

S-77.059

Onderzoek zandmeevoerende wellen
Tielerwaard.

Centrum voor Onderzoek Waterkeringen.
Februari 1978

S-77.059

Zandmeevoerende wellen.

Enkele aantekeningen m.b.t. wellen, die tijdens de
hoogwaterperiode jan-maart 1977 in de Tielerwaard
voorkwamen.

Bijlagenlijst behorende bij rapport S-77.059

<u>Bijlagenr.</u>	<u>Omschrijving</u>	<u>form./tek.nr.</u>
1	Situatie bezochte kwelplaatsen	3Z/77.261
2	Afvoer Lobith, waterstanden te Zaltbommel en Herwijnen	2x2Z/77.262
3	Verhanglijn op rivier tijdens metingen	A4/77.263
4	Zanddiepte kaart (bron: Stiboka)	6Z/77.264
5	Wel 1 situatie	A4/77.265
6	Wel 1 korrelverdelingsdiagram monsters	A4/77.266
7	Wel 2 situatie	A4/77.267
8	Wel 2 korrelverdelingsdiagram monsters	A4/77.268
9	Wel 4 situatie	A4/77.269
10	Wel 4 korrelverdelingsdiagram monsters	A4/77.270
11	Zanddiepte kaart (bron: Adv.bureau Arnhem)	5Z/77.271
12	Wel 7 situatie	A4/77.272a
12.1	Wel 7 korrelverdelingsdiagram monsters	A4/77.272b
13	Wel 8 situatie	A4/77.273
14	Wel 8 korrelverdelingsdiagram monster	A4/77.274
15	Wel 9 situatie	A4/77.275
16	Wel 9 korrelverdelingsdiagram monsters	A4/77.276
17	Wel 10 situatie	A4/77.277
18	Wel 10 korrelverdelingsdiagram monsters	A4/77.278
19	Wel 11 situatie	A4/77.279
20	Wel 11 korrelverdelingsdiagram monsters	A4/77.280
21	Wel 12 situatie	A4/77.281
22	Wel 12 korrelverdelingsdiagram monster	A4/77.282
23	Wel 14 situatie	A4/77.283
24	Wel 14 korrelverdelingsdiagram monsters	A4/77.284
25	Wel 15 situatie	A4/77.285
26	Wel 15 korrelverdelingsdiagram monster	A4/77.286
27	Wel 16 situatie	A4/77.287
28	Wel 16 korrelverdelingsdiagram monster	A4/77.288
29	Wel 17 situatie	A4/77.289
30	Wel 17 korrelverdelingsdiagram monsters	A4/77.290
31	Wel 18 situatie	A4/77.291
32	Wel 18 korrelverdelingsdiagram monsters	A4/77.292
33	Wel 19 situatie	A4/77.293
34	Wel 19 korrelverdelingsdiagram monsters	A4/77.294

<u>Bijlagenr.</u>	<u>Omschrijving</u>	<u>form./tek.nr.</u>
35	Wel 20 situatie	A4/77.295
36	Hoogteligging rondom wel 20	2x3Z/77.296
37	Wel 20 korrelverdelingsdiagram monsters	A4/77.297
38	Wel 21 situatie	A4/77.299
39	Wel 21 korrelverdelingsdiagram monsters	A4/77.300
40	Wel 22 situatie	A4/77.301
41	Wel 22 korrelverdelingsdiagram monsters	A4/77.302
42	Wel 24 situatie	A4/77.303
43	Wel 24 korrelverdelingsdiagram monster	A4/77.304
44	Wel 25 situatie	A4/77.305
45	Schematische voorstelling van evenwicht in wellen	A4/77.306

<u>Inhoud</u>	<u>Blz.</u>
I. Inleiding	1
2. Plaats en periode van meting	2
3. Meetprogramma	3
4. Gegevens wellen	5
5. Enkele algemene opmerkingen	25
Samenvatting en conclusies	31
Aanbevelingen voor voortgezet prototype-onderzoek	34

I. Inleiding

Bij het ontwerp van rivierdijkverbeteringen speelt het aspect van het gevaar voor ernstige zandmeevoerende wellen een belangrijke rol. Met name wordt daarbij gelet op het verticale verhang over de doorgaans aanwezige, relatief slecht doorlatende klei- en veenlagen en op de lengte van de kortste kwelweg. Een en ander gebaseerd op ontwerpregels zoals die in de soms reeds vrij "antieke" literatuur wordt aangetroffen. Omdat bekend is dat in deze ontwerpregels sommige omstandigheden van bodem en grondwaterbeweging niet tot uitdrukking gebracht worden en de indruk bestaat dat onder bepaalde omstandigheden mogelijk met een wat krappere ontwerp kon worden volstaan, is een onderzoek-programma in uitvoering naar het verschijnsel van de zandmeevoerende wellen. Daartoe is in samenwerking met het Laboratorium voor Grondmechanica een studie in gang gezet, mede aan de hand van modelonderzoek, om tot een meer geavanceerde ontwerptechniek te komen.

In het laboratorium wordt (noodzakelijkerwijs) van een nogal geschematiseerd model van de werkelijkheid uitgegaan. Om meer inzicht te verkrijgen van het gebeuren in prototype zijn tijdens de hoogwaterperiode van jan-maart 1977 in het polderdistrict Tielerwaard aan enkele wellen metingen verricht. Dit verslag bevat de meetresultaten, die van enige commentaar zijn voorzien.

Deze prototype-metingen kunnen mogelijk enerzijds dienen voor een nadere bezinning op het onderzoekprogramma en anderzijds voor een gerichte vertaling van de laboratorium-resultaten naar prototype omstandigheden.

2. Plaats en periode van meting

De metingen aan de wellen hebben zich beperkt tot die in het Polderdistrict Tielerwaard. Met name werden de wellen achter de dijk tussen Tuil en Dalem aan een onderzoek onderworpen. Op bijlage 1 is een situatie van de bezochte welplaatsen aangegeven. Deze plaatsen zijn van een nummering voorzien die in dit verslag bij de verwijzing naar een bepaalde wel zal worden gebruikt. Opgemerkt wordt dat de afstand tot de dijk varieerde van enkele meters tot enkele honderden meters. De wellen werden deels door eigen veldverkenning vastgesteld. Bij deze verkenningen werd vooral aandacht besteed aan die gebieden waar op grond van de beschikbare bodemgegevens wellen verwacht konden worden. Voor een ander deel werden de wellen op aanwijzing van het polderdistrict en de plaatselijke bevolking gelokaliseerd. Volgens informatie van laatstgenoemde zouden zich in diepe watergangen op nog grotere afstanden van de dijk dan hierboven aangegeven, zandmeevoerende wellen voordoen.

De metingen aan de wellen werden verricht op 15 t/m 17 februari 1977. Op deze data passeerde op de Waal de tweede van drie hoogwatertoppen die zich tijdens de hoogwaterperiode in januari tot maart voordeden. Op bijlage 2 is de afvoer te Lobith en zijn de waterstanden te Zaltbommel en Herwijnen voor die periode aangegeven. De topafvoer te Lobith van de afvoergolf waarbij werd gemeten bedroeg, zoals uit de grafiek blijkt ca. $5800 \text{ m}^3/\text{s}$, welke afvoer een overschrijdingsfrequentie van ca. 1 maal per jaar heeft. Op bijlage 3 is globaal de verhanglijn op de rivier aangegeven tijdens de metingen. Opgemerkt wordt nog dat de Grobwaard, de Bovenwaard en de Benedenwaard niet waren ingestroomd.

3. Meetprogramma

Het onderzoeksprogramma omvatte voornamelijk:

- a. het vastleggen van situatie en afmetingen van de wel,
- b. het vaststellen van de hydrologische situatie ter plaatse
- c. het bepalen van de opbouw en samenstelling van de bodem.

In de praktijk bleek het niet mogelijk in alle gevallen het volledige programma uit te voeren.

Door de manier waarop zich de wellen voordeden konden b.v. soms geen stroomsnelheden worden gemeten. Tevens is er vanaf gezien tijdens de hogere rivierstanden peilbuizen te plaatsen.

Meer in detail werden voorzover mogelijk de volgende bepalingen verricht:

- ad a) - het vastleggen van de situatie van de wel door intekenen op een kaart (als bijlage 1 bijgevoegd)
- het fotografisch vastleggen van wel en directe omgeving
 - het opmeten van de afmetingen van wel en welkrater, benevens andere belangrijke maten zoals waterdiepten e.d. Een en ander werd schetsmatig vastgelegd.
- ad b) - het bepalen van het afvoerdebiet van de wel, door het meten van de watersnelheid in de wel of de aansluitende watergang.
- Hierbij kon worden gebruik gemaakt van een tweetal Ottmo-lens van het Waterloopkundig Laboratorium. In één geval werd de afvoer in het kader van het onderzoek naar de toepasbaarheid van infra-rood fotografie voor het bepalen van zandbanen c.q. kwelplaatsen met een meetstuw bepaald.
- het opnemen van grondwaterpotentialen in de zandondergrond. Hierbij werd uitsluitend gebruik gemaakt van van te voren in het kader van dijkverbetering en het eerder genoemde infra-rood onderzoek geplaatste peilbuizen.

- het meten van de temperatuur van het welwater m.b.v. een door de Fysische Afdeling van de directie Waterhuishouding en Waterbeweging van de Rijkswaterstaat beschikbaar gestelde meter.
- ad c) - de ligging van de onderscheiden grondlagen in het gebied nabij de welplaatsen werd zoveel mogelijk vastgesteld aan de hand van beschikbare informatie. Daarbij stonden ter beschikking algemene gegevens van de geologische kaart en de bodemkaart (met een zanddiepte-kaart, zie bijlage 4). Tevens kon gebruik worden gemaakt van boorgegevens die in het kader van de dijkverzwaring nabij de dijk waren verzameld, alsmede van boringen die ten behoeve van het eerder genoemde infra-rood onderzoek waren verricht.
- van zowel het uit de wel gespoelde als in de wel achtergebleven bodemmateriaal zijn grondmonsters genomen. Voor het verkrijgen van deze grondmonsters kon worden gebruik gemaakt van door het Laboratorium voor Grondmechanica beschikbaar gestelde boorapparatuur. In dit laboratorium zijn m.b.v. zeefanalyses korrelverdelingsdiagrammen van deze monsters bepaald.

Naderhand zijn aanvullende boringen verricht bij de gevonden wellen. Daar sommige wellen niet meer herkenbaar waren moet bij de plaatsbepaling van deze boringen t.o.v. de wellen in enkele gevallen rekening worden gehouden met een afwijking van enkele meters.

In aanvulling op dit meetprogramma werd incidenteel nog een meting verricht. Zo werd de ligging van het maaiveld opgemeten rond een wel, waarvan bekend was dat deze tijdens het hoogwater van 1970 een aanmerkelijke hoeveelheid zand opbracht.

4. Gegevens wellen

In deze paragraaf worden de meetgegevens en een eventuele uitwerking van deze gegevens per wel gepresenteerd.

De volgorde van behandeling van de wellen is overeenkomstig hun voorkomen langs het beschouwde dijktraject Tuil-Dalem in benedenstroomse richting. Overigens zijn daarbij duidelijk de gebieden te onderscheiden waar het zand (relatief) dicht bij het maaiveld ligt. Zo is het merendeel van de aangetroffen wellen te vinden in de gedeelten hm 220-225, hm 275-300 en hm 340-360.

De wellen, genummerd 1 t/m 6 bevinden zich in het gebied ter hoogte van hm 220-225. In dit gedeelte zijn geen potentialen gemeten.

Wel 1.

Deze wel bevondt zich in de teensloot van de dijk ter hoogte van hm 220,8. De beschreven wel was de grootste van drie wellen die zich binnen een afstand van enkele tientallen meters bevonden. Het betreffende dijkgedeelte is in 1972 van hmp 212 tot hmp 228,5 verzwaaard bij de verbetering van weg T111. Daarbij werd de teensloot, waarin de wellen zich nu voordeden, aangebracht. De sloot is niet van een bekleding voorzien.

Een situatietekening en de belangrijkste afmetingen van de wel zijn op bijlage 5 aangegeven.

Uit de situatie kan de lengte van de kwelweg tussen de wellen en het vermoedelijk intreepunt (een put in de uiterwaard) op 90 m worden geschat. Het verval bedroeg ca. 3 m.

De foto van de wel, die op 17 febr. werd gemaakt is in een aparte fotobijlage opgenomen (foto 1-1). Ongeveer tijdens de hoogste waterstand op de rivier (25 febr.) is de wel nog eens gefotografeerd (foto 1-2). De omvang van de zandkrater bleek toen aanmerkelijk te zijn toegenomen.

In de wel konden geen watersnelheden worden gemeten.

Ook was het niet mogelijk het debiet op andere wijze te bepalen. De beschikbare grondgegevens tonen aan dat de bodem van de teensloot de enigszins kleihoudende oppervlaktelaag doorsnijdt en tot in de zandondergrond reikt. Verwezen wordt naar bijlage 5 waarop een bodemprofiel is getekend dat aan de hand van grondonderzoek ter plaatse werd vastgesteld. De overgang klei naar zand ligt ter

hoogte van hmp 221 op ca. N.A.P. + 2,20 m.

Hierdoor kan worden verondersteld dat het grondwater min of meer horizontaal naar de wellen toestroomt vanonder de kleilaag onder de dijk. Hierop wijst tevens de plaats van de serie wellen: alle juist op de overgang bermtalud-sloot en de gemeten geringe "diepte" van de wel. Het uitgespoelde zand zal waarschijnlijk dan ook onder het dijklichaam of de berm tussen dijk en teensloot zijn weggevoerd.

Voor de bepaling van de samenstelling van het uitgespoelde zand en het in de bodem aanwezige materiaal zijn enkele monsters genomen.

Monster no. 1-1 werd genomen van het uitgespoelde zand, 1-2 van de welbodem tot 0,20 m diepte en monster 1-3 van de daarop volgende 0,30 m. Schematisch is een en ander aangegeven op bijlage 5.

De resultaten van de zeefanalyses zijn op bijlage 6 gepresenteerd. Er blijkt geen duidelijk verschil in d_{50} te bestaan tussen het uitgespoelde zand en het op de bodem van de wel aanwezige materiaal. Wel is de zeefkromme van het uitgespoelde zand veel steiler, hetgeen wijst op een meer uniform zand. Op het diepere, waarschijnlijk ongestoorde niveau bestaat de bodem uit wat fijner materiaal. Monster 1-2 bestaat waarschijnlijk uit zowel uitgespoeld zand als oorspronkelijk bodemzand. Hierdoor wordt de veronderstelling van een zijdelingse aanvoer van het zand bevestigd.

Wel 2.

Deze wel werd ongeveer in dezelfde raai (loodrecht op de dijk) als wel 1 aangetroffen (ca. hm 220,8), echter ca. 50 m meer naar binnen. Hij bevond zich op de bodem van een kavelsloot, enkele meters vanaf een in deze sloot geplaatste barrière, waarmee het water aan de andere zijde ruim 0,5 m werd opgestuwd. Een en ander is nader aangegeven op bijlage 7.

Op die bijlage zijn tevens de hoofdafmetingen van de wel gepresenteerd, zoals die op 16 februari werden aangetroffen. Foto 2-1 geeft de wel op dat tijdstip weer.

De waterhoeveelheid die uit de wel stroomde kon niet worden gemeten.

De ligging van de bodemlagen werd achteraf met boringen vastgesteld en is op bijlage 7 aangegeven.

Van het bodemmateriaal zijn monsters genomen.

Monster 2-1 van het uitgespoelde materiaal, 2-2 op een diepte van 0,20-0,40 m beneden de slootbodem en monster 2-3 op 0,40-0,60 m beneden hetzelfde niveau. Bij deze wel blijkt er een duidelijk verschil te bestaan tussen het uitgespoelde zand en het op de bodem van de wel aanwezige materiaal. Het uitgespoelde zand is minder grof. Mogelijk is een deel van de grovere fractie in de wel achtergebleven bij het wegspoelen van de fijnere bestanddelen. Ook hier wordt, evenals bij wel 1, op een dieper niveau weer fijner zand aangetroffen (zie ook bijlage 8).

Wel 3.

Deze wel ligt ca. 3 m westelijk van wel 2.

Zeer waarschijnlijk is in dit geval slechts wat zand opgebracht uit een door dieren gegraven gat in de grond. Zie ook foto 3-1. Bij het terreinbezoek op 17 febr. werd geen zand meer aangevoerd.

Wel 4.

Deze wel bevond zich ter hoogte van hmp 225 in de teensloot.

In tegenstelling tot wel 1, die in de slootkant werd aangetroffen, ligt deze wel ongeveer in het midden van de sloot

op de nagenoeg vlakke bodem. Verwezen wordt naar foto 4-1.

De situatie en de afmetingen van de wel zijn op bijlage 9 aangegeven. Opgemerkt wordt dat de wel ca. 0,50 m beneden de waterspiegel ligt. Opmerkelijk is ook hier weer de geringe diepte van de wel: de duimstok waarmee de afmetingen werden bepaald stuitte op ca. 0,55 en 0,60 m beneden de waterspiegel, zodat de "diepte" van de wel beneden de slootbodem op ca. 0,10 m werd bepaald.

Mogelijk is er ook in dit geval sprake van een voornamelijk zijdelingse aanvoer van water en zand.

Het niveauverschil tussen binnen- en buitenwaterstand bedroeg ca. 2,70 m.

De lengte van de kortste kwelweg, is niet eenvoudig vast te stellen, mede door de onbekende situatie in de uiterwaard. De lengte

is in elk geval groter dan de breedte van de dijk, die ca. 50 m bedraagt.

Het afvoerdebiet kon ook voor deze wel niet worden bepaald.

De grondslag bij de wel kan op grond van verricht bodemonderzoek bij 225,4 in het kader van de dijkverbetering, aangevuld met een boring nabij de wel, als volgt worden beschreven. Aan de oppervlakte (op het naastliggende maaiveld) komt een kleilaag voor van ca. 1,5 à 2 m. Daaronder wordt een kleihoudende zandlaag aangetroffen. De genomen bodemonsters geven ook in dit geval weer een duidelijk verschil tussen het uitgespoelde materiaal en het blijkbaar oorspronkelijk bodemmateriaal (bijlage 10).

Monster 4-1, genomen van het uitgespoelde materiaal geeft een tamelijk steil korrelverdelingsdiagram.

De beide andere monsters uit de wel op resp. ca. 0,20 en 0,40 m beneden de slootbodem gestoken, geven een nagenoeg identieke opbouw weer. Daarbij valt wel het grotere percentage fijne deeltjes ($<16 \mu\text{m}$) op. Tevens zijn een tweetal monsters gestoken op enige afstand van de wel. De korrelsamenstelling van die beide is nagenoeg identiek, maar wijkt wel wat af van monster 4-2 en 4-3.

Wel 5

Ongeveer 20 m vanaf wel 4 (in benedenstroomse richting) werden nog enkele onder nagenoeg dezelfde omstandigheden voorkomende wellen aangetroffen. De afmetingen waren echter beduidend geringer dan die van wel 4.

Wel 6

Vijfenzeventig meter van de dijk verwijderd werd in de sloot naast de Melsinghdreef een vrij grote en actieve zandopbrengende wel geconstateerd. Deze wel werd pas na het uitvoeren van het meetprogramma gelokaliseerd, zodat volstaan is met het maken van een foto. Dit geschiedde op 24 februari 1977, zie foto 6-1 die van recht boven de sloot genomen is.

De hoeveelheid opgebracht zand wordt geschat op enkele kubieke meters. Om vanaf de foto een indruk te verkrijgen van de afmetingen: de slootbreedte bedroeg ca. 1,25 m. De lengte waarover het zand

was afgezet was tamelijk groot. Door de afvoer van het welwater was het zand over enkele tientallen meters getransporteerd.

De volgende serie wellen werden aangetroffen in het dijkvak hm 285-300. Op grond van de bodemkaart van Stiboka zouden er in het bovenstrooms daarvan gelegen gedeelte tegenover de Grobwaard ook nog enkele potentiële kwelplaatsen aan te geven zijn. Aangezien echter deze Waard niet is ingestroomd en werd drooggehouden d.m.v. een bemaling, zijn daar tijdens het hoogwater geen welplaatsen geconstateerd.

Achter de dijkgedeelten hm 285-288 en 292,5-296 bevinden zich kwelgebieden. Tijdens de verhoogde rivierstanden zijn de peilen daarin slechts in beperkte mate opgelopen; de aflaatwerken waren niet gesloten.

In dit gebied werden de wellen 7 tot en met 17 opgenomen.

De grondslag kon goeddeels worden bepaald aan de hand van een ten behoeve van de dijkverbetering door het Adviesbureau Arnhem opgestelde "zanddieptekaart". Deze is als bijlage 11 aan het rapport toegevoegd.

Wel 7.

Deze wel werd ter hoogte van hm 286,7 buiten het kwelgebied op ca. 10 m achter de kwelkade aangetroffen in een watergang. Over nagenoeg de volledige breedte van de slootbodem (0,70 m) waren wellen van verschillende afmetingen actief. De twee grootsten waren ca. $\varnothing$ 0,10 m, diverse kleinere hadden afmetingen van ca. $\varnothing$ 0,02 m.

De hoeveelheid opgebracht zand was tamelijk gering. Zie foto 7-1.

Voor de overige afmetingen wordt er verwezen naar bijlage 12.

Opgemerkt wordt dat de wel op ongeveer 140 m van de dijk lag. Het niveauverschil tussen de rivierstand en het peil in de watergang bedroeg ca. 3,50 m. De waterstand in het kwelgebied lag op ca. N.A.P. + 1,60 m.

De afvoer van de wel kon ruwweg worden bepaald door meting van de watersnelheid in de watergang met een mini-Ottmolen.

Het debiet bedroeg ca. $3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$.

Onder de veronderstelling dat de gemiddelde snelheid van het water in de welplaatsen ongeacht hun afmeting gelijk is, en daarnaast geen afvoer plaats vond, werd deze bepaald op 0,2 m/s.

Op grond van de gegevens van de zanddieptekaart (bijlage 11) kan de overgang van klei naar zand op ca. N.A.P. + 0,20 m worden geschat. Deze wel is dus bij een geringe dikte van de afdekkende kleilaag ontstaan.

Later uitgevoerde boringen bevestigen dit beeld min of meer, waarbij echter opvalt dat ter plaatse van de sloot de zandlaag begint op slootbodemniveau, d.w.z. op ongeveer N.A.P. + 0,80 m en door- gaat tot N.A.P. + 0,20 m waarna een zanderige kleilaag volgt. Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat het zand door de wel onder de kleilaag is weggespoeld en op de kleilaag is afgezet waardoor de kleilaag de plaats van het weggespoelde zand in kon nemen.

De bodemonsters 7-1 van het uitgespoelde zand en 7-2, van het bodemmateriaal op ca. 0,20 m diepte zijn nagenoeg identiek van opbouw. Het is zeer waarschijnlijk dat monster 7-2 in hoge mate vermengd is met materiaal uit de niet stabiele zone van de wel (bijl. 12). De monsters 7-3 en 7-4 die op dieper gelegen plaatsen zijn gestoken, zijn fijner van opbouw. Vooral monster 7-4 bevat een groot percentage $< 15 \mu\text{m}$.

Wel 8

In een sloot ter hoogte van hm 288,15 werden een tweetal duidelijke (wellen 8 en 9) en enkele kleinere wellen geconstateerd. Wel 8 was op het moment van het bezoek helder. Daarvoor was blijkens de zandkrater wel van een transport van zand sprake geweest.

Voor de situatie en overige gegevens wordt verwezen naar bijlage 13. Opmerkelijk is de grote afstand tot de dijk, c.q. het nog meer rivierwaarts daarvan gelegen punt van intreden van het kwelwater.

De informatie die de zanddieptekaart geeft maakt wel een verklaring mogelijk: tussen de wel en de dijk ligt een terreinstrook met een aanmerkelijk dikkere afdekkende kleilaag. Ter plaatse van de wel is de dikte van de kleilaag slechts 0,70 m (zie ook wel 9).

Een monster 8-1 van het uitgespoelde zand is uitgezeefd (bijl. 14). Het is tamelijk fijn zand: $d_{50} = \text{ca. } 130 \mu\text{m}$.

Wel 9

Deze wel bevindt zich in dezelfde sloot als wel 8 ca. 20 m meer in rivierwaartse richting.

De gegevens van deze wel zijn op bijlage 15 opgenomen.

Treffend is het verschil met wel 8. Ondanks de nagenoeg gelijke omstandigheden wat betreft bodem etc. is de verschijningsvorm van de wellen, althans tijdens het terreinbezoek volkomen verschillend. Wel 8 brengt schoon helder water op, in wel 9 daarentegen was een constante werveling van zand. De indruk bestond dat de wortels van planten bij wel 8 een verticale gang in stand hielden, terwijl bij wel 9 dit niet het geval was.

Zandmonster 9-1, genomen van het uitgespoelde zand en 9-2, uit de wel op 0,40 m diepte gestoken, zijn niet geheel identiek wat betreft korrelsamenstelling (zie bijlage 16).

Monster 9-2 is duidelijk grover.

Later uitgevoerde boringen tonen aan dat de bodem in de omgeving van de wel onder de slootbodem bestaat uit een 0,70 m dikke, plaatselijk zanderige kleilaag gevolgd door een zandpakket. Ter plaatse van de wel zelf is geen klei aangetroffen.

Monster 9-3 geeft het korrelverdelingsdiagram van het zand onder de kleilaag.

Wel 10

Wel 10 bevond zich ongeveer ter hoogte van hm 289,10 in een sloot, die zich op ca. 80 m afstand ongeveer evenwijdig aan de dijk aanwezig is. Een en ander is nader aangegeven op de situatietekening (bijlage 17).

In de welplaats met een oppervlak van ca. $0,25 \times 0,30 \text{ m}^2$ bevonden zich een vijftal wellen van bescheiden afmetingen.

In de wellen was een constante stroming, waarbij zand werd opgewerveld. Er werd echter geen of in elk geval nagenoeg geen zand vanuit de ondergrond aangevoerd. Het overzicht en een doorsnede over de wel zijn eveneens op bijlage 17 gepresenteerd. Op foto 10-1 is duidelijk te zien dat het in een eerder stadium opgebrachte zand door de stroming in de watergang over een lengte van ruim 1,00 m werd afgezet.

Zoals uit de zanddieptekaart valt af te leiden ligt de overgang tussen klei en zand iets boven N.A.P. Boring 11 (zie wel 11) en boring 13 (zie wel 12) bevestigen dit beeld.

Ter plaatse van de sloot blijkt echter evenals bij wel 7 de zandlaag te beginnen op slootbodemniveau, d.w.z. op ongeveer N.A.P. + 0,85 m. De dikte van deze laag is ongeveer 0,50 m, daaronder bevindt zich een zanderige kleilaag.

Hiervoor valt dezelfde verklaring te geven als bij wel 7.

Van het uitgespoelde zand werd evenals van het oorspronkelijke bodemmateriaal een korrelverdelingsdiagram gemaakt: zie bijlage 18.

Wel 11

Ongeveer 8 m van wel 10 verwijderd werd een volgende welplek aangetroffen.

De omstandigheden waaronder deze wel zich voordeed waren nagenoeg identiek aan die bij wel 10. Ook de verschijningsvorm bezat veel overeenkomst met die wel: alleen de hoeveelheid opgebracht zand en de overige afmetingen van wel 11 waren ongeveer dubbel zo groot als voor wel 10.

Afmetingen en de situatie zijn aangegeven op bijlage 19.

Een foto van de wel is opgenomen onder no. 11-1.

Een korrelverdelingsdiagram van een monster van het uitgespoelde zand (11-1) en dat van de wel op 0,20 m diepte (11-2) werden opgesteld. Het uitgespoelde zand is iets fijner dan dat van 11-2.

Voor de laagopbouw geldt hetzelfde als bij wel 10.

Uit de zandondergrond zijn de monsters 11-3 en 11-4 getrokken.

De korrelverdeling is niet wezenlijk verschillend van 11-1 en 11-2.

Slechts het percentage $<16 \mu\text{m}$ wordt groter, naarmate de monsters verder van de welplaats genomen zijn.

Wel 12

Op ca. 19 m afstand van wel 11 werd in dezelfde watergang de volgende wel aangetroffen.

Voor een beeld van de wel wordt verwezen naar bijlage 21.

Van het uitgespoelde zand werd een monster gezeefd (12-1).

Het vertoont een grote overeenkomst met het zand uit wel 11.

Uit de hier gemaakte boring blijkt dat ook ter plaatse van de sloot de kleilaag reikt tot iets boven N.A.P., zulks in tegenstelling tot de situatie bij de wellen 10 en 11. Mogelijk heeft hier het proces

van uitspoeling van het zand onder de kleilaag geen kans gekregen door de geringere stroomsnelheid i.v.m. de grotere diepte van de wel t.o.v. de waterspiegel.

Wel 13

In dezelfde sloot als waarin de wellen 10 t/m 12 zich bevonden werd een vierde wel geconstateerd.

In verband met de moeilijke bereikbaarheid kon deze wel alleen worden gefotografeerd (zie foto 13-1). De wel was nogal wild met zo nu en dan duidelijk verhevigde werking. In het midden van de wel werd een paal aangetroffen. Of dit de aanleiding tot het ontstaan van de wel is geweest, of dat omgekeerd de paal in die reeds bestaande wel is gestoken is niet bekend.

Wel 14

Wel 14 bevond zich ter hoogte van hm 293,3 op ca. 5 m achter de kwelkade in een kopsloot. De wel werkt bij elke enigszins verhoogde waterstand op de rivier.

Tijdens het bezoek bracht de wel helder water op. In een eerder stadium bij dit hoogwater en/of bij een voorafgaand hoogwater, was zand afgevoerd: de slootbodem was over grote lengte met zand bedekt.

Het waterpeil in de sloot bedroeg ongeveer N.A.P. + 1,20 m; het verval was ongeveer 3,50 m. De afstand tot het intreepunt bij de rivier bedroeg meer dan 120 m. In het kwelgebied werd een waterpeil van ca. N.A.P. + 1,50 m aangetroffen.

Op bijlage 23 is een schema van de wel getekend.

Opvallend is de ligging van het uitstroomgat.

Dit zou mogelijk verklaard kunnen worden uit het feit dat de uitstroom-opening van de wel in vroeger tijd d.m.v. een houtdrainage verlegd werd naar de huidige plaats zoals de plaatselijke bewoners wisten te vertellen.

De in de uitstroomopening gemeten watersnelheid bedroeg ca. 0,25 m/s. Het totale debiet kan op ca. $4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ worden geschat.

De bodemgegevens zijn weer te ontleen aan de zanddieptekaart.

Opmerkelijk is de tamelijk diepe ligging van het zand: ca. N.A.P. - 2,20 m. Er is dus sprake van een afdekkende kleilaag van meer

dan 3 meter dikte waarin de wel is ontstaan. De verklaring waarom deze wel juist achter de kwelkade ligt moet waarschijnlijk gezocht worden in het feit dat de wel ontstond bij een extreem hoge rivierstand, waarbij zoveel kwelwater in het kwelgebied was verzameld dat daar voldoende tegendruk werd geleverd.

De huidige minimum hoogte van de kwelkade is ca. N.A.P. + 3,20 m.

Ook uit deze wel zijn zandmonsters getrokken (bijlage 24).

Monster no. 14-1 (het uitgespoelde zand) en monster 14-2 (zand uit de wel) verschillen nauwelijks van korrelsamenstelling.

Wel 15

Wel 15 werd ter hoogte van hm 295,9 aangetroffen, en lag ca. 40 m vanaf de dijk.

Deze wel bevond zich op het eerste gezicht op een onverklaarbare plaats: op het maaiveld, ca. 3 m van een ongeveer 1,50 m diepe sloot. Bij navraag bleek echter dat vóór het uitvoeren van een verkaveling in dit gebied ter plaatse een sloot aanwezig was. Dit werd bevestigd uit infra-rood foto's van het betreffende gebied. De wel blijkt reeds voor de verkaveling op de huidige plaats aanwezig geweest te zijn en is na het dempen van de betreffende sloot weer naar het maaiveld doorgebroken.

De gebruiker van het land heeft pogingen aangewend om de wel enigszins te reguleren. Het is namelijk bekend dat de wel zelfs bij maar enigszins verhoogde rivierstanden water opbrengt. De welplaats is daarom gedeeltelijk uitgegraven en voorzien van een ton met een filter van grind op kippegaas. Een en ander is, inclusief afmetingen aangegeven op bijlage 25.

Bij het terreinbezoek werd water en zand door de wel opgebracht.

Dit gebeurde bij een zeer ongelijkmatige (water)aanvoer.

Het filter was geheel verstoord en had geen enkele betekenis meer.

De waterafvoer werd met behulp van de Ott-molen bepaald in het afvoerkanaaltje naar de sloot en bedroeg ca. $4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$.

