

GEOHYDROLOGISCHE MODELSTUDIE VAN HET FOCHTELOOERVEEN

S.J.T. Eskes

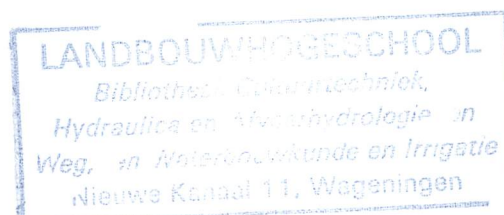
C.P. Kim

~~15684~~ MIV unid, 1989, 20
82

~~He~~
X 89-20

GEOHYDROLOGISCHE MODELSTUDIE VAN HET FOCHTELOOERVEEN

S.J.T. Eskes en C.P. Kim



89/375

Landbouw Universiteit, vakgroepen Cultuurtechniek en Hydraulica en Afvoerhydrologie. Wageningen, 1988.

In opdracht van de "Vereniging tot behoud van Natuurmonumenten in Nederland".

15N520479

INHOUDSOPGAVE

Samenvatting	1
1 Inleiding	4
2 Gebiedsbeschrijving	7
2.1 Ontwikkeling	7
2.2 Bodemgesteldheid	8
2.3 Gehydrologische opbouw	9
2.4 Openwaterpeilen en -afvoeren	10
2.4.1 Reservaatwijk en Schaaphokswijk	10
2.4.2 Overige diepe waterlopen	12
2.4.3 Secundaire - en tertiare waterlopen	12
2.5 Grondwaterstanden	14
2.6 Waterbalansen	15
3 Modelbeschrijving	18
4 Modelopzet	21
4.1 Gebiedsbegrenzing en subregio indeling	21
4.2 Knooppuntennetwerk	22
4.3 Bespreking fysische invoergegevens	22
4.3.1 Neerslagoverschot	22
4.3.2 Maaiveldshogte	23
4.3.3 Oppervlaktewatersysteem	23
4.3.4 Kanalensysteem	24
4.3.5 Geohydrologische schematisatie	25
4.3.6 Initiele stijghoogten en stijghoogten op de rand	28
5 Calibratie	29
6 Gevoeligheidsanalyse	32
7 Resultaten	34
7.1 Peilverlaging ruilverkaveling "Smilde"	34
7.2 Stijghoogteverlaging regionale aquifer	35
7.3 Peilverhoging Bankenbosch	36
7.4 Peilverhoging landbouw-enclave	36
7.5 Peilverhoging Schaaphokswijk	37
8 Conclusies	39
9 Discussie en aanbevelingen	40
Literatuur	41
Bijlage I	
Bijlage II	
Figuren	

VOORWOORD

Op verzoek van de Vereniging tot Behoud van Natuurmonumenten in Nederland is door de vakgroep Cultuurtechniek en de vakgroep Hydraulica en Afvoerhydrologie van de L.U. Wageningen een geohydrologisch modelonderzoek verricht naar het Fochtelooverveen en omstreken. Dit onderzoek is uitgevoerd door twee studenten in de periode september 1987 t/m april 1988.

De benodigde software, in de vorm van het regionale grondwatermodel "FEMSATS", is ter beschikking gesteld door het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding te Wageningen.

Het verzamelen van de onderzoeksgegevens was niet mogelijk geweest zonder de hulp van de volgende instanties:

- Dienst Grondwater Verkenning - T.N.O, Delft
- Rijks Geologische Dienst - Regio Noord, Oosterwolde
- Waterschap Smilde, Smilde
- Waterschap Tjonger-Compagnonsvaarten, Oosterwolde
- Waterschap Noorderveld, Roden
- Staatsbosbeheer, Utrecht
- Vereniging tot Behoud van Natuurmonumenten in Nederland, Bovensmilde/'s Gravenland
- Landinrichtingsdienst, Assen
- Grontmij, Assen
- Waterleidingmaatschappij Friesland, Leeuwarden
- P.W.S. Drenthe (voorheen), Assen

Hiervoor onze hartelijke dank. Verder willen we dhr. R.W.R. Koopmans, dhr. N. Straathof, dhr. J.G. Streefkerk en dhr. L.F. Ernst bedanken voor hun deskundige begeleiding en advies.

C.P. Kim, S.J.T. Eskes
Wageningen, juli 1988

SAMENVATTING

Het Fochtelooverveen is een circa 1,500 ha groot hoogveen-reservaat, gelegen op de grens tussen Drenthe en Friesland. Het reservaat is in beheer bij de Vereniging tot Behoud van Natuurmonumenten in Nederland. Het doel van de beheerders is om zo gunstig mogelijke voorwaarden te scheppen voor hoogveen-regeneratie. Dit betekent dat de grondwaterstand in de winter niet dieper mag dalen dan 10 cm - mv en in de zomer niet dieper dan 30 cm - mv. De wegzijging uit het hoogveengebied moet in de orde van grootte liggen van 100 mm/j. Het reservaatgebied is door veendammen opgedeeld in compartimenten, om de oppervlakkige afvoer zo veel mogelijk te beperken.

Ten zuiden van het reservaat is momenteel de ruilverkaveling "Smilde" in uitvoering. In het kader van deze ruilverkaveling zullen in het landbouwgebied een aantal peilverlagingen (gemiddeld 30 cm) doorgevoerd worden. De effecten van deze peilverlagingen zijn doorgerekend met het stationaire, numerieke, eindig elementen model "FEMSATS", dat ontwikkeld is door het I.C.W. te Wageningen.

Voorts bevindt zich in het reservaatgebied een diepe leiding, Schaaphokswijk genaamd, waarlangs in de oude situatie een deel van het landbouwgebied afwaterde. Om de negatieve effecten van de ruilverkaveling op het hoogveenreservaat te beperken is besloten om deze leiding af te dammen en het landbouwgebied af te wateren via een leiding die om het reservaat heen gelegd. De Schaaphokswijk kan door aanbrengen van een tweetal stuwen 0.6 m tot 1.0 m in peil worden verhoogd, waarmee men hoopt het water-verlies uit het reservaat te beperken. Het effect van deze peilverhoging is eveneens doorgerekend.

Het model is quasie-driedimensionaal, d.w.z. dat in goed doorlatende lagen alleen horizontale stroming plaats kan vinden en in slecht doorlatende lagen alleen verticale stroming. In het model zijn 6 lagen aangebracht:

- laag 1: slecht doorlatend veen (Formatie van Griendtsveen, c is 20 tot 2,000 d)
- laag 2: goed doorlatend dekzand (Formatie van Twenthe, eerste watervoerend pakket, kD is 2 m²/d)
- laag 3: slecht doorlatende keileem (Formatie van Drenthe, c is 20 tot 2,000 d)
- laag 4: goed doorlatende, eolische en fluviatiele zand-afzettingen (Formatie van Eindhoven, tweede watervoerend pakket, kD is 60 m²/d)
- laag 5: slecht doorlatende potklei, klei en slibhoudende zanden (Formatie van Peelo, c is 250 tot 200,000 d)
- laag 6: goed doorlatende, grove rivierzanden (Formatie van Urk/Harderwijk, derde watervoerend pakket, kD is 3,000 m²/d)

Het knooppuntennetwerk is driehoekig en onregelmatig. Dit heeft

het voordeel dat bij het uitzetten van de knooppunten rekening kan worden gehouden met de ligging van waterlopen, gebiedsgrenzen en stijgbuizen. Tevens kan het netwerk plaatselijk worden verdicht, hetgeen nodig is voor die gebieden waar een grote rekennauwkeurigheid is vereist of daar waar steile gradienten in het isohypsenbeeld voorkomen.

De in- en uitvoer van het model wordt vereenvoudigd door een indeling van het modelgebied in subregio's. De belangrijkste invoergegevens voor het model zijn:

- de maaiveldshoogten
- de openwaterpeilen
- de drainageweerstand voor sloten en de radiale, c.q. intreeweerstand voor diepe leidingen
- de effectieve neerslag
- de geohydrologische parameters (kD- en c-waarden)
- de stijghoogten aan de rand van het modelgebied
- de initiele stijghoogten

Het model is gecalibreerd op een stationaire voorjaars situatie (28 april 1986). Ter calibratie stonden circa 80 stijghoogte-waarnemingen ter beschikking in het eerste en tweede watervoerend pakket. De randvoorwaarden voor het derde watervoerend pakket zijn bepaald m.b.v. 7 diepe peilbuizen van T.N.O. De voornaamste parameters die zijn gecalibreerd zijn de c-waarden en de radiale kanaalweerstand. De drainageweerstand in het landbouwgebied zijn geschat op 100 dagen. De drainageweerstand in het reservaatgebied konden bij gebrek aan gemeten openwaterpeilen en -afvoeren niet gecalibreerd worden. Dit bleek voor het maken van stationaire berekeningen echter niet bezwaarlijk.

Na de calibratie is een gevoeligheidsanalyse verricht. De gevoeligste parameters waren de c-waarden van het veen, de keileem en het Peelo-zand, alsmede de kD-waarde van het tweede watervoerend pakket.

Uit de berekeningen is gebleken dat de waterhuishouding van het reservaatgebied ongevoelig is voor de peilverlagingen in het ruilverkavelingsgebied. Het bleek tevens dat het gebied wel gevoelig is voor een stijghoogtedaling in de regionale aquifer (waartoe het derde watervoerend pakket behoort). Deze gevoeligheid wordt veroorzaakt doordat de Formatie van Peelo in het reservaatgebied op een aantal plaatsen zandig is ontwikkeld. Op deze plaatsen treedt een sterke wegzijging op naar het diepe grondwater. Zo sterk zelfs, dat de ligging van een aantal compartimenten aan weerszijden van de Schaaphokswijk zeer ongunstig is te noemen voor hoogveenregeneratie.

Uit de berekeningen is verder gebleken dat het opzetten van het peil in de Schaaphokswijk de wegzijging uit de omringende compartimenten niet doet afnemen. Dit komt omdat juist langs deze leiding op veel plaatsen de Formatie van Peelo zandig is ontwikkeld, waardoor de invloed van de regionale aquifer veel

groter is dan de invloed van de Schaaphokswijk. Er is berekend dat bij een hoger peil in de Schaaphokswijk de wegzijging uit deze leiding naar de regionale aquifer sterk zal toenemen. Hierdoor en door de verdampingsverliezen, zal in de zomer het waterpeil achter de geprojecteerde stuwen sterk dalen.

1 INLEIDING

Het Fochtelooverveen is een gedeeltelijk in Friesland en gedeeltelijk in Drenthe gelegen hoogveenreservaat dat eigendom is van de Vereniging tot Behoud van Natuurmonumenten in Nederland (hier verder aangeduidt als : Natuurmonumenten). Het reservaatgebied is circa 1,500 ha groot. Het totale gebied dat onderwerp van studie is geweest bestaat verder uit 3,000 ha landbouwgebied en 850 ha bos en woeste grond.

Het beheer van het reservaatgebied is erop gericht zo gunstig mogelijke voorwaarden te scheppen voor de ontwikkeling van hoogveenvegetatie. De eisen die een hoogveenvegetatie stelt aan het niveau en de fluctuatie van het grondwater zijn : gemiddelde hoogste stand 10 cm + mv, gemiddelde laagste stand in de winter 5 cm - mv en in de zomer niet meer dan 30 cm - mv (lit. 26). De wegzijging moet in de orde van grootte liggen van 100 mm/j, om een overschot aan voedingsstoffen uit te logen (lit. 27).

Er zijn in het verleden al een aantal onderzoeken uitgevoerd in dit gebied. Genoemd kunnen worden het onderzoek van Jansen (lit. 14) en het onderzoek van Ernst (lit. 7).

Het Drentse deel van het reservaatgebied valt binnen het waterschap Noordervelt, het Friese deel binnen het waterschap Tjonger-Compagnonsvaarten. Ten zuiden van het reservaatgebied bevindt zich een landbouwgebied dat binnen het waterschap Smilde valt en waar sinds het najaar van 1986 de ruilverkaveling "Smilde" in uitvoering is. In het landbouwgebied zullen de laagst gelegen gronden dieper ontwaterd worden doordat in het kader van de ruilverkaveling de openwaterpeilen verlaagd zullen worden. Vanuit natuurbeschermingszijde zijn bezwaren geopperd tegen deze peilverlagingen, omdat verwacht wordt dat daardoor de wegzijging van grondwater uit het reservaatgebied zal toenemen en de gemiddelde grondwaterstand zal dalen.

