

DE ZETTINGSGEVOELIGHEID VAN DE ONDERGROND
VAN DE PROVINCIE GELDERLAND
BLJ EEN STANDAARD INGREEP VAN
1 METER GRONDWATERSTANDSVERLAGING

BP 10698

Rijks Geologische Dienst
Postbus 157
2000 AD Haarlem

Uitgebracht bij briefnr. 902085
dd: 5 maart 1990 aan de Provincie
Gelderland te Arnhem

2004777

Inhoudsopgave:

1. Inleiding
2. Werkwijze
3. Zetting en zettingsgevoeligheid
 - 3.1 De begrippen zetting en zettingsgevoeligheid
 - 3.2 Methode voor de berekening van de zetting en de hydrodynamische periode
 - 3.3 De geotechnische gegevens
 - 3.4 De berekeningen
 - 3.5 Het zettingsgedrag afhankelijk van profieltype, samendrukkingsconstante en de initiële grondwaterstand
4. Resultaten
 - 4.1 Toelichting bij de zettingenkaart
 - 4.2 Toelichting bij de hydrodynamische periodenkaart
 - 4.3 De zettingsgevoeligheid
 - 4.4 Het gebruik en de beperkingen van de kaarten
5. Conclusies
6. Literatuur

Lijst van tekstfiguren:

1. Ligging geotechnische gegevens.
2. Indeling Gelderland op basis van lithologische opbouw en geotechnische gegevens.
3. Verdeling van de zettingsgrootte over de rastercellen

Lijst van tabellen:

1. Tabel met verdeling geotechnische gegevens over lithologische profieltypen.
2. Tabel met gebruikte geotechnische gegevens.
3. Gebruikte profieltypen voor bepaling van het zettingsgedrag.

Lijst van bijlagen:

1. Zettingenkaart
2. Hydrodynamische periodenkaart
3. Lijst met leden Begeleidingscommissie Waterhuishouding Bebouwd Gebied.

4. File structuur programma [ZetRGD1]
5.
 - a. Zettingsverloop bij minimale, gemiddelde en maximale samendrukkingsconstanten bij verschillende profieltypen.
 - b. Het gemiddelde zettingsverloop van enkele profieltypen bij verschillende initiële grondwaterstanden.
 - c. Vergelijking van het gemiddelde zettingsverloop van enkele profieltypen bij 1 of 2 initiële grondwaterstanden.

1. Inleiding

De Provincie Gelderland heeft in 1986 een grondwaterplan uitgebracht, waarin het toekomstig grondwaterbeleid staat weergegeven. Ten behoeve van het uitvoeren van dit beleid is onderzoek nodig. Eén van de voorgestelde onderzoeken behelst het zettingsgedrag van de verschillende gronden in de provincie als gevolg van grondwateronttrekking of peilverlaging van het oppervlaktewater. De Provincie Gelderland heeft de Rijks Geologische Dienst bij brief nummer MW872316-MW4302 d.d. 10 juli 1987 opdracht verstrekt voor het uitvoeren van dit onderzoek.

Het onderzoek is uitgevoerd in de periode 1986-1989 en bestond in eerste instantie uit twee fasen. De eerste fase (1986-1987) omvatte het vervaardigen van een lithologische kaart van de provincie. De lithologische kaart met bijbehorende toelichting (BP-10627) is in juni 1987 uitgebracht onder briefnummer 872728.

In de tweede fase is door de Rijks Geologische Dienst op basis van de lithologische kaart de zettingsgevoeligheid in de gehele provincie onderzocht. Het doel van het onderzoek is het in kaart brengen van de zettingsgevoeligheid van de verschillende gronden in de provincie Gelderland als gevolg van de grondwateronttrekking of peilverlaging. Het begrip zettingsgevoeligheid omvat zowel de grootte van de zetting (30 jaar na de ingreep) alsook de snelheid van zetting. De zettingssnelheid wordt uitgedrukt in de tijd, waarin 99 % van de eindzetting optreedt, de zogenaamde hydrodynamische periode. De zettingen en de hydrodynamische perioden zijn weergegeven in twee afzonderlijke kaarten. Deze kaarten hebben een indicatieve functie. De meest zettingsgevoelige gebieden kunnen worden geselecteerd, waarna in een mogelijke vervolgfase (fase 3) van dit onderzoek een gedetailleerd zettingsgevoeligheidsonderzoek in deze geselecteerde gebieden kan worden uitgevoerd.

In dit rapport wordt het onderzoek naar de zettingsgevoeligheid van de gronden in de provincie Gelderland (fase 2) toegelicht. De gevolgde werkwijze bij dit onderzoek wordt in hoofdstuk 2 beschreven. Vervolgens worden in hoofdstuk 3 de begrippen zetting en zettingsgevoeligheid gedefinieerd en wordt een toelichting gegeven op de berekeningsmethode van de zetting en de hydrodynamische periode en de gebruikte gegevens. Daarnaast wordt in dit hoofdstuk het zettingsgedrag beschreven. De resultaten worden in hoofdstuk 4 gepresenteerd en besproken. Tevens worden in hoofdstuk 4 de beperkingen aangegeven die gelden voor het gebruik van de kaarten. Het rapport sluit af met de conclusies in hoofdstuk 5.

Projectleider van het onderzoek bij de Rijks Geologische Dienst was drs. J.P. Weijers. Aan dit project werkten verder mee: drs. F. Schokking, ing. B. Hoogendoorn en drs. M. Pool, allen werkzaam bij de afdeling Toepassingen van de Rijks Geologische Dienst te Haarlem. Van de zijde van de Provincie Gelderland waren de heer W. Schoof en ir. R.H.C.M. Awater betrokken bij de uitvoering van dit project, waarbij de laatste als contactpersoon optrad. Het onderzoek is begeleid door de Begeleidingscommissie Waterhuishouding Bebouwd Gebied (lijst met leden Begeleidingscommissie zie bijlage 3).

2. Werkwijze.

Voor de berekening van de te verwachten zetting na 30 jaar en de hydrodynamische periode zijn zowel lithologische alsook geotechnische gegevens gebruikt. De lithologische gegevens zijn verkregen met behulp van de kennis en gegevens over de geologische opbouw van het gebied. Deze lithologische gegevens zijn weergegeven op de lithologische profieltypenkaart (BP-10627). In de toelichting bij deze kaart worden de variaties aangegeven in de onderscheiden lithologische profieltypen.

De geotechnische gegevens zijn verkregen uit enerzijds de archieven van instellingen, instanties en bureau's, die op het gebied van geotechnisch onderzoek actief zijn en anderzijds uit literatuur en onderzoeksrapporten. De verzamelde geotechnische gegevens zijn gecontroleerd en opgenomen in een databestand, waarin ook gegevens over de ligging en de lithologische opbouw staan vermeld.

De geotechnische gegevens zijn gecorreleerd met de geologische informatie. Hieruit resulteerde een herindeling van de lithologische profieltypenkaart. In deze kaart zijn 26 gebieden onderscheiden op basis van de lithologische opbouw en de geotechnische gegevens (zie figuur 2 en tabel 2). Deze nieuwe lithologische profieltypekaart is gedigitaliseerd in een rastersysteem, waarvan de afzonderlijke rastercellen een gebied van 250 bij 250 meter weergeven.

Deze gedigitaliseerde kaart en de gedigitaliseerde kaart met de Gemiddelde Laagste Grondwaterstanden (G.L.G.) zijn als invoer gebruikt bij de computerberekeningen van de zetting en de hydrodynamische periode.

Na het uitvoeren van de computerberekeningen is de grootte van de rastercellen aangepast. De nieuwe rastercellen geven een gebied weer van 500 bij 500 meter. Met de opdrachtgever is afgesproken, dat bij deze omzetting de meest extreme situatie zou worden weergegeven wat betreft de grootte en de snelheid van de

zetting. Concreet betekende dit, dat de nieuwe rastercellen de grootste zetting of kleinste hydrodynamische periode kregen toegekend van de 4 samenstellende rastercellen.

De berekende zettingen en de hydrodynamische perioden zijn in digitale vorm aan de Provincie Gelderland geleverd. Deze heeft een kaart met de zettingen en een kaart met de hydrodynamische perioden laten plotten. Beide kaarten zijn gridkaarten en hebben een schaal van 1:250.000 (bijlage 1 en 2).

3. Zetting en zettingsgevoeligheid

3.1 De begrippen zetting en zettingsgevoeligheid

Grond bestaat uit drie componenten, namelijk korrels, water en lucht. De verhouding, waarin deze componenten voorkomen, is van invloed op de eigenschappen van de grond, zo ook op de samendrukbaarheid. Door het belasten van de grond zal eerst een hogere waterspanning ontstaan. Door afstromen van dit "overspannen" water zal het aandeel korrels ten opzichte van de aandelen lucht en water per volume eenheid toenemen. Met andere woorden lucht en water worden uit de grond gedreven, waardoor het volume afneemt. Echter niet alleen door het aanbrengen van een belasting neemt het volume af, ook het verlagen van de waterspanning veroorzaakt volume verkleining. De oorzaak hiervan ligt in het feit, dat de totale grondspanning wordt opgebouwd door zowel de korrelspanning alsook de waterspanning. Door wateronttrekking neemt de totale grondbelasting niet toe, maar neemt wel de waterspanning af, waardoor de korrelspanning toeneemt en als gevolg daarvan het volume vermindert. Cohesieve gronden, bestaande uit klei, silt en veen of mengsels hiervan, die onder de Gemiddelde Laagste Grondwaterstand (G.L.G.) liggen, vertonen bij een toename van de korrelspanning zettingen. De mate waarin een grond gevoelig is voor zetting of samendrukking wordt uitgedrukt in de samendrukkingsconstante.

Naast de boven beschreven zetting treden bij grondwaterstandsverlagingen ook andere processen op, die zorgen voor maaiveldszakking, zoals klink, krimp en oxidatie. Deze processen worden hier niet nader beschouwd.

Met het begrip zettingsgevoeligheid wordt aangegeven, dat naast de grootte van de zetting ook de snelheid en de horizontale variabiliteit van de zetting van belang is. De zettingssnelheid wordt voornamelijk bepaald door de snelheid, waarmee het grondwater uit de poriën kan worden gedreven bij volume-verkleining. Factoren die hierbij een rol spelen zijn:

- de grootte, de vorm en het aantal verbindingen van de porien,
- de dikte van de zettingsgevoelige laag,
- de horizontale en verticale afvoermogelijkheden van het grondwater uit de aan zetting onderhevige laag.

In het algemeen geldt, dat gronden met een grote doorlatendheid bij belasting een grotere zettingssnelheid vertonen, dan gronden met een kleine doorlatendheid.

Als indicatoren van de zettingsgevoeligheid kunnen worden aangegeven:

- de zetting na circa 30 jaar (10.000 dagen).
- de hydrodynamische periode. Dit is de tijdsduur waarin 99 % van de zetting optreedt.
- de zettingsgradiënt. Dit is het zettingsverschil tussen aangrenzende rastercellen.

Bij dit onderzoek is uitgegaan van een zetting, veroorzaakt door verlaging van de stijghoogte (waterspanning) van het grondwater in het bovenste watervoerend pakket. Voor het bepalen van de zettingsgevoeligheid van een grond dient het verloop van de stijghoogte (waterspanning) zowel in de diepte alsook in de tijd bekend te zijn. Polderpeilverlagingen en bronbemaling beïnvloeden de stijghoogte op verschillende wijzen. Om toch tot een uniforme bepaling van de zettingsgevoeligheid te komen is gebruik gemaakt van een standaardgreep.