De gemiddelde stroomsnelheid in de ton $\varnothing 0,60 \text{ m}$ bedroeg derhalve ca. $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$. Overigens heeft deze waarde, gezien de ongelijkmatig over het oppervlak verdeelde stroming, weinig betekenis.

Ter hoogte van hmp 295,9 op ca. 32 m uit de as van de dijk werd op een diepte van N.A.P. - 2 à 3 m in de zandondergrond de potentiaal gemeten.

Op 16 febr., tijdens het terreinonderzoek, bedroeg deze potentiaal N.A.P. + 3,60 m. Op die tijd was de rivierstand ruim één meter hoger; N.A.P. + 4,65 m.

De bodemopbouw is nagenoeg gelijk aan die bij wel 14. De overgang van afdekkende kleilaag-zandondergrond ligt op N.A.P. - 1,70 m, zodat ook hier een gang in een ca. 3,5 m dikke kleilaag moet zijn.

Van het uitstromende zand werd een korrelverdelingsdiagram gemaakt. Het blijkt een zeer uniform zand te zijn (bijlage 26).

Wel 16

Op ca. 30 m van de binnenteen van de dijk bevonden zich ter hoogte van hm 297,25 een aantal wellen in een greppel.

Voor het verkrijgen van een beeld van de verschijningsvorm van deze wellen wordt verwezen naar de foto's no. 16-1 t/m 3.

Duidelijk is te zien dat het welwater op diverse plaatsen in de greppel uitstroomt. Opvallend is dat het meeste water min of meer horizontaal uit het talud stroomt. Mogelijk houdt dit verband met een houtdrainage die ter plaatse in de greppel uitmondt. De gedachte dat hier mogelijk geen sprake is van een wel, maar van uitstromen uit de houtdrainage van over grotere lengte verzameld kwelwater, lag voor de hand. De gebruiker van het perceel vertelde echter dat reeds voor het aanbrengen van de drainage zich ter plaatse een wel bevond.

Mogelijk is echter de plaats van uitstromen bij aanleg van de drain enigszins verlegd.

De afmetingen van de op foto 16-1 vastgelegde wel zijn nauwelijks te bepalen. Over een oppervlak van enkele vierkante decimeters stroomt min of meer uit de hoek van de gegraven inham van de greppel een aanmerkelijke hoeveelheid kwelwater min of meer zijdelings uit de bodem (wel 16a). Zie ook de situatie op bijlage 27. De wel in de greppel juist naast genoemde inham bestaat in feite uit twee afzonderlijke wateraders: een horizontale gang met afmetingen van ca. 0,10 m x 0,07 m juist naast de inham (wel 16b) en een verticale gang met een diameter van ca. 0,07 m (wel 16c) (foto 16-2). Met een duimstok kunnen beide gangen tot meer dan 0,50 m worden gevolgd. Op ca. één meter afstand bevinden zich nog een tweetal wellen van bescheiden afmetingen (diameter ca. 0,03 m) die in verhouding weinig water opbrachten (wellen 16d, foto 16-3).

Het niveau waarop de wellen zich bevinden kan worden geschat op N.A.P. + 1,40 m, zodat het verval ruim 3 m bedroeg. De afstand tot het intreepunt kan worden geschat op 80 à 90 m.

De hoeveelheid water die door de diverse wellen werd opgebracht werd zo goed mogelijk vastgesteld door meting met een Ott-molen. De afvoer van wel 16b werd door meting bepaald op $3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, wel 16c voerde $2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ af. De afvoer van wel 16a kan niet rechtstreeks door meting worden bepaald. Door opname van de totale afvoer van de wel in de greppel kon, onder verwaarlozing van het kweldebiet van de wellen 16d, de afvoer van deze wel worden

bepaald op ca. $7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$.

De maximaal gemeten watersnelheden lagen rond 0,5 m/s.

De opbouw van de bodem ter plaatse is weer nagenoeg analoog aan de hiervoor behandelde wellen 14 en 15. Ook hier een ruim 3,50 m dikke kleilaag op de zandondergrond. Wel moet worden opgemerkt dat tussen de dijk en de omgeving van de wel de kleilaag veel dikker is n.l. 5 à 8 m.

Bij het bezoek aan de wel bracht deze uitsluitend schoon water op. In een eerder stadium was wel een geringe hoeveelheid zand, (geschat op enkele tientallen liters) afgevoerd en in de greppel afgezet. Overigens werden ook brokken klei in de greppel aangetroffen die blijkbaar door het welwater waren meegevoerd. Van het uitgespoelde zand werd een monster genomen en uitgezeefd. Het bijbehorende korrelverdelingsdiagram is op bijlage 28 aangegeven. Het blijkt relatief grofkorrelig te zijn.

Wel 17

Ter hoogte van hm 298,2 in de sloot naast "De Zeek" werd een tamelijk grote wel aangetroffen, die vrij veel water opbracht. Uit verkregen informatie bleek, dat deze wel reeds zeer lang ter plaatse bekend was en vrijwel altijd "werkt". Verwezen wordt naar bijlage 29 waar o.a. de afstand tot de rivier en het bij het bezoek heersende verval zijn aangegeven. De afmetingen van het gat bedroegen ca. $0,08 \text{ à } 0,10 \text{ m}^2$. Met de duimstok kon de gang tot ca. 0,40 m worden gevolgd. De krater, gedeeltelijk van vers opgebracht zand gevormd, mat ca. $0,80 \times 1,00 \text{ m}$.

Ook tijdens het bezoek bracht de wel nog enig zand op; dit is duidelijk te zien op de foto, die aangeeft dat zand is "afgezet" op de duimstok (foto 17-1).

Het debiet van de wel werd opgemeten en bedroeg ca. $4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$. De gemeten stroomsnelheid bedroeg gemiddeld maximaal ca. 0,50 m/s. De bodemligging is bij deze wel weer overeenkomstig wel 16: een relatief hooggelegen zandondergrond t.o.v. de omgeving, maar t.o.v. de slootbodem toch altijd nog een ca. 2 m dikke kleilaag.

Monsters van het uitgespoelde zand (17-1) en van het aangetroffen zand op ca. 1 m diepte (17-2) werden uitgezeefd (bijlage 30).

Gezien de diepteligging van de zandondergrond moet worden geconstateerd dat het monster 17-2 niet diep genoeg is gestoken om representatief te kunnen zijn voor het bodemmateriaal.

Wel 18

Op grote afstand van de rivier werd in een sloot langs de Achterweg te Herwijnen deze wel aangetroffen. Op grond van gegevens van plaatselijke bewoners moet worden vastgesteld dat deze wel "spontaan" is ontstaan bij een hoogwater op de rivier. Bovendien werd daarbij verteld dat de wel is "versprongen" van een ca. 100 m daarvan verwijderde plaats. Bij het ontstaan van de huidige wel is de eerst aanwezige dichtgegaan.

Frappant is de grote afstand tot de rivier; meer dan 500 m. Zie ook bijlage 31, waarop tevens een overzichtstekening van de wel is gegeven. De afmeting van de verticale welader kan op ϕ 0,10 m worden geschat. De krater van uitgespoeld zand had afmetingen van 0,90 x 0,70 m. Bij het bezoek werd schoon water opgebracht. Het geheel verkeerde echter wel in een labiel evenwicht. Bij een geringe wijziging in de toestand; door b.v. op geruime afstand van de wel in de sloot te stappen kwam direct zand in beweging. Niet kon worden vastgesteld of dit zand van de krater afkomstig was of van een dieper gelegen laag werd opgewerveld.

De afvoer in de wel werd bepaald op $3,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$.

De gegevens met betrekking tot de bodemligging waren beperkt. De zanddieptekaart van Stiboka geeft aan dat de zandondergrond zich minstens 1,50 m onder het maaiveld bevindt.

Gegevens van de Geologische Dienst geven een dikte van de kleilaag aan van 1 tot 2 meter.

De zeefanalyses van de genomen zandmonster zijn op bijlage 32 aangegeven. Monster 18-1 van het uitgespoelde zand, monster 18-2 op ca. 0,50 m beneden de slootbodem. De laatste is blijkbaar nogal vermengd met slib.

Een andere serie wellen (no. 19 t/m 24) werd aangetroffen ter hoogte van het dijkvak hm 346-352. De geologische kaart geeft in dit gebied een oude met zand gevulde rivierarm aan. Deze snijdt de dijk ter hoogte van hm 351 en 364 en ligt in het tussengelegen gebied op enige afstand daarvan. Voorts wordt een tweede met zand opgevulde bedding aangetroffen die de dijk ter hoogte van hm 353 snijdt.

Het ten behoeve van de dijkverbetering verrichte grondonderzoek nabij de dijk bevestigt de door de geologische kaart aangegeven indicaties voor de grondslag in grote lijnen.

In het binnendijks gelegen gebied zijn in het kader van het onderzoek naar de mogelijkheden van toepassing van infra-rood fotografie voor het vaststellen van kwelplaats en zandbanen het afgelopen winterseizoen veel opnamen verricht. Deze betreffen zowel de grondslag, potentialen in de zandondergrond als overige metingen.

Bij de behandeling van de wellen in dit gebied wordt dan ook dankbaar gebruik gemaakt van de verzamelde gegevens.

Wel 19

Op ca. 250 m vanaf de binnenteen van de dijk ter hoogte van hm 346,5 bevond zich in een kavelsloot deze wel, die veel water opbracht. Tijdens het bezoek van de wel op 15 febr. kon geen zandafvoer worden geconstateerd.

In een eerder stadium moet dit wel het geval geweest zijn gezien de vrij omvangrijke zandafzettingen in de sloot. Over een lengte van ca. 5 m strekte zich een aaneengesloten zandlaag op de slootbodembodem uit, terwijl op grotere afstanden incidentele zandafzettingen voorkwamen.

De wel bevond zich in de slootkant. Zie foto's 19-1 en 19-2 en ook bijlage 33 waarop dit schetsmatig is aangegeven. Uit het veldonderzoek kwam vast te staan dat de slootwal ter plaatse van een betuining is voorzien en dat het welwater van onder de betuining via een tamelijk smalle spleet afstroomt. Een en ander is ook op bijlage 33 nader aangegeven en van afmetingen voorzien.

Opgemerkt dient te worden dat de bodem op het niveau van de onderzijde van de betuining uit klei bestond.

De afvoer van de wel werd op twee manieren bepaald.

In de eerste plaats d.m.v. een meetstuw (in het kader van het infra-rood onderzoek) en met behulp van de Ott-molen. De afvoer gemeten met de meetstuw kon worden vastgesteld op $5 \text{ à } 6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$. De met de Ott-molen gemiddeld gemeten stroomsnelheid op het niveau ongeveer halverwege de bodem en waterspiegel bedroeg ruim 0,35 m/s. Bij afmetingen van de "waterstraal" van ca. $0,20 \times 0,10 \text{ m}^2$ wordt de afvoer dan berekend op ca. $7 \text{ à } 8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, dus iets meer dan de met de meetstuw gevonden waarde.

In het gebied zijn in de zandondergrond de potentialen opgenomen. De dichtsbijgelegen peilbuizen waren ca. 140 m van de wel verwijderd en lagen op ongeveer dezelfde afstand tot de dijk. De filterdiepte bedroeg ca. N.A.P. - 1,50 m. De op die plaats gemeten potentiaal bedroeg N.A.P. + 0,87 m bij een rivierstand van N.A.P. + 3,87 m aan de peilschaal te Herwijnen (15 febr. 1977).

Het polderpeil was op dat tijdstip N.A.P. + 0,10 m.

De bodemligging ter plaatse van de wel is met boringen achteraf vastgesteld. Het bleek dat de dikte van de kleilaag (van maaiveld tot de zandondergrond) 2,5 à 3 m bedroeg.

Ter plaatse van de sloot was de resterende dikte ongeveer 1,50 m. Dit kon worden vastgesteld op grond van uitgebreid grondonderzoek nabij de wel.

Alleen bij de boringen D en E werd het zand op een ruim 0,5 m hoger niveau aangetroffen. Gezien de plaats van deze boringen en het incidentele karakter is deze afwijkende bodemopbouw zeer waarschijnlijk geen oorzaak maar gevolg van de wel.

Omdat het enige bevreemding wekte, dat de wel min of meer horizontaal (onder de betuining door) uitstroomde bij deze kleidikte, is later een nauwgezet onderzoek ingesteld. Bij ontgraving van de slootkant bleek dat juist onder de wel zich een poreuze kleilaag bevond, waarschijnlijk als gevolg van eerdere verstoringen.

Ook bleek toen dat het welwater een uitweg had in de slootbodem.

De conclusie is dat het gebied bij wel 19 verstoord is, waarschijnlijk als gevolg van eerdere opbarstingen en dat het water (op een bepaald moment) uitstroomt op die plaats waar (toevallig) de minste weerstand wordt ondervonden. Ook bij deze wel werden monsters genomen van zowel het uitgespoelde zand (19-1) als het materiaal dat zich op de bodem van de wel bevond (19-2). Het laatste monster bevat zowel een duidelijk grove fractie, dat blijkbaar te grof is om door het welwater te worden meegevoerd, en een fijne fractie. De laatste wordt veroorzaakt doordat het monster gedeeltelijk uit kleiachtig materiaal bestond (zie bijlage 34).

Wel 20

Wel 20 bevond zich ter hoogte van hmp 348,5 in een kavelsloot. De afstand tot de dijk was ook in dit geval aanzienlijk, namelijk ca. 170 m.

Op de foto die van deze welplaats gemaakt werd, is duidelijk te zien dat het zand over een oppervlakte met een diameter van ca. 1 m op verscheidene plaatsen in beweging is. De intensiteit is echter zo gering dat er nagenoeg geen zand werd afgevoerd. Wel kon worden vastgesteld dat de zandondergrond over tamelijk grote diepte nagenoeg geen draagvermogen bezat; een ijzeren staaf van 1 meter lengte zakte onder het eigen gewicht zeer snel in de wel. Een situatie en een schematisch beeld van de wel zijn aangegeven op bijlage 35.

De wel is tijdens het hoogwater van 1970 zeer actief geweest. Toen werden **betrekkelijk grote hoeveelheden** zand uit de bodem weggevoerd. Het **uitgespoelde zand** werd over een lengte van meer dan 100 m in de **sloot afgezet**. Ter illustratie van **het effect** van deze afvoer van zand uit de ondergrond is de **hoogteligging** van het terrein op bijlage 36 gepresenteerd. Hoewel de maaiveldhoogte voor het hoogwater van 1970 niet exact bekend is, mag toch worden aangenomen dat die ongeveer vergelijkbaar is met de als ongestoord te beschouwen hoogte van het terrein op iets grotere afstand. De gebruiker van het perceel gaf daarbij te kennen dat er voor het realiseren van de ruilverkaveling (in de jaren '60) op de betreffende plaats nooit een wel van enige omvang was geconstateerd en dat na de ruilverkaveling de hoogte van de landerijen nagenoeg gelijk was.

De waterpassing van het maaiveld geeft nu echter aan dat naast de sloot ter hoogte van de wel het terrein meer dan 0,40 m lager ligt dan in de aansluitende stukken.

De totale hoeveelheid afgevoerd zand zou op grond van de gemeten hoogteligging op 25 m³ geschat kunnen worden.

De reden dat deze wel nu aanmerkelijk rustiger was dan in 1970 moet ongetwijfeld voor een deel worden toegeschreven aan de lagere rivierstand. Dit alleen vormt echter geen bevredigende verklaring. Welke zaken hierbij ook nog een rol spelen is nauwelijks te bepalen, maar zeer waarschijnlijk heeft het ook te maken met het feit dat na 1970 de hiervoor besproken wel 19 veel actiever is geworden.

De afvoer van wel 20 kon niet worden vastgesteld. Wel is op ca. 8 m van de welplaats de potentiaal in de zandondergrond op een diepte van ca. N.A.P. - 2,25 m gemeten.

De stijghoogte bedroeg N.A.P. + 0,73 m.

De gegevens van twee aanvullende boringen nabij de welplaats zijn op bijlage 35 ingetekend.

Zeefanalyses van zand uit het oppervlak van de wel en dat van 1 m diepte vertonen grote overeenkomst. Dit duidt er temeer op dat het zand over deze diepte min of meer in beweging is.

Een monster 20-3, op enige afstand van de wel gestoken, is aanmerkelijk fijner dan de monsters 20-1 en 20-2 uit de wel (zie bijlage 37).

Wel 21 t/m 23

In een sloot ter hoogte van hm 349,5 bevonden zich een drietal wellen op betrekkelijk korte afstand van elkaar. Alle waren van bescheiden afmetingen en hadden een geringe hoeveelheid zand opgebracht.

Bij het bezoek werd in de wellen nog steeds zand opgewerveld, maar van afvoer was nauwelijks sprake.

Wel 21 is meer in detail aangegeven op bijlage 38.

De zeefanalyses van een monster uitgespoeld zand en van een monster uit de bodem, op enige afstand van de wel zijn op bijlage 39 gepresenteerd.

Voor de afmetingen e.d. van wel 22 wordt verwezen naar bijlage 40. De korrelverdelingsdiagrammen van het zand zijn op bijlage 41 gepresenteerd.

Tevens werd een foto gemaakt van deze wel (foto 22-1).

De afvoer in de wellen kon niet worden bepaald.

De grondslag is verkend met enkele handboringen.

Het blijkt dat de slootbodem nagenoeg in de zandondergrond insnijdt.

Wel 24

Deze wel is ter hoogte van hm 351,8 geconstateerd.

Wat betreft afmetingen en verschijningsvorm is de wel vergelijkbaar met de hiervoor behandelde wellen 21 t/m 23. De afmetingen e.d. zijn op bijlage 42 aangegeven. De bodemligging is met behulp van een boring bepaald.

Ook hier blijkt de sloot in de zandondergrond in te snijden. Het resultaat van een zeefanalyse van het uitgespoelde zand is op bijlage 43 gepresenteerd.

Tevens werd een foto van deze wel gemaakt (foto 24-1).

Wel 25

Deze wel, ter hoogte van hm 426,3 is een wat bijzonder geval. Ongeveer halverwege het aan de landzijde gelegen talud van een sloot, op ca. 30 m uit de binnenteen van de dijk, stroomde kwelwater (zie foto 25-1).

Met dit water was een geringe hoeveelheid zand meegevoerd.

Globaal is de situatie aangegeven op bijlage 44.

5. Enkele algemene opmerkingen

Na de presentatie van de gegevens per wel, waarop in enkele gevallen nogal in detail werd ingegaan, lijkt het nuttig een aantal meer algemene aspecten die bij het onderzoek opvielen in deze paragraaf afzonderlijk aan de orde te stellen. Het betreft in hoofdzaak het vaststellen van een aantal zaken die bij vele wellen blijkbaar een rol speelden. Daarnaast een globale kwalitatieve beschrijving van factoren die bij de beoordeling van het proces in een zandmeevoerende wel mogelijk van belang zijn. Noodzakelijkerwijs is dit laatste beperkt tot die elementen die op dit moment belangrijk geacht worden.

De vraag of en zo ja, waar achter de dijk wellen ontstaan is niet in het algemeen te beantwoorden. Wel zijn een aantal, op zich heel begrijpelijke kenmerken van de plaats waar wellen voorkwamen aan te geven.

Zo bevonden zich bijna alle hiervoor beschreven wellen in een sloot. De watergangen vormen duidelijk een relatief zwakke plek in de afsluitende kleilaag. Voor de gebieden met relatief dunne afdekkende kleilagen behoeft voor de aangetroffen wellen hierop geen enkele uitzondering gemaakt te worden. In het gebied met dikkere kleilagen (hm 294-301) ligt het minder duidelijk. Wel 14, die nu in een sloot uitmondde, zou zich eerder in de aangrenzende akker hebben bevonden en door mensenhanden zijn verlegd. Nabij wel 14, ca. 50 m in westelijke richting, bevond zich nu nog een (weliswaar kleine) wel, die op het maaiveld uitmondde. Ook is het niet duidelijk of de greppel bij wel 16 als oorzaak of gevolg van de wel moet worden gezien. Bovendien lag op ca. 40 m afstand nog een kwelplaats waar water op enkele plaatsen geconcentreerd aan het maaiveld opborrelde. Daarentegen werd wel 17 in een watergang aangetroffen en is de nu op maaiveld uitmondende wel 15 destijds in een sloot ontstaan, die later in het kader van een ruilverkaveling is gedempt.

Als we letten op zwakke plaatsen in het kleidek moet vanzelfsprekend niet alleen worden gelet op de situatie aan het maaiveld, maar ook de variatie in hoogte van de overgang zandondergrond/klei : De dikte (c.q. het gewicht) van de afdekkende kleilaag zal de maatgevende factor zijn.

Hierdoor wordt ook de soms grote afstand van de wellen tot de dijk

verklaard. Bij de dijk bleek in een aantal gevallen een beduidend dikkere kleilaag aanwezig te zijn dan meer landinwaarts. Ondanks de hogere potentiaal bij de dijk ontstonden dan de wellen in het gebied met de relatief dunne kleilagen.

De gunstige werking van een kwelgebied achter de dijk is duidelijk geïllustreerd door de plaats van de wellen 14 en 15. Hoewel binnen het kwelgebied de kleilaag plaatselijk aanmerkelijk dunner is, dan in de omgeving was blijkbaar het extra gewicht van het water op het maaiveld voldoende om wellen ter plaatse te voorkomen. Deze zijn juist buiten het kwelgebied ontstaan. Overigens zal in de omgeving van het wiel de potentiaal worden beïnvloed door de gemakkelijker uitstroming.

Een andere factor, die van invloed is geweest op de huidige plaats waar de wellen werden aangetroffen, is het menselijk handelen. Enerzijds het aanleggen van sloten met verschillende diepten en het voor een of ander doel perforeren van de kleilaag waardoor de plaats waar wellen ontstaan werd beïnvloed. Anderzijds het plaatselijk verhogen van het binnendijsk terrein of het versterken van de dijk. Een voorbeeld van dit laatste wordt aangetroffen bij hmp 296, waar een flinke verzwaring is aangebracht op de plaats waar bij een hoogwater een wel was ontstaan.

De wellen in gebieden waar de zandondergrond niet wordt "aangesneden" zullen op een kunstmatige of langs natuurlijke weg ontstaan zijn. Daarbij werd de min of meer verticale gang in de afdekkende kleilaag gevormd.

Het doelbewust door mensen aanbrengen van perforaties in de kleilaag b.v. voor watervoorziening lijkt bij de behandelde wellen uitgesloten te kunnen worden. Het ontstaan langs natuurlijke weg bij vroegere hoogwaters lijkt zeker mogelijk.

Zelfs bij de dikkere kleilagen ter hoogte van hm 293-300 is het zeer waarschijnlijk dat bij een hoge rivierafvoer de grondwaterpotentialen zo hoog zijn opgelopen dat zich een evenwichtsverstoring in de kleilaag heeft voorgedaan. Uit waarnemingen aan peilbuizen ter hoogte van hm 298 (zie C.O.W.-nota S-72.043a) blijkt de potentiaal in de zandondergrond tot rond N.A.P. + 4,00 m te kunnen oplopen bij rivierstanden van ca. N.A.P. + 5,00 m (zelfs nu de wellen voor een zekere ontlasting zorgen).

Aangezien de maximale rivierstand voor dit dijkvak zeker hoger dan N.A.P. + 6,60 m is geweest kan met bijna volledige zekerheid worden

gesteld dat de potentiaal in de zandondergrond bij een vroeger hoogwater zeer hoog is opgelopen, zodat waarschijnlijk zelfs het gewicht van de afdekkende kleilaag werd overschreden. De verstoringen in de kleilaag hebben een blijvend gevolg gehad in de vorm van de nu aanwezige welgangen daarin. Het is bijna vanzelfsprekend dat bij deze dikkere kleilagen, waarin de eenmaal gevonden weladers blijven bestaan, de wellen zich bij elke verhoogde rivierstand steeds op dezelfde plaats voordoen.

In incidentele gevallen kan het zich echter blijkbaar voordoen dat een wel "verspringt" (wel 18) of minder actief wordt (wel 20).

Mogelijk heeft dat te maken met de wijzigingen in de grondwaterstroming als gevolg van het uitspoelen van zand (b.v. nazakken van de topkleilaag). Ook het ontstaan van nieuwe wellen bij hogere rivierstanden is niet uit te sluiten.

In de gebieden waar de slootbodem in of nagenoeg in de zandondergrond snijdt is het op een vaste plaats ontstaan van de wellen eerder uitzondering dan regel. De plaats zal voor een goed deel worden bepaald door op dat moment aanwezige, toevallige factoren zoals diergangen etc. Door deze toevallige verstoringen in de ondergrond zal ter plaatse een zodanige concentratie van de grondwaterbeweging kunnen ontstaan dat zand wordt weggevoerd.

Opvallend waren ook de verschillen in verschijningsvorm van de wellen die tijdens het bezoek, werden aangetroffen. Deze hing blijkbaar samen met de bodemomstandigheden. Ook de hoogte van de waterstand op de rivier, relatief laag tijdens het terreinbezoek, zal vanzelfsprekend van invloed zijn op de werking van de wellen.

De wellen in de sloten, waarvan de bodem tot of nagenoeg tot de zandondergrond reikt, vertoonden nu alle eenzelfde beeld: zandkrater, met daarin op één of meer plaatsen een opwerveling van het zand als gevolg van het geconcentreerd uittreden van het grondwater.

Wel waren er duidelijke verschillen in de intensiteit van de werking van de wellen te constateren.

In het algemeen vond echter geen zandafvoer van betekenis plaats. De wellen die zich in het gebied met de dikkere kleilagen voordeden, onderscheiden zich in het algemeen duidelijk van die in het gebied met dunnere kleilagen doordat met het uitstromende water geen zand werd meegevoerd. Dit, ondanks het feit dat het terreinbezoek plaats vond bij de hoogste waterstand die sinds 1970 was voorgekomen. Daarbij viel nog op dat in een eerder stadium tijdens de hoogwaterperiode in

alle gevallen wel van zandafvoer sprake moet zijn geweest, gezien de recente afzettingen in de nabijheid van de wellen.

Uitzonderingen op dit algemene beeld vormden de wellen 15, 19 en 20.

Bij wel 15, die zich in het gebied met de relatief dikke kleilaag bevindt, vond bij het bezoek nog een zekere zandafvoer plaats.

Wel 19, die schoon water opbracht bij het bezoek, is een wat bijzonder geval: zie de beschrijving. Wel 20 bezit geen duidelijke krater. De bodem van de sloot "kookte" enkel op verscheidene plaatsen binnen een oppervlak van ca. $\emptyset$ 1 m.

Zoals gezegd vond er bij het grootste deel van de wellen bij het bezoek geen zichtbare afvoer van zand plaats op dat moment. Er moet in die gevallen van een soort evenwicht, mogelijk zeer labiel, of althans van een in de richting van een evenwicht groeiend proces sprake zijn. Mogelijk kunnen daarbij twee aspecten worden onderscheiden. Ten eerste zou een evenwichtsituatie kunnen worden bereikt door wijzigingen in de ondergrond, ten tweede is het denkbaar dat omstandigheden aan het maaiveld tot zo'n situatie bijdragen.

We willen bij beide even stilstaan.

In die gevallen waarbij geen zand wordt opgebracht met het welwater is het duidelijk dat in de ondergrond van een evenwichtsituatie sprake moet zijn. Zouden er namelijk zanddeeltjes in de verticale gang terecht komen dan zouden die, rekening houdend met de gemeten snelheden van enkele decimeters per seconde zeker naar boven zijn afgevoerd.

Theoretisch zou nog met de mogelijkheid rekening gehouden moeten worden dat de afmetingen van de welader in het onderste gedeelte van de kleilaag zoveel groter zijn, dat de watersnelheid daar beneden de valsnelheid van de zandkorrels ligt. Het lijkt echter niet waarschijnlijk dat dit zich systematisch voordoet. Veeleer kan worden gedacht aan de mogelijkheid van het ontstaan van een ruimte in de zandondergrond zelf, waarin een evenwichtsituatie ontstaat. Na een aanvankelijke afvoer van zand, waarbij de ruimte wordt gecreëerd kan die evenwichtstoestand mogelijk ontstaan als aan enkele voorwaarden wordt voldaan, zoals:

- de ruimte moet intact blijven, m.a.w. de kleilaag moet voldoende dik en stijf zijn om nazakken te voorkomen.
- de ruimte moet zich min of meer axiaal symmetrisch ontwikkelen en niet uitgesproken in één richting.

Onder deze omstandigheden kan men zich indenken dat er een evenwichtsituatie ontstaat, ook bij een constante randvoorwaarde (rivierpeil) (zie schema op bijlage 46). Het punt waar de begrenzing van de holle ruimte aan de kleilaag aansluit zal theoretisch nooit in evenwicht kunnen zijn. Uit proeven bij het L.G.M., in het kader van het onderzoek naar piping-verschijnselen is evenwel vast komen te staan dat ook in gevallen waarbij een stroomlijn abrupt overgaat in een potentiaallijn, onder bepaalde omstandigheden (b.v. bij voldoende kleine verhangen) evenwicht mogelijk is.

Het valt bij beschouwing van de zeefanalyses van de zandmonsters op, dat bij een aantal wellen (nr 1,2,4,7,9,11,20 en 22) een systematische opbouw in de zandondergrond wordt aangetroffen. De monsters die uit de "oorspronkelijke" bodem zijn genomen blijken het grootste percentage fijne delen te hebben. Dit percentage neemt af naarmate de monsters dichter bij de wel zijn genomen en is het geringst in de wel zelf. Blijkbaar is er sprake van uitspoeling van de fijnere (slib)-deeltjes.

De aldus ontstane opbouw van de bodem van fijn (slecht doorlatend) naar grof (goed doorlatend) in de richting van de wel, zal het ontstaan van een evenwichtsituatie bevorderen: het totale debiet wordt niet of nauwelijks beïnvloed door de grove zone en blijft gelijk, terwijl de benodigde uitstroomsnelheid groter zou moeten zijn voor het transport van de grovere korrels.

Naast het bereiken van een evenwicht in de ondergrond kan een evenwichtsituatie aan maaiveld worden onderscheiden, hoewel waarschijnlijk beide niet zijn te scheiden.

In de gevallen waarbij aan het oppervlak (op de slootbodem) een zandkrater kan worden gevormd zal deze mogelijk een belangrijke bijdrage leveren tot het bereiken van een evenwicht. Uit het zandwatermengsel dat uit de grond opborrelt zal na bereiken van de sloot het zand worden afgezet door de afname van de watersnelheid. Hierdoor kan onder omstandigheden, zoals voldoende kleine stroomsnelheden in de watergang en een min of meer horizontale ligging van het terrein, de genoemde zandkrater worden gevormd.

De gunstige invloed van de zandkrater zou mogelijk toe te schrijven zijn aan de verhoging van het uittreepunt.

Op zich lijkt deze invloed echter niet zo groot. Bij het terreinbezoek waren de hoogten van de kraters relatief gering en bleven alle beneden de waterspiegel in de sloot waarin ze werden aangetroffen. Mogelijk is wel de afname van de watersnelheid door de toename van de doorsnede van de krater naar boven toe van belang.

In het terrein leek het proces zo te zijn dat het opgebrachte zand tot een zodanige hoogte in de krater werd opgebracht, waarop de watersnelheid gelijk aan of kleiner was dan de valsnelheid van het zand. Het opgebrachte zand werd min of meer horizontaal verplaatst naar de kraterwal. Door de voortdurende aanvoer van zand wordt het evenwicht van de kraterwal verstoord. Het opwervende zand is dan ook zeer waarschijnlijk het materiaal dat van de kraterwal naar beneden glijdt. Door dit proces zal waarschijnlijk een extra uitstroomweerstand worden geïntroduceerd, waardoor de intensiteit van de grondwaterbeweging naar de wel zal worden verminderd. In het terrein was niet te constateren of van een aanvoer van zand uit de bodem sprake was.

Als laatste opmerking in deze paragraaf iets over de "ontwerp-regels" van Lane, Bligh e.a. Alhoewel de genoemde regels zonder twijfel slechts zeer beperkt toepasbaar zijn, moet worden geconstateerd dat de verzamelde gegevens van de wellen in de Tielerwaard geen argumenten tot verwerping zonder meer aandragen.

De vereiste kortste kwelweg die de regel van Lane of Bligh aangeeft om gevaarlijke zandmeevoerende wellen te voorkomen, is in bijna alle gevallen veel minder dan de aangetroffen afstanden van de wel tot de dijk (of het veronderstelde intreepunt voor het grondwater). Maar voor alle wellen was er bij de tijdens het onderzoek heersende waterstanden blijkbaar van een soort evenwichtstoestand sprake.

Zo er niet van een werkelijk evenwicht gesproken kan worden, dan was in elk geval de snelheid van ontwikkeling erg klein.