Ernst (lit. 7) heeft in zijn onderzoek de potentiaaldaling in de zandondergrond van het veengebied berekend, als gevolg van een peildaling van 30 cm in het landbouwgebied. Ernst gebruikte hiervoor een door hemzelf ontwikkeld 2-dimensionaal, analytisch rekenmodel (lit. 9). De uitkomst van het onderzoek was dat de peilverlaging slechts geringe invloed heeft op de wegzijging en grondwaterstand in het reservaatgebied.

Dit onderzoek kan gezien worden als een voortzetting van het onderzoek van Ernst. Niet het gehele ruilverkavelingsgebied is daarbij onderwerp van studie geweest. Als gesproken wordt over het landbouwgebied waar peilverlagingen worden doorgevoerd, wordt daarmee bedoelt:

- de polder ten oosten van het Esmeer, begrenst door de Kolonievvaart en de Norgervaart
- het in Drenthe gelegen landbouwgebied ten zuiden van het reservaatgebied, begrenst door de Norgervaart, de Drentse Hoofdvaart en de Kymmelswijk

In fig. 1 staan de verschillende gebieden aangegeven op kaartblad 12C van de Topografische kaart van Nederland. Sinds het onderzoek van Ernst in 1978 zijn een aantal zaken veranderd:

- In 1985 is in opdracht van Natuurmonumenten door de Grondmij (lit. 28) een project uitgevoerd waarbij grote delen van het reservaatgebied zijn bedijkt en oude waterlopen zijn afgedamd. Dit om de oppervlakkige afstroming uit het reservaatgebied zoveel mogelijk te beperken. Tevens is met de compartimentering een peilbuizenmeetnet opgezet dat sinds het najaar van 1985 wordt waargenomen door Natuurmonumenten.
- Door de ruilverkavelingscommissie is besloten om het landbouwgebied "de Zeven Blokken", gelegen tussen de Van Lierswijk en de Jonkerswijk (opp. 1,100 ha), niet meer af te laten wateren via de Schaaphokswijk, een diepe leiding die dwars door het reservaatgebied loopt. Eind 1986 is de Schaaphokswijk daarom aan de zuidkant afgedamd. In de Schaaphokswijk zal ter hoogte van de penitentiaire inrichting "Bankenbosch" een stuw worden gebouwd, zodat het peil in deze waterloop kan worden opgezet en het waterverlies uit het reservaat verder zal worden beperkt (zie fig. 1).
- Ten noorden van het reservaatgebied ligt het Bankenbosch, een bosgebied in eigendom van Staatsbosbeheer. Dit Bankenbosch is momenteel diep ontwaterd door leidingen die in verbinding staan met een waterlossing die parallel aan de Koloniewaart naar het westen afwatert. Staatsbosbeheer is eventueel bereidt het peil in deze leidingen te verhogen, als dit een duidelijk gunstig effect heeft op de waterhuishouding van het Fochtelooverveen.
- Gedurende de bijna 10 jaren die zijn verstreken sinds het onderzoek van Ernst heeft de ontwikkeling en toepassing van computermodellen voor de simulatie van grondwaterstroming een grote vlucht genomen (lit. 2, lit. 20, lit. 25). Met dergelijke modellen zijn veel complexere berekeningen mogelijk dan met een analytisch model, zoals gebruikt door Ernst.

Samenvattend kan worden gesteld dat de veranderde waterhuishoudkundige situatie in het Fochtelooverveen sinds 1985, alsmede het ontstaan van een aantal nieuwe opties zoals het opzetten van de peilen in de Schaaphokswijk en het Bankenbosch en tenslotte de beschikking over nauwkeurigere meetgegevens en berekeningsmethoden, de aanleiding vormden voor Natuurmonumenten om dit onderzoek te starten.

In de beginfase van het onderzoek werd al duidelijk dat een aantal benodigde onderzoeksgegevens ontbraken, met name gemeten openwaterpeilen en -afvoeren, waardoor het erg moeilijk wordt om de interactie tussen grond- en oppervlaktewater nauwkeurig te simuleren (lit. 1). Het uitvoeren van niet-stationaire modelberekeningen heeft in dit stadium daardoor geen zin. Dit onderzoek pretendeert ook niet exact te kunnen bepalen wat het effect van de ruilverkaveling "Smilde" op de waterhuishouding van

het Fochtelooverveen zal zijn. Wel kan de gevoeligheid van het Fochtelooverveen voor een aantal externe invloeden, waarvan de meeste al zijn genoemd, ruwweg worden bepaald. Misschien dat over een paar jaar een uitgebreider onderzoek wel mogelijk wordt, als het meetnet van Natuurmonumenten wat langer is waargenomen en het peilbeheer in zowel het hoogveenreservaat als in het waterschap Smilde nauwkeuriger is geregistreerd. In de modelopzet en bij het schrijven van dit verslag is met een eventuele vervolgstudie rekening gehouden.

2 GEBIEDSBESCHRIJVING

2.1 Ontwikkeling

Het landbouwgebied

Het Fochtelooverveen maakte vroeger deel uit van een groter veencomplex, de z.g. "Smilder Venen". Reeds in de 17e eeuw is men begonnen met de turfwinning in deze streken. Er kon alleen maar op grote schaal turf worden gewonnen, als het produkt per schip vanuit het veengebied kon worden afgevoerd. Hiertoe is in het gebied een groot aantal vaarten gegraven, zoals de Lycklemavaart, de Kolonievvaart en de Drentse Hoofdvaart. Voorts was het nodig het veen te ontwateren, alvorens met het turfsteken kon worden begonnen. Hiertoe werd een systeem van wijken en sloten gegraven, die afwaterden op de hoofdvaarten. In het landbouwgebied ten zuiden van het Fochtelooverveen is dit wijkpatroon nog aanwezig. Ongeveer midden door het waterschap Smilde loopt de Drentse Hoofdvaart. Vanuit deze vaart lopen aan weerszijde de hoofdijken het landbouwgebied in. Aan de noordkant zijn dit o.a. : de Van Lierswijk, de Meesterswijk, de Grietmanswijk, de Jonkerswijk, de Evert Hendrikswijk en de Kymmelswijk. De hoofdijken liggen ongeveer 1,150 m uit elkaar. Dwars op de hoofdijken liggen de dwarsijken en zwetsloten. De dwarsijken liggen ongeveer 165 m uit elkaar. Over de dwarsijken werd vroeger de turf per schip naar de hoofdijken vervoerd. Midden tussen de dwarsijken bevinden zich voorts de zwetsloten met loodrecht daarop de dwarssloten, die tijdens de ontginning voor de ontwatering van het veen zorgden. Tegenwoordig hebben de meeste hoofdijken hun afwateringsfunctie verloren. Velen zijn gedempt en dienen nu als ontsluitingswegen voor het landbouwgebied. De afwatering verloopt nu via hoofdwatlopen, die ongeveer midden tussen de oude hoofdijken in liggen. De dwarsijken vervullen tegenwoordig een belangrijke functie m.b.t. de ontwatering, in tegenstelling tot de zwetsloten die, afhankelijk van de eigendomsgrenzen, vaak gedempt worden.

De belangrijkste verandering in het kader van de ruilverkaveling zal zijn de verbetering van het hoofdwatlopenstelsel. Tevens zal door het plaatsen van een groot aantal stuwen en inlaatduikers er voor gezorgd worden dat in de zomer voldoende water beschikbaar is voor de landbouw.

Daarnaast zal ter bescherming van het Fochtelooverveen de Schaaphokswijk komen te vervallen als afvoerleiding voor het gebied "de Zeven Blokken". In plaats daarvan zal het gebied afwateren via een hoogwaterleiding die om het reservaatgebied heen loopt en loost in de Kolonievvaart. Het peil in de Kolonievvaart, 10.5 m + NAP, brengt met zich mee dat de totale oppervlakte van 1,100 ha van het gebied "de Zeven Blokken" bemalen moet worden. Hiertoe is in het ruilverkavelingsplan een

gemaal aan de Van Lierswijk opgenomen. Het relatief laag gelegen gebied tussen de Grietmanswijk en de Meesterswijk krijgt een onderbemaling (lit. 22).

Het Reservaatsgebied

Ook in het reservaatsgebied heeft turfwinning plaatsgevonden. Tevens is een deel van het veen in gebruik geweest als landbouwgrond (de z.g. "Boekweit-brand cultuur"). Door deze activiteiten is de oorspronkelijke opbouw en structuur van het hoogveen grotendeels vernietigd en is een van de belangrijkste hydrologische eigenschappen van een levend hoogveen, n.l. het grote vochtbergend vermogen, verloren gegaan (lit. 15, lit. 27). Op veel plaatsen in het reservaatsgebied is het veen echter niet zo ver afgegraven als in het landbouwgebied en men probeert nu op de veenrestanten een hernieuwde aangroei van hoogveen te bewerkstelligen.

De afwatering van het reservaatsgebied is beperkt door de aanwezigheid van veendammen die in 1985 zijn aangelegd. Deze dammen verdelen het reservaatsgebied in compartimenten, gemiddeld zo'n 100 ha groot. De dammen zijn gemaakt van turf en plastic folie en reiken voor zover mogelijk tot in de ondiep voorkomende keileem. Daar waar het veen dikker was dan 1.5 m werd de keileem meestal niet gehaald. In de veendammen bevinden zich overlaatjes waarmee de oppervlakkige afvoer uit de compartimenten kan worden geregeld.

De vegetatie bestaat voornamelijk uit Pijpestrootje, een soort die niet behoort tot de karakteristieke hoogveenvegetatie. Als de beheerder erin slaagt de grondwaterstand voldoende hoog te houden zal het Pijpestrootje op den duur plaats maken voor veenmossoorten.

2.2 Bodemgesteldheid

In 1961 heeft STIBOKA in het ruilverkavelingsgebied "Smilde" een bodemkartering uitgevoerd (lit. 4). De meest voorkomende bodems zijn dalgronden, naast een klein percentage veen- en zandgronden. Storende gliedelagen komen voor op de overgang van het veen naar de zandondergrond. Als het zand binnen 1 m - mv voorkomt wordt diepploegen tot in de zandondergrond mogelijk. Ideaal is 60 tot 80 cm veen, zodat met een 1 m diepe ploegschaar de juiste mengverhouding veen/zand wordt verkregen. Rekening houdende met het feit dat sinds 1961 het maaiveld zo'n 20 tot 25 cm is gedaald door inklinking van het veen, kan worden gesteld dat alleen in de diepe dalgronden met het zand dieper dan 1.20 m - mv nog storende gliedelagen kunnen voorkomen. Van de overige gronden kan worden aangenomen dat vanwege de talrijke grondverbeteringswerken in het verleden de gliede grotendeels is opengebroke. Omtrent de verspreiding van andere ondiep voorkomende storende lagen, zoals

ijzeroerbanken en leemlenzen is weinig bekend.

Het reservaatgebied bestaat over het algemeen uit veengronden en diepe dalgronden. Er lopen een aantal dekzandruggen en zandbanen door het gebied heen, waaronder de z.g. "Bonghaar". De veendikte is nauwkeurig gekarteerd door Natuurmonumenten. Deze wisselt zeer sterk op korte afstand en is gemiddeld ongeveer 1.0 m.

2.3 Geohydrologische opbouw

Topografisch gezien ligt het onderzoeksgebied op de westelijke helling van van het Drentse Plateau. Karakteristiek voor dit plateau is de relatief hoge ligging (meer dan 10 m + NAP) en de geringe geaccidenteerdheid. In het onderzoeksgebied helt het maaiveld af van 13 m + NAP in het Zuid-Oosten naar 7 m + NAP in het Noord-Westen. Dit is tevens de globale orientatie van de afstroming van het diepe grondwater.

