

Proefophoging op een bestaand talud te Hoegaarden

door ir Jan Maertens en ir Frank Theys, TUC RAIL Brussel.

1. Inleiding

Tussen Brussel en Luik zal de spoorlijn voor de HST gedeeltelijk in een eigen bedding langsheen de autosnelweg E40 worden aangelegd (cfr fig. 1).

Omdat het landschap er sterk glooiend is dienen er bij de aanleg van de autosnelweg E40 een groot aantal belangrijke ophogingen (tot 10 m) en uitgravingen (tot 15 m) te worden gerealiseerd.

Ten einde de nodige grondinname zoveel mogelijk te beperken werd beslist om de HSL op slechts 10 à 15 m van de autosnelweg aan te leggen. Dit heeft tot gevolg dat op een aantal plaatsen de bedding van de HSL moet worden aangelegd op de bestaande taluds van de autosnelweg E40 (cfr fig. 2).

Op de plaatsen waar de bestaande autosnelweg de valleien van de Velp, Oorbeek en de Grote Gete doorkruist werden 8 à 10 m hoge aanvullingen aangebracht met een taludhelling van 12 à 14/4. De ondergrond bestaat er tot 6 à 8 m diepte uit slappe klei en veen.

De aanvullingsmassieven zelf bestaan grotendeels uit met kalk gestabiliseerde leem.

Om bij het aanbrengen van de ophoging de consolidatie sneller te laten verlopen werden er doorheen de alluviale lagen zandpalen met een diameter van 0,40 m aangebracht volgens een stramien van 3 m x 3 m. De aanleg van de autosnelweg E40 vond plaats in 1970.

2. Beschikbare gegevens over de ondergrond

Ten behoeve van de aanleg van de HSL werd een omvangrijk grondonderzoek met nagenoeg systematisch een diepsondering om de 100 m en een boring om de 200 m. Op speciale punten werd een bijkomend grondonderzoek uitgevoerd. Zo werden er ter plaatse van de vallei van de Grote Gete zowel diepsonderingen als boringen uitgevoerd doorheen de bestaande ophoging als aan de voet van het talud. De opbouw van de ondergrond is schematisch weergegeven op de doorsnede van fig 3.

In het ophogingsmassief van met kalk gestabiliseerde leem kon slechts tot een beperkte diepte gesondeerd worden. Vooraleer er dus verder kon gesondeerd worden diende er te worden voorgeboord. Voor de bepaling van de mechanische eigenschappen van de gestabiliseerde leem werden er een aantal triaxiaalproeven uitgevoerd op ongeroerde monsters. Op basis van de verkregen resultaten werden voor het ophogingsmassief de volgende schuifweerstandskarakteristieken vastgelegd (cfr Fig. 4).

$$\varphi' = 33^{\circ} 51' \quad c' = 0,0312 \text{ MPa}$$

In de ondergelegen alluviale lagen werden eveneens ongeroerde monsters ontnomen waarop onderkeningsproeven, samendrukkingsproeven, vrije prismaproeven en triaxiaalproeven werden uitgevoerd. In situ werden er ook nog vinproeven uitgevoerd.

Grondmechanische karakteristieken van de alluviale lagen:

– fraktie < 20 µm	31,8 à 71,5%
– plasticiteitsindex	9,5 à 113,2%
– humusgehalte	0 à 62,3%
– kalkgehalte	3,2 à 18,7%
– drooggewicht	1,7 à 12,71 kN/m ³
– volumegewicht	10,25 à 17,83 kN/m ³
– watergehalte	40,5 à 502%
– samendrukkingsconstante(C)	4,8 à 21,7
– ontlastingsconstante(A)	23,5 à 240,3
– triaxiaalproeven CU	
$\phi' = 25$ à 31°	$c' = 0$ à 0,024 MPa
– Vrij prismaproeven	
$C_u = 0,0018$ à $0,0364$ MPa	

3. Eisen i.v.m. de aan te leggen bedding van de HSL

Het ophogingsmassief dat voor de aanleg van de HSL ter hoogte van de vallei van de Grote Gete dient te worden gerealiseerd is weergegeven in fig. 2. Daarbij werd uitgegaan van een talud met een helling van 10/4. De te realiseren ophoging bedraagt maximaal 8 meter.

Alvorens er evenwel kan beslist worden om een dergelijke ophoging aan te brengen diende er te worden nagegaan dat:

- de stabiliteit van de taluds verzekerd is
- de nog te verwachten zettingen van de HSL beperkt zullen zijn
- er geen onaanvaardbare zettingen ontstaan t.p.v. de autosnelweg.

Door het uitvoeren van stabiliteitsberekeningen kon worden aangetoond dat het onder a) vermelde probleem kan worden opgelost door de ophoging voldoende traag aan te brengen en/of een bijkomende verticale drainage met zandpalen of kunststofdrains te voorzien.

Door het uitvoeren van zettingsberekeningen kon worden aangetoond dat het in ieder geval nodig was om maatregelen te treffen ten einde na de aanleg van de HSL nog te verwachten zettingen te beperken bv. door het aanbrengen en terug wegnemen van een zekere overhoogte en/of het inlassen van een voldoende lange wachttijd.

Voor het bepalen van de te verwachten zettingen van de bestaande autosnelweg werden er een aantal berekeningen uitgevoerd volgens de EEM-methode. De daarbij verkregen resultaten vertoonden een zeer grote spreiding alnaargelang het bestaande ophogingsmassief van de autosnelweg E40 aanzien werd als een soepel materiaal ($E=2\text{MPa}$) of als een star geheel ($E=100\text{MPa}$). De aan de rand van de autosnelweg te verwachten zettingen varieerden aldus van 1,3 tot 13 cm. Verder bleek uit deze berekeningen dat indien het bestaande ophogingsmassief zich zou gedragen als een star geheel er belangrijke trekspanningen kunnen ontstaan (tot $0,23\text{MPa}$), welke praktisch zeker aanleiding geven tot scheurvorming in het bestaande ophogingsmassief.

4. Mogelijke alternatieve oplossingen

Ten einde de onzekerheid i.v.m. de ter plaatse van de autosnelweg te verwachten zettingen zoveel mogelijk op te heffen werden er een aantal alternatieve oplossingen onderzocht. Deze oplossingen bestonden uit:

- a) een grondverbetering door middel van grindkernen onder het talud van de bestaande ophoging.
- b) het aanbrengen van een schermwand langsheen de autosnelweg.
- c) het realiseren van een viadukt.

Door het uitvoeren van een grondverbetering d.m.v. grindkernen kunnen de zettingen van de autosnelweg beperkt worden tot een maximum waarde van 8 cm.

De kans dat er in het bestaand ophogingsmassief trekbarsten ontstaan is dan veel kleiner. Om een vlotte uitvoering van de grindkernen mogelijk te maken is het wel nodig om de bestaande ophoging t.a.v. het talud grotendeels weg te graven en terug aan te brengen (cfr fig. 5). Dit heeft uiteraard een belangrijke verhoging van de kostprijs voor gevolg. Een alternatieve uitvoering bestaat erin om systematisch voor te boren doorheen de bestaande ophoging.