Overigens kan uit het terreinonderzoek geen argument voor toepassing van de genoemde "ontwerpregels" worden aangevoerd.

Daarbij ware te denken aan de geconstateerde maaivelddaling bij wel 20 ten gevolge van een tamelijk grote zandafvoer bij het hoogwater van 1970. Wel 20 bevindt zich op ca. 170 m vanaf de dijk, terwijl het maximale peilverschil tussen de rivier en de sloot in 1970 nog geen 6 meter bedroeg.

Samenvatting en conclusies

In de hoogwaterperiode januari-maart 1977 werden aan een aantal wellen, die werden aangetroffen achter de bandijk van het Polderdistrict Tielerwaard tussen Tuil en Dalem metingen verricht. In totaal werden 25 wellen min of meer uitvoerig beschreven met het doel prototypegegevens te verzamelen t.b.v. een beter inzicht in de processen die bij zandmeevoerende wellen een rol spelen. Een en ander in het kader van het onderzoek naar het verschijnsel "zandmeevoerende wellen", waarvan het laboratoriumonderzoek aan het L.G.M. is opgedragen. Van de bezochte wellen werden, voor zover mogelijk en nuttig, de situatie, de afmetingen, de afvoerdebieten en de bodemgegevens vastgelegd. Tevens werden enkele meer algemene kenmerken van de wellen behandeld zoals:

- de plaats van de wellen
- het al of niet op dezelfde plaats voorkomen bij verschillende hoogwaters
- het ontstaan van de wellen
- de verschillen in verschijningsvorm
- het geconstateerde evenwicht in de wellen.

Tevens is in het kort de betekenis van de bekende ontwerpregels van Lane en Bligh aangehaald en toegepast op de geconstateerde wellen.

De conclusies ten aanzien van het ontstaan en van het proces dat ten grondslag ligt aan de werking van zandmeevoerende wellen moeten, vanwege de op enkele punten nogal summiere gegevens uit het terreinonderzoek, worden beschouwd als tamelijk speculatief. Niet-tegenstaande worden genoemd:

- Wellen ontstaan op die plaatsen waar een afdekkende kleilaag plaatselijk afwezig is of t.o.v. de omgeving relatief zwak is. Sloten en zandopduikingen in de ondergrond vormen potentiële welplaatsen.
- De wellen zijn soms op grote afstand van de dijk ontstaan doordat de bodem daar, ondanks de geringere potentiaal dan bij de dijk, relatief het "zwakst" was.
- In relatief dikke kleipakketten blijven éénmaal ontstane welgangen doorgaans intact en manifesteert de wel zich bij elk

hoogwater op dezelfde plaats. Een enkele maal "verspringt" een wel of is een duidelijke verandering in intensiteit te constateren. In terreingedeelten waar de kleilaag ontbreekt of nagenoeg ontbreekt hangt de plaats van de wel meer van toevallige omstandigheden af.

- Er zijn globaal twee uiterlijke verschijningsvormen van de wellen aan te geven. Een type dat helder water opbrengt, meestal bij relatief dikke kleilagen en een type waarin een constante opwerveling van zand is te zien.
- Bij beide typen lijkt een evenwichtsituatie bereikt te kunnen worden (bij niet toenemende rivierstand). Bij de wellen waarbij alleen water wordt afgevoerd, kan blijkbaar onder bepaalde omstandigheden een evenwicht worden bereikt in de ruimte in het zand onder de kleilaag die ontstaat door een zekere zandafvoer in het begin.
Onder de voorwaarden voor het bereiken van dit evenwicht moeten worden genoemd: het niet nazakken van de kleilaag en het zich min of meer axiaal-symmetrisch ontwikkelen van de ruimte.
Mogelijk speelt ook "filtervorming" in de ondergrond een rol.
Bij het type met een constante zandopwerveling draagt het proces in de krater waarschijnlijk ook bij tot het bereiken van een evenwicht.
- Onder bepaalde omstandigheden kunnen evenwel tamelijk grote hoeveelheden zand worden weggevoerd en is de daaruit volgende bodemdaling aanzienlijk (wel 20).

Voor de praktijk kunnen op grond van de waarnemingen enkele doorgaans reeds bekende en toegepaste "richtlijnen" voor ontwerp van de rivierdijken worden gegeven.

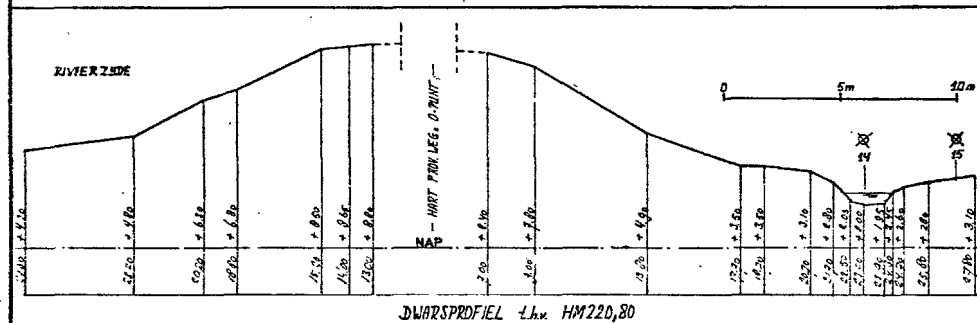
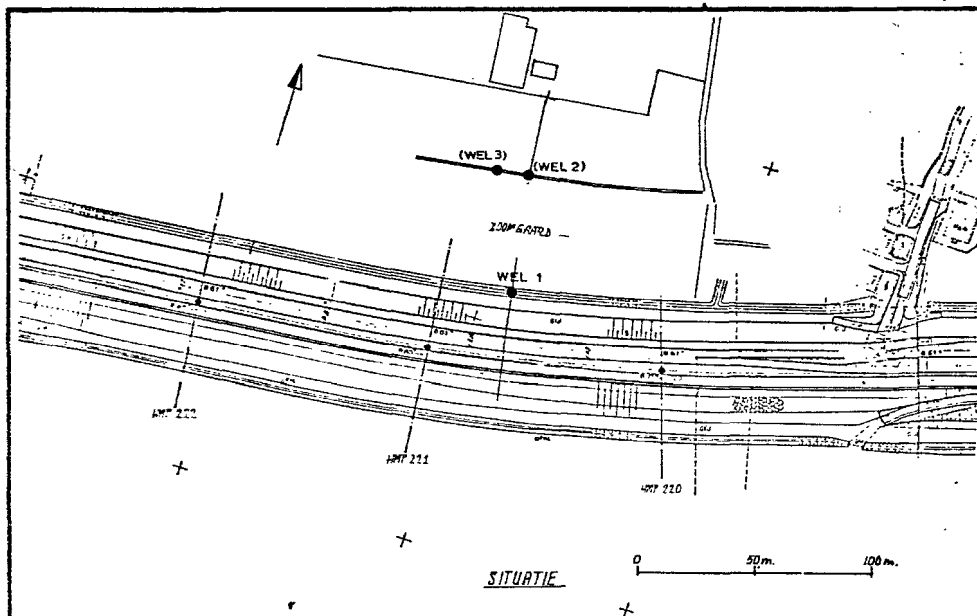
- Geen aangrijpingspunt voor het ontstaan van wellen in de nabijheid van de dijk maken of handhaven. Dus geen teensloot of kopsloten tot dicht bij de dijk.
- Zo nodig een "verzwaring" op het aansluitende maaiveld, een en ander afhankelijk van het potentiaalverloop en de bodemgesteldheid meer binnendijs.
Verzwaring in grond of door handhaven/creëren van een kwelgebied.
- Het voorkomen van hoge stroomsnelheden in watergangen e.d. zodat bij welvorming de krater intact blijft.
Hierdoor wordt een bijdrage aan het bereiken van een evenwicht van het proces bereikt.

Overigens is het voorkomen van zandmeevoerende wellen te bereiken door het verlagen van de grondwaterpotentiaal met behulp van speciale filterconstructies etc.

Aanbevelingen voor voortgezet prototype-onderzoek

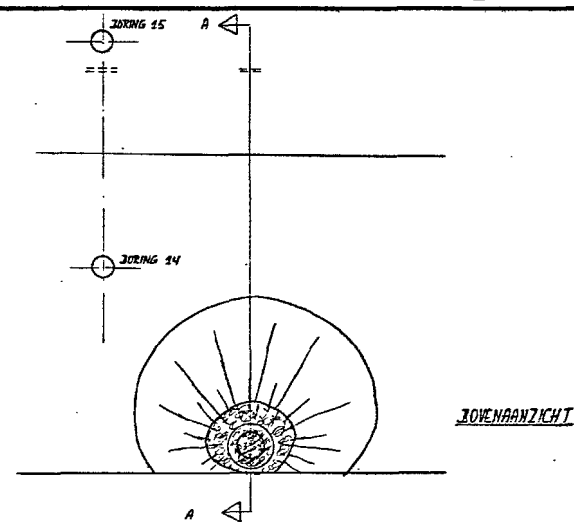
De nu verrichte opname aan de wellen geeft een overzicht van het voorkomen van wellen in het betreffende gebied.

Het is echter slechts een momentopname bij een betrekkelijk laag hoogwater en geeft per wel niet zoveel informatie in detail. Het lijkt dan ook nuttig het onderzoek langs deze lijn voort te zetten en bij komende hoogwaters wederom prototype-opnamen te verrichten. Hierbij zal in de eerste plaats dan een herhaling van de opnamen van de nu bezochte wellen op zijn plaats zijn. Voorts zouden één of enkele wellen b.v. de wellen 15, 19 en 20 uitgebreider onderzocht moeten worden. Voor dit laatste zou een vrij uitgebreide informatie over de ondergrond nodig zijn en zouden bij het hoogwater op uitgebreide schaal grondwaterpotentialen opgenomen moeten worden.

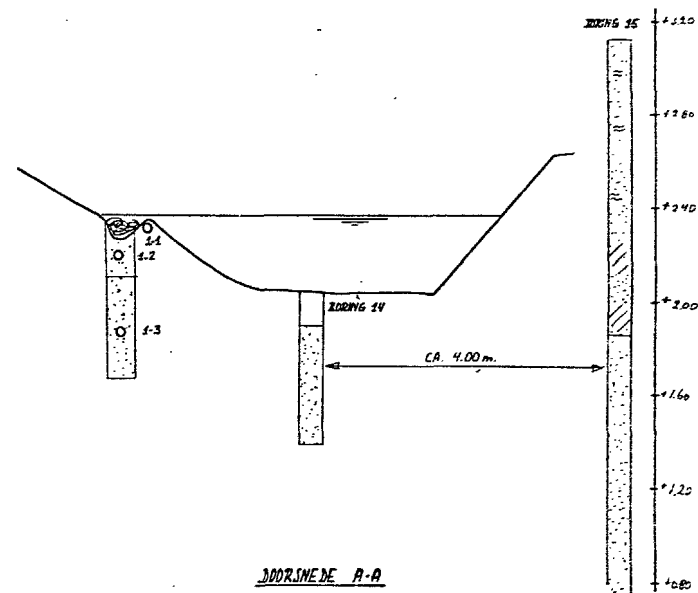


WEL 1 T.H.V. HM 220,80

ZANDMONSTER UIT WEL	Diepte	} ZIE DOORSNEDEN A-A EN K.P. 2, 3, 4
○ NR. 1-2	0-20 cm.	
○ NR. 1-3	20-50 cm.	
ZANDMONSTER VAN RAND WEL		
○ NR. 1-1		

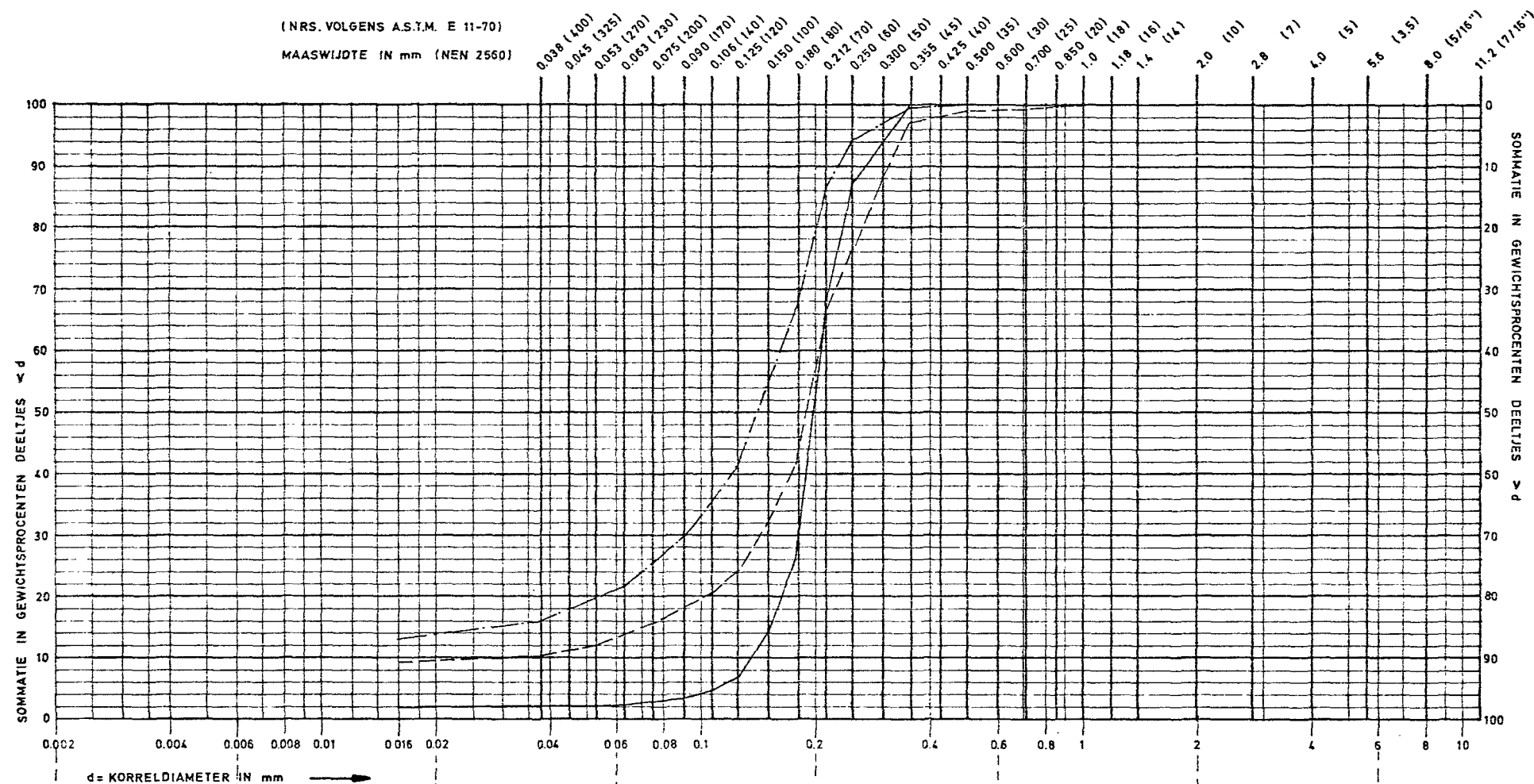


MATEN IN M. t.o.v. NAP



WEL 1				BIJLAGE 5	
TIELERWAARD				VOOR FOTO ZIE BLAD 1 VAN FOTOBIJLAGE	
CENTRUM VOOR ONDERZOEK WATERKERINGEN				gem	get
				10-77	vdI
					gez
				A 4	WERKNR 5-77 059
					TEK. NR. 77.265

(NRS. VOLGENS A.S.T.M. E 11-70)
MAASWIJDTE IN mm (NEN 2560)



— monster 1
- - - monster 2
- . - monster 3

WEL 1 MONSTERS 1-1, 1-2 en 1-3
KORRELVERDELINGSDIAGRAM

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

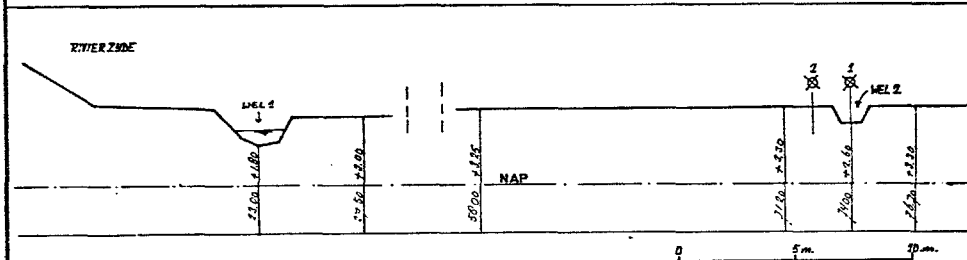
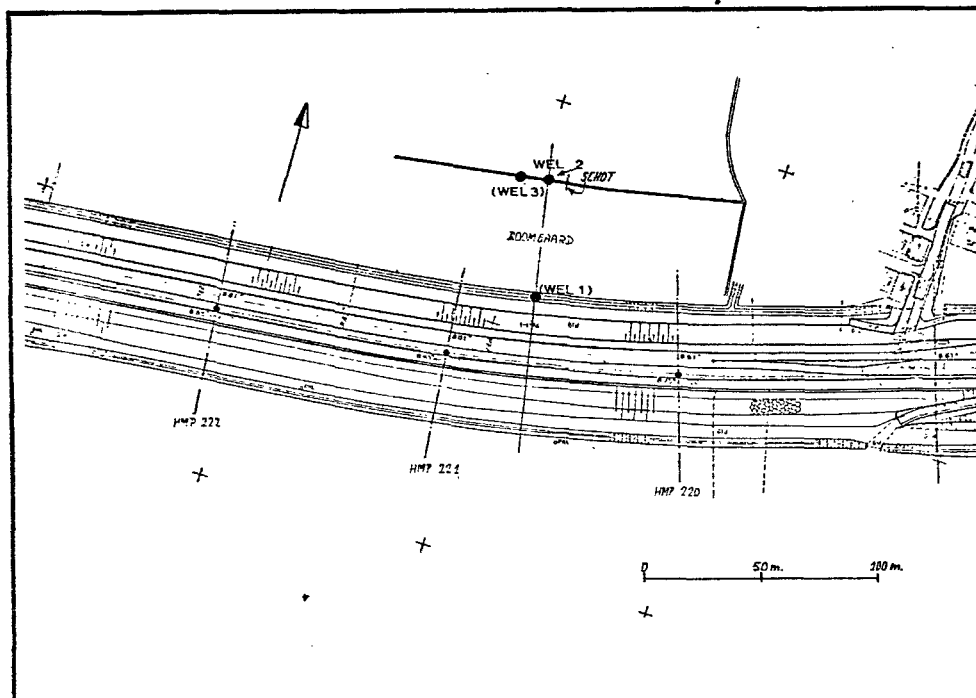
gem	get	gez
	vdl 1-78	<i>[Signature]</i>

BIJLAGE 6

SCHAAL -

A4

WERKNR. S-77.059
TEK NR 77.266



DOORSNEDEN t.b.v. HM 220, RD (zie ook bijlage 5)

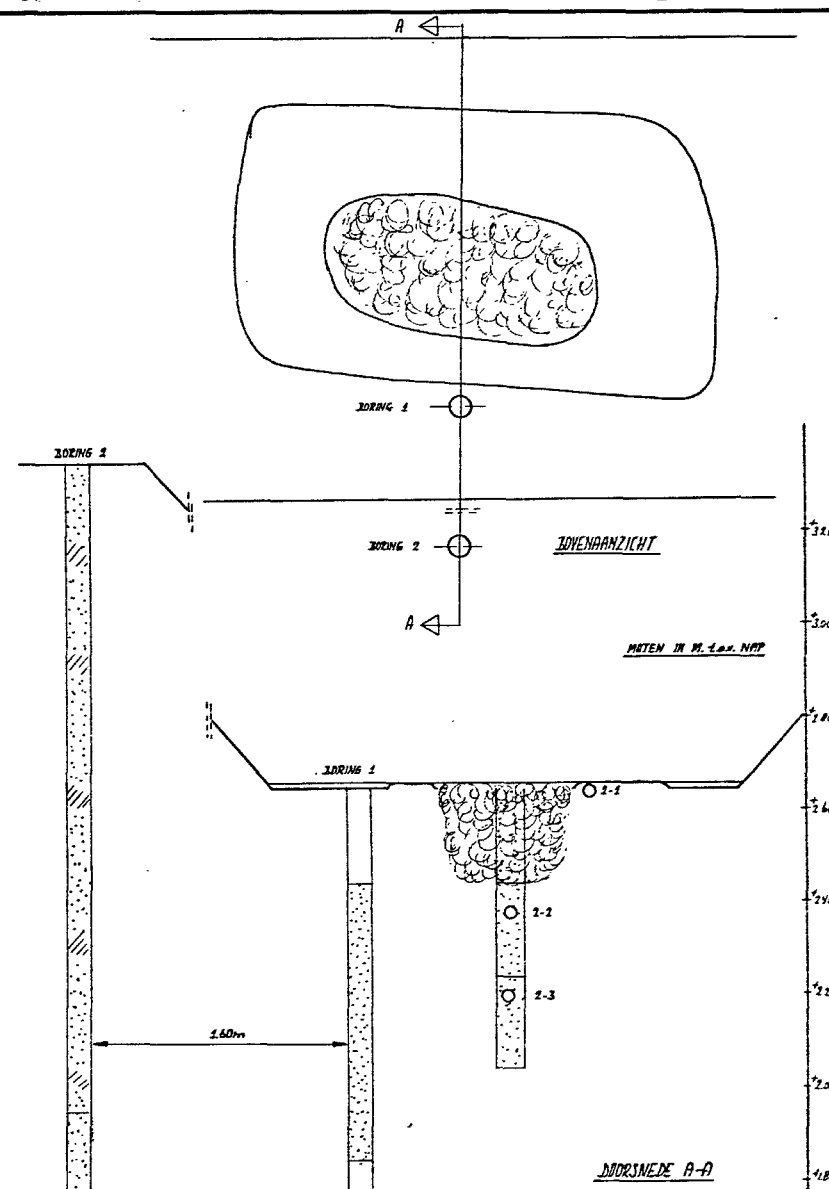
WEL 2 t.b.v. HM 220, RD

ZANDMONSTER UIT WEL	Diepte
○ NR. 2-2	20-40 cm.
○ NR. 2-3	40-60 cm.

ZIE DOORSNEDEN A-A EN K.L.S. BIJLAGE 8

ZANDMONSTER VAN RAND WEL

○ NR. 2-1



WEL 2
TIELERWAARD

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

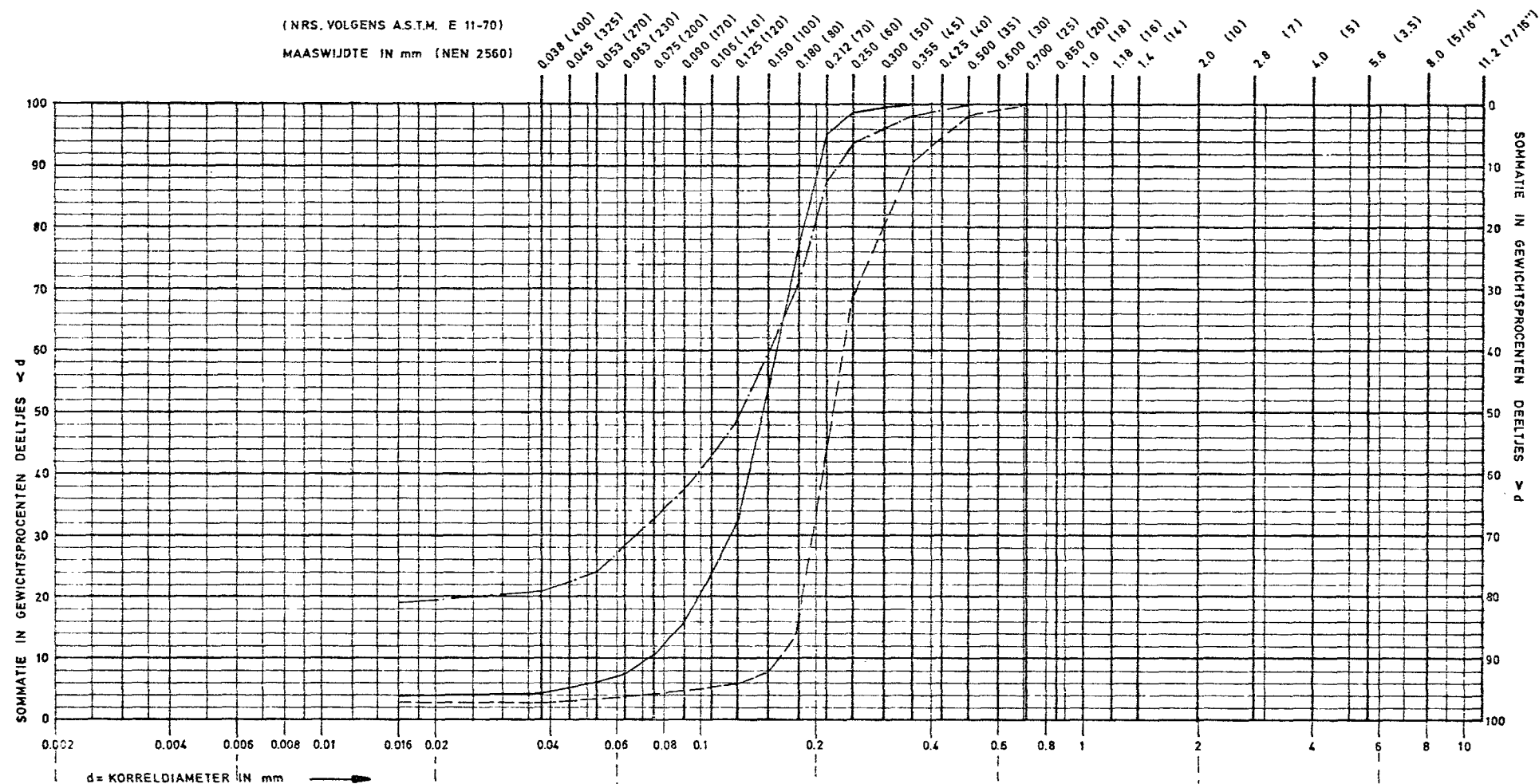
gem	get	gez
	vdl	
	10-77	

BIJLAGE 7

VOOR FOTO ZIE BLAD 2
VAN FOTOBIJLAGE

WERKNR. S-77.059
TEK NR. 77.267

(NRS. VOLGENS A.S.T.M. E 11-70)
MAASWIJDTE IN mm (NEN 2560)



— monster 1
--- monster 2
-.- monster 3

WEL 2 MONSTERS 2-1, 2-2 en 2-3
KORRELVERDELINGSDIAGRAM

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

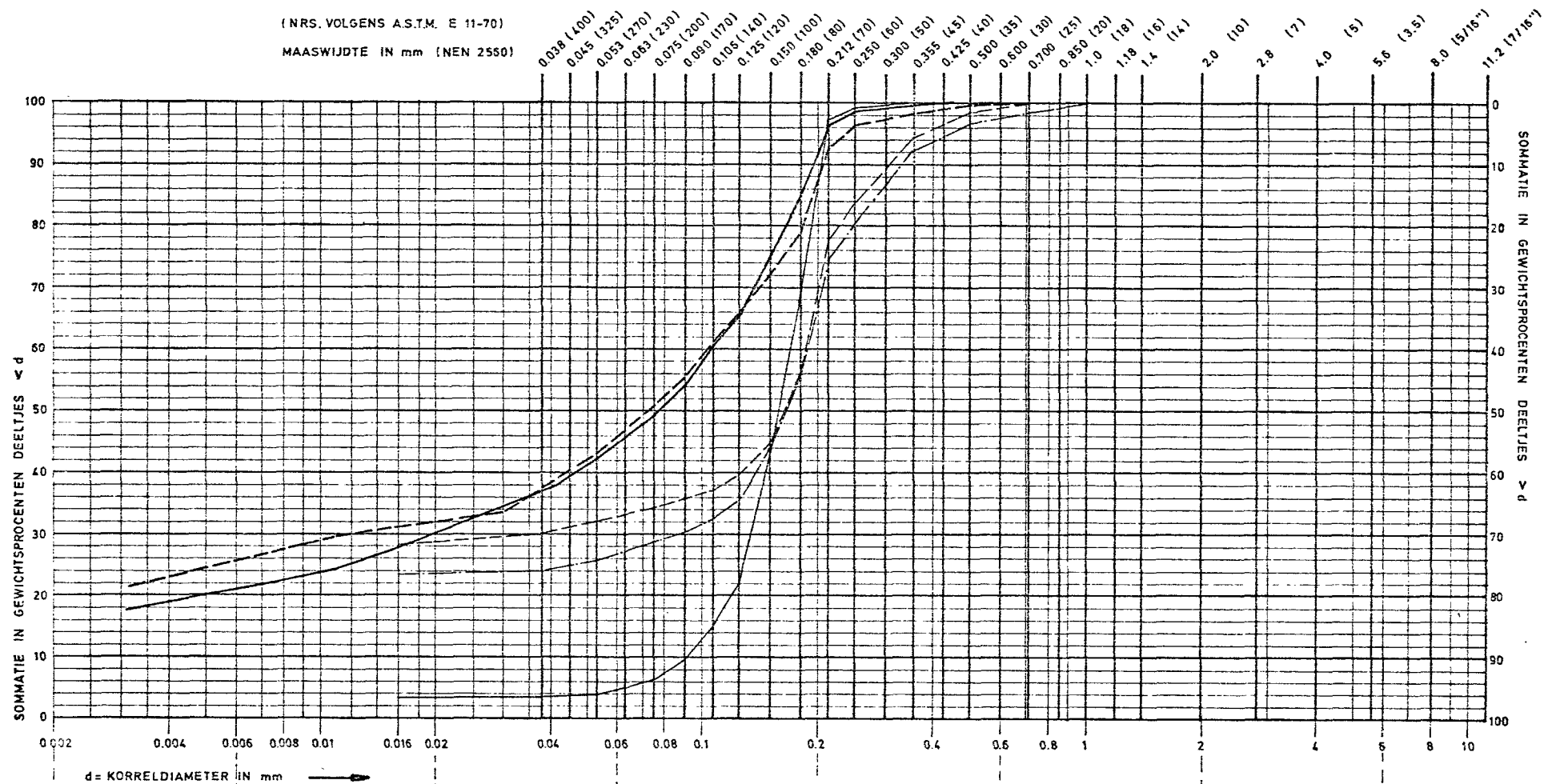
gem	get	gez
	vdI	
	1-78	

BIJLAGE 8

SCHAAL -

A4	WERKNR S-77.059
	TEK NR 77.268

(NRS. VOLGENS A.S.T.M. E 11-70)
MAASWIJDTE IN mm (NEN 2550)



ILUTUM	FIJN	MIDDEL	GROF	FIJN	MIDDEL	GROF	FIJN	MIDDEL
	SILT			ZAND			GRIND	

- monster 1
 --- monster 2
 - - - monster 3
 — monster 4
 --- monster 5

WEL 4 MONSTERS 4-1, 4-2, 4-3, 4-4 en 4-5
KORRELVERDELINGSDIAGRAM

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

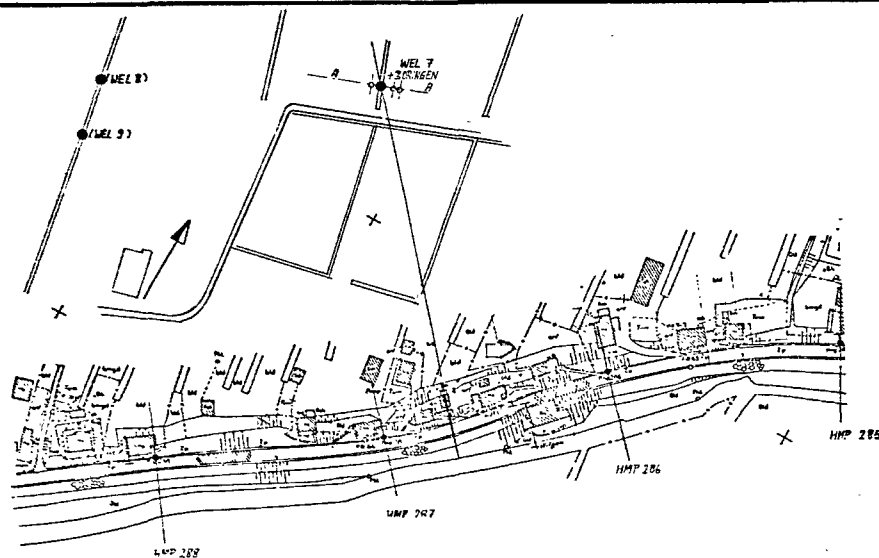
gem	get	gez
	vdl 1-78	<i>[Signature]</i>