De geohydrologische opbouw bestaat uit een afwisseling van slecht doorlatende en watervoerende pakketten, die hier worden beschreven. Voor een uitgebreide omschrijving van de lithologische bestanddelen van iedere formatie wordt verwezen naar de Geologische kaart van Nederland (lit. 12). Bij de benaming van de verschillende watervoerende pakketten is de indeling volgens de Grondwaterkaart van Nederland (lit. 13) gevolgd.

- Bovenop ligt het eerste slecht doorlatend pakket dat bestaat uit veen van de Formatie van Griendtsveen. Het weerstandsbiedend vermogen van het veen is meestal geconcentreerd bij de overgang naar de zandondergrond (lit. 15, lit. 27). Daar bevindt zich een 10 tot 20 cm dikke humusachtige inspoelingslaag, de z.g. "gliede". De aanwezigheid van gliede verschilt plaatselijk zeer sterk. De veendikte varieert tussen de 0 en 2.5 m.
- Het eerste watervoerend pakket bestaat uit fijnzandige afzettingen van de Formatie van Twenthe en in mindere mate uit verweerde keileemresten van de Formatie van Drenthe. De dikte van deze laag varieert tussen de 0 en 2.5 m.
- Het tweede slecht doorlatend pakket bestaat uit keileemafzettingen van de Formatie van Drenthe en in mindere mate uit sterk slibhoudende zanden van de Formatie van Twenthe. De keileem is plaatselijk geerodeerd. De dikte varieert tussen de 0 en 4 m.
- Het tweede watervoerend pakket bestaat uit fijnzandige afzettingen behorende tot de Formatie van Eindhoven. De dikte varieert tussen de 5 en 15 m.
- Het derde slecht doorlatend pakket bestaat voornamelijk uit potklei afzettingen en sterk slibhoudende zanden van de Formatie van Peelo. De samenstelling en dikte (5 tot 80 m) van deze laag kunnen over korte afstanden sterk variëren (lit. 5, lit 10).

- Het derde watervoerend pakket wordt gevormd door de Formaties van Urk en Harderwijk en in mindere mate door de Formaties van Scheemda en Peelo. De afzettingen van de eerst genoemde drie formaties zijn veelal grofzandig, terwijl kleilagen van geringe dikte kunnen voorkomen. De Peelo afzettingen kunnen grof- tot slibhoudend fijnzandig zijn. De dikte van dit pakket varieert van enige tientallen meters tot ruim 100 m.
- Het vierde slecht doorlatend pakket bestaat uit kleiige afzettingen behorende tot de Formaties van Tegelen en Scheemda en in mindere mate Peelo en Harderwijk. De verbreiding van dit pakket is onzeker (lit. 13). Waarschijnlijk ontbreekt het pakket in het onderzoeksgebied gedeeltelijk, waardoor het derde - en vierde watervoerend pakket op die plaatsen worden samengevoegd.
- Het vierde watervoerend pakket omvat de Formatie van Harderwijk en gedeeltelijk de Formatie van Scheemda. Het pakket is afwisselend grof en fijnzandig. De dikte bedraagt 50 tot 60 m.
- De hydrologische basis wordt gevormd door de bovenbegrenzing van de mariene klei-afzettingen behorende tot de Formatie van Breda. Deze ligt in het onderzoeksgebied ongeveer 200 m onder maaiveld.

In fig. 2 staan de verschillende pakketten schematisch weergegeven. Het eerste - en tweede watervoerend pakket kunnen beschouwd worden als de ondiepe aquifers waarin de lokale grondwaterstroming plaatsvindt. Het derde en vierde watervoerend pakket vormen tezamen de aquifer waarin de regionale grondwaterstroming plaatsvindt. De interactie tussen enerzijds de lokale en anderzijds de regionale aquifers, wordt bepaald door het weerstandsbiedend vermogen van het derde slecht doorlatende pakket en dan met name de potklei afzettingen.

2.4 Openwaterpeilen en -afvoeren

2.4.1 Reservaatwijk en Schaaphokswijk

De Reservaatwijk en de Schaaphokswijk oefenen door hun centrale ligging enige invloed uit op de waterhuishouding van het Fochtelooverveen. In beide wijken staan peilschalen. In 1986 schommelde het peil van de Schaaphokswijk tussen de 8.30 en 8.60 m + NAP en het peil van de Reservaatwijk tussen de 8.80 en 9.80 m + NAP. De natte omtrek van beide leidingen is ongeveer 6 m. De Reservaatwijk loost via een overlaat in de Schaaphokswijk en heeft een gering verval. Voordat de Schaaphokswijk was afgedamd kon bij veel afvoer uit het landbouwgebied een groot verval optreden. Tegenwoordig is het verval gering.

De Schaaphokswijk ligt met zijn bodem in de Formatie van Drenthe of Eindhoven. De bodemhoogte varieert tussen de 7.00 en 7.30 m + NAP. Daar waar de bodem in de Formatie van Drenthe ligt is de keileem zeer dun of ontbreekt volledig, zodat mag worden

aangenomen dat de Schaaphokswijk over zijn gehele lengte invloed heeft op de stijghoogten in het tweede watervoerend pakket. In het leidinggedeelte ten zuiden van de penitentiaire inrichting "Bankenbosch", ligt de natte omtrek ook in de Formatie van Twenthe, zodat daar ook de stijghoogten in het eerste watervoerend pakket beïnvloedt zullen worden. Uit berekeningen die zijn gemaakt door Ernst (lit. 7) met een 2-dimensionaal, analytisch model is geschat dat in dit leidinggedeelte tijdens een voorjaarssituatie ongeveer 40% van de ondergrondse toestroming naar de Schaaphokswijk afkomstig is van het eerste watervoerend pakket en 60% van het tweede watervoerend pakket. Een dergelijke verhouding lijkt aannemelijk; ondanks de veel kleinere kD-waarde van het eerste watervoerend pakket zal neerslagwater dat vlakbij de Schaaphokswijk valt voornamelijk via dit pakket naar de leiding stromen. Hoe verder de stroomlijnen van de Schaaphokswijk af beginnen, des te meer zal de weg van de minste weerstand via het tweede watervoerend pakket lopen. Vanaf de vloeivelden tot halverwege de Reservaatwijk en de penitentiaire inrichting "Bankenbosch" ligt de Schaaphokswijk in een gebied waar de potklei in de ondergrond ontbreekt. Door de lage stijghoogten in het derde watervoerend pakket worden de stijghoogten in het tweede pakket eveneens verlaagd, zodat de Schaaphokswijk het laatstgenoemde pakket plaatselijk nauwelijks nog draineert, of zelfs gaat infiltreren. Uit stijgbuizen die het dichtst bij de Schaaphokswijk zijn geplaatst is de gradient in het tweede watervoerend pakket naar de leiding te bepalen. Dit is gedaan voor vier raaien. Deze gradienten vermenigvuldigd met een kD-waarde van gemiddeld 60 m²/d geeft de toestroming per strekkende meter door dit pakket naar de Schaaphokswijk. Deze waarden moeten met ongeveer de helft worden verhoogd om de toestroming vanuit het eerste en tweede watervoerend pakket tesamen te verkrijgen. In 1978 en 1979 zijn debietmetingen uitgevoerd in de bodem van de Schaaphokswijk (lit. 7). Vermenigvuldigd met de natte omtrek van ongeveer 6 m, geven deze metingen eveneens de ondergrondse toestroming per strekkende meter. Er mag worden aangenomen dat het voorjaarspeil in de Schaaphokswijk gedurende al deze jaren weinig is veranderd omdat dit peil is gekoppeld aan het min of meer vaste peil van de Kolonievvaart. In fig. 3 zijn de gemeten en berekende waarden weergegeven. Uit de figuur blijkt duidelijk hoe in de middenloop van de Schaaphokswijk door de invloed van het gat in de potklei de toestroming kleiner wordt. De verschillen tussen de gemeten en berekende waarden zijn nogal hoog, om de volgende redenen:

- De intreeweerstand onder in de leiding is waarschijnlijk hoger dan die langs de taluds, zodat de gemeten waarden het debiet onderschatten, omdat deze in de bodem zijn gemeten.
- Omdat hier het tweede watervoerend pakket van onderen niet is afgesloten door potklei, mag de gradient niet met de gehele kD-waarde worden vermenigvuldigd. Een deel van de stroomlijnen

zal namelijk afbuigen naar het derde watervoerend pakket. De berekende waarden zijn dus overschat.

Bovenstrooms van de penitenciaire inrichting "Bankenbosch" is de gemiddelde, berekende toestroming $0.28 \text{ m}^2/\text{d}$ en de gemeten waarde is ongeveer $0.06 \text{ m}^2/\text{d}$. Uitgaande van de gedachte dat de werkelijke toestroming hier ergens tussen in moet zitten, is deze gesteld op $0.1 \text{ m}^2/\text{d}$, dat is 35% van de berekende waarden.

2.4.2 Overige diepe waterlopen

De waterlossing die parallel aan de Kolonievvaart door het Bankenbosch loopt heeft een laag peil. De waterlossing kruist de Schaaphokswijk via een duiker. Bovenstrooms van deze duiker was op 28 april 1986 het peil $7.90 \text{ m} + \text{NAP}$, benedenstrooms gemiddeld $7.30 \text{ m} + \text{NAP}$. Op de waterlossing is een wijdvertakt netwerk van sloten aangesloten die het Bankenbosch diep ontwateren; in het voorjaar ongeveer 0.80 tot $1.00 \text{ m} - \text{mv}$. De bodemdpte van de waterlossing is 2.00 tot $2.50 \text{ m} - \text{mv}$. Door de relatief kleine natte omtrek, het feit dat de leiding over de grootste lengte met de bodem in de keileem ligt en door het ontbreken van de potklei in grote gedeelten van het Bankenbosch, is de toestroming vanuit het tweede watervoerend pakket naar deze leiding waarschijnlijk gering.

De Veertigroewijk, de Esmeerwijk en de Veenwijk stonden vroeger in verbinding met bovengenoemde waterlossing. Tegenwoordig zijn in al deze oude wijken dammen geplaatst met hoge duikers om het waterverlies uit het reservaatgebied te beperken en de grondwaterstand te verhogen. Het zelfde geldt voor het gebied direct ten noordoosten van de Lycklemavaart waarin de z.g. Opwijken eveneens zijn afgedamd. De duikers in de dammen liggen hier gemiddeld op $10.50 \text{ m} + \text{NAP}$.

Om het onderzoeksgebied lopen een groot aantal vaarten, zoals de Appelschaastervvaart, de Drentse Hoofdvaart, de Norgervvaart en de Kolonievvaart. De peilen in deze vaarten liggen meestal wat hoger (ongeveer 1 m) dan de omringende landbouwpeilen. De invloed van deze diepe vaarten op de stijghoogten in het tweede watervoerend pakket hangt vooral af van de bodemweerstand. De bodemweerstand in deze oude vaarten is vaak hoog, zodat de invloed onzeker is en de peilen in het model dus niet als randvoorwaarde kunnen worden gebruikt. De afstand van deze vaarten tot het reservaatgebied bedraagt meerdere kilometers en is dus te groot om enige invloed te hebben, uitgaande van een spreidingslente voor het tweede watervoerend pakket van 300 tot 400 m (zie par. 4.1).

2.4.3 Secundaire - en tertiaire waterlopen

Van een klein gedeelte van het gebied "de Zeven Blokken" was een slootbodemdieptekaart beschikbaar. De secundaire waterlopen,

(hoofdwaterlopen) hebben een bodemdiepte van 1.5 tot 2.0 m - mv. De tertiaire waterlopen (perceelsloten e.d.) hebben een diepte van 0.5 tot 1.5 m - mv.

Om de invloed van de ruilverkaveling op het Fochtelooverveen te kunnen berekenen is het belangrijk om te weten welke slootpeilveranderingen in deze waterlopen plaats zullen vinden. Voor de belangrijkste gebieden is het mogelijk geweest deze verlagingen in te schatten. In tabel 1 staan de verzamelde gegevens per deelgebied vermeld.

Tabel 1. Geschatte verlagingen van het zomer- en winterpeil in m v.h. landbouwgebied (zomer- en winterpeilen in m + NAP).

