



hoogheemraadschap  
**Hollands  
Noorderkwartier**



## Markermeerdijk, maatwerk dijkversterking op slappe ondergrond

KIVI-lezing Dijkversterking

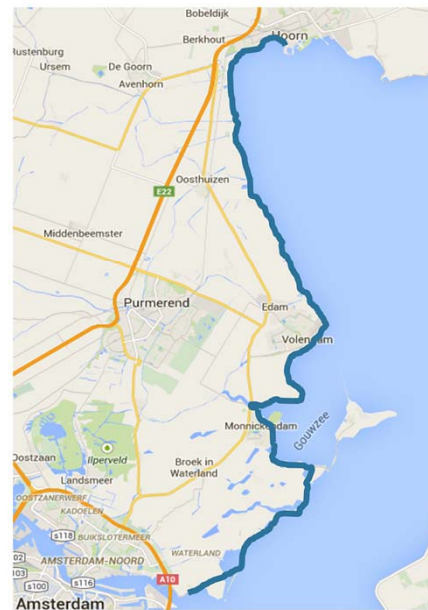
Werner Halter, 10 september 2015

Geschiedenis

Geologie

Dijkversterking

Onderzoek “Dijken op Veen”



Opbouw presentatie.

Blauwe lijn is de te versterken Markermeerdijk Hoorn – Edam – Amsterdam. Markermeerdijk is vaak doorgebroken. Dit is te zien op oude kaarten aan grillige vorm oeverlijn en aan vele meertjes achter de dijk.

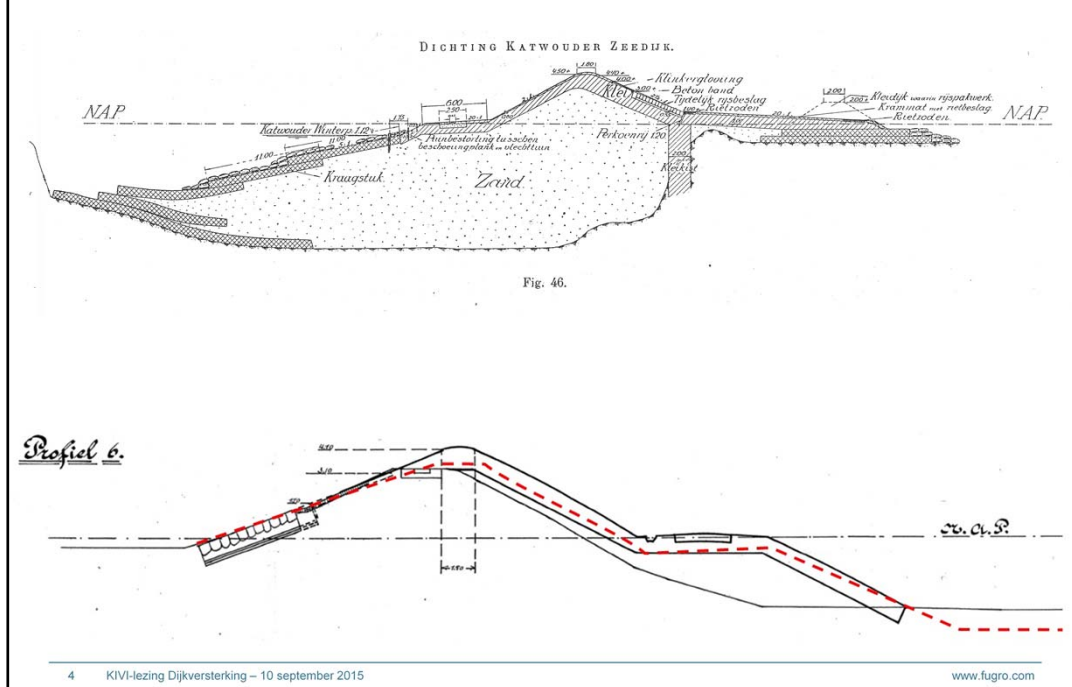


Volendam, 14 januari 1916

Laatste watersnood is bijna 100 jaar geleden.

