

ARCHIEF
VAN GRONDWATERSTANDEN T.N.O.

MEDEDELING 2

WPK050

Algemene opzet en werkwijze
van het
Archief van Grondwaterstanden T.N.O.

C. GROENEWOUD

1962



ARCHIEF
VAN GRONDWATERSTANDEN T.N.O.

MEDEDELING 2

Algemene opzet en werkwijze
van het
Archief van Grondwaterstanden T.N.O.

C. GROENEWOUD



1962

INHOUD

	Blz.
VOORWOORD	5
1. INLEIDING	7
1.1. De kringloop van het water	7
1.2. Het grondwater	7
1.3. Spanningswater	8
1.4. Het belang van de kennis van de grondwaterstand	9
2. SOORTEN VAN WAARNEMINGSPUTTEN EN -BUIZEN, WAARIN DE GRONDWATERSTAND WORDT GEMETEN	10
2.1. Brandputten	10
2.2. Peilputten	14
2.3. Welputten	19
2.4. Landbouwbuizen	24
3. MEETINSTRUMENTEN VOOR HET WAARNEMEN VAN DE GRONDWATERSTAND . . .	25
4. HET BETREKKEN DER GEGEVENS VAN DE GRONDWATERSTAND OP EENZELFDE VERGELIJKINGSVLAK	27
5. DE NAUWKEURIGHEID DER GEGEVENS VAN DE GRONDWATERSTAND	29
6. HET REGISTREREN EN VERSTREKKEN VAN GEGEVENS VAN DE GRONDWATERSTAND	30
7. HET VERWERKEN VAN GEGEVENS VAN PUTTEN EN BUIZEN OP SYSTEEMKAARTEN EN HET AANGEVEN VAN DE LIGGING OP EEN LEGGERSTEL	34
8. ISOHYPSENKAARTEN	34
9. HET BELANG VAN HET METEN VAN DE GRONDWATERSTAND	41
10. HET BEWERKEN VAN GEGEVENS INZAKE DE GRONDWATERSTAND	42
10.1. Theoretische grondslagen	43
10.2. Voorbeeld van de berekening van het verband tussen de grondwater- stand in verschillende putten	52

VOORWOORD

Aan de heer C. Groenewoud, die als assistent-conservator onder andere is belast met de werkzaamheden voor het uitbreiden van het net van waarnemingspunten en het organiseren van het opnemen van de grondwaterstand in putten, is — tijdens zijn dienstreizen — door vrijwillige medewerkers dikwijls gevraagd, een uiteenzetting te willen geven van de constructie der verschillende waarnemingspunten en de werkwijze van het archief.

Het is daarom een gelukkige gedachte van hem geweest, de algemene opzet en de werkwijze van het archief op schrift te stellen. Te meer valt dit te waarderen, omdat het hieraan verbonden werk nagenoeg geheel buiten bureautijd moest geschieden.

De mededeling is in de eerste plaats bestemd voor de 2500 vrijwillige medewerkers, waarover het archief thans mag beschikken. Wellicht is het ook een nuttig geschrift voor vele anderen.

Veel dank is verschuldigd aan dr. E. F. Drion, hoofd van de Afdeling Bewerking Waarnemingsuitkomsten T.N.O., die medewerking verleende bij de samenstelling van hoofdstuk 10.

De tekeningen werden vervaardigd door de tekenaar van het archief, de heer A. M. Dofferhoff.

Moge het zijn, dat dit boekje kan bijdragen tot grotere bekendheid van het werk van het Archief van Grondwaterstanden T.N.O.

's-Gravenhage, maart 1962

J. KOST
(conservator)

1. INLEIDING

1.1. *De kringloop van het water*

Bijna alle water op aarde — een onvoorstelbare hoeveelheid van 1400 miljoen kubieke kilometer — is geborgen in de oceanen en zeeën, welke ongeveer driekwart van de oppervlakte van onze aardbol beslaan. Al dit water is evenwel zout en als zodanig voor de mens onbruikbaar.

Water is een merkwaardige stof; het is de enige stof, welke onder normale omstandigheden als vaste stof (ijs), als vloeistof en als damp kan voorkomen. Deze eigenschap heeft verstrekkende gevolgen. De zon verwarmt de bovenlaag van oceanen en zeeën (vooral in de tropen), zodat water verdampt en in de atmosfeer opstijgt, waarbij het zout achterblijft. De vochtige lucht wordt door de wind in alle richtingen over de aardbol verspreid; in de hogere, koude luchtlagen verdicht de waterdamp zich tot wolken, waaruit onder bepaalde omstandigheden het water als regen, sneeuw of hagel weer neerslaat, ook op het vasteland. De sneeuw op de bergen pakt zich samen tot gletsjers, welke rivieren voeden. Een gedeelte van de neerslag stroomt bovengronds naar de rivieren en wordt weer naar zee afgevoerd. Een ander gedeelte verdampt aan de oppervlakte van de aarde. De rest dringt in de bodem en komt, voor zover het niet door plantenwortels wordt opgezogen en via het plantendek weer verdampt, aan het in de grond aanwezige water — het grondwater — ten goede. Dit gedeelte van de neerslag noemt men de *nuttige neerslag*. Het percentage hangt af van de begroeiing en van de doorlatendheid van de grond. In Nederland bedraagt de gemiddelde neerslag per jaar circa 700 mm; de nuttige neerslag varieert van 30 tot 60%. Het grondwater stroomt in een veelal uiterst langzame beweging weer naar rivier en zee.

Uit het bovenstaande blijkt, dat al het water, in welke vorm ook op aarde aanwezig, deel uitmaakt van een kringloop, de z.g. *kringloop van het water*.

1.2. *Het grondwater*

Met uitzondering van het zuidelijke gedeelte van Limburg en enkele plaatsen langs de grens in de Achterhoek (omgeving van Winterswijk), waar kalksteen en zandsteen uit verschillende oude geologische formaties aan de oppervlakte komen, bestaat de bodem van Nederland tot op grote diepte uit zand, grind, klei en veen. De geoloog rekent deze materialen tot de gesteenten en spreekt bij zand, grind en klei van gruisgesteenten. Vanaf een bepaalde diepte beneden maaiveld zijn de poriën van deze gruisgesteenten en van het veen geheel of gedeeltelijk gevuld met water.

Graaft men een gat tot voldoende diepte, dan zal hierin water — grondwater — toevloeden en op een bepaalde hoogte — de grondwaterstandshoogte — blijven staan. Graaft men in een bepaald terrein een groot aantal gaten, dan kan men zich de spiegels (oppervlakken) van het grondwater in deze gaten verbonden denken tot één oppervlak, hetwelk men de *grondwaterspiegel* of — naar het Griekse woord *phreare* = waterput — het *freatische oppervlak* noemt. Beneden dit vlak zijn alle poriën van de grond geheel met water gevuld; dit water is het eigenlijke grondwater.

Ook boven het freatische vlak is de grond nog tot op bepaalde hoogte geheel met water verzadigd, maar dit water, *capillair water* genoemd — naar het Latijnse woord *capillus* = hoofdhaar, dun buisje — kan niet vrij in het gegraven gat uitstromen, omdat het tussen de gesteentekorrels wordt vastgehouden door z.g. capillaire krachten. De

bovenkant van het samenhangende water in de bodem is dus niet het freatische oppervlak, maar een vlak daarboven, het *capillaire oppervlak*. De afstand tussen het freatische en het capillaire oppervlak hangt af van de grootte der poriën in de grond. Voor duinzand bij voorbeeld bedraagt deze afstand — de capillaire stijghoogte — circa 30 cm.

Ook boven het capillaire oppervlak bevindt zich nog water, maar dit water vult de poriën slechts gedeeltelijk. Men noemt dit het *hangwater*. Voor de plantengroei is dit hangwater van grote betekenis, omdat de plantenwortels niet tot in het eigenlijke grondwater — dat soms vrij diep staat — behoeven te reiken, om toch voldoende vocht te kunnen opnemen.

Meet men in verschillende punten de hoogte van de grondwaterspiegel ten opzichte van een bepaald vergelijkingsvlak — meestal gebruikt men hiervoor in Nederland het (Normaal Amsterdams Peil) N.A.P.-vlak — dan zullen deze hoogten veelal verschillen. De grondwaterspiegel is dus niet een plat vlak, doch vertoont reliëf. Op kaarten kan de grondwaterspiegel worden weergegeven door lijnen van gelijke grondwaterstandshoogten, *isohypsen* genaamd (Grieks: isos = gelijk, hypsos = hoogte). Zij kunnen worden vergeleken met de hoogtelijnen op een topografische kaart.

Onder invloed van de zwaartekracht zal het water trachten het hoogteverschil — het verval — te verkleinen; het zal dus stromen in de richting, waarin de grondwaterspiegel lager ligt. Deze stroomrichting kan gemakkelijk worden bepaald uit een isohypsenkaart; zij staat n.l. loodrecht op de isohypsen.

1.3. *Spanningswater*

Soms ligt de watervoerende laag (of lagen, zodat van een pakket sprake is) opgesloten tussen moeilijk doorlatende klei-, leem- of veenlagen. Stijgt het water in een boring tot boven de onderkant van de afdekkende kleilaag, dan spreekt men van *spanningswater*. De hoogte, tot waar het spanningswater in de boring stijgt, hangt af van de druk, waaraan het onderhevig is in het watervoerende pakket. Deze druk is een gevolg van het verschil in hoogte tussen de bovenkant van het watervoerende pakket (= de onderkant van de afdekkende kleilaag) ter plaatse van de boring en de grondwaterspiegel



Venlo, nabij het grenskantoor tussen Venlo en Straelen

Peilput met 2 waarnemingsfilters opwaarts verlengd met stijgbuizen. In de stijgbuis met het diepste filter stijgt het grondwater tot boven de bovenkant van de buis (artesisch water).

Foto H. J. Meijer

in de dagzoom ¹⁾ van dit pakket. De grootte van die druk hangt af van het genoemde hoogteverschil, de doorlatendheid van het watervoerende pakket en de afstand tussen boring en dagzoom.

Het vlak, gevormd door de waterspiegel in een groot aantal boringen, die tot beneden de beschouwde kleilaag reiken, heet het drukniveau of piëzometrische — naar het Griekse woord piëzein = drukken — niveau.

De druk van het water kan zó groot zijn, dat het boven het maaiveld stijgt; men spreekt dan van *artesisch water*. Deze benaming is afkomstig van de landstreek Artois in Frankrijk, waar vele artesische putten voorkomen.

Spanningswater komt in ons land, waar in de ondergrond talrijke klei- en leemlagen aanwezig zijn, in vele streken voor. Ook artesisch water wordt in ons land aangetroffen, onder meer in de Geldersche Vallei, in het kustgebied van de Veluwe bij Nijkerk en Putten, in Limburg en in Noord-Brabant.

1.4. *Het belang van de kennis van de grondwaterstand*

Uit hetgeen in het bovenstaande werd vermeld zal het duidelijk zijn, dat het freatische vlak zomin als het piëzometrische niveau een constant en horizontaal vlak is. Ten gevolge van seizoenwisselingen en de daarmee gepaard gaande veranderingen in neerslag en verdamping treden schommelingen in de grondwaterstand op. Doch niet alleen door deze natuurlijke oorzaken worden veranderingen in de stand van het grondwater teweeggebracht, ook kunstmatige invloeden, zoals wateronttrekking op kleine of grote schaal, wijzigen de grondwaterstand. De kennis van de ligging van het freatische en het piëzometrische vlak, alsmede van de veranderingen daarin ten gevolge van natuurlijke of kunstmatige invloeden, is in de loop der jaren van steeds groter belang geworden (zie onder 9).

Het is in het algemeen niet voldoende de grondwaterstand slechts te kennen op een gegeven moment in een beperkt gebied. De kennis ervan moet zich uitstrekken over geheel Nederland en continu zijn, omdat nimmer tevoren kan worden aangegeven waar en wanneer een onderzoek, waarbij gegevens inzake de stijghoogte van het grondwater een rol spelen, nodig zal zijn. Vindt eenmaal een dergelijk onderzoek plaats, dan dient men veelal eerst de toestand te kennen, zoals deze kortere of langere tijd tevoren was.

In deze behoefte aan kennis van de stand van het grondwater in Nederland wil het Archief van Grondwaterstanden T.N.O. voorzien. Het archief werd in 1948 opgericht door de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O., een der vele instellingen van de Centrale Organisatie voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek (T.N.O.).

Als voornaamste doel van dit archief werd gesteld het verzamelen en op een kaartstelsel verwerken van, met een bepaalde frequentie te laten verrichten, waarnemingen van de grondwaterstand (freatisch zowel als spanningswater betreffend) in Nederland over lange perioden (tientallen jaren) in een beperkt aantal z.g. stamputten, zodanig gekozen, dat de stijghoogte van het grondwater in elk ervan representatief is voor een bepaald gebied.

Het is de bedoeling van deze publikatie de werkwijze van het archief nader uiteen te zetten, speciaal voor de talrijke vrijwillige medewerkers, zonder wier hulp de taak van het archief niet zou zijn te volvoeren.

¹⁾ Lagen in de aardkorst kunnen, indien zij niet horizontaal liggen en/of omdat het maaiveld hellend is, aan de oppervlakte komen. Dit noemt men de dagzoom. Deze geeft gelegenheid voor het intrekken van regenwater en is dus het voedingsgebied van de watervoerende laag.

2. SOORTEN VAN WAARNEMINGSPUTTEN EN -BUIZEN, WAARIN DE GRONDWATERSTAND WORDT GEMETEN

De metingen van de stijghoogte van het grondwater ten behoeve van het archief worden uitgevoerd in putten en buizen van verschillende diepte en constructie.

Naar de aard van de constructie zijn deze bij het archief onderverdeeld in brandputten, peilputten, welputten en landbouwbuizen.

In beperkte mate wordt tevens de waterstand — samenhangende met de grondwaterstand in de directe omgeving — aan peilschalen (78) afgelezen in vijvers, vennen, sloten en brandkuilen. Het is duidelijk, dat verdamping en neerslag een zeer grote invloed hebben op deze waterstand. De peilschalen worden in dit artikel buiten beschouwing gelaten.

In tabel I is het aantal waarnemingsputten en waarnemingsbuizen (uitgezonderd de putten en buizen van de Dienst der Zuiderzeewerken) aangegeven — zoals deze bij het archief zijn ingedeeld — per 1 januari 1961.

In kort bestek zal de constructie van putten en buizen worden beschreven.

TABEL I

Omschrijving	Aantal
brandputten	1389
peilputten	1522
welputten	98
landbouwbuizen	5709
Totaal	8718 ¹⁾

2.1. Brandputten

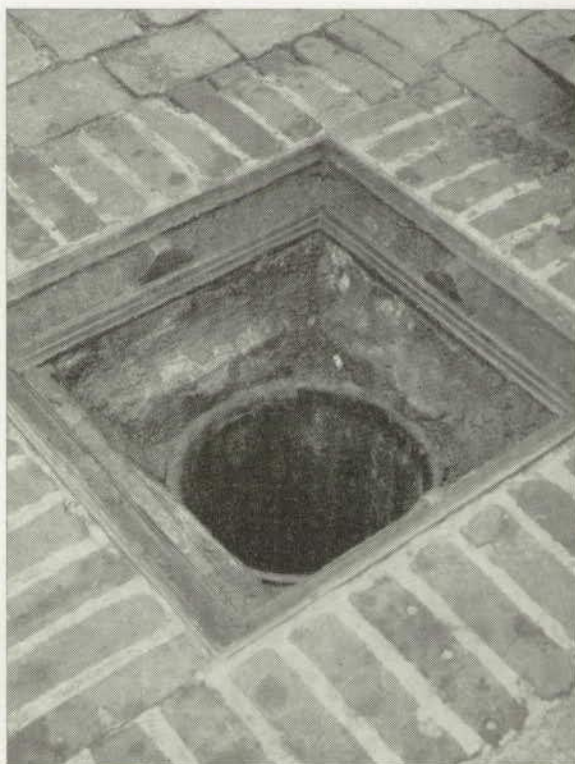
In de jaren 1939 tot en met 1943 werden — in verband met de oorlogsomstandigheden — brandputten in grote getale uitgevoerd. Ook in de laatste jaren worden — mede in ver-

's-Gravenhage, stationsemplacement

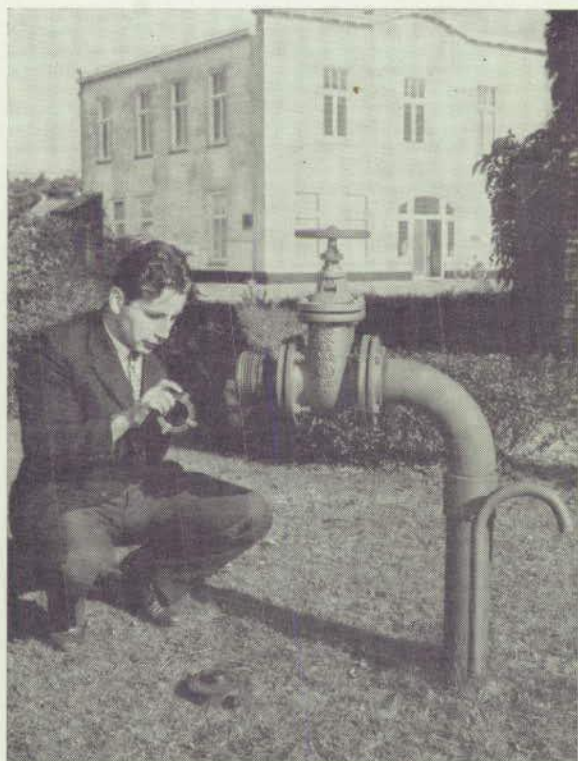
Den Haag S.S.

Brandput in open uitvoering

Foto Centraal Technisch Instituut T.N.O.



¹⁾ Exclusief 284 putten en 409 buizen, waarin voorheen de grondwaterstand werd opgenomen. Van 185 van deze putten en 368 van deze buizen zijn ten minste 48 gegevens van de stijghoogte van het grondwater bekend.



Zeist, nabij Den Dolder

Brandput in gesloten uitvoering met bochtstuk (en afsluiter). Het peilen van de grondwaterstand met behulp van een bronzen meetband op stalen haspel.

Foto Centraal Technisch Instituut T.N.O.

door de brandweer van een andere standplaats kan het dus voorkomen, dat die brandweer van een dergelijke put geen gebruik kan maken.

De diepte van de put is afhankelijk van de hoedanigheid der in de boring aangetroffen aardlagen. Het filter dient te worden geplaatst in lagen met grof materiaal, zoals matig grof zand tot grind. De dikte van deze lagen moet zodanig zijn, dat hierin een voldoende lang filter kan worden gesteld, ten einde de voor brandputten meestal vereiste minimale capaciteit van 60 m^3 water per uur te kunnen verkrijgen. Het filter is meestentijds uitgevoerd met nauwe, langs- (verticale) spleten. In enkele gevallen worden ook wel dwars- (horizontale) spleten toegepast. Onderaan het filter bevindt zich een zandvang; opwaarts wordt het filter verlengd met een stijgbuis.

Indien een grofzandig pakket wordt onderbroken door bij voorbeeld een kleilaag of een laag fijn zand, dan wordt over dit gedeelte het filter uitgevoerd als z.g. blind gedeelte, d.w.z. dat over deze afstand geen perforatie wordt aangebracht. Zie figuur 9 (blz. 17). Het blinde gedeelte dient tot ruim 1 m boven en 1 m beneden de klei- of fijne zandlaag te reiken. Het grondwater, dat toetreedt in het bovenste gedeelte van het filter zal zich vermengen met

band met de bescherming van de burgerbevolking — in bebouwde kommen, bij belangrijke gebouwen en op stations-emplacementen e.d. naast de brandkranen, aangesloten op het drinkwaterleidingnet, vele brandputten gemaakt. Het zou namelijk voor kunnen komen, dat het drinkwaterleidingnet uitvalt of dat niet voldoende druk in de leidingen aanwezig is.

Zoals uit de figuren 1, 2 en 3 — waarin brandputten zijn getekend, zoals deze het meeste voorkomen — blijkt, wordt onderscheid gemaakt tussen open en gesloten brandputten.