Deelgebied	zomerpeil			winterpeil		
	voor	na	verl	voor	na	verl
A. Gebied tussen Meesterswijk en Grietmanswijk, relatief laag gelegen, 180 ha, subr 28,37 en 38.	8.6	8.6	0.0	9.0	8.1 en 8.4	0.9 en 0.6
B. Gebied ten westen van Grietmanswijk tot aan provinciegrens, 125 ha, subr 27 en 41.	(?)	9.2	(?)	9.0	8.7	0.3
C. Gebied tussen Meesterswijk, Van Lierswijk en Borgesiuswijk, relatief laag gelegen, 950 ha, subr 31 en 32.	(?)	9.6	(?)	9.6	9.0	0.6
D. Gebied tussen Van Lierswijk en Norgervaart, 220 ha, subr 34 en 35.	9.6	9.5	0.1	9.3	9.0	0.3
E. Gebied ten oosten van Esmeer tot Norgervaart en Gemeentegrens, 240 ha, subr 9 en 10.	9.7	9.7	0.0	9.5	9.2	0.3
F. Gebied tussen Jonkerswijk en Kymmelswijk afwaterend via Lycklemavaart, 1344 ha, subr 47 en 48.	9.4	9.4	0.0	9.2	9.2	0.0

opmerkingen bij de tabel:

- oud winterpeil deelgebied C geschat aan de hand van bodemhoogte schouwsloten
- nieuw winterpeil deelgebied C is na inklinken (voor inklinken: 9.2 m + NAP)

De deelgebieden zijn gecodeerd A t/m F en staan aangegeven in fig. 1. Tevens staan bij elk deelgebied de subregionummers vermeld. Deze nummers refereren naar de subregioindeling zoals die tijdens de modelopzet is gemaakt (zie par. 4.1 en fig. 4). De oude peilen zijn geschatte gemiddelden over meerdere jaren.

De nieuwe peilen zijn de peilen die na de ruilverkaveling in de verschillende peilvakken zullen worden doorgevoerd. De gegevens zijn afkomstig van het waterschap Smilde.

Uit tabel 1 blijkt dat de grootste peilverlagingen in de winter optreden in deelgebieden A en C. Uit de dwarsprofielberekeningen voor het hoofdwaterlopenstelsel van de ruilverkaveling blijkt ook dat de bodems van de leidingen in deze gebieden 0.40 tot 0.80 m worden uitgediept. De zomerpeilen veranderen in de meeste peilvakken nauwelijks.

Het slootpeil in de perceelsloten (tertiair systeem) en de diepteligging van de buizendrainage hebben veel meer invloed op de grondwaterstand in het landbouwgebied dan het slootpeil in de hoofdwaterlopen (secundair systeem). Het is moeilijk na te gaan hoe de slootpeilen in het tertiaire systeem zullen reageren op de peilveranderingen in het secundaire systeem. Volgens de Landinrichtingsdienst zal in het algemeen voor het wijkengebied een ontwatering van 1.10 m - mv worden nagestreefd. Hiertoe zal binnen het kader van de ruilverkaveling een groot aantal dwarswijken worden opgeschoond (lit. 22). Daarom is aangenomen dat de detailontwatering dusdanig zal worden aangepast aan de nieuwe situatie, dat de slootpeilen in het secundaire en tertiaire systeem per peilvak uiteindelijk ongeveer hetzelfde zullen zijn.

2.5 Grondwaterstanden

De meeste stijghoogtemetingen die bij dit onderzoek zijn gebruikt, zijn afkomstig van het meetnet van Natuurmonumenten. Deze zijn aangevuld met metingen van T.N.O. (landbouw- en peilbuizen), Staatsbosbeheer (Bankenbosch), de Landinrichtingsdienst (r.v.k. Roden-Norg) en het waterschap Smilde. Uit de in totaal 81 stijghoogtewaarnemingen konden voor de calibratiedatum van 28 april 1986 isohypsenkaarten getekend worden voor het eerste en tweede watervoerend pakket. Helaas is lang niet op alle peilbuislocaties de stijghoogte in zowel het veen (freatisch water), als in het eerste en het tweede watervoerend pakket gemeten, zodat het aantal gemeten stijghoogteverschillen over enerzijds het veen en anderzijds de keileem beperkt is. Daarnaast kunnen deze stijghoogteverschillen sterk van plaats tot plaats variëren, zodat het niet altijd mogelijk was om deze nauwkeurig te calibreren.

Ter bepaling van de isohypsen in het derde - en vierde watervoerend pakket stonden 7 stijghoogtemetingen ter beschikking. Met behulp van de Grondwaterkaart van Nederland (lit. 13) zijn tussen deze metingen de isohypsen geïnterpoleerd. Op plaatsen waar de potklei zich diep insnijdt in het derde watervoerend pakket moet ten aanzien van deze interpolatie enig voorbehoud worden gemaakt, omdat de isohypsen hier af kunnen wijken van het regelmatige patroon.

Over de verschillen in stijghoogten tussen het derde - en vierde

watervoerend pakket is weinig bekend. Temeer daar het vierde slecht doorlatend pakket waarschijnlijk grotendeels ontbreekt, zal het vierde watervoerend pakket niet als aparte laag in het model worden opgenomen.

De grondwaterstandsdiepte op 28 april 1986 lag in het reservaatgebied tussen de 0 en 0.3 m - mv. In het landbouwgebied tussen de 0.6 en 1.10 m - mv. Aan het einde van de zomer was de grondwaterstand in het reservaatgebied gemiddeld 0.6 m gedaald t.o.v. de stand op 28 april. Langs de oostrand van het centraal gelegen compartiment "1" (subregio 25) en in het compartiment dat ten zuiden van de Reservaatwijk is gelegen (subregio 16), waren de dalingen het grootst; 0.7 tot 1.0 m t.o.v. de stand op 28 april. Dit kan verklaard worden uit het feit dat de wegzijging uit het reservaatgebied naar het diepe grondwater in oostelijke richting toeneemt, omdat daar de potklei in de ondergrond ontbreekt.

2.6 Waterbalansen

De gemiddelde jaarlijkse neerslag van het K.N.M.I. regenstation te Veenhuizen gedurende de periode 1951 - 1980 bedraagt 833 mm/j. Het jaargemiddelde voor de openwaterverdamping van het K.N.M.I. station te Eelde is 690 mm/j. Uitgaande van een reductiefactor voor de verdamping van 0.8 is de effectieve neerslag in het onderzoeksgebied gemiddeld dus 280 mm/j. In 1986 bedroeg de gemeten neerslag te Veenhuizen 811 mm/j en de openwaterverdamping te Eelde 668 mm/j. De effectieve neerslag bedroeg in dat jaar dus ongeveer 277 mm.

In een publicatie van het R.I.V.M. in 1984 (lit. 23) is een waterbalans gegeven voor het waterschap Smilde, voor een gemiddeld jaar. De diepe infiltratie, d.w.z. het water dat niet ondiep afstroomt naar sloten e.d. maar wegzijgt naar de diepere lagen, is begroot op 110 mm/j (oftewel 0.3 mm/d). Dit is ongeveer 25% van het jaarlijkse neerslagoverschot.

In het onderzoeksgebied komen een aantal polders voor waarvan geprobeerd is de netto-kwel of -wegzijging te berekenen. De polder bij Ravenswoud (opp 285 ha) grenst aan het gebied met de Opwijken (zie fig. 1). Het gemaal heeft in 1986 801 uren gedraaid met een capaciteit van 20 tot 25 m³/min. Uit deze gegevens en het neerslagoverschot is de kwel berekend. Deze ligt tussen de 0.2 en 0.4 mm/d. De hoeveelheid ingelaten water in de zomer is hierbij verwaarloost.

In de twee polders gelegen langs de Norgervaart (deelgebieden D en E, fig. 1), respectievelijk 220 en 240 ha groot, zijn de draaiuren van de gemalen niet nauwkeurig bekend. Volgens het waterschap Smilde mag worden aangenomen dat de gemalen ongeveer het neerslagoverschot wegpompen, m.a.w. dat de netto-kwel of -wegzijging klein is. Geohydrologisch gezien is dit als volgt te verklaren. Ofschoon onder beide polders de potklei grotendeels ontbreekt en dus wegzijging naar de regionale aquifers is te

verwachten, zal dit worden gecompenseerd door toestroming van grondwater uit het eerste en tweede watervoerend pakket omdat deze polders relatief laag zijn gelegen. Daarnaast zal, vanwege de plaatselijk complexe geologie, ook kwel vanuit de regionale aquifers naar deze polders optreden. In de Grondwaterkaart van Nederland (lit. 13) staat dit kwelgebied aangegeven. Aangenomen wordt dat de verschillende volumestromen elkaar ongeveer in evenwicht houden.

Het reservaatgebied is door de veendijken (hoogte ongeveer 0.5 m) verdeeld in compartimenten die ieder een afwateringseenheid vormen. In de veendijken bevinden zich overlaatjes met schotbalkjes waarmee de oppervlakkige afvoer uit de compartimenten kan worden geregeld. Bij de meeste overlaten staan peilschrijvers waarvan de werking helaas niet erg betrouwbaar is. Bij alle overlaatjes staan ook peilschalen die om de twee weken worden afgelezen. Tijdens een veldbezoek in december 1987 zijn de overstorthoogten, de drempelbreedtes en de debieten bij de overlaatjes gemeten. Uit de overstorthoogte en de drempelbreedte kan het debiet worden berekend met (lit. 28):

$$Q = 2/3 * m * (b - 0.2 * h) * h * \sqrt{2/3 * g * h} \quad (2.1)$$

waarin:

Q = debiet	(m ³ /s)
m = formuleconstante: 0.86	(-)
b = drempelbreedte	(m)
h = overstorthoogte	(m)
g = zwaartekrachtversnelling	(m/s ²)
0.2*h = zijdelingse contractie	(m)

Met behulp van landmeetapparatuur is de overstorthoogte op een halve centimeter nauwkeurig bepaald. De gemiddelde overstorthoogte bedroeg 4 cm. De gemiddelde relatieve fout in de overstorthoogte (X_h) was dus 12.5%. De relatieve fout in de formuleconstante en de zijdelingse contractie tesamen (X_c) is geschat op 10%. De relatieve fout in het berekende debiet (X_q) is gegeven door:

$$X_q = \sqrt{(X_c)^2 + (1.5 * X_h)^2} \quad (2.2)$$

Hieruit volgt voor X_q een waarde van ongeveer 20%. Indien de gemeten debieten worden vergeleken met de berekende waarden liggen de fouten inderdaad binnen deze marge. Uit de opgemeten drempelhoogten bleek verder dat deze 1 to 2 cm waren verzaakt sinds de aanleg. Voor betrouwbare afvoermetingen verdient het aanbeveling de drempelhoogten ieder jaar opnieuw in te meten en te controleren op verzakking. Verder zou van ieder schotbalkje dat wordt verwijderd of aangebracht gecontroleerd moeten worden

of de dikte exact 100 mm is, zoals opgegeven door de Grontmij (lit. 28).

Omdat de ijkingsdatum 28 april 1986 is, zou het ideaal zijn als de oppervlakkige afvoer uit het reservaatgebied in het voorafgaande winterhalfjaar bekend was. Het bleek onmogelijk om deze afvoer te schatten aan de hand van de peilschaalgegevens, omdat in die periode nog niet exact is bijgehouden hoeveel schotbalkjes er op de overlaten lagen.