Het aanbrengen van een schermwand bestaande uit een met bentoniet gevulde sleuf werd eveneens overwogen. Zodoende kunnen de maximaal te verwachten zettingen ter plaatse van de autosnelweg eveneens beperkt worden tot 8 cm. De schermwand dient daartoe wel te worden doorgetrokken tot aan de onderkant van de sterk samendrukbare lagen welke onder de bestaande ophoging voorkomen. Door het aanbrengen van de schermwand worden de trekspanningen in het bestaand ophogingsmassief zeer beperkt zodat het risico op trekbarsten grotendeels wordt uitgesloten. Het aanbrengen van een dergelijke schermwand vormt evenwel een zeer belangrijke ingreep in de bestaande toestand (cfr fig. 6).

Het meest drastische alternatief bestaat in het realiseren van een op palen gefundeerd viadukt over de bestaande ophogingsmassieven heen. Het risico op het ontstaan van ontoelaatbare zettingen van de autosnelweg en van trekbarsten in het bestaande ophogingsmassief wordt op die wijze volledig uitgesloten.

In verband met de onderzochte alternatieve oplossingen kan worden vastgesteld dat de oplossingen a) en b) aanleiding geven tot een belangrijke meerkost zonder dat daar een

absolute zekerheid i.v.m. de te verwachten zettingen van de autosnelweg tegenover staat. De oplossing c) biedt wel een grote zekerheid maar is veruit de duurste.

5. Aanbrengen van een proefophoging

Omdat er op basis van de beschikbare kennis niet à priori kan worden gesteld dat het aanbrengen van een ophoging op de bestaande taluds zonder meer onmogelijk was en omdat de onderzochte alternatieve oplossingen op technisch en/of economisch vlak geen voldoening gaven werd er uiteindelijk beslist om een proefophoging aan te brengen. Daarmee werd beoogd om informatie te verkrijgen betreffende:

- de te verwachten zettingen t.p.v. het talud en van de autosnelweg.
- de stabiliteit en de vervormingen van het bestaande ophogingsmassief.

Door het uitvoeren van een proefophoging zou het ook mogelijk zijn om de nodige parameters i.v.m. de stijfheid en van het bestaande ophogingsmassief af te leiden. Deze parameters zijn nodig om later eventueel andere configuraties of uitvoeringsmethoden te kunnen onderzoeken.

De aanvulling werd in augustus '95 gerealiseerd met Brusseliaans zand dat beschikbaar was op de werf van de tunnel te Bierbeek. Dat zand bood het grote voordeel dat het onmiddellijk beschikbaar was en dat het voor kleine hoeveelheden gemakkelijker te verwerken is dan de met kalk gestabiliseerde leem waarmee het ophogingsmassief later wellicht zal worden uitgevoerd. Geoordeeld werd dat de aard van het aangebrachte ophogingsmassief niet bepalend was voor de interpretatie van de meetgegevens.

Na het rooien van de aanwezige bomen werd de bewortelingslaag weggenomen en werd het talud geëffend. In het bestaande talud werden geen vertandingen aangebracht. Na het aanbrengen van een zandlaag van 0,50 m dikte werd de instrumentatie geplaatst. Vanaf het aldus gecreëerde werkvlak werden eerst nog 4 diepsonderingen uitgevoerd ten einde de voorziene waterspanningsmeters zo goed mogelijk te kunnen inplanten. De resultaten van deze sonderingen zijn weergegeven in fig. 7. Uit de verkregen resultaten blijkt dat de onderkant van het bestaand ophogingsmassief op een lager peil wordt aangetroffen naarmate de dikte van de ophoging toeneemt. Dit toont aan dat de alluviale lagen na het aanbrengen van de bestaande ophoging een belangrijke samendrukking hebben ondergaan. Uit de vergelijking van de sondering S1 en S4 kan worden afgeleid dat deze samendrukking ca 1,50 m bedraagt.

Het ophogingsmassief heeft een helling van ongeveer 5/4 en werd in eerste instante aangebracht tot op het peil van de aan te leggen bedding. De gerealiseerde oppervlakte bedroeg er 15 m x 30 m. Na een wachttijd van ongeveer 2 maanden werd een overhoogte van 2 meter aangebracht. Voor deze overhoogte bedraagt de taludhelling 45°.

6. Instrumentatie

De aangebrachte instrumentatie omvat:

- waterspanningsmeters waarvan er 9 in een boorgat geplaatst en 5 statisch in de grond gedrukt werden.
- twee inclinometers tot 20m diepte nabij de voet van het bestaande talud.
- 10 zettingsbakens welke op het werkvlak werden geplaatst.
- twee meetbuizen voor profielopnemers.
- een extensometer naast de autosnelweg met verankeringspunten op 2 m, 12 m, 20 m en 25 m diepte.

De globale schikking van de aangebrachte meetapparatuur is weergegeven in fig. 8.

7. Bespreking van de meetresultaten

De verkregen meetresultaten zijn schematisch weergegeven in de figuren 9 t.e.m. 13.

Enkele typische resultaten van de waterspanningsmetingen zijn in figuur 9 weergegeven, tesamen met de opgemeten zettingen. De ligging van de waterspanningsmeters is weergegeven in figuur 8. Van de verkregen resultaten kan worden afgeleid dat de wateroverspanning onder de kruin van de proefophoging ca. 3 m bedroeg in de bovenste meer kleiige laag en slechts ca. 1,50 m in de ondergelegen veenlaag. Nabij de voet van het talud bedroeg de overspanning ca. 2 meter. De afbouw van de overspanningen verliep er evenwel heel wat sneller dan in de overige punten. Het aanbrengen van de overhoogte van 2 meter heeft aanleiding gegeven tot een algemene vermeerdering van een stijghoogte met ongeveer 0,50 m.

I.v.m. de opmeting van de waterspanningen dient er te worden opgemerkt dat de weergegeven resultaten afkomstig zijn van waterspanningsmeters (type Glötzl) welke in een boorgat geplaatst werden. Van een aantal piëzometers welke met behulp van een sondeerapparaat in de grond gedrukt werden waren de resultaten totaal onbruikbaar. Enkele van deze piëzometers gaven na de plaatsing overdrukken aan van meerdere meters. Deze overdrukken namen niet of slechts zeer traag af met de tijd.

De tot nu toe opgemeten zettingen bedragen slechts 25cm, wat aanzienlijk minder is dan hetgeen verwacht werd op basis van de voorafgaandelijk uitgevoerde zettingsberekeningen. Volgens deze berekeningen bedroegen de te verwachten zettingen 60 à 80cm. Een mogelijke verklaring voor deze beperkte zettingen moet wellicht gezocht worden in de aanwezigheid van de zandpalen onder de bestaande ophoging, de eerder reeds opgetreden secundaire zettingen en de herverdeling van de belastingen door het bestaande ophogingsmassief gerealiseerd met door kalk gestabiliseerde leem.