BIJLAGE 10

SCHAAL -

A4

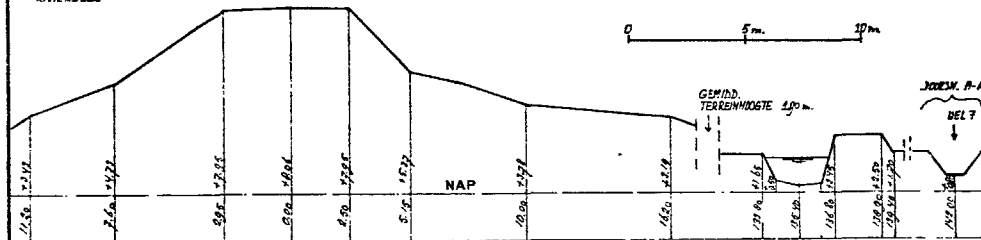
WERKNR. S-77.059
TEK NR 77.270



SITUATIE

0 50m 100m

RIVERZIJDE

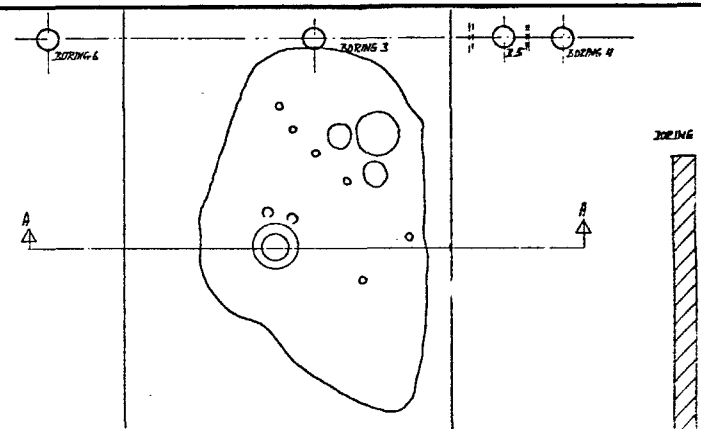


ZWARS PROFIEL t.h.v. HM. 286.70

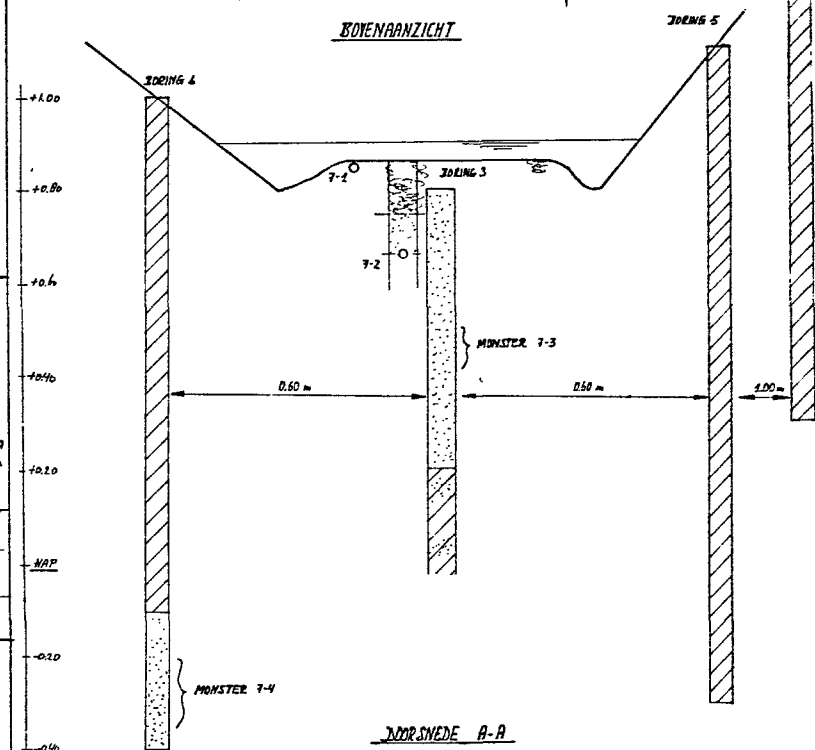
WEL 7 t.h.v. HM. 286.70

ZANDMONSTER UIT WEL	Diepte	
o NR. 7-2	20 cm.	
ZANDMONSTER VAN RAND WEL		
o NR. 7-1		

ZIE DOORIN. A-A
EN KLD. ZIJLAGE 12.1



BOVENAANZICHT



DOORSNEDEN A-A

WEL 7
TIELERWAARD

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

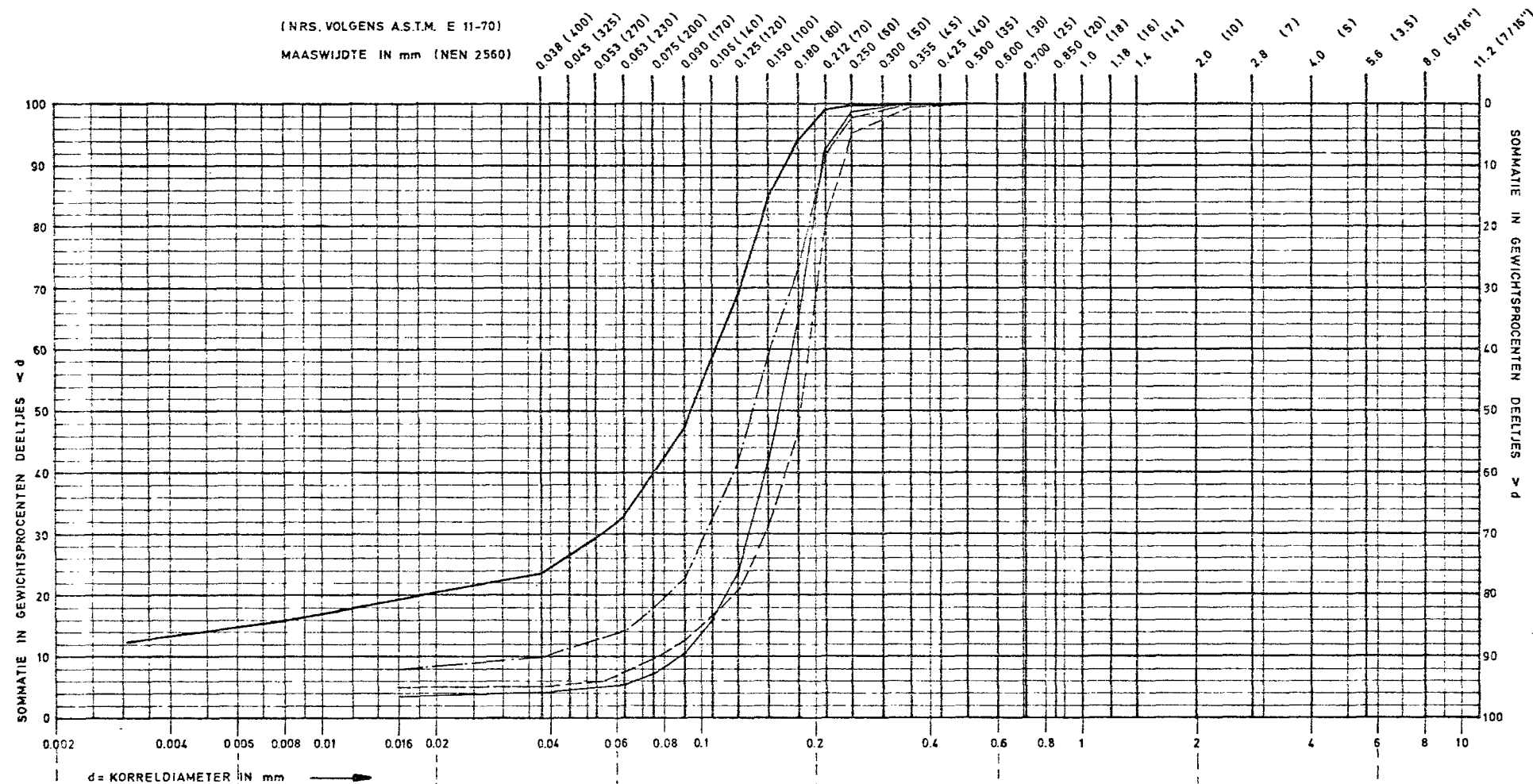
BIJLAGE 12

VOOR FOTO ZIE BLAD 4
VAN FOTOBIJLAGE

gem
vdl
10-77

A4
WERKNR S-77.059
TEK NR 77.272 a

(NRS. VOLGENS A.S.T.M. E 11-70)
MAASWIJDTE IN mm (NEN 2560)



ILUTUM	FIJN	MIDDEL	GROF	FIJN	MIDDEL	GROF	FIJN	MIDDEL
	SILT			ZAND			GRIND	

— monster 1 — monster 4
 --- monster 2
 - - - monster 3

WEL 7 MONSTERS 7-1, 7-2, 7-3 en 7-4 KORRELVERDELINGSDIAGRAM

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

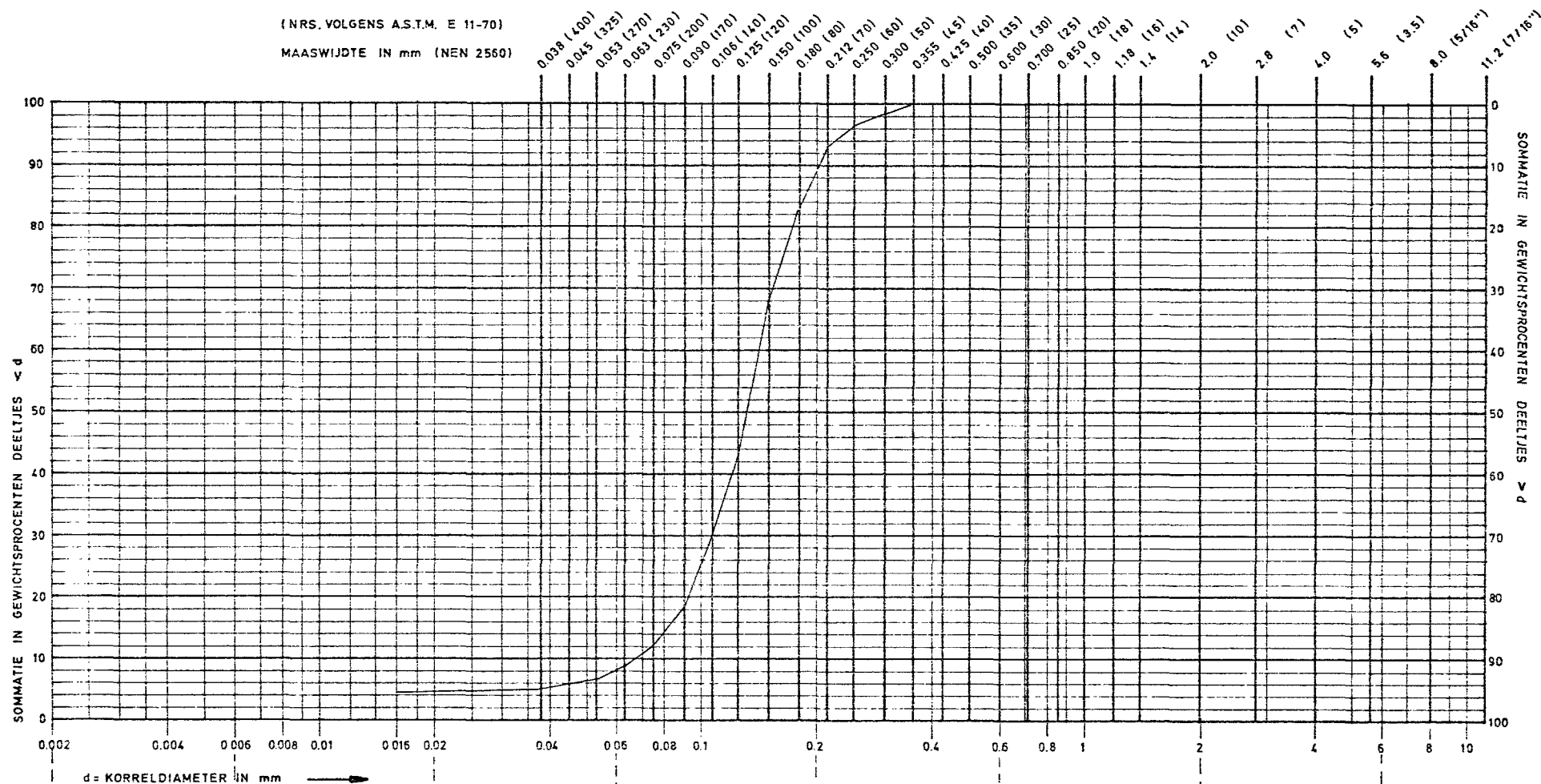
gem	get	gez
	vdl 1-78	<i>[Signature]</i>

BIJLAGE 12.1

SCHAAL -

A4 WERKNR. S-77.059
TEK. NR 77.272b

(NRS. VOLGENS A.S.T.M. E 11-70)
MAASWIJDTE IN mm (NEN 2560)



ILUTUM	FIJN	MIDDEL	GROF	FIJN	MIDDEL	GROF	FIJN	MIDDEL
	SILT			ZAND			GRIND	

— monster 1

WEL 8 MONSTER 8-1
KORRELVERDELINGSDIAGRAM

TIELERWAARD

BIJLAGE 14

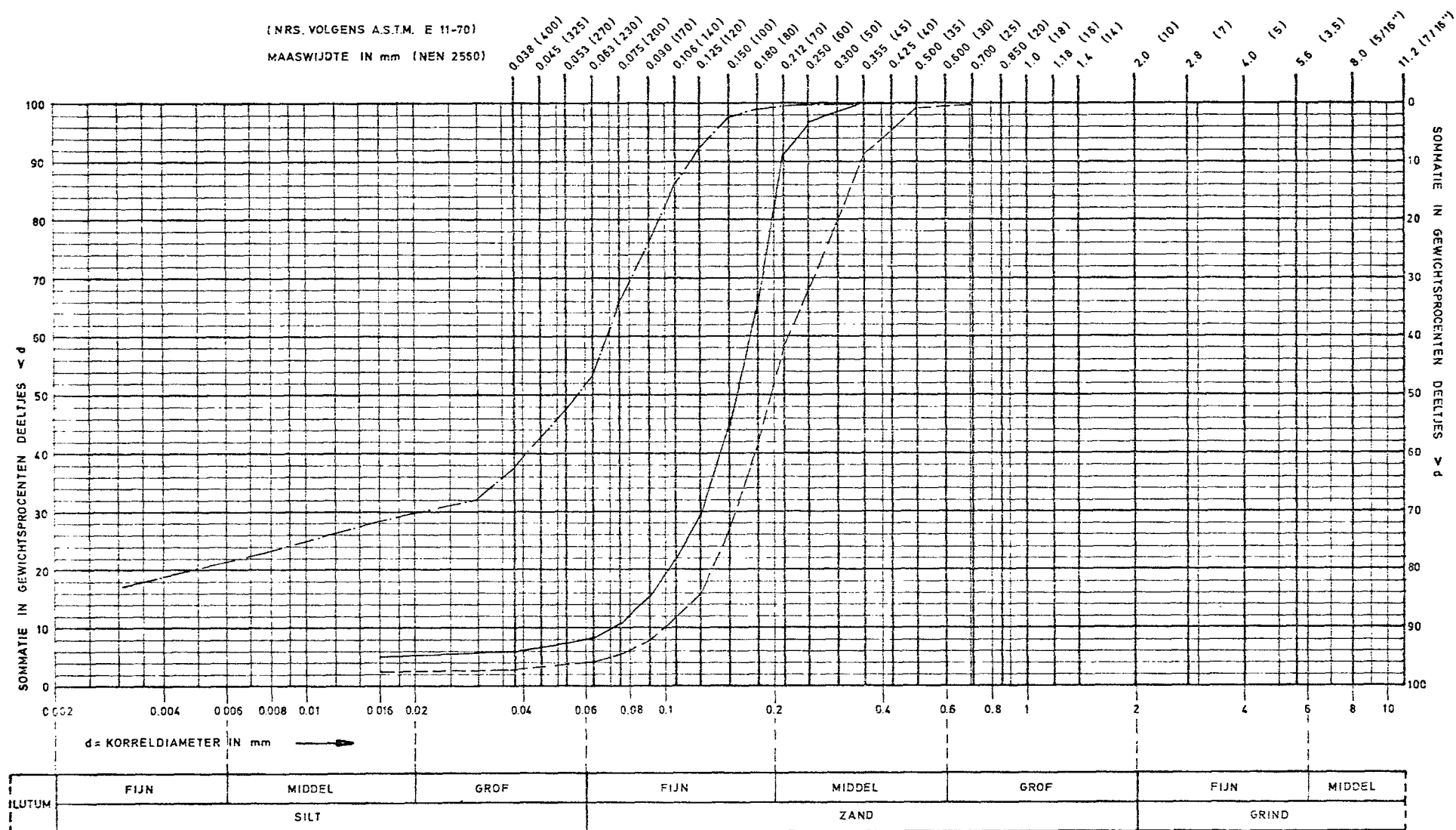
SCHAAL -

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

gem	get	gez
	vdl	
	1-78	

A4

WERKNR. S-77.059
TEK. NR. 77.274



— monster 1
 --- monster 2
 --- monster 3

WEL 9 MONSTERS 9-1, 9-2 en 9-3
 KORRELVERDELINGSDIAGRAM

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
 WATERKERINGEN

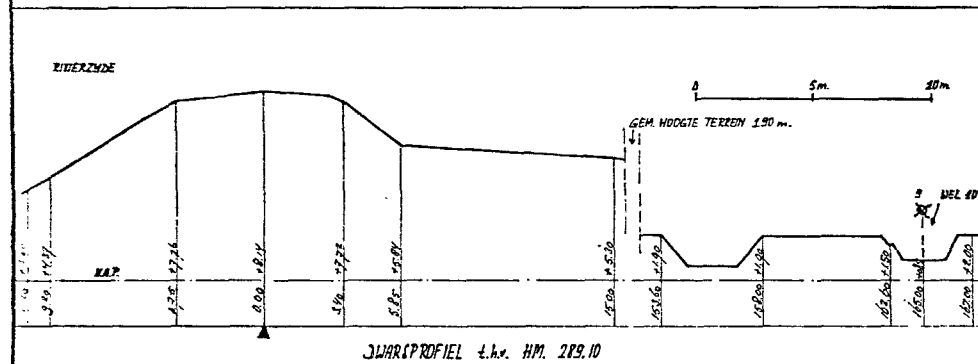
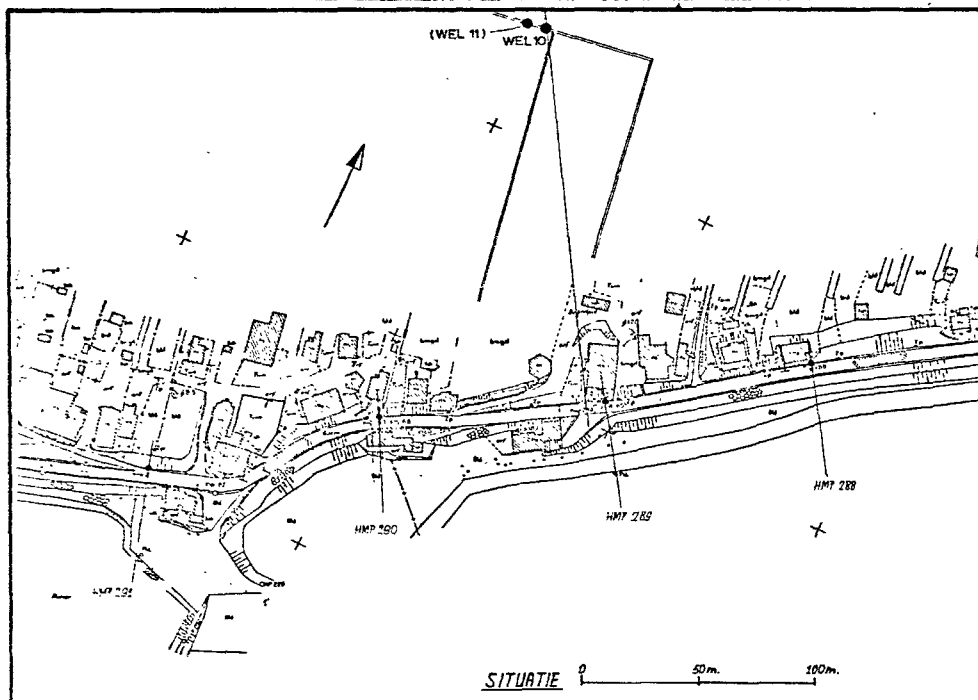
gem	get	gez
	vdl	
	1-78	

BIJLAGE 16

SCHAAL -

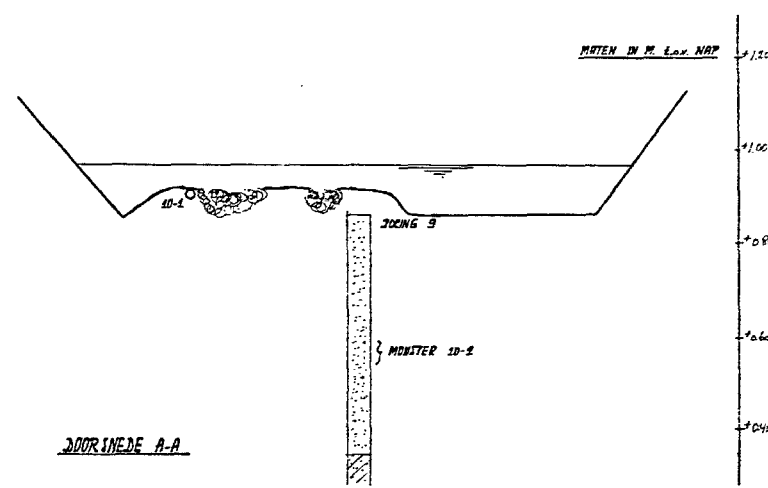
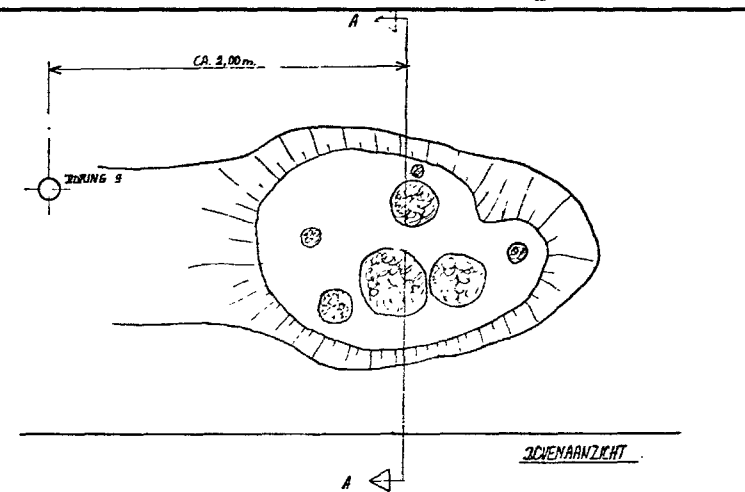
A4

WERKNR. S-77.059
 TEK NR 77.276



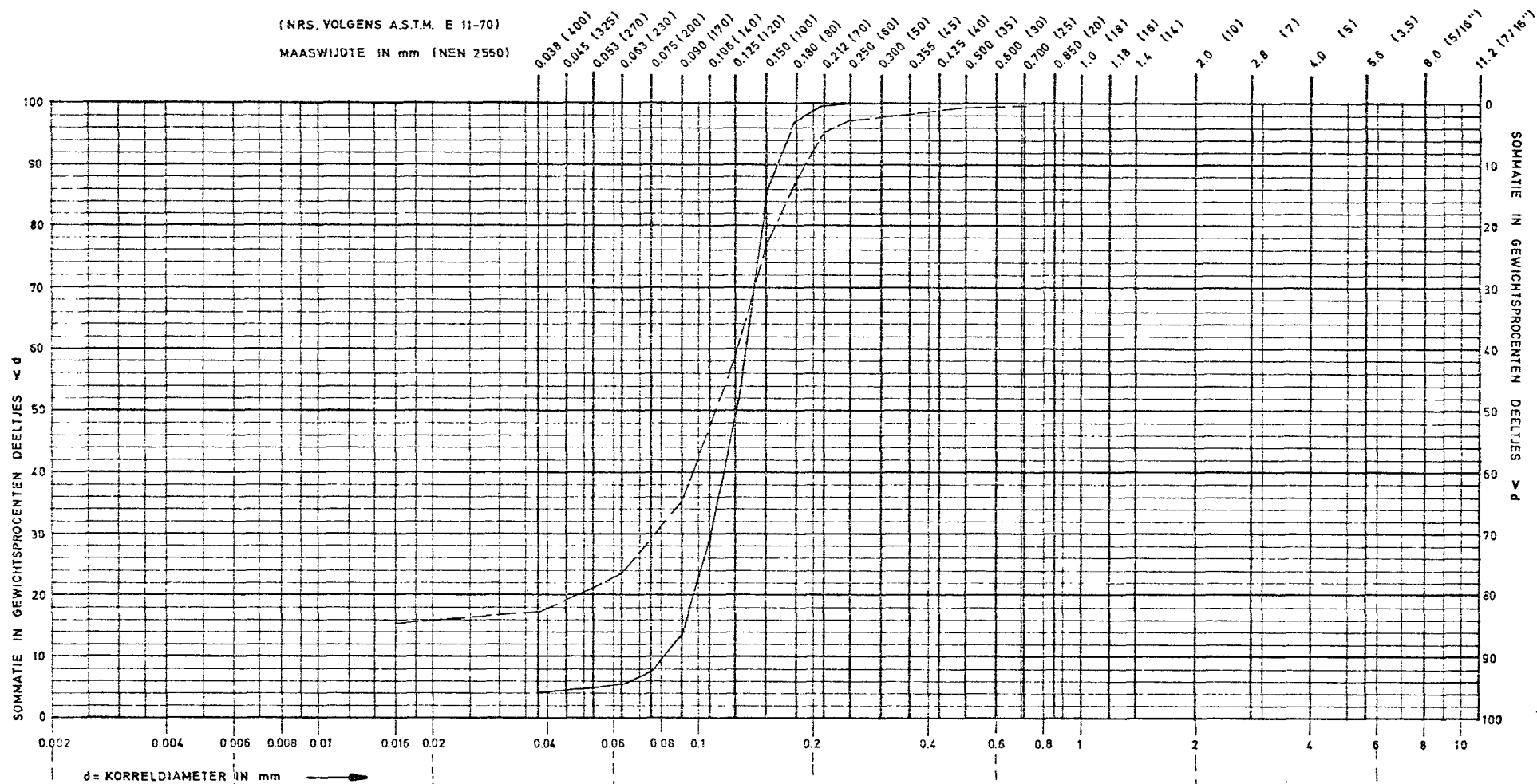
WEL 10 t.h.v. HM 289.10

ZANDMONSTER VAN RANDWEL NR. 10-1
ZIE DOORSNEDEN A-A EN
KVD BIJLAGE 18



WEL 10			BIJLAGE 17	
TIELERWAARD			VOOR FOTO ZIE BLAD 4	
CENTRUM VOOR ONDERZOEK			VAN FOTOBILJAGE	
WATERKERINGEN			A4	
			WERKNR S-77.059	
			TEK NR 77.277	

(NRS. VOLGENS A.S.T.M. E 11-70)
MAASWIJDE IN mm (NEN 2550)



ILUTUM	FIJN	MIDDEL	GROF	FIJN	MIDDEL	GROF	FIJN	MIDDEL
	SILT			ZAND			GRIND	

— monster 1
--- monster 2

WEL 10 MONSTERS 10-1 en 10-2
KORRELVERDELINGSDIAGRAM

BIJLAGE 18

SCHAAL -

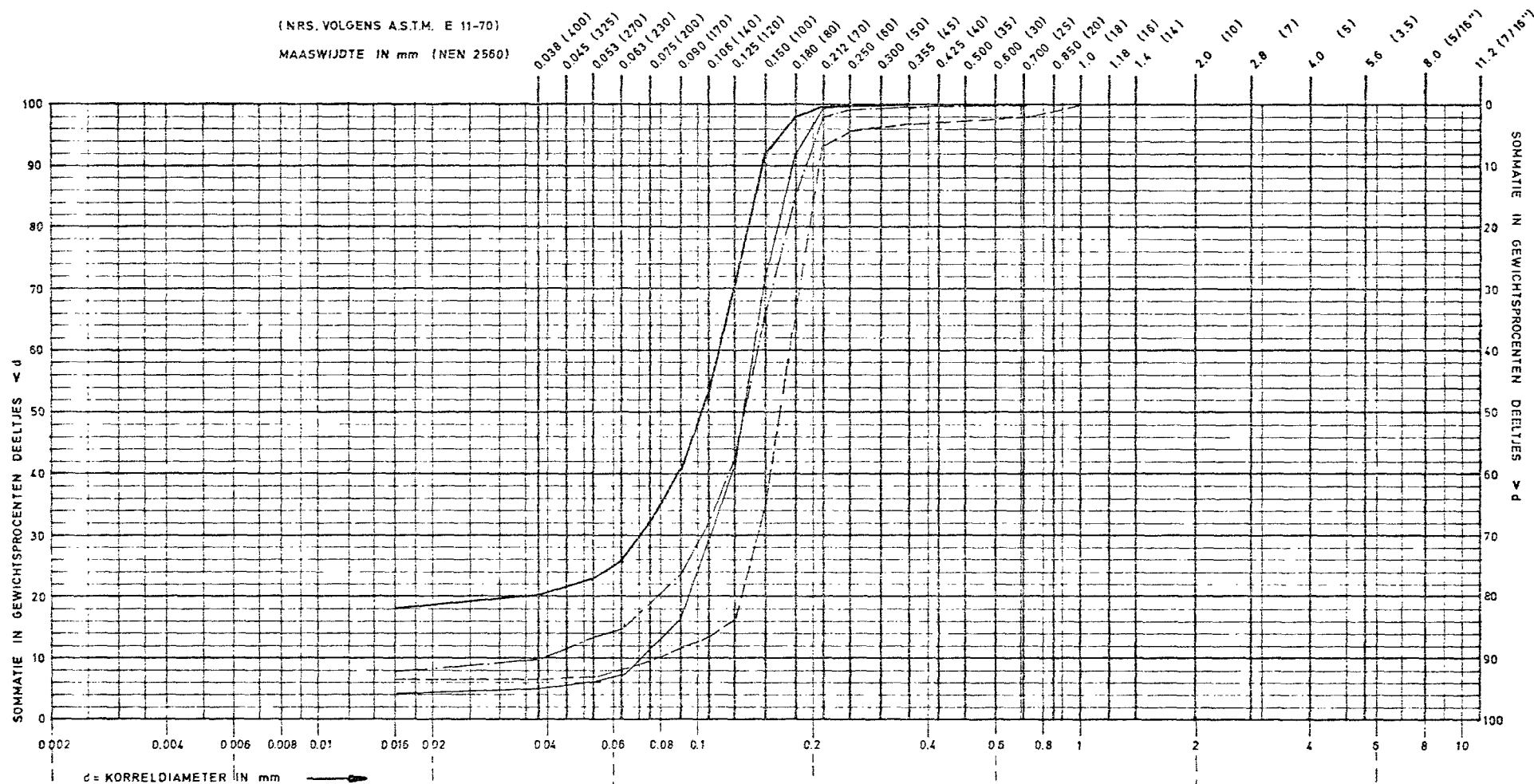
CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

gem	get	gez
	vdl	
	1-78	

A4

WERKNR. S-77.059
TEK. NR. 77.278

(NRS. VOLGENS A.S.T.M. E 11-70)
MAASWIJDTE IN mm (NEN 2560)