Voor compartiment "1", dat is het grootste (180 ha) en meest centraal gelegen compartiment binnen het reservaatgebied, was het voor de zomerperiode wel mogelijk om een globale waterbalans op te stellen. De bergingsverandering in het compartiment is niet nauwkeurig te bepalen uit de stijghoogtemetingen. Daarom is voor een periode gekozen waarbij deze minimaal is. Op 27 november 1986 ligt het freatisch vlak ongeveer 30 mm lager t.o.v. de stand op 28 april 1986. Voor deze periode van 214 dagen kan, uitgaande van de drempelhoogten en gemeten openwaterpeilen bij de overlaatjes, tevens met zekerheid worden gezegd dat nauwelijks (minder dan 10 mm) oppervlakkige afvoer heeft plaatsgevonden. De neerslag te Veenhuizen bedroeg 439 mm en de openwaterverdamping te Eelde bedroeg 513 mm in deze periode. De grootste fout die nu wordt gemaakt zit in de reductiefactor voor de verdamping. Volgens Janssen (lit. 14) is deze 0.7 voor de periode mei - november. De fout in de reductiefactor is geschat op ± 0.1 . Dit geeft een fout in de effectieve neerslag van ± 0.24 mm/d. Voor de bergingsfactor in compartiment "1" is 0.3 genomen (lit. 8). De fout in de berging is geschat op maximaal ± 0.1 mm/d. Uit bovenstaande gegevens is de wegzijging als restterm te berekenen. Rekening houdende met de foutenmarges ligt deze tussen de 0.1 en 0.7 mm/d. Een nauwkeurigere massabalans voor de zomerperiode zou in de toekomst verkregen kunnen worden door meer stijgbuizen in het middengedeelte van het compartiment te plaatsen en door onderzoek naar de verdamping van Pijpestrootje.

Het blijft nog de vraag in hoeverre de wegzijging in het zomerhalfjaar afwijkt van die in het winterhalfjaar. Aangenomen wordt dat dit verschil binnen de foutenmarge van ± 0.3 mm/d ligt. Bovenstaande berekening is dan ook slechts bedoeld om aan te geven binnen welke grenzen de wegzijging naar het grondwater ligt.

3 MODELBESCHRIJVING

In het stationaire model "FEMSATS" (lit. 18, lit. 19) worden de volgende termen van waterstroming onderscheiden:

a. Horizontale grondwaterstroming door watervoerende laag.
De vergelijking is af te leiden uit de wet van Darcy. Wanneer men de potentiaal in de verticale richting als constant beschouwt (Dupuit-Forcheimer aanname), en de doorstroomde dikte als veel groter dan de verandering in stijghoogte veronderstelt, dan resteert de volgende vergelijking:

$$Q_{i,j} = (kD)_{i,j} * B_{i,j} * (h_j - h_i) / L_{i,j} \quad (3.1)$$

waarin:

$Q_{i,j}$	= horizontale flux tussen knooppunt i en j	(m ³ /d)
$(kD)_{i,j}$	= transmissibiliteit tussen knooppunt i en j	(m ² /d)
h_j	= stijghoogte knooppunt j	(m)
h_i	= stijghoogte knooppunt i	(m)
$B_{i,j}$	= fluxbreedte	(m)
$L_{i,j}$	= afstand tussen knooppunt i en j	(m)

b. Verticale grondwaterstroming door weerstandsbiedende laag.
De formule voor deze stroming is als volgt:

$$q_w = \frac{h_{i,l+1} - h_{i,l}}{0.5c_{l+1}} + \frac{h_{i,l-1} - h_{i,l}}{0.5c_{l-1}} \quad (3.2)$$

met:

$$c = d/k \quad (3.3)$$

waarin:

q_w	= verticale fluxdichtheid	(m/d)
$h_{i,l}$	= stijghoogte knooppunt i in laag l	(m)
c	= verticale weerstand	(d)
d	= dikte weerstandsbiedende laag	(m)
k	= verticale doorlatendheid	(m/d)

Wanneer plaatselijk de weerstandsbiedende laag ontbreekt dan wordt als stijghoogte het gemiddelde van de stijghoogten van het boven- en onderliggende watervoerend pakket genomen.

c. Strooming naar kanalen.

De strooming naar het kanalsysteem is in formulevorm te schrijven als:

$$Q_k = \beta_k (h_k - h_i) L_k \quad (3.4)$$

met:

$$\beta_k = 1/(R_r + R_e/P) \quad (3.5)$$

waarin:

Q_k	= flux naar kanalsysteem	(m ³ /d)
R_r	= radiale weerstand	(d/m)
R_e	= intreeweerstand	(d)
P	= natte omtrek	(m)
L_k	= lengte kanaal in knooppunt i	(m)
h_k	= waterhoogte in kanalsysteem	(m)

d. Strooming naar het oppervlaktewatersysteem.

Het oppervlaktewatersysteem kan in "FEMSATS" worden ingebracht op twee manieren, te weten:

- met een gediscretiseerde relatie tussen de grondwaterstands- diepte en de afvoer naar het oppervlaktewater
- met ingevoerde drainageweerstanden

In geval van ingevoerde drainageweerstanden wordt er gebruik gemaakt van de vergelijking:

$$q_{ows} = (h_{ows} - h_i)/T \quad (3.6)$$

waarin:

q_{ows}	= fluxdichtheid naar oppervlaktewatersysteem	(m/d)
h_{ows}	= open waterpeil	(m)
T_{ows}	= drainageweerstand	(d)

Er wordt onderscheid gemaakt tussen een secundair-, een tertiair- en een greppelsysteem. Voor ieder systeem kunnen verschillende drainageweerstanden en bodemdieptes worden ingebracht. Het openwaterpeil is voor alle drie de systemen hetzelfde. Het maakt verschil of de slootbodems even diep zijn ingesteld als de slootpeilen, of dat nog enig water in de sloot staat en de bodems dus dieper liggen. In het model zal bij een grondwaterstand die lager is dan het slootpeil, in het eerste geval de slootafvoer nul worden ("droge sloot") en in het tweede geval zal de sloot gaan irrigeren.

In een stationaire situatie is de continuïteitsvergelijking als volgt te schrijven:

$$\sum_j Q_{i,j} + Q_e = 0 \quad (3.7)$$

waarin:

$$Q_e = \text{externe flux} \quad (\text{m}^3/\text{d})$$

Vergelijking (3.7) kan m.b.v. vergelijking (3.1) worden herschreven als:

$$\sum_j \Sigma(kD)_{i,j} * B_{i,j} * (h_j - h_i) / L_{i,j} + Q_e = 0 \quad (3.8)$$

De externe flux is te schrijven als:

$$Q_e = A_r (q_w + q_{ows}) + Q_{in} + Q_k \quad (3.9)$$

waarin:

$$\begin{aligned} A_r &= \text{invloedsoppervlakte van knooppunt} \quad (\text{m}^2) \\ Q_{in} &= \text{voeding c.q. onttrekking} \quad (\text{m}^3/\text{d}) \end{aligned}$$

Het knooppuntennetwerk is onregelmatig en de elementen zijn driehoekig. De invloedsoppervlaktes, A_r , van de knooppunten worden gevormd door Thiessen-polygonen die door het model worden berekend uit de opgegeven knooppuntscoördinaten.

Substitutie van (3.2), (3.4) en (3.6) in (3.9) en vervolgens (3.9) in (3.8) geeft:

$$h_i = \frac{\sum_j \Sigma(kD)_{i,j} * B_{i,j} * h_j / L_{i,j} + \beta_k h_k + h_{ows} / \tau + 2h_{i,l+1} / c_{l+1}}{\sum_j \Sigma(kD)_{i,j} * B_{i,j} / L_{i,j} + \beta_k + 1/\tau + 2/c_{l+1}} \quad (3.10)$$

Differentievergelijking (3.10) wordt opgelost door middel van de iteratieve Gauß-Seidel methode. Men kan het iteratieproces versnellen door gebruik te maken van een overrelaxatie techniek.

4 MODELOPZET

4.1 Gebiedsbegrenzing en subregio indeling

De randvoorwaarde langs de modelgrens kan worden gegeven als constante stijghoogte (Dirichlet conditie), of als constante flux (Neumann conditie). Indien verwacht wordt dat veranderingen binnen of buiten het modelgebied de randvoorwaarde zullen beïnvloeden, moet de modelgrens zo ver weg worden gekozen dat veranderingen in de randvoorwaarden op de grens geen invloed hebben op het daadwerkelijk door te rekenen gebied. Hierbij is de spreidingslengte een bepalende grootte. Deze is als volgt gedefinieerd:

$$\lambda = \sqrt{kDc} \quad (4.1)$$

waarin:

λ = spreidingslengte (m)
 kD = transmissibiliteit (m^2/d)
 c = weerstand afdekkende laag (d)

In de voor dit onderzoek belangrijke laag, het tweede watervoerend pakket (Formatie van Eindhoven, kD is $60 m^2/d$), is deze spreidingslengte 300 tot 400 m. Om een zekerheidsmarge in te bouwen is gezorgd dat de afstand tussen de modelgrenzen en dat deel van het reservaatgebied waar invloed van de diverse ingrepen valt te verwachten, overal minstens een veelvoud van deze spreidingslengte bedraagt.

De keuze van de modelbegrenzing is verder bepaald door het verspreidingsgebied van stijgbuizen. Daar waar geen stijgbuizen aanwezig zijn levert een uitbreiding van het model geen extra informatie op en dus ook geen nauwkeuriger berekeningen.

De oppervlakte van het uiteindelijke modelgebied is 5,350 ha en het is te beschouwen als een afwateringseenheid.

Het model "FEMSATS" heeft de mogelijkheid om knooppunten te groeperen tot subregio's. De indeling in subregio's kan op grond van identieke geologische - of hydrologische kenmerken gebeuren (lit. 17, lit. 25). De indeling van het modelgebied in dit onderzoek is gebaseerd op:

- afwateringseenheden; gecompartmenteerde gebieden in het natuurgebied en polders in het landbouwgebied.
- toekomstige peilvakken in het ruilverkavelingsgebied.
- diepte freatisch vlak onder maaiveld op 28 april 1986.

Het modelgebied is verdeeld in 56 subregio's, die staan aangegeven in fig. 4. De randknooppunten zijn in vier aparte

subregio's verdeeld, zodat het totale aantal subregio's 60 bedraagt.

4.2 Knooppuntennetwerk

De voordelen van een onregelmatig knooppuntennetwerk zijn dat er zeer plaatselijk verdichtingen kunnen worden aangebracht en dat rekening kan worden gehouden met de gebiedsgrenzen en de ligging van waterlopen en peilbuizen. Verdichtingen zijn daar aangebracht waar grote stijghoogteverschillen optreden, zoals bij de compartimentsdijken en de kanalen (Schaaphokswijk en Reser vaatwijk) en op plaatsen waar de potklei als scheiding tussen het tweede - en derde watervoerend pakket ontbreekt. Ook op plaatsen waar nauwkeurige berekeningen gewenst zijn, zoals in de kern van het hoogveengebied, zijn verdichtingen aangebracht.

De knooppunten zijn steeds aan weerszijden van de model- en subregiogrenzen gelegd, zodat de scheiding tussen de invloedsoppervlaktes ongeveer samenvalt met de betreffende gebiedsgrenzen. Dit is belangrijk om een juiste waterbalans te krijgen (lit. 24). Omdat de Schaaphokswijk langs verschillende subregiogrenzen loopt, zijn de knooppunten op regelmatige, korte afstand aan weerszijde van de leiding gelegd, en niet erop. Verder is bij het opzetten van het knooppuntennetwerk naar een zo regelmatig mogelijke driehoeksvorm van de elementen gestreefd, waarbij de hoeken kleiner dan 90 graden zijn. Als de hoeken namelijk te stomp zijn, wordt de berekende stromingsrichting hierdoor beïnvloedt. In fig. 5 staan de posities van de knooppunten weergegeven. Het aantal knooppunten bedraagt 612.

4.3 Bespreking fysische invoergegevens

4.3.1 Neerslagoverschot

Het neerslagoverschot, verdeeld over de tijd, kan ten opzichte van het grondwatersysteem worden gezien als een reeks impulsen met naijlende werking. Het is moeilijk te zeggen in hoeverre de neerslag die een zeker aantal dagen c.q. maanden tevoren al is gevallen nog bijdraagt aan de situatie op de calibratiedatum. Deze naijling verschilt sterk van gebied tot gebied.

Het neerslagoverschot is over het winterhalfjaar, november 1985 - april 1986, niet gelijkmatig verdeeld. Uitgaande van de neerslag te Veenhuizen en de openwaterverdamping te Eelde en een reductiefactor voor de verdamping van 0.8, is het neerslagoverschot berekend voor drie perioden binnen het bovengenoemde winterhalfjaar. De maanden november t/m januari hadden een neerslagoverschot van 3.2 mm/d. De gehele maand februari en de eerste helft van maart was een droge vorstperiode. In de tweede helft van maart en de gehele maand april bedroeg het neerslag overschot tenslotte 0.7 mm/d.