Weinig directe schade, wel grote indirecte gevolgen: hongersnood.

Oorzaken watersnood: te lage dijken, puin in dijken en achterstallig onderhoud.  
→ Veel kritiek op dijkenbeleid leidde tot fusie van Noordhollandse waterschappen.



Direct na de watersnood is gewerkt aan herstel. Dit is goed gedocumenteerd.

Bovenste doorsnede: dijkgaten zijn gedicht. Hierbij zijn veel zettingen opgetreden.

Onderste doorsnede: dijk is verhoogd en versterkt met een berm (één karrespoor breed). Inmiddels zijn de dijk en het achterland alweer 0,5 à 1 meter gezakt (rode streepjeslijn).



**Zuiderzee**



**Markermeer**

Waternood 1916 was aanleiding tot Zuiderzeewerken.

Lange tijd is geen aandacht meer geweest voor de dijk in verband met de Zuiderzeewerken:

- 1932: Afsluitdijk
- 1976: Houtribdijk

Pas in 2003 werd besloten om niet de Markerwaard aan te leggen.

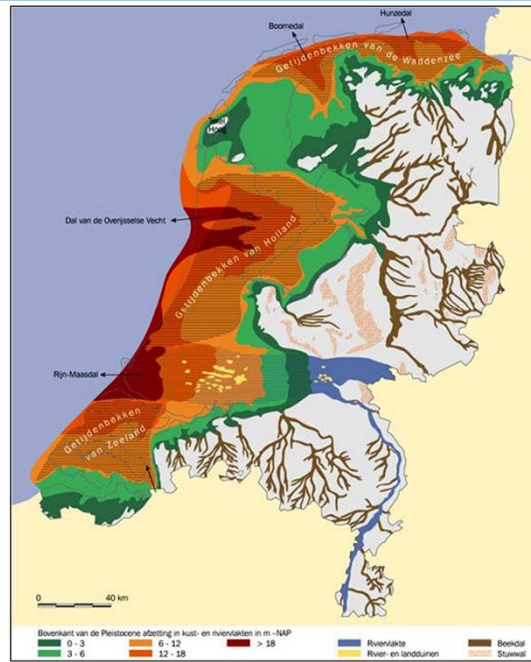
2002	Markermeerdijk krijgt status van primaire waterkering
2003 - 2006	Toetsing: stabiliteit veelal onvoldoende
2007 - 2011	Eerste fase planstudie: voorontwerp gereed
2011 - 2015	Onderzoek naar innovaties
2015 - 2021	Uitvoering dijkversterking door alliantie

In 2002 is de toetsing van start gegaan, ongeveer gelijktijdig met de annulering van de Markerwaard.

Daarna is zeer zorgvuldig en gefaseerd te werk gegaan, omdat de opgave ingewikkeld is en er veel verschillende belangen spelen. Dit verklaart de doorlooptijd.

Binnenkort wordt waarschijnlijk een alliantie gevormd die de dijkversterking moet gaan verwezenlijken.

