralgemenen
- Voor belangrijke projecten is het maken van proefkolommen altijd nodig

Bron: SoA Maertens et al. (BGGG website)

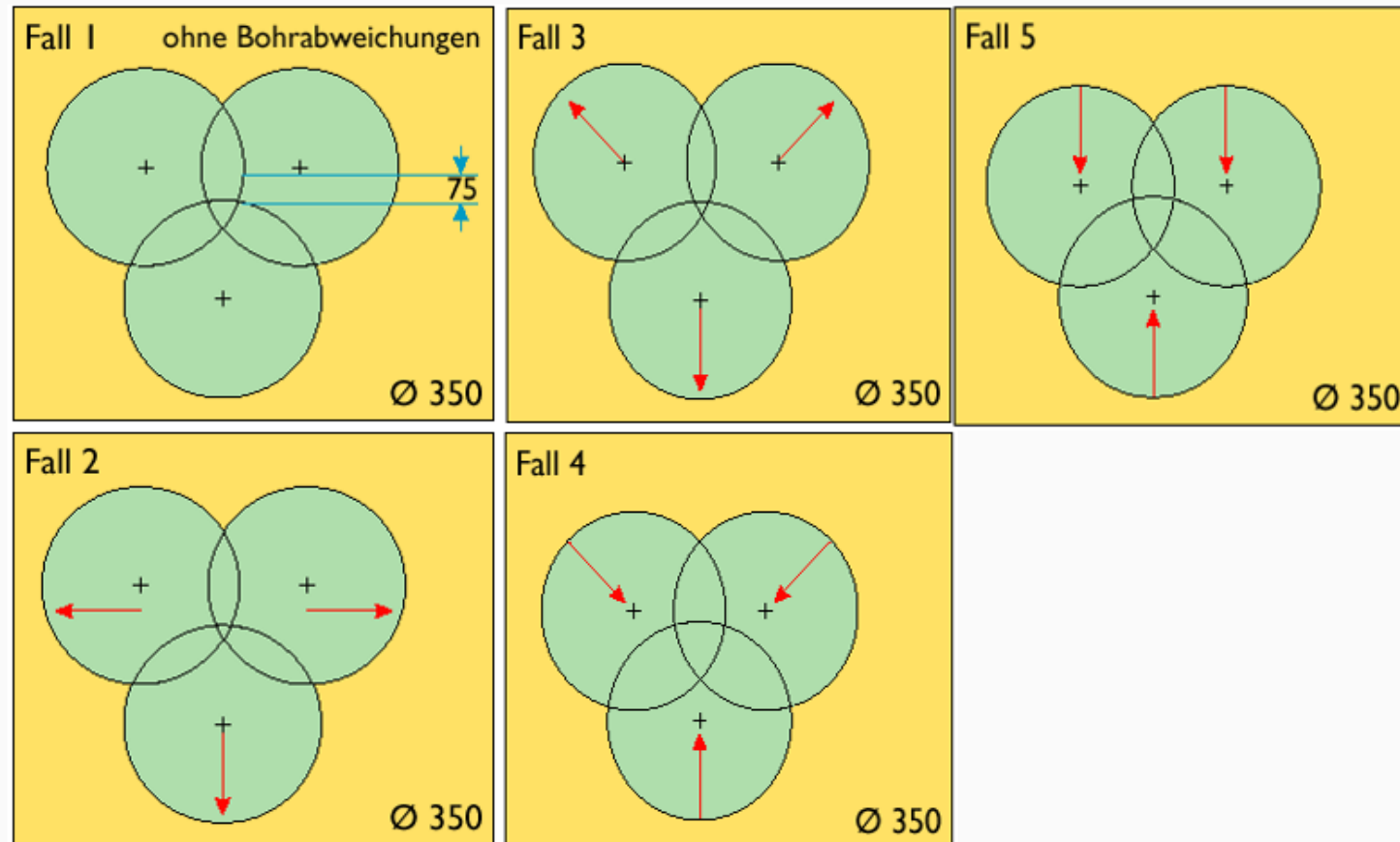
MONO-JET(1) <-> AIR ASSISTED JET(2)



Figuur 2/13: Kolomdiameters welke in een aantal typische grondsoorten kunnen gerealiseerd worden.

Jet grouting – Uitvoeringstoleranties

Consideration of deviations at design stage



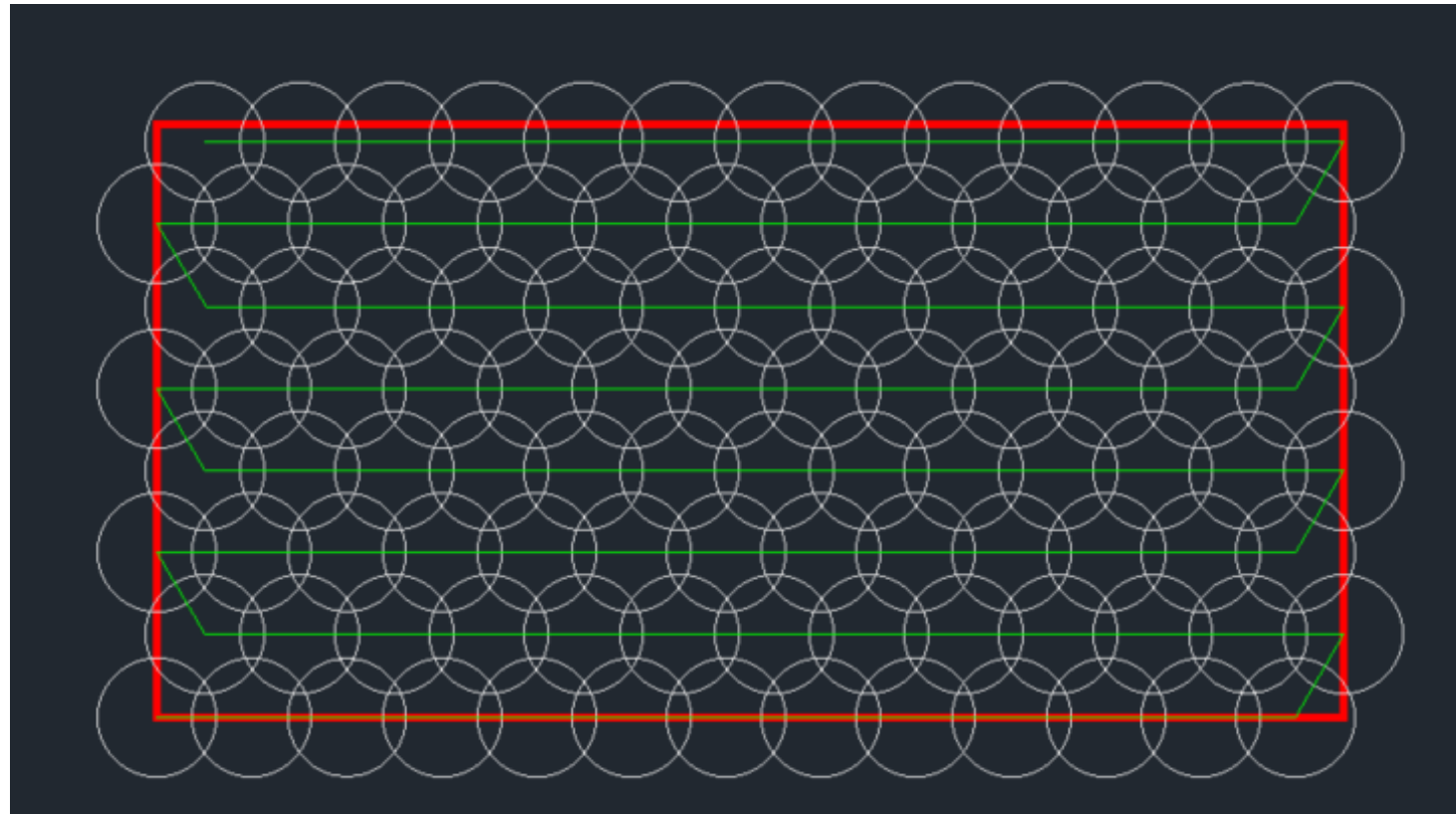
Jet grouting – Uitvoeringstoleranties

Consideration of deviations at design stage

Monte Carlo simulaties
uitgevoerd door Krsitof Van Royen (Denys nv)