ILUTUM	FIJN	MIDDEL	GROF	FIJN	MIDDEL	GROF	FIJN	MIDDEL
	SILT			ZAND			GRIND	

— monster 1 — monster 4
 --- monster 2
 ... monster 3

WEL 11 MONSTERS 11-1, 11-2, 11-3 en 11-4
 KORRELVERDELINGSDIAGRAM

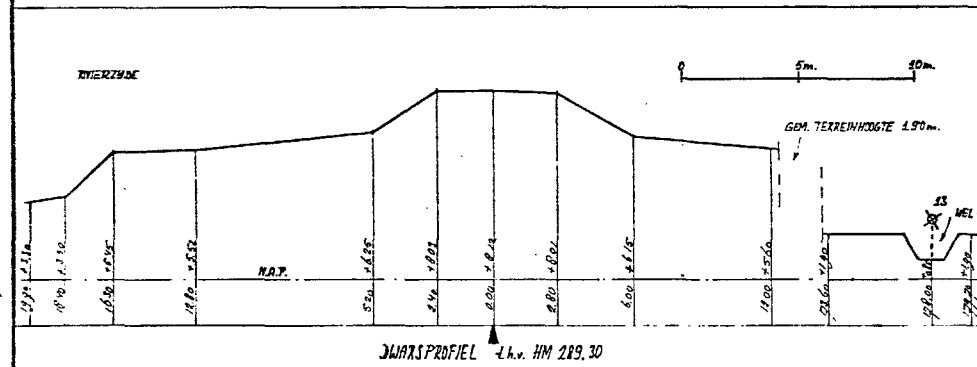
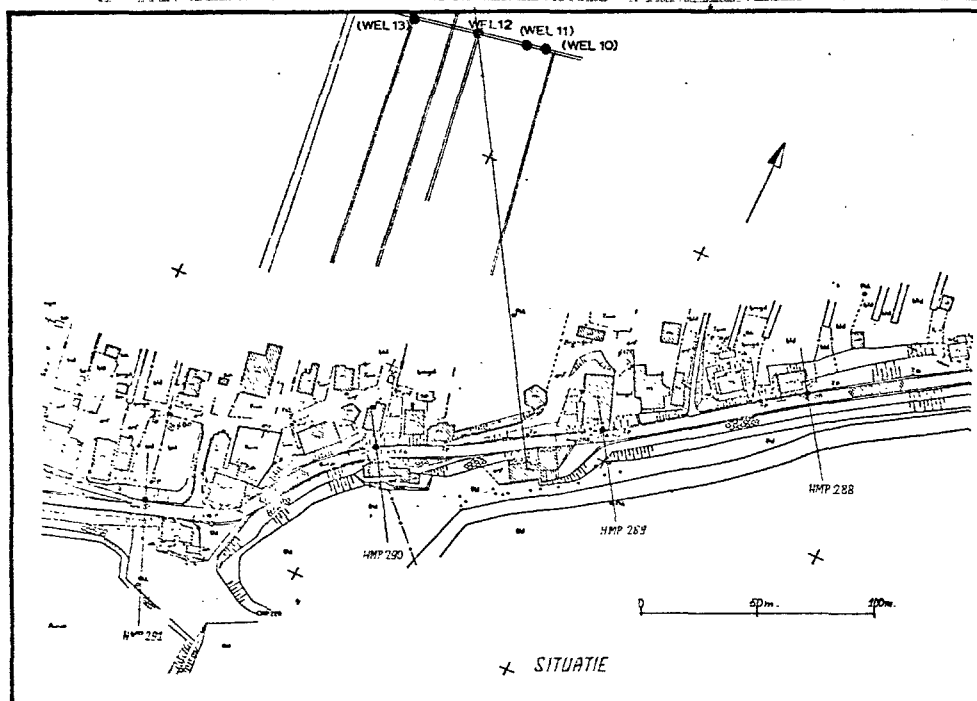
CENTRUM VOOR ONDERZOEK
 WATERKERINGEN

gem	get	gez
	vdl	
	1-78	

BIJLAGE 20

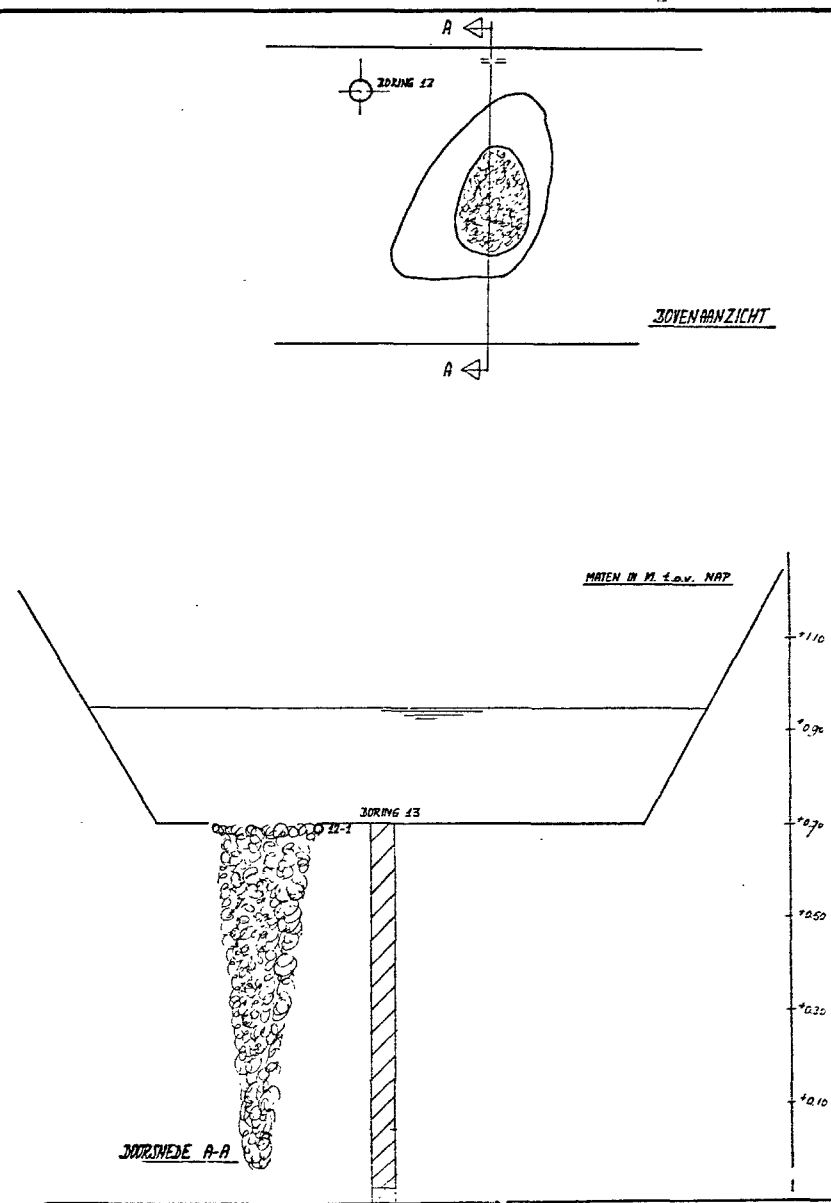
SCHAAL -

A4	WERKNR. S-77.059
	TEK. NR 77.280



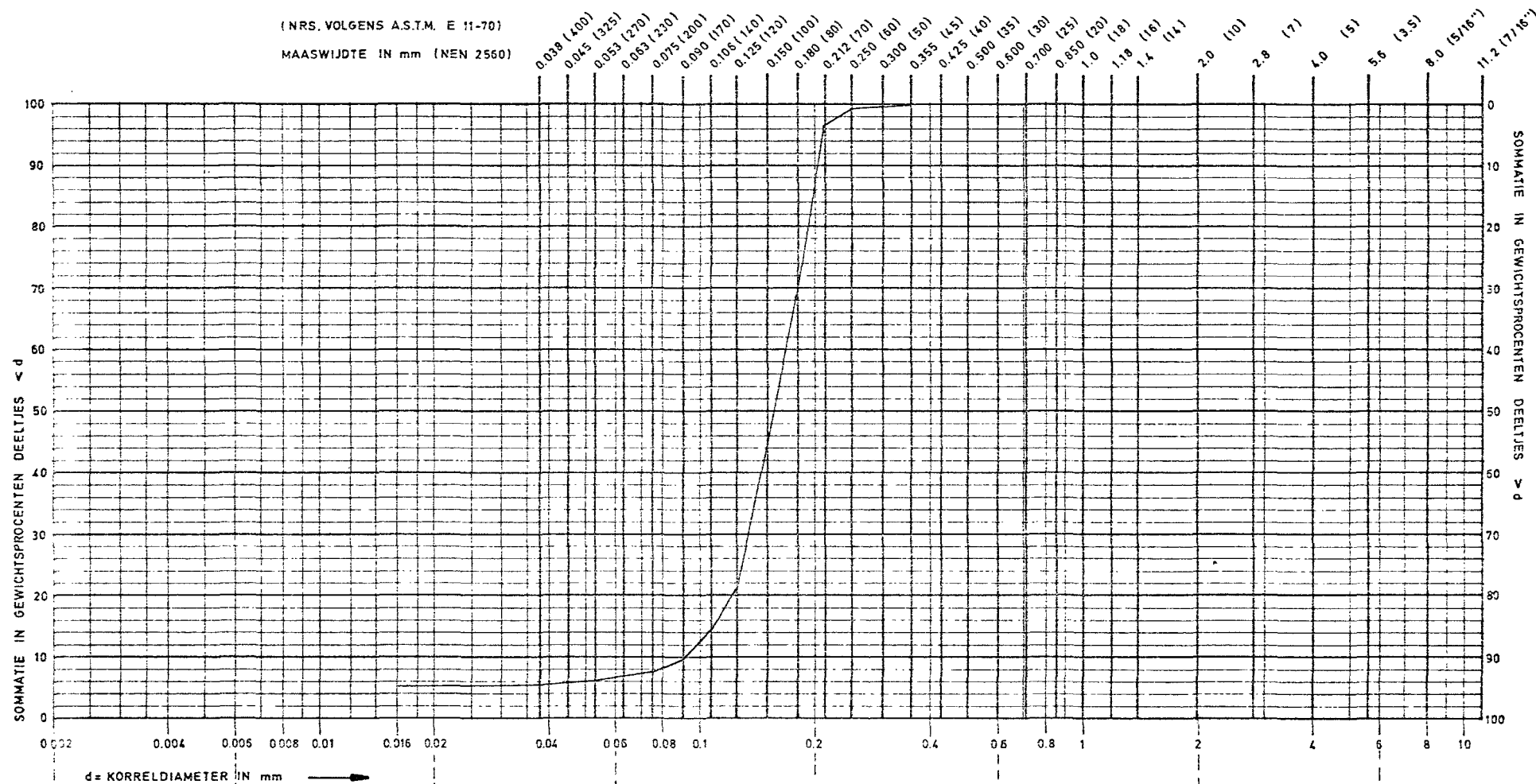
WEL 12 t.h.v. HM 289.30

ZANDMONSTER 30cm UIT WEL : O NR. 11-1 (2DE ZODRANEE A-A en KID 30cm 11)



WEL 12				BIJLAGE 21	
TIELERWAARD					
CENTRUM VOOR ONDERZOEK		gem	get	gez	
WATERKERINGEN			vdi		
		10-77			
		A4		WERKNR S-77.059	
				TEK. NR 77.281	

(NRS. VOLGENS A.S.T.M. E 11-70)
MAASWIJDTE IN mm (NEN 2560)



ILUTUM	FIJN	MIDDEL	GROF	FIJN	MIDDEL	GROF	FIJN	MIDDEL
	SILT			ZAND			GRIND	

— monster 1

WEL 12 MONSTER 12-1
KORRELVERDELINGSDIAGRAM

TIELERWAARD

BIJLAGE 22

SCHAAL -

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

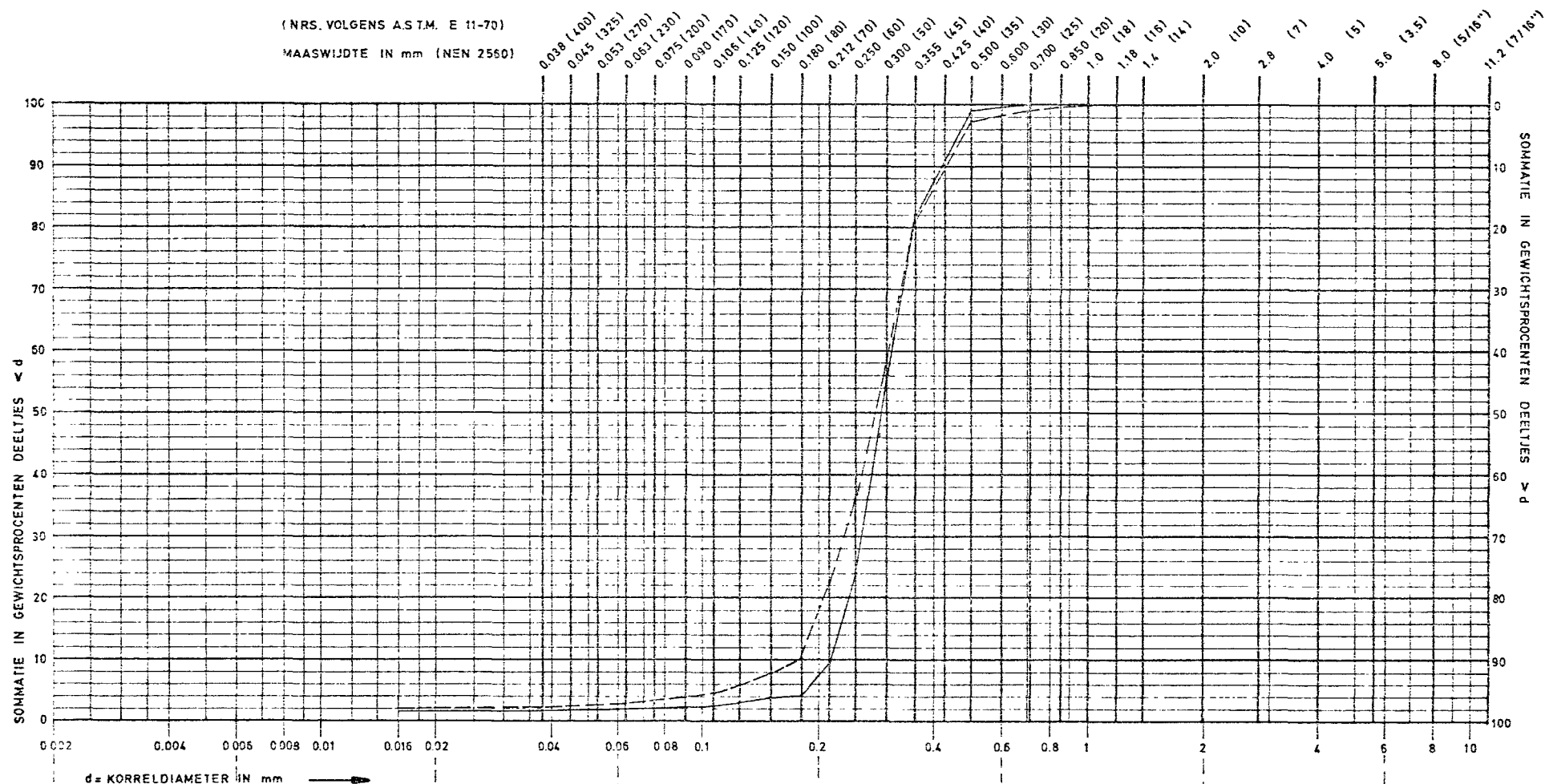
gem	get	gez
	vdl	
	1-78	

A4

WERKNR. S-77.059
TEK. NR. 77.282

(NRS. VOLGENS A.S.T.M. E 11-70)

MAASWIJDTE IN mm (NEN 2560)



FLUTUM	FIJN	MIDDEL	GROF	FIJN	MIDDEL	GROF	FIJN	MIDDEL
	SILT			ZAND			GRIND	

— monster 1

- - - monster 2

WEL 14 MONSTERS 14-1 en 14-2
KORRELVERDELINGSDIAGRAM

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

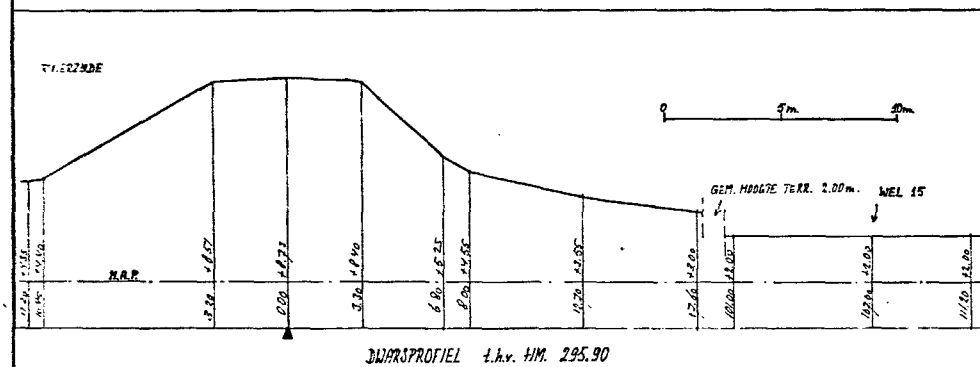
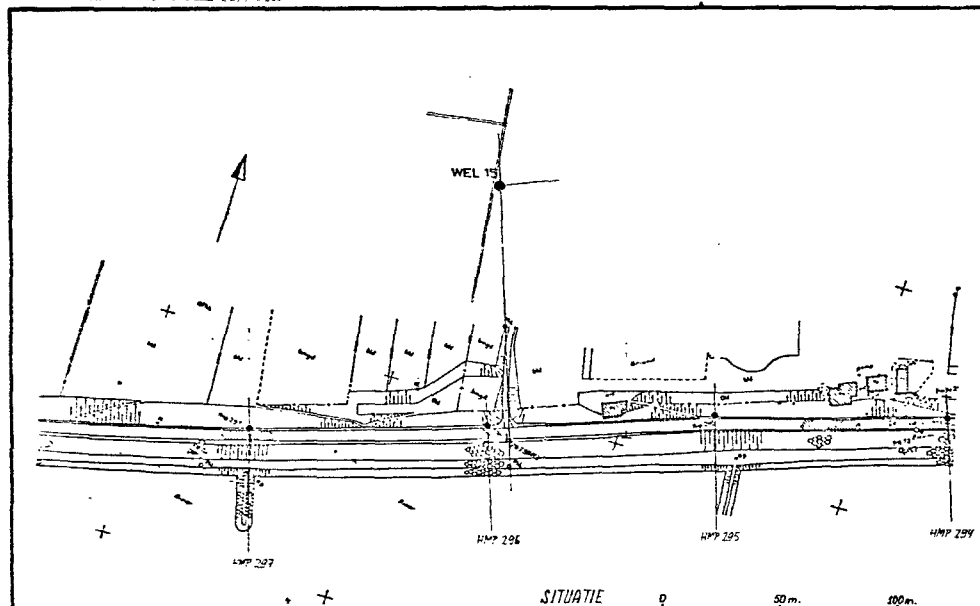
gem	get	gez
	vdl	
	1-78	

BIJLAGE 24

SCHAAL -

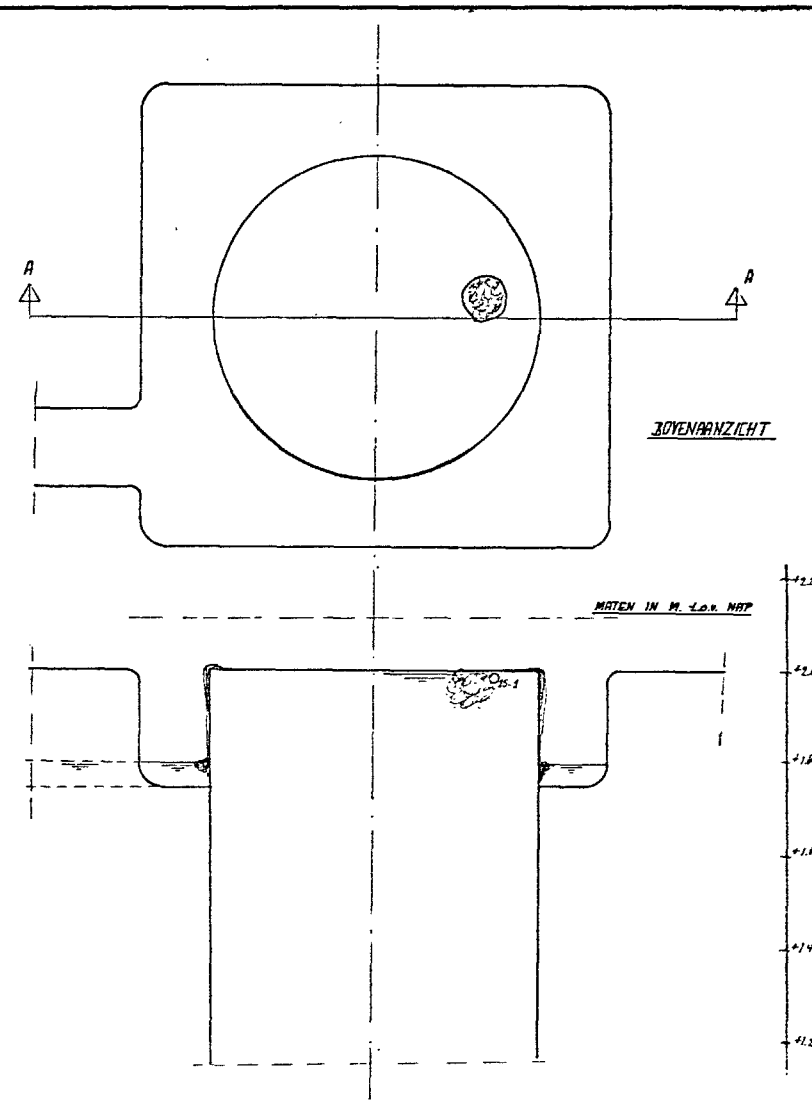
A4

WERKNR. S-77.059
TEK NR 77.284



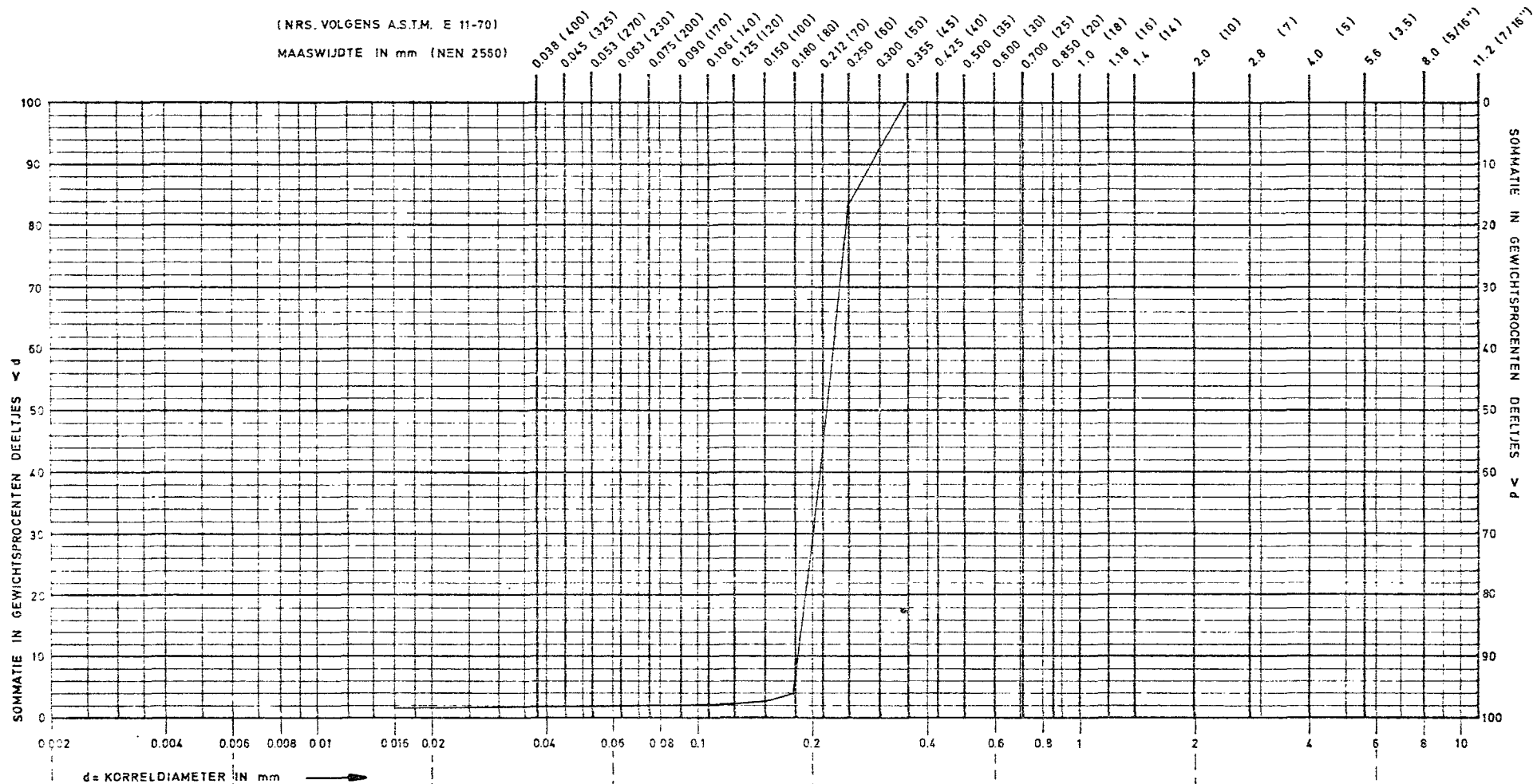
WEL 15 t.h.v. HM 295.90

ZANDPOMPEL UIT WELTUN,
O. NR. 15-1
ZIE DOORSNEDEN A-A EN KUD ZYRIGE 26



WEL 15				BIJLAGE 25	
TIELERWAARD					
CENTRUM VOOR ONDERZOEK				gem	get
WATERKERINGEN				vd1	gez
				10-77	
				A4	WERKNR S-77.059
					TEK. NR 77.285

(NRS. VOLGENS A.S.T.M. E 11-70)
MAASWIJDTE IN mm (NEN 2550)



ILUTUM	FIJN	MIDDEL	GROF	FIJN	MIDDEL	GROF	FIJN	MIDDEL
	SILT			ZAND			GRIND	

— monster 1

WEL 15 MONSTER 15-1 TIELERWAARD
KORRELVERDELINGSDIAGRAM

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

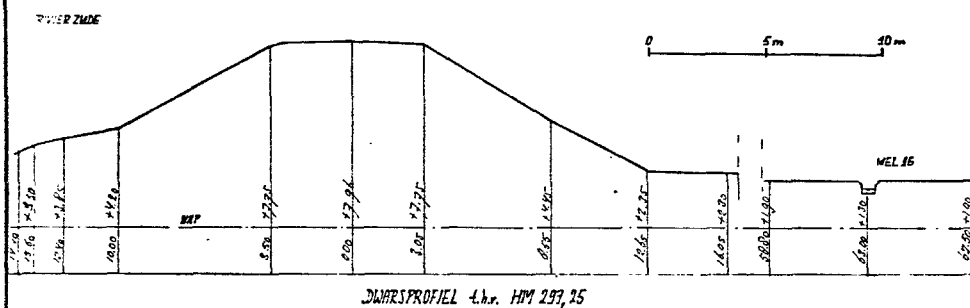
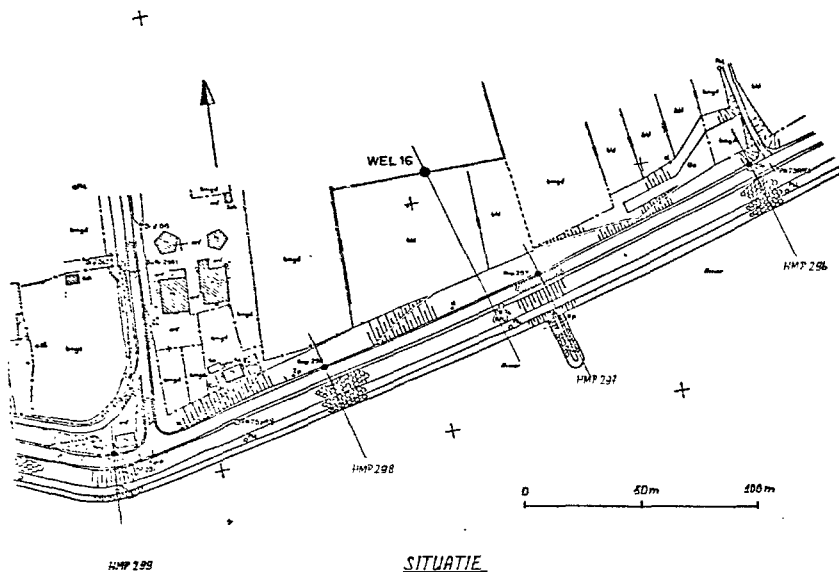
gem	get	gez
	vdl 1-78	<i>[Signature]</i>

BIJLAGE 26

SCHAAL —

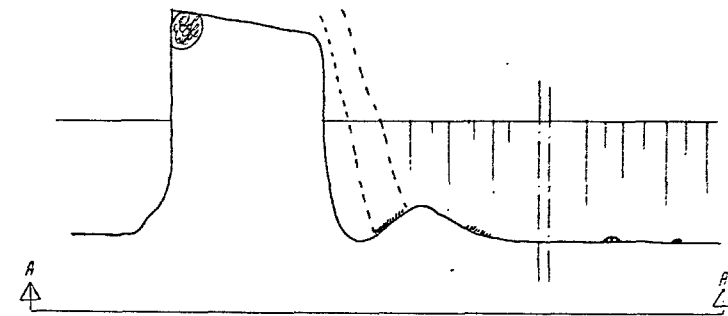
A4

WERKNR. S-77.059
TEK. NR. 77.286

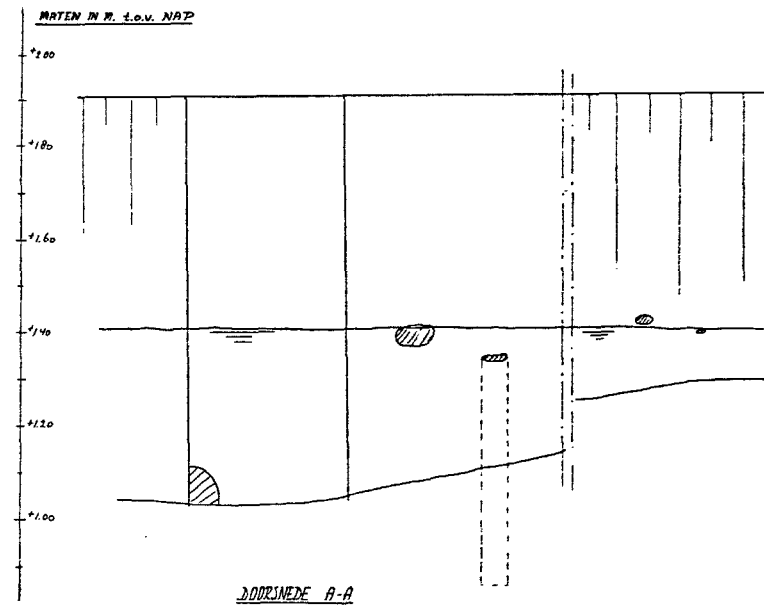


WEL 16 4.1.1. H.M. 297,25

ZANDMONSTER 3m. STROOMAFWAARTS GENOMEN
ZIE KYB BIJLAGE 28



SOVENAANZICHT



WEL 16
TIELERWAARD

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

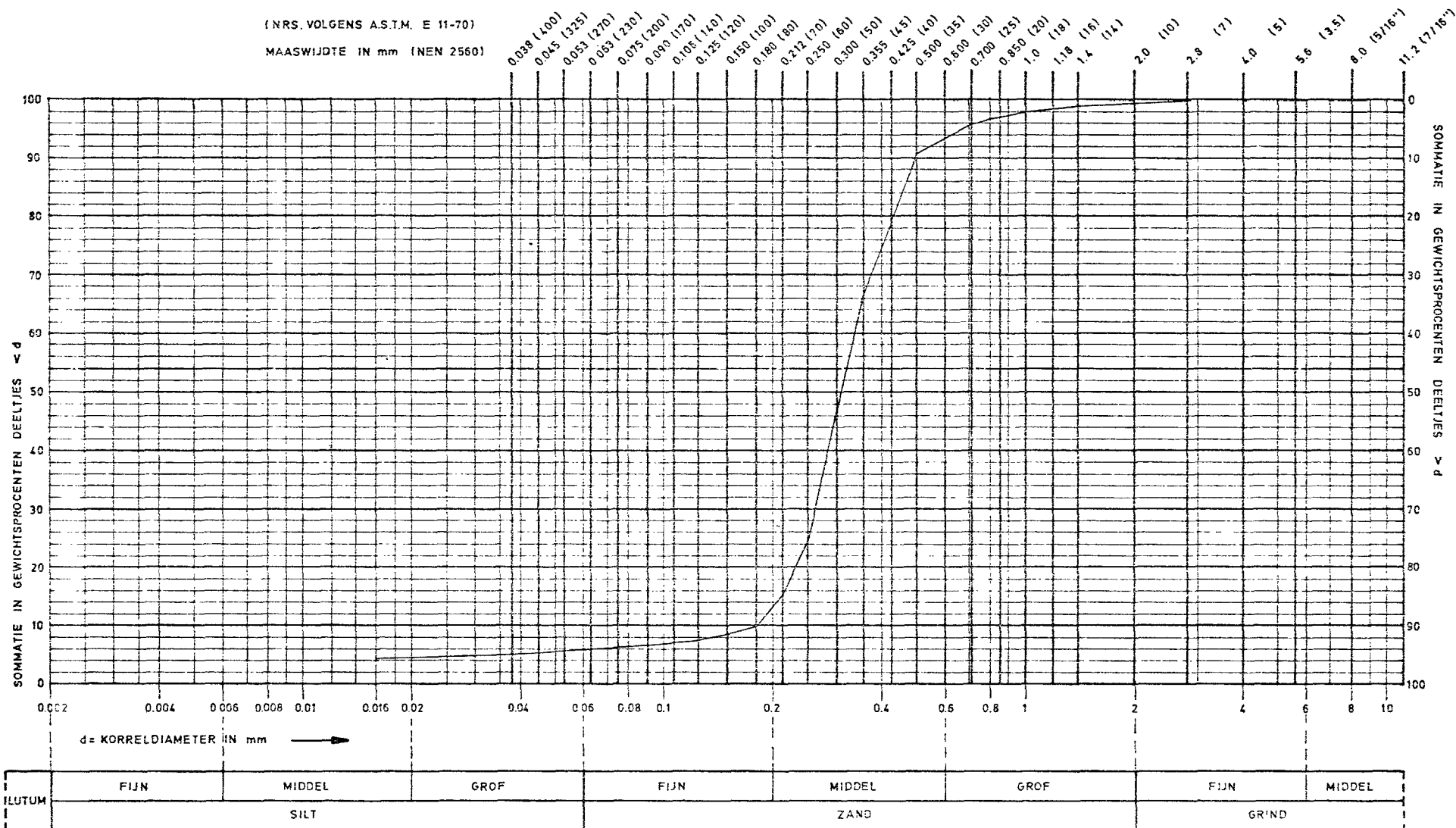
gem	get	gez
	vdI	
	10-77	

BIJLAGE 27

VOOR FOTO ZIE BLAD 6 + 7
VAN FOTOBIJLAGE

WERKNR. S-77.059
TEK. NR. 77.287

(NRS. VOLGENS A.S.T.M. E 11-70)
 MAASWIJDE IN mm (NEN 2560)