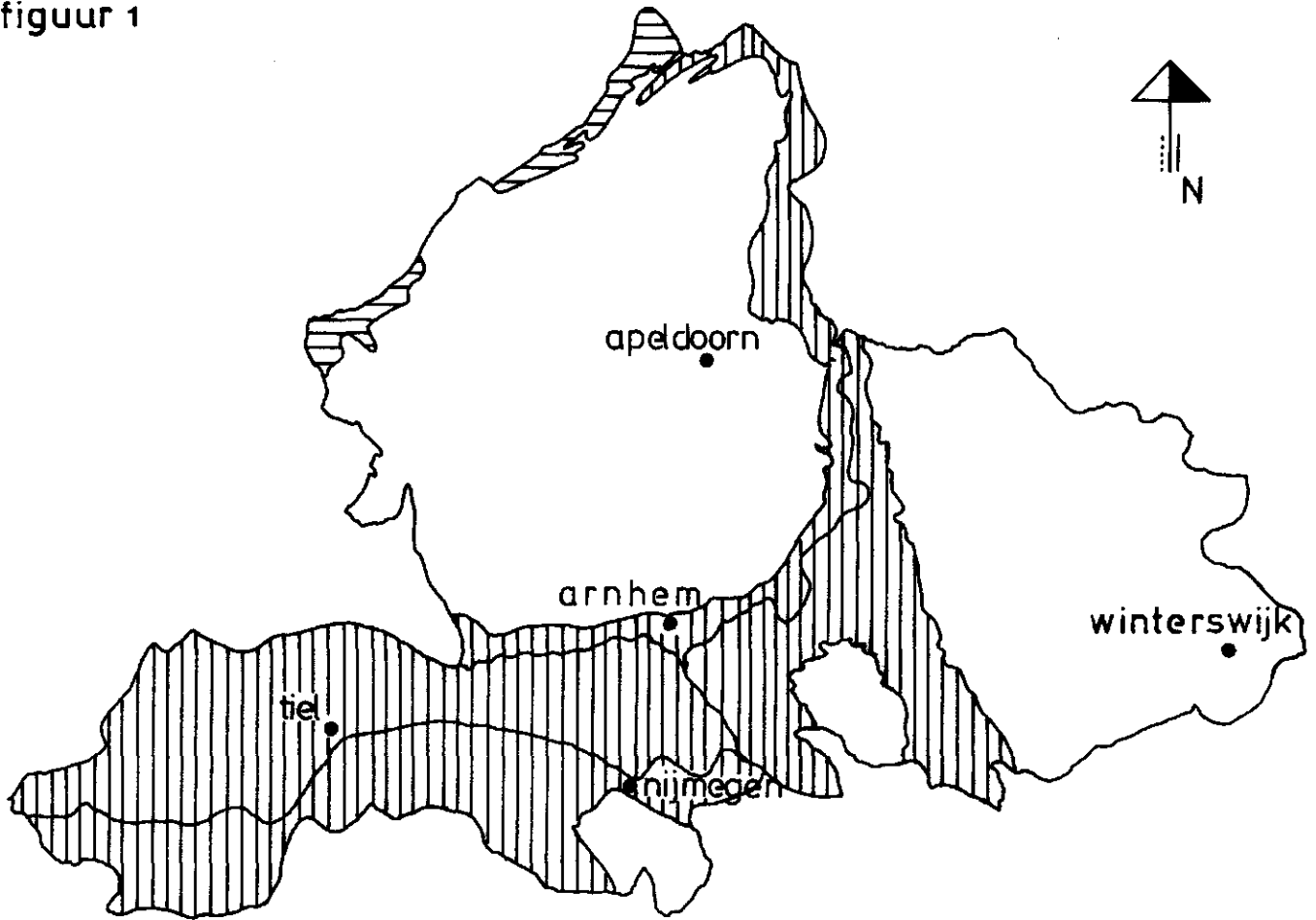
De voor dit onderzoek aangenomen standaardgreep is een directe en permanente verlaging van het freatisch niveau van 1 meter beneden de Gemiddelde Laagste Grondwaterstand (G.L.G.).

Indien bij het berekenen en weergeven van de eindzettingen en hydrodynamische perioden onduidelijkheid bestond over de te gebruiken waarden, is gekozen voor die waarden, die de meest ongunstigste gevolgen voor de grootte en de snelheid van de zettingen zouden hebben.

3.2. Methode voor de berekening van de zetting en de hydrodynamische periode

De totale zetting kan worden onderverdeeld in een deel primaire zetting en een deel seculaire zetting. De primaire zetting treedt op direct bij het verhogen van de korrelspanning. De snelheid van zetting wordt voor een belangrijk deel bepaald door de snelheid waarmee het porienwater kan worden afgevoerd. Dit wordt het hydrodynamisch effect genoemd. De seculaire zetting is de deforma-

figuur 1



GEOTECHNISCHE - GEGEVENS GELDERLAND

R.G.D.'88

LEGENDA

schaal 1:750.000

	aantal gegevens
▨ IJSELMEERGEBIED	5
▤ RIVIERENGEBIED	297
□ OVERIGE GEBIEDEN	11

tie, die optreedt na het herstel van de poriëndruk tot de hydrostatische toestand. Dit deel van de zetting verloopt meestal langzaam en kan lange tijd doorgaan. De verwachte zettingen zijn berekend met behulp van de formule van Terzaghi-Buisman, die is gebaseerd op de één-dimensionale consolidatie theorie van Terzaghi (Van der Veen et al, 1981). Deze formule luidt:

$$Z = h \left[\frac{1}{c_p} + \frac{1}{c_s} \log(t) \right] \ln \frac{P_i + \Delta P}{P_i}$$

waarin: Z = de zetting in meters (op de kaart in mm)

h = de dikte van de onderscheiden grondlaag in meters

c_p = samendrukkingsconstante voor primaire zetting

c_s = samendrukkingsconstante voor seculaire zetting

t = tijd in dagen

P_i = oorspronkelijke effectieve korrelspanning in kN/m^2

Δp = verandering van de korrelspanning in kN/m^2 .

Voor het berekenen van de zetting en de hydrodynamische periode dienen, naast de profielopbouw en de grondwaterstand van alle lagen in het grondprofiel, de volumieke massa (γ) en de samendrukkingsconstanten (c_p en c_s) bekend te zijn. Voor een zo nauwkeurig mogelijke berekening zijn de grondlagen opgedeeld in lagen van 0.25 m dikte. Per laag wordt de zetting berekend, waarna door sommatie de totale zetting van het grondprofiel wordt verkregen.

Bij zetting komen hoog liggende grondlagen of gedeelten daarvan onder het freatisch vlak te liggen. Hierdoor verandert de effectieve gronddruk, wat weer gevolgen heeft voor de uiteindelijke zetting. Dit verschijnsel is bij de berekeningen meegenomen.

De seculaire zetting kan afhankelijk van de tijd 10 á 15 % van de hydrodynamische zetting bedragen. Aangezien de totale zetting in Gelderland als gevolg van de opgelegde standaardgreep geen extreme waarden oplevert, is de seculaire zetting door de minimale bijdrage in de berekende eindzetting buiten beschouwing gelaten. De formule voor het berekenen van de eindzetting gaat dan over in:

$$Z = h \frac{1}{c_p} \cdot \ln \frac{P_1 + P}{P_1}$$

De reeds eerder genoemde standaardingreep van één meter waterstandsverlaging komt overeen met een verhoging van de gronddruk met $p = 10 \text{ kN/m}^2$. Hierbij wordt aangenomen dat deze gronddruk instantaan tot stand is gekomen.

Uit de beschikbare grondgegevens kan worden opgemaakt, dat de onderscheiden grondlagen in het verleden geen grotere belasting hebben ondergaan dan 10 kN/m^2 . Bij de berekening van de zetting is daarom alleen gebruik gemaakt van de samendrukkingsconstanten, die behoren bij het spanningstraject tot aan de grensspanningen (= terreinspanning).

In de praktijk zal grondwateronttrekking en peilverlaging resulteren in een verlaging van de stijghoogten van het grondwater in de watervoerende zandlagen, die onder de zettingsgevoelige lagen liggen. Voor de berekening van de hydrodynamische periode is dan ook uitgegaan van een neerwaartse drainage. De berekening is uitgevoerd met de methode van de equivalente laagdikte (Soudijn en de Kock, 1977). De formule luidt:

$$t = \frac{T \cdot C_v \cdot h^2}{C_v}$$

waarin: t = tijdsduur in seconden

T = tijdsfactor ($T = 2$ voor 99 % van de zetting)

h = de totale equivalente dikte van de laag bij éézijdige uitstroming en de halve dikte bij tweezijdige uitstroming

C_v = consolidatie-coëfficiënt

3.3. De geotechnische gegevens

Voor dit onderzoek zijn van meer dan 300 punten geotechnische gegevens verzameld. Het overgrote deel van deze gegevens komt uit de archieven van:

- Grondmechanica Delft
- Grontmij (Bilthoven)
- Fugro
- Adviesbureau voor Bouwtechniek (Velp)
- Mos (Rhoon)
- Provincie Gelderland
- Enkele Waterschappen in het rivierengebied.

Daarnaast zijn ook de geotechnische gegevens gebruikt, die reeds bij de Rijks Geologische Dienst aanwezig waren.

De verzamelde geotechnische gegevens zijn:

Tabel 1 Verdeling geotechnische gegevens over de provincie en de lithologische profieltypen.

Regio	Lithologisch profieltype	Lithologische opbouw	Aantal gegevens	Proc.deel v.h.totaal
I. Langs randmeren	K1	zware klei (0.5-2 m) op zand	0	
	V	veen (0.5-2 m) op zand	0	
	KV	klei (1-2 m) op veen (0.5-2 m) op zand	4	
				1
II. Rivieren gebied	Kz	zandige klei (1-2 m) op zand	13	
	K2	zware klei (2-3 m) op zand	27	
	K3	zware klei (1-5.5 m) op zand	45	
	KV1K	zware klei op veen op klei op zand	0	
	KV2K	zware klei met veenlagen (1-3.5 m) op klei op zand	118	
	KV3K	veen (2-6 m) met kleidek en kleibasis op zand	51	
	Ckv	sterke variaties in lithologische opbouw	43	
				95
III. Overige gebieden	Zkv	zand met klei en veenlaagjes	2	
	Zkv2	zand met dunne leem- en veenlagen	6	
	Zkz	zand op klei op zand	0	
	Zkg	zand en grind	0	
	Czk	zand op warvenklei	0	
	Ct1	zand, grind en klei	4	
	Ct2	zand op keileem of Tertiaireklei	0	
	Co8	hoge gebieden G.L.G. > 10 m	0	
				4

- de volumieke massa van natte grond
- de volumieke massa van droge grond
- samendrukkingsconstanten
- consolidatiecoëfficiënt
- verticale doorlatendheid.

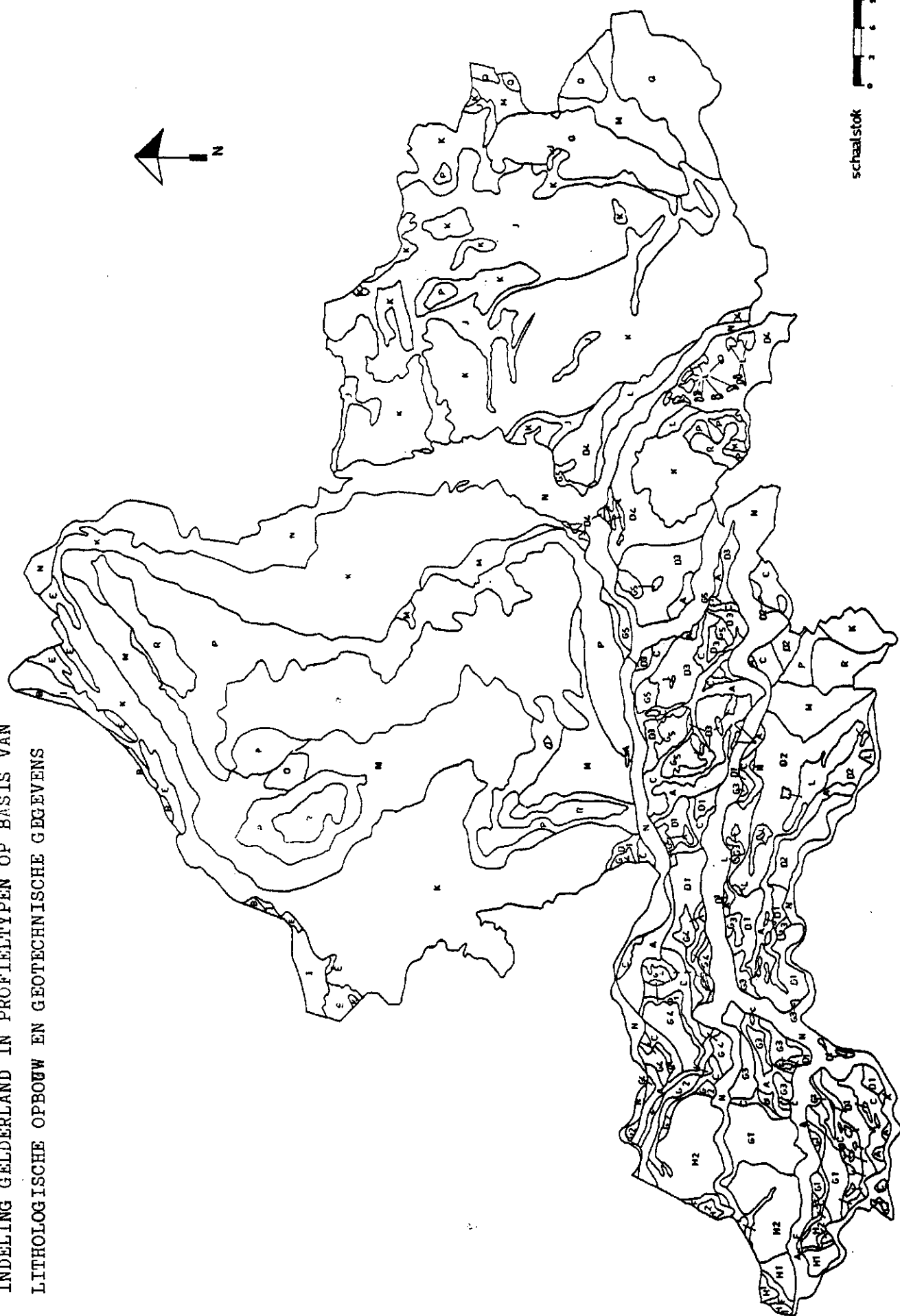
De provincie Gelderland kan op grond van de dichtheid van de verzamelde gegevens in drie gebieden worden ingedeeld (zie figuur 1, tabel 1):

- I. De enkele kilometers brede strook langs de randmeren in het noordwesten en noorden van de provincie. Uit dit gebied zijn slechts van twee locaties gegevens beschikbaar. Deze liggen beide in de lithologische eenheid KV (klei op veen op zand).
- II. Het rivierengebied. 95 % Van de verzamelde gegevens heeft betrekking op dit gebied. Ondanks het relatief grote aantal is de spreiding van de gegevens binnen het gebied en over de lithologische eenheden niet optimaal. Veel van de gegevens zijn afkomstig uit het onderzoek ten behoeve van de dijkverbetering. Als gevolg hiervan ligt een groot deel van de punten dicht langs de rivierdijken. Van de lithologische eenheid KV1K (zware klei op veen op klei op zand, met andere woorden; klei op stroomrug) zijn geen gegevens aangetroffen. De lithologische eenheden KV2K en KV3K bevatten in de bovenste 8 meter respectievelijk 2 en 4 meter (gemiddeld) veen. Hierdoor zijn deze eenheden zeer zettingsgevoelig. Het aantal punten met gegevens uit de lithologische eenheden KV2K en KV3K is respectievelijk 118 en 51.
- III. De overige gebieden. Deze gebieden bestaan voor het grootste deel uit niet-zettingsgevoelige afzettingen, zoals zand, grind, keileem en tertiaire klei. Van de beschikbare gegevens heeft 4 % betrekking op dit gebied.