De zettingen aan de rand van de autosnelweg, opgemeten met een stangen-extensometer (fig. 10) bedroegen na 90 dagen ca 10 mm. Deze zettingen zijn voor ongeveer 80 % afkomstig van de samendrukking van de weinig weerstandbiedende

lagen en voor ongeveer 20 % van de samendrukking van het ophogingsmassief van de autosnelweg. Opvallend is dat deze zettingen nagenoeg lineair met de tijd toenemen.

De horizontale verplaatsing opgemeten aan de voet van de bestaande ophoging en van de proefophoging is weergegeven in fig. 11. Deze verplaatsingen werden afgeleid uit de resultaten van de opmetingen met een inclinometer. Van de resultaten van een typische meting zoals opgenomen in figuur 12 kon worden afgeleid dat de horizontale verplaatsingen zich vooral voordoen in de bovenste 8 m, dit is in de weinig weerstandbiedende bovenlagen. De horizontale verplaatsingen in de dieper gelegen lagen zijn eerder beperkt. Opmerkelijk is dat de horizontale verplaatsingen na 90 dagen nog nagenoeg lineair toenemen met de tijd. Er is geen duidelijk afneembare tendens merkbaar.

Het verloop van de zettingen langsheen het talud van de bestaande ophoging van de autosnelweg is weergegeven in figuur 13. Deze zettingen werden opgemeten met behulp van een zogenaamde profielopnemer. Het principe van deze meting bestaat erin dat een waterspanningsmeter welke in verbinding staat met een boven het talud geplaatst reservoir wordt getrokken doorheen een in het bestaand talud ingegraven polyethyleenbuis. Op regelmatige tussenafstanden wordt de waterspanning opgemeten. Daaruit kan dan de hoogteligging worden afgeleid van het punt waar de meting werd uitgevoerd.

Metingen met een profielopnemer geven in het algemeen goed reproduceerbare resultaten wanneer de metingen worden uitgevoerd in een nagenoeg horizontaal geplaatste buis. Bij onder helling geplaatste meetbuizen geeft een geringe variatie van de horizontale positionering aanleiding tot een belangrijk verschil van de meetwaarde. Als gevolg daarvan kan met een profielopnemer alleen maar een globaal idee betreffende het verloop van de zettingen verkregen worden. Voor het opvolgen van het verloop van de zettingen met de tijd blijven klassieke metingen met een zettingsbaak noodzakelijk.

8. Besluit

Door het realiseren van een proefophoging op een bestaand talud werd informatie verkregen betreffende het gedrag van het bestaande ophogingsmassief van de autosnelweg en van de ondergelegen lagen.

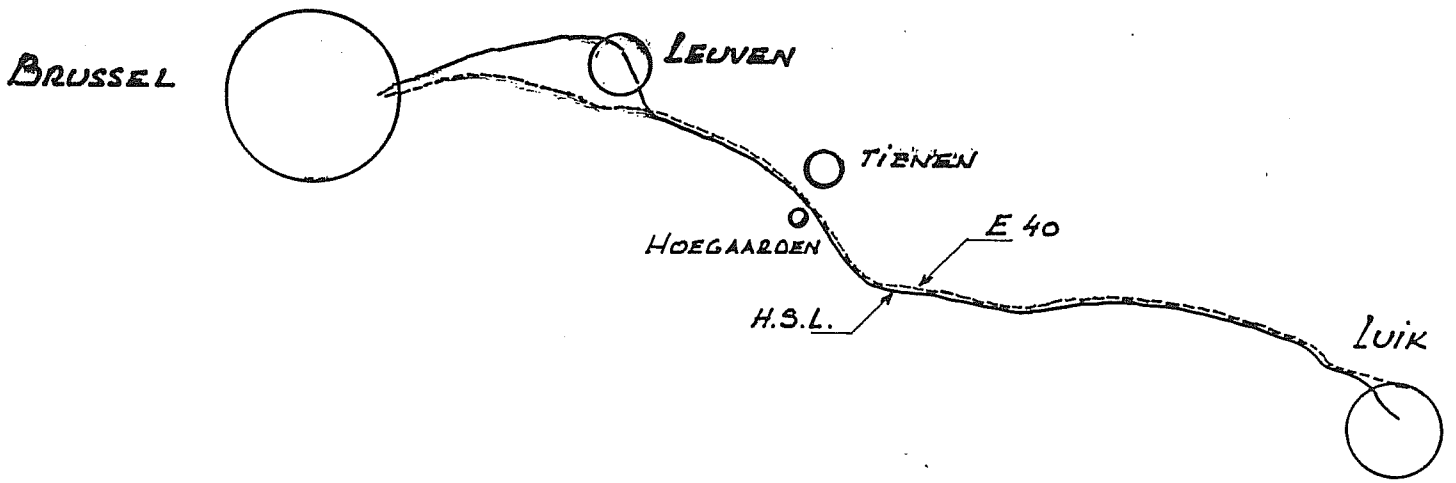
Uit de resultaten van de metingen uitgevoerd tijdens de eerste 90 dagen kan worden afgeleid dat:

- de gemeten zettingen aanzienlijk kleiner zijn dan de berekende zettingen.
- de opgemeten overspanningen in het poriënwater aanzienlijk kleiner zijn dan de theoretisch verwachte waarden.
- de horizontale verplaatsingen van de voet van het talud en de verticale zettingen naast de bestaande autosnelweg nog steeds nagenoeg lineair toenemen met de tijd.

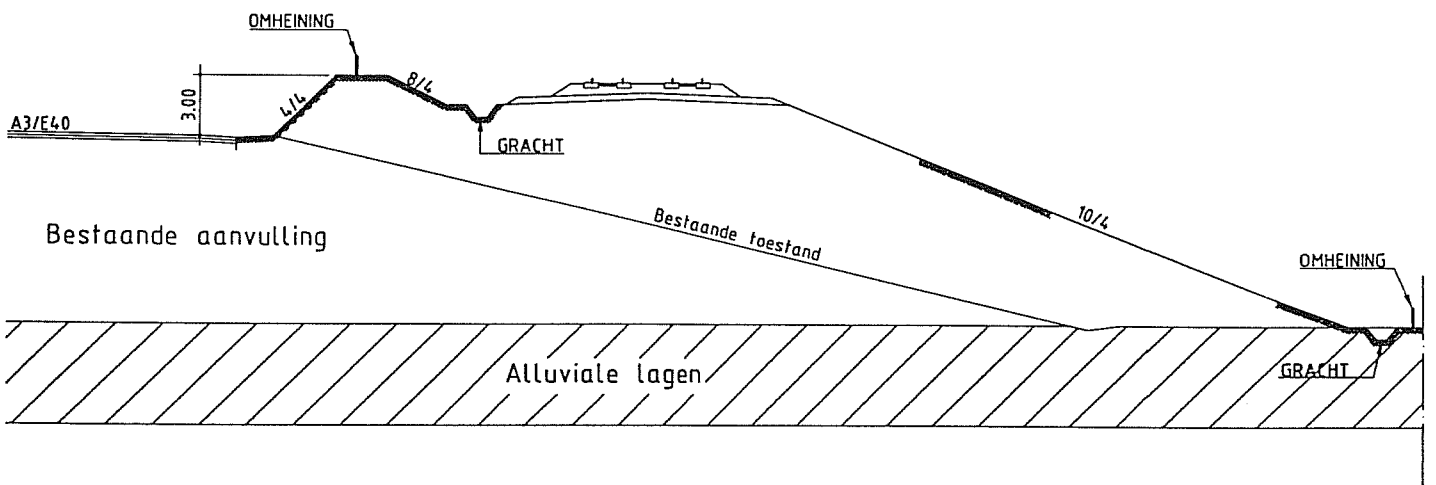
Met betrekking tot het uitvoeren van de proefophoging en de daarbij horende metingen kan worden afgeleid dat:

- er voor het uitvoeren van een dergelijke proef steeds voldoende tijd moet worden uitgetrokken. In tegenstelling met hetgeen aanvankelijk werd gedacht is het na 90 dagen nog niet mogelijk om de beschikbare meetgegevens te extrapoleren.
- het meten van de waterspanningen een delikate materie is. De metingen met in de grond gedrukte piëzometers blijken alvast niet betrouwbaar te zijn.

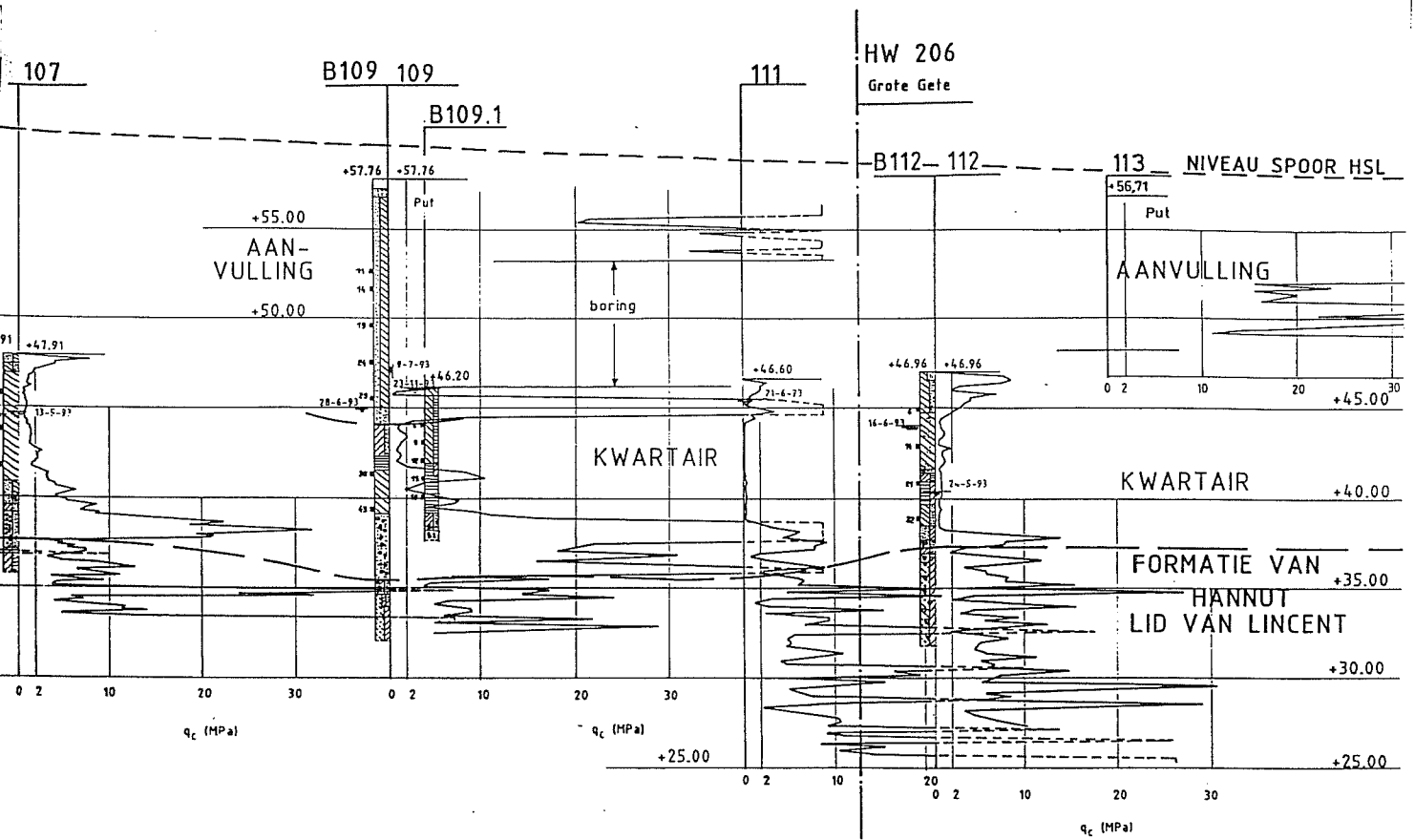
Verder heeft het uitvoeren van de proefophoging geleerd dat het uitvoeren van een proef op ware grootte de enige mogelijkheid is om betrouwbare informatie te verkrijgen betreffende het vervormingsgedrag van complexe grondmassieven.