Ideale schema

Bouwkuip van 10 x 5 m
Driehoekig raster
Kolomdiameter 1 m
hart op hart 80 cm



Jet grouting – Uitvoeringstoleranties

Consideration of deviations at design stage

Monte Carlo simulaties

uitgevoerd door Krsitof Van Royen

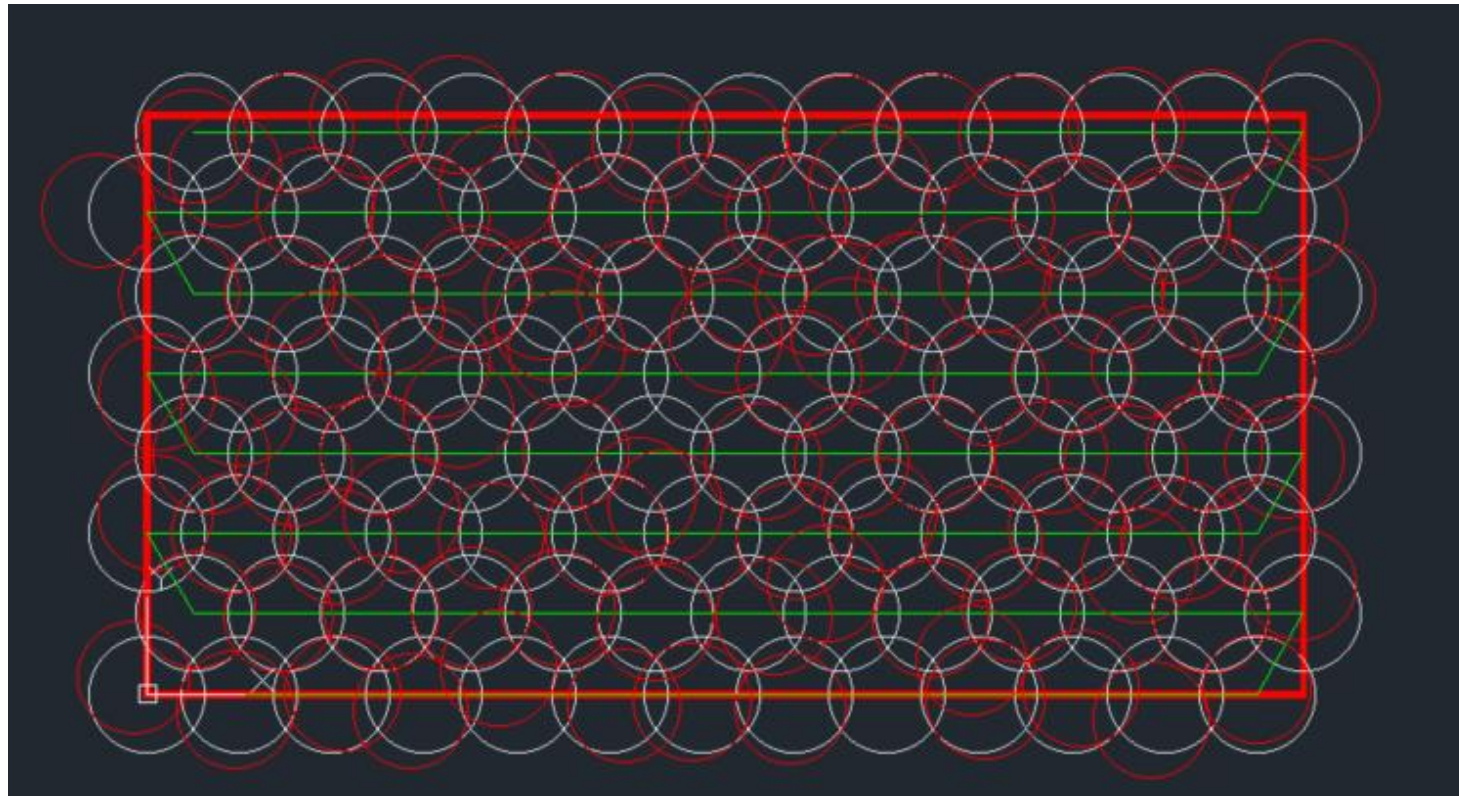
het schema hoe dat er zou kunnen uitzien op 20 m diepte

Beschouwde

standaarddeviaties:

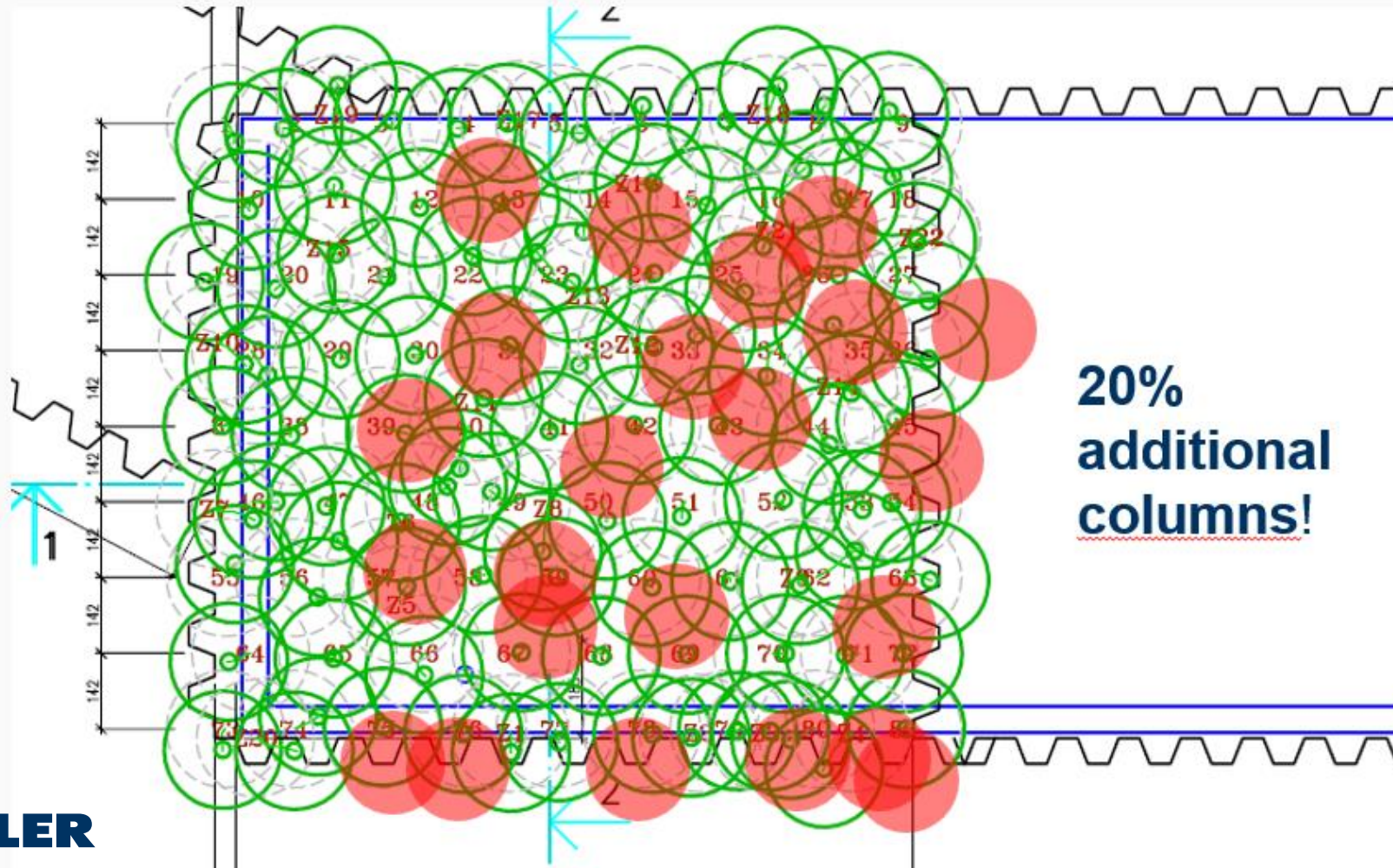
- 15 mm op de inplanting van de paal
- 0.6° op de helling
- 33 mm op de paaldiameter