## Verloop bovenkant Pleistoceen

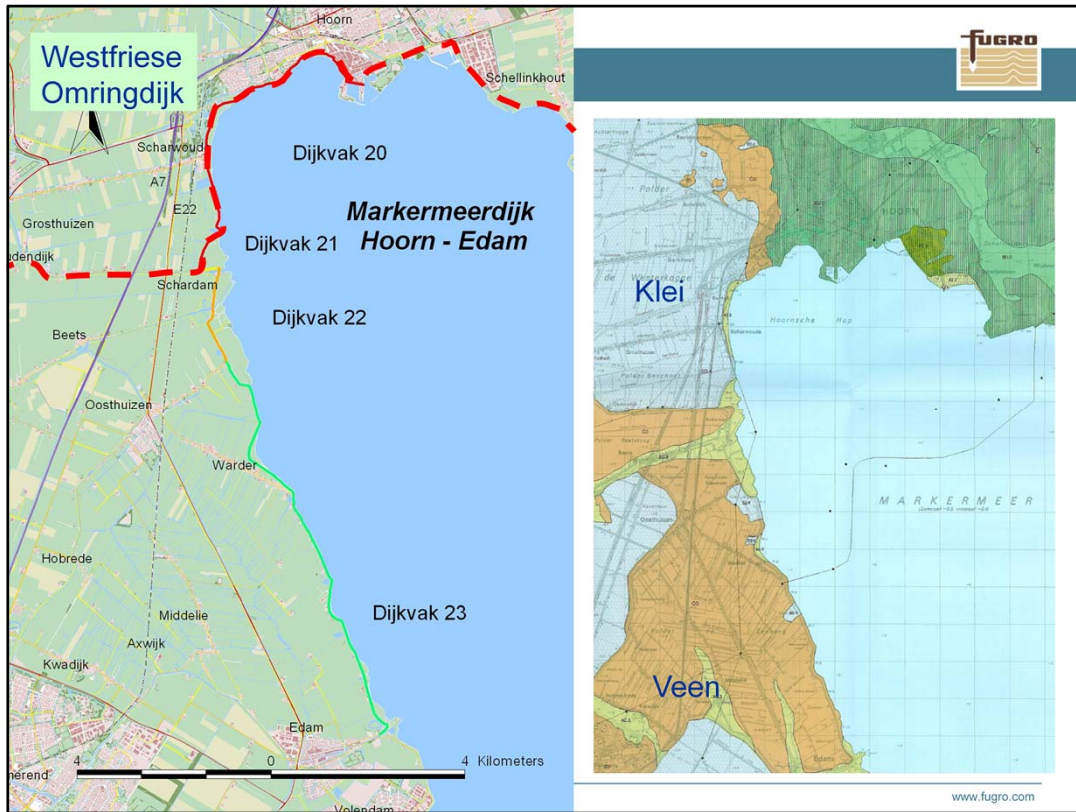


7 KIVI-lezing Dijkversterking – 10 september 2015

www.fugro.com

De 'harde zandlaag' zit bij de Markermeerdijk relatief diep door de aanwezigheid van het getijdenbekken van Holland.





Een deel van de Markermeerdijk maakt deel uit van de Westfriese Omringdijk, de eerste gesloten dijkkring van Nederland (13<sup>e</sup> eeuw). De ondergrond is daar duidelijk anders.



## Hoe slap is de ondergrond?

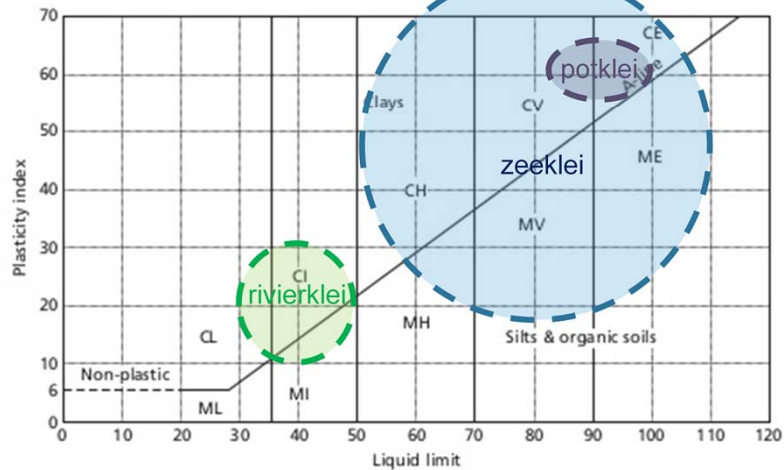


non-plastic	low	inter-mediate	high	very high	extremely high
-------------	-----	---------------	------	-----------	----------------

Plasticity increasing →



Plastische Markermeerdijkklei



9 KIVI-lezing Dijkversterking – 10 september 2015

www.fugro.com

De klei bij de Markermeerdijk is relatief plastisch ten opzichte van kleisoorten die in de rest van Nederland voorkomen.