Uitgaande van deze waarden is als schatting voor de bovenrandflux in het model een waarde van 1.0 mm/d aangehouden. Dit is een waarde die vaak als voorjaarsgemiddelde wordt aangehouden.

4.3.2 Maaiveldshoogte

In het model "FEMSATS" wordt de hoogte van het oppervlaktewatersysteem gekoppeld aan de maaiveldshoogte. De maaiveldshoogte dient dan ook zo nauwkeurig mogelijk te worden bepaald; afwijkingen in de maaiveldshoogte veroorzaken een bijna even grote afwijking in de stijghoogten.

De maaiveldshoogten zijn ontleend aan de 1 : 10.000 hoogtekaart van Nederland van de Topografische Dienst. Voor ieder knooppunt is de gemiddelde maaiveldshoogte van zijn invloedsoppervlakte ingevoerd. Op plaatsen waar de invloedsoppervlakte klein is, dus op plaatsen waar het netwerk dicht is geconstrueerd, is de afwijking t.o.v. het gemiddelde in de orde van ± 0.1 m. Naar de randen loopt deze op tot ± 0.5 m.

4.3.3 Oppervlaktewatersysteem

Zoals in het vorige hoofdstuk al is vermeld, onderscheidt "FEMSATS" een oppervlaktewatersysteem en een kanalsysteem. Het oppervlaktewatersysteem is gelegen in de eerste modellaag. Bij gebrek aan gedetailleerde gegevens is het tertiaire- en het secundaire systeem samengevoegd. De substitutieweerstand is dan:

$$\frac{1}{\tau_{\text{sub}}} = \frac{1}{\tau_{\text{ter}}} + \frac{1}{\tau_{\text{sec}}} \quad (4.2)$$

waarin

$$\begin{aligned} \tau_{\text{sub}} &= \text{substitutieweerstand} & (d) \\ \tau_{\text{ter}} &= \text{tertiare drainageweerstand} & (d) \\ \tau_{\text{sec}} &= \text{secundaire drainageweerstand} & (d) \end{aligned}$$

Voor zowel de tertiaire - als de secundaire drainageweerstand is voor het landbouwgebied een waarde van 200 dagen genomen, zodat de substitutieweerstand 100 dagen is. Deze schatting is gebaseerd op het feit dat 70% van het landbouwgebied gedraineerd is volgens het zogenaamde 7/50 criterium (mondelinge mededeling waterschap Smilde). Dit houdt in dat bij een drainafvoer van 7mm/dag een opbolling van 50 cm mag optreden. Hieruit volgt een drainageweerstand van 71 dagen. Voor het niet gedraineerde gedeelte van het landbouwgebied is de drainageweerstand berekend met behulp van de formule van Bruggeman (lit. 6). Deze formule bleek echter zeer gevoelig voor de waarde van de intreeweerstand. Er wordt uitgegaan van het feit dat deze sloten matig tot goed

onderhouden zijn en een intreeweerstand van ongeveer 2 dagen hebben. Voor 30% van het landbouwgebied werd zodoende een drainageweerstand van 160 dagen gevonden. De gemiddelde drainageweerstand is dan de genoemde waarde van 100 dagen.

Voor het reservaatgebied heeft het invoeren van een bepaalde drainageweerstand een veel geringere fysische onderbouwing. Het is momenteel niet bekend hoe de afvoer reageert op bergingsveranderingen in de veencompartimenten. Omdat de oppervlakkige afvoer uit het reservaatgebied op de calibratiedatum ongeveer tussen de 0.1 en 1.0 mm/d ligt, zal bij een drainageweerstand van 100 dagen de opbolling slechts tussen de 1 en 10 cm variëren en gemiddeld 5 cm bedragen, een aannemelijke waarde voor de ondiepe greppeltjes die in het reservaatgebied voorkomen.

Vervolgens is in heel het modelgebied het freatisch vlak op de juiste hoogte gebracht door de slootpeilen in te stellen op 5 cm onder de per subregio geschatte of gemeten dieptes van het freatisch vlak onder maaiveld. Hierbij zijn 5 slootpeilklassen onderscheiden:

slootpeil	gebied waar slootpeil is ingevoerd
20 cm - mv	reservaatgebied
40 cm - mv	idem
70 cm - mv	landbouw- en bosgebied
90 cm - mv	idem
110 cm - mv	idem

In alle subregio's, behalve 17, zijn de slootbodems dieper dan de slootpeilen ingesteld, zodat de sloten bij een grondwaterstand die onder het slootpeil ligt, gaan infiltreren. In subregio 17, waarin de Schaaphokswijk en de Reservaatwijk liggen, zijn de slootbodems op dezelfde diepte ingesteld als de slootpeilen, zodat de sloten niet kunnen infiltreren. Dit is gedaan omdat anders door de verlaging van het freatisch vlak, veroorzaakt door het kanalsysteem, een grote flux van het oppervlaktewaterstelsel naar het kanalsysteem zal optreden. Dit gebeurt in werkelijkheid niet omdat er geen sprake is van een slotensysteem waarin een zeker peil wordt gehandhaafd en aanwezige greppeltjes dus droog kunnen vallen.

4.3.4 Kanalsysteem

In het model zijn de Schaaphokswijk en de Reservaatwijk met behulp van de kanalenoptie ingevoerd (zie hoofdstuk 3). De lagen waarbij een interactie aanwezig is met dit systeem zijn het eerste - en het tweede watervoerend pakket. Stroomopwaarts vanaf de penitentiare inrichting "Bankenbosch" is de interactie met het eerste watervoerend pakket weggelaten, omdat de natte omtrek van de Schaaphokswijk te diep ligt. Als weerstand is alleen de

radiale term uit vergelijking (3.5) opgegeven, omdat over de intreeweerstand van beide wijken weinig te zeggen is. Hierdoor is de berekening van de natte omtrek, die het model automatisch uitvoert, overbodig. De radiale term is nu te beschouwen als een substitutieweerstand. De substitutieweerstand is gecalibreerd op de geschatte waarde voor de ondergrondse toestroming vanuit het eerste en tweede watervoerend pakket, bovenstrooms van de penitentiaire inrichting "Bankenbosch" (zie par. 2.4.1).

4.3.5 Geohydrologische schematisatie

Het model is opgebouwd uit zes lagen. Hiervoor is de originele versie van "FEMSATS" aangepast, daar deze slechts ruimte laat voor vijf lagen. Onderstaand zal iedere laag wat betreft zijn geohydrologische eigenschappen worden besproken.

Laag 1; eerste slecht doorlatend pakket (Formatie van Griendtsveen).

Voor de verticale weerstand (oftewel "c-waarde") van deze laag zijn in het modelgebied vijf klassen onderscheiden, te weten:

- | | |
|---------------------------------------|---------|
| - veen afwezig, of dunner dan 0.3 m: | 25 d |
| - veen dikker dan 0.3 m, geen gliede: | 200 d |
| - idem, met minder dan 0.15 m gliede: | 600 d |
| - idem, met meer dan 0.15 m gliede: | 2,000 d |
| - vloeivelden: | 5,000 d |

Als het veen dunner is dan 0.3 m of ontbreekt, is toch een kleine weerstand aangehouden, omdat het model bij c-waarden die lager zijn dan 10 dagen niet altijd correct functioneert. Een c-waarde van 1 of 25 dagen geeft bij een wegzijging die tussen de 0.1 en 1.0 mm/d ligt, ook geen wezenlijk verschil in de berekende stijghoogteverschillen. Voor het reservaatgebied zijn de veendiktes ontleend aan een gedetailleerde veendiktekaart van Natuurmonumenten. De verbreiding en dikte van de gliede zijn ontleend aan het rapport van Jansen (lit. 14). Voor het landbouwgebied is aangenomen dat in gronden met een zandondergrond dieper dan 1.2 m de gliede nog aanwezig is. De verschillende klassen zijn zo gecalibreerd, dat voor iedere klasse een zo juist mogelijk stijghoogteverschil tussen laag 1 en laag 2 wordt berekend. De verbreiding van de gecalibreerde c-waarden voor deze laag staat in fig. 6. Als een gedeelte van de slecht doorlatende toplaag zich boven het freatisch vlak bevindt wordt de c-waarde van deze laag door het model verlaagd. Omdat het weerstandsbiedend vermogen zich onderin de veenlaag concentreert, is deze aanpassing niet correct. Daarom is overal een fictieve veendikte van 10 m ingevoerd. Bij een grondwaterstand van bijvoorbeeld 0.5 m - mv zal de reductie zo nog maar 5 % bedragen.

Laag 2; eerste watervoerend pakket (Formatie van Twenthe). Deze laag is ondanks zijn geringe transmissibiliteit toch in het model opgenomen. Een schematische berekening van de stroming met en zonder deze laag geeft, afhankelijk van de knooppuntsafstand en de weerstand van de keileem, een geschatte fout in het berekende debiet tussen twee knooppunten van 2% tot 20% (voor berekeningsmethode zie lit.7, bijlage I). Tevens verzorgt deze laag een aanzienlijk gedeelte van de afvoer naar de Schaaphokswijk en de Reservaatwijk. Een bijkomend voordeel is dat de stijghoogten over het veen en de keileem nu apart worden berekend, wat het calibreren vergemakkelijkt. Ook kunnen de gevolgen van bepaalde ingrepen op de stijghoogten in de zandlaag direct onder het veen nu eventueel bekeken worden. Voor deze laag is een doorlatendheid van 2.0 m/d aangehouden (lit. 21). De dikte van de laag is gebaseerd op de R.G.D.-handboringen, die een dichtheid van 9 boringen per vierkante kilometer hebben. De gemiddelde dikte is 1.0 m en de gemiddelde kD-waarde dus 2 m²/dag.

Laag 3; tweede slecht doorlatend pakket (Formatie van Drenthe). De verticale weerstand van deze laag is gecorreleerd aan de dikte. De handboringen van de R.G.D. reiken vaak niet tot de onderkant van deze formatie. Hierdoor bestaat de neiging de dikte van deze laag te onderschatten. Toch is aan de hand van deze boringen en de boringen van Natuurmonumenten een redelijk betrouwbare diktekaart gemaakt, zie fig. 7. Voor de empirische relatie tussen de dikte en de verticale weerstand is in eerste instantie de relatie uit het Dwingelderveld onderzoek (lit. 3) gebruikt. De moeilijkheid met dergelijke empirische relaties is, dat gebruik wordt gemaakt van gebiedsgemiddelden voor parameters die in werkelijkheid ruimtelijk sterk kunnen variëren. De fouten in de representatieve gemiddelden van zowel de gemeten wegzijging, de stijghoogteverschillen als de laagdiktes beïnvloeden de relatie zowel bij het ijken in het oorspronkelijke gebied als bij de toepassing in een ander gebied. De waarden die uit deze relatie volgden gaven in het Fochtelooverveen te kleine berekende stijghoogteverschillen over de keileem. Een betere eerste schatting werd verkregen door alle weerstandswaarden met een factor 2 te vermenigvuldigen. Uit de later uitgevoerde gevoeligheidsanalyse bleek dat vermenigvuldiging met een factor 3 nog betere resultaten gaf. De relatie die uiteindelijk is ingevoerd is:

dikte	verticale weerstand
0.0 m	25 d
0.5 m	75 d
1.0 m	375 d
1.5 m	900 d
2.0 m	1,500 d
2.5 m	2,250 d

3.0 m	3,000 d
3.5 m	3,750 d
4.0 m	4,500 d

Laag 4; tweede watervoerend pakket (Formatie van Eindhoven).

Op grond van boringen van Natuurmonumenten en diepe R.G.D.-boringen is van deze laag een isodiktekaart samengesteld, zie fig. 8. De doorlatendheid is uit boorbeschrijvingen geschat, volgens de U-cijfer methode van het I.C.W. De gemiddelde schatting voor het hele modelgebied is 6 m/d. Bij een gemiddelde dikte van 10 m is de kD dus 60 m²/d.