Aan de open brandput wordt thans veelal de voorkeur gegeven. Bij een dergelijke put wordt de zuigslang namelijk zonder meer ingehangen, terwijl bij een gesloten brandput de zuigslang aan het mondstuk van de put moet worden gekoppeld. De koppeling van de zuigslang moet dus passen. Dit kan moeilijkheden opleveren, omdat het brandweermateriaal — in gebruik bij verschillende gemeenten — niet altijd gelijk is uitgevoerd. Bij hulpverlening

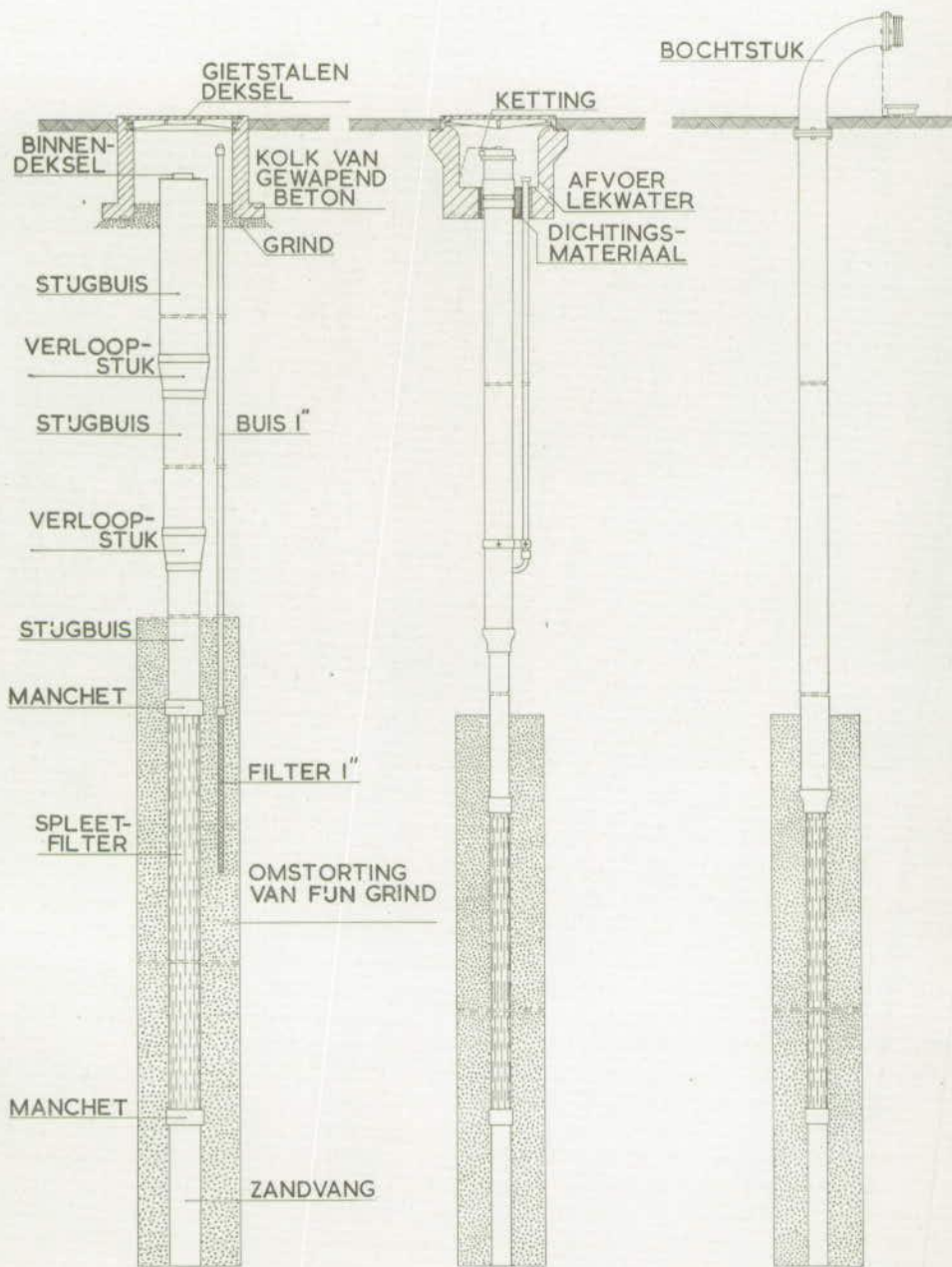


FIG. 1

*Brandput in open uitvoering
Zuigslang wordt in de stijgbuis
gehangen.*

FIG. 2

*Brandput in gesloten uitvoering
Zuigslang wordt aan het
mondstuk van de stijgbuis gekoppeld.*

FIG. 3

*Brandput in gesloten uitvoering
Zuigslang wordt aan het mondstuk
van het bochtstuk gekoppeld.*

Grubbenvorst, in de Vinkenpeel

*Het uitvoeren van een boring, welke tot put
(peilput) zal worden ingericht.*

Foto H. J. Meijer

het grondwater, toetredende in het onderste gedeelte van het filter. Hieraan is de uitdrukking *gemengd water* ontleend.

Ter verkrijging van voldoende doorstroming zal de spleetwijdte van het filter veelal groter moeten zijn dan de korrelgrootte van het zand van het watervoerende pakket. Ten einde te voorkomen, dat zand het filter binnendringt, dient een kering, de z.g. omstorting, te worden aangebracht. Deze moet reiken van ca. 1 m boven tot ca. 1 m beneden het filter. De omstorting bestaat veelal uit fijn grind, waarvan de korrelgrootte enerzijds afhangt van de spleetwijdte van het filter, anderzijds van de korrelgrootte van het zand van het watervoerende pakket.

Uit gegevens van het archief blijkt, dat het grootste deel van de brandputten een diepte heeft van 20 tot 40 m beneden het maaiveld. De diepste brandput, welke bij het archief bekend is, ligt in de gemeente Roosendaal en Nispen. Deze heeft een diepte van 159 m. De filterlengte bedraagt 88 m.

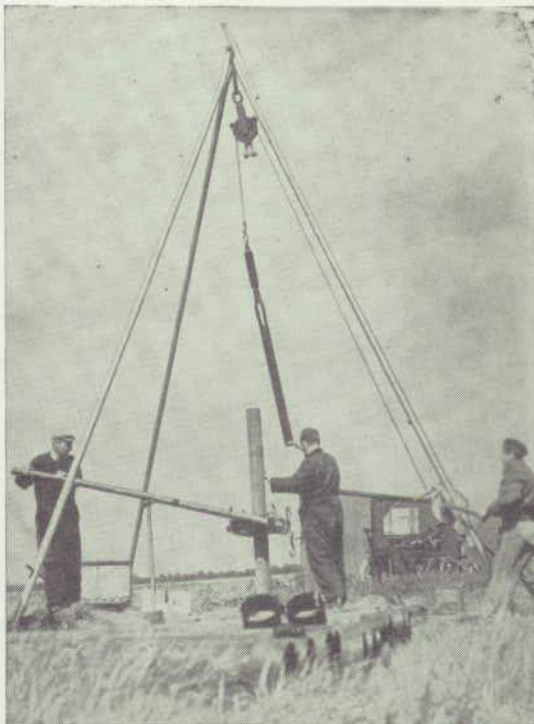
In verband met de beperkte zuighoogte van pompen zullen brandputten — zonder toepassing van diepwelpompen — slechts in die gebieden kunnen worden gemaakt, waar de grondwaterstand tijdens het afpompen nagenoeg niet dieper dan ongeveer 7 m beneden het maaiveld komt te staan.

De inwendige diameter van het bovenste gedeelte der stijgbuis van open putten bedraagt veelal 25 tot 30 cm in verband met het inhangen van de zuigkorf; het overige gedeelte van de stijgbuis en het filter kunnen een geringere diameter hebben. De diameter van de stijgbuis van gesloten putten — waarop de zuigleiding wordt gekoppeld — bedraagt veelal 7,5 tot 15 cm.

Voor het filter en de stijgbuis worden vaak harde houtsoorten gebruikt, zoals basralocushout, eikenhout, teakhout, yanghout e.d. Het bovenste gedeelte van de stijgbuis wordt dan — tot beneden de laagste stand van het grondwater — soms van asbestcement, koper of staal gemaakt.

Behalve in hout worden filter en stijgbuis ook uitgevoerd in staal, koper en keramisch materiaal.

De brandputten moeten voldoen aan de voorwaarde, dat een toereikende hoeveelheid grondwater kan worden geleverd. Zoals op bladzijde 11 reeds werd vermeld, wordt in de regel een minimale capaciteit van 60 m³ water per uur verlangd, indien althans de aard



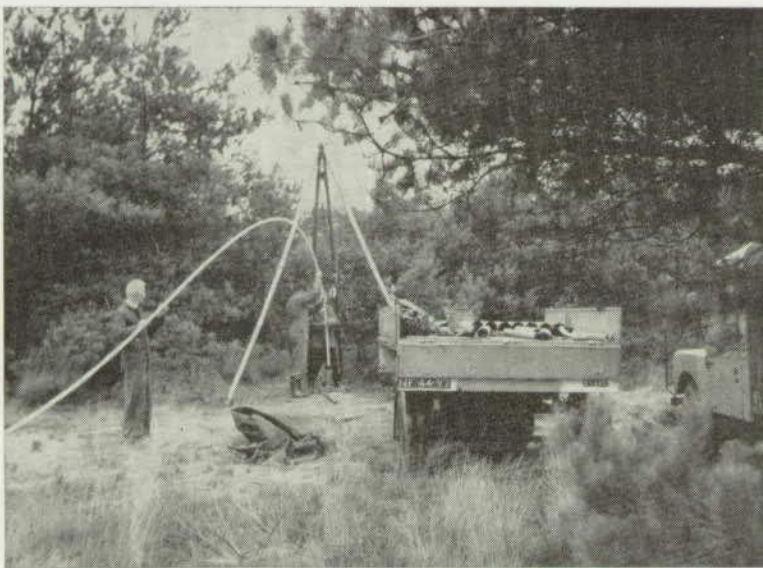
van de grondlagen dit mogelijk maakt. De afzuiging in de brandput — dit is de door het pompen veroorzaakte verlaging van de grondwaterstand in de stijgbuis — wordt gemeten in de stijgbuis of in een afzonderlijke 1" buis, welke op ongeveer 10 m beneden de ter plaatse laagst optredende stand van het grondwater op de stijgbuis is aangesloten (zie figuur 2). Een in de omstorting geplaatst 1" peilfilter (zie figuur 1) dient ter bepaling van de weerstand der omstorting.

In het laaggelegen poldergebied van Nederland, waar men de beschikking heeft over het water in grachten, singels, vijvers, sloten e.d. komen brandputten bijna niet voor.

Van de 1389 bij het archief geregistreerde brandputten, bevinden er zich dan ook 1214 (87,5%) in de provincies Drenthe, Overijssel, Gelderland, Utrecht (het oostelijke gedeelte), Noord-Brabant en Limburg.

2.2. Peilputten

Peilputten worden veelal geplaatst ten einde uit de daarbij verkregen gegevens — zoals aard van de doorboorde grondlagen, chemische samenstelling van het grondwater en de grondwaterstand — een inzicht te verkrijgen in de geo-hydrologische (naar het Grieks: *gè* = aarde, *hudoor* = water; de aardkunde en de kennis van het water in de bodem) gesteldheid van een bepaald gebied.



Gemert, ten zuid-oosten van Handel

Het inbrengen van een filter en stijgbuis van plastic in een boring van de Geologische Dienst.

*Foto jaarverslag '60
Geologische Dienst*

De oudste geboorde peilputten, opgenomen in het archief, liggen in het Gooi en dateren van het jaar 1897.

Vaak worden in boringen, welke worden ingericht tot peilput, meer — soms wel 10 — waarnemingsbuizen geplaatst, zodat de stijghoogte van het grondwater in meer dan één aardlaag kan worden nagegaan. In deze gevallen is veelal sprake van spanningswater.

In figuur 4 is een peilput met één waarnemingsbuis en in figuur 5 een peilput met 3 waarnemingsbuizen getekend.

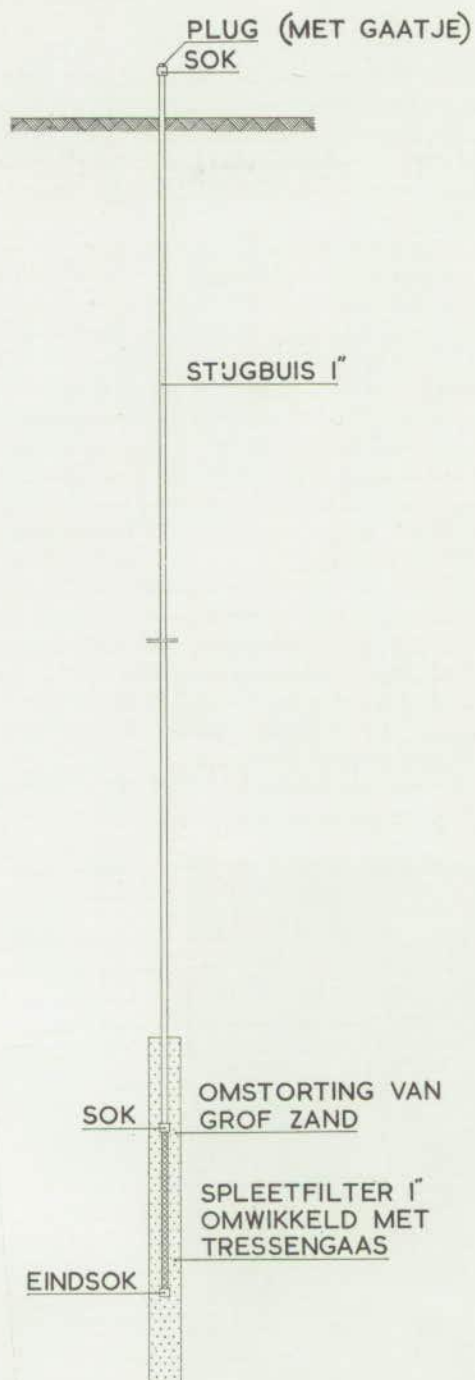


FIG. 4 Peilput met één waarnemingsbuis

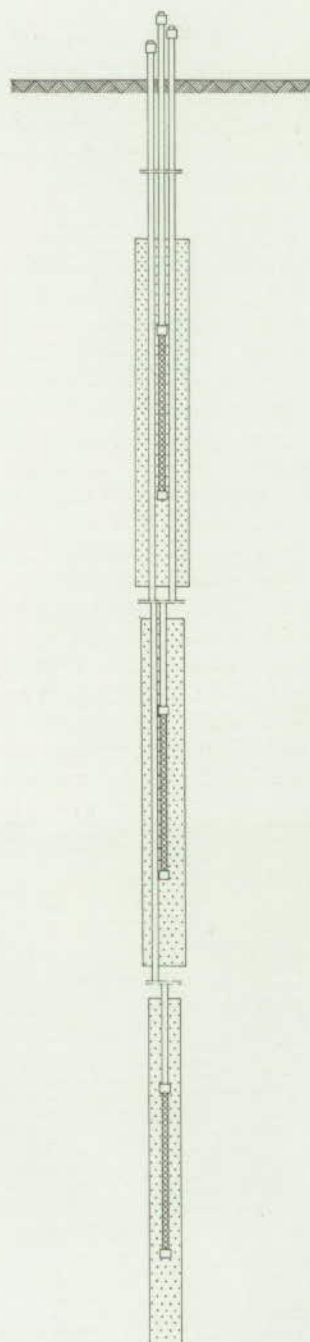


FIG. 5 Peilput met drie waarnemingsbuizen

In de figuren 6 tot en met 9 zijn enkele gevallen van de plaatsing van waarnemingsputten in freatisch en in spanningswater aangegeven. Daarbij zijn de filters aangeduid met een dikke lijn, de stijgbuizen met een dunne lijn, terwijl de grondwaterstand met een golflijntje is weergegeven. Het bodemprofiel is schematisch naast deze figuren getekend. Bij spanningswater heeft men — zoals in 1.3. is medegedeeld — met het piëzometrische niveau te maken.

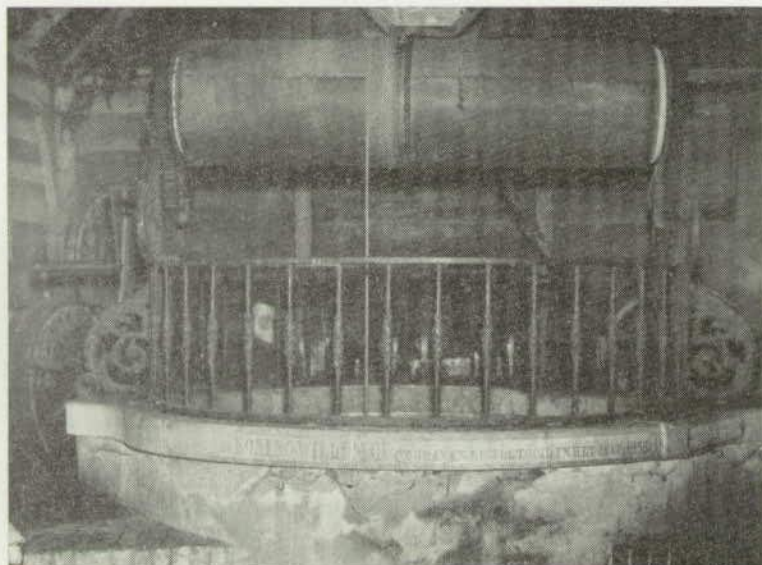
De diepte van de te stellen filters hangt af van het doel van het onderzoek. In een peilput met 9 filters — gelegen in de gemeente Schoorl — is het diepste filter op 314,40 m beneden het maaiveld gesteld. Is de onderkant van het filter op 5 m of minder dan 5 m beneden maaiveld geplaatst, dan wordt een dergelijk waarnemingspunt gerekend tot de landbouwbuizen (zie onder 2.4).

Evenals bij de brandputten zullen de filters — voor peilputten nagenoeg altijd ter lengte van 1 m — met of zonder zandvang in voldoende grof materiaal worden geplaatst. Ten einde verzanden of dichtslibben tegen te gaan, worden de filters, bij uitvoering in koper, omwikkeld met vertind roodkoperen tressengaas — gaas met zeer fijne mazen — en omstort met grof zand of fijn grind. Bij toepassing van plasticke filters — welke zeer nauwe spleten kunnen hebben — behoeft zelden een omwikkeling van tressengaas te worden aangebracht.

Veelal bezitten zowel de filters als de stijgbuizen een inwendige diameter van 25 mm.

De gebruikelijke materialen — welke kunnen worden gecombineerd — voor de (naadloze) stijgbuizen en filters zijn roodkoper en tegenwoordig polyvinylchloride (plastic) en voor de stijgbuizen bovendien gegalvaniseerd en in- en uitwendig geasfalteerd getrokken staal. De voordelen bij het gebruik van plastic zijn: het geringe gewicht en de gemakkelijke verwerking. Ook is het goedkoper dan de andere genoemde materialen. Het kan zonder bezwaar bij agressief grondwater worden toegepast.

Ter bescherming van de stijgbuizen, welke meestal boven het maaiveld uitsteken, kan een beschermkoker van voldoende lengte en zwaarte worden aangebracht.



*Apeldoorn, nabij
Hoog-Soeren*

*In Nederland wordt
de diepste grondwater-
terstand (ca. 70 m)
beneden maaiveld in
de Aardhuisput ge-
meten.*

*Foto
Centraal Technisch
Instituut T.N.O.*

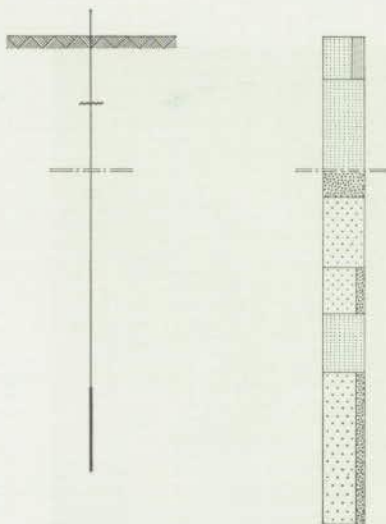


FIG. 6 *Peilput met één waarnemingsbuis*
Freatisch water (geen afsluitende lagen)

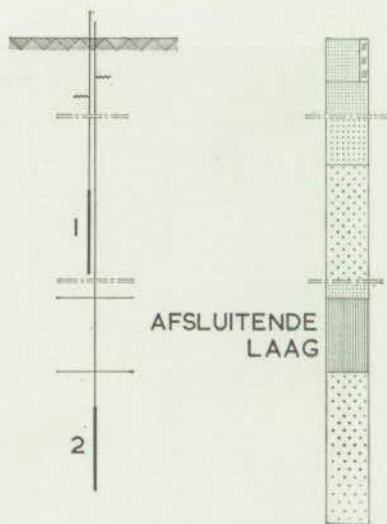


FIG. 7 *Peilput met twee waarnemingsbuizen*
Waarnemingsbuis 1 freatisch water
Waarnemingsbuis 2 spanningswater

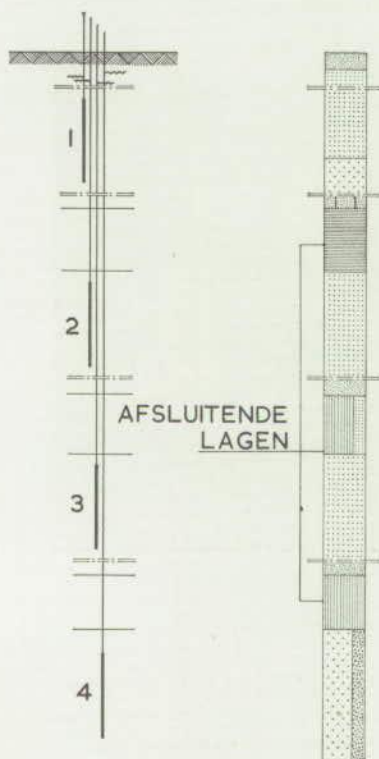


FIG. 8 *Peilput met vier waarnemingsbuizen*
Waarnemingsbuis 1 freatisch water
Waarnemingsbuizen 2, 3 en 4 spanningswater

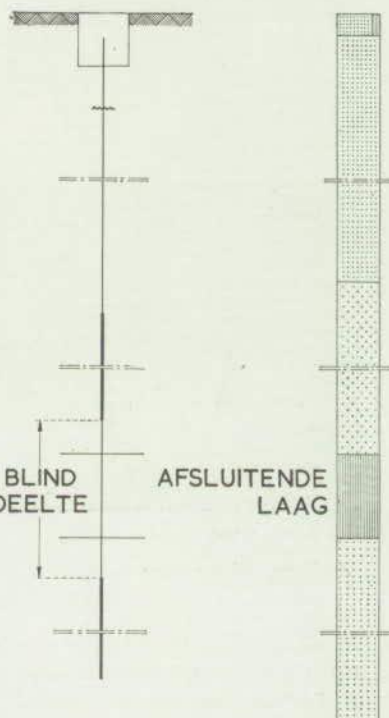


FIG. 9 *Brandput met blind gedeelte in het filter*
Gemengd water (boven de afsluitende laag freatisch water en beneden deze laag spanningswater)



Apeldoorn, Woeste-Hoeve

De stijghoogte van het grondwater in de pulspuit wordt geregeld gemeten in de „hoge” buis. Het voor huishoudelijk gebruik benodigde grondwater wordt uit de „hoge” buis geput en via de „lage” buis in een ondergronds reservoir gestort, waarop een handpomp — met haalleiding — is aangesloten.