In de gevallen dat geen geotechnische gegevens uit de archieven beschikbaar waren is gebruik gemaakt van de resultaten uit de studie van het Laboratorium voor Grondmechanica in het kader van het Markerwaard onderzoek (L.G.M., 1984). Hierin worden relaties gegeven tussen lithologische samenstelling, volumege-
wicht en effectieve spanning enerzijds en samendrukkingsconstanten en doorlatendheid anderszijds.

De lithologische profieltypenkaart is op grond van de beschikbare geotechnische gegevens en de geologische kennis onderverdeeld in 26 lithologische

FIG. 2 INDELING GELDERLAND IN PROFIELTYPEN OP BASIS VAN LITHOLOGISCHE OPBOUW EN GEOTECHNISCHE GEVEGENS



profieltypen (zie figuur 2). Van alle grondlagen binnen deze 26 profieltypen zijn de aangenomen geotechnische parameters in tabel 2 weergegeven.

3.4. De berekeningen

De zettingsberekeningen zijn uitgevoerd met het computerprogramma ZETRGD1. Dit programma is door de Rijks Geologische Dienst in samenwerking met Witteveen en Bos Software B.V. te Deventer ontwikkeld uit het programma ZETTING (Witteveen en Bos Software B.V., 1986). Het programma verloopt volgens het stroomschema, zoals weergegeven in bijlage 4. De gedigitaliseerde lithologische profieltypenkaart staat in file 1. In file 2 staat de gedigitaliseerde kaart met de Gemiddelde Laagste Grondwaterstanden (G.L.G.). Beide kaarten hebben een rasterstelsel, waarbij de rastercellen een gebied van 250 bij 250 meter weergegeven. De geotechnische gegevens zijn gekoppeld aan de profieltypen en staan in file 3. File 1, 2 en 3 dienen als invoer voor het programma ZETRGD1, dat bij een gekozen belasting, tijdsduur en rekenmethode de zettingen uitrekent. Hierna is de rastergrootte van 250 bij 250 meter veranderd in 500 bij 500 meter. Met behulp van een eigen ontwikkeld programma is de meest extreme waarde (voor zetting de grootste waarde en voor de hydrodynamische periode de kleinste waarde) van de vier samenstellende rastervlakken bepaald en aan het nieuwe rastervlak van 500 bij 500 meter toegekend.

3.5. Het zettingsgedrag afhankelijk van profieltype, initiële grondwaterstand en samendrukkingsconstante

De grootte en het verloop in de tijd van de zetting is onder andere afhankelijk van:

- het profieltype, met andere woorden: dikte, samenstelling en opeenvolging van de verschillende grondlagen,
- de samendrukkingsconstanten, de volumieke massa's en de doorlatendheden van de verschillende grondlagen,
- de initiële grondwaterstand (G.L.G.),
- de standaardgreep, met andere woorden: de grootte van de grondwaterstandsverlaging en snelheid waarmee deze wordt opgelegd en resulteert in verlaging van de stijghoogte in de verschillende grondlagen,
- de gebruikte berekeningsmethode.

Om inzicht te krijgen in de factoren, die het zettingsgedrag bepalen, zijn van enkele profieltypen zettingsberekeningen gemaakt met maximale, gemiddelde en

Tabel 2. Verdeling geotechnische gegevens over lithologische profieltypen

Lithologische profieltypen	Onderverdeling lithologische profieltypen	Lithologie	Volum. droog	Massa nat	1/ /Cp1	Kv m/s
K2	A	zandige klei	14.6	18.7	0.02	0.35 x 10 ⁻⁷
		zand	16.0	20.0	0.005	0.5 x 10 ⁻⁵
K1	B	klei	13.5	17.5	0.03	0.5 x 10 ⁻⁷
		zand	16.0	20.0	0.005	0.5 x 10 ⁻⁵
K2	C	klei	14.6	18.0	0.02	0.35 x 10 ⁻⁷
		zand	16.0	20.0	0.005	0.5 x 10 ⁻⁵
K3	D1	klei	14.6	18.7	0.02	0.35 x 10 ⁻⁷
		klei	10.5	16.5	0.07	0.10 x 10 ⁻⁷
		klei	13.9	18.1	0.03	0.10 x 10 ⁻⁷
		zand	16.0	20.0	0.005	0.5 x 10 ⁻⁵
	D2/D3/D4	klei	14.6	18.7	0.02	0.35 x 10 ⁻⁷
		klei	10.5	16.5	0.07	0.20 x 10 ⁻⁷
		zand	16.0	20.0	0.005	0.5 x 10 ⁻⁵
V	E	veen	2.1	10.7	0.16	0.5 x 10 ⁻⁵
		zand	16.0	20.0	0.005	0.5 x 10 ⁻⁵
Kv1k	F	klei	11.6	15.3	0.05	0.5 x 10 ⁻⁷
		veen	2.1	10.7	0.12	0.1 x 10 ⁻⁶
		klei	8.2	15.0	0.08	0.1 x 10 ⁻⁷
		zand	16.0	20.0	0.005	0.5 x 10 ⁻⁵
Kv2k	G1/G2	klei	14.6	18.7	0.02	0.5 x 10 ⁻⁶
		klei/veen	7.2	14.7	0.03	0.5 x 10 ⁻⁶
		veen	5.0	13.1	0.05	0.5 x 10 ⁻⁷
		veen	3.9	11.7	0.08	0.5 x 10 ⁻⁷
		veen	4.4	12.7	0.07	0.5 x 10 ⁻⁷
		zand	16.0	20.0	0.005	0.5 x 10 ⁻⁵
Kv2k	G3	klei	14.6	18.7	0.02	0.35 x 10 ⁻⁷
		klei	10.5	16.5	0.07	0.4 x 10 ⁻⁷
		veen	2.1	10.7	0.16	0.2 x 10 ⁻⁷
		klei	12.2	17.4	0.04	0.1 x 10 ⁻⁷
		zand	16.0	20.0	0.005	0.5 x 10 ⁻⁵
Kv2k	G4	klei	14.6	18.7	0.02	0.35 x 10 ⁻⁷
		klei	10.5	16.5	0.07	0.4 x 10 ⁻⁷
		veen	2.1	10.7	0.16	0.2 x 10 ⁻⁷
		klei	13.9	18.1	0.03	0.4 x 10 ⁻⁷
		zand	16.0	20.0	0.005	0.5 x 10 ⁻⁵

Tabel 2. Vervolg

Lithologische profieltypen	Onderverdeling lithologische profieltypen	Lithologie	Volum. droog	Massa nat	l/ /Cpl	Kv m/s
Kv2k	G5	klei	14.6	18.7	0.02	0.35 x 10 ⁻⁷
		klei	10.5	16.5	0.07	0.40 x 10 ⁻⁷
		veen	2.1	10.7	0.16	0.2 x 10 ⁻⁷
		zand	16.0	20.0	0.005	0.5 x 10 ⁻⁵
Kv3k	H1	klei	11.6	15.3	0.05	0.35 x 10 ⁻⁷
		klei	10.8	15.5	0.085	0.40 x 10 ⁻⁷
		veen	2.1	10.8	0.12	0.20 x 10 ⁻⁷
		klei/veen	8.2	15.0	0.08	0.10 x 10 ⁻⁷
		klei	13.1	18.2	0.01	0.10 x 10 ⁻⁷
		zand	16.0	20.0	0.005	0.5 x 10 ⁻⁵
Kv3k	H2	klei	14.6	18.7	0.02	0.35 x 10 ⁻⁷
		klei	10.6	15.5	0.085	0.40 x 10 ⁻⁷
		veen	2.1	10.8	0.12	0.20 x 10 ⁻⁷
		klei	11.0	17.0	0.06	0.2 x 10 ⁻⁷
		klei	13.9	18.1	0.03	0.1 x 10 ⁻⁷
		zand	16.0	20.0	0.005	0.5 x 10 ⁻⁵
Kv	I	klei	12.1	17.5	0.03	0.35 x 10 ⁻⁷
		veen	2.1	10.7	0.17	0.10 x 10 ⁻⁶
		zand	16.0	20.0	0.005	0.5 x 10 ⁻⁵
Zkv1	J	zand	15.0	19.0	0.005	0.10 x 10 ⁻⁴
		klei	10.0	16.0	0.07	0.10 x 10 ⁻⁷
		klei	13.0	18.0	0.05	0.10 x 10 ⁻⁷
		veen	2.1	10.6	0.13	0.5 x 10 ⁻⁷
		zand	16.0	20.0	0.005	0.1 x 10 ⁻⁵
		klei	10.0	16.0	0.07	0.1 x 10 ⁻⁷
		zand	16.0	20.0	0.005	0.5 x 10 ⁻⁵
Zkv2	K	zand	15.0	19.0	0.005	0.1 x 10 ⁻⁴
		klei	11.0	17.0	0.01	0.2 x 10 ⁻⁷
		veen	2.1	10.7	0.13	0.1 x 10 ⁻⁷
		klei	11.0	17.0	0.01	0.1 x 10 ⁻⁷
		veen	2.1	10.7	0.10	0.1 x 10 ⁻⁸
		zand	16.0	20.0	0.005	0.5 x 10 ⁻⁵
Zk2	L	zand	16.0	20.0	0.005	0.1 x 10 ⁻⁴
		klei	10.0	16.0	0.03	0.7 x 10 ⁻⁸
	M.N.O.P.R	zand	16.0	20.0	> 200	0.1 x 10 ⁻⁴
Ct2	Q	zand	15.0	19.0	0.005	0.1 x 10 ⁻⁴
		keileem	17.0	21.0	0.01	0.5 x 10 ⁻⁵
		klei	16.0	18.0	0.01	0.1 x 10 ⁻⁷

minimale waarden voor de samendrukkingsconstanten en met verschillende initiële grondwaterstanden. De maximale waarde van de samendrukkingsconstante wordt bepaald door de gemiddelde waarde plus de standaarddeviatie; de minimale waarde is de gemiddelde waarde minus de standaarddeviatie. De uitkomsten van de zettingsberekeningen met maximale, gemiddelde en minimale waarden van de samendrukkingsconstanten bij een grondwaterstand overeenkomstig de G.L.G. van verschillende profieltypen (zie tabel 3) zijn in bijlage 5a weergegeven. In bijlage 5b is het zettingsverloop van enkele profieltypen bij verschillende initiële grondwaterstanden weergegeven. In bijlage 5c is het zettingsverloop berekend met de gemiddelde samendrukkingsconstante en bij een of twee initiële grondwaterstanden, van enkele profieltypen in een grafiek uitgezet. Tevens is in de grafieken tussen haakjes de hydrodynamische periode in dagen weergegeven.

Tabel 3 geeft de profieltypen weer, die gebruikt zijn bij de berekeningen van het zettingen (zie tabel achterin).

Uit dit beperkte onderzoek naar de gevoeligheid van de grootte en snelheid van zetting voor profieltype, variabiliteit van de samendrukkingsconstante en de initiële grondwaterstand, blijken de volgende zaken:

- De grafieken, die het verloop van de zetting in de tijd weergeven hebben allen een zelfde vorm.
- Het aandeel veen in het profiel bepaalt in grote mate de grootte en de snelheid van zetting.
- Profieltypen waarin de aanwezige veenlagen van het onderliggende, goed drainerende zand door een kleilaag worden gescheiden, vertonen een grotere hydrodynamische periode dan profieltypen, waarin dat niet het geval is.
- De grootte van de variabiliteit in de berekende zetting, veroorzaakt door de variabiliteit in de samendrukkingsconstante, vertoont een sterke samenhang met de grootte van de zetting.
- Hoe groter de zetting hoe groter de variabiliteit.
- Het verband tussen de initiële grondwaterstand en de grootte van de zetting lijkt lineair te zijn, behalve in gevallen, waarbij laaggrenzen worden overschreden (zie bijvoorbeeld bijlage 5c, profieltype I).
- Bij het beoordelen van de gevolgen van grondwaterstandsverlaging voor wat betreft de grootte van de zetting is naast de profielopbouw ook de initiële grondwaterstand belangrijk. In het geval het grondwater dicht bij het maaiveld staat, is het zettingeneffect groter bij profieltypen, zoals E en I

Tabel 3. Gebruikte profieltypen voor bepaling van het zettingsgedrag

Oude lith. Profiel- type	Nieuwe lith. Profiel- type	Algemene lithologische karakteristiek
K3	D1	Zware rivierklei op zand
V	E	Veen dunner dan 2 meter op zand
Kv1k	F	Komafzettingen met zware klei en veen op klei op zand, kom op stroomrug
Kv2k	G4	Komafzettingen met zware klei op veen op Pleistoceen zand
Kv3k	H1	Komafzettingen bestaande uit veen met zware klei op Pleistoceen zand
Kv	I	Zware mariene klei op veen op fijn zand

met veenlagen dicht aan maaiveld, dan bij profieltypen met dikke kleilagen zoals H1, D1 en F. Bij lage initiële grondwaterstanden daarentegen is het zettingeneffect bij dikke klei/veen afzettingen het grootste. Ook hierbij geldt, dat het aandeel veen de snelheid en de grootte van de zetting bepaalt.