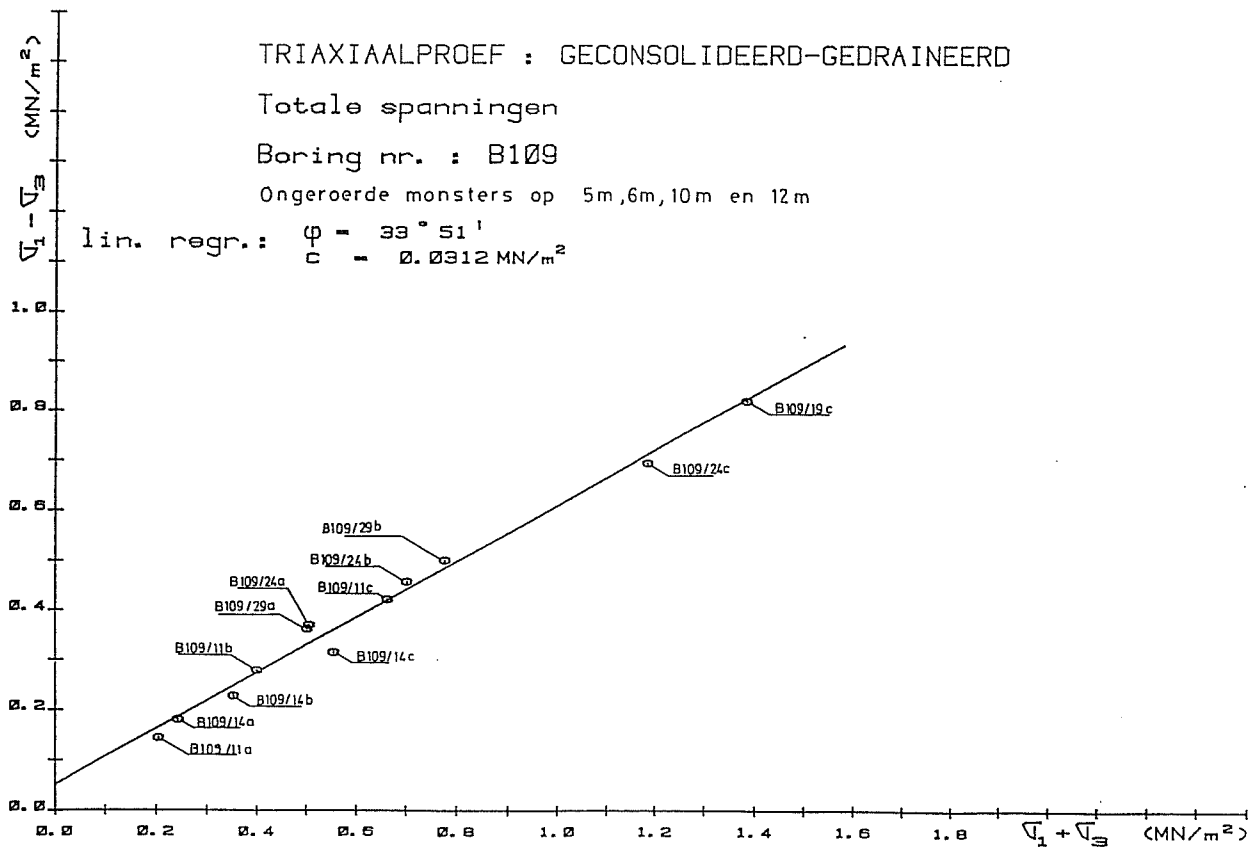
Figuur 1 : Situering Proefophoging Hoegaarden