— monster 1

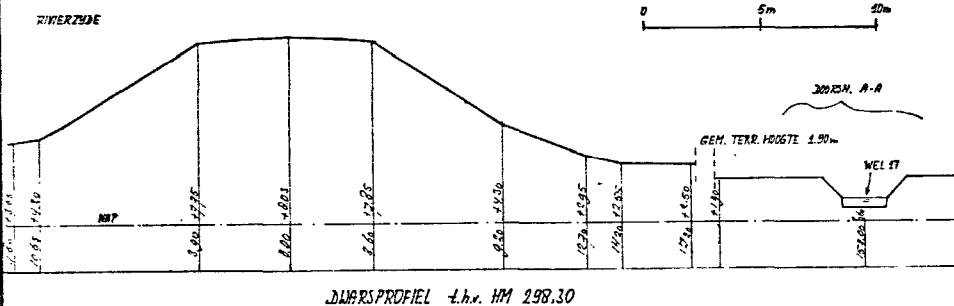
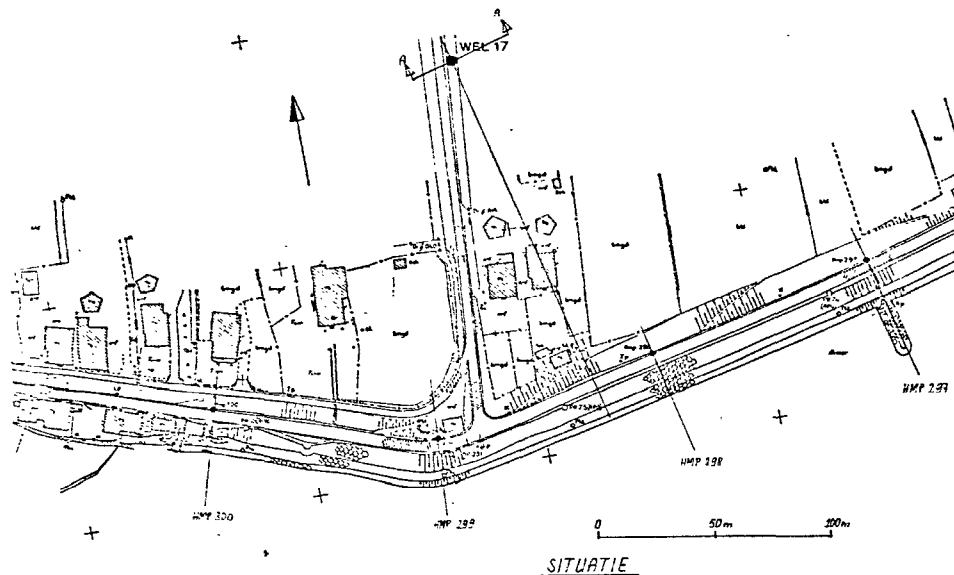
WEL 16 MONSTER 16-1 TIELERWAARD
 KORRELVERDELINGSDIAGRAM

BIJLAGE 28

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
 WATERKERINGEN

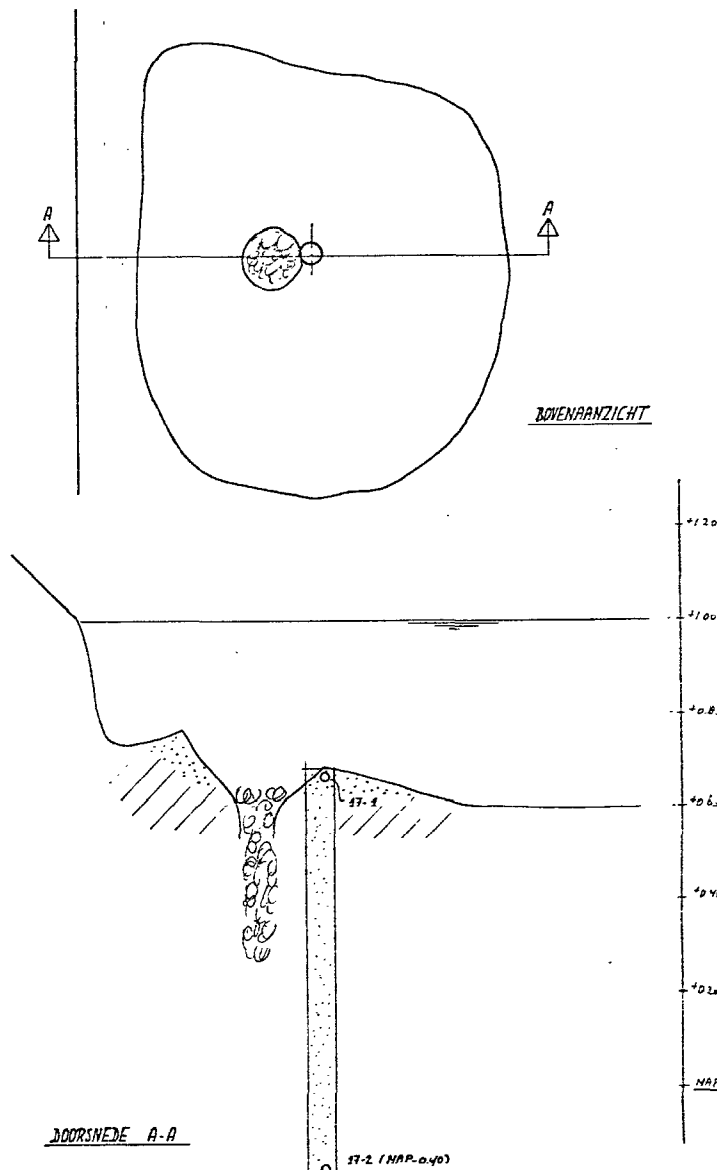
gem	get	gez
	vdl 1-78	<i>[Signature]</i>

SCHAAL	—
A4	WERKNR. S-77.059 TEK. NR 77.288



WEL 17 t.h.v. HM 298.30

ZANDWINSTER VAN ZAND WEL NR. 17-1
UIT WEL NR. 17-2
ZIE KYD ZSLAGE 30 EN DOORSNEDEN A-A



WEL 17

TIELERWAARD

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

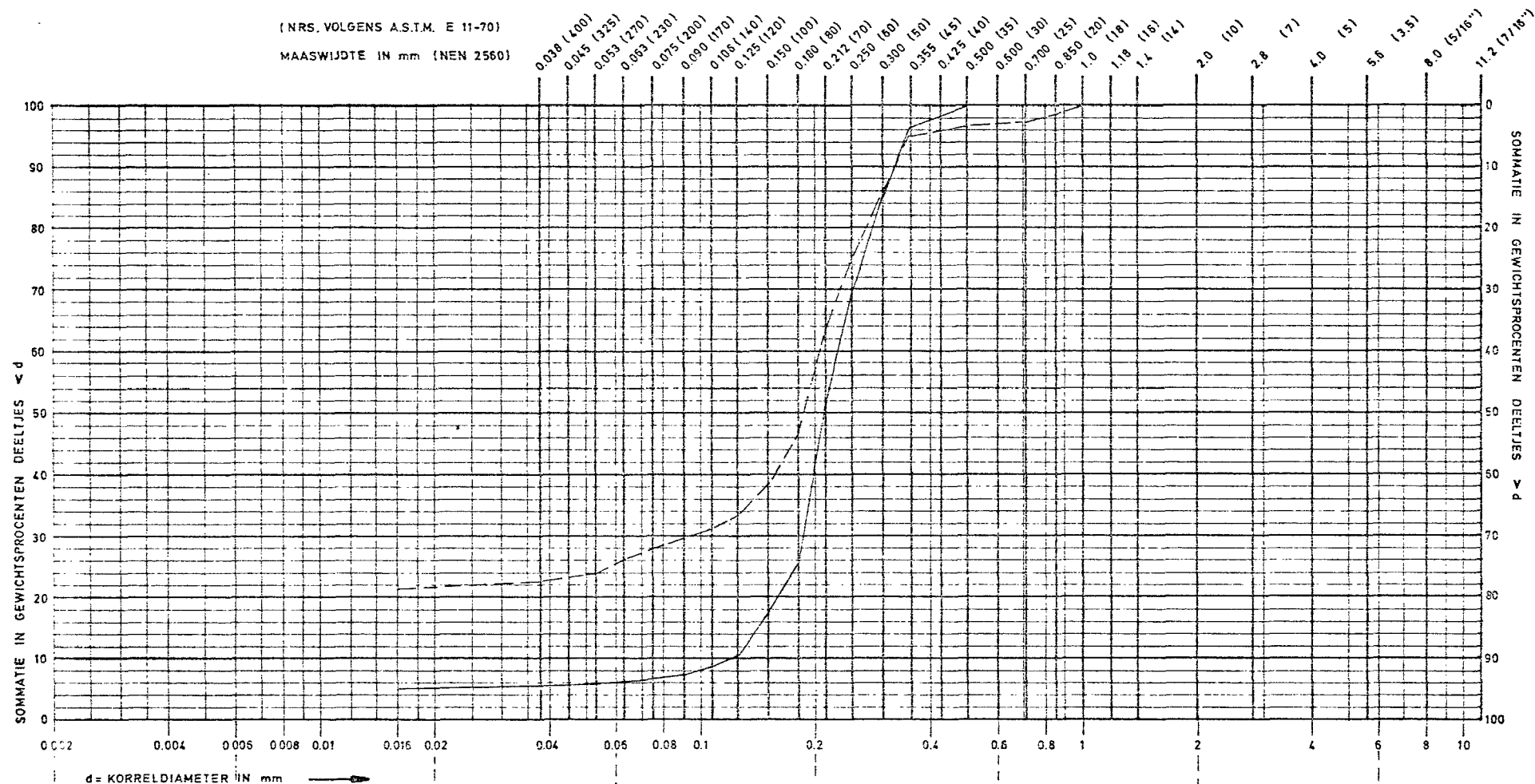
gem	get	gez
	vdI	10-77

BIJLAGE 29

VOOR FOTO ZIE BLAD 7
VAN FOTOBILAGE

A4 WERKNR S-77 059
TEK. NR. 77 289

(NRS. VOLGENS A.S.T.M. E 11-70)
MAASWIJDTE IN mm (NEN 2560)



ILUTUM	FIJN	MIDDEL	GROF	FIJN	MIDDEL	GROF	FIJN	MIDDEL
		SILT			ZAND			GRIND

— monster 1
--- monster 2

WEL 17 MONSTERS 17-1 en 17-2 KORRELVERDELINGSDIAGRAM

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

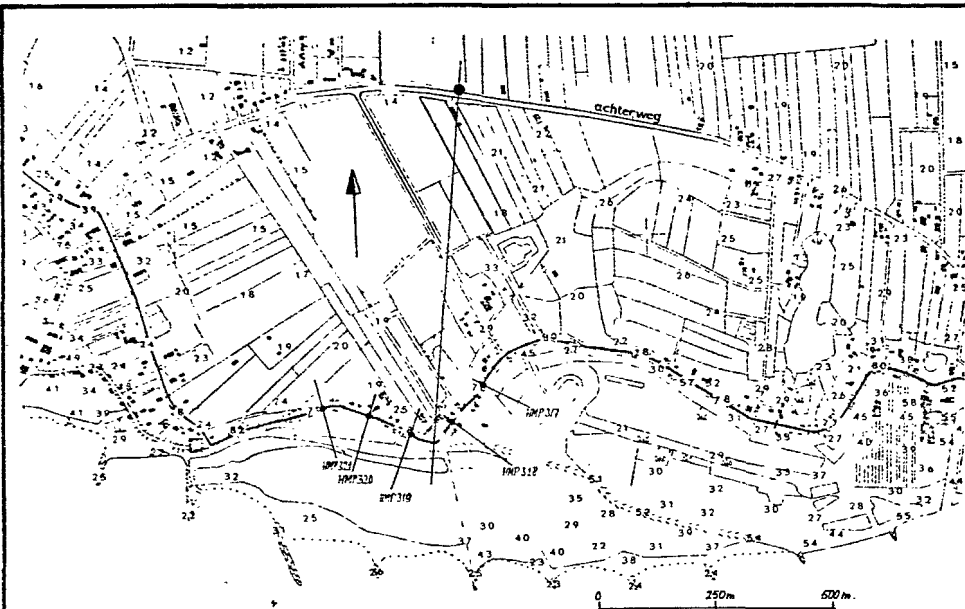
gem	get	gez
	vdl 1-78	<i>[Signature]</i>

BIJLAGE 30

SCHAAL -

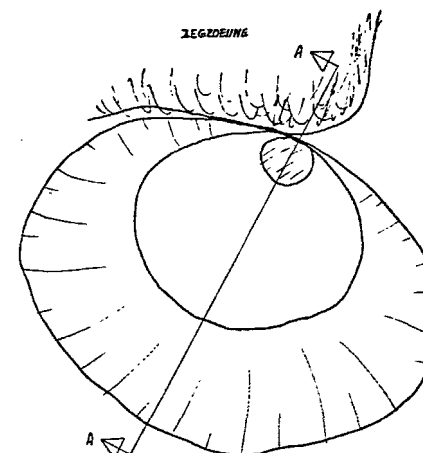
A4

WERKNR. S-77.059
TEK NR 77.290



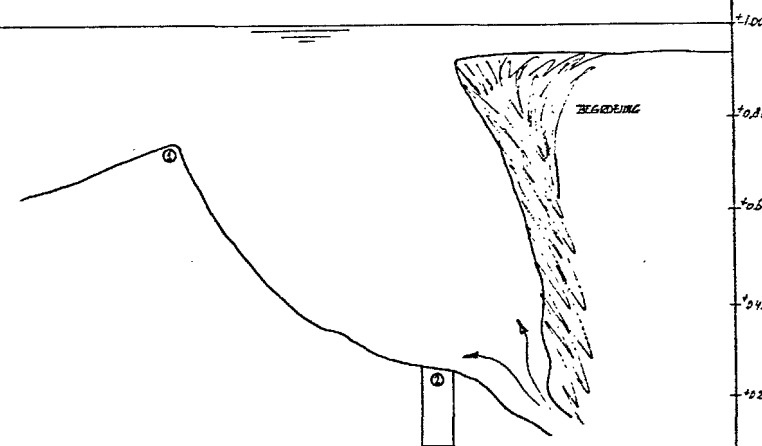
SITUATIE

ZIE KYD BIJLAGE 32



BOVENAANZICHT

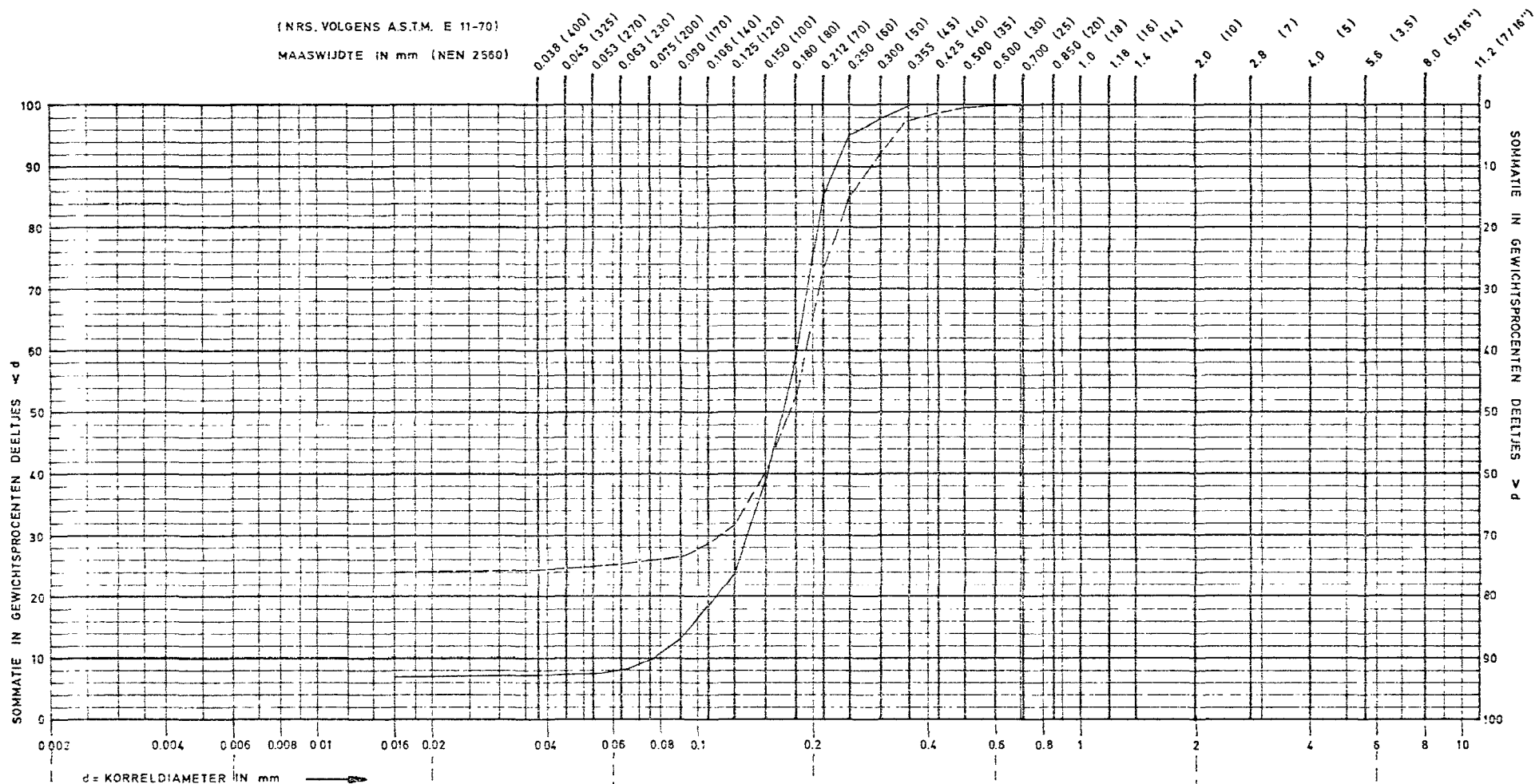
MATEN IN M. t.o.v. NAP



DOORSNEDEN A-A

WEL 18				BIJLAGE 31	
TIELERWAARD				VOOR FOTO ZIE BLAD 8	
CENTRUM VOOR ONDERZOEK				VAN FOTOBILAGE	
WATERKERINGEN				gem	get
				vdI	gez
				10-77	A4
				WERKNR S-77.059	
				TEK NR 77 291	

(NRS. VOLGENS A.S.T.M. E 11-70)
 MAASWIJDTE IN mm (NEN 2560)



WEL 18 MONSTERS 18-1 en 18-2 KORRELVERDELINGSDIAGRAM

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
 WATERKERINGEN

gem
 get
 vdl
 1-78

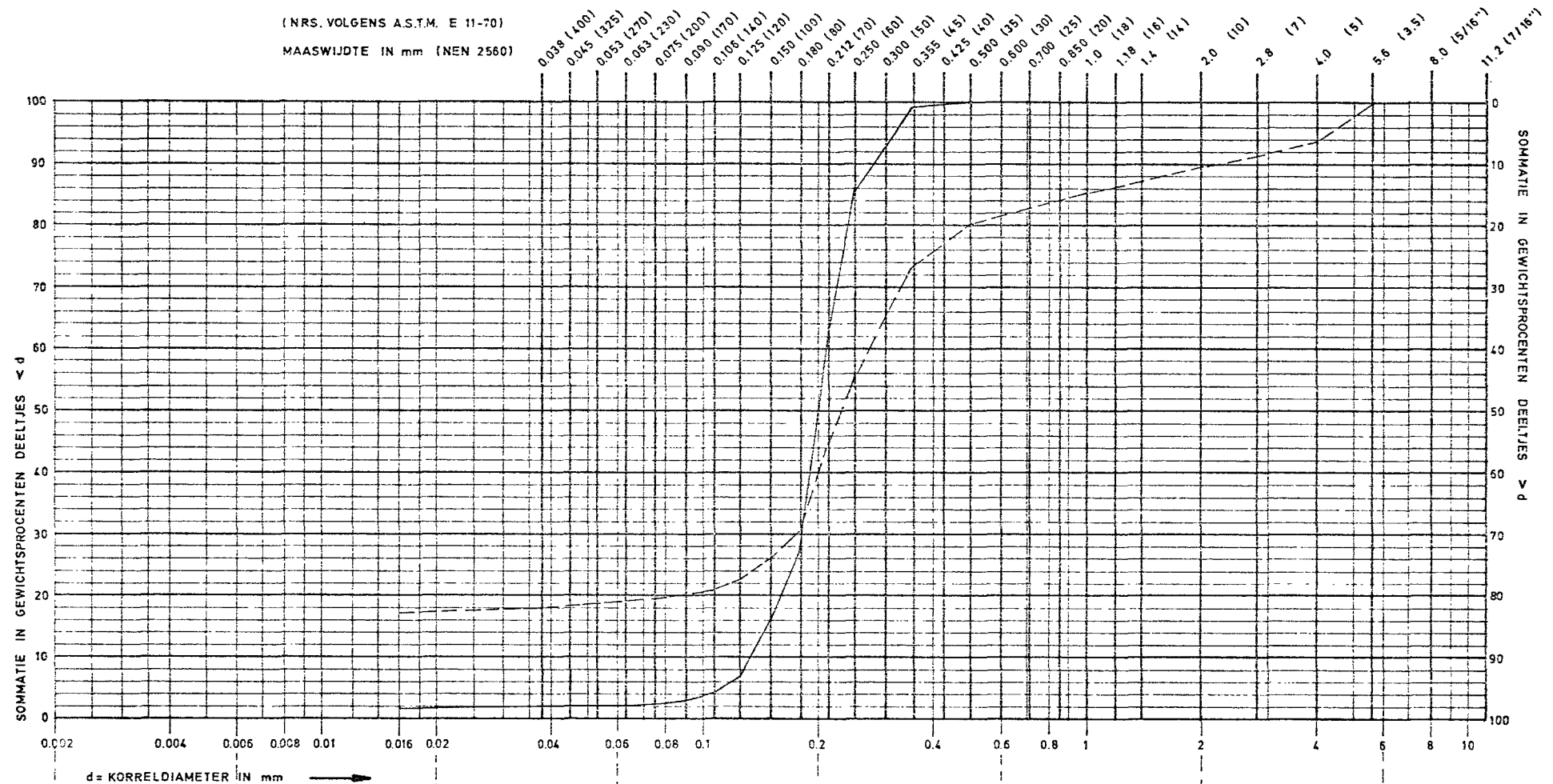
BIJLAGE 32

SCHAAL -

A4

WERKNR S-77.059
 TEK NR 77.292

(NRS. VOLGENS A.S.T.M. E 11-70)
 MAASWIJDTE IN mm (NEN 2560)



WEL 19 MONSTERS 19-1 en 19-2
 KORRELVERDELINGSDIAGRAM

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
 WATERKERINGEN

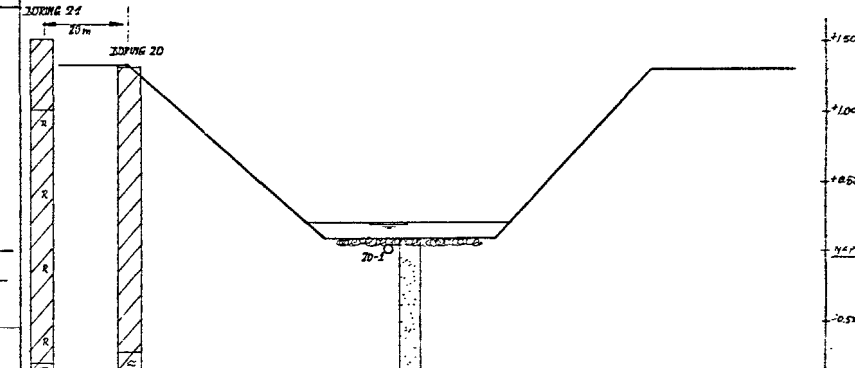
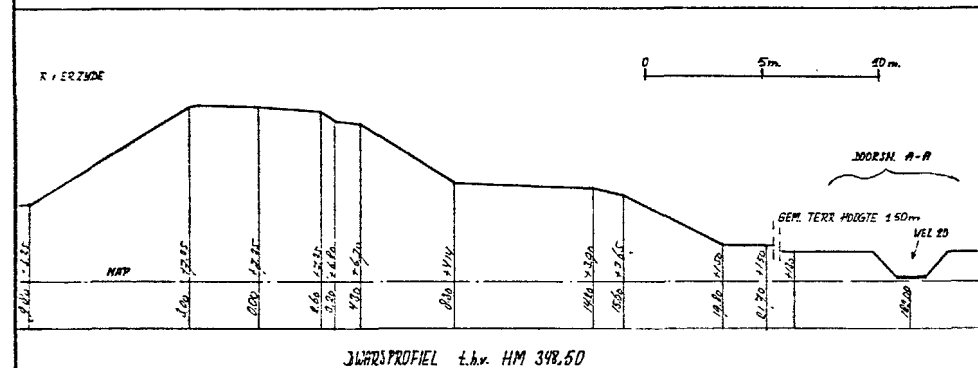
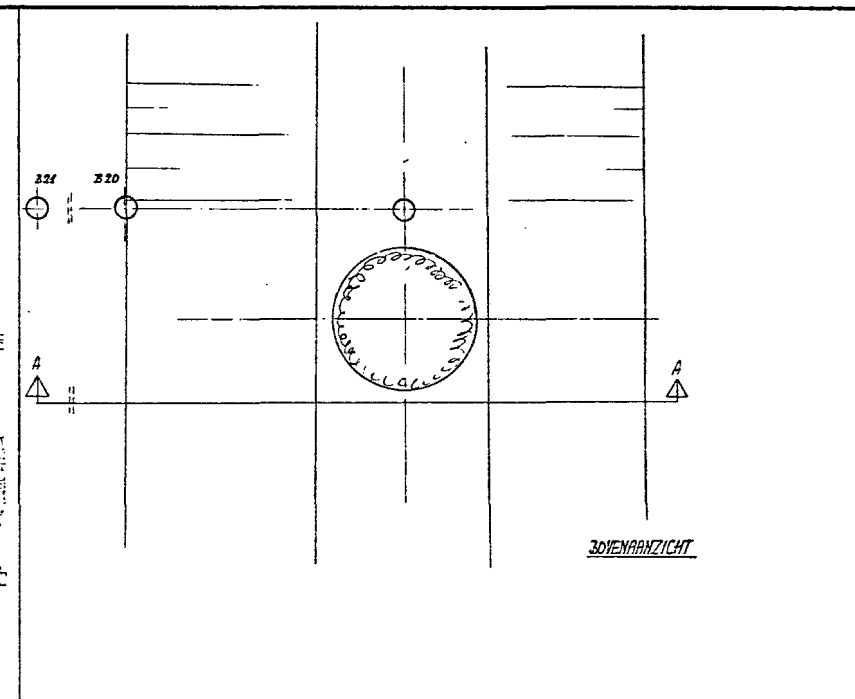
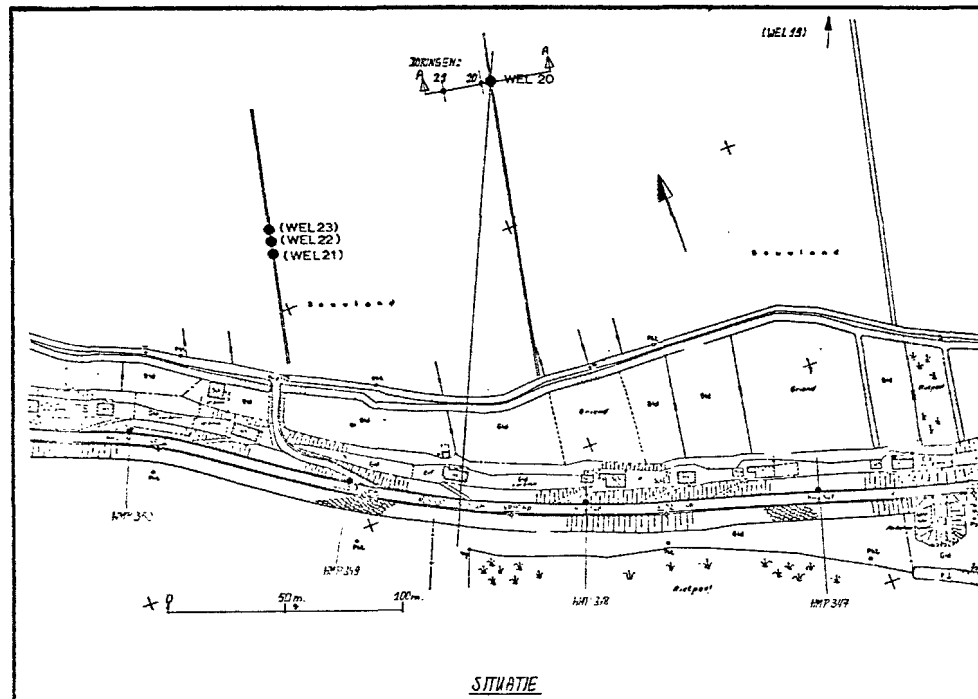
gem	get	gez
	vdl 1-78	<i>[Signature]</i>