4. De resultaten.

4.1. Toelichting bij de zettingenkaart

De provincie Gelderland is ingedeeld in rastercellen, die een gebied weergeven van 250 bij 250 meter. Per rastercel is de zetting berekend. De rastercellen zijn daarna omgezet in rastercellen, die een gebied weergeven van 500 bij 500 meter. Bij deze omzetting is voldaan aan het uitgangspunt, dat wat betreft de grootte en snelheid van de zetting de meest extreme situatie weergegeven dient te worden. De nieuwe rastercellen krijgen de grootste zetting van de vier samenstellende rastercellen toegekend.

De verdeling van de zettingsgrootte over de rastercellen is in figuur 3 weergegeven. Hieruit blijkt, dat voor de standaardingreep:

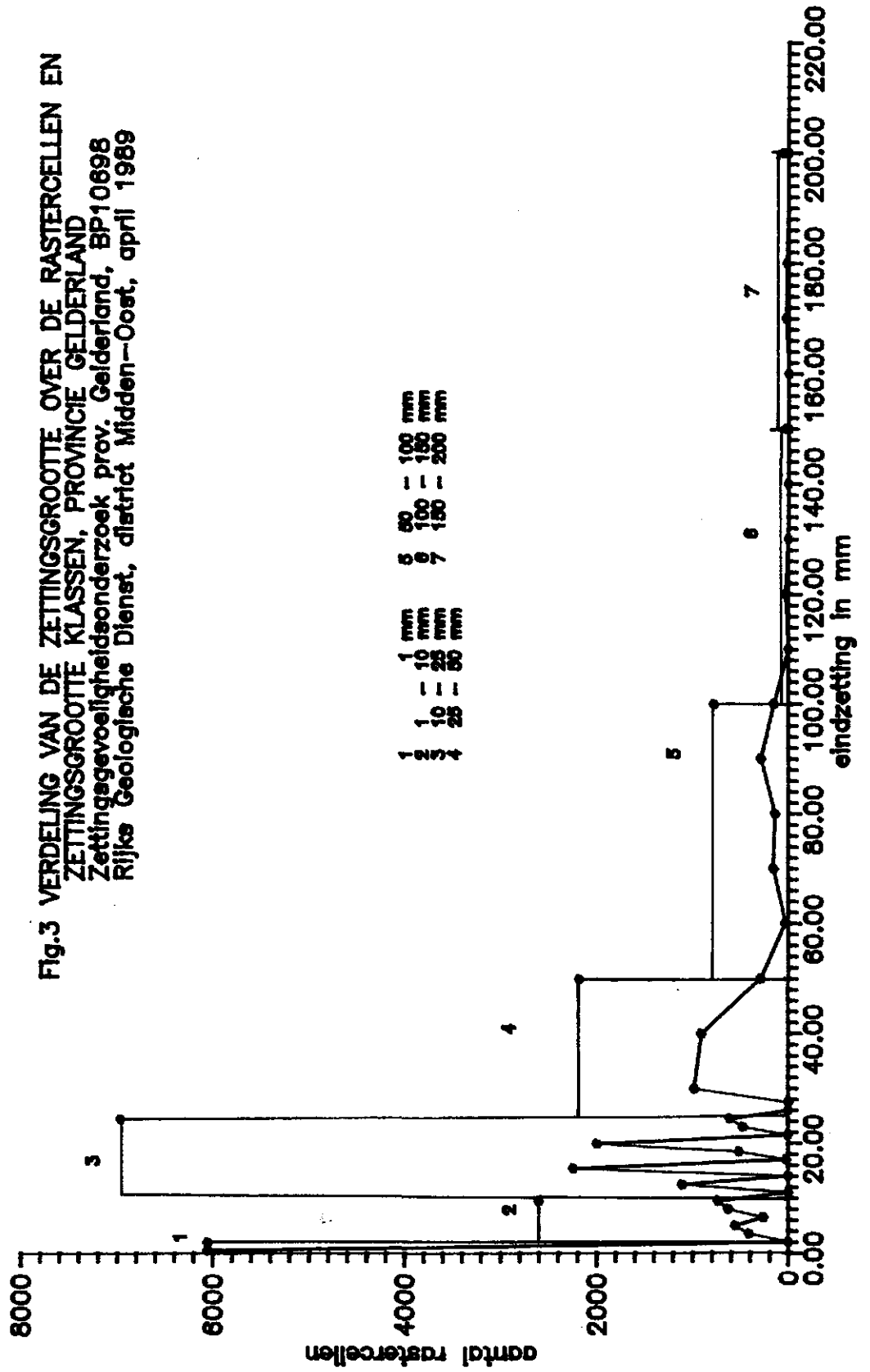
- meer dan 30 % van het oppervlak van de provincie Gelderland geen zetting van enige betekenis vertoont;
- meer dan 90 % van het oppervlak zettingen vertoont kleiner dan 50 mm. Met andere woorden de te verwachten zettingen onder invloed van de standaardingreep zijn klein.

Er zijn zeven klassen onderscheiden:

- 1 < verwaarloosbare zetting
- 2 1 - 10 mm
- 3 10 - 25 mm
- 4 25 - 50 mm
- 5 50 - 100 mm
- 6 100 - 150 mm
- 7 150 - 200 mm.

De zettingen zijn weergegeven op een rasterkaart met schaal 1:250.000.

Fig.3 VERDELING VAN DE ZETTINGSGROOTTE OVER DE RASTERCELLEN EN
 ZETTINGSGROOTTE KLASSEN, PROVINCIE GELDERLAND
 Zettingengevoeligheidsonderzoek prov. Gelderland, BP10698
 Rijks Geologische Dienst, district Midden-Oost, april 1989



In de lithologische profieltypenkaart van Gelderland (Rijks Geologische Dienst 1987, BP-10627) zijn op grond van onder andere de geologische opbouw 18 lithologische profieltypen onderscheiden. Deze profieltypen zijn vastgesteld op grond van de aanwezigheid en de dikte van de klei-, veen- en zandlagen. In het bijbehorend rapport wordt het verband tussen de geologie en de lithologische opbouw nader toegelicht.

De kaart met de te verwachten zettingen vertoont een duidelijk verband met de geologische opbouw. Gebieden, waar een relatief grote zetting zou kunnen voorkomen, liggen in het westelijk rivierengebied en langs het IJsselmeer. In het rivierengebied betreft het de Betuwe en de Westland Formaties, langs het IJsselmeer alleen de Westland Formatie.

In het westelijk rivierengebied zijn het met name de venige komgebieden waar een grote zetting te verwachten is (50-200 mm). Hoe groter het aandeel veen en hoe groter de totale dikte van het veen, des te groter zal de zetting zijn. Het aandeel veen in het afdekkend pakket en de totale dikte van het uit veen en klei bestaande afdekkend pakket nemen naar het oosten toe af. Dit komt tot uiting in een afname van de te verwachten zettingen in oostelijke richting. Langs het IJsselmeer zorgt de aanwezigheid van veen voor relatief grote zettingen (50-200 mm). De grootste zettingen (> 150 mm) treden op waar klei op veen op zand ligt en tevens de grondwaterstand hoog staat (G.L.G. = 0-0.5 m - mv), zoals in de buurt van Spakenburg, Nijkerk en Elburg.

Relatief kleine zettingen zijn te verwachten in zandige stroomruggen, al of niet bedekt met komklei (1-10 mm).

Ook de afzettingen langs de Oude IJssel vertonen voor een groot deel lage waarden voor de zetting. Opvallend is het geringe verschil in de te verwachten zetting tussen het oostelijke rivierengebied, bestaande uit voornamelijk kleiige profieltypen, en gebieden met zandige profieltypen, zoals in de Achterhoek en de Gelderse Vallei (1-50 mm).

Door het voorkomen van zandige stroomruggen in de voor de rest uit klei en veen bestaande komgebieden kunnen in het rivierengebied over korte afstanden grote zettingsverschillen optreden. Dit is in de zandgebieden veel minder het geval. Gebieden met potentieel grote zettingsverschillen zijn op de zettingenkaart te herkennen aan de grote kleurverschillen over korte afstand.

Grote zettingsverschillen kunnen ook optreden in de recente (vanaf 900 B.C., Subatlanticum) rivierafzettingen. Deze gebieden liggen voornamelijk in de uiterwaarden en zijn op de kaart blank gelaten.

Grote delen van de Gelderse Vallei, de Veluwe en de Achterhoek bestaan uit zand. Als gevolg hiervan zijn de te verwachten zettingen klein. In het oosten

van de Achterhoek ligt tertiaire klei en keileem dicht aan het maaiveld. Deze afzettingen vertonen als gevolg van de standaard ingreep praktisch geen zetting.

4.2. Toelichting bij de hydrodynamische periodenkaart

Per rastercel, die een gebied van 250 bij 250 meter weergeeft, is de hydrodynamische periode berekend. Deze rastercellen zijn omgezet in rastercellen, die gebieden van 500 bij 500 meter vertegenwoordigen. Dit is op dezelfde manier gebeurd als bij de zettingenkaart. De kaart heeft een schaal 1:250.000. Er zijn 6 klassen onderscheiden. Deze zijn:

- 1 0 - 40 dagen
- 2 40 - 100 dagen
- 3 100 - 200 dagen
- 4 200 - 500 dagen
- 5 500 - 1000 dagen
- 6 > 1000 dagen

De kaart met de te verwachten hydrodynamische perioden laat een duidelijk verband zien met de lithologische profieltypen en dus met de geologische opbouw. Gebieden met korte hydrodynamische perioden komen voor:

- 1 op de hoger gelegen gebieden, zoals de Veluwe en de stuwwal bij Nijmegen;
- 2 rond Winterswijk;
- 3 langs de Oude IJssel;
- 4 langs de randmeren;
- 5 in het rivierengebied;

ad. 1 en 2.

Uit de lithologische profieltypenkaart blijkt dat deze gebieden bestaan uit alleen zand of uit zand op niet-zettingsgevoelige kleien (tertiaire klei en keileem). Bij waterstandsverlaging zullen deze zandige profielen zeer snel draineren.

ad. 3.

Het lithologisch profiel langs de Oude IJssel bestaat globaal uit een ca. 1 meter dikke kleilaag op zand. Het grondwater (G.L.G.) staat op ca. 1.2 meter - mv. Bij een grondwaterstands-verlaging draineert het water via het onder het kleidek aanwezige zand, waardoor de te verwachten hydrodynamische perioden klein zijn (< 40 dagen).

ad. 4.

In de lithologische profieltypen langs de randmeren ligt het veen direkt op het zand. Bij ontwatering kan een dergelijk profiel snel draineren. Als gevolg hiervan is de hydro-dynamische periode onder de gegeven ingreep relatief kort (0-400 dagen).

ad. 5.

De gebieden in het rivierengebied met kleine hydrodynamische perioden komen globaal overeen met de zandige profieltypen. Deze profieltypen representeren de stroomruggen. De oudere stroomruggen zijn met een laag komklei bedekt, waardoor de hydrodynamische periode groter is.

Grote waarden voor de hydrodynamische perioden worden aangetroffen in gebieden:

1. met fijnzandige profieltypen, zoals in de Gelderse Vallei en de Achterhoek;
2. met profieltypen, waarin klei- en veenlagen samen voorkomen, zoals in de komgebieden.

4.3. De zettingsgevoeligheid

De zettingsgevoeligheid op een bepaalde plaats wordt bepaald door zowel de grootte van de zetting, het zettingsverschil met plaatsen op relatief korte afstand alsook de hydro-dynamische periode. De belangrijkste parameter bij het bepalen van de zettingsgevoeligheid is in de eerste plaats de grootte van de zetting. Slechts in het geval de zetting een relevante grootte heeft, spelen zettingsverschillen en de hydrodynamische perioden ook een rol.

De zettingen op de hoger gelegen gebieden, in de Achterhoek, rond Winterswijk, langs de Oude IJssel en in de Gelderse Vallei zijn te verwaarlozen, waardoor zettingsverschillen en de hydrodynamische perioden geen rol spelen.

Voor de strook langs de randmeren blijkt uit de zettingenkaart, dat de te verwachten eindzettingen groot zijn. De hydrodynamische perioden zijn kort.

In het rivierengebied verschilt het zettingsgedrag van de zandige stroomruggen duidelijk van de uit klei en veen bestaande kommen. De stroomruggen vertonen kleine zettingen en korte hydrodynamische perioden.