Foto Centraal Technisch Instituut T.N.O.

Peilputten komen bijna door geheel Nederland voor. In streken, waar geen brandputten of peilputten aanwezig zijn, wordt — in samenwerking met verschillende instanties — getracht boringen in te richten tot peilputten met één of meer filters.

Bij het archief worden *pulsputten* en gemetselde putten met een grotere diepte dan 5 m beneden het maaiveld tot de peilputten gerekend.

In sommige van deze putten ligt de grondwaterspiegel op tientallen meters beneden het maaiveld (in de Aardhuisput, gemeente Apeldoorn, zelfs tot 70 m).

De Echoput — eveneens in de gemeente Apeldoorn — is gemaakt in het jaar 1809; de Aardhuisput in het jaar 1858. Van de meeste van dergelijke putten is de ouderdom echter niet bekend.

Bij de pulsputten werd vroeger — en in enkele gevallen ook thans nog — door middel van een puls van 1 m lengte en bij de gemetselde putten met één of twee emmers het benodigde drinkwater voor mens en dier naar boven gehaald.

De pulsputten en de gemetselde putten komen voor op de Veluwe. Van de in Zuid-Limburg aanwezige putten is meestal alleen het bovenste gedeelte gemetseld. Dieper is de aard van de mergel zodanig, dat geen voorziening voor de putwanden behoeft te worden getroffen.

Margraten, op het plein vóór de R.K.-kerk

Put, waarvan het bovenste gedeelte is gemetseld. Op grotere diepte beneden maaiveld is geen voorziening voor de putwanden getroffen.

Foto H. Vlothuizen



In figuur 10 is een pulsput getekend en in figuur 11 een in de mergel uitgehakte drinkwaterput, waarvan het bovenste gedeelte is gemetseld.

2.3. *Welputten*

Welputten hebben gediend — en dienen in sommige gevallen nog wel — voor de drinkwatervoorziening en/of de bluswatervoorziening.

De diepte is niet groter dan 5 m beneden maaiveld.

Zij zijn bij het archief in registratie in die gebieden, waar geen of nagenoeg geen brandputten of peilputten aanwezig zijn.

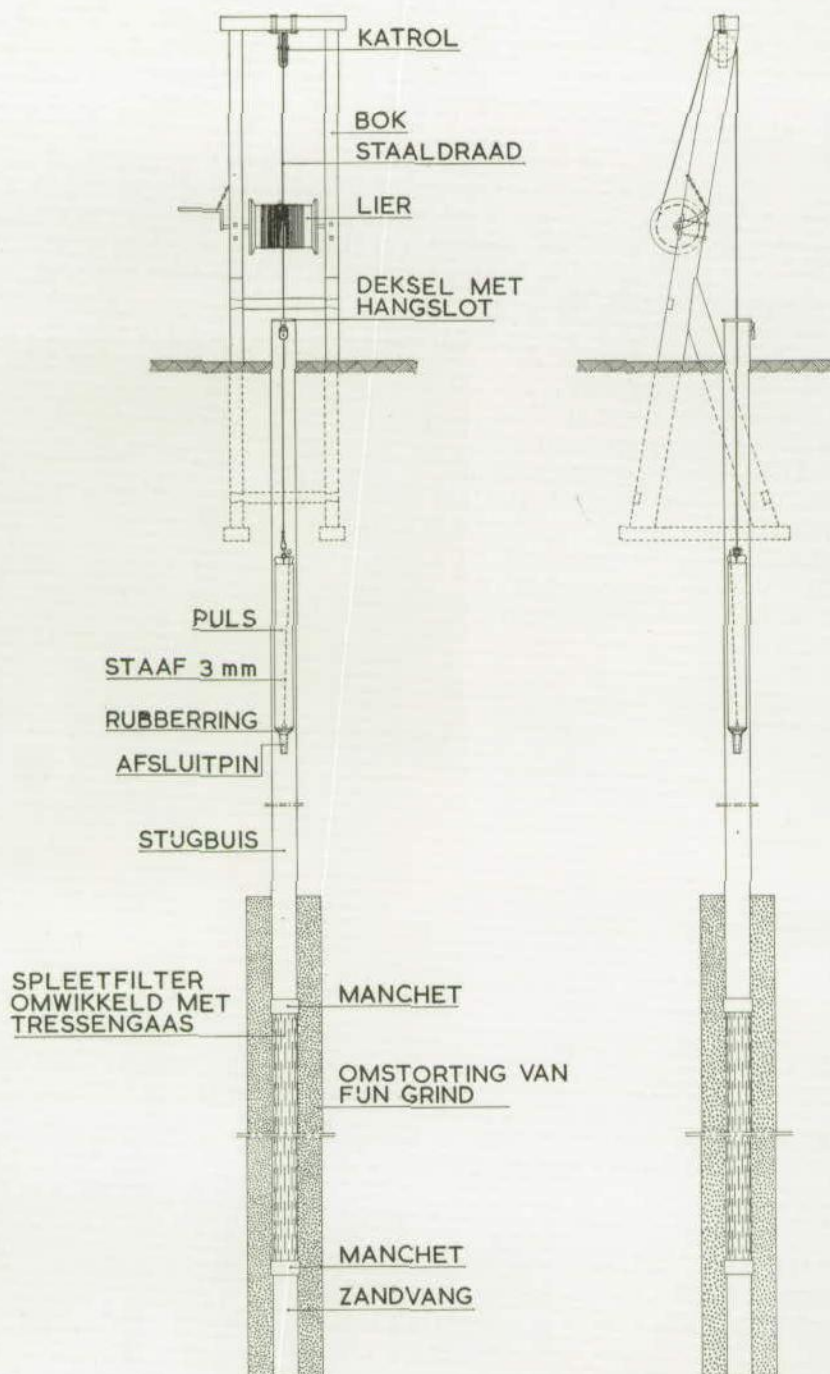


FIG. 10 Pulsput — peilput

Met behulp van de puls wordt het grondwater omhooggehaald.

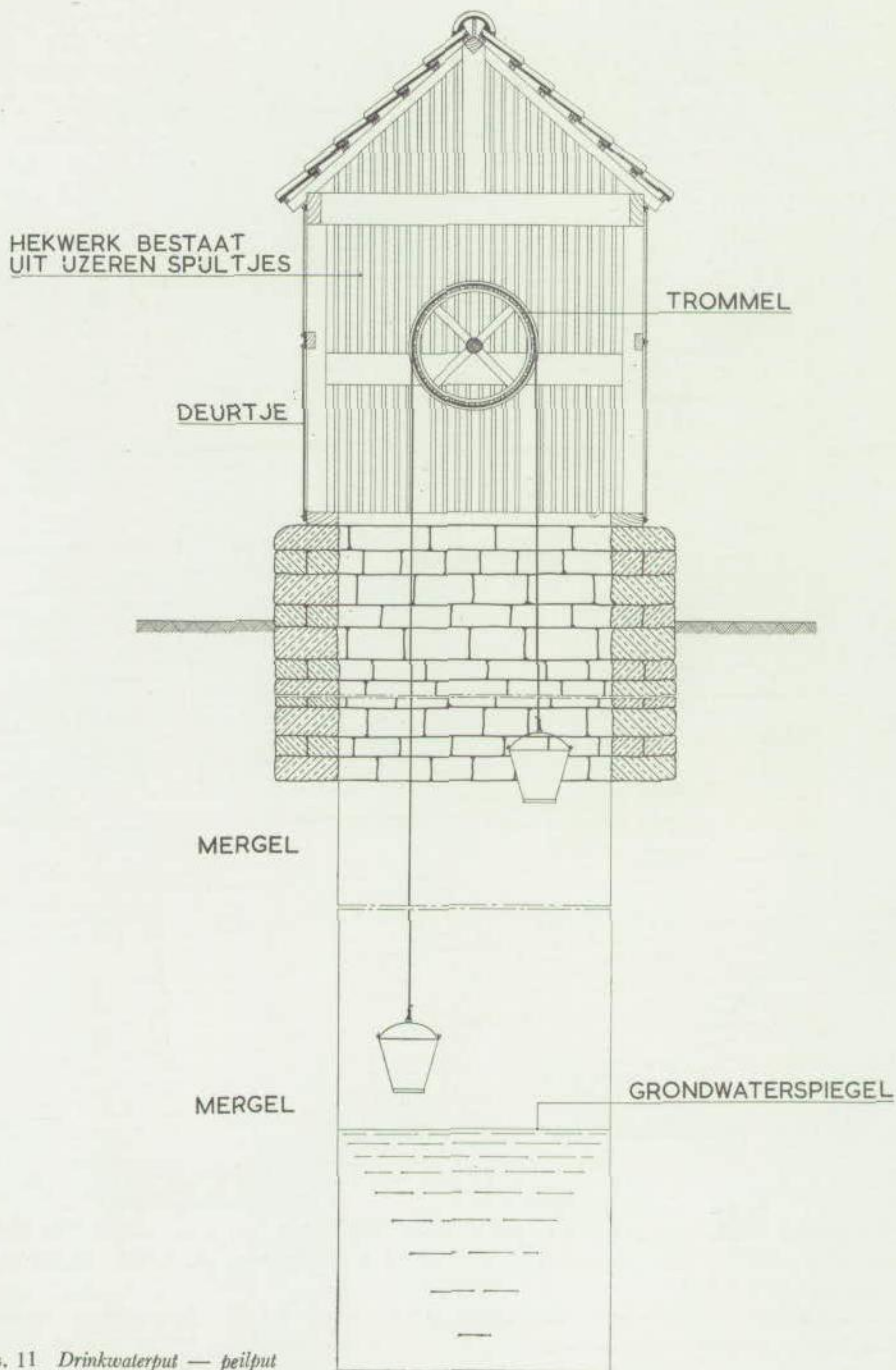


FIG. 11 Drinkwaterput — peilput

Bovenste gedeelte gemetseld, onderste gedeelte in de mergel uitgehakt. Buiten het huisje bevindt zich aan de trommel een draaiwiel (met kamradoverbrenging) voor het putten van water.

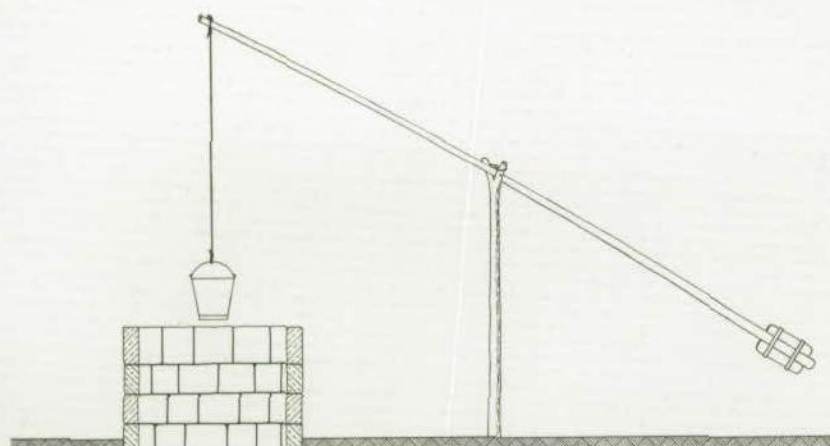


FIG. 12

Welput — Uitvoering in natuursteen



GRONDWATERSPIEGEL

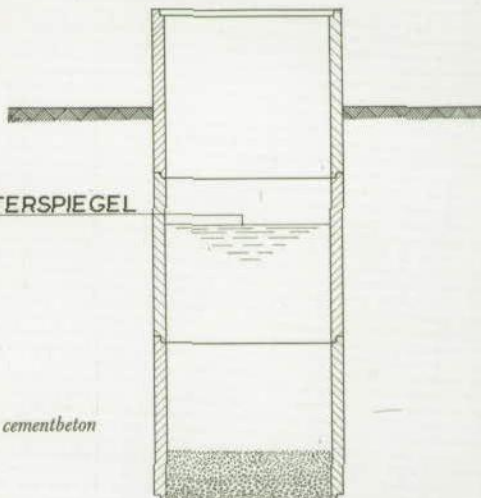


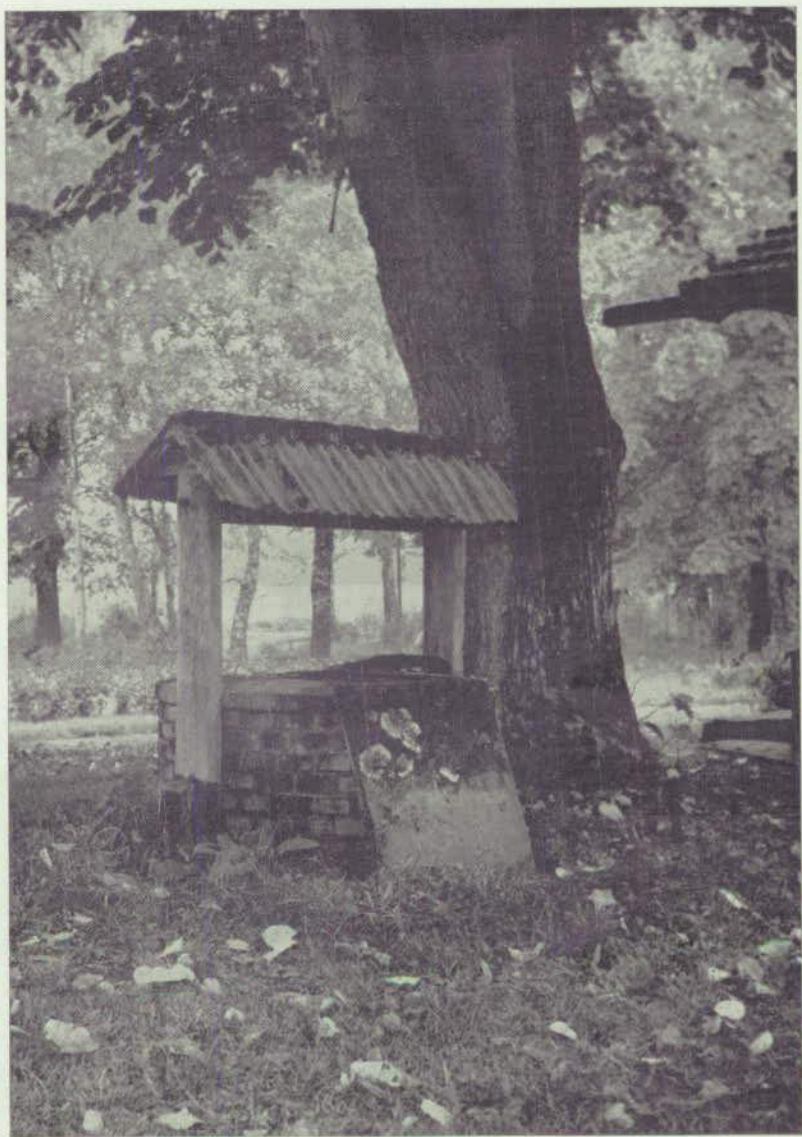
FIG. 13

Welput/veeput — Uitvoering in cementbeton

Veeputten, welke om genoemde reden soms ook in het net van waarnemingspunten van het archief zijn opgenomen, worden tot de welputten gerekend. Zij zijn nog steeds veel in gebruik.

De welputten zijn gemetseld van baksteen of bestaan uit op elkaar gezette cementbetonringen (zogenaamde putringen), elk ter hoogte van 1 m. De veeputten komen nagenoeg alleen in de laatstgenoemde uitvoering voor.

In figuur 12 is een welput en in figuur 13 een veeput getekend.



Epe, aan de Norel Holtweg — Welput in gemetselde uitvoering

Foto Centraal Technisch Instituut T.N.O.

2.4. Landbouwbuizen

Landbouwbuizen hebben een maximale diepte van 5 m beneden maaiveld. Bij grotere diepte worden zij gerekend tot de peilputten (zie onder 2.2).

Voor een onderzoek naar het gedrag van het grondwater op geringe diepte beneden het bodemoppervlak zijn buizen in grote getale — behalve op de hoger gelegen gronden, waar het grondwater zich vaak dieper dan 5 m beneden het maaiveld bevindt — gelijkmatig verdeeld over Nederland.

De constructie van de buis kan zeer eenvoudig worden gehouden en de buis kan met licht hoor- en pulsmateriaal worden geplaatst.

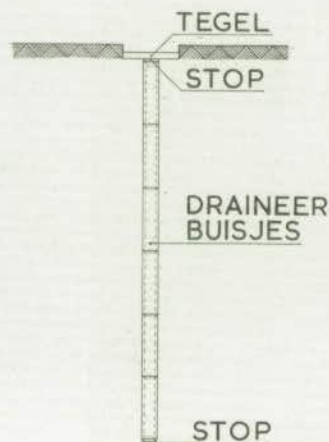


FIG. 14 Landbouwbuis van cementbeton

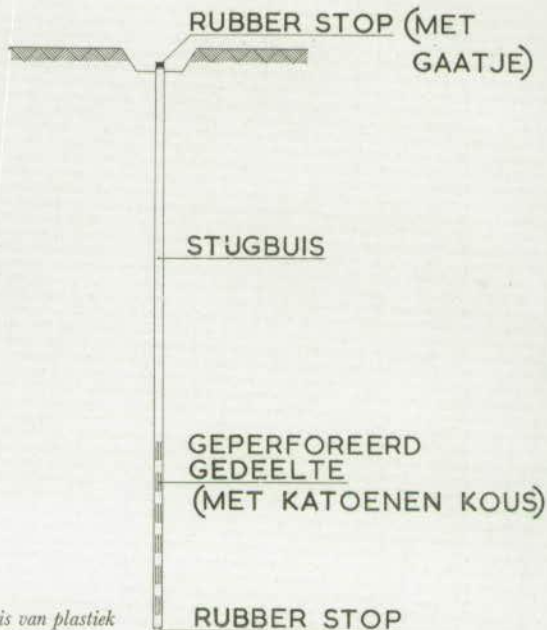


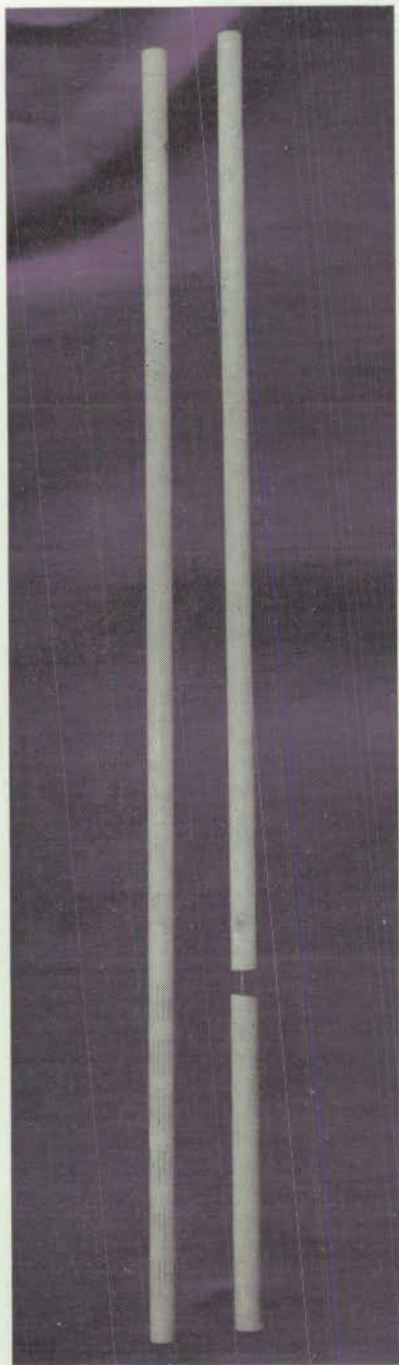
FIG. 15 Landbouwbuis van plastic

Figuur 14 laat een buis zien, welke bestaat uit 6 losse, loodrecht op elkaar gezette draineerbuisjes van cementbeton; figuur 15 toont een buis, uitgevoerd in polyvinylchloride (plastic).