Laag 5; derde slecht doorlatend pakket (Formatie van Peelo). Deze laag heeft een sterk wisselende weerstandswaarde. De formatie bestaat voornamelijk uit fijne slibhoudende zanden en potklei. Op basis van een geo-elektrisch onderzoek van T.N.O. (lit. 10), de Grondwaterkaart van Nederland (lit. 13) en de diepe R.G.D.-boringen, is de dikte en samenstelling van dit pakket onderzocht. Voor de verticale weerstand van de potklei is gebruik gemaakt van een relatie uit het Drentsche Aa onderzoek (lit. 29):

- potklei dunner dan 5 m:	1,000 d
- potklei 5 tot 10 m dik:	10,000 d
- potklei 10 tot 25 m dik:	50,000 d
- potklei dikker dan 25 m:	50,000 d

Op veel plaatsen in het onderzoeksgebied ontbreekt de potklei en komen fijne slibhoudende zanden van de Formatie van Peelo voor. Deze hebben een geschatte dikte van tussen de 10 en 40 m. Voor de doorlatendheid van deze zanden wordt wel 0.1 m/d genomen (lit. 21). Het beeld wordt gecompliceerd doordat deze zanden niet overal uniform zijn afgezet, maar vaak zijn geassocieerd met kleiafzettingen van dezelfde formatie. Geprobeerd is de verspreiding van al deze afzettingen zo goed mogelijk in kaart te brengen en de weerstanden te calibreren aan de hand van de gemeten stijghoogten in het tweede - en de geschatte wegzijging naar het derde watervoerend pakket. Uiteindelijk is het volgende verband tussen de samenstelling, dikte en verticale weerstand van het derde slecht doorlatend pakket gevonden:

- slibarm/slibhoudend zand, 10 tot 40 m dik:	250 d
- sterk slibhoudend zand met kleilaagjes, 10 tot 40 m dik:	1,500 d
- afwisselend klei- en zandlagen, 10 tot 40 m dik:	10,000 d
- potklei, 10 tot 60 m dik:	50,000 d
- potklei, dikker dan 60 m:	200,000 d

In fig. 9 staat de verbreiding van de verschillende c-waarden, zoals die na calibratie zijn bepaald, weergegeven. De weerstand

van 200,000 dagen geeft aan waar zich een tot 80 m diepe, met potklei opgevulde erosiegeul bevindt.

Laag 6; derde watervoerend pakket (Formatie van Urk/Harderwijk). Door dit pakket gaat de regionale grondwaterstroming. In het de omgeving van het modelgebied zijn twee pomproeven gedaan (lit. 11, lit. 13). Op grond van deze proeven is voor deze laag een kD-waarde van 3,000 m²/dag aangehouden.

4.3.6 Initiele stijghoogten en stijghoogten op de rand

Het model heeft een goede eerste schatting nodig van alle stijghoogten in de diverse lagen, omdat anders de mogelijkheid bestaat dat het rekenproces niet convergeert. De stijghoogten die voor de randknooppunten worden ingevoerd zijn tevens gebruikt als randvoorwaarden; deze worden gedurende het rekenproces constant gehouden (Dirichlet conditie, zie par. 4.1). Met behulp van de isohypsenkaarten voor de stijghoogten in het eerste -, tweede - en derde watervoerend pakket op 28 april 1986, zijn voor ieder knooppunt de geschatte waarden voor deze lagen ingevoerd. De stijghoogten in het eerste slecht doorlatend pakket (freatisch water) zijn bepaald uit de maaiveldshoogten en de deels gemeten, deels geschatte dieptes van het freatisch vlak onder maaiveld. De stijghoogten in het tweede - en derde slecht doorlatend pakket zijn tenslotte bepaald door lineaire interpolatie tussen de aangrenzende watervoerende pakketten.

5 CALIBRATIE

Het doel van de calibratie is om de modelparameters dusdanig in te stellen dat de berekende afvoeren en stijghoogten overeenkomen met de gemeten waarden. Het calibreren van een regionaal grondwatermodel gebeurt altijd in een stationaire situatie. De ideale calibratiedatum is de dag waarop alle gronden op veldcapaciteit zijn en een stationaire aan- en afvoer plaats vindt. In zo'n situatie speelt de onverzadigde zone een onbelangrijke rol en treden er geen bergingsveranderingen op. In werkelijkheid komt zo'n situatie nooit voor, maar wordt soms wel benaderd.

Het peilbuizenmeetnet van Natuurmonumenten is sinds het najaar van 1985 opgenomen. De werkzaamheden aan de ruilverkaveling "Smilde" zijn begonnen in het najaar van 1986. De mogelijkheden om te schuiven met de calibratiedatum zijn dus beperkt. Uiteindelijk is gekozen voor 28 april 1986. Deze dag van het jaar wordt in dit soort onderzoeken vaak als calibratiedatum gekozen omdat men ervan uit gaat dat in een gemiddeld jaar in Nederland alle gronden dan op veldcapaciteit zijn en de stationaire voorjaars situatie is ingetreden (lit. 16).

In een stationaire situatie is de wegzijging naar de diepere lagen gelijk aan het neerslagoverschot min de afvoer naar het oppervlaktewater. De oppervlakkige afvoer was niet bekend. Daarom is gekeken of de wegzijging overeen kwam met de geschatte waarden, uitgaande van een effectieve neerslag van 1.0 mm/d.

De hoogte van het freatisch vlak is door de lage drainageweerstanden van 100 dagen min of meer vastgelegd aan de opgegeven slootpeilen. De drainageweerstanden konden niet nauwkeurig worden gecalibreerd. Dit bleek voor het maken van stationaire modelberekeningen echter niet bezwaarlijk (zie hoofdstuk 7). Aan de slootpeilen zijn hier en daar wat kleine veranderingen aangebracht op subregio-niveau, om een zo goed mogelijke overeenstemming met de gemeten stijghoogten van het freatisch vlak te krijgen.

Hierna is begonnen met het calibreren van de geohydrologische parameters. Om enig houvast te hebben is aangenomen dat de kD-waarden betrouwbare schattingen zijn. Veel tijd is vervolgens gestoken in het calibreren van de c-waarden. Hierbij is naar zowel de berekende wegzijging als de berekende stijghoogten en stijghoogteverschillen gekeken. Eerst zijn de c-waarden van het derde slecht doorlatend pakket onderzocht. Bij de c-waarden voor de potklei maakt het niet zoveel uit of 50,000 of 200,000 dagen wordt ingevuld. Aan deze waarden is dan ook niets veranderd. Voor die gebieden waar de Formatie van Peelo zandig is ontwikkeld is begonnen met een c-waarde van 500 dagen in te vullen. Vervolgens is gekeken naar de steile, horizontale gradienten in het tweede watervoerend pakket, die voorkomen langs de potkleibegrenzingsen. De begrenzing van de potklei is op deze plaatsen soms aangepast, rekening houdende met de bestaande

geologische en geo-elektrische informatie. Voor het gat in de Potklei onder de Schaaphokswijk en het Bankenbosch is de c-waarde vervolgens net zolang verlaagd, totdat de stijghoogten in het tweede watervoerend pakket hier overeenkwamen met de gemeten waarden. Het optimum lag bij 250 dagen. Dit komt theoretisch overeen met een pakket slibhoudende zanden met een doorlatenheid van 0.1 m/d en een gemiddelde dikte van 25 m, hetgeen aannemelijk is (zie par. 4.3.5). Voor de zandig ontwikkelde Peelo-afzettingen in het oostelijk modelgebied (o.a. rond het Esmeer) is een wat conservatievere schatting van 1,500 dagen ingevoerd; deze schatting is gebaseerd op de geschatte wegzijging uit de polders bij de Norgervaart, waarvan de wegzijging ten hoogste 0.1 tot 0.2 mm bedraagt (zie par. 2.6).

Vervolgens zijn de c-waarden van het veen en de keileem gecalibreerd. Bij het calibreren van de veenweerstand is gekeken of de wegzijging op subregio-niveau enerzijds en de gemeten stijghoogteverschillen anderzijds, klopten. Uiteindelijk is hier een indeling in weerstandsklassen uit voort gekomen, zoals weergegeven staat in fig. 6. In de keileemweerstand zijn eerst plaatselijk wat veranderingen aangebracht aan de hand van gemeten stijghoogteverschillen. De eerste schatting, de relatie van het Dwingelerveld onderzoek (lit. 3) vermenigvuldigd met een factor 2, bleek redelijk te voldoen. Na uitvoering van de gevoeligheidsanalyse (zie hoofdstuk 6) bleek dat genoemde relatie na vermenigvuldiging met een factor 3 nog beter voldeed.

De laatste parameters die zijn geijkt zijn de substitutieweerstanden van de Reservaatwijk en de Schaaphokswijk. De substitutieweerstanden zijn geijkt op de geschatte ondergrondse toestroming naar de Schaaphokswijk vanuit het eerste en tweede watervoerend pakket afzonderlijk (0.4, resp. 0.6 m²/d). De weerstanden bedroegen uiteindelijk 10, resp. 6 d/m. Omdat beide leidingen onderling qua diepteligging en natte omtrek wel enigszins vergelijkbaar zijn, zijn voor de Reservaatwijk de zelfde substitutieweerstanden ingevoerd.

In de figuren 10 t/m 15 staan de berekende isohypsen van het freatisch water, het tweede en het derde watervoerend pakket en de stijghoogteverschillen over het eerste -, tweede - en derde slecht doorlatend pakket weergegeven op een topografische ondergrond (schaal 1:55,000). In fig. 12 staan de na calibratie berekende isohypsen van het tweede watervoerend pakket (Formatie van Eindhoven) met daarbij de 81 gemeten stijghoogten. De gemiddelde afwijking t.o.v. de gemeten waarden is ongeveer 30 cm.

De wegzijging uit het eerste slecht doorlatend pakket is in het model dat gedeelte van het neerslagoverschot dat niet afstroomt naar het oppervlaktewater. Deze wegzijging is na calibratie gemiddeld over het hele modelgebied 0.20 mm/d. Bij een oppervlakte van 5,350 ha is dat 10,460 m³/d. Daarvan stroomt 410 m³/d af via het ingebrachte kanalsysteem, 1,050 m³/d via het tweede watervoerend pakket en 9,000 m³/d via het derde watervoerend pakket. De afstroming via het eerste watervoerend

pakket is te verwaarlozen. Voor het in het reservaatgebied centraal gelegen compartiment "1" (subregio 25) is de berekende waterbalans als volgt. De wegzijging bedraagt 0.34 mm/d, oftewel bij een oppervlakte van 185 ha: 630 m³/d. Daarvan stroomt 15 m³/d af via het eerste, 500 m³/d via het tweede en 115 m³/d via het derde watervoerend pakket.

In de polder bij Ravenswoud (subregio's 49 en 51) is voor de calibratiedatum (voorjaar) een netto-kwel berekend van 0.21 mm/d. Dit klopt redelijk met de voor 1986 geschatte waarde, die tussen de 0.2 en 0.4 mm/d in moet liggen (zie par. 2.6).

In bijlage I staat de gemiddelde, berekende wegzijging of kwel uit het eerste slecht doorlatend pakket op 28 april 1986 per subregio vermeld.

6 GEVOELIGHEIDSANALYSE

Voor een groot aantal parameters zijn schattingen ingevoerd. Het is daarom nuttig te onderzoeken in welke mate het model gevoelig is voor wijziging van deze parameters. Daarnaast moet worden gekeken of bij de gecalibreerde set van parameters de afwijking van de berekende stijghoogten t.o.v. de gemeten waarden minimaal is. De gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd voor de volgende parameters:

- effectieve neerslag
- drainageweerstand
- verticale weerstanden veen, keileem en zandig ontwikkelde Peelo-afzettingen
- kD-waarden tweede en derde watervoerend pakket
- substitutie-weerstand kanalenstelsel

De waarden van de parameters zijn telkens met de factoren 0.5 en 2.0 vermenigvuldigd. De invloed van deze veranderingen is onderzocht voor een aantal variabelen, te weten:

- foutfuncties van stijghoogten in eerste en tweede watervoerend pakket, volgens de formule:

$$F = \sqrt{1/n \sum (h_{\text{gem}} - h_{\text{ber}})^2} \quad (6.1)$$

waarin:

F	= foutfunctie	(m)
n	= aantal meetpunten bij calibratie betrokken	(-)
h_{gem}	= gemeten grondwaterstand in meetpunt	(m)
h_{ber}	= berekende grondwaterstand in meetpunt	(m)

- standaardafwijking van berekende stijghoogten in eerste, tweede en derde watervoerend pakket t.o.v. de gecalibreerde situatie.