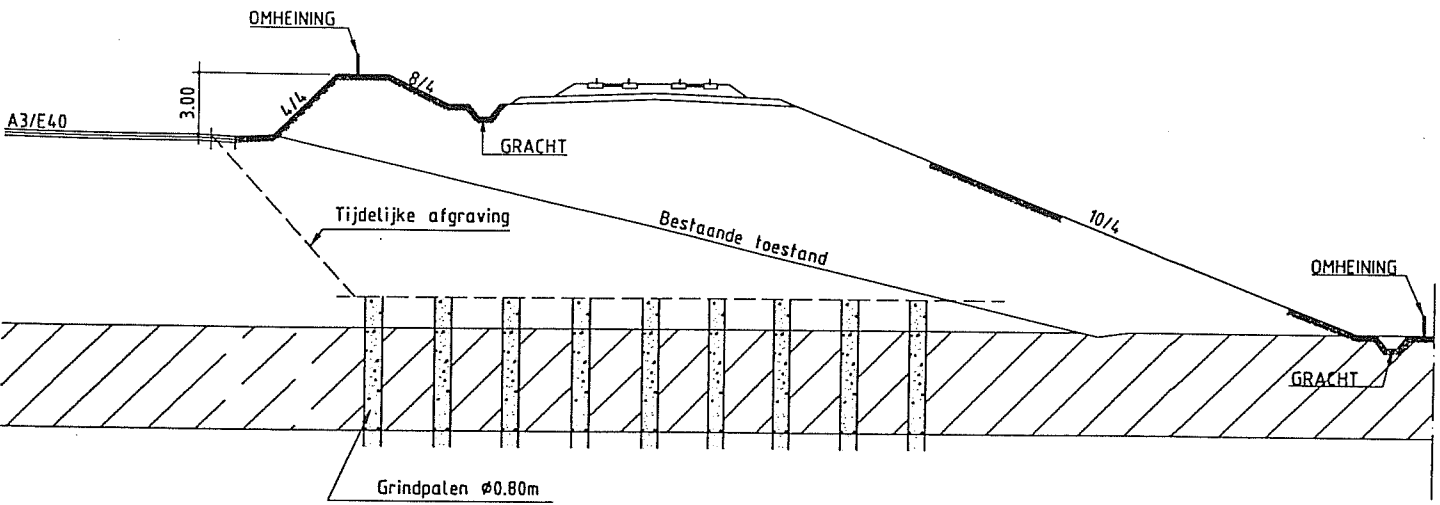
Figuur 2 : Type dwarsdoorsnede



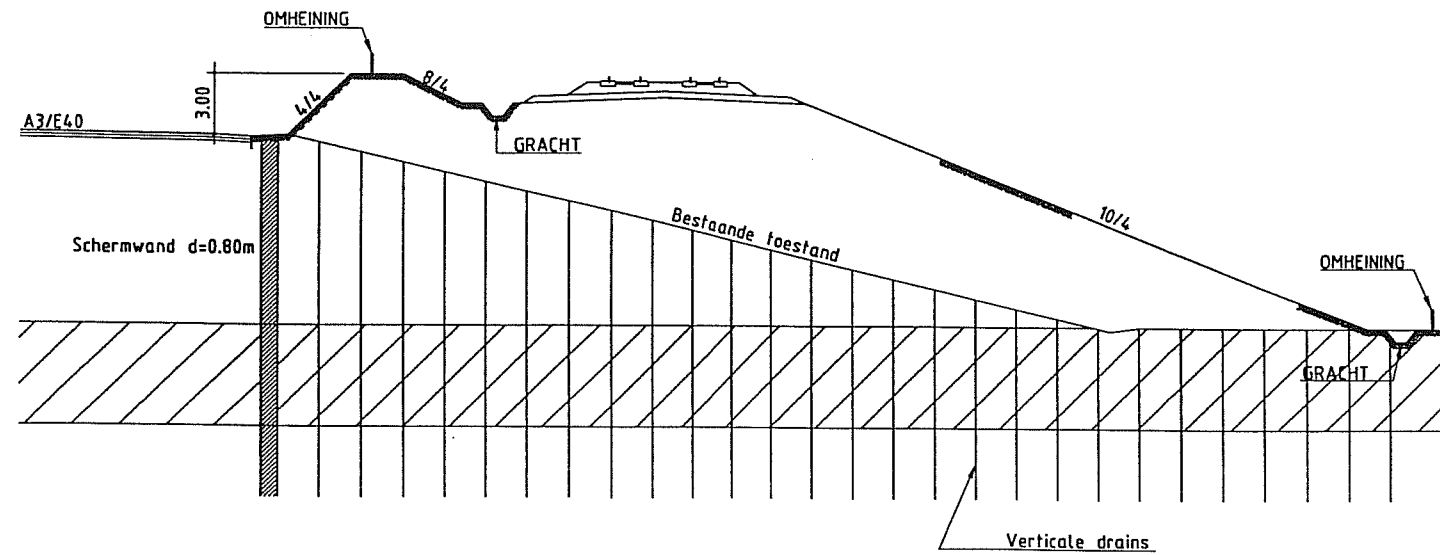
Figuur 3 : Opbouw van de ondergrond



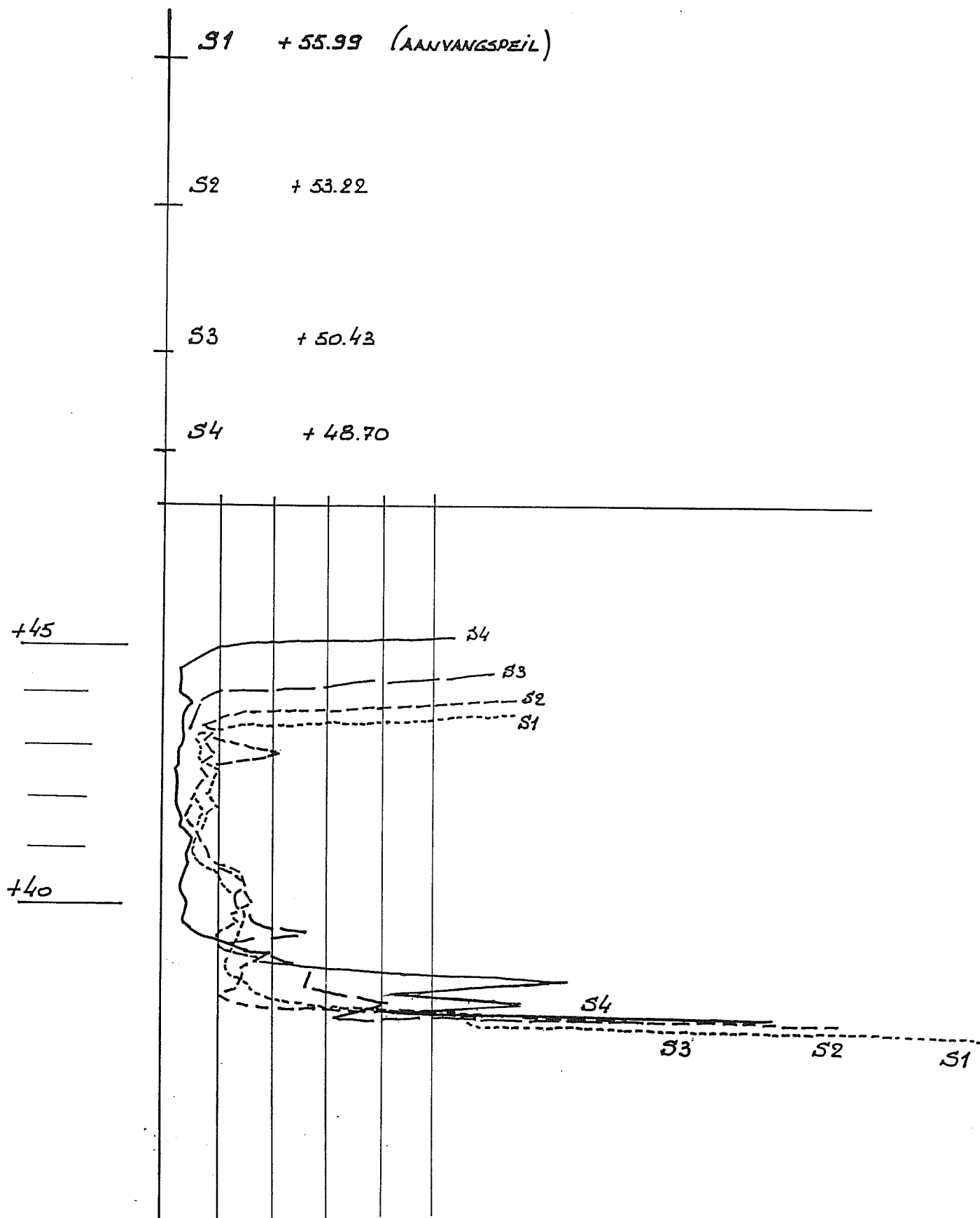
Figuur 4 : Triaxiaalproeven op ongeroerde monsters in de bestaande aanvulling