Worden buizen volgens de eerstgenoemde constructie geplaatst in een fijnkorrelige bodemstructuur, dan zullen zij vaak snel dichtslibben of verzanden. Bij minder zorgvuldige uitvoering zullen de buisjes niet loodrecht op elkaar staan, hetgeen moeilijkheden bij het peilen van de grondwaterstand in de buis kan opleveren.

Aan buizen van staal en tegenwoordig van kunststof (plastic) wordt daarom, vooral als het eerstgenoemde bezwaar sterk geldt, de voorkeur gegeven, al ligt de kostprijs vrij veel hoger.

Bij dit soort buizen is de lengte van het filter — veelal is dit een geperforeerd gedeelte in het onderste stuk van de buis — meestentijds 0,50 m.



Wordt een katoenen kous om het filter of het geperforeerde gedeelte geschoven en een omstorting van grof zand of fijn grind toegepast, dan is nagenoeg geen gevaar voor verzanding of dichtslibbing te vrezen. Het geregeld schoonmaken (leegpulsen) van de buis komt dan groten-deels te vervallen, hetgeen tijd en dus geld bespaart en de nauwkeurigheid van de metingen der stijghoogte van het grondwater ten goede komt.

3. MEETINSTRUMENTEN VOOR HET WAARNEMEN VAN DE GRONDWATER-STAND

In putten en buizen kan het waarnemen der stijghoogte van het grondwater op verschillende manieren, afhankelijk van de diepte van de grondwaterspiegel beneden het maaiveld, geschieden.

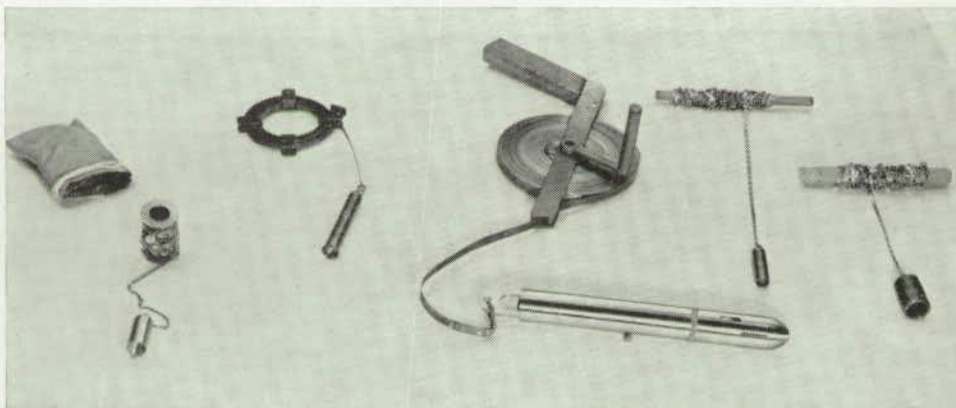
Is deze diepte gering, dan is een maatlat of een eenvoudig peilklokje aan een ketting of band, al of niet op een haspel, veelal voldoende. In de tegenwoordige uitvoering bestaat zo'n klokje bij het archief uit een messing staafje of roodkoperen kokertje, volgegoten met lood, waarbij onderin een holte is uitgespaard. Bij het neerlaten van het peilklokje zal bij aanraking van het wateroppervlak in de put of buis een klokkend geluid hoorbaar zijn. Het klokje is bevestigd aan een messing ketting met kleinschakels of aan een bronzen meetband, met een verdeling van 50 cm, respectievelijk 10 cm. De meetketting of meetband is op een stalen haspel gewonden.

Centimeters — dit is voor het archief voldoende nauwkeurig — kunnen op de meetketting of -band met behulp van een duimstok worden bijgemeten.

Landbouwbuizen van plastic

Links: zonder katoenen kous.

Rechts: met katoenen kous om het geperforeerde gedeelte. De kous is aan de bovenzijde met kleeflint (permacel-tape) bevestigd.



Meetinstrumenten in gebruik bij de waarnemers

Links: peilklokjes met messing ketting en bronzen meetband op haspel.

Midden: peillicht met bronzen meetband op draaibare haspel.

Rechts: peilklokjes met messing ketting op houten stokje.



Onderdelen van het peillicht van bovenstaande foto

Foto's Centraal Technisch Instituut T.N.O.

Het nadeel van een messing ketting is, dat na veelvuldig gebruik de schakeltjes uitslijten, zodat de meetketting langer wordt. De bronzen meetband is wat lastiger te hanteren, hetgeen minder vlot peilen met zich medebrengt.

Ook zijn bij het archief peilklokjes van lood, bevestigd aan een ketting, die op een houten stokje is gewonden, in gebruik.

Indien het geluid om een of andere reden — meestal door de grote diepte van het grondwater beneden het maaiveld — niet hoorbaar is, wordt het peilklokje vervangen door een peilfluit of een peillicht.

Bij het neerlaten van een peilfluit wordt bij aanraking van het wateroppervlak door het samenpersen van de lucht een fluittoon hoorbaar.

In een peillicht wordt bij een gedeeltelijke indompeling een balletje van plastic onder in het peillicht door het grondwater opgedrukt. Dit balletje stuit

tegen een veertje, dat via een pennetje contact maakt met een batterij. Hierdoor wordt een stroomkring gesloten, waardoor een lampje aangloeit.

Peillichten worden gebezigd bij het waarnemen van de grondwaterstand in peilputten op de Veluwe en in Zuid-Limburg. In deze putten bevindt het grondwater zich op een diepte van 12 tot 70 m beneden het maaiveld.

Het bepalen van de stand van het grondwater op deze grote diepten geschiedt met een dergelijk instrument zeer nauwkeurig.

Voorts kan de stijghoogte van het grondwater continu worden gemeten met een registrerend instrument. De schommelingen in de grondwaterstand worden door een vlotter met een tegengewicht overgebracht op een schrijfstift, welke de waterstand registreert op papier, bevestigd om een langzaam draaiende rol. In verband met de hoge kosten is voorlopig slechts één peilput met een dergelijk instrument uitgerust.

4. HET BETREKKEN DER GEGEVENS VAN DE GRONDWATERSTAND OP EENZELFDE VERGELIJKINGSVLAK

De metingen van de grondwaterstand in de putten en buizen worden, met behulp van de beschreven meetinstrumenten, verricht ten opzichte van een aan te nemen — zoveel mogelijk — vast punt.

Dit kan bij putten de bovenkant van de stijgbuis, de putrand, de bovenkant van de borstwering of een gemerkt punt zijn en bij brandputten in gesloten uitvoering met bochtstuk de binnen-onder-voorkant van het bochtstuk. Bij buizen kan dit in vele gevallen alleen de bovenkant van de buis zijn.

Duidelijk is, dat elke wijziging van het aan te houden vaste punt — meetpunt — bij het archief bekend behoort te zijn, ten einde tot een juiste verwerking van de verkregen gegevens der stijghoogte van het grondwater te komen.

Verscheidene diensten, werkzaam op het gebied van de cultuurtechniek, zullen voldoende hebben aan de gegevens van de grondwaterstand in de putten en buizen al of niet omgewerkt ten opzichte van het maaiveld.

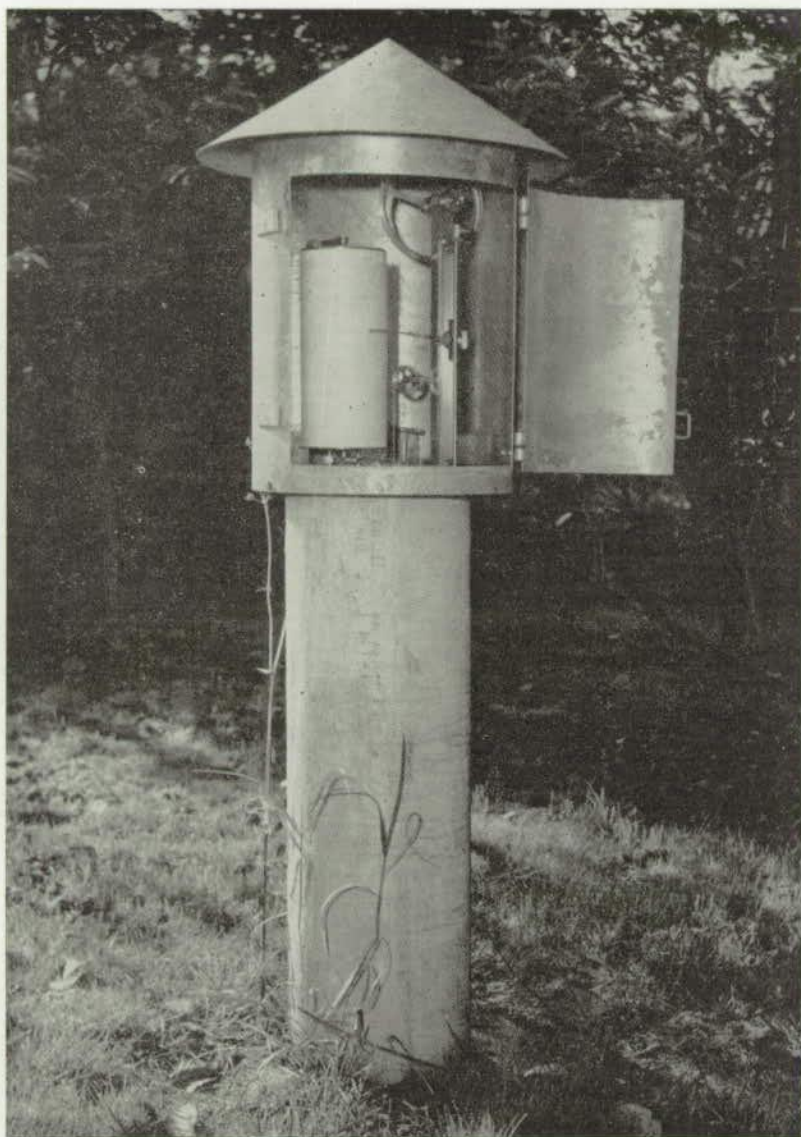
Door andere instanties, bedrijven enz. zal er echter in de meeste gevallen de voorkeur aan worden gegeven de verkregen gegevens der stijghoogte van het grondwater te betrekken op eenzelfde vergelijkingsvlak.

Hiervoor komt begrijpelijkerwijze het N.A.P.-vlak (Normaal Amsterdams Peil) in aanmerking, hetwelk in geheel Nederland op vele plaatsen is aangegeven door peilmerken.

De hoogte van het meetpunt, dat door de waarnemer van de grondwaterstand bij het meten wordt aangehouden, dient derhalve door waterpassen te worden bepaald ten opzichte van N.A.P.

Van de bij het archief geregistreerde putten en buizen was per 1 januari 1961 van 2632 putten (87,5%) en van 4189 buizen (73,5%) de hoogte van het meetpunt — en van het maaiveld ter plaatse — ten opzichte van N.A.P. bekend.

Het resultaat van deze waterpassingen is verwerkt op de bij het archief in gebruik zijnde systeemkaarten (zie blz. 35, 37 en 38), terwijl op formulieren (zie blz. 31 en 32) de gegevens der stijghoogte van het grondwater in de putten en buizen zijn herleid ten opzichte van N.A.P.



Baarn, aan de Prinses Marielaan

De grondwaterstand in de peilput wordt continu gemeten door een registrerend instrument.

Foto Centraal Technisch Instituut T.N.O.

5. DE NAUWKEURIGHEID DER GEGEVENS VAN DE GRONDWATERSTAND

Bij elke waarde van de gemeten grondwaterstand — en de hieruit afgeleide stijghoogte van het grondwater ten opzichte van N.A.P. — kunnen stelselmatige en toevallige fouten aanwezig zijn.

Apeldoorn, nabij Hoog-Soeren

Het peilen van de stijghoogte van het grondwater in de Aardhuisput met behulp van een peillicht, bevestigd aan een meetband.



*Foto Centraal Technisch Instituut
T.N.O.*

De stelselmatige fouten kunnen onder andere zijn:

- de lengte van de meetband(-ketting) is niet juist (zie bladzijde 26)
- bij herleiding ten opzichte van N.A.P.: de hoogte van het meetpunt ten opzichte van N.A.P. is niet juist ingemeten
- de hoogte van het meetpunt ten opzichte van N.A.P. verandert gedurende de periode, waarin metingen worden verricht, bij voorbeeld ten gevolge van bodemdaling, het nazakken van de put of buis.

De toevallige fouten kunnen bestaan uit:

- het onjuist aflezen op de meetband van de gemeten grondwaterstand
- het niet zuiver op het grondwateroppervlak houden van het peilklokje.

Stelselmatige fouten kunnen worden nagegaan en hersteld. Toevallige fouten zijn veelal moeilijk op te sporen. Nauwkeurig werken is derhalve een eerste vereiste.

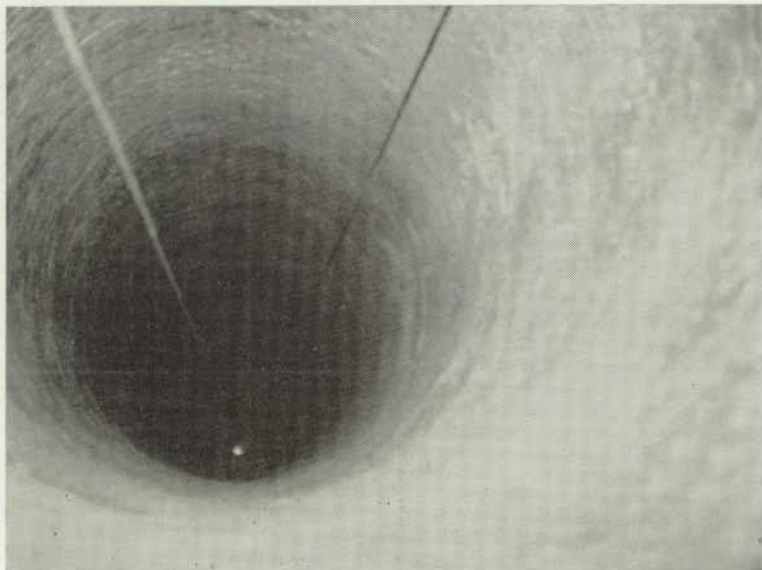
6. HET REGISTREREN EN VERSTREKKEN VAN GEGEVENS VAN DE GRONDWATERSTAND

De verkregen gegevens van de grondwaterstand worden geregistreerd op formulieren, waarbij ze tevens zijn herleid ten opzichte van N.A.P. De bladzijden 31 en 32 laten de indeling van dergelijke formulieren zien, respectievelijk voor een brandput en een landbouwbuis.

Met behulp van de gegevens worden — zij het in beperkte mate — eveneens op formulieren, tijdstijghoogtelijnen van het grondwater in putten en buizen getekend. Van zo'n formulier staat op bladzijde 33 een afbeelding. De gegevens van de grondwaterstand over 1960 in de brandput — tevens stampput (zie onder 10) — vermeld op bladzijde 31, zijn op dit formulier in een tijdstijghoogtelijn verwerkt.

Gegevens, eenmaal ondergebracht op deze formulieren, geven een goed overzicht van de gemeten stijghoogten van het grondwater. Van de formulieren kunnen afdrucken worden gemaakt.

Zeer veel gegevens worden op deze wijze aan tal van overheids- en semi-overheidsinstellingen en aan het particuliere bedrijfsleven verstrekt. Over het jaar 1960 zijn onder andere 10 174 afdrucken van de eerstbedoelde formulieren beschikbaar gesteld.



Het peilen van de grondwaterstand in de Aardhuisput

Op deze foto heeft het peillicht het wateroppervlak bereikt en brandt het lampje. De waarnemer kan de stand van het grondwater op de meetband aflezen.

Foto Centraal Technisch Instituut T.N.O.

Het archief stelt zich ten doel aan aanvragen zo spoedig mogelijk te voldoen.

Het komt echter voor, dat van gebieden, waarvan de gegevens nog niet op formulieren zijn geregistreerd, de gegevens minder snel kunnen worden verstrekt dan wenselijk is. In verband hiermede moge er de aandacht op worden gevestigd, dat het noodzakelijk is, de benodigde gegevens tijdig aan te vragen.

ARCHIEF VAN GRONDWATERSTANDEN T.N.O.

Kaartblad 50C Brandput 664/5					Folionummer 2						
Hoogte van het { meetpunt 1214 cm + N.A.P. maaiveld 1244 cm + N.A.P.					Provincie Noord-Brabant Gemeente Zundert						
Toestand van het grondwater gemengd spanningen											
Filter {		bovenkant	2656	cm-N.A.P.	met blind gedeelte van 3856 tot						
		onderkant	5356	cm-N.A.P.	4306 cm — N.A.P.						
Gegevens van de grondwaterstand in cm											
datum	— meet- punt	+ N.A.P.	datum	— meet- punt	+ N.A.P.	datum	— meet- punt	+ N.A.P.	datum	— meet- punt	+ N.A.P.
1957			1958			1959			1960		
14 I	303	911	14 I	301	913	14 I	302	912	16 I	392	822
28 I	305	909	28 I	300	914	28 I	294	920	28 I	360	854
14 II	295	919	14 II	294	920	14 II	317	897	15 II	355	859
28 II	292	922	28 II	291	923	28 II	315	899	29 II	349	865
14 III	296	918	14 III	292	922	14 III	320	894	14 III	348	866
28 III	293	921	28 III	301	913	28 III	309	905	28 III	353	861
15 IV	320	894	14 IV	321	893	14 IV	323	891	14 IV	368	846
29 IV	331	883	28 IV	327	887	28 IV	332	882	28 IV	382	832
14 V	348	866	14 V	321	893	14 V	349	865	14 V	398	816
28 V	360	854	28 V	326	888	28 V	366	848	28 V	394	820
14 VI	377	837	14 VI	355	859	15 VI	387	827	14 VI	402	812
28 VI	385	829	28 VI	348	866	29 VI	403	811	28 VI	412	802
15 VII	398	816	14 VII	341	873	15 VII	411	803	14 VII	418	796
29 VII	399	815	28 VII	328	886	28 VII	421	793	28 VII	423	791
14 VIII	397	817	14 VIII	343	871	14 VIII	412	802	16 VIII	410	804
28 VIII	386	828	28 VIII	337	877	28 VIII	418	796	29 VIII	397	817
14 IX	356	858	15 IX	357	857	14 IX	432	782	14 IX	375	839
28 IX	336	878	29 IX	350	864	28 IX	420	794	28 IX	358	856
14 X	324	890	14 X	335	879	14 X	443	771	14 X	336	878
28 X	312	902	28 X	325	889	28 X	432	782	28 X	315	899
14 XI	307	907	14 XI	314	900	14 XI	423	791	14 XI	310	904
28 XI	320	894	28 XI	327	887	28 XI	418	796	28 XI	294	920
14 XII	313	901	15 XII	315	899	14 XII	415	799	14 XII	288	926
28 XII	311	903	29 XII	308	906	28 XII	410	804	28 XII	296	918

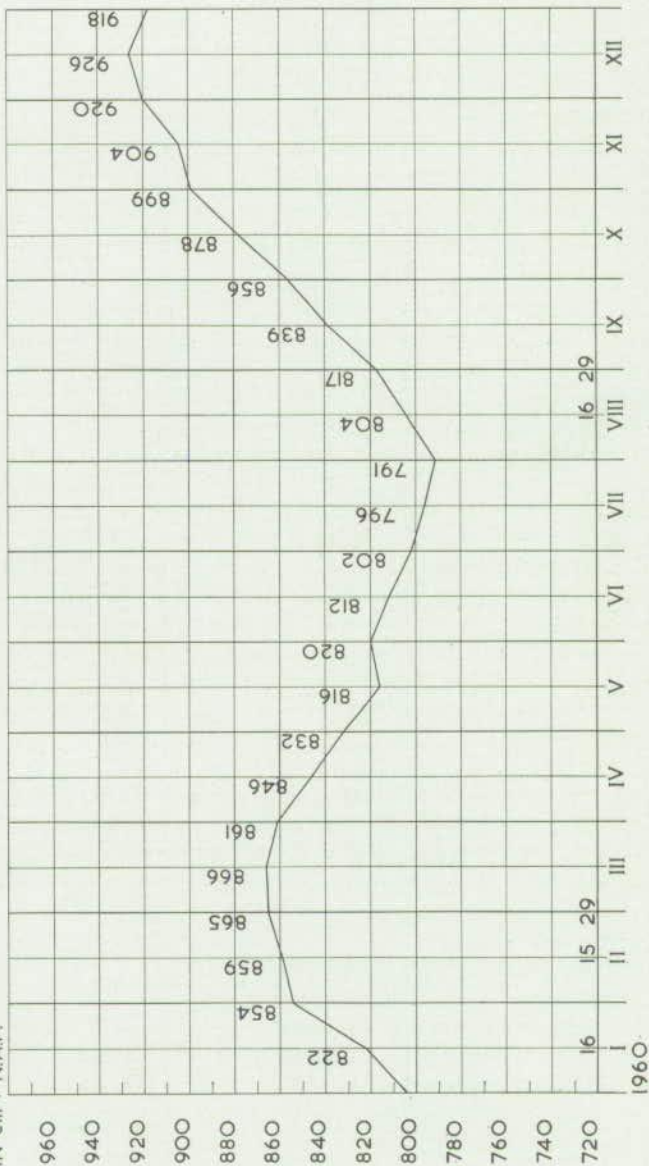
Bijzonderheden

ARCHIEF VAN GRONDWATERSTANDEN T.N.O.