Hou er rekening mee dat de berekening niet kan simuleren dat een paal tegen een andere boort en zo weer rechter naar beneden gaat ... maar het geeft wel een beeld van het belang van toleranties, overlap.



Jet grouting – Uitvoeringstoleranties

Impact of deviation on overlapping

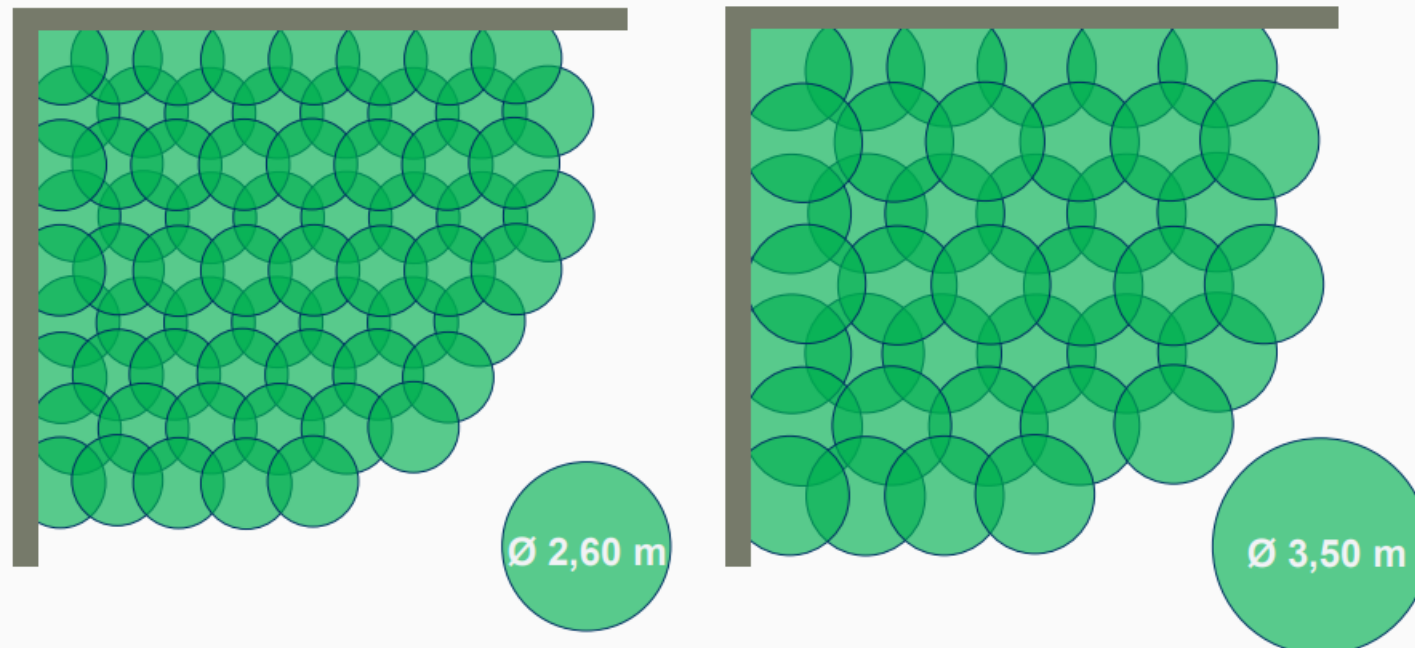


Jet grouting – Uitvoeringstoleranties

Diameter of jet grout columns

Increase in diameter reduces the overlapping volume and minimizes the joint-area in between columns