De profieltypen in de komgebieden bevatten dikke klei- en veenlagen. De zettingen kunnen aanzienlijk zijn. De doorlatendheden zijn echter gering, waardoor de hydrodynamische perioden relatief lang zijn. Voor kortdurende ingrepen is de zetting in de komgebieden met klei, zoals in het oostelijk deel van het rivierengebied, slechts gering. Voor langdurende ingrepen daarentegen kunnen de zettingen aanzienlijk zijn. Omdat in komgebieden met veen, zoals in het westelijk deel van het rivierengebied de doorlatendheden groter zijn en dus de hydrodynamische perioden korter, kan de zetting ook voor kortdurende ingrepen groot zijn. Belangrijk in dit geval zijn de zettingsverschillen, die optreden op de overgang van de kommen naar de stroomruggen. Mede gezien de grote drainagecapaciteit van de stroomrugzanden kunnen hier binnen korte tijd, na het begin van de ontwatering, grote zettingsverschillen optreden. Dit proces doet zich in versterkte mate voor indien de aangrenzende zettingsgevoelige eenheden veen bevatten, zoals in de komgebieden in het westelijk deel van het rivierengebied (zie bijlage 5c).

4.4. Het gebruik en de beperkingen van de kaarten

De kaarten zullen primair kunnen dienen als indicatie van zettingsgevoeligheid van grond waarin, door welke oorzaak dan ook, een grondwaterstandsverlaging zal optreden.

Bij kortstondige, sterke grondwaterstandsverlagingen, zoals bij ontwateringen voor constructies zal men naast de grootte van de mogelijke zetting ook geïnteresseerd zijn in de snelheid van de optredende zetting. Dit is indicatief weergegeven op de kaart met de hydrodynamische perioden. Een direct kwantitatief verband is echter niet te leggen tussen de op de kaart aangegeven tijd en de tijd, waarin de zetting tengevolge van een feitelijke ontwatering zich zal voltrekken. Dit gezien het feit, dat dit verband afhankelijk is van het volledige tijd-zettingsgedrag. Daarnaast zal de grondwaterstandsverlaging in de meeste gevallen afwijken van de aangenomen standaardingreep van 1 meter. Bij een ontwatering is er met name aan de randen van het te ontwateren gebied

sprake van een horizontale afstroming. Voor de berekening van de hydrodynamische perioden is echter uitsluitend rekening gehouden met eenzijdige verticale afstroming.

De kaarten kunnen gebruikt worden ten behoeve van het provinciaal beleid rond bronbemaling en grondwaterpeil-verlaging, bijvoorbeeld de vergunningverlening. De kaarten hebben een signaalfunctie. De dichtheid van de gegevens en de kaartschaal (1:250.000) vereisen voor concrete projecten gedetailleerd onderzoek naar de zettingsgevoeligheid.

5. Conclusies

Gebieden met een relatief grote zetting liggen in het westelijk rivierengebied (komgebieden) en langs het IJsselmeer.

Kleine zettingen zijn te verwachten in de Gelderse Vallei en in de Achterhoek. Grote zettingsverschillen kunnen optreden langs de zandige stroomruggen in het rivierengebied en in de gebieden met recente afzettingen (voornamelijk de uiterwaarden).

Gebieden met een relatief korte hydrodynamische periode liggen op de Veluwe, op de Stuwwal van Nijmegen, rond Winterswijk, langs het IJsselmeer, in het rivierengebied en langs de Oude IJssel.

Lange hydrodynamische perioden zijn te verwachten in de Gelderse Vallei, de Achterhoek en de komgebieden in het rivierengebied.

Gebieden gevoelig voor kortdurende grondwaterstandverlagingen liggen met name langs het IJsselmeer. Deze gebieden vertonen grote zettingen en korte hydrodynamische perioden.

De komgebieden in het rivierengebied vertonen grote eindzettingen en lange hydrodynamische perioden. Met andere woorden: deze gebieden zijn in het algemeen minder gevoelig voor kortdurende ingrepen.

De kaarten zijn indicatief van aard. Met behulp van de kaarten kan de zettingsgevoeligheid van een relatief groot gebied worden benaderd. Voor inzicht in de zettingsgevoeligheid van gebieden met een relatief beperkte omvang dient aanvullend onderzoek uitgevoerd te worden. In een eventuele 3e fase van dit onderzoek, dat zich toespitst op stedelijke gebieden, kan met behulp van reeds aanwezige en nog te verzamelen gegevens een dergelijk gedetailleerd onderzoek naar de zettingsgevoeligheid uitgevoerd worden.

6. Literatuur

LGM, 1984, Onderzoek in Noord-Holland naar de geotechnische aspecten van de aanleg van de Markerwaard. LGM Mededelingen, deel XXII nr. 3 (nr.89), augustus 1984.

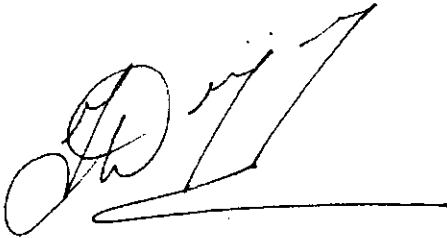
RGD, 1987, Toelichting bij de lithologische kaart van de provincie Gelderland Schaal 1:250.000 (met 4 bijlagen), BP 10627.

Sondijn, B.J.J. en R.A.J. de Kock, 1977, Compendium geo-Tubomechanica, Deel I, uitg. Provinciale Waterstaat Zuid-Holland, 1977.

Van der Veen, C., E. Horvat en C.H. van Kooperen, 1981, Grondmechanica met beginselen van de funderingstechniek, uitg. Waltman, Delft.

Witteveen & Bos Software, b.v., 1986, computerprogramma; ZETTING.

De samensteller,



Drs. J.P. Weijers

De Directeur,

namens deze,



Dr. E.F.J. de Mulder

Hoofd Afdeling Toepassingen

Overzicht van kanaalpeilen, zomergrondwaterstanden en oppervlakte van de gebieden waarop schade zal optreden, alsmede de schadebedragen in guldens

kanaal- pand tussen	lengte	kanaalpeilen m + N.A.P.		verschillen m		zomer gr.w.st. m + N.A.P.		verschil nieuw kanaalpeil- grondwaterstand		Opp. schade- gebied ha	Gem. schade %)	schade door verdro- ging overl. gld.
		oud	nieuw	-	+	ben.	2) bov. 2)	ben.	bov.			
Sluis 2 - 3 ¹⁾	4600	6,53	4,48	2,05	-	4,70	5,70	0,22	1,22	230	8	18 400
" 3 - A	250	8,52	4,48	4,04	-	5,70	5,80	1,22	1,32	-	-	-
" A - 4	5500	8,52	8,52	-	-	5,80	7,60	-	0,92	350	8	28 000
" 4 - 5	5000	10,57	8,52	2,05	-	7,60	9,70	-	1,18	100	5	5 000
" 5 - B	500	12,75	8,52	4,23	-	9,70	9,70	1,18	1,18	-	-	-
" B - 6	4200	12,75	12,75	-	-	9,70	12,70	-	3,05	380	3	11 400
" 6 - C	1800	14,96	12,75	2,21	-	12,70	13,00	-	0,05	-	-	-
" C - D	7100	-	14,96	-	-	13,00	16,70	-	1,75	150	13	19 500
" D - 9	2700	18,65	18,65	-	-	16,70	17,90	-	1,95	80	8	6 400
" 9 - E	4300	20,47	18,65	1,82	-	17,90	20,50	-	0,75	100	18	18 000
" E - 10	200	20,47	22,05	-	1,58	20,50	20,80	-	1,55	80	13	10 400
" 10 - 11	3000	22,48	22,05	0,43	-	20,80	22,20	-	1,25	-	-	-
" 11 - F	1000	24,98	22,05	2,93	-	22,20	23,70	0,15	1,65	40	30	12 000
" F - 12	4200	24,98	25,45	-	0,47	23,70	24,00	-	1,75	150	20	30 000
" 12 - 13	2200	27,01	25,45	1,56	-	24,00	26,20	-	0,75	50	8	4 000
" 13 - G	800	28,50	25,45	3,05	-	26,20	26,50	0,75	1,05	150	3	4 500
totaal verdroging										620	9	57 900
totaal wateroverlast										1240	9	109 700
totaal										1860		166 600

1) De sluizen A tot en met G zijn de nieuw te bouwen sluizen.

2) ben.: benedeneinde van het kanaalpand
bov.: bovineinde van het kanaalpand

3) Exclusief de thans bestaande gemiddelde opbrengstdepressie

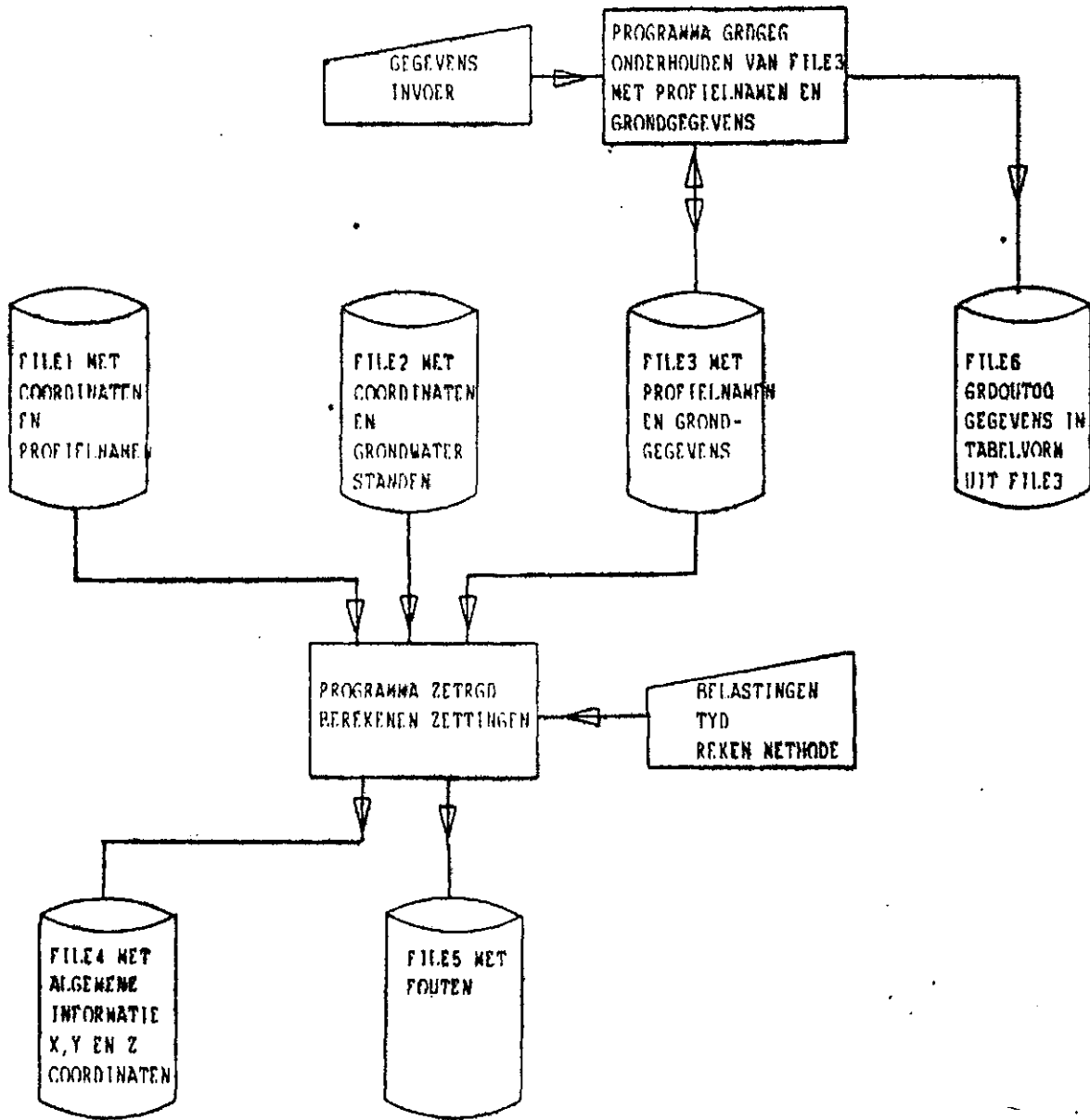
Gemiddeld zomerstuwpeil van de Aa bepaald op grond van gegevens van zelfregistrerende peilschalen^{x)}

Stuw no.	Plaats omschr.	afstand km	Gem. zomerstuwpeil m N.A.P.		Sprong- hoogte m
			beneden	boven	
1	Berlicum	.	2,40	3,60	1,20
2	Kameren	3,5	3,80	4,80	1,00
3	Beug	5,5	5,00	6,40	1,40
4	Zijtaart	5,5	6,80	8,20	1,40
4A	afw.kan.Keldonk	2	8,40	9,60	1,20
4B	afw.kan.Boerdonk	2,5	9,70	11,20	1,50
5	Keldonk	3	8,40	9,35	0,95
6	Erp	3,5	9,50	10,15	0,65
7	Heuvelberg	1,5	10,20	11,00	0,80
8	Heuvelberg	1,5	11,05	11,60	0,55
9	Beek	7,0	12,00	12,75	0,75
10	Aarle	2,5	13,00	13,80	0,80
11	Helmond	3,5	14,00	15,10	1,10
12	Spoorlijn Helmond	2	15,30	16,00	0,70
13	Brouwhuis	2	16,10	17,00	0,90
14	Stipdonk	1,5	17,10	18,40	1,30
15	Lierop	3,5	18,60	20,50	1,90
16	Asten	4,5	20,80	21,80	1,--
17	Someren-Eind	3,0	22,00	23,40	1,40
18	Sluis 12	2	23,70	24,50	0,80
19	Sluis 13	0,5	24,50	25,50	1,--

x) Deze gegevens werden welwillend door het waterschap "Het Stroomgebied van de Aa" ter beschikking gesteld.