Kaartblad 50C Landbouwbuis 1-1259						Folionummer 2					
Hoogte van het { meetpunt 956 cm + N.A.P. maaiveld 962 cm + N.A.P.						Provincie Noord-Brabant Gemeente Zundert					
Toestand van het grondwater freatisch											
Filter of geperforeerd gedeelte x { bovenkant cm N.A.P.; onderkant 756 cm + N.A.P.;						{ m.i.v. 28 X 59 814 cm + N.A.P. m.i.v. 14 IX 59 750 cm + N.A.P. m.i.v. 28 X 59 764 cm + N.A.P.					
Gegevens van de grondwaterstand in cm											
datum	— meet-punt	+ N.A.P.	datum	— meet-punt	+ N.A.P.	datum	— meet-punt	+ N.A.P.	datum	— meet-punt	+ N.A.P.
1957			1958			1959			1960		
14 I	046	910	14 I	038	918	14 I	029	927	14 I	126	838
28 I	056	900	28 I	035	921	28 I	050	906	28 I	106	858
14 II	026	930	14 II	038	918	14 II	073	883	15 II	110	854
28 II	040	916	28 II	032	924	28 II	078	878	29 II	100	864
14 III	056	900	14 III	043	913	14 III	075	881	14 III	111	853
28 III	033	923	28 III	050	906	28 III	057	899	28 III	115	849
15 IV	077	879	14 IV	081	875	14 IV	074	882	14 IV	128	836
29 IV	090	866	28 IV	050	906	28 IV	084	872	28 IV	131	833
14 V	100	856	14 V	072	884	14 V	100	856	14 V	139	825
28 V	098	858	28 V	074	882	28 V	109	847	28 V	127	837
14 VI	108	848	14 VI	101	855	15 VI	115s	841	14 VI	142	822
28 VI	115s	841	28 VI	071	885	29 VI	115s	841	28 VI	153	811
15 VII	115s	841	14 VII	076	880	14 VII	115s	841	14 VII	152	812
29 VII	115s	841	28 VII	067	889	28 VII	115s	841	28 VII	152	812
14 VIII	115s	841	14 VIII	055	901	14 VIII	115s	841	16 VIII	130	834
28 VIII	074	882	28 VIII	078	878	28 VIII	115s	841	29 VIII	117	847
14 IX	000	956	15 IX	085	871	14 IX	145s	805	14 IX	118	846
28 IX	064	892	29 IX	089	867	28 IX	145s	805	28 IX	104	860
28 X	067	889	14 X	057	899	14 X	145s	805	14 X	043	921
			28 X	072	884	28 X	163	801	28 X	064	900
14 XI	077	879	14 XI	069	887	14 XI	149	815	14 XI	056	908
28 XI	076	880	28 XI	082	874	28 XI	153	811	28 XI	036	928
14 XII	054	902	15 XII	052	904	14 XII	154	810	14 XII	049	915
28 XII	071	885	29 XII	057	899	28 XII	126	838	28 XII	057	907

Bijzonderheden m.i.v. 14 IX 59 meetpunt 950 cm + N.A.P.
herplaatst m.i.v. 28 X 59 meetpunt 964 cm + N.A.P.; maaiveld 966 cm + N.A.P.
x buis van cementbeton; m.i.v. 28 X 59 buis van plastic
s droog (op 115 cm, respectievelijk 145 cm verzand)

STIJGHOOGTE
IN cm + N.A.P.



PROV. NOORD-BRABANT	GEM. ZUNDERT	OPM.: WAARNEMINGSDATA 14e EN 28e VAN ELKE MAAND, TENZIJ ANDERS IS VERMELD
TIJDSTIJGHOOGTELIJN VAN STAMPUT 664/5		
ARCHIEF VAN GRONDWATERSTANDEN T.N.O.		KAARTBLAD 50 C
		A4
		BLAD NO. 10

7. HET VERWERKEN VAN GEGEVENS VAN PUTTEN EN BUIZEN OP SYSTEEMKAARTEN EN HET AANGEVEN VAN DE LIGGING OP EEN LEGGERSTEL

De voor het archief van belang zijnde gegevens van de brandputten, peilputten, welputten en landbouwbuizen worden verwerkt op voor dit doel ontworpen systeemkaarten.

De belangrijkste gegevens voor het archief zijn:

- a. de diepte van de onderkant en van de bovenkant van het filter (eventueel bij buizen van het geperforeerde gedeelte) beneden het maaiveld of ten opzichte van N.A.P.
- b. de inwendige diameter van het filter (geperforeerde gedeelte) en van de stijgbuis
- c. de diepte en de dikte van eventueel doorboorde min of meer afsluitende aardlagen, zoals klei, leem en veen
- d. de hoogte van het meetpunt en van het maaiveld ter plaatse ten opzichte van N.A.P.
- e. de eventuele invloed op het gedrag van het grondwater door de werking van pompstations e.d.

Bladzijde 35 laat de voorzijde en bladzijde 36 de achterzijde zien van een systeemkaart voor brandputten. De systeemkaarten voor peilputten en welputten zijn op dezelfde wijze ingericht.

Voorts zijn op de bladzijden 37 en 38 respectievelijk de voorzijde en de achterzijde afgebeeld van een systeemkaart voor een landbouwbuis.

Vermeld kan nog worden, dat veelal de gegevens van de constructie bij het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening (R.v.D.)¹⁾ en de samenstelling van de doorboorde aardlagen bij het genoemde instituut en de Geologische Stichting bekend zijn, indien de put een nummer heeft. Zo de put een letter heeft, dan is het vorenstaande niet bij deze instellingen bekend, doch in vele gevallen wel bij het archief. Voorts wordt een welput door plaatsing van de letter w en een landbouwbuis door de letter l, vóór de aanduiding van de put en de buis, aangegeven.

De ligging van alle waarnemingspunten is bij het archief aangegeven op een leggerstel, bestaande uit op karton geplakte schetsbladen, schaal 1 : 25 000, van de topografische kaart van Nederland. Op bladzijde 39 is van een gedeelte van een dergelijk schetsblad, waarop de ligging van enkele brandputten en landbouwbuizen is ingetekend, een afbeelding gegeven.

8. ISOHYPSENKAARTEN

Bij vergelijking van de stijghoogten van het grondwater — welke zijn gemeten op eenzelfde tijdstip of welke zijn gemiddeld, bij voorbeeld een seizoen- of een jaargemiddelde — in verschillende putten (en/of buizen) ten opzichte van N.A.P. zal men veelal zien, dat deze van put tot put verschillend zijn, afhankelijk van de topografie van het terrein, de bodemgesteldheid en andere factoren.

¹⁾ Tussen het R.v.D. en het archief bestaat een zeer nauwe samenwerking. Het archief is ondergebracht in een der gebouwen van het R.v.D.

ARCHIEF VAN GRONDWATERSTANDEN T.N.O.

BRANDPUTTEN

Provincie Noord-Brabant

Gemeente Zundert

Volnummer 1

Volg- num- mer	LOCATIE	Kaart- blad- num- mer	Nummer		Hoogte in m t.o.v. N.A.P.		Stijgbuis			Filter				Jaar van uit- voer- ing	
			geolo- gische boring	water- ana- lyse	maai- veld	meet- punt	lengte m	diameter inwendig mm	materiaal	lengte m	diameter inwendig mm	materiaal	diepte in m-maaiveld		
													boven- kant		onder- kant
1	Achmaal	49 H	663/3	geen	+	12,93	9,21	250	geasfalteerd staal	150	teakhout	23,00	32,00	55,00	1942
2	Klein-Zundert	50 A	664/6	geen	+	8,88	22,45	150	eikenhout	150	teakhout	4,75	59,75	66,75	1942
3	Markt, Zundert	50 C	664/3	geen	+	11,95	9,20	250	geasfalteerd staal	150	teakhout	7,00	45,00	64,00	
4	Molenstraat, Zundert	50 C	664/5	geen	+	12,44	35,45	150	eikenhout	150	teakhout	10,50	56,50	67,00	1942
5	Wernhoutse- weg, nabij kilometerpaal 50,4	50 C	664/7	geen	+	11,63	9,21	250	geasfalteerd staal	150	teakhout	4,00	71,00	84,50	1942
							17,00	150	geasfalteerd staal	150	teakhout	13,50	39,00	51,00	
							11,34	150	eikenhout	150	teakhout	10,50	55,50	66,00	

Volg-nummer	Naam van de boorfirma	Diepte van de kleilagen m-maaiveld	STRATIGRAFIE	s = spannings- f = freatisch g = gemengd water	Cap. m ³ / uur bij 2 m verlaging	Bijzonderheden
1	N.V. Visser & Smit's Aannemingsmaatschappij	2,75 — 7,25 13,25 — 19,70 25,40 — 27,20	II O f — 64,00 m II O m — 68,00 m	s	42,9	
2	idem	1,20 — 6,50 15,00 — 31,70 35,00 — 39,10 64,50 — 64,80	II O f — 57,00 m II O m — 65,00 m	s	28,2	
3	idem	68,00 — 70,60	II O f — 62,00 m II O m — 78,00 m III 2 — 101,00 m	g	36,5	
4	idem	9,70 — 31,00 31,40 — 34,00 51,00 — 55,00	II O f — 31,00 m II O m — 68,00 m	g s	27,6	gemengd spanningswater
5	idem	19,50 — 24,50 26,00 — 26,50 61,00 — 62,00	II O f — 39,50 m II O m — 62,00 m	s	28,8	

Provincie Noord-Brabant

Kaartblad nr. 50 C

Gemeente Zundert

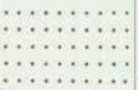
LANDBOUWBUIS nr. of letter l-1259

Locatie aan de Maalbergsestraat

Waargenomen door: de Dienst van Gemeentewerken

Maaiveldshoogte (mv.) 9,62 m + N.A.P.

Gegevens	Stijgbuis	Filter	Opmerkingen
diameter inwendig mm afmeting sleuven mm materiaal	50 cementbeton		datum van de water- passing 05 VIII 55
bovenkant in m t.o.v. $\left\{ \begin{array}{l} \text{N.A.P.} \\ \text{mv.} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 9,56+ \\ -0,06 \end{array} \right.$	geen	schoongemaakt 14 IX 59, bovenkant buis 9,50 m + N.A.P.
onderkant in m t.o.v. $\left\{ \begin{array}{l} \text{N.A.P.} \\ \text{mv.} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 7,56+ \\ -2,06 \end{array} \right.$		herplaatst 28 X 59 zie volgnummer 2 z.o.z.

Hoogteligging m-maaiveld	Nr. aardlagen	Boorprofiel met filterstelling	Aardlagen		Freatisch  } water
			nr.	korte beschrijving	Bijzonderheden
0	1		1	geel zand lichtgrijs zand (drijfzand)	
1					
2	2				
3					
4					
5					

Provincie Noord-Brabant

Kaartblad nr. 50 C

Gemeente Zundert

LANDBOUWBUIS nr. of letter l-1259

Locatie aan de Maalbergsestraat

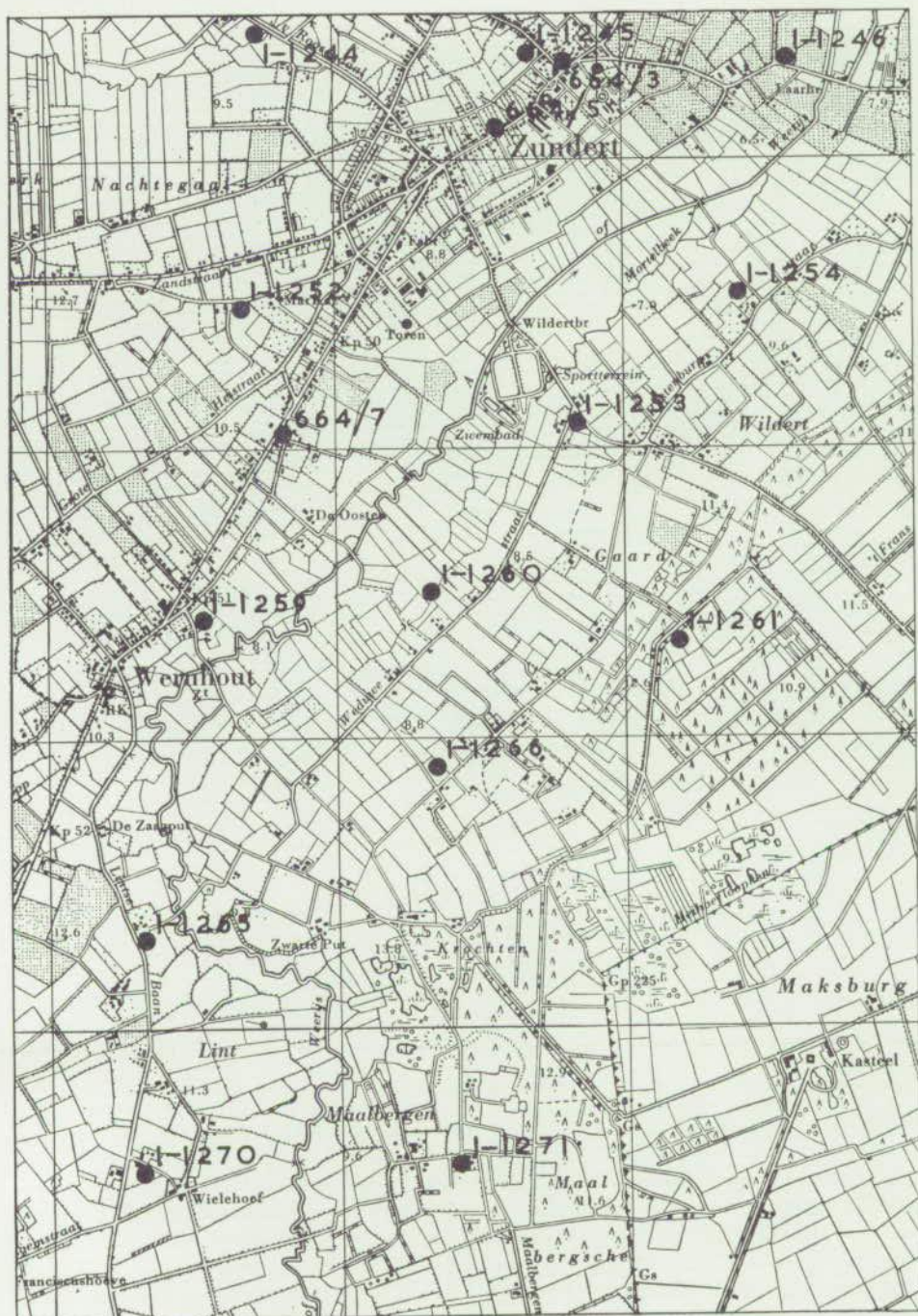
Waargenomen door: de Dienst van Gemeentewerken

Maaiveldshoogte (mv.) 9,66 m + N.A.P.

Gegevens	Stijgbuis	Filter*	Opmerkingen
diameter inwendig mm	32	32	geplaatst 28 X 59
afmeting sleuven mm		50 x 0,45	
materiaal	plastiek	plastiek	
bovenkant in m t.o.v.	N.A.P. 9,64+	8,14+	datum van de waterpassing 15 VI 61
	mv. -0,02	-1,52	
onderkant in m t.o.v.	N.A.P. 8,14+	7,64+	*geperforeerd gedeelte
	mv. -1,52	-2,02	

Z.O.Z.

Hoogteligging m-maaiveld	Nr. aardlagen	Boorprofiel met filterstelling	Aardlagen		Freatisch Spanning } water
			nr.	korte beschrijving	Bijzonderheden
0			1	zand	
1	1				
2					
3					
4					
5					



Gedeelte van schetsblad nr. 50 C, schaal 1 : 25 000

Topografische Dienst, Delft

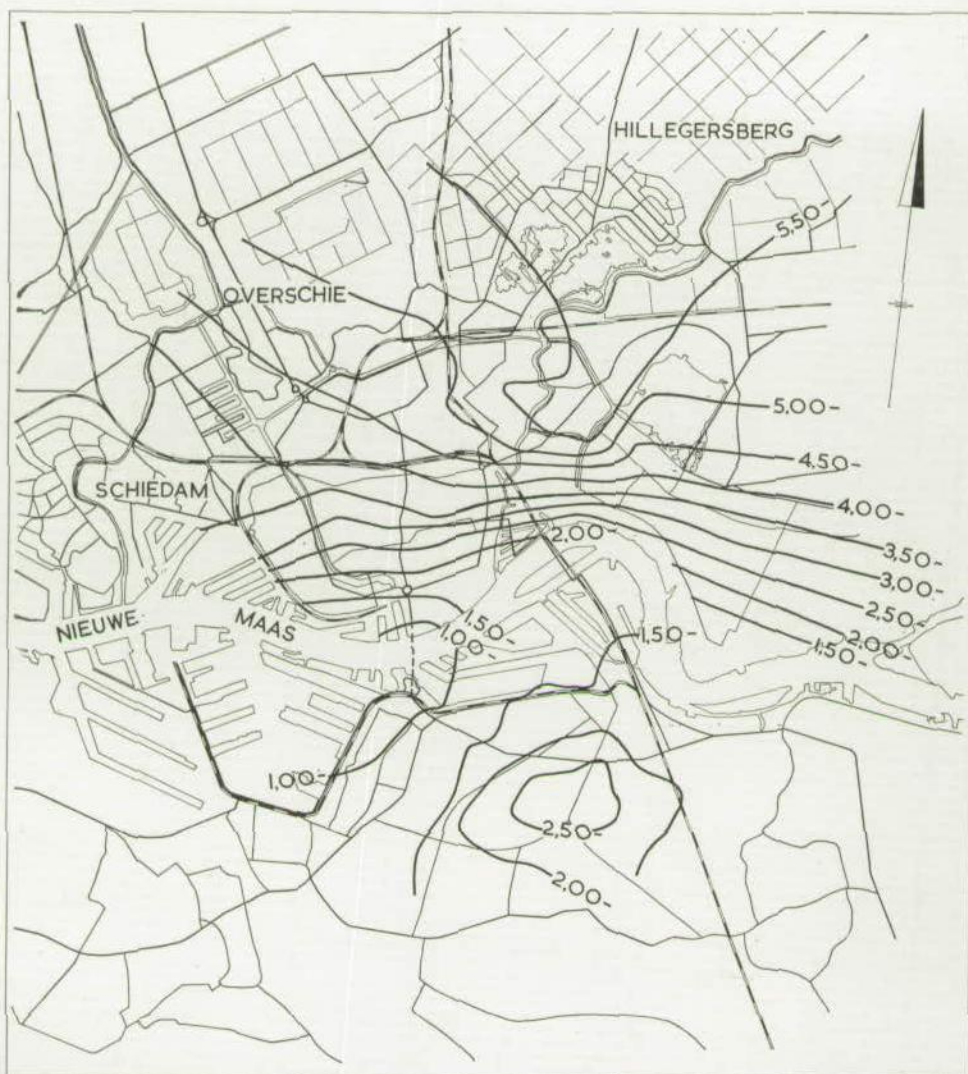


FIG. 16 *Isohyphen van het diepe grondwater, waargenomen in putten in de gemeente Rotterdam. De lijnen geven de gemiddelde grondwaterstand aan — in m beneden N.A.P. — in 1960. Welwillend afgestaan door de Dienst van Gemeentewerken te Rotterdam (afdeling Grondmechanica).*

Door punten met een gelijke stand van het grondwater met elkaar te verbinden, verkrijgt men als het ware een hoogtekaart van de grondwaterstand (*isohypsenkaart*). Op deze kaart kunnen de stromingsrichting (loodrecht op de lijnen van gelijke grondwaterstand) en het verhang van het grondwater worden afgelezen.