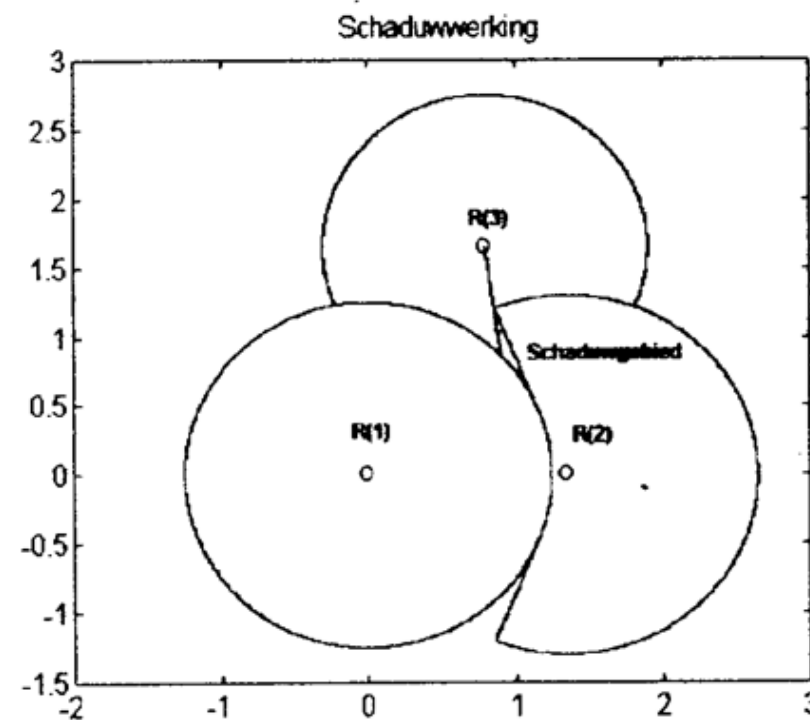
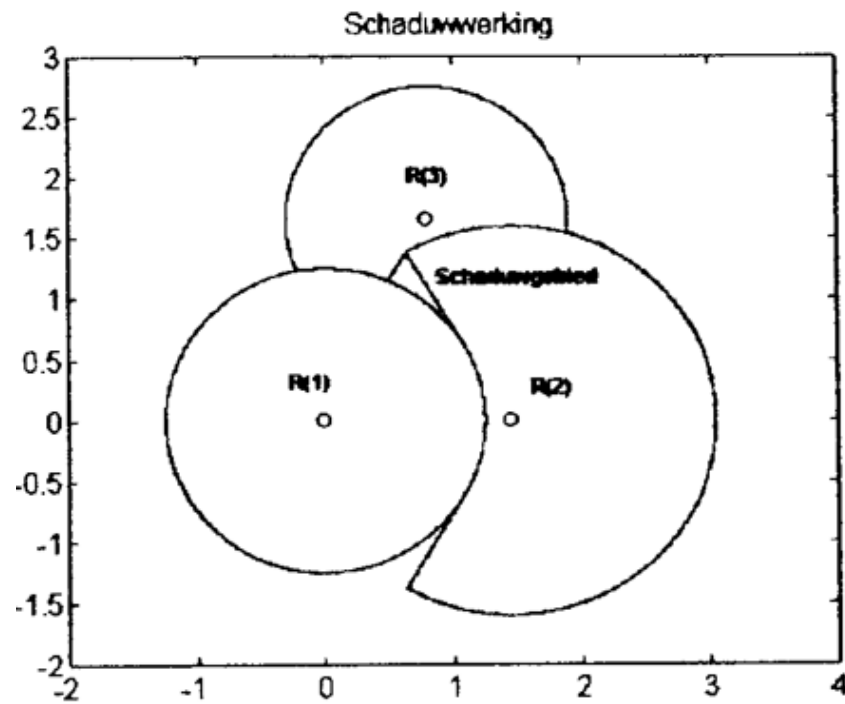
+ schaduwwerking te verminderen



Jet grouting – Uitvoeringstoleranties

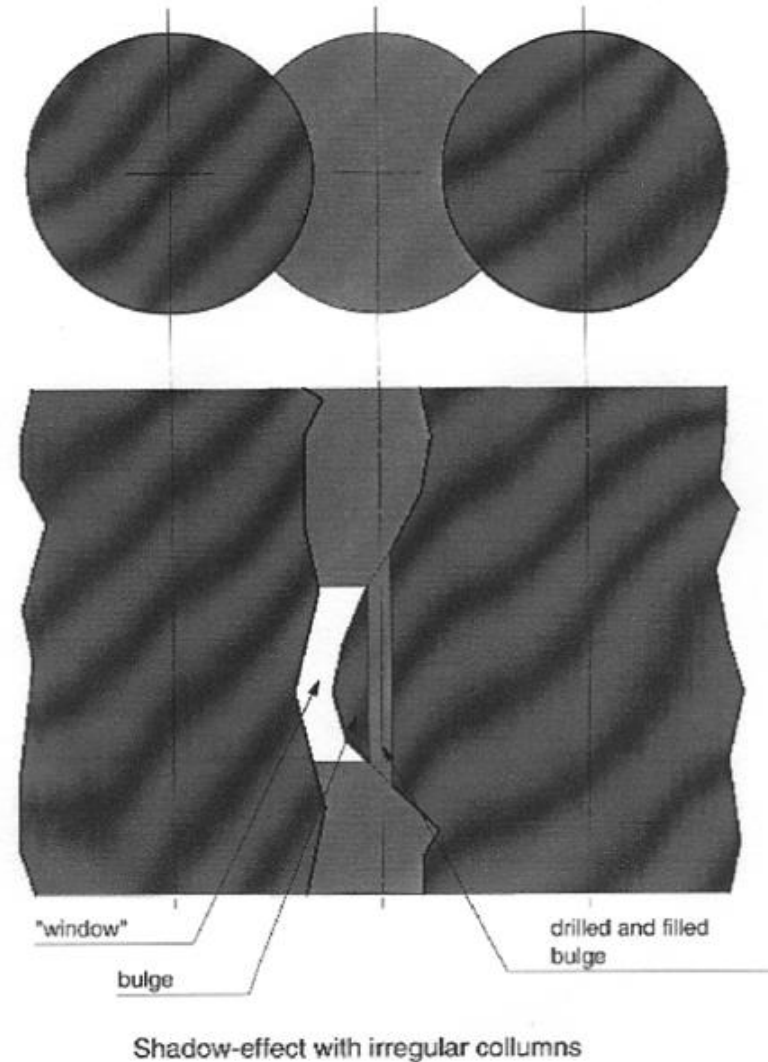
Schaduwwerking:

= groutstang te dicht bij eerder uitgevoerde kolom



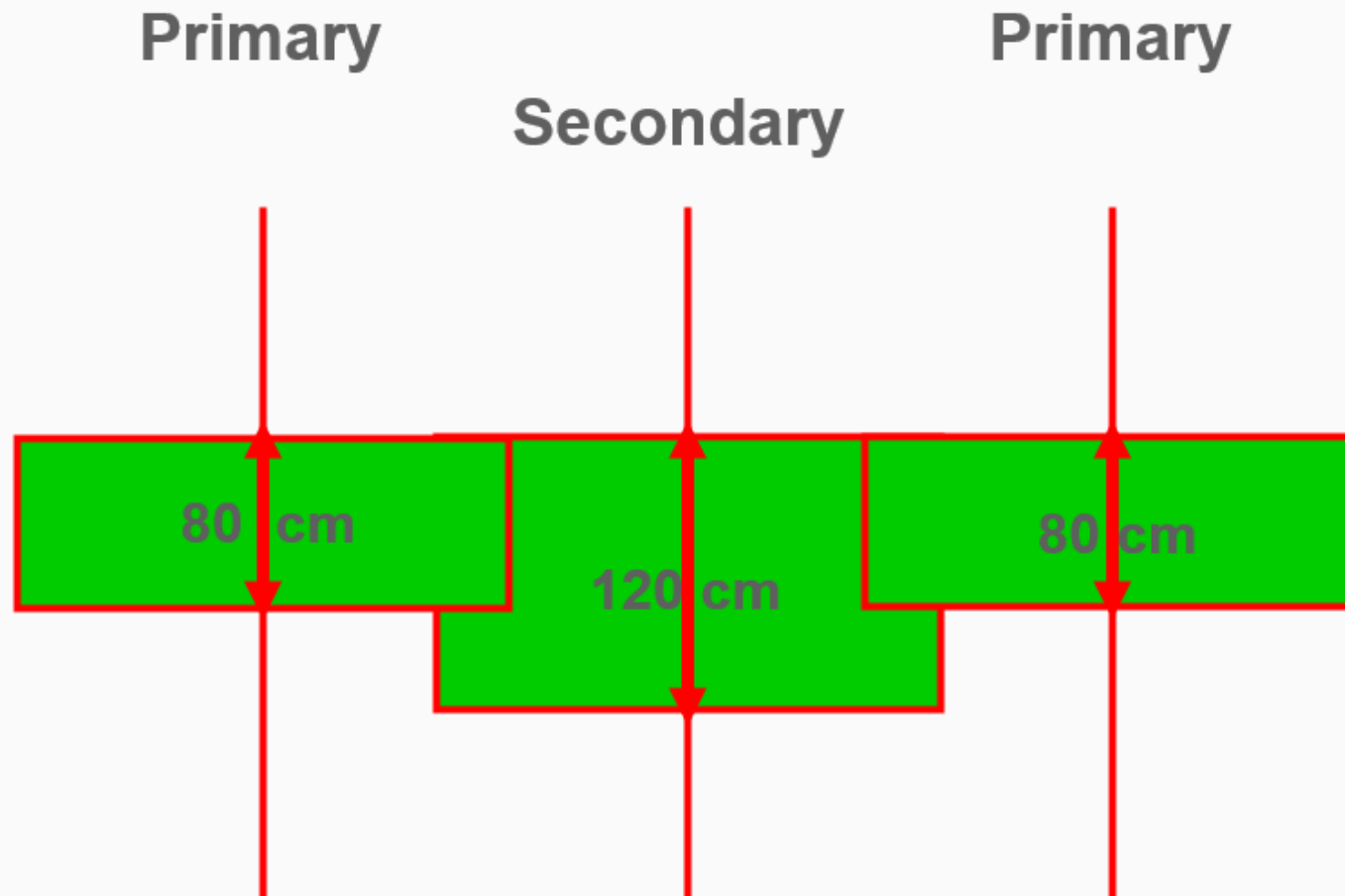
Jet grouting – Uitvoeringstoleranties

Schaduwwerking:
= groutstang in eerder
uitgevoerde kolom



Jet grouting – Uitvoeringstoleranties

Quality assurance execution sequence



Jet grouting – Kwaliteitszorg

Tijdens de proeffase:

- Diameter van de kolommen
 - ❖ Paraplu (min. lengte van 3 meter)
 - ❖ Hydrofoonmethode met extra stalen buizen
- Monstername
- Inclinometer metingen
- Controle met een GPS-systeem

Tijdens de productiefase:

- Diameter van de kolommen
 - ❖ Regelmatige boring in de uitsparing tussen 3 kolommen
- Monstername
- Inclinometer metingen
- Controle met een GPS-systeem
- Reporting voor elke uitgevoerde kolom (registratie van de uitvoeringsparameters)

Tijdens de proeffase:

- Pompproeven
- Piezometer metingen
- Geofysische metingen
bv. met Texplor-systeem

Bron: Peter De Vleeschauer

Jet grouting – Kwaliteitszorg

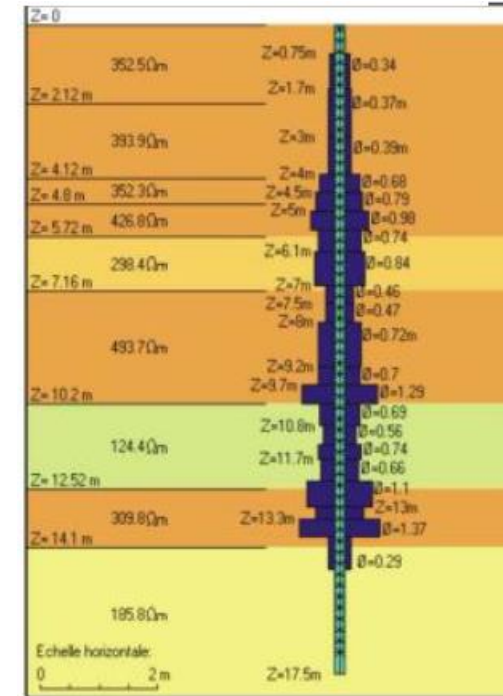
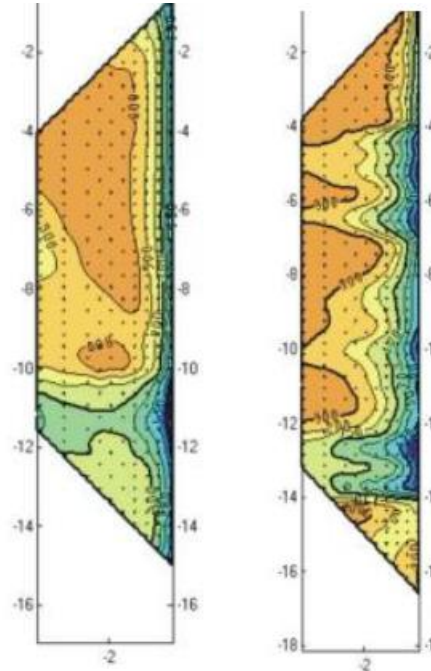
Diameter verification

using hydraulic measurement device



Geldig voor kolommen met een min lengte van 3 meter

In het verse jet grout-materiaal



!methode van de elektrische cilinder niet toepasbaar voor de controle van de afdichtingslaag gezien de beperkte diepte van de kolommen



Jet grouting – Kwaliteitszorg

Hydrofoonmethode met
extra stalen buizen



Figure 29: Hydrophone (Lesnik, 2003)