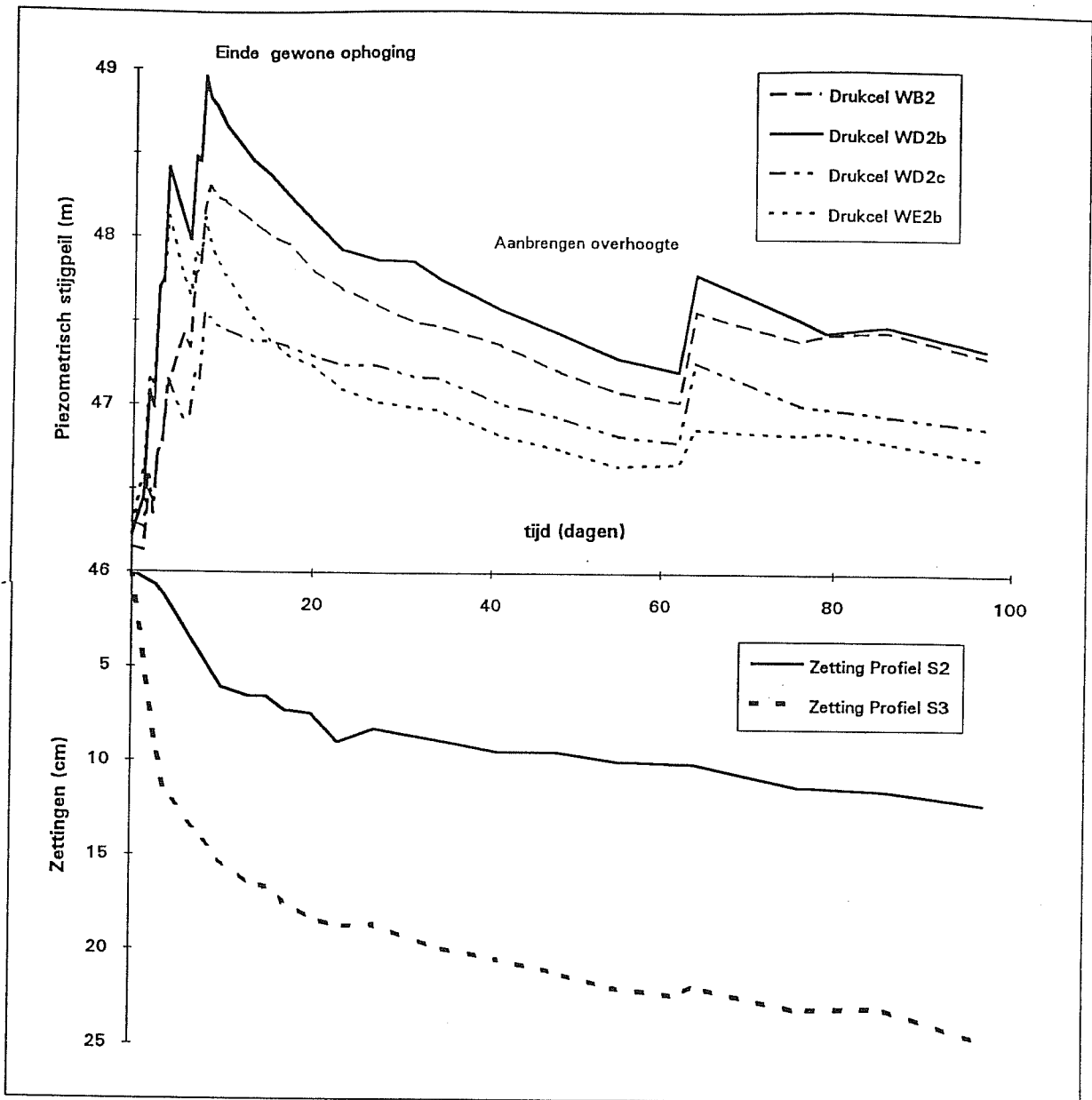
Figuur 5 : Oplossing met grindkernen



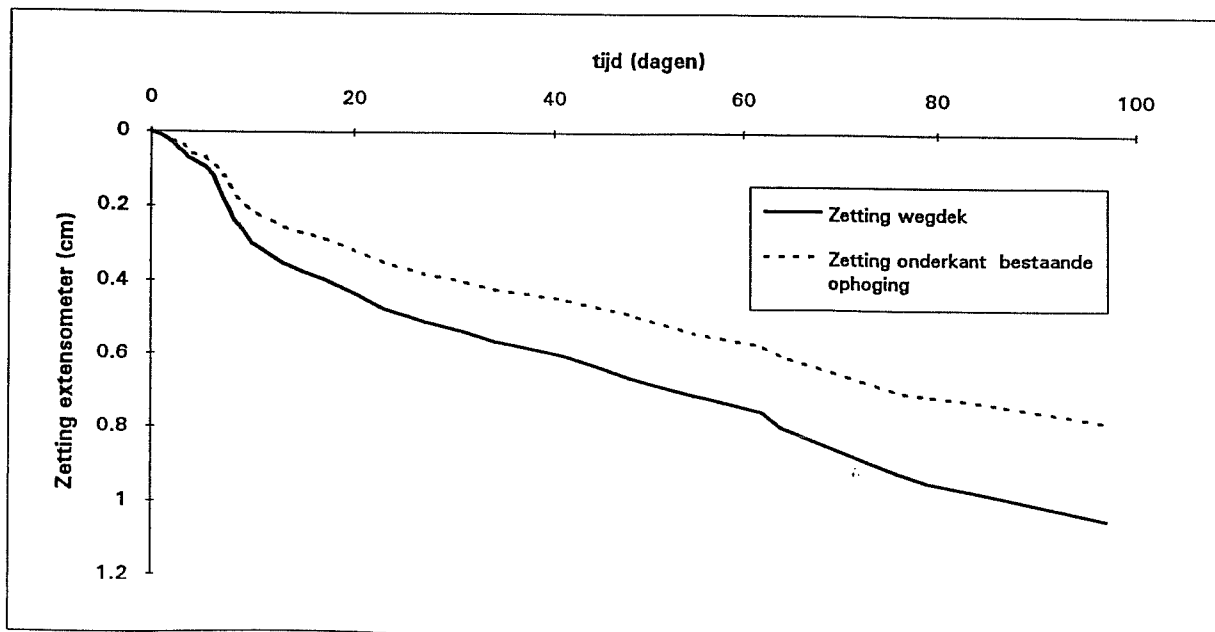
Figuur 6 : Oplossing met bentonietschermwand



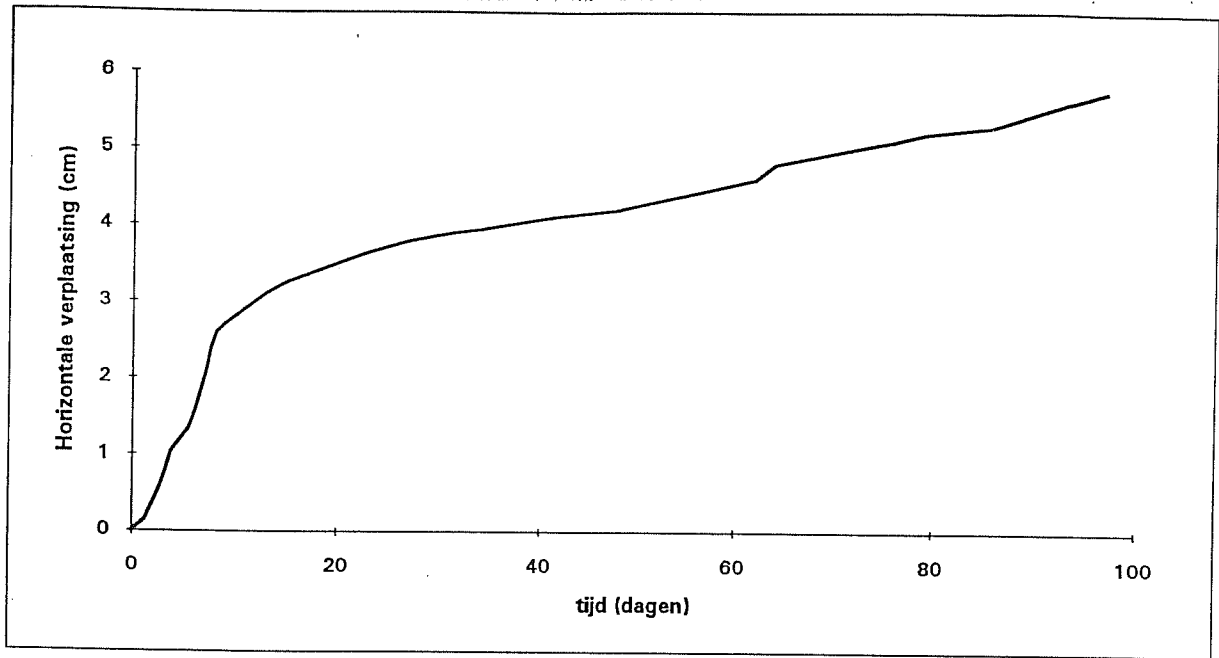
Figuur 7 : Resultaten van sonderingen in het talud