Figuur 16 geeft de isohypsenkaart weer van het diepe grondwater (*spanningswater*), waargenomen in brandputten en peilputten in de gemeente Rotterdam.

Worden isohypsenkaarten vervaardigd van de stijghoogte van het grondwater op verschillende data (bij voorbeeld in voorjaar en najaar), dan kunnen deze een getrouw beeld geven van seizoeninvloeden. In het begin van het voorjaar komt namelijk over *het algemeen een hoge en in de nazomer een lage stand van het grondwater voor.*

Bij het tekenen van isohypsenkaarten zal men er op dienen te letten of men heeft te maken met freatisch water of met spanningswater. Voor beide dient een afzonderlijke kaart te worden vervaardigd. Wanneer het grondwater brak of zout is — zoals bij voorbeeld in de kustprovincies — dan dient, in verband met het hogere soortelijk gewicht ten opzichte van zoet water, een correctie voor de stijghoogte van het grondwater te worden aangebracht.

9. HET BELANG VAN HET METEN VAN DE GRONDWATERSTAND

Voor vele zeer verschillende doeleinden kan uit het archief een inzicht inzake de *diepte van het grondwater in putten en buizen worden verkregen.*

Talrijke instellingen en het particuliere bedrijfsleven maken dan ook geregeld gebruik van de door het archief ter beschikking gestelde gegevens.

Vele van de waterhuishoudkundige problemen — welke vaak weer van elkaar afhankelijk zijn — liggen op civieltechnisch, cultuurtechnisch en watervoorzieningsgebied.

Enkele van de problemen op deze gebieden, waarbij kennis van de stijghoogte van het grondwater noodzakelijk is, zijn:

A. *civieltechnische werken*

- a. het toepassen van bronbemaling en open bemaling voor een tijdelijke grondwaterstandsverlaging ten behoeve van bouwputten en sleuven voor kunstwerken, gebouwen, funderingen enz.
- b. het bepalen van funderingsconstructies (houten palen moeten bij voorbeeld beneden de laagst optredende grondwaterstand op hoogte worden afgezaagd)
- c. rioleringswerkzaamheden en het aanleggen van reservoirs, waarvan de bodem beneden de grondwaterspiegel ligt
- d. kwelverschijnselen (kwel = opwellen van grondwater over meer of minder grote gebieden), gedrag en grootte van de kwel met betrekking tot de aanleg van nieuwe polders, het verlagen van de peilen in bestaande polders en de daartoe te treffen voorzieningen
- e. ontgronding, zoals de winning van zand, grind, klei enz. langs en in rivieren, meren, duinen en terreinen
- f. riviervverbetering, verbetering van de ontwatering
- g. aanleg van wegen, in verband met eventuele vorstschade (opvriezen)
- h. het aanleggen van bliksembeveiligingsinstallaties. De elektroden moeten tot ruim in het grondwater worden gedreven.

B. *cultuurtechnische werken, de watervoorziening en waterbeheersing van en voor de land- en tuinbouw*

- a. drainering van gebieden met een te hoge grondwaterstand

- b. infiltratie en beregening, dus verhoging van de stand van het grondwater en soms tijds de verbetering van de kwaliteit van het aanwezige grondwater
- c. de opbrengst van het gewas en de gewassenkeuze, beide nauw samenhangende met de hoogte van het grondwater c.a.
- d. het in cultuur brengen van woeste gronden en van gronden in nieuw aangelegde polders
- e. de invloed van een verandering van de grondwaterstand op de flora en de fauna.

C. de watervoorziening ten behoeve van drinkwaterleidingen en de industrie

- a. de invloed van wateronttrekking op grote schaal
- b. kunstmatige aanvulling van het grondwater door bevoeiing — vooral in zandgronden (bij voorbeeld duingebieden) — bij zeer grote wateronttrekking
- c. bescherming van waterwinplaatsen tegen verontreiniging van het grondwater.

De waarde van de gegevens bij het archief zal van jaar tot jaar toenemen, naarmate de waarnemingsreeksen langer worden.

Het archief is voor ieder toegankelijk en de gegevens mogen in het algemeen vrijelijk en zonder kosten worden overgenomen.

10. HET BEWERKEN VAN GEGEVENS INZAKE DE GRONDWATERSTAND

Peilt men in een bepaald gebied geregeld de stijghoogte van het grondwater in verschillende putten of buizen, dan blijkt veelal, dat tussen de standen onderling verband bestaat. Kent men dit verband, dan kan één put (of buis) in dat gebied worden gekozen als *stamput*, waarna de grondwaterstand in de overige putten of buizen met behulp van dit verband kan worden berekend uit die, welke in de stamput wordt gemeten. Dit betekent een aanzienlijke besparing aan werk.

In de praktijk is gebleken, dat het voor het voldoende nauwkeurig vaststellen van het verband tussen de stijghoogten van het grondwater in een bepaald gebied nodig is, eerst gedurende ten minste 3 jaar tweemaal per maand de grondwaterstand waar te nemen, zodat voor de berekening per put 72 waarnemingen beschikbaar zijn.

In verband hiermede werden — zoals bekend is — de 14de en 28ste dag van elke maand als peildata gekozen, met dien verstande, dat, mochten deze data op zon- of feestdagen vallen, het peilen dient te worden verricht op de eerstvolgende werkdag. Indien de peildatum op zaterdag valt, geschiedt het waarnemen — sedert de invoering van de vrije zaterdag — op de vrijdag daarvóór.

Voor bepaalde onderzoeken is het soms gewenst de stijghoogte van het grondwater dagelijks of wekelijks te peilen.

Is het om praktische redenen niet mogelijk de grondwaterstand tweemaal per maand waar te nemen, dan kan dit éénmaal per maand geschieden. In plaats van 3 jaar zal dan 6 jaar lang moeten worden gepeild ten einde 72 waarnemingen te verkrijgen.

Tabel II geeft een overzicht van de frequentie, waarmede in 1960 de stijghoogte van het grondwater in putten en buizen werd gepeild.

TABEL II

Tijdstip van waarneming	Aantal		
	putten	buizen	peilingen per jaar
continu (registrerend instrument)	1		
dagelijks, behalve op zon- en feestdagen	3	11	308
wekelijks	67	367	52
14de en 28ste dag van elke maand	1888	2539	24
14de of 28ste dag van elke maand	208	162	12
28 april, 28 augustus, 14 oktober en 14 december (omstreeks deze data kan in het algemeen een gemiddelde grondwaterstand voor elk seizoen worden verwacht)	18	2527	4
28 april en 14 oktober *)	760	96	2
op diverse data	64	7	2 tot 36
Totaal	3009	5709	

*) Met ingang van 1962 wordt de grondwaterstand in de 760 putten en 96 buizen eveneens gepeild op 28 augustus en 14 december.

In 1952, toen in een aantal putten reeds gedurende ruim 3 jaar waarnemingen waren verricht, werd een begin gemaakt met het berekenen van het bedoelde verband. De wijze waarop dit geschiedt, werd destijds uiteengezet in Mededeling nr. 1 van het archief¹⁾. Omdat deze mededeling niet meer verkrijgbaar is en voorts enige wijzigingen in de opzet van de berekening werden aangebracht, wordt de theorie in het onderstaande opnieuw behandeld. De niet-wiskundig geschoolde lezer kan deze uiteenzetting gevoeglijk overslaan.

10.1. Theoretische grondslagen

Ten einde een indruk te krijgen van de samenhang of *correlatie* tussen de grondwaterstand in 2 putten (2 buizen of een put en een buis) in een bepaald gebied, kan men de op eenzelfde tijdstip verrichte waarnemingen in een rechthoekig assenstelsel tegen elkaar uitzetten.

De in een dergelijk *spreidingsdiagram* verkregen punten blijken veelal min of meer op een rechte lijn te liggen (zie figuur 17). Zij vormen een *puntenzwerm*, waarvan de alge-

Ir. J. H. Beltman en J. Kost: Een onderzoek naar de veranderingen van de grondwaterstand in de duinen in de gemeente Schoorl — 1952.

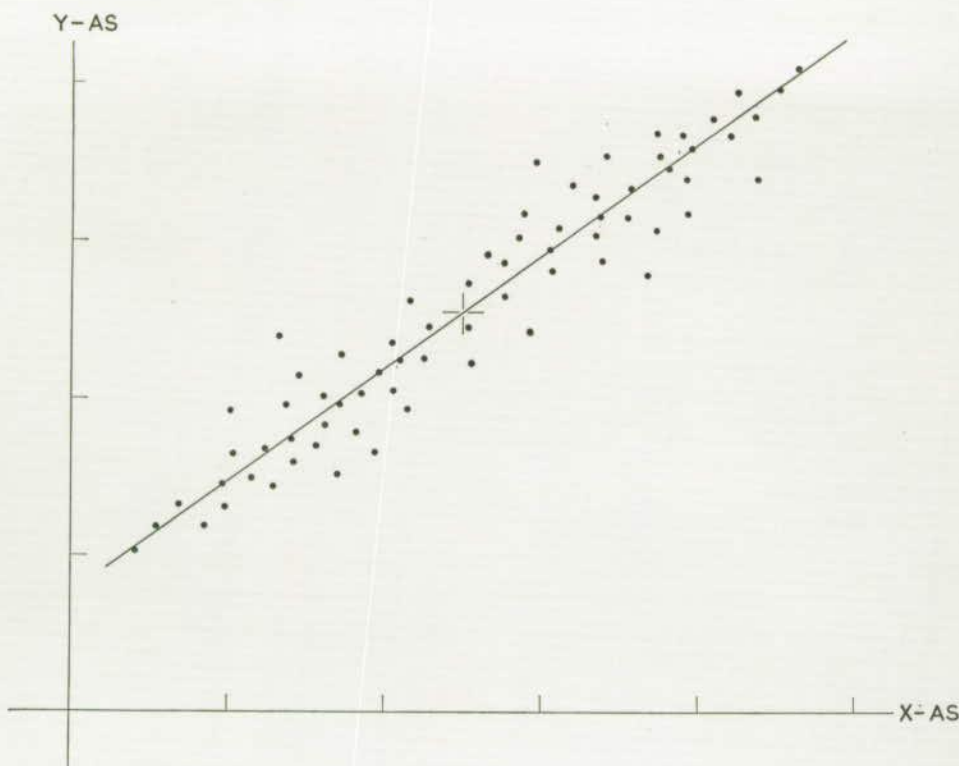


FIG. 17 *Spreidingsdiagram*

De op eenzelfde tijdstip verrichte waarnemingen van de grondwaterstand in 2 putten zijn in dit diagram tegen elkaar uitgezet. Het rekenkundig gemiddelde is met + aangegeven.

mene tendentie wordt aangegeven door deze rechte lijn ¹⁾. Naarmate de punten zich nauwer bij de rechte lijn aansluiten, is de samenhang tussen de stijghoogten van het grondwater in beide putten groter, of met andere woorden de correlatie hoger.

Deze correlatie wordt uitgedrukt in een *correlatiecoëfficiënt*, welke zodanig wordt gedefinieerd, dat zij steeds ligt tussen -1 en $+1$. Bestaat er geen samenhang tussen de grondwaterstand in beide putten, dan is de correlatiecoëfficiënt 0 . Hoe dichter deze coëfficiënt bij -1 of bij $+1$ ligt, des te hoger is de correlatie, met andere woorden des te nauwer sluiten de punten van de puntenzwerm zich aan bij de rechte lijn.

Het zal duidelijk zijn, dat men, wanneer eenmaal deze rechte lijn voor de stijghoogten van het grondwater in 2 putten bekend is, in het vervolg slechts de grondwaterstand in de ene put behoeft waar te nemen om die in de andere put eveneens te kennen en wel met een gewenste relatieve nauwkeurigheid ten opzichte van de variatie in de stijghoogten van het grondwater (zie bij voorbeeld de afleiding van formule 15 op blz. 49).

¹⁾ In theorie is ook een kromlijinig verband mogelijk; dit wordt in de praktijk zó zelden gevonden dat er in deze beschouwing geen rekening mede zal worden gehouden.

Men noemt de lijn, welke zich het beste bij de puntenzwerm aanpast, de *regressielijn*. Het maakt daarbij verschil uit of men:

- de waarnemingen van de grondwaterstand verricht in put A en hieruit de stijghoogte van het grondwater in put B berekent, dan wel
- de waarnemingen verricht in put B en hieruit de grondwaterstand in put A berekent.

Worden de waarnemingen in put A uitgezet volgens de X-as en die in put B volgens de Y-as, dan spreekt men, ten aanzien van de regressielijnen

in geval a) van de regressielijn van y op x en

in geval b) van de regressielijn van x op y .

De regressielijn kan in sommige gevallen vrij nauwkeurig op het oog worden getrokken. Meer exact echter kan de regressielijn worden berekend met behulp van de methode der kleinste vierkanten. Daarbij wordt voor het geval van de regressie van y op x de regressielijn gedefinieerd als de lijn, waarvoor de som der kwadraten van de afstanden der punten van het spreidingsdiagram tot de lijn, gemeten in de richting van de Y-as, minimum is. De algemene vergelijking van deze rechte lijn is $y = m_a x + p$, waarin m_a de tangens van de hellingshoek met de X-as voorstelt — in het algemeen de *richtingscoëfficiënt* genoemd, bij de toepassing op regressielijnen de *regressiecoëfficiënt* — en p het stuk, hetwelk door de lijn wordt afgesneden van de Y-as (zie figuur 18).

De verticale afstand v van een punt $P(x, y)$ van het spreidingsdiagram tot de lijn is

$$v = y - m_a x - p \quad (1)$$

$$[v^2] = [(y - m_a x - p)^2] \quad (2)^*$$

Wil $[v^2]$ minimum zijn, dan moet worden voldaan aan de voorwaarden:

$$\frac{\partial [v^2]}{\partial p} = 0 \quad (3) \quad \text{en} \quad \frac{\partial [v^2]}{\partial m_a} = 0 \quad (4)$$

Voorwaarde (3) geeft: $[2(y - m_a x - p)] = 0$ of ook $[y] - m_a [x] - n p = 0 \quad (5)$

Stelt men de rekenkundige gemiddelden voor door:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} (y_1 + y_2 + \dots + y_n)$$

dan wordt (5) $\bar{y} = m_a \bar{x} + p \quad (6)$

Dat wil zeggen, dat de regressielijn gaat door het punt $\bar{P}$, waarvan de coördinaten de gemiddelden zijn van alle x -, respectievelijk alle y -waarden.

Uit (2) kan nu p worden geëlimineerd met behulp van (6):

$$[v^2] = [\{y - \bar{y}\} - m_a (x - \bar{x})]^2 \quad (7)$$

Voorwaarde (4) geeft nu:

$$m_a = \frac{[(x - \bar{x})(y - \bar{y})]}{[(x - \bar{x})^2]} \quad (8)$$

* $[\]$ geeft aan, dat gesommeerd wordt over alle waarnemingsparen (= paren x, y). Het aantal waarnemingsparen zal verder door n worden aangegeven.

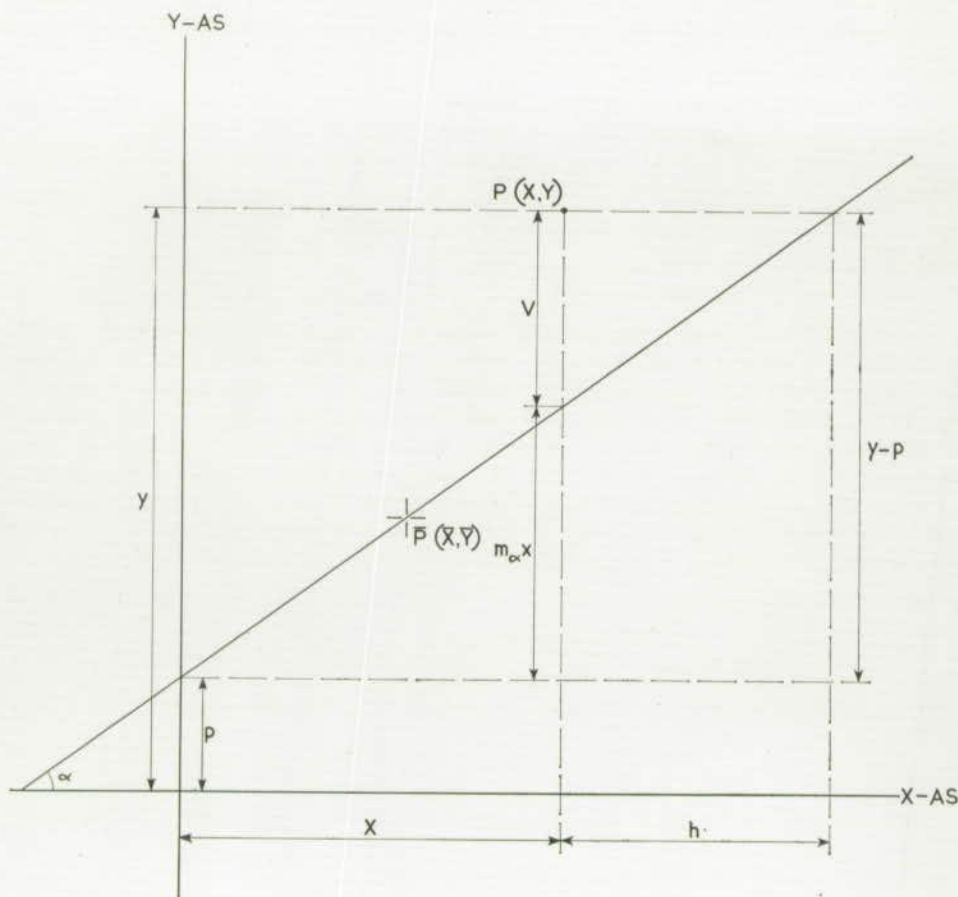


FIG. 18

De regressielijn van y op x (dus $y = m_\alpha x + p$) is nu geheel bepaald. De factor p kan worden berekend door voor y en x de waarden $\bar{y}$ en $\bar{x}$ in te vullen.

In het bovenstaande werd de vergelijking afgeleid voor de regressielijn van y op x . Op overeenkomstige wijze kan de vergelijking worden afgeleid voor de regressielijn van x op y , dus voor het geval dat men uit de waarnemingen van de stijghoogte van het grondwater in put B (uitgezet volgens de Y-as) de grondwaterstand in put A wil berekenen. De regressielijn, die in dit geval een hoek β maakt met de X-as, wordt thans gedefinieerd als de lijn, waarvoor de som der kwadraten van de afstanden der punten van het spreidingsdiagram tot de lijn — gemeten in de richting van de X-as — minimum is.

Uit figuur 18* volgt:

$$[h^2] = \left[\left(\frac{y - p}{m_\beta} - x \right)^2 \right] \quad (9)$$

Wil $[h^2]$ minimum zijn, dan moet worden voldaan aan de voorwaarden:

$$\frac{\partial [h^2]}{\partial p} = 0 \quad (10) \quad \text{en} \quad \frac{\partial [h^2]}{\partial m_\beta} = 0 \quad (11)$$

Voorwaarde (10) leidt, evenals in het vorige geval, tot de vergelijking

$$\bar{y} = m_\beta \bar{x} + p \quad (12)$$

Dat wil zeggen, dat ook deze regressielijn gaat door het punt $\bar{P}$, waarvan de coördinaten de gemiddelden zijn van alle x -, respectievelijk alle y -waarden.

Wordt p met behulp van (12) geëlimineerd uit (9), dan leidt voorwaarde (11) tot de regressiecoëfficiënt voor de regressielijn van x op y :

$$m_\beta = \frac{[(x - \bar{x})(y - \bar{y})]}{[(y - \bar{y})^2]} \quad (13)$$

In hydrologisch opzicht hebben de factoren m en p in de vergelijking van de regressielijn de volgende betekenis.

De tijdstijghoogtelijnen van het grondwater in putten, waarvoor een lineair verband bestaat, blijken een gelijkvormig verloop te hebben (zie figuur 19).

De gemiddelde niveaus zijn echter verschillend — de krommen liggen boven elkaar — terwijl bovendien de afwijkingen van de gemiddelde stijghoogten van het grondwater voor de verschillende putten niet gelijk zijn. Elk der tijdstijghoogtelijnen kan echter uit één der — als norm gebruikte — lijnen worden afgeleid, door zowel een verticale verschuiving toe te passen als een uitrekking — of samendrukking — in verticale zin.

De grootte van de verticale verschuiving — de verschuivingswaarde — is de factor p uit de vergelijking $y = mx + p$; de grootte van de uitrekking (of samendrukking) — de vergrotingsfactor of schommelingsmaat — wordt bepaald door de factor m .

Zoals reeds medegedeeld, kan p worden berekend door in de vergelijking $y = mx + p$ voor y en x de gemiddelde waarden $\bar{y}$ en $\bar{x}$ in te vullen. Hieruit volgt, dat de verschuivingswaarde p afhankelijk is van het vergelijkingsvlak, waarop de metingen worden betrokken. Immers, bij (verticale) verschuiving van de X -as over een afstand a verandert zowel y als $\bar{y}$ met dit bedrag. Bij een (horizontale) verschuiving van de Y -as over een afstand b verandert $\bar{x}$ met het bedrag b en p met het bedrag $m.b$.