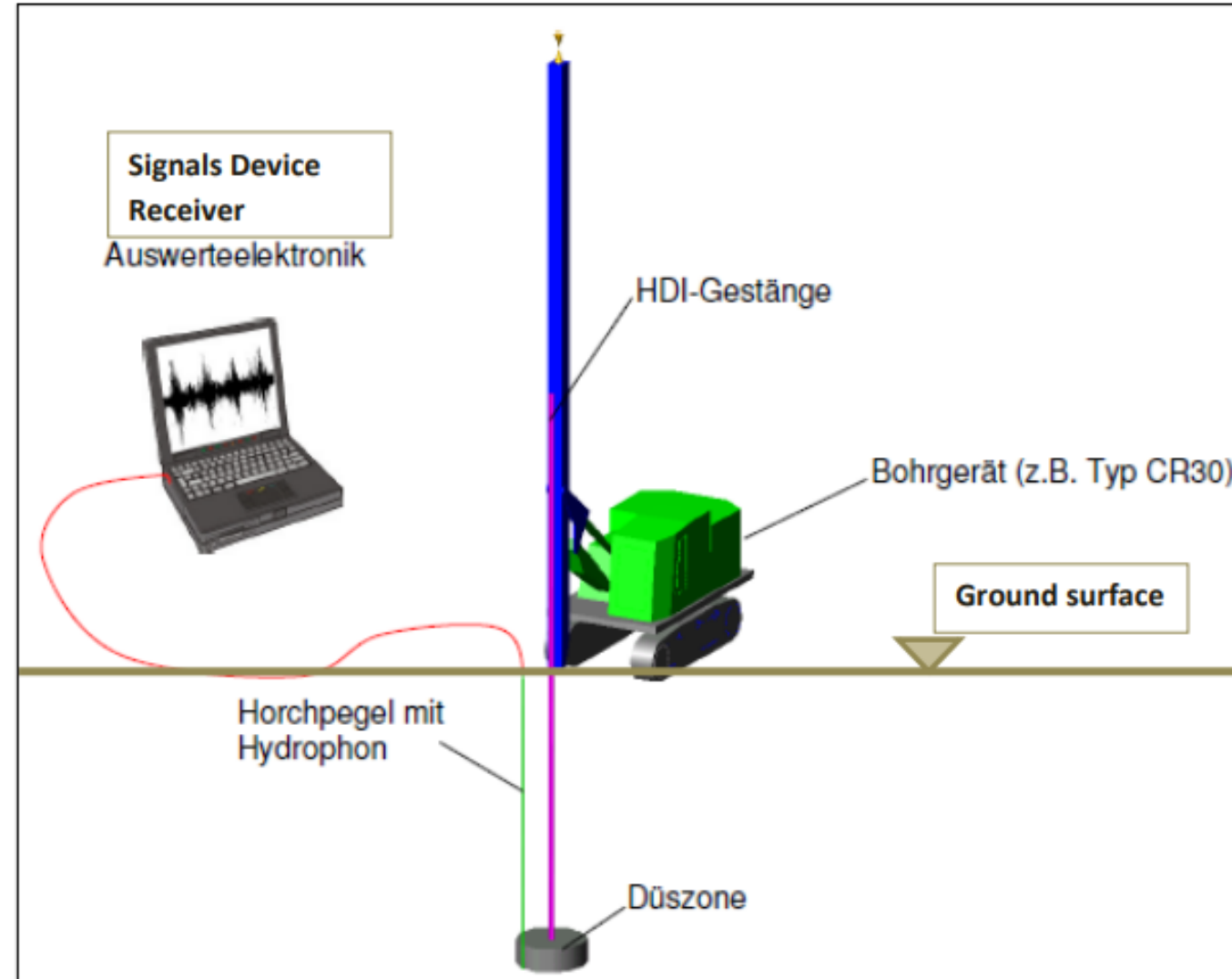


Figure 30: Equipment used for the application of the hydrophone method (Leible, 2011)

Jet grouting – Kwaliteitszorg

Hydrofoonmethode met
extra stalen buizen

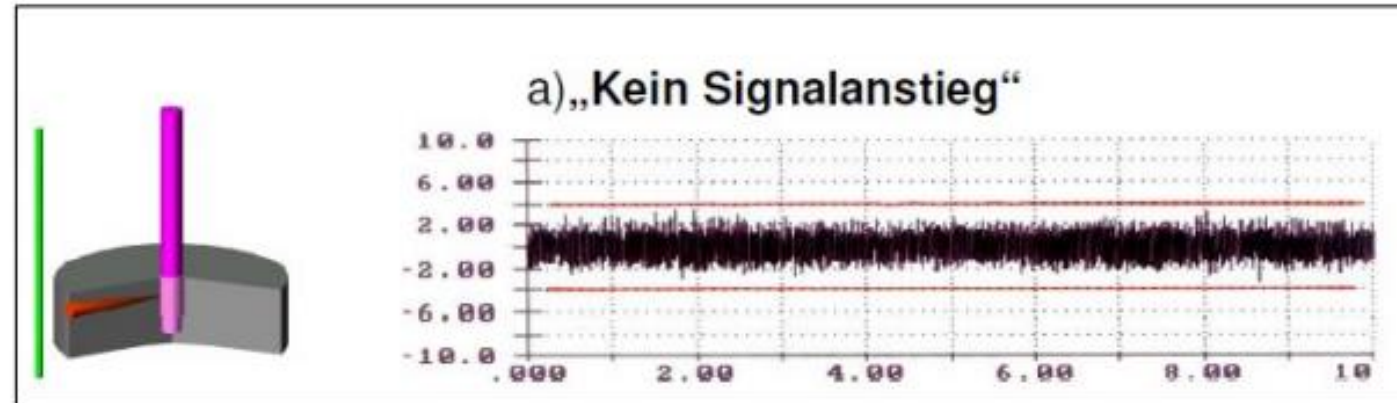


Figure 31: No peak at all in the electrical signal – the design diameter was not achieved (Leible, 2011)

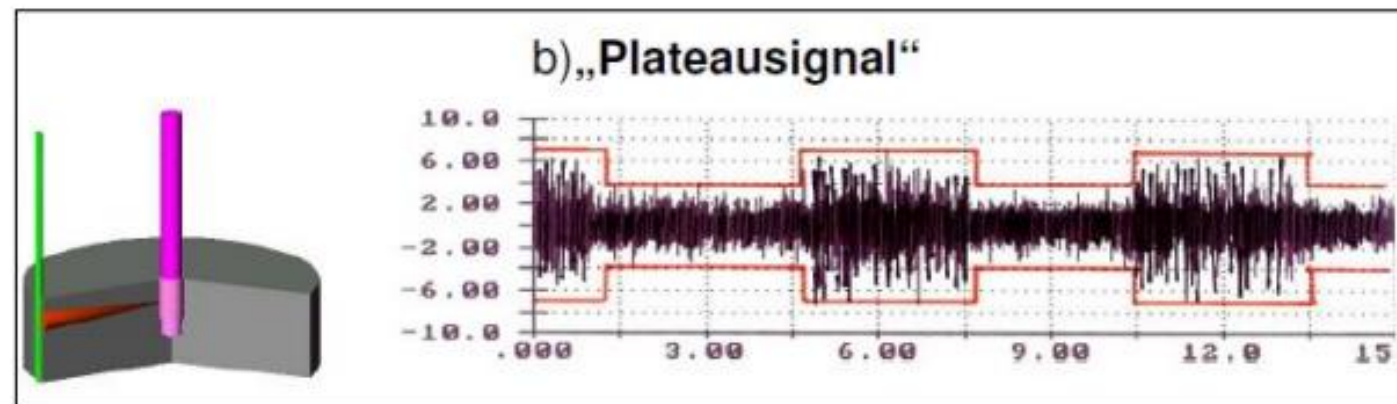


Figure 32: Plateausignal – the design diameter was achieved (Leible, 2011)

Jet grouting – Kwaliteitszorg

Hydrofoonmethode met
extra stalen buizen

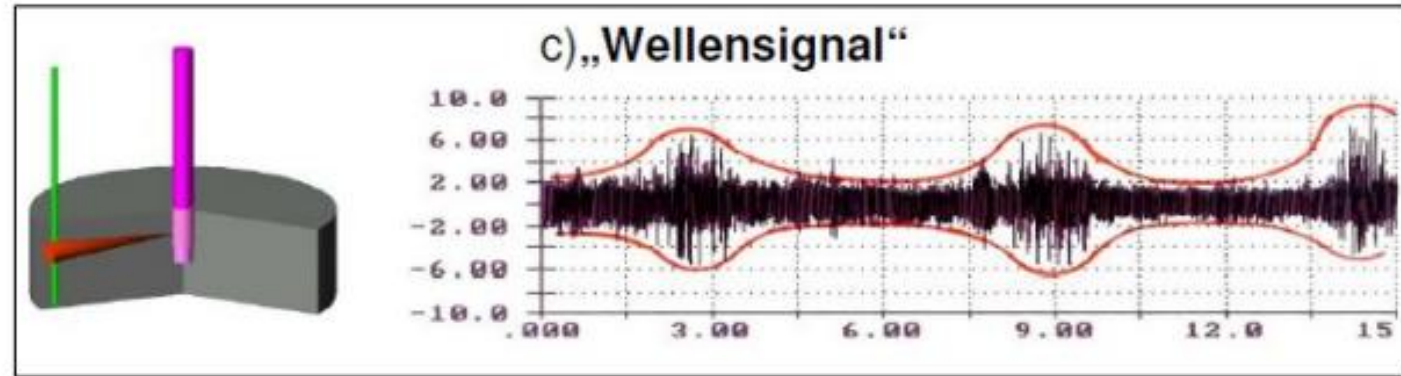


Figure 33: Waves signal – the design diameter has been achieved (Leible, 2011)