BIJLAGE 34

SCHAAL -

A4

WERKNR. S-77.059
 TEK. NR. 77.294



WEL t.h.v. HM 348.50

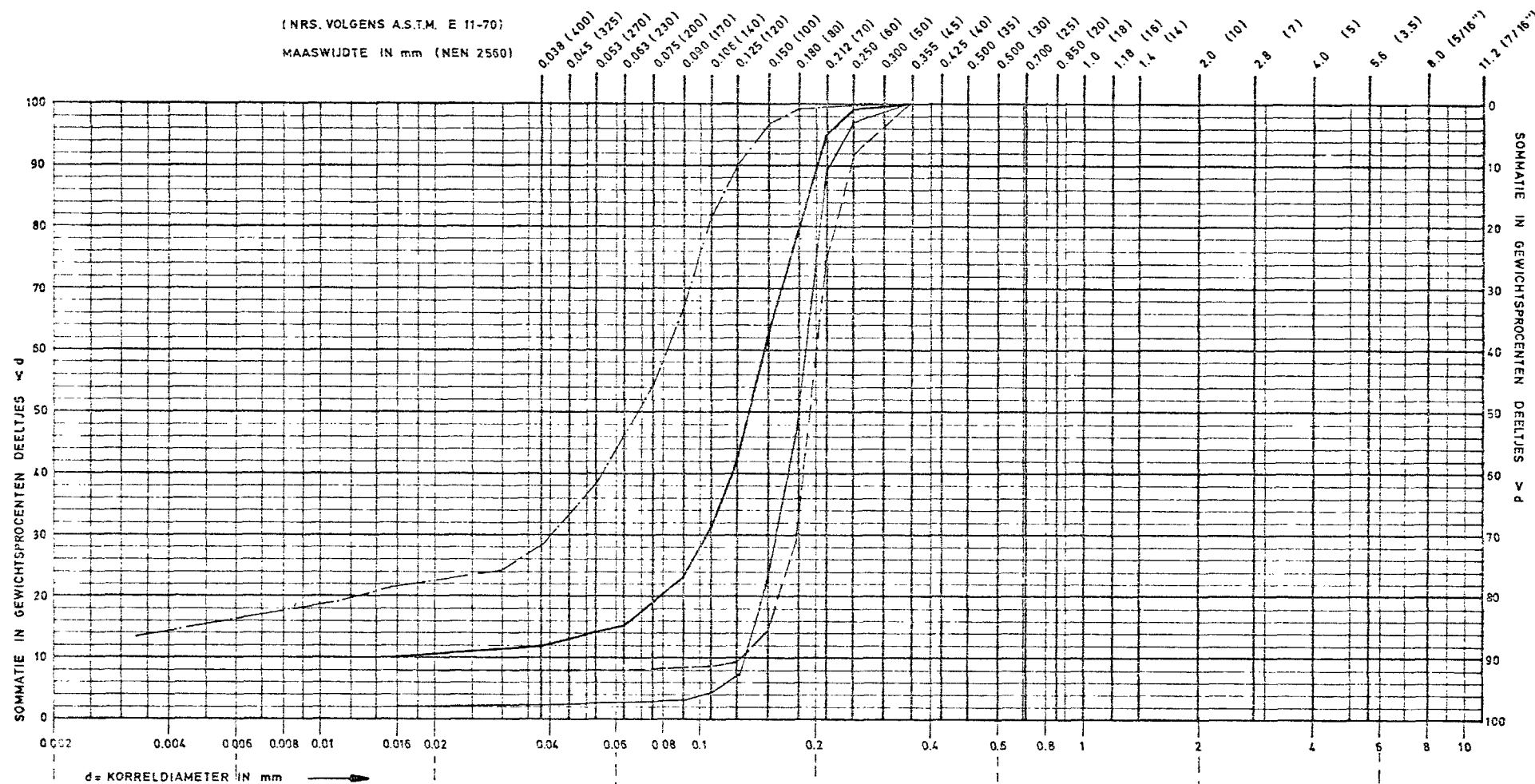
ZANDMONSTER VAN ZAND WEL NR. 20-1

DIT WEL NR. 20-2

KVD ZIE BIJLAGE 37 EN DOORSNEDEN A-A

WEL 20				BIJLAGE 35	
TIELERWAARD				VOOR FOTO ZIE BLAD 9	
CENTRUM VOOR ONDERZOEK				VAN FOTOBILJAGE	
WATERKERINGEN				WERKNR S-77.059	
				TEK NR 77.295	
				A4	

(NRS. VOLGENS A.S.T.M. E 11-70)
MAASWIJDTE IN mm (NEN 2560)



— monster 1
- - - monster 2
- - - monster 3
— monster 4

WEL 20 MONSTERS 20-1, 20-2, 20-3 en 20-4
KORRELVERDELINGSDIAGRAM

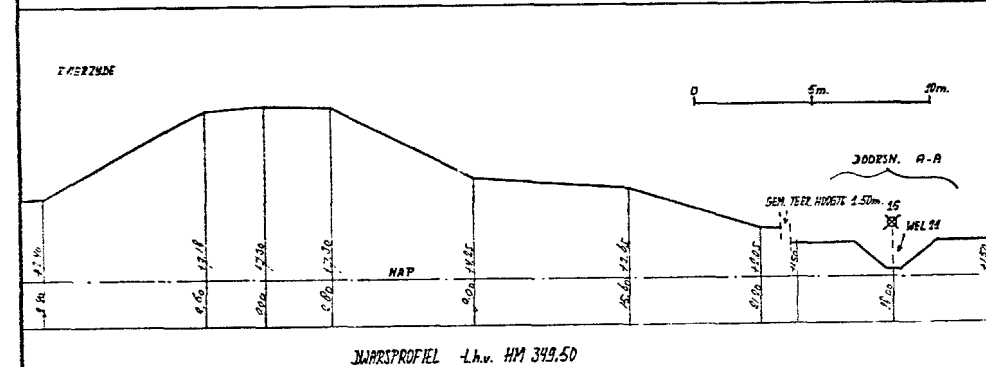
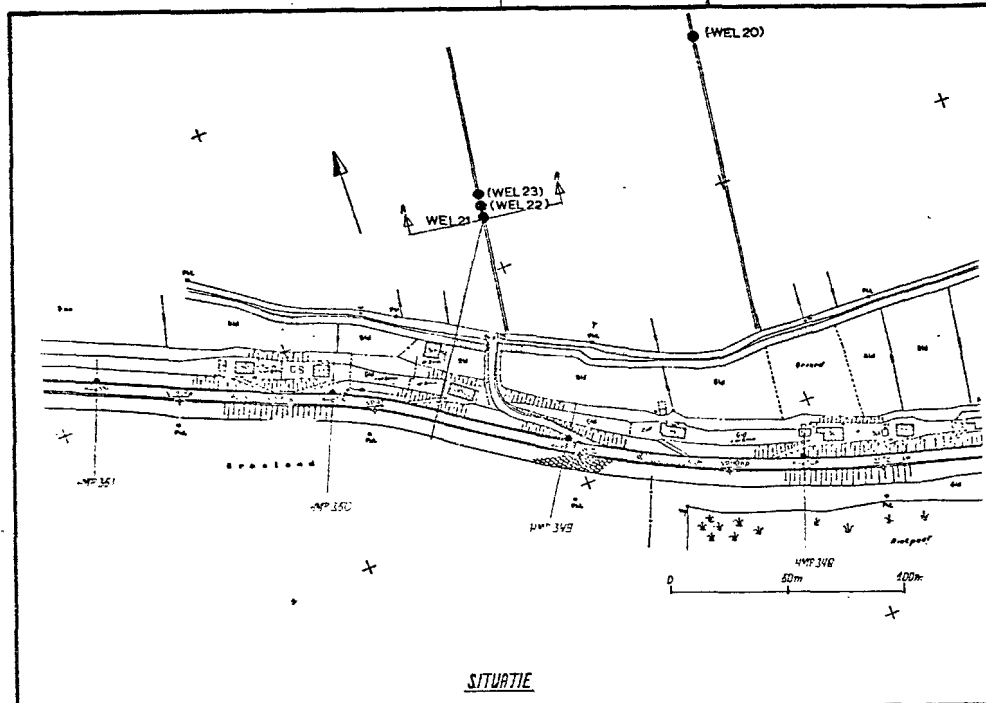
CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

gem	get	gez
	vdl	
	1-78	

BIJLAGE 37

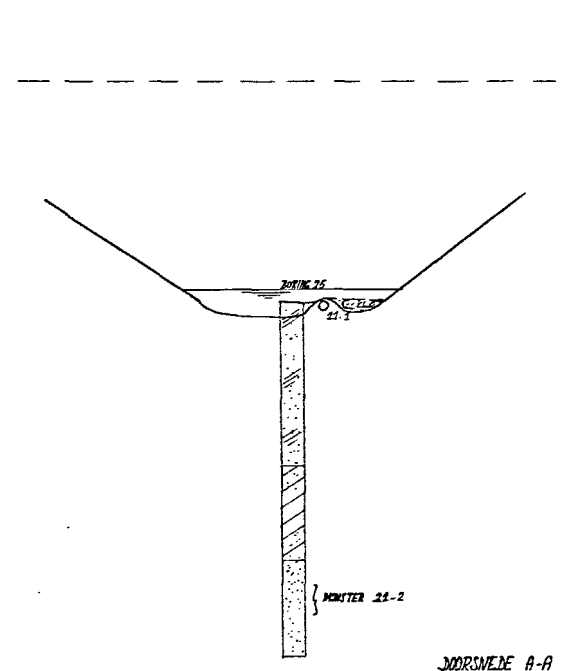
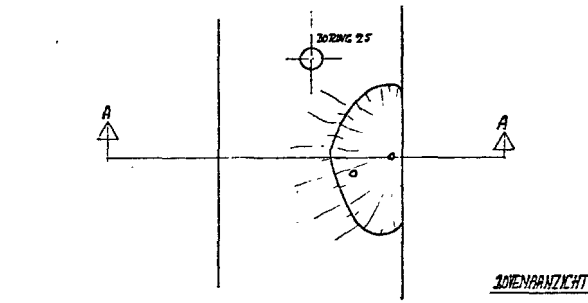
SCHAAL -

A4	WERKNR. S-77.059
	TEK NR. 77.297

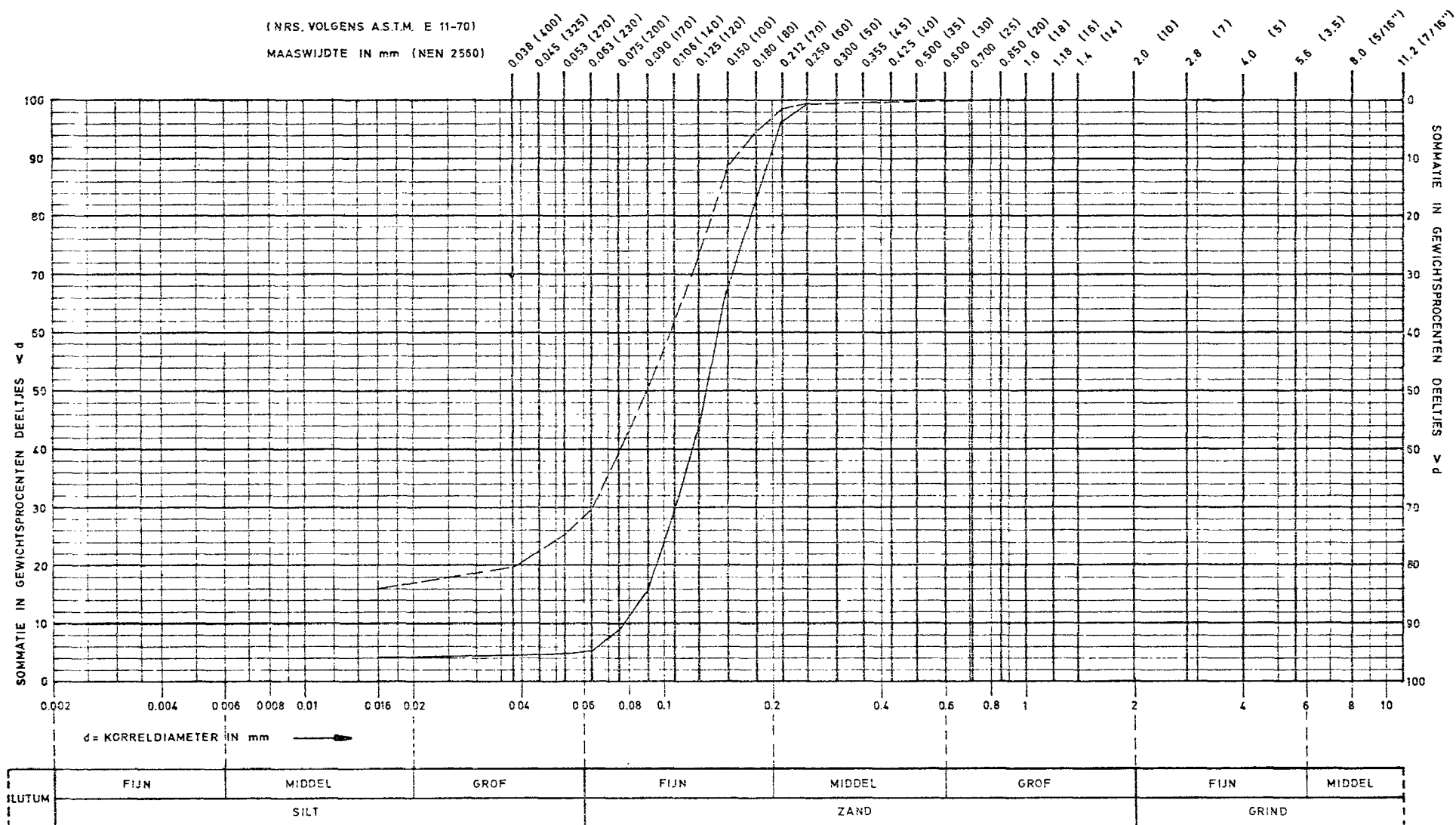


WEL 21 L.H.v. HM 349.50

ZANDMONSTER VAN LAND WEL O 21-1
ZIE DOORSNEDEN A-A EN KYD ZBLAAT 39



WEL 21				BIJLAGE 38	
TIELERWAARD					
CENTRUM VOOR ONDERZOEK				gem	get
WATERKERINGEN				vdI	gez
				10-77	A4
				WERKNR. S-77.059	
				TEK. NR 77.299	



— monster 1
- - - monster 2

WEL 21 MONSTERS 21-1 en 21-2 KORRELVERDELINGSDIAGRAM

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

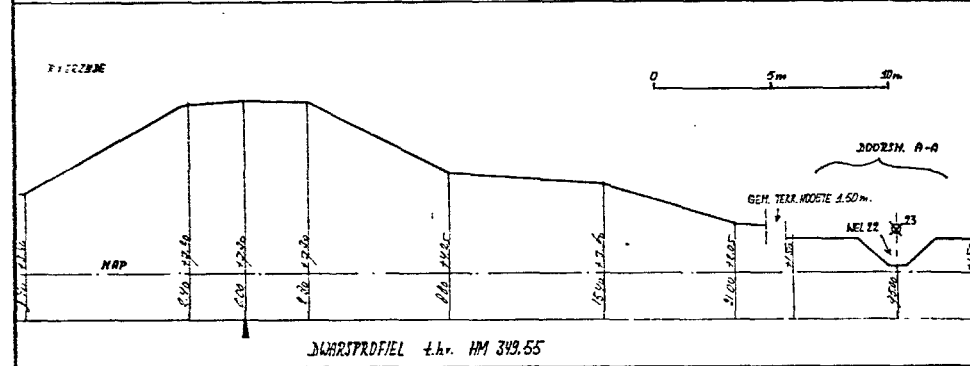
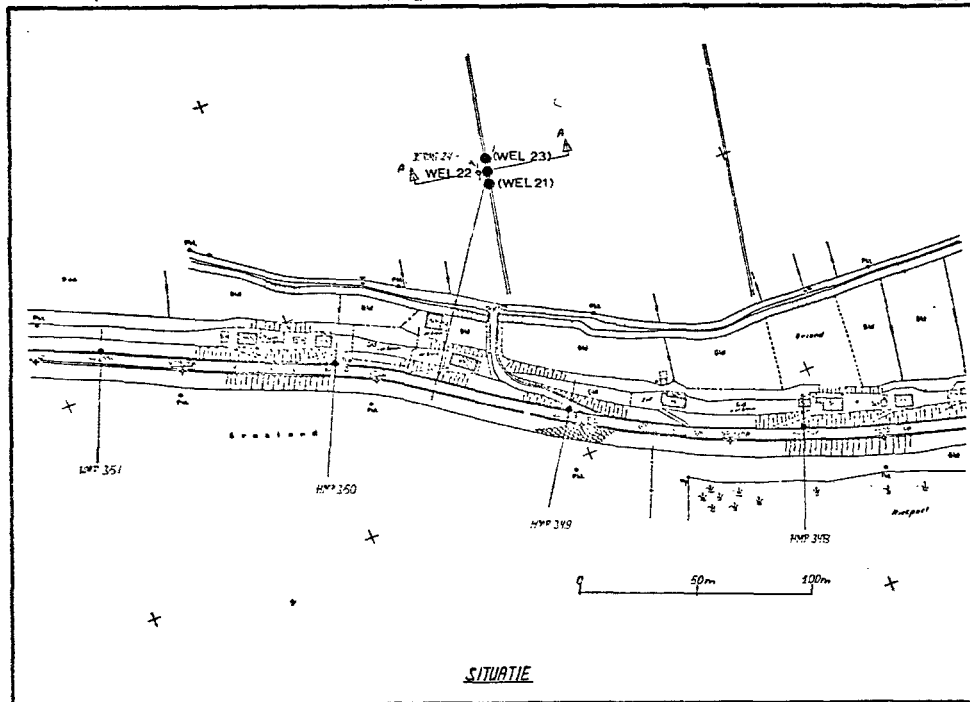
gem	get	gez
	vdl 1-78	<i>[Signature]</i>

BIJLAGE 39

SCHAAL -

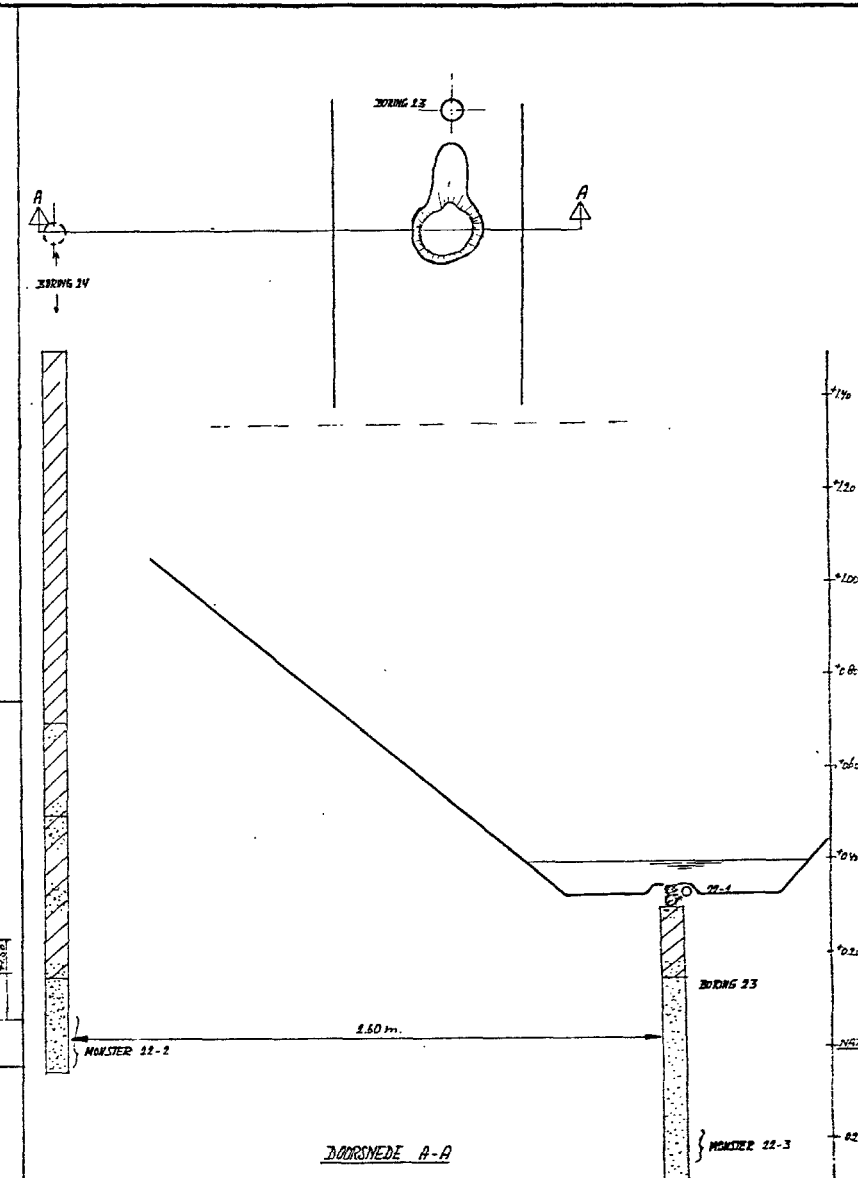
A4

WERKNR. S-77.059
TEK. NR. 77.300



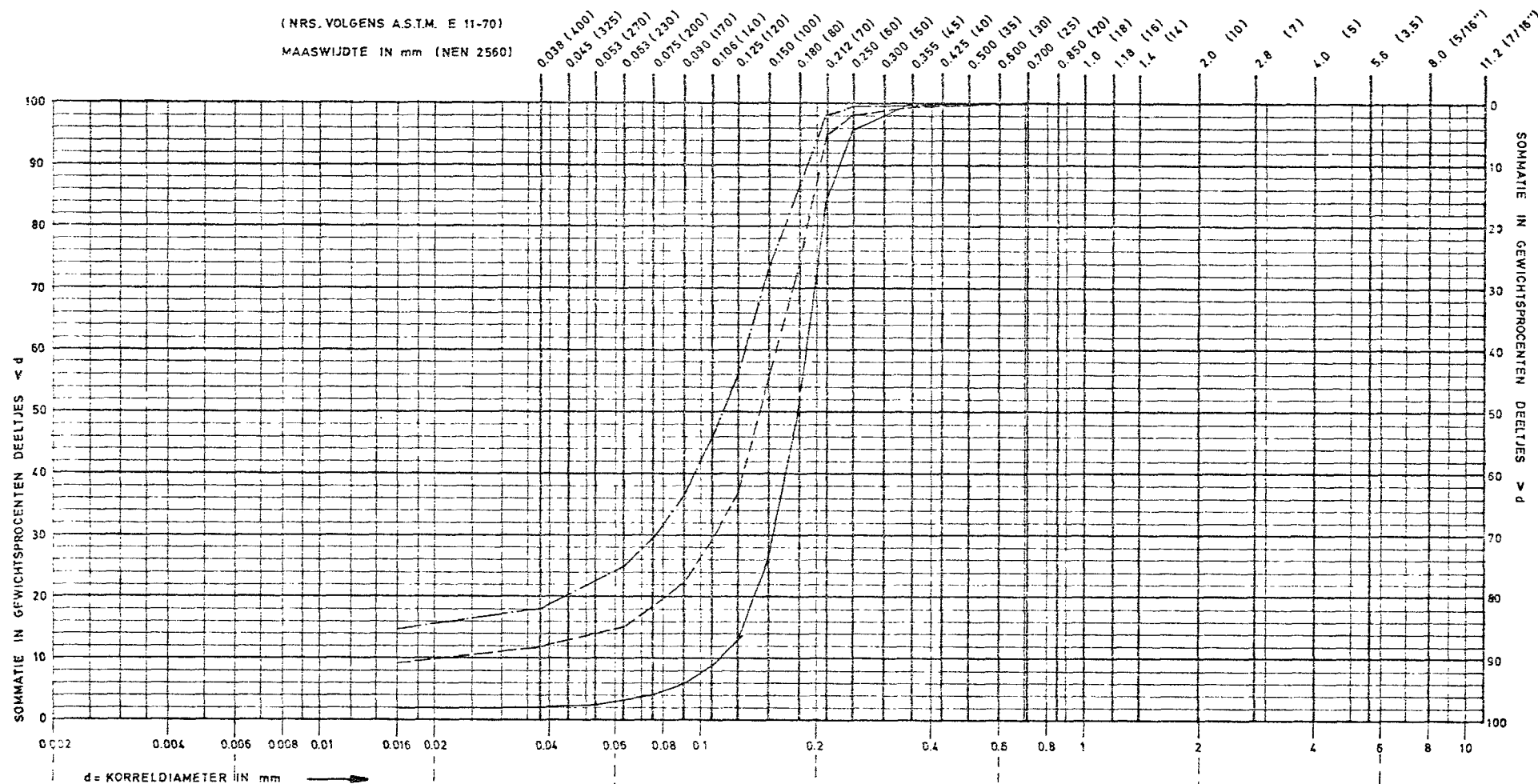
WEL 22 t.h.v. HM 349.55

ZANDMONSTER VAN RAND WEL O 22-1
ZIE DOORSNEDEN A-A EN KYD 29146 41



WEL 22				BIJLAGE 40	
TIJELERWAARD				VOOR FOTO ZIE BLAD 10	
CENTRUM VOOR ONDERZOEK				VAN FOTOBILLAGEN	
WATERKERINGEN				WERKNR. S-77.059	
				TEK. NR. 77.301	
				A4	

(NRS. VOLGENS A.S.T.M. E 11-70)
MAASWIJDTE IN mm (NEN 2560)



— monster 1
--- monster 2
-.- monster 3

WEL 22 MONSTERS 22-1, 22-2 en 22-3
KORRELVERDELINGSDIAGRAM

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

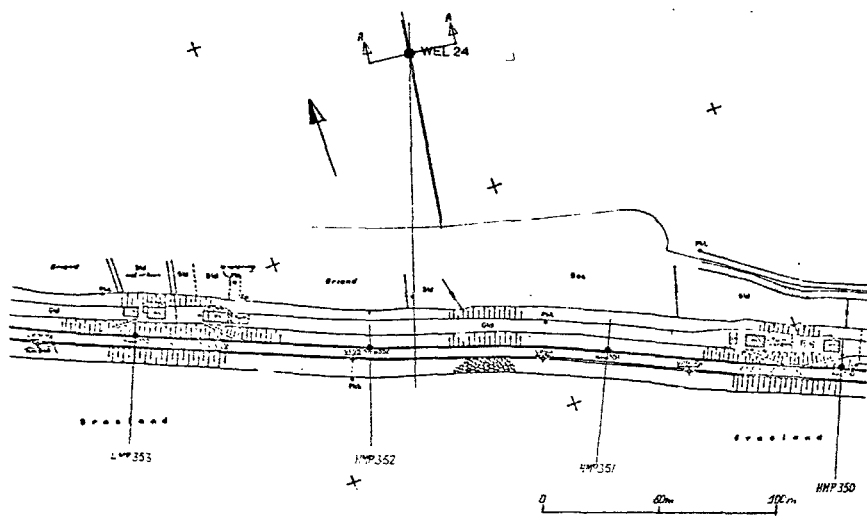
gem	get	gez
	vdl 1-78	<i>[Signature]</i>

BIJLAGE 41

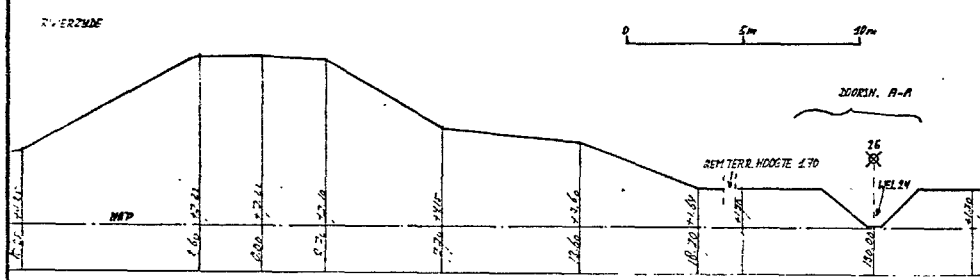
SCHAAL -

A4

WERKNR S-77.059
TEK NR 77.302



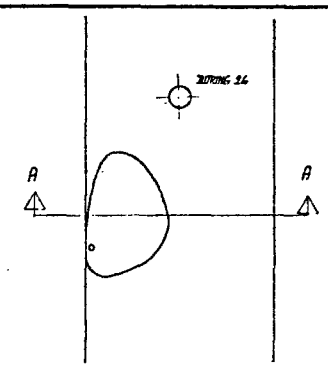
SITUATIE



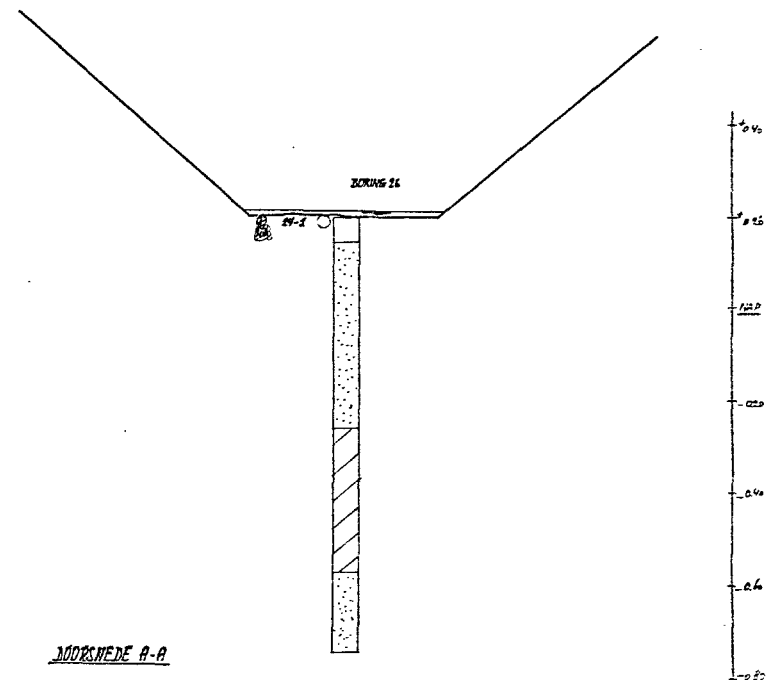
DWARSPROFIEL t.h.v. HM. 351.80

WEL 24 t.h.v. HM 351.8

ZANDMONSTER VAN RAND WEL O 54-1
ZIE DOORSNEDE A-A EN KYD 251AEE 13

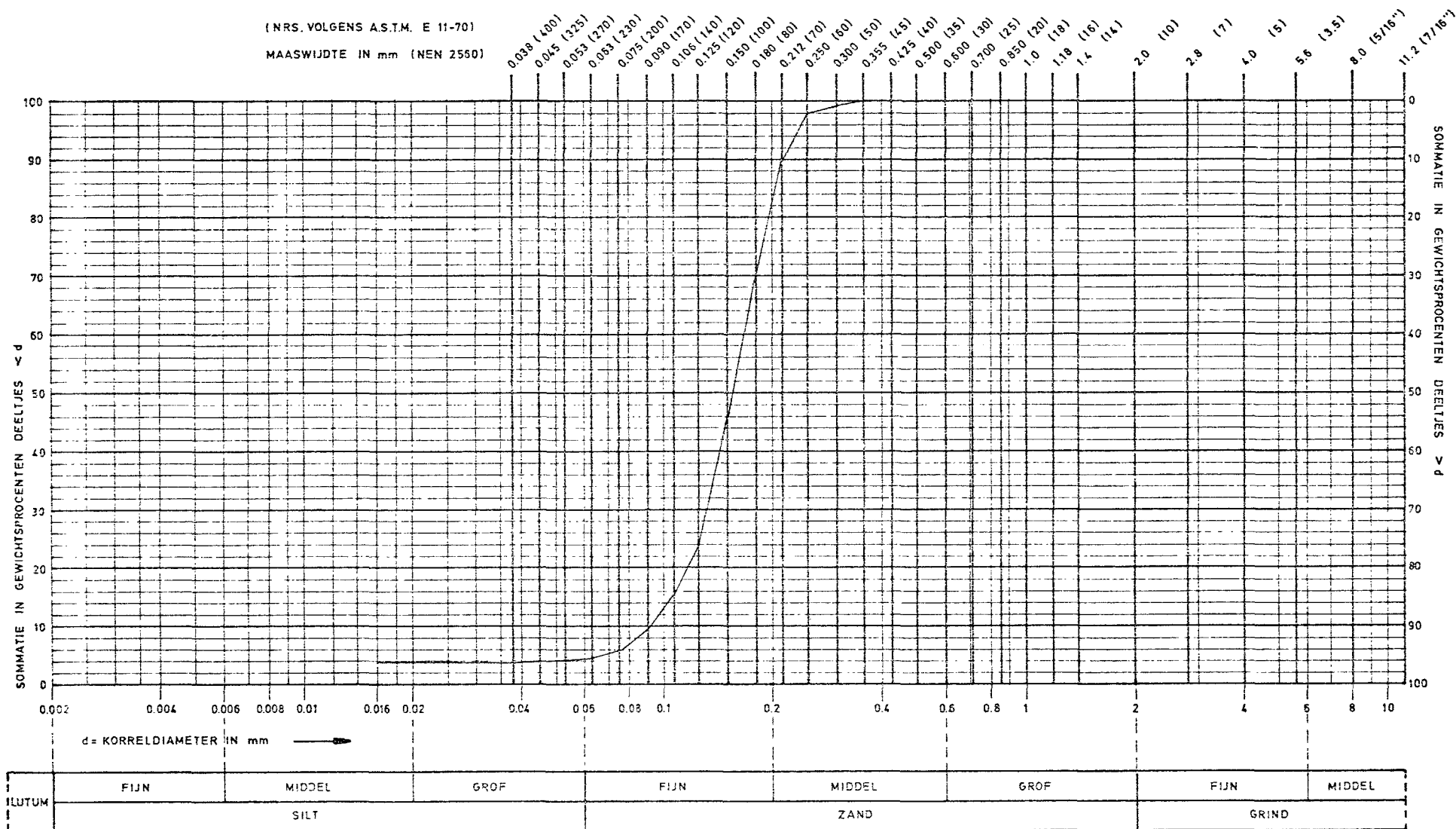


BOVENAANZICHT



DOORSNEDE A-A

WEL 24			BIJLAGE 42	
TIJLERWAARD			VOOR FOTO ZIE BLAD 10	
CENTRUM VOOR ONDERZOEK			VAN FOTOBILAGE	
WATERKERINGEN			gem	get
			vd	gez
			10-77	A4
			WERKNR. S-77.059	
			TEK NR 77.303	