De regressiecoëfficiënten $m_a = \frac{[(x - \bar{x})(y - \bar{y})]}{[(x - \bar{x})^2]}$ en $m_\beta = \frac{[(x - \bar{x})(y - \bar{y})]}{[(y - \bar{y})^2]}$ blijven bij een verschuiving van de coördinaatassen onveranderd, omdat de waarden $(x - \bar{x})$ en $(y - \bar{y})$ niet veranderen.

Als vergelijkingsvlak wordt het N.A.P.-vlak gebruikt.

* Voor a moet in dit geval β worden gelezen.

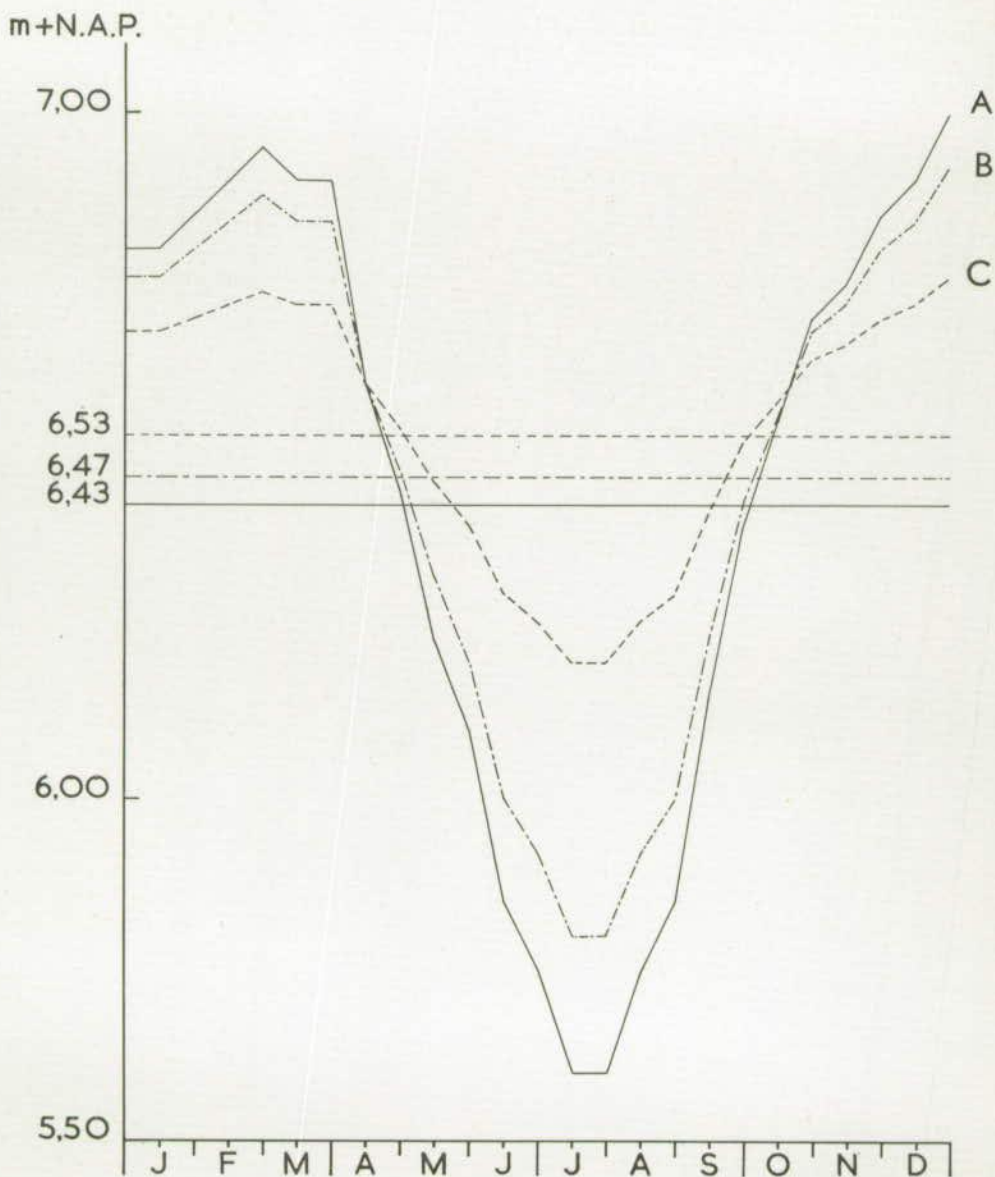


FIG. 19 *Tijdstijghoogtelijnen van het grondwater in 3 putten*
 6,43 Gemiddelde grondwaterstand in put A
 6,47 Gemiddelde grondwaterstand in put B
 6,53 Gemiddelde grondwaterstand in put C

De correlatiecoëfficiënt r wordt gedefinieerd door de betrekking:

$$r^2 = 1 - \frac{\sigma_{yx}^2}{\sigma_y^2} \quad (14)$$

waarin σ_{yx}^2 de variantie* voorstelt van de afwijkingen der afzonderlijke waarnemingen vanaf de regressielijn, en σ_y^2 de variantie voor de variabele y .

De varianties, welke in de formule van r voorkomen, zijn de *populatie*-varianties, dus als het ware de varianties, verkregen door zeer veel — eigenlijk oneindig veel — waarnemingen te doen. Wordt slechts een beperkt aantal waarnemingen n gedaan, dan moeten in deze formule de zogenaamde *maximum-likelihood* schattingsformules worden gebruikt. Deze zijn als volgt gedefinieerd:

$$\sigma_{yx}^2 = \frac{1}{n} [v^2]$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{n} [(y - \bar{y})^2]$$

Uit vergelijking (7) volgt:

$$\begin{aligned} \sigma_{yx}^2 &= \frac{1}{n} [(y - \bar{y}) - m_a (x - \bar{x})]^2 \\ &= \frac{1}{n} [(y - \bar{y})^2] - \frac{m_a}{n} [(y - \bar{y}) (x - \bar{x})] - \\ &\quad \frac{m_a}{n} [(y - \bar{y}) (x - \bar{x})] + \frac{m_a^2}{n} [(x - \bar{x})^2] \end{aligned}$$

Op grond van vergelijking (8) vallen de laatste twee termen weg, zodat

$$\begin{aligned} \sigma_{yx}^2 &= \frac{1}{n} [(y - \bar{y})^2] - \frac{m_a}{n} [(y - \bar{y}) (x - \bar{x})] \\ r^2 &= 1 - \frac{[(y - \bar{y})^2] - m_a [(y - \bar{y}) (x - \bar{x})]}{[(y - \bar{y})^2]} \end{aligned} \quad (14a)$$

en mede wederom met vergelijking (8) vindt men nu voor de correlatiecoëfficiënt

$$r = \frac{[(x - \bar{x})(y - \bar{y})]}{\sqrt{[(x - \bar{x})^2] [(y - \bar{y})^2]}} \quad (15)$$

Eén van de eigenschappen der maximum-likelihood schattingsformules is, dat in formules — zoals de bovenstaande — voor de correlatiecoëfficiënt, de steekproefgrootte n niet meer expliciet voorkomt. Voor sommige andere doeleinden moeten andere schattingsformules voor de variantie worden gebruikt, zogenaamde *zuivere* schattingsformules. Bij grote steekproeven bestaat er geen merkbaar verschil tussen de diverse schattingsformules.

In het bovenstaande werd het verband afgeleid tussen de grondwaterstand in twee putten — weergegeven door de regressielijnen — alsmede de relatieve nauwkeurigheid van dit verband, uitgedrukt in de correlatiecoëfficiënt.

* De standaardafwijking σ_{yx} is per definitie de wortel uit de variantie.

Met behulp van dit verband kan nu uit de verder in de ene put waar te nemen stijghoogte van het grondwater de grondwaterstand in de andere put worden berekend.

Men zal daarbij een bepaalde nauwkeurigheid in acht willen nemen, met andere woorden men zal een eis moeten stellen, dat de afwijking tussen de *berekende* en de *werkelijke* stijghoogte van het grondwater in een put een bepaalde grootte niet mag overschrijden.

In de praktijk van het Archief van Grondwaterstanden T.N.O. is voor deze nauwkeurigheid een afwijking van 15 cm toegestaan. Wil de berekening van de grondwaterstand in een put met een dergelijke nauwkeurigheid mogelijk zijn, dan dient de spreiding van de punten om de regressielijn zodanig te wezen, dat ten hoogste 5% der punten op een afstand van de regressielijn ligt, die groter is dan 15 cm.

$$\text{Dit wordt bereikt, indien } 2 S_{(\text{gegeven } x)} \leq 15 \text{ cm} \quad (16)$$

$$\text{Hierin is } S_{(\text{gegeven } x)} = S_{yx} \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{[(x - \bar{x})^2]}} \quad (16a)$$

In (16a) is S_{yx} de standaardafwijking van de spreiding der punten om de regressielijn. In de factor $(x - \bar{x})$ dient voor x de maximum gemeten waarde van x te worden ingevuld.

In de praktijk blijkt de waarde van de term onder het wortelteken weinig van 1 te verschillen, zodat de eis $2 S_{(\text{gegeven } x)} \leq 15 \text{ cm}$ kan worden vervangen door de eis $2 S_{yx} \leq 15 \text{ cm}$.*

Dit betekent, dat de standaardafwijking van de spreiding der punten om de regressielijn, dus σ_{yx} , kleiner moet zijn dan 7,5 cm.

Hierbij is er van uitgegaan, dat de spreiding van de punten om de regressielijn een normale verdeling heeft, waarmede wordt bedoeld, dat voor elke waarde van x de bijbehorende waarden van y een normale verdeling hebben, met als gemiddelde het desbetreffende punt van de regressielijn $y = mx + p$ en als standaardafwijking σ_{yx} . Daar bij een normale verdeling ten hoogste 5% der waarnemingspunten meer dan tweemaal de standaardafwijking verwijderd ligt van het gemiddelde, is bovenstaande eis $\sigma_{yx} \leq 7,5 \text{ cm}$ in overeenstemming met de gestelde eis van een afwijking van ten hoogste 15 cm.

In het geval van de regressielijn van y op x luidt de voorwaarde:

$$2 S_{yx} = 2 \sqrt{\frac{[v^2]}{n-2}} \leq 15 \text{ cm} \quad (17)$$

of, op grond van de vergelijkingen (7) en (8)

$$2 S_{yx} = 2 \sqrt{\frac{[(y - \bar{y})^2] - \frac{[(x - \bar{x})(y - \bar{y})]^2}{[(x - \bar{x})^2]}}{n-2}} \leq 15 \text{ cm} \quad (17a)$$

* In het voorbeeld, uitgewerkt in 10.2 (blz. 52 e.v.), is volgens tabel VI: $\bar{x} = 876 \text{ cm}$, $x_{\text{minimum}} = 833 \text{ cm}$ of $x - \bar{x} = -43 \text{ cm}$; terwijl $x_{\text{maximum}} = 932 \text{ cm}$ dus $x - \bar{x} = 56 \text{ cm}$. De grootste waarde, die $(x - \bar{x})^2$ kan aannemen is $56^2 = 3136$. De maximale waarde van

$$\sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{[(x - \bar{x})^2]}} \text{ is derhalve } \sqrt{1 + \frac{1}{72} + \frac{3136}{55995}} = \sqrt{1,07} = 1,034$$

De wortelterm kan dus gevoeglijk worden verwaarloosd.

De factor 2 geldt slechts, indien het aantal waarnemingen n gelijk of groter is dan 60. Aangezien de regressielijn vrijwel steeds uit minstens 72 waarnemingen wordt berekend, wordt aan deze voorwaarde voldaan.

N.B. Voor de hier toegepaste berekening moet een *zuivere* schattingsformule voor de standaardafwijking worden gebruikt; deze onderscheidt zich van de *maximum-likelihood* schattingsformule (14a) door het gebruik van $(n-2)$ in de noemer in plaats van n . Ten einde duidelijk aan te geven, welke schattingsformule is gebezigd, is de standaardafwijking, berekend volgens de maximum-likelihood schattingsformule, aangegeven met σ_{yx} en die, berekend met de zuivere schattingsformule, met S_{yx} .

De voorwaarde (17a) kan, voor 72 waarnemingen, aldus worden geschreven:

$$[(y-\bar{y})^2] - \frac{[(x-\bar{x})(y-\bar{y})]^2}{[(x-\bar{x})^2]} \leq 4000 \quad (18)$$

Het gevolg van de eis, dat $2 S_{yx} \leq 15$ cm moet zijn, is, dat voor die gevallen, waarin $2 S_{yx} > 15$ cm blijkt te zijn, de grondwaterstand in de beschouwde put blijvend moet worden waargenomen, of — indien dit om praktische redenen niet mogelijk mocht zijn — met een geringere nauwkeurigheid genoeg zal moeten worden genomen.

Het gebied, waarin de putten (en/of buizen) zijn gelegen, waartussen het besproken rechtlijnig verband bestaat, wordt *statistisch homogeen* genoemd.

Theoretisch kan in een dergelijk gebied worden volstaan met het blijvend waarnemen van de grondwaterstand in de stampput. De stijghoogten van het grondwater in de overige putten kunnen daaruit worden berekend.

Het tussen stampput en put(ten) berekende verband behoudt echter zijn geldigheid alleen dan, wanneer geen veranderingen in de normale hydrologische omstandigheden optreden.

Vindt bij voorbeeld wateronttrekking plaats in de omgeving van een put, dan zal de grondwaterstand ter plaatse van die put dalen. Het oorspronkelijk berekende verband tussen de stampput en deze put is dan niet langer geldig. Men zal dit kunnen merken, doordat de berekende stijghoogten van het grondwater in de put gaan afwijken van de werkelijke stijghoogten.

Het is derhalve noodzakelijk, dat ter controle althans enkele metingen van de grondwaterstand in de put per jaar worden gedaan. Als peildata zijn daartoe gekozen 28 april en 14 oktober (zie tabel II op blz. 43).

Ook de stampput kan kunstmatig worden beïnvloed of zelfs in het ongereede raken. Men zal dan een van de andere putten in het statistisch homogene gebied als stampput willen gebruiken. Daartoe is het noodzakelijk in één of meer putten, afhankelijk van de grootte van het statistisch homogene gebied, eveneens tweemaal per maand de stijghoogte van het grondwater te blijven waarnemen. Deze putten worden *controleputten* genoemd.

Met behulp van een beperkt aantal stampputten (of stambuizen) en controleputten (of controlebuizen), waarin tweemaal per maand de grondwaterstand wordt opgenomen, waarbij gevoegd de putten, waarvan de stijghoogten van het grondwater kunnen worden berekend, kan op de bovenomschreven wijze een alleszins voldoende beeld worden verkregen van de natuurlijke grondwaterstand in Nederland en van de veranderingen daarin ten gevolge van seizoeninvloeden e.a.

Het aantal stampputten en -buizen, controleputten en -buizen en tweemaal per jaar waar te nemen putten en buizen, dat op grond van de uiteengezette theorie per 1 januari 1961 was aangewezen, staat aangegeven in tabel III en tabel IV.

TABEL III

Omschrijving	Aantal
stampputten	276
controleputten	653
putten tweemaal per jaar waar te nemen (m.i.v. 1962 viermaal per jaar)	1023 ¹⁾
putten, waarin waarneming is beëindigd	110
Totaal	2062

TABEL IV

Omschrijving	Aantal
stambuizen	17
controlebuizen	68
buizen tweemaal per jaar waar te nemen (m.i.v. 1962 viermaal per jaar)	293 ²⁾
buizen, waarin waarneming is beëindigd	71
Totaal	449

Uit de waarnemingen in de 293 stampputten en -buizen kan dus de stijghoogte van het grondwater in 2218 putten en buizen (inclusief de controleputten en -buizen en vervallen punten) worden berekend.

10.2. *Voorbeeld van de berekening van het verband tussen de grondwaterstand in verschillende putten*

Als voorbeeld van het gebruik van de in 10.1 afgeleide formules ter bepaling van het verband tussen de stijghoogte van het grondwater in verschillende putten, zijn de brandputten in de gemeenten Rijsbergen en Zundert gekozen. De ligging van deze brandputten is aangegeven in figuur 20.*

¹⁾ In 263 van deze putten wordt de stijghoogte van het grondwater tweemaal per maand gepeild. In sommige gevallen wordt namelijk door diensten, instellingen en het archief de gemeten grondwaterstand verkozen boven de berekende.

²⁾ In 197 van deze buizen wordt de stijghoogte van het grondwater tweemaal per maand gepeild. In sommige gevallen wordt namelijk door diensten, instellingen en het archief de gemeten grondwaterstand verkozen boven de berekende.

* Gemakshalve zijn deze putten aangeduid met de nummers 1 tot en met 7. Zij bezitten echter in feite het nummer, waaronder ze zijn ingeschreven in het geo-hydrologische archief van het R. v. D. (zie bladzijden 31, 33, 35, en 39).