BIJLAGE 4

FILE STRUCTUUR PROGRAMMA ZETRGD METHODE 1



Bijlage 5a. Zettingsverloop bij minimale, gemiddelde en maximale
samendrukkingsconstanten bij verschillende profieltypen.
De hiervoor gebruikte profieltypen zijn:

Oude lith. Profiel- type	Nieuwe lith. Profiel- type	Algemene lithologische karakteristiek
K3	D1	Zware rivierklei op zand.
V	E	Veen dunner dan 2 meter op zand.
Kvlk	F	Komafzettingen met zware klei en veen op klei op zand, kom op stroomrug.
Kv3k	H1	Komafzettingen bestaande uit veen met zware klei op Pleistoceen zand.
Kv	I	Zware mariene klei op veen op fijn zand.

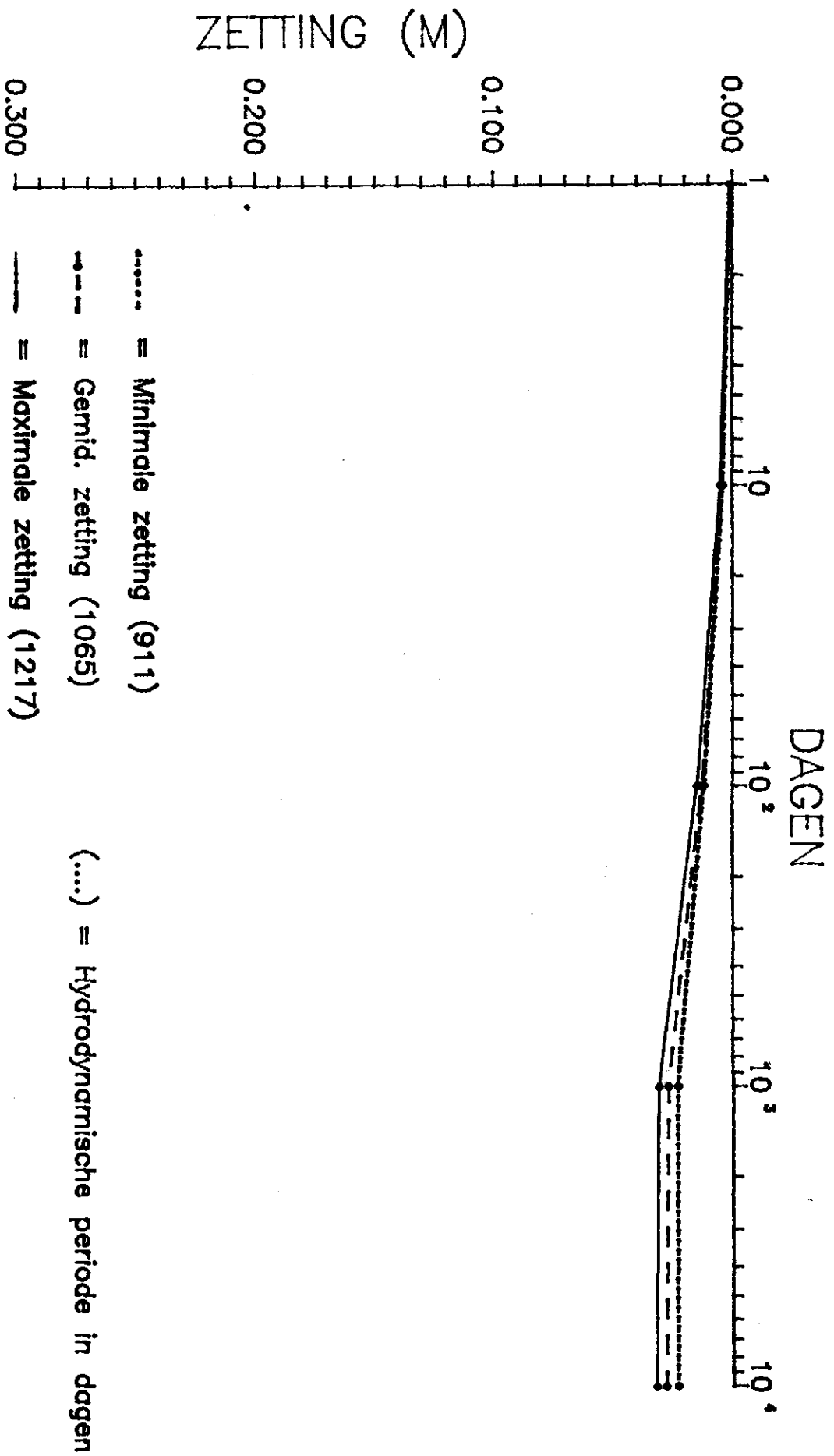
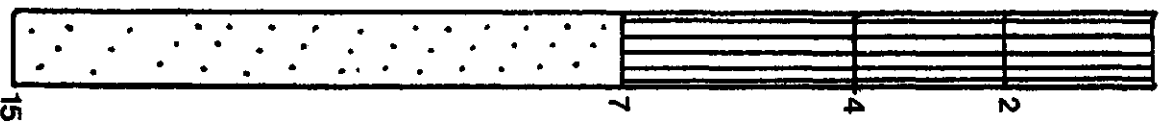


Fig. Minimale, Gemiddelde en Maximale zetting van profieltype D1 bij een grondwaterstand van -1.6 M.V.



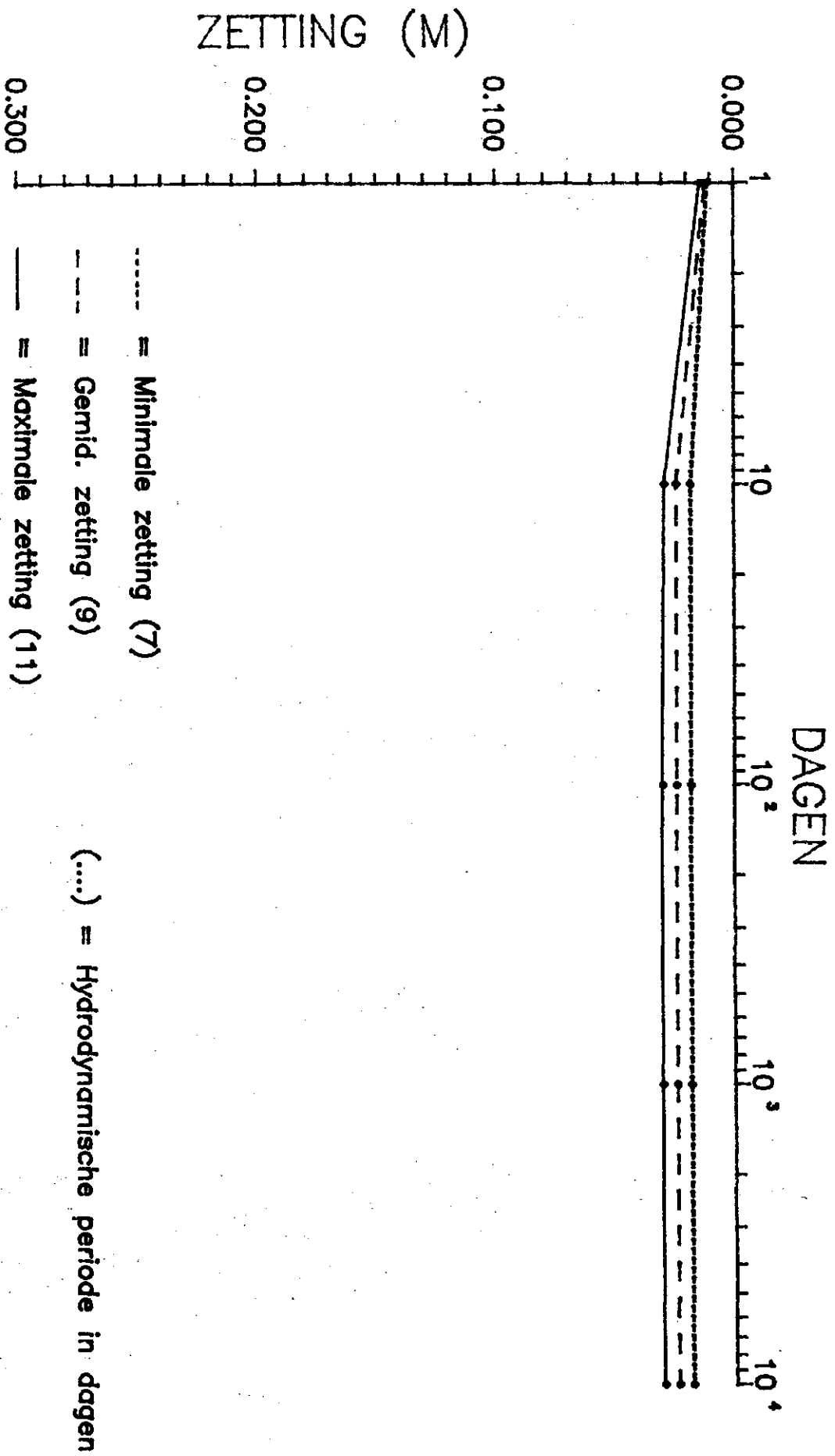


Fig. Minimale, Gemiddelde en Maximale zetting van profieltype E bij een grondwaterstand van -0.5 M.V.

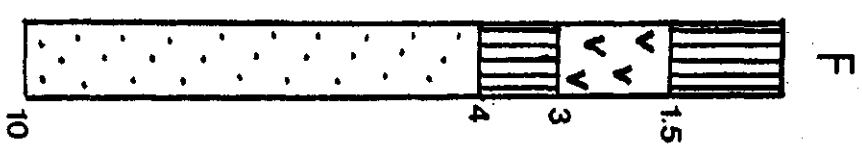
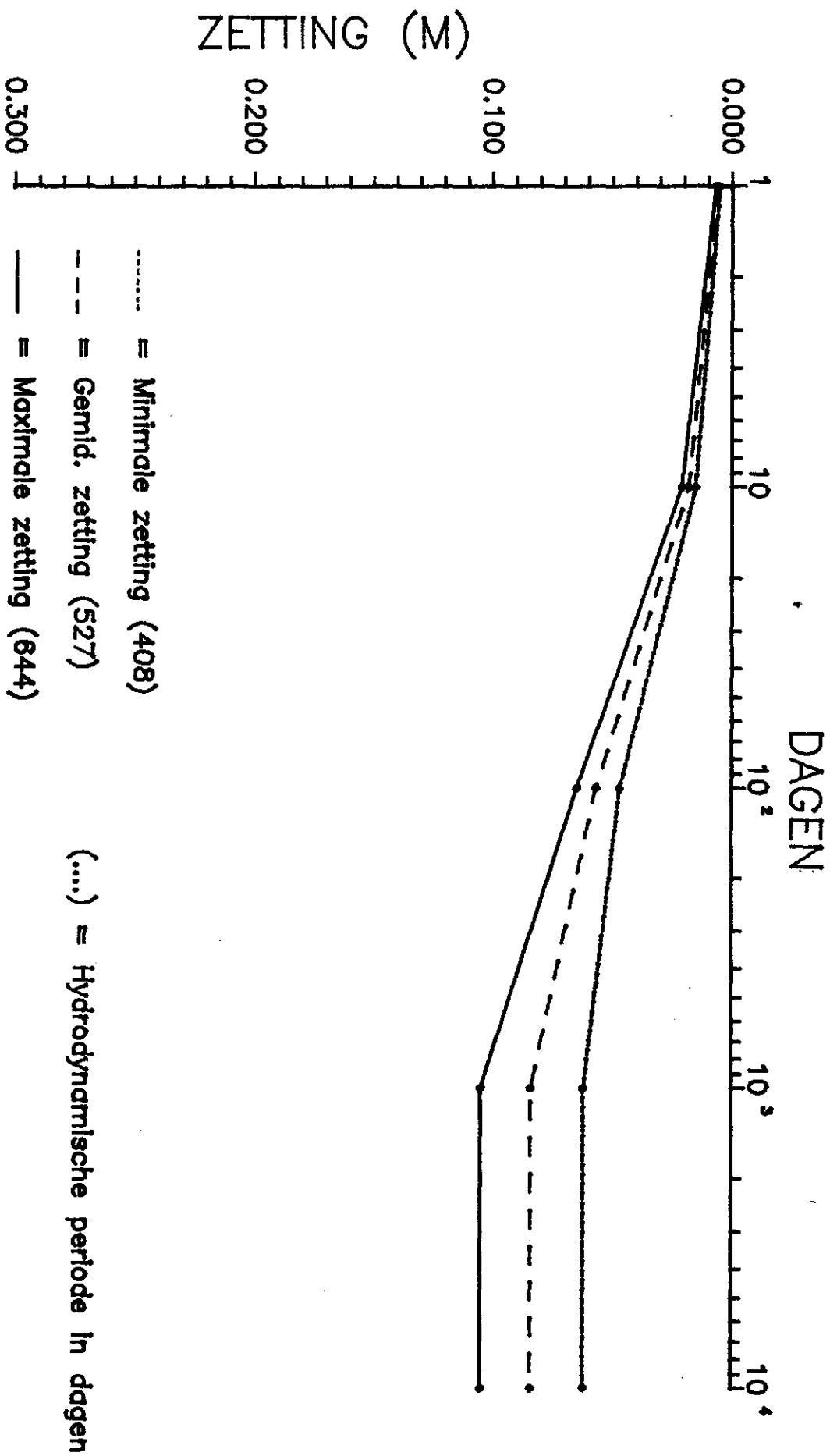


Fig. Minimale, Gemiddelde en Maximale zetting van profieltype F bij een grondwaterstand van -0.8 M.V.