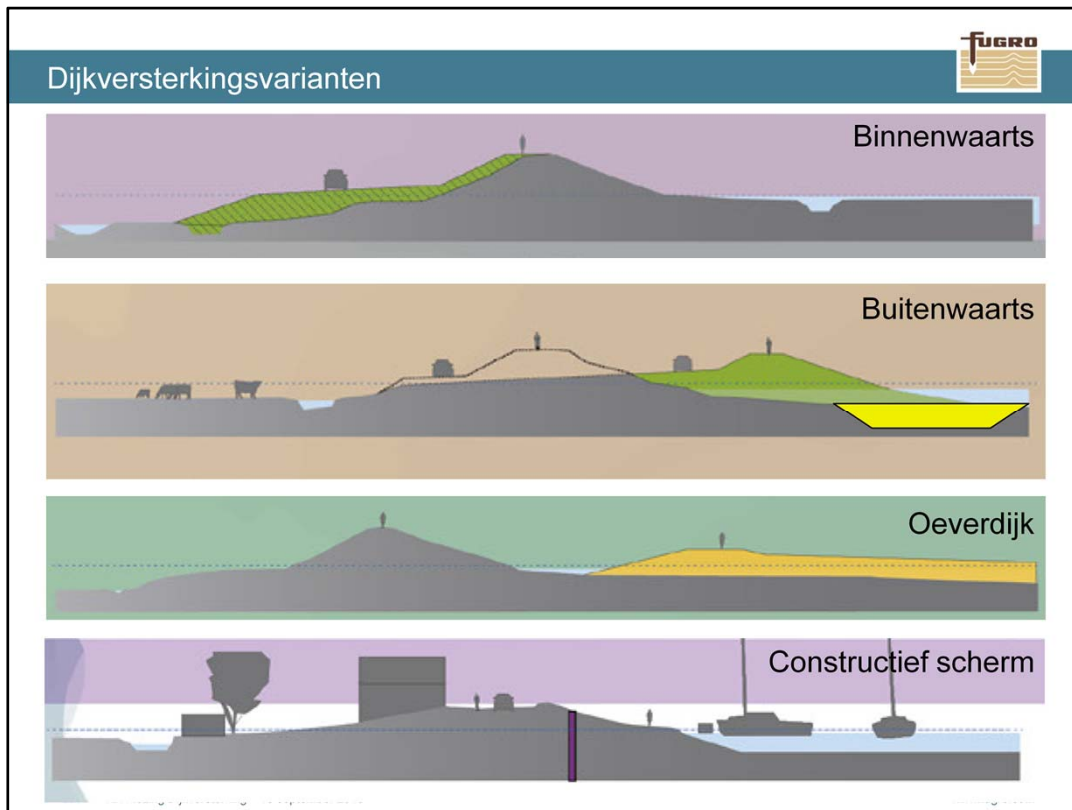
Dit betekent dat het makkelijk wordt weggeperst bij een belasting.



Watergehalte veen  
200 à 1000 % (m/m)

Veen heeft een kenmerkend hoog watergehalte voor Hollandveen.

Een watergehalte van 1000% betekent dat het water in een brok veen 10x zo veel weegt als de aanwezige vaste stof.



Er worden diverse dijkversterkingsvarianten beschouwd:

Binnenwaarts: relatief goedkoop, maar gaat ten koste van huidige gebruiksfuncties.

➔ Bij weilanden achter de dijk.

Buitenwaarts: ruimte is veelal wel aanwezig, maar heel de dijk moet op de schop.

➔ Bijvoorbeeld bij dorpje Uitdam.