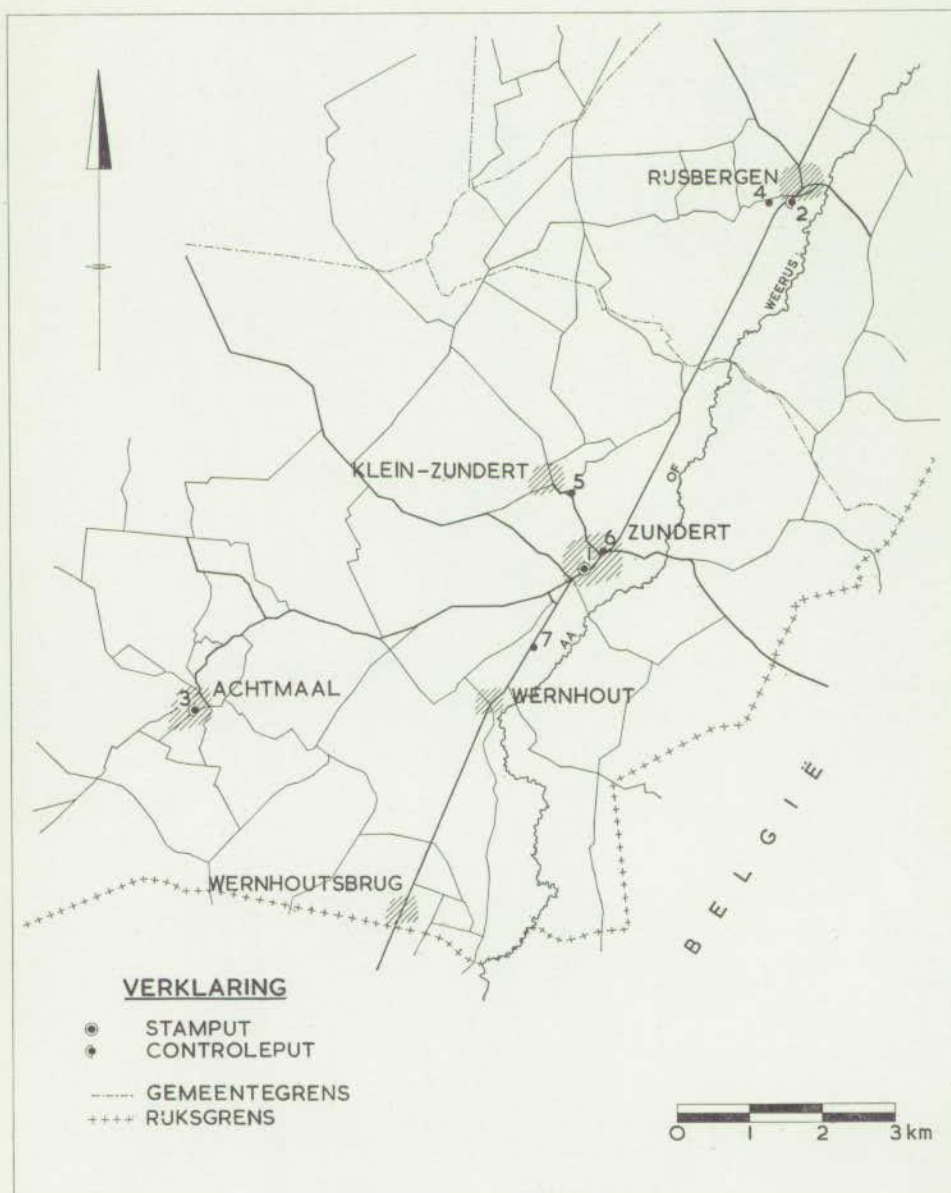


FIG. 20 Situatie brandputten in de gemeenten Rijsbergen en Zundert

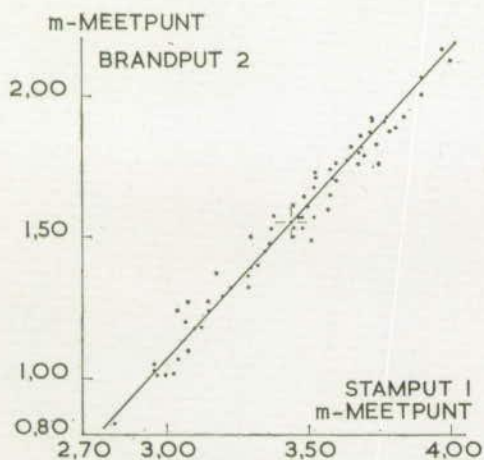


FIG. 21 Spreidingsdiagram van stamput 1 en brandput 2

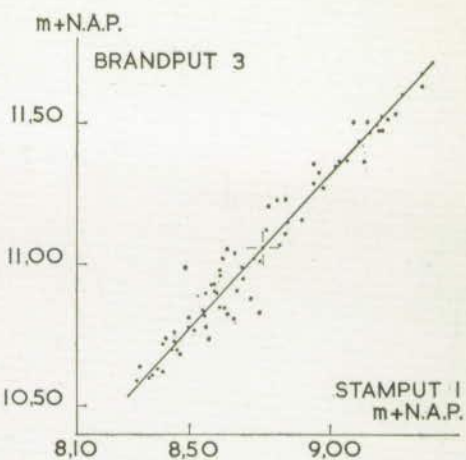


FIG. 22 Spreidingsdiagram van stamput 1 en brandput 3

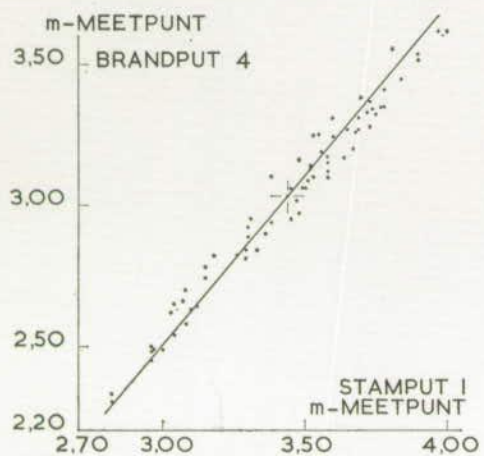


FIG. 23 Spreidingsdiagram van stamput 1 en brandput 4

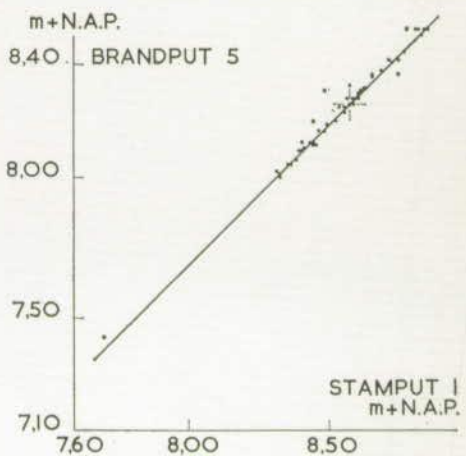


FIG. 24 Spreidingsdiagram van stamput 1 en brandput 5

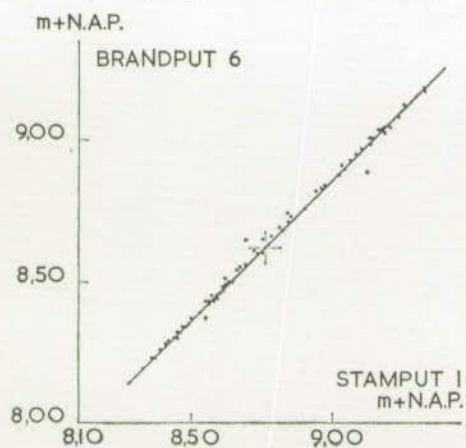


FIG. 25 Spreidingsdiagram van stamput 1 en brandput 6

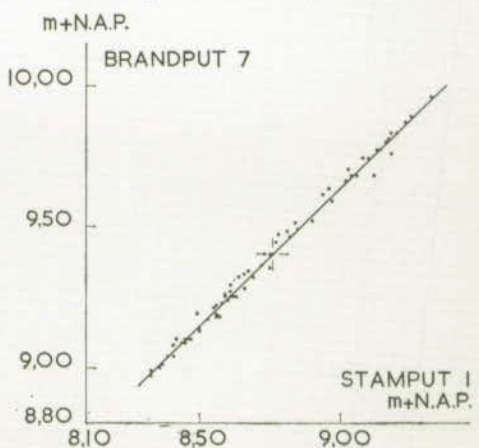


FIG. 26 Spreidingsdiagram van stamput 1 en brandput 7

Brandput 1 te Zundert werd gekozen als stampput. Gegevens en berekening — voor het bepalen van het verband tussen deze stampput en brandput 3 te Achtmaal — zijn volledig opgenomen. Van de berekeningen van het verband tussen de stampput en de overige brandputten zijn alleen de spreidingsdiagrammen weergegeven (figuur 21, 23, 24, 25 en 26) en het eindresultaat (zie tabel V).

In brandput 1 en in brandput 3 wordt de stijghoogte van het grondwater sedert 14 november 1951 geregeld tweemaal per maand gemeten. Voor de berekening werd gebruik gemaakt van de gegevens van 14 november 1951 tot en met 28 oktober 1954, derhalve van 72 waarnemingen van elke put.

Het spreidingsdiagram is getekend in figuur 22. Hierin is de grondwaterstand in de stampput uitgezet op de X-as; de op eenzelfde dag gemeten stijghoogte van het grondwater in brandput 3 op de Y-as.

Het rekenschema is weergegeven in tabel VI (blz. 57 en 58).

De vergelijking van de regressielijn van y op x luidt: $y = m_a x + p$

$$\text{Uit (8) volgt: } m_a = \frac{6,0316}{5,5995} = 1,08$$

Door voor y en x de waarden $\bar{y} = 11,06$ en $\bar{x} = 8,76$ in te vullen, vinden wij $p = 1,60$

De vergelijking voor de regressielijn wordt derhalve $y = 1,08 x + 1,60$

De grondwaterstand y in brandput 3 kan dus worden berekend, door in deze vergelijking voor x de stijghoogten van het grondwater in de stampput (= brandput 1) in te vullen.

Op grond van (15) vinden we voor de correlatiecoëfficiënt

$$r = \frac{6,0316}{\sqrt{5,5995 \times 6,8391}} = 0,974$$

De onderlinge samenhang tussen de grondwaterstand in de brandputten 1 en 3 is dus goed.

Aan voorwaarde (18) wordt voorts voldaan; immers

$$[(y-\bar{y})^2] - \frac{[(x-\bar{x})(y-\bar{y})]^2}{[(x-\bar{x})^2]} = 68391 - \frac{60316^2}{55995} = 3421$$

dit is kleiner dan 4000

$$\text{Uit (17a) volgt: } 2 S_{yx} = 2 \sqrt{\frac{3421}{72-2}} = 13,98$$

zodat wordt voldaan aan de eis $2 S_{yx} \leq 15$ cm; dat wil zeggen, dat het verschil tussen de uit stampput 1 berekende stijghoogte van het grondwater en de werkelijke grondwaterstand in brandput 3 niet meer dan 15 cm zal bedragen.

Van de brandputten in de gemeenten Rijsbergen en Zundert werden de putten 2 en 3 aangewezen als controleputten, waarin dus blijvend de stijghoogte van het grondwater tweemaal per maand wordt opgenomen. In de putten 5, 6, en 7 wordt de grond-

TABEL V

Volgnummer	Statistisch homogeen gebied	Stamput	Controleput	Brandput ¹⁾	Kaartbladnummer 1 : 25 000	Gemeente, waarin de put is gelegen	Regressielijn $y = m_a + p$	Correlatiecoëfficiënt	$(n-2) S_y^2$	$2 S_{yx}$	Aantal waarnemingen ge- bruikt bij de berekeningen	Toestand van het grond- water	Bijzonderheden
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Zundert	1			50C	Zundert	$y = 1,09 x + 2,20$	0,991	1315	8,66	72	gemengd spannings spannings	Vervallen. Gedurende de winter- maanden stijgt het grond- water veelal boven meet- punt. De berekeningen voor de putten in Rijsbergen, zijn uitgevoerd ten opzichte van het meetpunt en die voor de putten in Zundert ten opzichte van N.A.P.
		2			50 A	Rijsbergen	$y = 1,08 x + 1,60$	0,974	3421	13,98	72	spannings	
		3			49 H	Zundert	$y = 1,10 x + 0,75$	0,986	2117	11,24	69	spannings	
		4			50 A	Rijsbergen	$y = 1,01 x - 0,39$	0,992	310	4,84	55 ²⁾	spannings	
		5			50 A	Zundert						spannings	
		6			50 C	Zundert	$y = 1,00 x - 0,14$	0,996	427	4,94	72	spannings	
		7			50 C	Zundert	$y = 0,98 x + 0,82$	0,961	433	4,98	72	spannings	

¹⁾ Tweemaal per jaar waar te nemen, m.i.v. 1962 viermaal per jaar.

²⁾ Aantal waarnemingen < 60, zodat de toegepaste formules eigenlijk niet mogen worden gebruikt.

TABEL VI

Datum waarop de waar- neming werd verricht	Gemeten grond- waterstand in m boven N.A.P. in		$x - \bar{x}$	$y - \bar{y}$	$(x - \bar{x})^2$	$(y - \bar{y})^2$	$(x - \bar{x})(y - \bar{y})$
	stamput 1	put 3					
1	2	3	4	5	6	7	8
14 XI 51	8,59	10,93	-0,17	-0,13	0,0289	0,0169	0,0221
28 XI	8,84	11,23	0,08	0,17	0,0064	0,0289	0,0136
14 XII	8,94	11,29	0,18	0,23	0,0324	0,0529	0,0414
28 XII	9,03	11,37	0,27	0,31	0,0729	0,0961	0,0837
14 I 52	9,20	11,52	0,44	0,46	0,1936	0,2116	0,2024
28 I	9,23	11,54	0,47	0,48	0,2209	0,2304	0,2256
14 II	9,32	11,64	0,56	0,58	0,3136	0,3364	0,3248
28 II	9,17	11,48	0,41	0,42	0,1681	0,1764	0,1722
14 III	9,10	11,44	0,34	0,38	0,1156	0,1444	0,1292
28 III	9,13	11,51	0,37	0,45	0,1369	0,2025	0,1665
15 IV	9,04	11,36	0,28	0,30	0,0784	0,0900	0,0840
28 IV	8,85	11,15	0,09	0,09	0,0081	0,0081	0,0081
14 V	8,69	10,99	-0,07	-0,07	0,0049	0,0049	0,0049
28 V	8,56	10,82	-0,20	-0,24	0,0400	0,0576	0,0480
14 VI	8,50	10,81	-0,26	-0,25	0,0676	0,0625	0,0650
28 VI	8,45	10,73	-0,31	-0,33	0,0961	0,1089	0,1023
14 VII	8,58	10,93	-0,18	-0,13	0,0324	0,0169	0,0234
28 VII	8,45	10,76	-0,31	-0,30	0,0961	0,0900	0,0930
14 VIII	8,49	10,99	-0,27	-0,07	0,0729	0,0049	0,0189
28 VIII	8,64	11,09	-0,12	0,03	0,0144	0,0009	-0,0036
15 IX	8,56	10,90	-0,20	-0,16	0,0400	0,0256	0,0320
29 IX	8,61	10,98	-0,15	-0,08	0,0225	0,0064	0,0120
14 X	8,78	11,21	0,02	0,15	0,0004	0,0225	0,0030
28 X	8,81	11,23	0,05	0,17	0,0025	0,0289	0,0085
14 XI	9,08	11,51	0,32	0,45	0,1024	0,2025	0,1440
28 XI	9,13	11,51	0,37	0,45	0,1369	0,2025	0,1665
15 XII	9,18	11,53	0,42	0,47	0,1764	0,2209	0,1974
29 XII	9,32	11,68	0,56	0,62	0,3136	0,3844	0,3472
14 I 53	9,16	11,50	0,40	0,44	0,1600	0,1936	0,1760
28 I	9,14	11,47	0,38	0,41	0,1444	0,1681	0,1558
14 II	9,25	11,61	0,49	0,55	0,2401	0,3025	0,2695
28 II	9,18	11,48	0,42	0,42	0,1764	0,1764	0,1764
14 III	9,06	11,37	0,30	0,31	0,0900	0,0961	0,0930
28 III	8,97	11,27	0,21	0,21	0,0441	0,0441	0,0441
14 IV	9,02	11,35	0,26	0,29	0,0676	0,0841	0,0754
28 IV	8,90	11,16	0,14	0,10	0,0196	0,0100	0,0140
15 V	8,69	10,95	-0,07	-0,11	0,0049	0,0121	0,0077
28 V	8,50	10,78	-0,26	-0,28	0,0676	0,0784	0,0728
15 VI	8,60	10,90	-0,16	-0,16	0,0256	0,0256	0,0256
29 VI	8,75	10,83	-0,01	-0,23	0,0001	0,0529	0,0023
14 VII	8,72	10,88	-0,04	-0,18	0,0016	0,0324	0,0072
28 VII	8,66	10,81	-0,10	-0,25	0,0100	0,0625	0,0250
14 VIII	8,57	10,74	-0,19	-0,32	0,0361	0,1024	0,0608
28 VIII	8,63	10,85	-0,13	-0,21	0,0169	0,0441	0,0273
14 IX	8,64	10,83	-0,12	-0,23	0,0144	0,0529	0,0276
28 IX	8,56	10,78	-0,20	-0,28	0,0400	0,0784	0,0560
14 X	8,47	10,69	-0,29	-0,37	0,0841	0,1369	0,1073

TABEL VI (vervolg)

Datum, waarop de waar- neming werd verricht	Gemeten grond- waterstand in m boven N.A.P. in		$x - \bar{x}$	$y - \bar{y}$	$(x - \bar{x})^2$	$(y - \bar{y})^2$	$(x - \bar{x})(y - \bar{y})$
	stamput 1	put 3					
1	2	3	4	5	6	7	8
28 X	8,41	10,63	-0,35	-0,43	0,1225	0,1849	0,1505
14 XI	8,37	10,61	-0,39	-0,45	0,1521	0,2025	0,1755
28 XI	8,36	10,60	-0,40	-0,46	0,1600	0,2116	0,1840
14 XII	8,39	10,63	-0,37	-0,43	0,1369	0,1849	0,1591
28 XII	8,46	10,70	-0,30	-0,36	0,0900	0,1296	0,1080
14 I 54	8,55	10,84	-0,21	-0,22	0,0441	0,0484	0,0462
28 I	8,67	10,96	-0,09	-0,10	0,0081	0,0100	0,0090
15 II	8,53	10,77	-0,23	-0,29	0,0529	0,0841	0,0667
01 III	8,73	11,02	-0,03	-0,04	0,0009	0,0016	0,0012
15 III	8,84	11,11	0,08	0,05	0,0064	0,0025	0,0040
29 III	8,82	11,07	0,06	0,01	0,0036	0,0001	0,0006
14 IV	8,75	11,01	-0,01	-0,05	0,0001	0,0025	0,0005
28 IV	8,61	10,85	-0,15	-0,21	0,0225	0,0441	0,0315
14 V	8,44	10,70	-0,32	-0,36	0,1024	0,1296	0,1152
28 V	8,33	10,59	-0,43	-0,47	0,1849	0,2209	0,2021
14 VI	8,42	10,74	-0,34	-0,32	0,1156	0,1024	0,1088
28 VI	8,41	10,72	-0,35	-0,34	0,1225	0,1156	0,1190
14 VII	8,33	10,64	-0,43	-0,42	0,1849	0,1764	0,1806
28 VII	8,59	10,94	-0,17	-0,12	0,0289	0,0144	0,0204
14 VIII	8,61	10,96	-0,15	-0,10	0,0225	0,0100	0,0150
28 VIII	8,62	11,02	-0,14	-0,04	0,0196	0,0016	0,0056
14 IX	8,66	11,04	-0,10	-0,02	0,0100	0,0004	0,0020
28 IX	8,77	11,12	0,01	0,06	0,0001	0,0036	0,0006
14 X	8,96	11,33	0,20	0,27	0,0400	0,0729	0,0540
28 X	9,12	11,37	0,36	0,31	0,1296	0,0961	0,1116
Totaal	630,49	796,35			5,5995	6,8391	6,0352 — 0,0036
Gemiddeld	$\bar{x} = 8,76$	$\bar{y} = 11,06$					= 6,0316

waterstand nog slechts tweemaal per jaar (m.i.v. 1962 viermaal per jaar) waargenomen. Aanvankelijk gebeurde dit ook in put 4, doch deze werd na 28 april 1957 onbruikbaar voor verdere waarnemingen, ten gevolge van werkzaamheden in de naaste omgeving.

De gemeten en berekende stijghoogten van het grondwater kunnen in een grafiek worden uitgezet; een dergelijke tijdstijghoogtelijn geeft een duidelijk beeld van de schommelingen in de grondwaterstand (zie figuur 27).

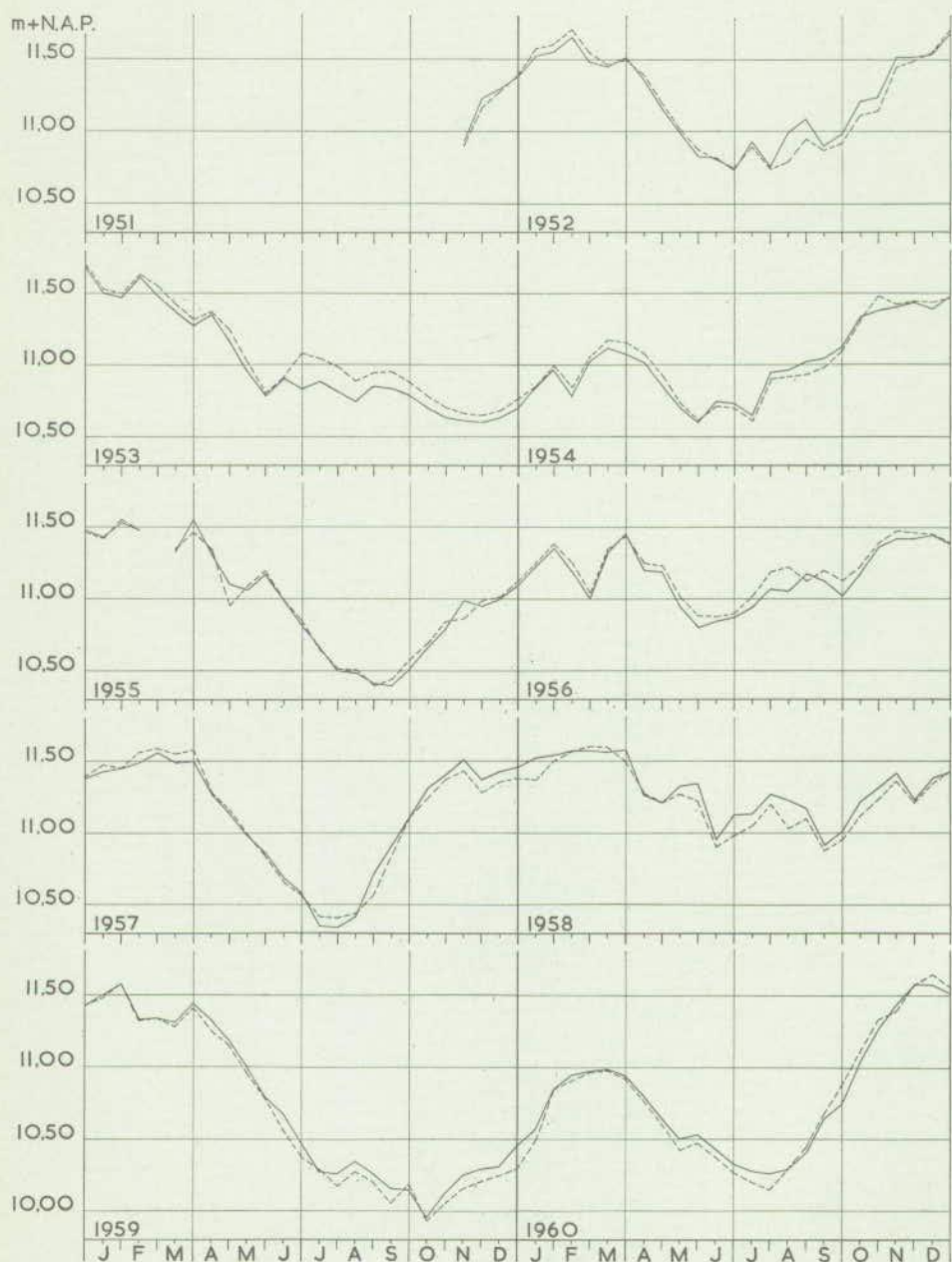


FIG. 27 *Tijdstijghoogtelijn van het grondwater in controleput 3*
 — waargenomen grondwaterstand
 - - - berekende grondwaterstand