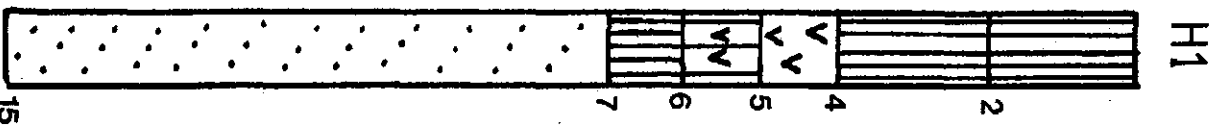
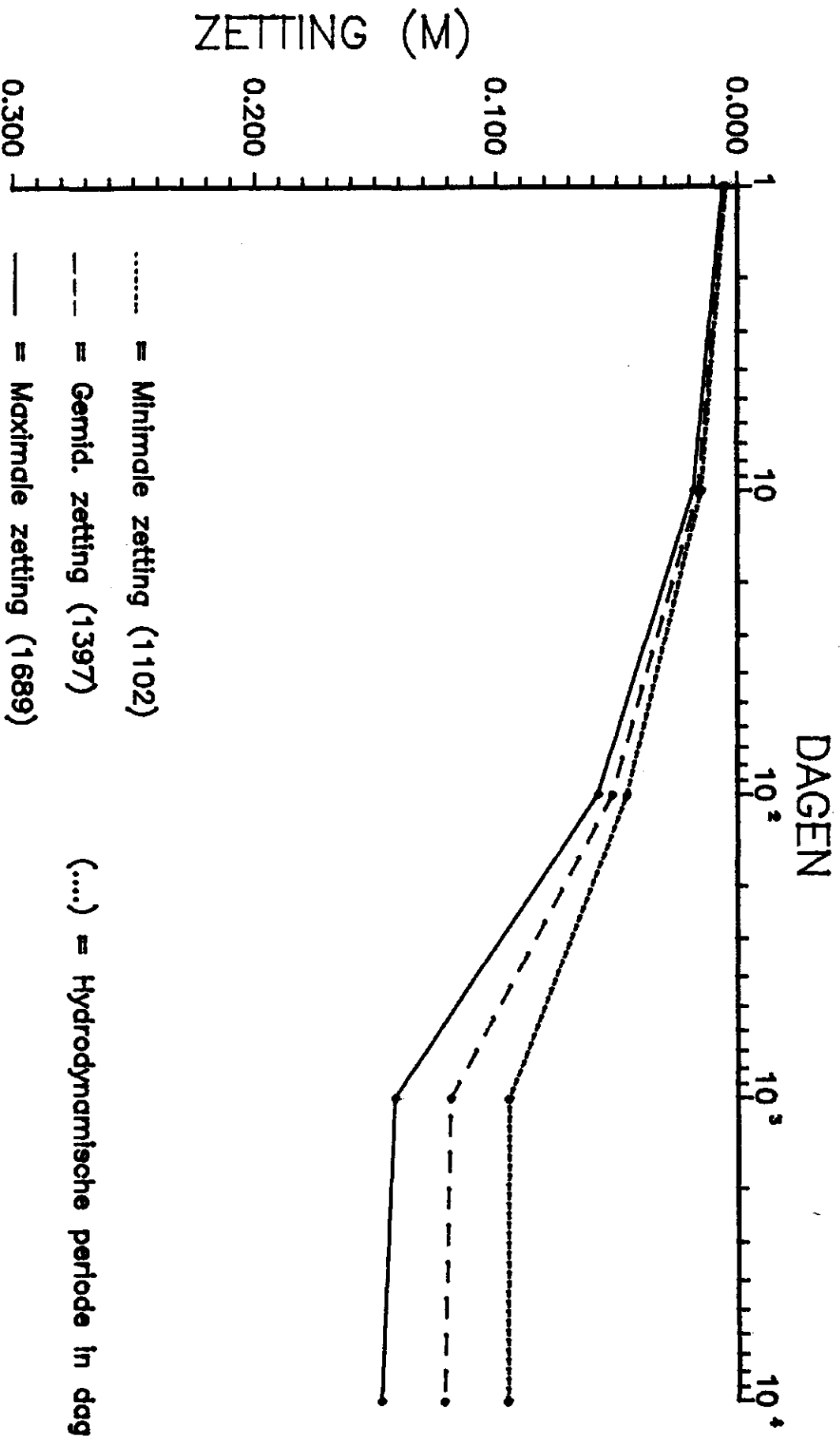


Fig. Minimale, Gemiddelde en Maximale zetting van profieltype H1 bij een grondwaterstand van -0.5 M.V.

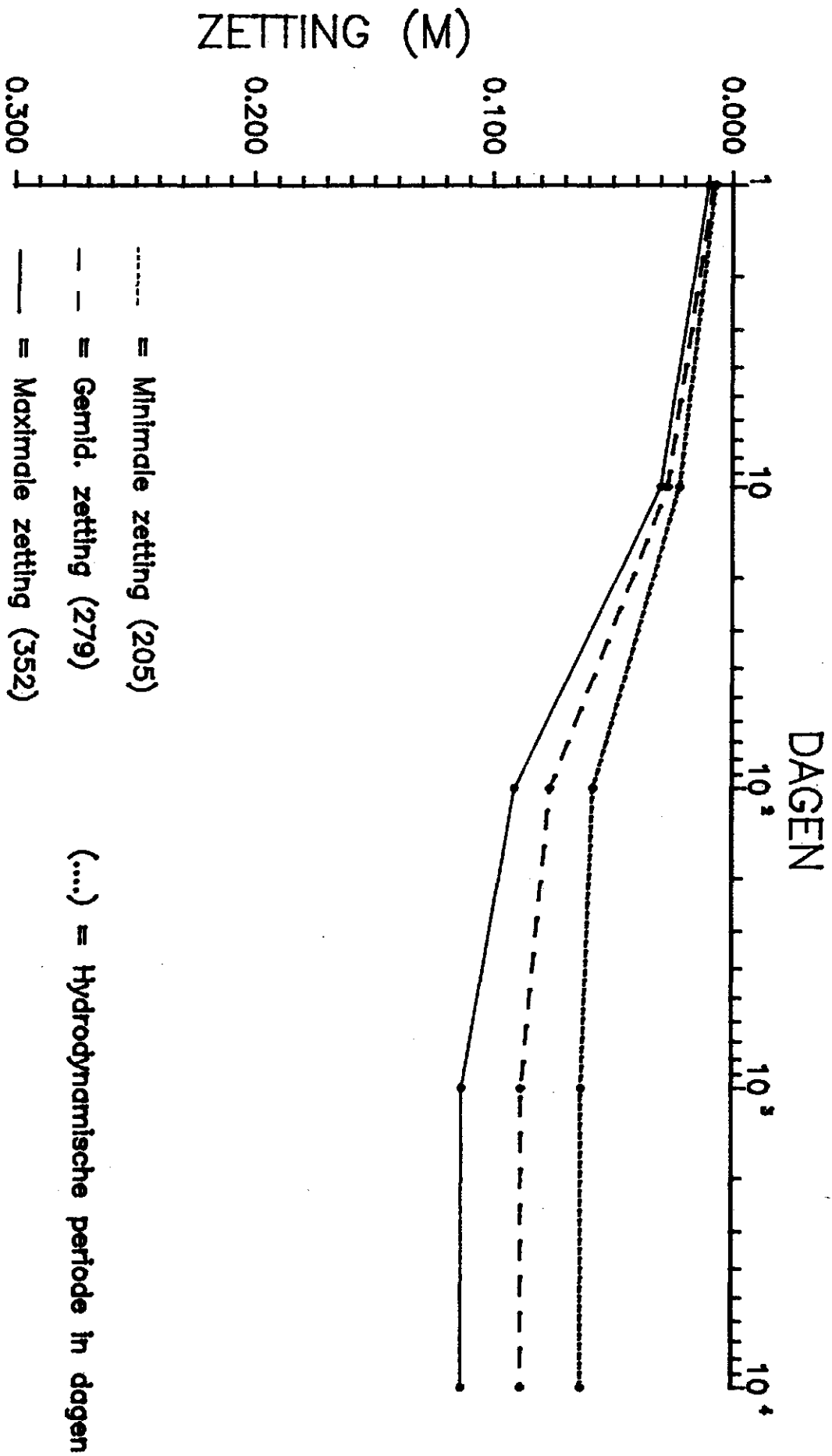


Fig. Minimale, Gemiddelde en Maximale zetting van profieltype 1 bij een grondwaterstand van -0.5 M.V.

Bijlage 5b. Het gemiddeld zettingsverloop van enkele profieltypen bij verschillende initiële grondwaterstanden.
De gebruikte profieltypen zijn:

Oude lith. Profiel- type	Nieuwe lith. Profiel- type	Algemene lithologische karakteristiek
Kv1k	F	Komafzettingen met zware klei en veen op klei op zand, kom op stroomrug.
Kv2k	G4	Komafzettingen met zware klei op veen op Pleistoceen zand.
Kv3k	H1	Komafzettingen bestaande uit veen met zware klei op Pleistoceen zand.
Kv	I	Zware mariene klei op veen op fijn zand.

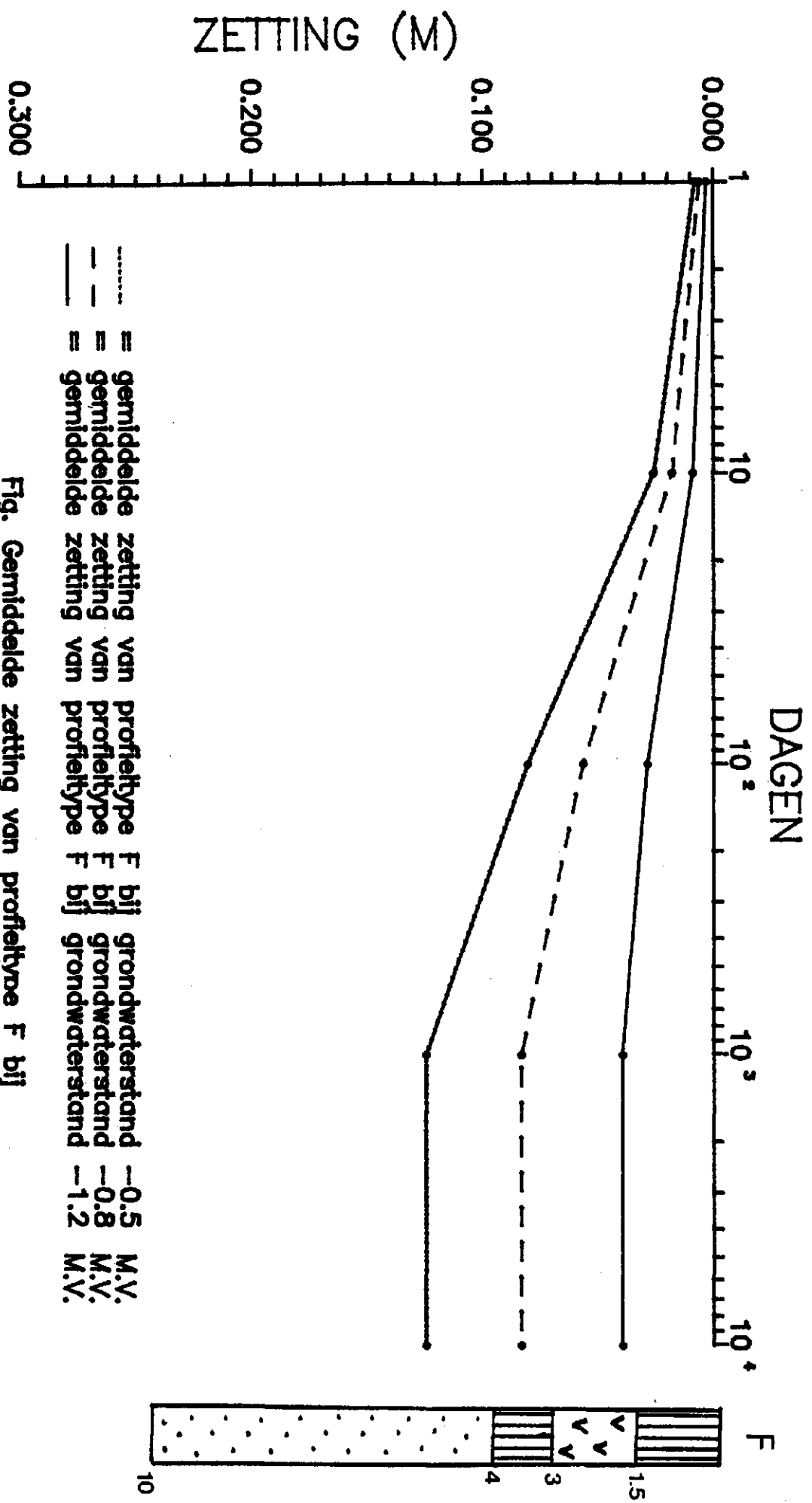


Fig. Gemiddelde zetting van profieltype F bij grondwaterstanden van -0.5 M.V. -0.8 M.V. en -1.2 M.V.