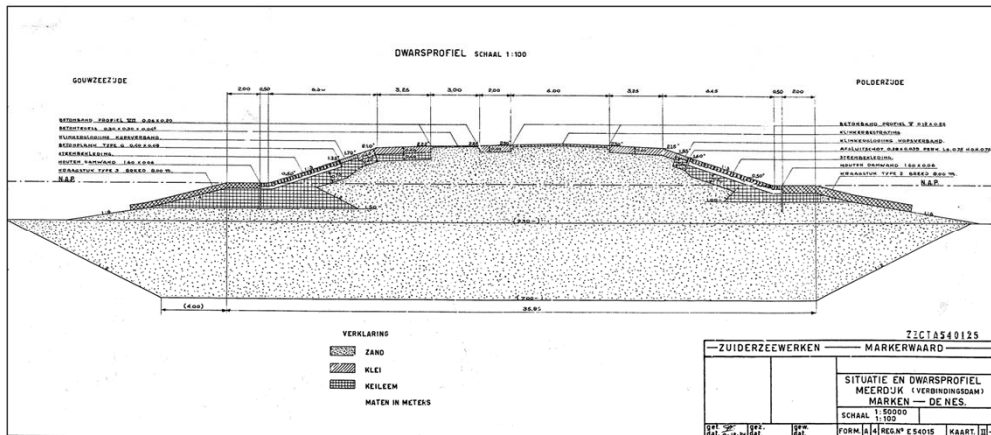
Oeverdijk: behoud huidige dijk en creatie nieuwe functies, maar veel zand en ruimte nodig.

➔ Bijvoorbeeld bij stadsstand Hoorn.

Constructief scherm: kost weinig ruimte, maar minder duurzaam dan grond en veelal lastig uitvoerbaar.

➔ Bij lokale knelpunten en bij Durgerdam.

# Grondverbetering verbindingdijk Marken



Bij een buitenwaartse oplossing is veelal een grondverbetering nodig. Dit is een 'best practice' van de Zuiderzeewerken, zoals in deze tekening van de dam naar Marken. Het is vooral toegepast bij nieuwe dammen en dijken. Er is weinig ervaring met grondverbetering naast bestaande dijken.

IJking veensterkte aan praktijkproef,

maar ook andere veranderingen:

- laagopbouw
- sterktemodel
- grondwaterstromingsmodel
- bezwijkcriterium
- metingen



De voorziene omvangrijke dijkversterking is ingrijpend en duur. Daarom zijn innovaties onderzocht. Eén daarvan is Dijken op Veen.



Er is in detail naar de eigenschappen van veen gekeken. Hier zijn laboranten speciaal voor getraind. Tot nu toe werden nauwelijks onderscheid gemaakt naar veentype.

Met een zaag wordt het verkneede deel van de veenkern verwijderd door een geoloog.