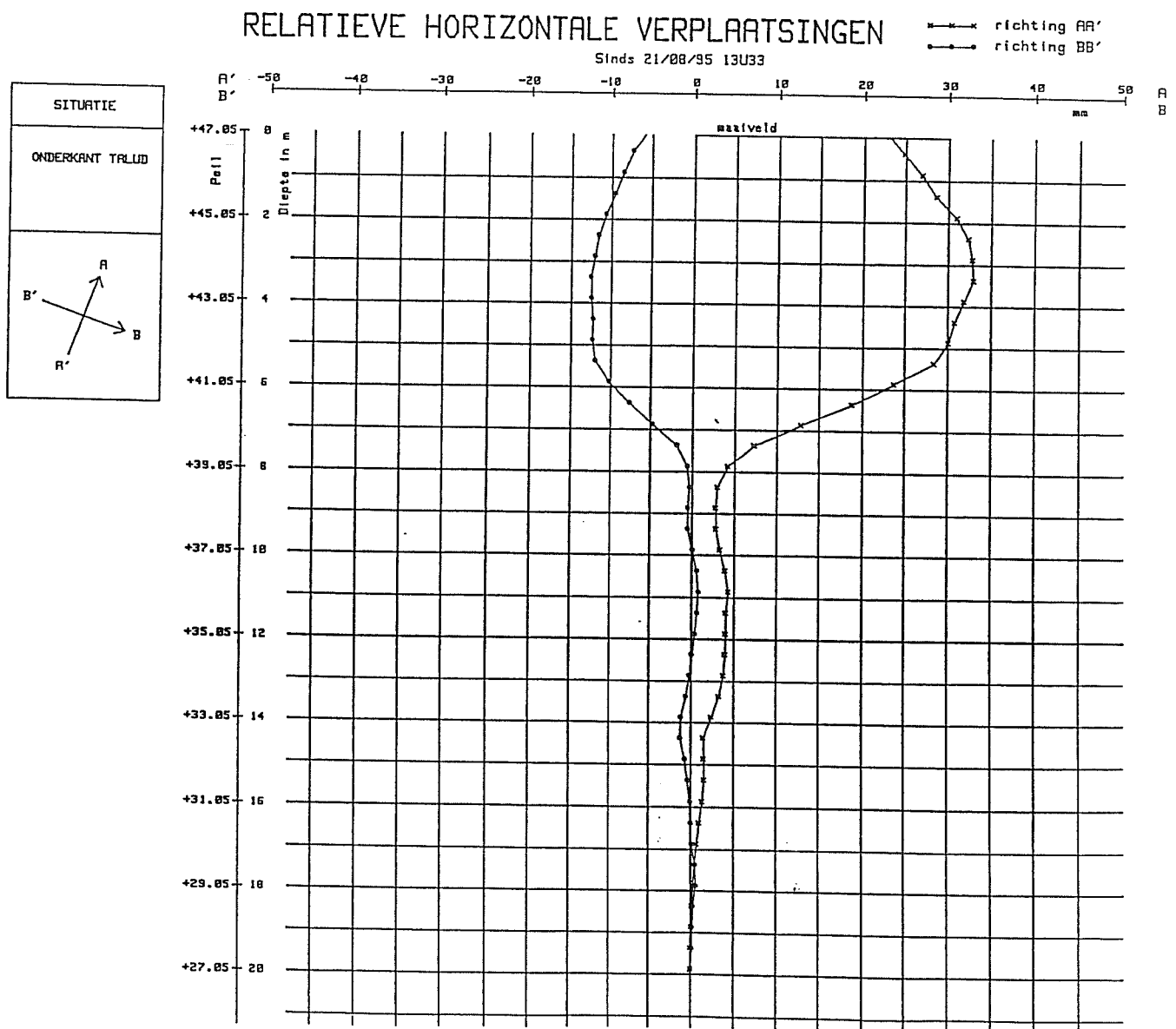
Figuur 9 : Voorbeeld waterspannings- en zettingsmetingen



Figuur 10 : Zettingen gemeten met extensometer



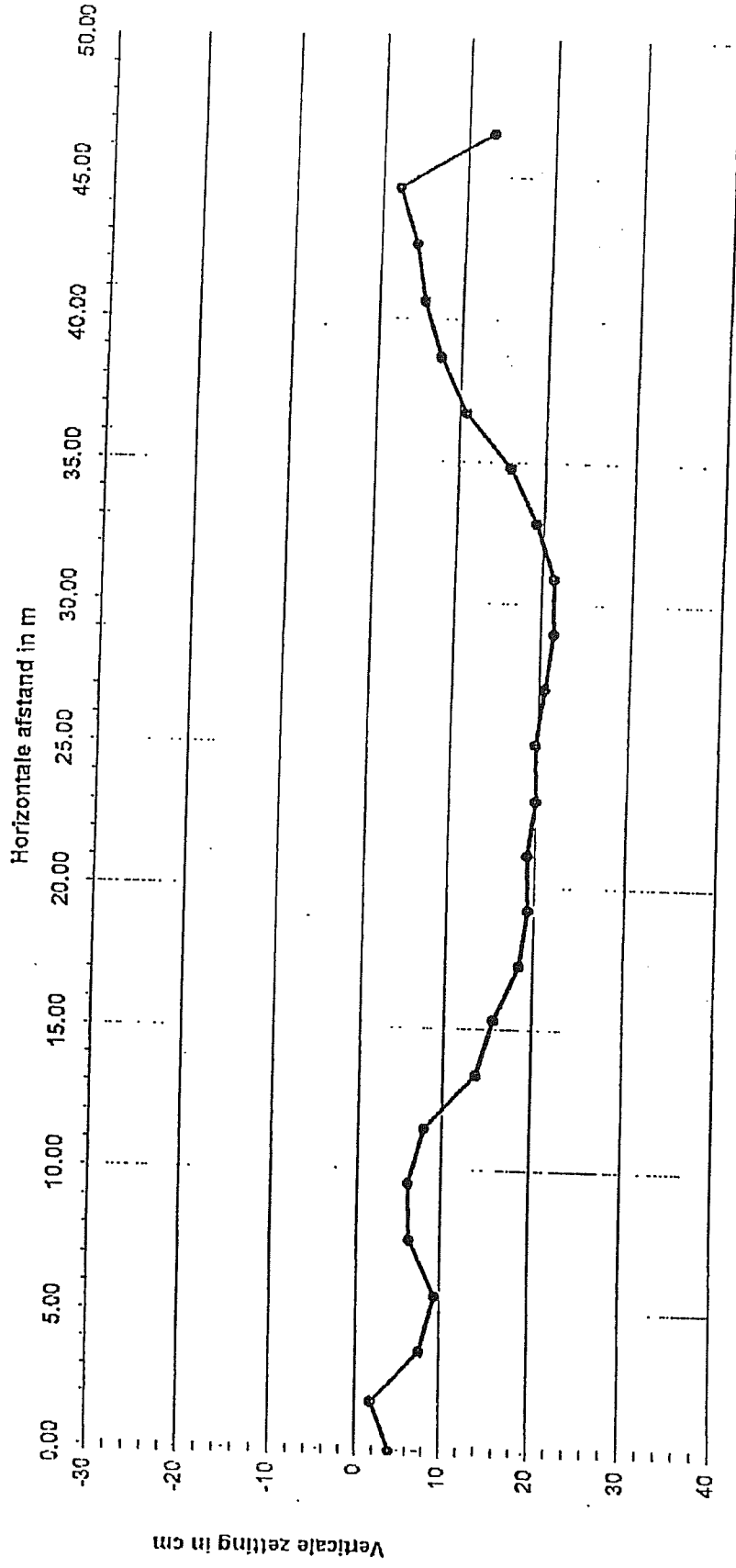
Figuur 11 : Horizontale verplaatsingen gemeten met inclinometer



Figuur 12 : Voorbeeld van meting inclinometer

9842-95/69

HOEGAARDEN proefophoging



Figuur 13 : Voorbeeld van zettingsmeting met profilometer