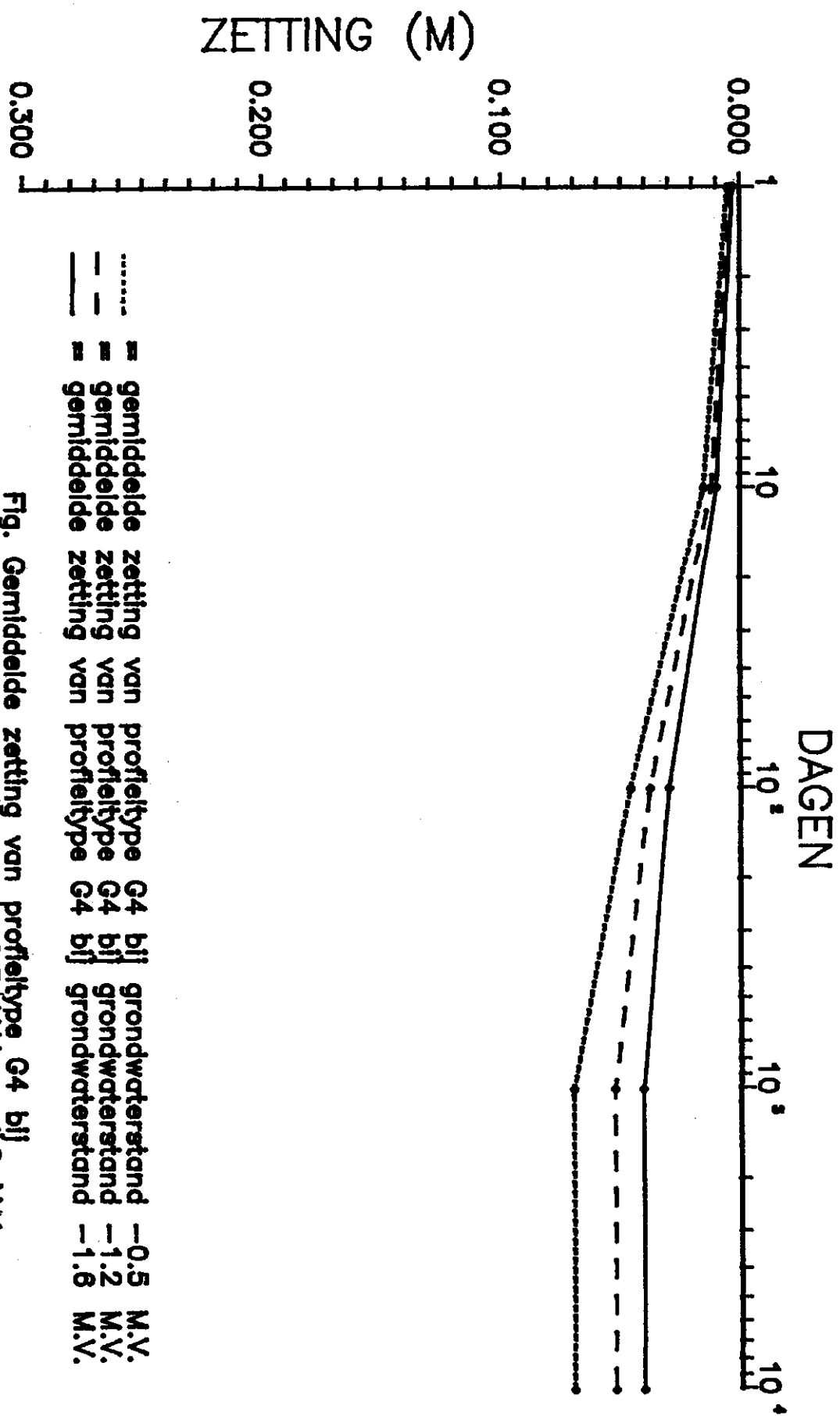
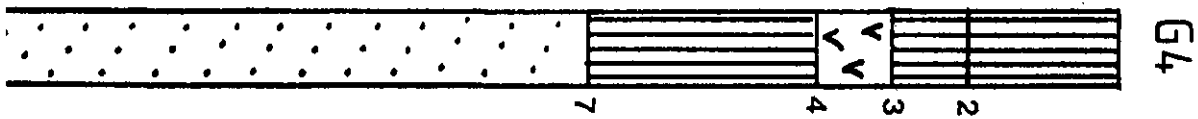


Fig. Gemiddelde zetting van profieltype G4 bij grondwaterstanden van -0.5 M.V., -1.2 M.V. en -1.6 M.V.



Bijlage 5c. Vergelijking van het gemiddelde zettingsverloop van enkele profieltypen bij 1 of 2 initiale grondwaterstanden. De gebruikte profieltypen zijn:

	Oude lith.	Nieuwe lith.	Profiel-	Profiel-	type	type
						Algemene lithologische karakteristiek
K3			D1			Zware rivierklei op zand.
V			E			Veen dunner dan 2 meter op zand.
KVK			F			Komatizettingen met zware klei en veen op klei op zand, kom op stroomrug.
			H1			Komatizettingen bestaande uit veen met zware klei op Pleistocene zand.
KV			I			Zware mariene klei op veen op fijn zand.

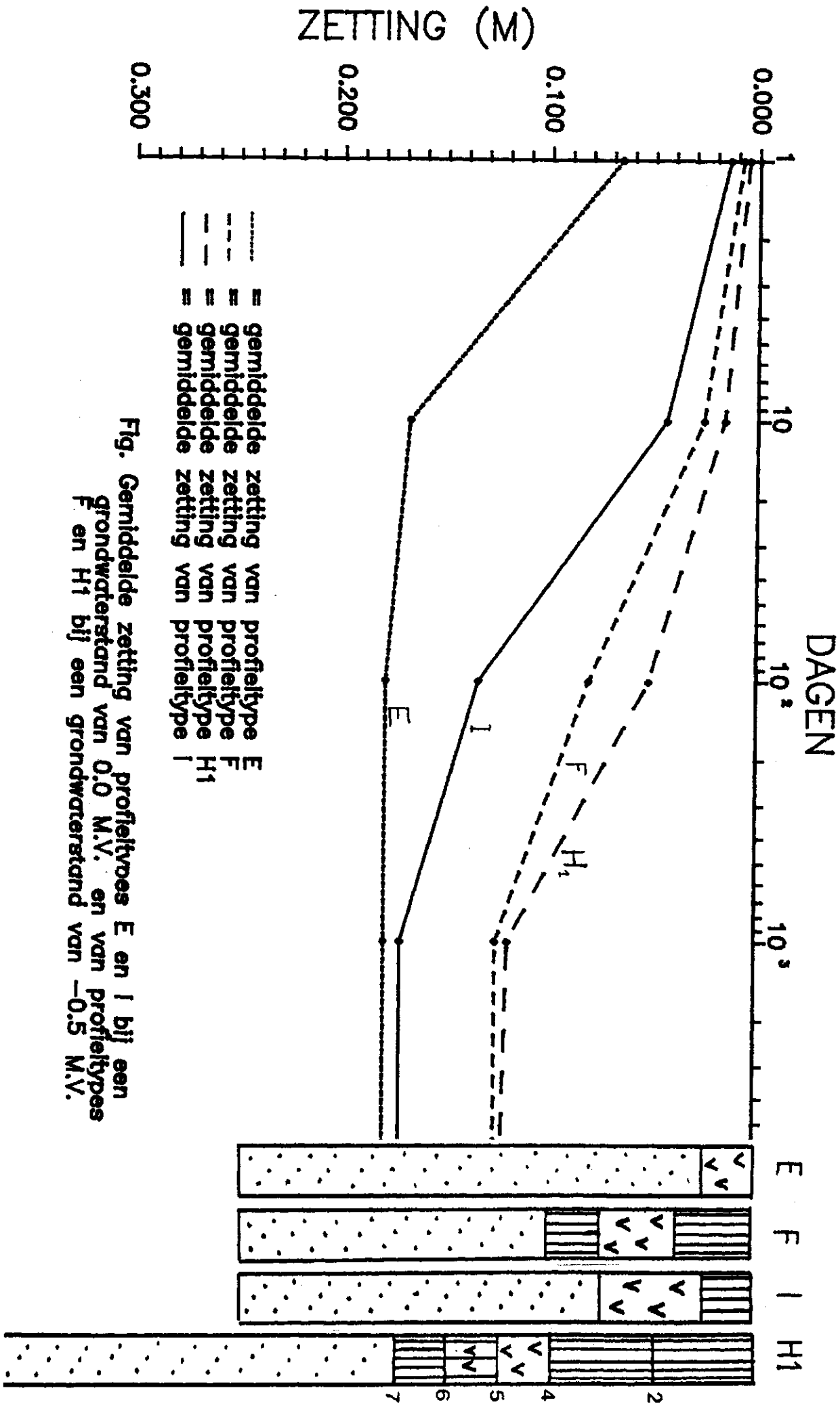
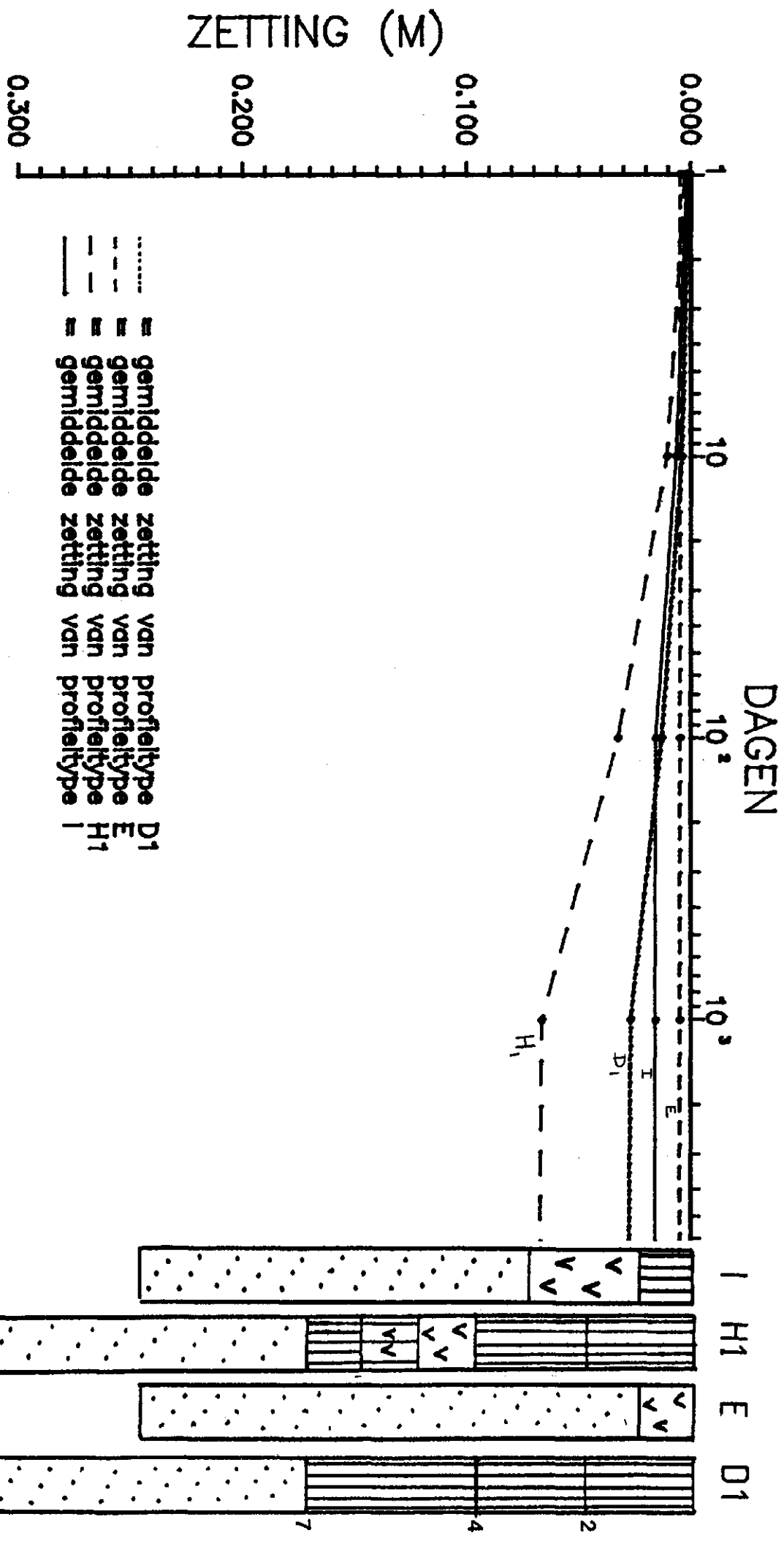


Fig. Gemiddelde zetting van profieltypes E en I bij een grondwaterstand van 0.0 M.V. en van profieltypes F en H1 bij een grondwaterstand van -0.5 M.V.



- gemiddelde zetting van profieltype D1
- - - gemiddelde zetting van profieltype E
- - - gemiddelde zetting van profieltype H1
- gemiddelde zetting van profieltype I

Fig. Gemiddelde zetting van profieltypes D1, E, H1 en I bij een grondwaterstand van -1.6 M.V.