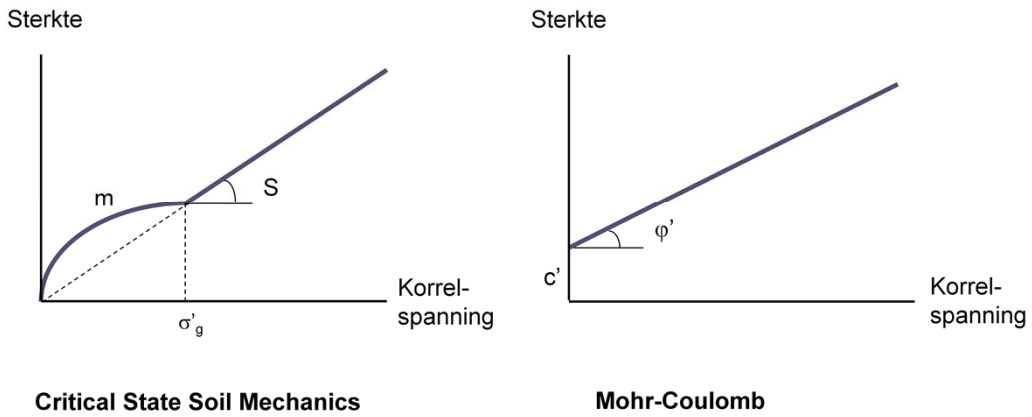


## Laagopbouw (boorstaat)



Diepte (cm)	Omschrijving	
	Grondsoort	
0 - 60	zand	zwak siltig, bruin, Zand: matig fijn
60 - 160	klei	sterk siltig, donker-bruin, stevig, weinig puinresten
160 - 235	gyttja	donker-bruin-grijs, spoor insluitsels veen
235 - 240	veen	zwart, Veen: sterk amorf
240 - 300	detritus	bruin-grijs
300 - 310	veen	zwart, Veen: sterk amorf
310 - 380	detritus	bruin, spoor rietresten, veenmos
380 - 425	veen	bruin, Veen: zwak amorf, veenmosveen, spoor heide, spoor zegge, Opm.: zwakvezelig en matige treksterkte
425 - 455	veen	bruin-zwart, Veen: sterk amorf, rietveen, spoor zegge, Opm.: zwak vezelig en hoge treksterkte
455 - 570	klei	sterk siltig, grijs
570 - 600	klei	sterk siltig, blauw-grijs, weinig zandlagen

Naast veen, worden detritus en gyttja onderscheiden. Andere kenmerken worden ook vastgelegd, maar hiermee wordt in de berekeningen vooralsnog niets gedaan.

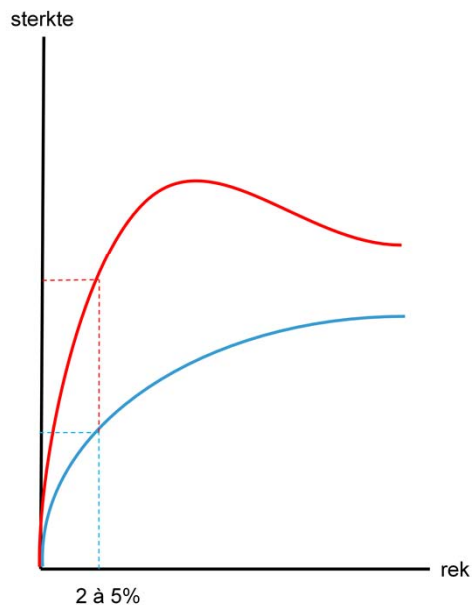


Er wordt een ander sterktemodel gebruikt met nieuwe parameters. Er wordt niet meer naar de cohesie gekeken, maar wel naar de grensspanning. Daarvoor zijn andere proeven nodig.



Het precieze verloop van de korrelspanning wordt belangrijk, mede door de lichte grondlagen. Dit was een reden om de grondwaterstroming nauwkeurig te modelleren met een 3D-model.

De ligging van de kustlijn blijkt van grote invloed op de grondwaterstroming. Ofwel: een dijk in een uitstekend stuk land, moet meer worden versterkt dan in een inham.

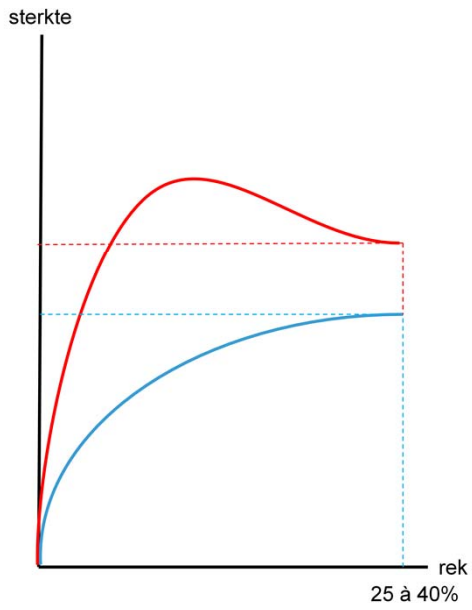


Het bezwijkcriterium is ook veranderd. Er wordt gerekend met grote rekken.

Voordeel: grotere sterkte, beter in lijn met de praktijk.