— monster 1

WEL 24 MONSTER 24-1 TIELERWAARD
KORRELVERDELINGSDIAGRAM

BIJLAGE 43

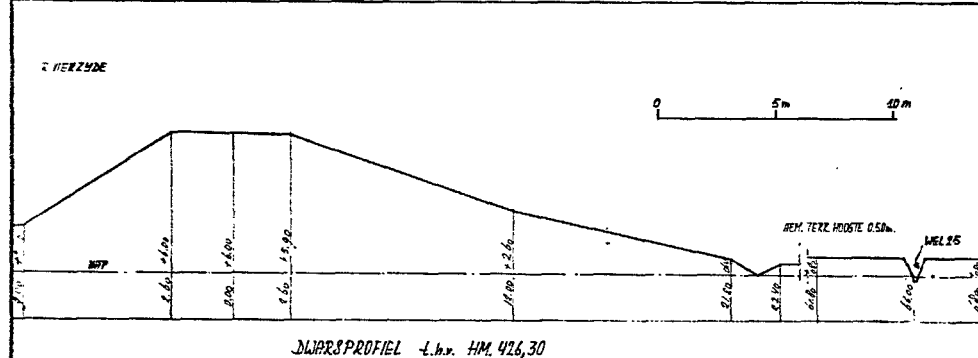
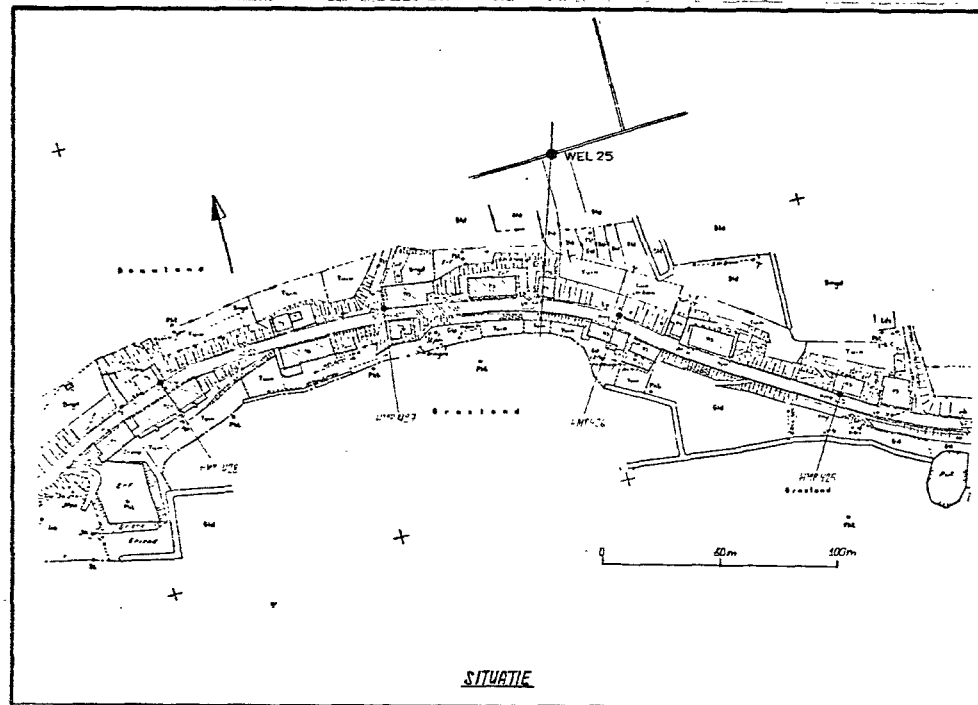
CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

gem	get	gez
	vdl 1-78	<i>[Signature]</i>

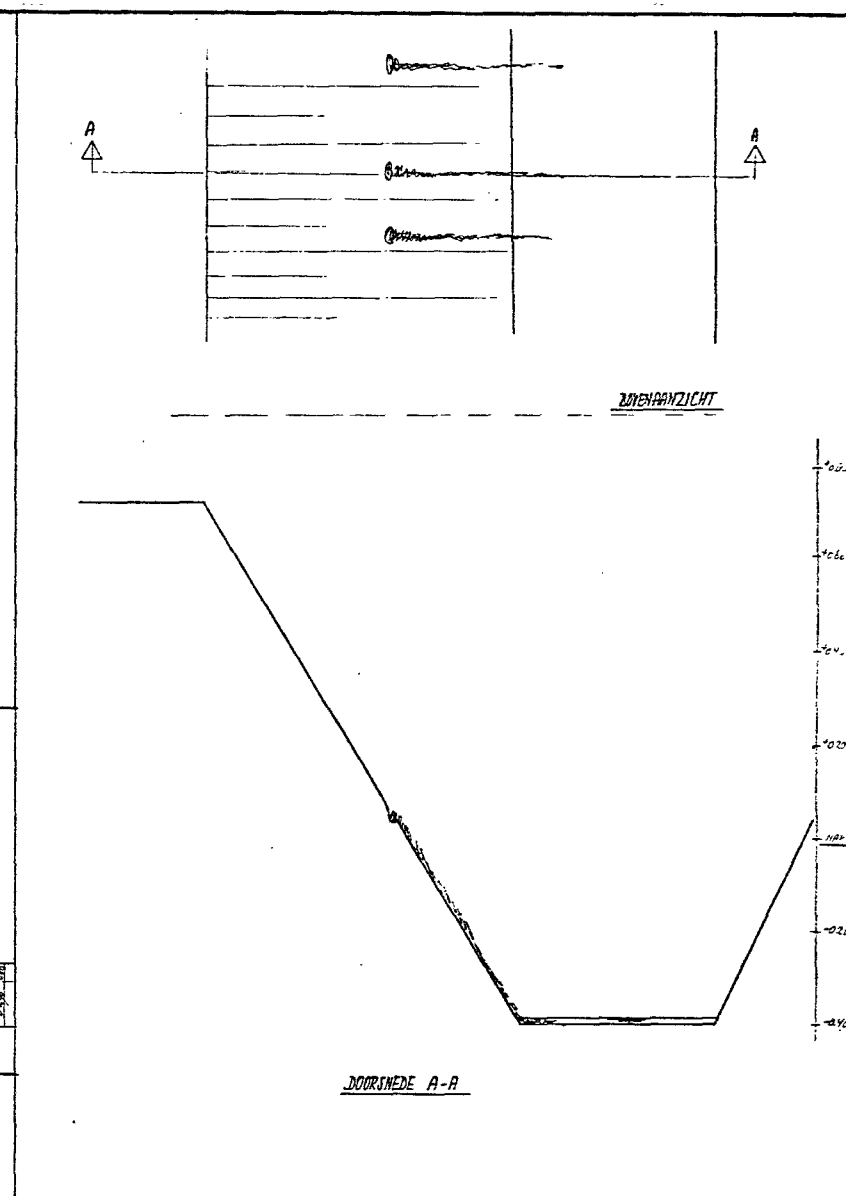
SCHAAL —

A4

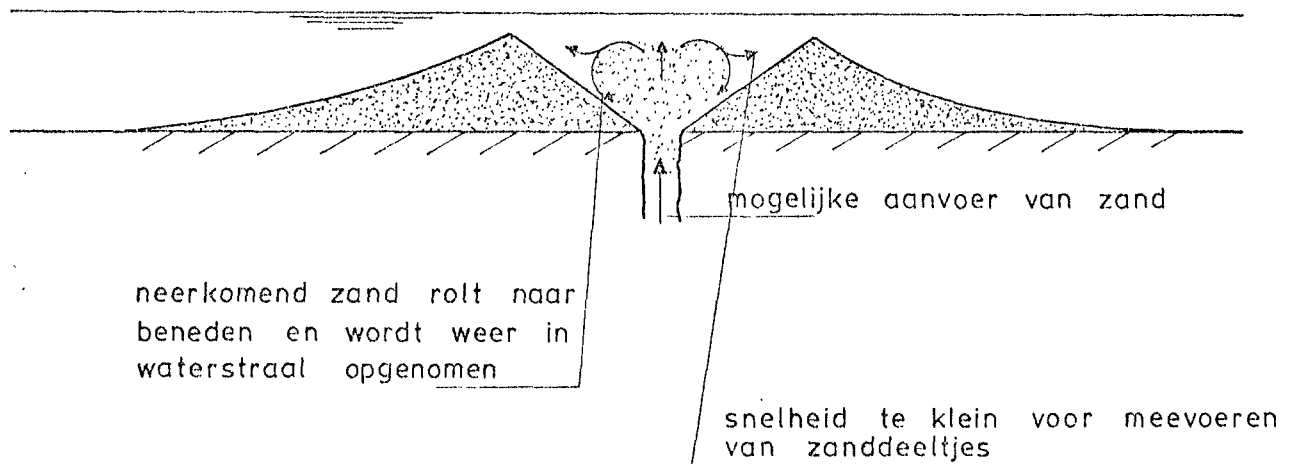
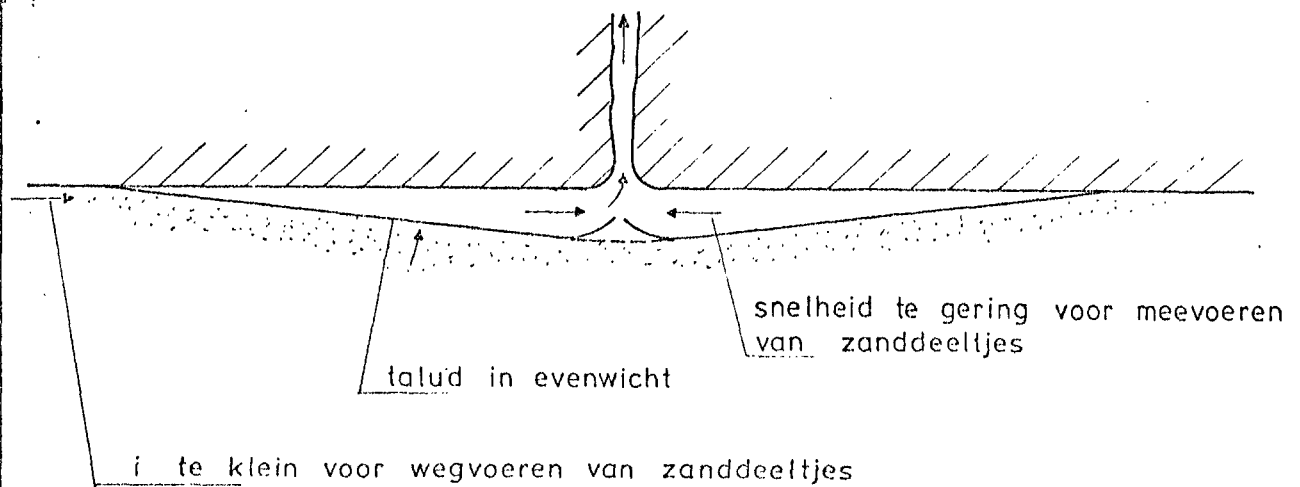
WERKNR. S-77.059
TEK NR 77.304



WEL 25 t.h.v. H.M. 426,30



WEL 25				BIJLAGE 44	
TIELERWAARD				VOOR FOTO ZIE BLAD 11	
CENTRUM VOOR ONDERZOEK				VAN FOTOBIJLAGE	
WATERKERINGEN				gem	gef
				vdI	gez
				10-77	A4
				WERKNR. S-77.059	
				TEK. NR 77.305	



SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN
EVENWICHT IN WELLEN

BIJLAGE 45

SCHAAL —

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKLEININGEN

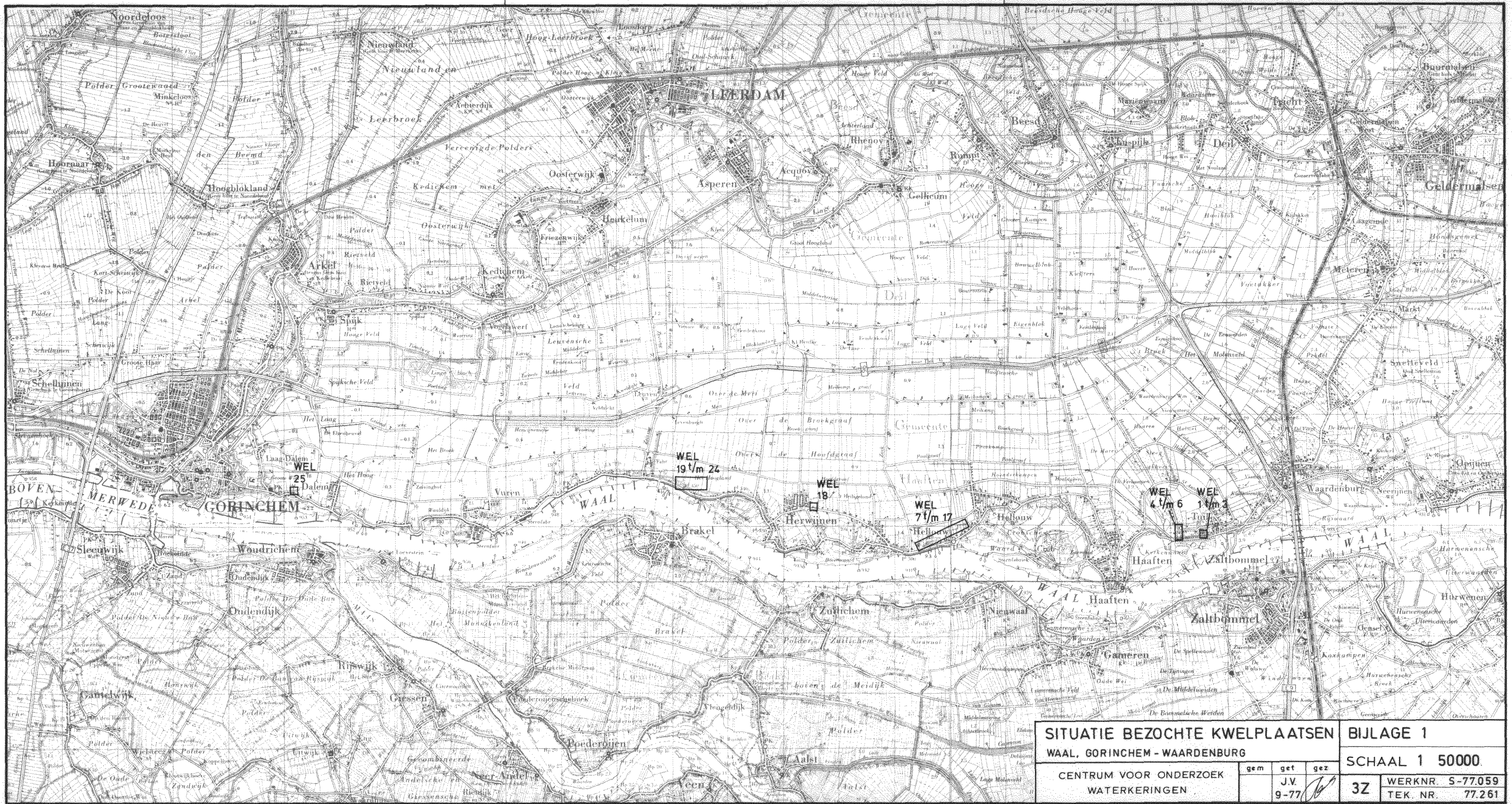
gem

get

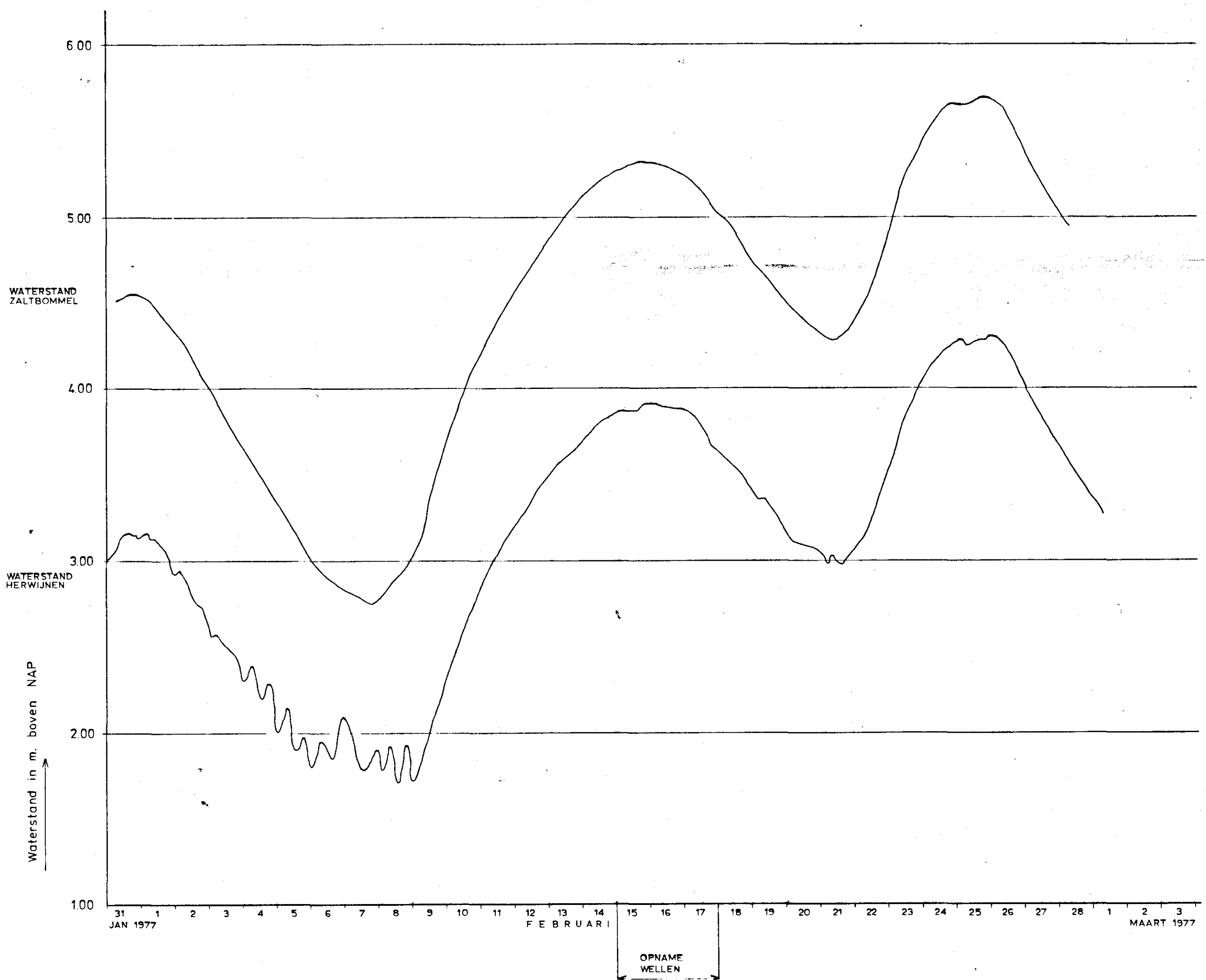
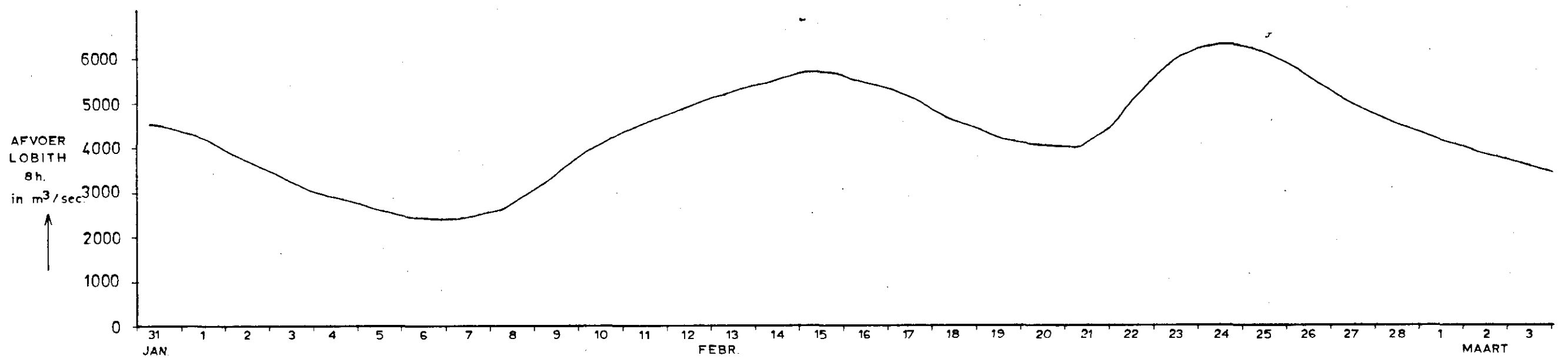
gez

val

WERKNR * S-77.059



SITUATIE BEZOCHTE KWELPLAATSEN				BIJLAGE 1	
WAAL, GORINCHEM - WAARDENBURG				SCHAAL 1 50000	
CENTRUM VOOR ONDERZOEK		gem	get	gez	WERKNR. S-77.059
WATERKERINGEN			J.V.		3Z
		g-77			TEK. NR. 77.261



AFVOER LOBITH, WATERSTANDEN TE
ZALTBOMMEL en HERWIJNEN

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

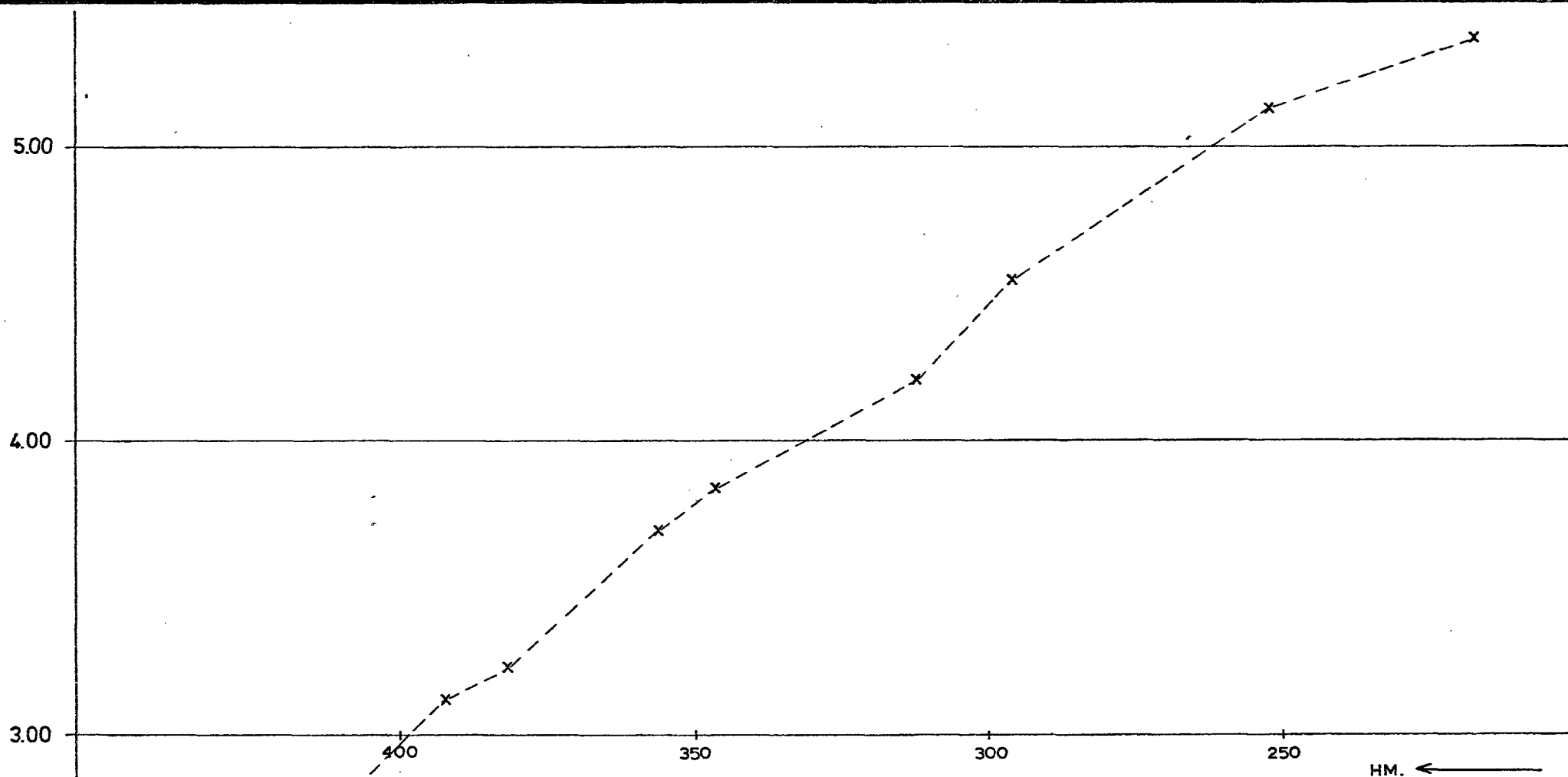
gem	get	gez
	vdI	
	9-77	

BIJLAGE 2

SCHAAL -

2x2Z	WERKNR. S-77 059
	TEK. NR. 77 262

WATERHOOGTE IN M. BOVEN NAP



WATERHOOGTE VOOR RECHTER BANDIJK OP 16 FEB.
NAAR OPNAMEN DOOR POLDERDISTRIKT.

VERHANGLIJK OP RIVIER TIJDENS
METINGEN WAAL, GED. TUIL - DALEM

BIJLAGE 3

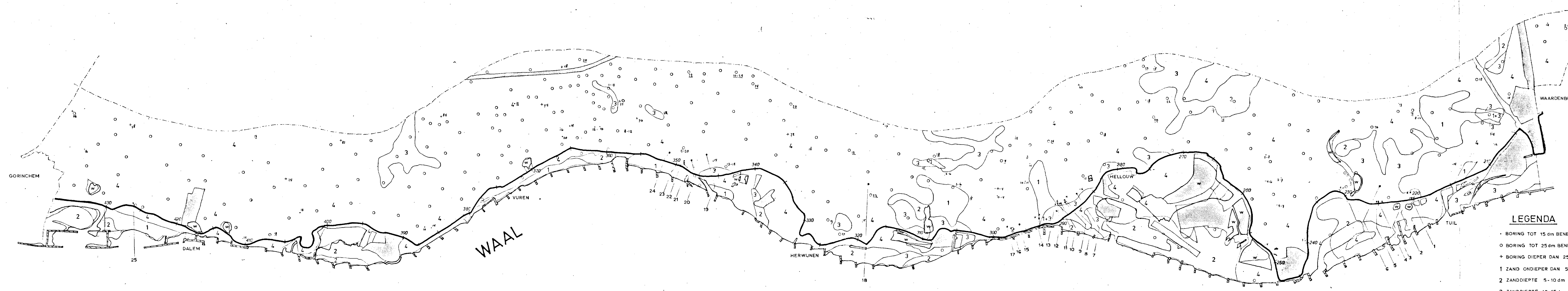
SCHAAL -

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

gem	get	gez
	vdl	
	9-77	

A4

WERKNR. S-77.059
TEK. NR. 77.263



BOORGEGEVENS OVERGENOMEN VAN STIBOKA

- dm. beneden maaiveld
- 1 2 3 4
 - 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
 - 25
- Zanddiepte (<15% afslibbaar)
- Zandige tot sterk zandige afzettingen (15-50% afslibbaar) in kom- en kom op veengebied.
- Boven- en ondergrens van zand (<15% afslibbaar)
- Boven- en ondergrens van zandige tot sterk zandige afzettingen (15-50% afslibbaar) in kom- en kom op veengebied.
- DIJK MET HECTOMETRERING
- 0 500m 1000m

LEGENDA

- BORING TOT 15 dm BENEDEN MAAIVELD
- BORING TOT 25 dm BENEDEN MAAIVELD
- + BORING DIEPER DAN 25 dm BENEDEN MV.
- 1 ZAND ONDIEPER DAN 5 dm BENEDEN MAAIVELD
- 2 ZANDDIEPTE 5-10 dm BENEDEN MAAIVELD
- 3 ZANDDIEPTE 10-15 dm BENEDEN MAAIVELD
- 4 ZAND DIEPER DAN 15 dm BENEDEN MAAIVELD
- GEEN GEGEVENS OMTRENT ZANDDIEPTEN
- WEL (1 t/m 25)
- x WEL : niet verder onderzocht
- w WATER

ZANDDIEPTEKAART			BIJLAGE 4	
WAAL, GORINCHEM - WAARDENBURG			SCHAAL 1:20.000	
CENTRUM VOOR ONDERZOEK WATERKERINGEN			6Z	WERKNR. S-77 059 TEK. NR. 77 264



ZANDDIEPTEKAART		(ADV. BUREAU ARNHEM)		BIJLAGE 11	
TIELERWAARD				SCHAAL 1:2000	
CENTRUM VOOR ONDERZOEK		gem	get	gez	5Z
WATERKERINGEN			vdI		
		11-77			WERKNR. S-77.059
					TEK. NR. 77.271

Nota S-77.059

FOTOBILJAGE

Inhoudsopgave Fotobijlage:

Wel	1	blad 1	foto 1-1 en 1-2
Wel	2	blad 2	foto 2-1
Wel	3	blad 2	foto 3-1
Wel	4	blad 3	foto 4-1
Wel	6	blad 3	foto 6-1
Wel	7	blad 4	foto 7-1
Wel	10	blad 4	foto 10-1
Wel	11	blad 5	foto 11-1
Wel	13	blad 5	foto 13-1
Wel	16	blad 6	foto 16-1 en 16-2, blad 7 foto 16-3
Wel	17	blad 7	foto 17-1
Wel	18	blad 8	foto 18-1
Wel	19	blad 8	foto 19-1, blad 9 foto 19-2
Wel	20	blad 9	foto 20-1
Wel	22	blad 10	foto 22-1
Wel	24	blad 10	foto 24-1
Wel	25	blad 11	foto 25-1

++++++



wel 1, foto 1-1



wel 1, foto 1-2



wel 2, foto 2-1



wel 3, foto 3-1



wel 4, foto 4-1



wel 6, foto 6-1



wel 7, foto 7-1



wel 10, foto 10-1



wel 11, foto 11-1



wel 13, foto 13-1



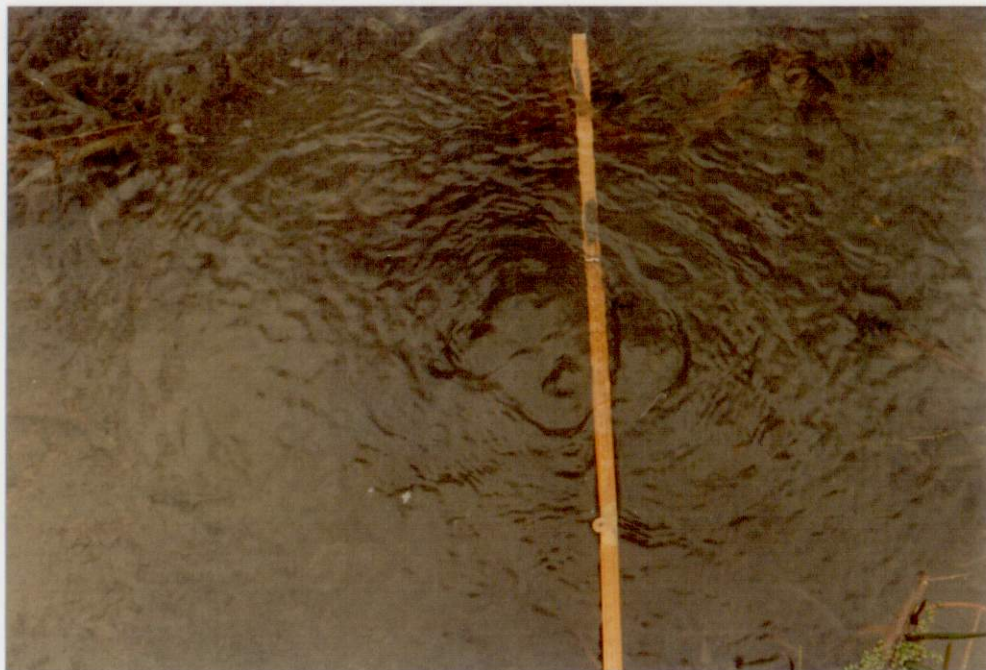
wel 16, foto 16-1



wel 16, foto 16-2



wel 16, foto 16-3



wel 17, foto 17-1



wel 18, foto 18-1



wel 19, foto 19 - 1



wel 19, foto 19-2



wel 20, foto 20-1



wel 22, foto22 -1



wel 24, foto 24-1



> wel 25, foto 25-1