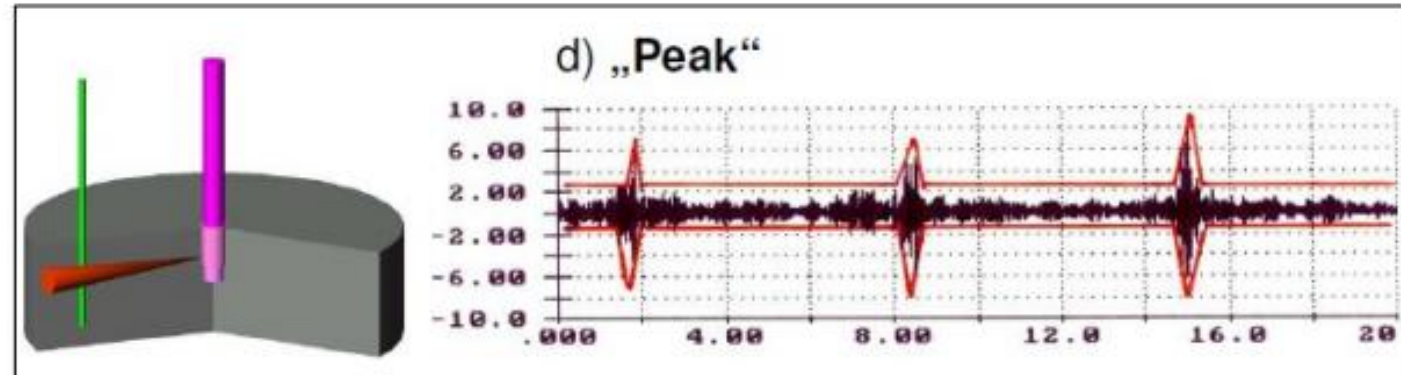
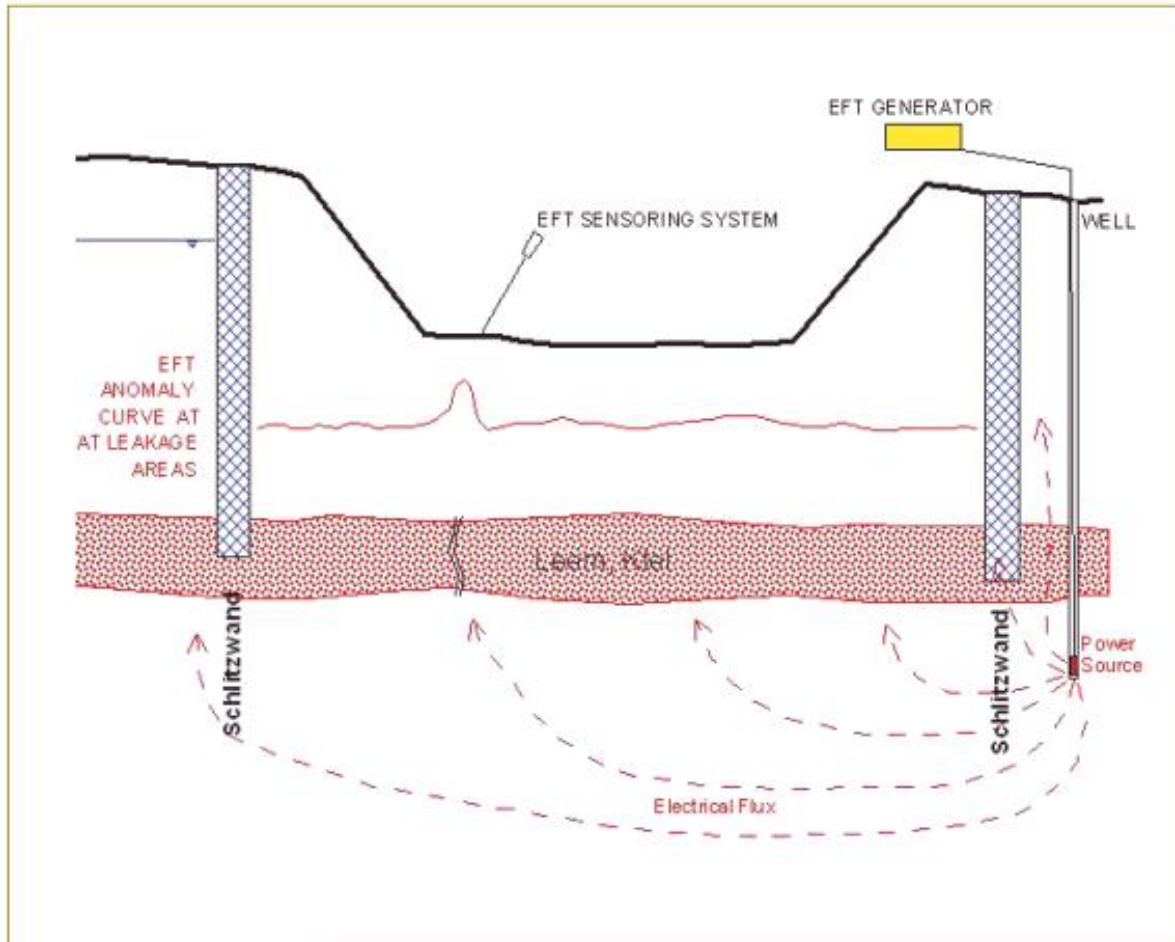
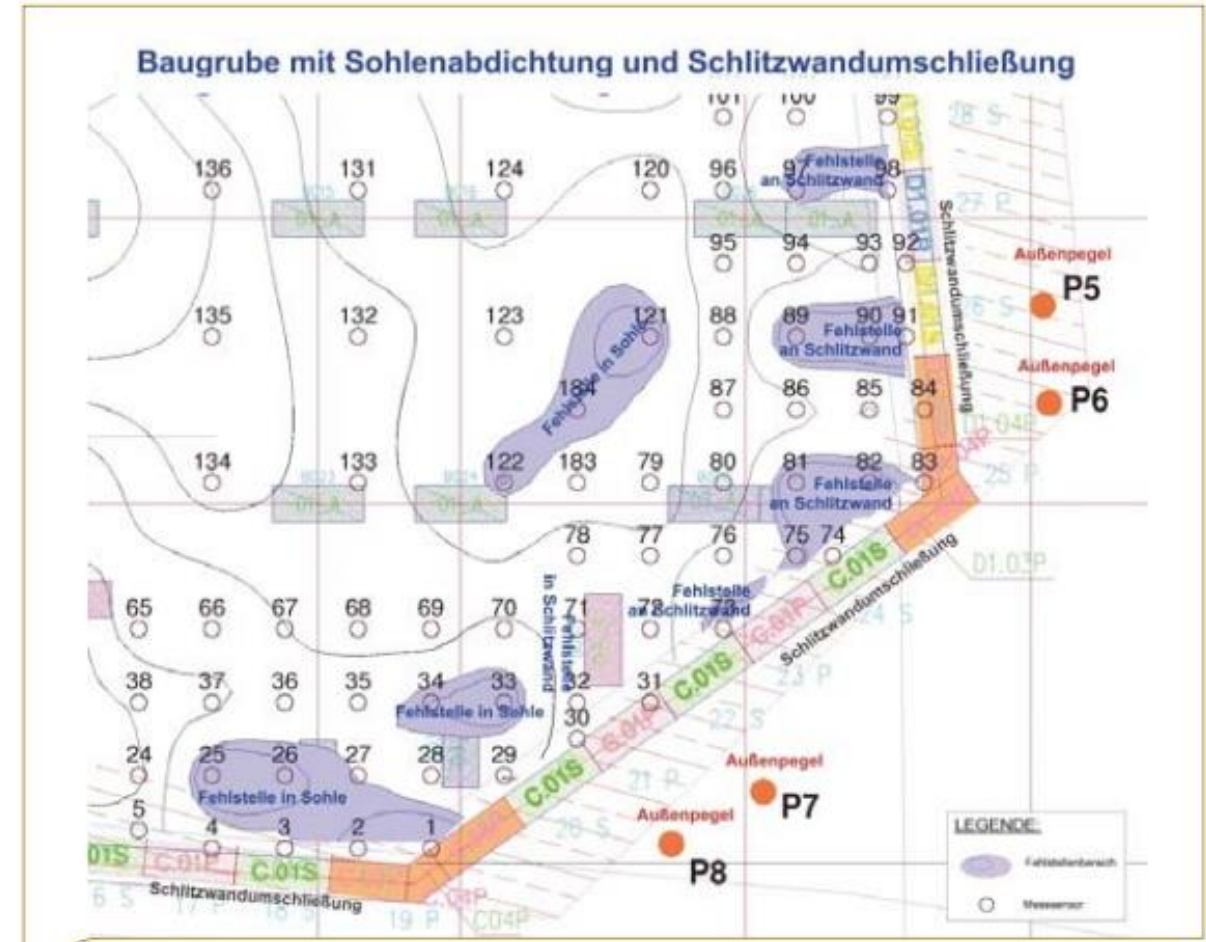