Nadelen: stelt hogere eisen aan proeven, onderscheid nodig tussen UGT en BGT.

## Bezwijkcriterium (grote vervorming)





klasse 1-sondering



bolsondering

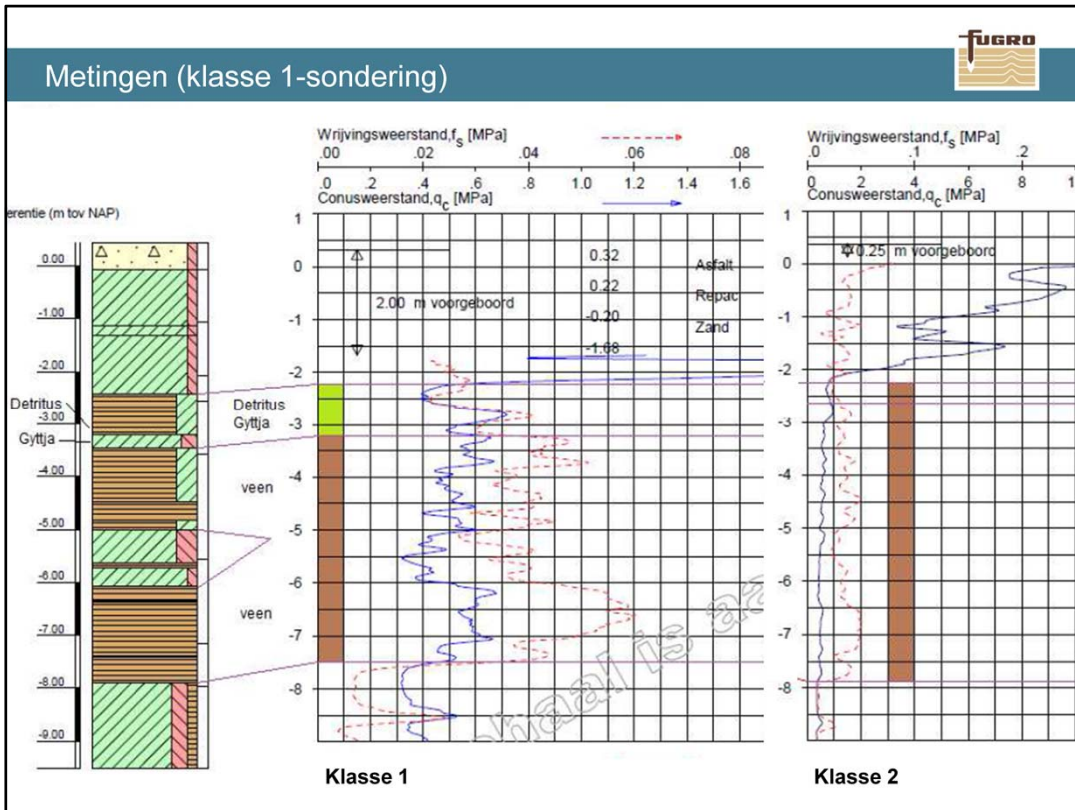
Een lastig punt bij de parameterkeuze is de variatie in grondeigenschappen. Dit wordt enerzijds vermeden door zo nauwkeurig mogelijk te werken en anderzijds door correlatie van laboratoriumproeven met nauwkeurige sonderingen.

Verschillen met normale sonderingen: hogere nauwkeurigheid, maar niet geschikt voor harde grondlagen.

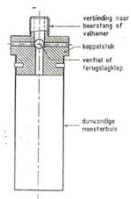
Klasse 1-sondering: nauwkeurigere opnemer, betere kalibratie dan normale (klasse 2) sondering.

Bolsondering: iets zekerdere, meting maar kleiner meetbereik en geen kleefmeting.

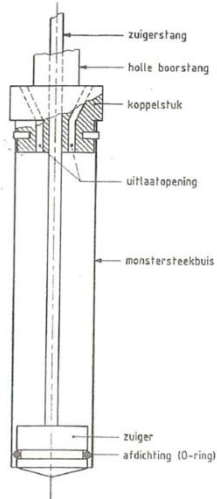




Verskil tussen klasse 1 en klasse 2 sondering: onderscheid in veensterkte en veensoort mogelijk.



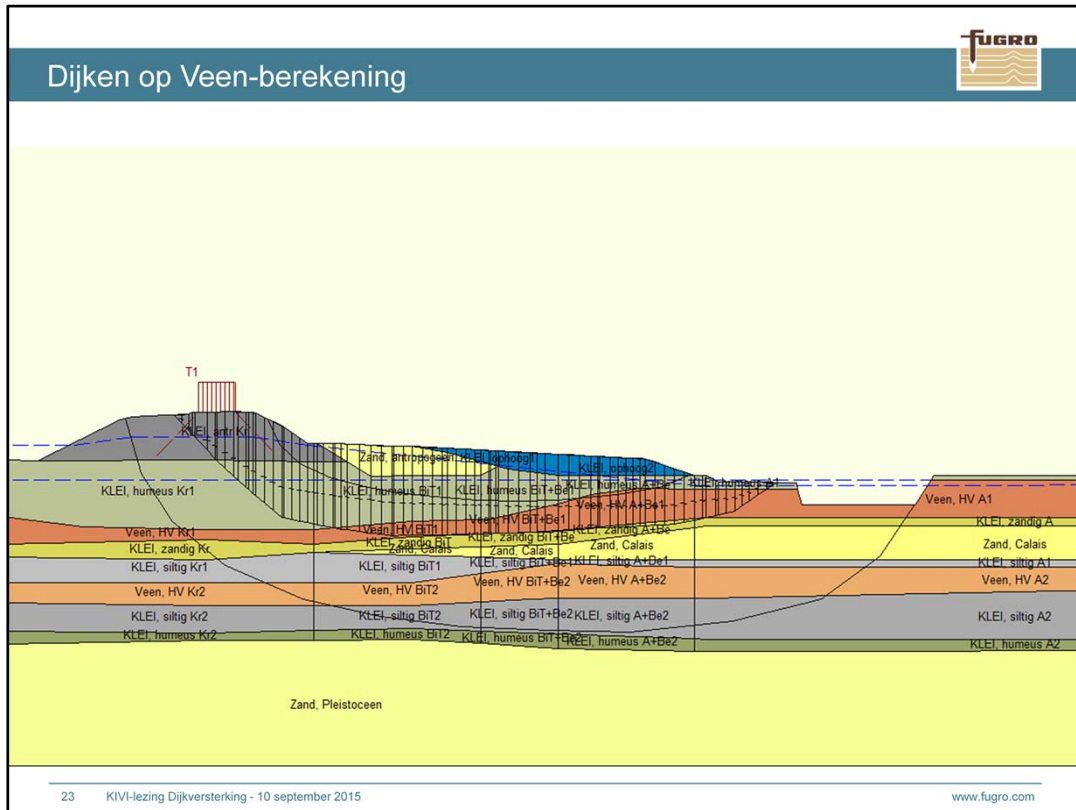
**Ackermann**



**Piston Sampler**



Grotere grondmonsters om monsterverstoring te voorkomen, maar ook aangescherpte richtlijnen voor monstertransport en -opslag. Dit alles is nodig om hogere nauwkeurigheid te verkrijgen en onnodige variatie te vermijden.



Voorbeeld van stabiliteitsberekening in Dijken op Veen. Te zien is dat er tientallen grondlagen worden onderscheiden en dat er met de methode Spencer wordt gerekend.

Optimalisaties mogelijk, maar rekenmethode wordt bewerkelijker.



Vragen?

KIVI-lezing Dijkversterking



**Dank u wel!**

Meer informatie  
[www.fugro.nl](http://www.fugro.nl)

Werner Halter: [w.halter@fugro.nl](mailto:w.halter@fugro.nl)