Figure 34: Peak signal – the design diameter has been clearly achieved (Leible, 2011)

Jet grouting – Kwaliteitszorg



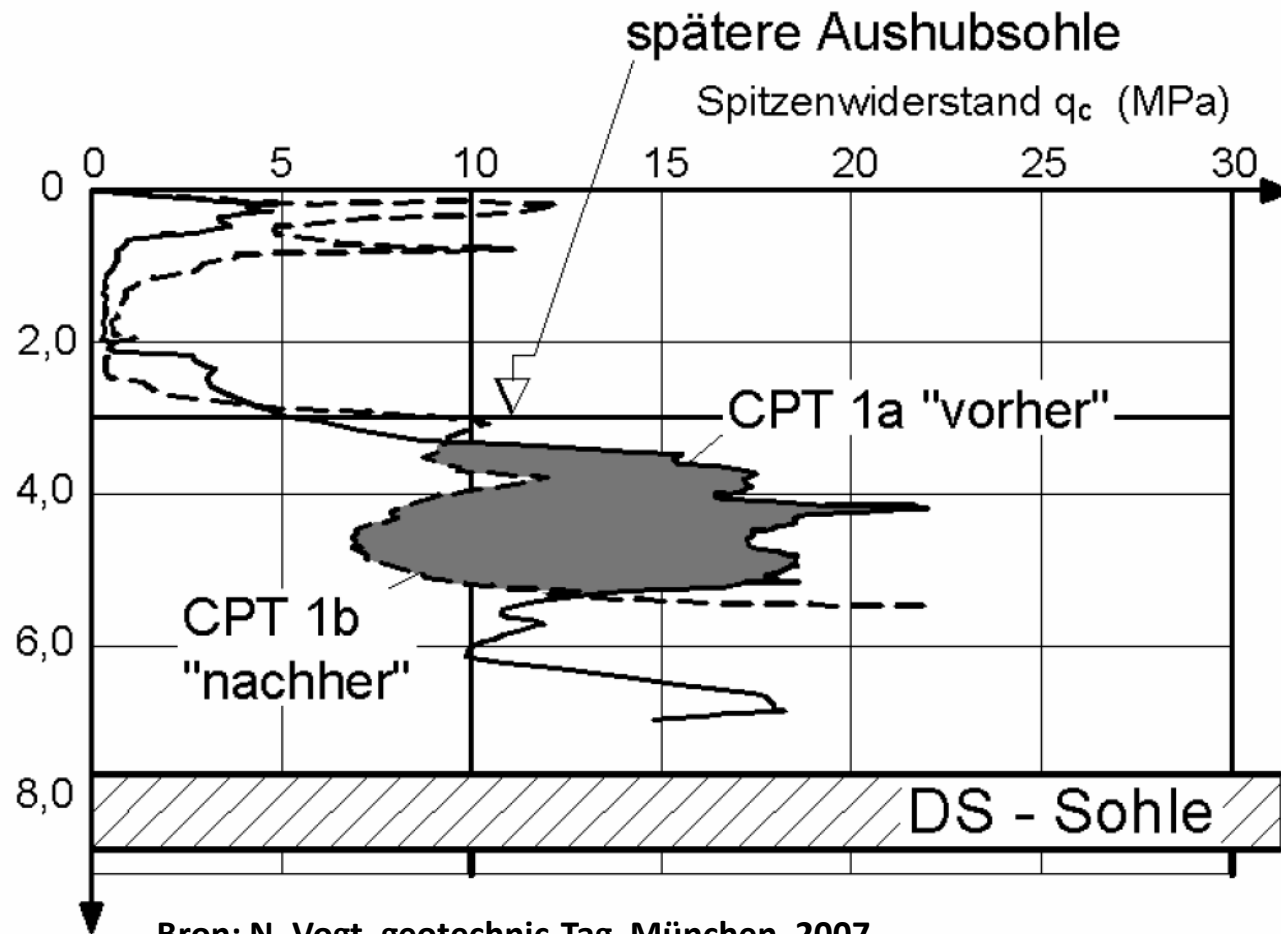
Figuur 4 – Meetmethode diepwand in afsluitende kleilaag.



Figuur 5 – Bovenaanzicht sensorenveld en interpretatie van de meetresultaten.

Bron: Brouwer en Veldhuizen, Lekdetectie bij bouwputten – toepassing van de elektrische potentiaal methode, Geotechniek - Januari 2011

Jet grouting – Kwaliteitszorg – effect van de injectie op de weerstand van de ondergrond



Te groot luchtgebruik
→ **vermindering van de
grondweerstand door ontspanning
van de grond**
→
**te beschouwen in het ontwerp
(verminderde
grondkarakteristieken)
of grondverdichting**

Jet grouting – Afdichtingslagen

Concepten: Hoog- en diepgelegen jetgroutlagen

Fasering met of zonder trekelementen

Verticaal evenwicht voor hoog- en diepgelegen jetgroutlagen

Opbarst en verankering

Risico van lekkage

Connectie met de anker- en micropalen

Connectie met de verticale schermwanden

Doorlatendheid van de jetgroutlaag

Uitvoeringstolerantie (plaatsing, helling en onzekerheid diameter)

Kwaliteitszorg

Spoil