Deze veranderingen staan grafisch weergegeven in bijlage II. Uit de gevoeligheidsanalyse bleek dat de ingevoerde verticale weerstanden voor de keileem en in mindere mate voor het veen nog niet optimaal gecalibreerd waren. Daarom is in de relatie tussen de dikte en de verticale weerstand van de keileem uit het Dwingelerveld onderzoek (zie par. 4.3.5), laatst genoemde waarde in plaats van met een factor 2, vermenigvuldigd met een factor 3. De verhoogde weerstandswaarden die hieruit volgden voor het tweede slecht doorlatend pakket zijn vervolgens ingevoerd. Uit aanvullende berekeningen is gebleken dat het optimum voor zowel de veen- als de keileemweerstanden nu wel voldoende dicht werd benaderd. De overige parameters behoeften geen aanpassing, hetgeen uit de grafieken in bijlage II valt af te leiden. Verder

kan nog het volgende worden opgemerkt:

- de berekende stijghoogten zijn het gevoeligste voor de c-waarden van het veen, de keileem en het Peelo-zand, alsmede de kD-waarde van het tweede watervoerend pakket,
- de berekende stijghoogten zijn betrekkelijk ongevoelig voor de drainageweerstanden.

In een niet-stationair modelonderzoek volgt na calibratie en gevoeligheidsanalyse de verificatie van het model. Hierbij wordt een gegenereerde tijdreeks van stijghoogten c.q. afvoeren vergeleken met de gemeten waarden gedurende een bepaalde periode. De invloed van zekere ingrepen kan worden onderzocht door de tijdreeks nog een keer te genereren, maar nu met de aangebrachte veranderingen in de openwaterpeilen, drainageweerstanden en wat dies meer zij (lit. 16, lit. 17). Het uitvoeren van niet-stationaire berekeningen was binnen het kader van dit onderzoek niet mogelijk. Verificatie van het stationaire model met een andere voorjaars situatie werd weinig zinvol geacht, gezien het ontbreken van nauwkeurige gegevens omtrent de openwaterpeilen en -afvoeren. Daarom is na de gevoeligheidsanalyse direct overgegaan tot het berekenen van de invloed van een aantal ingrepen, waarvan de meeste al in de inleiding zijn genoemd.

7 RESULTATEN

Bij het berekenen van het effect op de waterhuishouding van het Fochtelooverveen van een aantal ingrepen met het stationaire model deed zich het probleem voor dat de drainageweerstand in het reservaatgebied niet nauwkeurig bekend waren. Er zullen als gevolg van de ingrepen zowel in de verticale grondwaterstroming als in de stijghoogten veranderingen optreden. Hoe kleiner de drainageweerstand in het reservaatgebied, hoe groter de berekende veranderingen in de kwel en wegzijging, doch hoe kleiner de berekende veranderingen in de stijghoogten zal zijn. Er is besloten om zowel de berekende veranderingen in de stijghoogten als in de verticale grondwaterstroming te presenteren om een zo volledig mogelijk beeld te krijgen van het effect van de diverse ingrepen. Overigens is uit verkennende berekeningen gebleken dat een halvering, c.q. verdubbeling van de ingevoerde drainageweerstand van 100 dagen in het reservaatgebied nog geen grote invloed had op de berekende veranderingen. Voor de veranderingen in de stijghoogten is gekeken naar het tweede watervoerend pakket, omdat afstroming door het eerste watervoerend pakket, beschouwd over de oppervlakte van meerdere knooppunten, is te verwaarlozen en de stijghoogten in het tweede watervoerend pakket gevoeliger zijn voor de diverse ingrepen. De veranderingen in de verticale grondwaterstroming door het eerste slecht doorlatend pakket staan per subregio voor iedere ingreep vermeld in bijlage I. De verschillende ingrepen worden nu achtereenvolgens behandeld.

7.1 Peilverlaging ruilverkaveling "Smilde"

De verlaging van de grondwaterstand in het ruilverkavelingsgebied is het gevolg van zowel ingrepen in het hoofdwaterlopenstelsel (secundair systeem) als in de detailontwatering (tertiair systeem). Er is bij de berekeningen geen onderscheid gemaakt tussen beide systemen. Doorgerekend is een geschatte, gemiddelde daling van het winterpeil van 30 cm in heel het ruilverkavelingsgebied en in het gebied rond de Norger Petgaten (subregio's 9,10 en 27 t/m 48). Dit is dezelfde peilverlaging als waarmee Ernst (lit. 7) heeft gerekend. Een zomersituatie is niet doorgerekend omdat de veranderingen van de grondwaterstand in de zomer in het landbouwgebied als gevolg van de ruilverkaveling, niet goed waren in te schatten.

Omdat in dit stationaire model het grond- en oppervlaktewater is gemodelleerd als een lineair systeem is het in principe mogelijk om de uitkomsten van diverse berekeningen op elkaar te superponeren. Om dit te controleren is zowel een berekening met 30 cm slootpeilverhoging als een berekening met 30 cm slootpeilverlaging uitgevoerd. Het bleek dat superpositie van de berekenende veranderingen bij goede benadering weer de

uitgangssituatie opleverde. Hiermee is aangetoont dat superpositie, binnen zekere grenzen, geoorloofd is. Het betekent tevens dat de berekende veranderingen niet erg gevoelig zijn voor de uitgangssituatie in het landbouwgebied.

In fig. 16 staan de berekende dalingen in het tweede watervoerend pakket aangegeven in cm. De dalingen in het eerste watervoerend pakket (niet weergegeven) bleken een goede overeenkomst te vertonen met met de berekeningsresultaten van Ernst (lit. 7). Uit fig. 16 blijkt dat de invloed van de ruilverkaveling op het reservaatgebied klein is, met uitzondering van het gebied met de Opwijken, de Norger Petgaten en een strook van ongeveer 350 m breed langs het ruilverkavelingsgebied. In een aantal peilvakken gaan de slootpeilen met 60 cm omlaag (deelgebieden A en C, fig. 1). Als de berekende veranderingen in fig. 16 worden verdubbeld (1 cm wordt 2 cm, 5 cm wordt 10 cm, enz.), wordt de situatie bij 60 cm peilverlaging verkregen, uitgaande van het principe van superpositie. Uit de figuur blijkt dat dit evenmin grote consequenties voor de verschillende veencompartimenten (subregio's 14,16,18 en 21 t/m 25) oplevert.

De rand van het modelgebied loopt gedeeltelijk door het ruilverkavelingsgebied heen. Op die plaatsen zullen de randvoorwaarden in het eerste, tweede en in mindere mate het derde watervoerend pakket dus veranderen. Een plaatselijk verlaging van 30 cm van deze randvoorwaarden had geen noemenswaardig effect op de uitkomsten. Dit betekent dat de rand van het modelgebied ver weg genoeg gekozen is.

7.2 Stijghoogteverlaging regionale aquifer

De stijghoogten van het regionale grondwater (derde en vierde watervoerend pakket) zijn sinds de Tweede Wereldoorlog in Drenthe en Friesland verlaagd als gevolg van grondwaterwinning en grootschalige ingrepen ten behoeve van de landbouw. Hieromtrent zijn exacte aannames moeilijk te doen maar de gemiddelde verlaging zal in de orde van grootte van 0.5 m liggen.

Ook zijn deze stijghoogten onderhevig aan seizoensfluctuaties. Bij de diepe buizen in het onderzoeksgebied bedroeg de jaarlijkse fluctuatie van de stijghoogten in het derde watervoerend pakket gemiddeld 0.5 m. De hoogste standen werden waargenomen in de winter of het voorjaar. De laagste stand meestal in augustus. In een droge zomer zoals in 1976 zakten de stijghoogten gemiddeld 1.0 m (!) t.o.v. de stand in het voorjaar.

Er is een berekening gemaakt waarbij de randvoorwaarden van het derde watervoerend pakket (modellaag 6) integraal met 30 cm zijn verlaagd. De berekende daling in cm van de stijghoogten in het tweede watervoerend pakket staan in fig. 17. Zie ook bijlage I voor de berekende toenames in de wegzijging. Uit de uitkomsten blijkt dat deze ingreep zeer veel invloed heeft, zeker in vergelijking met de 30 cm peilverlaging in het ruilverkavelings-

gebied. Duidelijk is ook dat de invloed direct samenhangt met de verticale weerstand van het derde slecht doorlatend pakket; daar waar geen potklei zit is de invloed het grootst.

7.3 Peilverhoging Bankenbosch

De peilverhoging in het Bankenbosch is mede afhankelijk van wat men bij Staatsbosbeheer realiseerbaar acht. Het oude slootpeil in het Bankenbosch (subregio's 1,2,4 en 6) is op 0.90 m - mv ingesteld. Deze zijn verhoogt met 50 cm, naar 0.40 m - mv. De toenames in cm van de stijghoogten in het tweede watervoerend pakket staan in fig. 18. Door de berekende toenames in fig. 18 met een factor 2 te vermenigvuldigen, krijgen we een situatie waarbij de slootpeilen in het Bankenbosch ongeveer aan maaiveld staan (twee gesuperponeerde peilverhogingen van 50 cm). De invloed van deze ingrepen is in beide gevallen (berekend en gesuperponeerd) gering. Het Bankenbosch ligt te ver van de veencompartimenten af om echt invloed te hebben.

Ten aanzien van deze uitkomsten moet wel enig voorbehoud worden gemaakt omdat het Bankenbosch langs de rand van het modelgebied ligt. Theoretisch gesproken kan het hogere slootpeil in het Bankenbosch de stijghoogten in het derde watervoerend pakket plaatselijk iets verhogen omdat hier de potklei grotendeels ontbreekt. Deze verhoging wordt door het model niet goed berekend door de invloed van de stijghoogten op de rand, die zich vlakbij bevindt. Een mogelijk gunstige invloed via deze laag op de stijghoogten in het reservaatgebied, wordt door het model dus onderschat. Omdat de oppervlakte van het Bankenbosch relatief klein is (385 ha), is de invloed van deze peilverlaging op de stijghoogten in het derde watervoerend pakket mogelijk gering. In dat geval zijn de uitkomsten toch bij benadering juist.

7.4 Peilverhoging landbouw-enclave

Ten oosten van het Bankenbosch bevindt zich een landbouwgebied (subregio 7, 120 ha) dat omringt wordt door bos en gronden in bezit van Natuurmonumenten. Het is de verwachting dat dit landbouwgebied in de toekomst aangekocht wordt door Natuurmonumenten. Momenteel is dit gebied voor 50% gedraineerd. Het watert af via een diepe sloot die het oude traject van de Veenwijk volgt en uitmondt in een waterlossing die parallel aan de Koloniewaart loopt (zie par. 2.4.2). Het slootpeil is in de oude situatie ingesteld op 1.10 m - mv. Dit is in de nieuwe situatie met 70 cm verhoogt naar 0.40 m - mv. De berekende toenames in cm van de stijghoogten in het tweede watervoerend pakket staan in fig. 19. Uit de figuur blijkt dat de invloed van de ingreep zich weer beperkt tot een strook van ongeveer 350 m rond het gebied waar de peilverandering plaatsvindt.

7.5 Peilverhoging Schaaphokswijk

Het is mogelijk het peil in de Schaaphokswijk te verhogen d.m.v. een stuw ter hoogte van de penitenciaire inrichting "Bankenbosch" en mogelijk een tweede stuw ter hoogte van de Reservaatwijk. Het oude peil op 28 april 1986 bedroeg 8.55 m + NAP. Het nieuwe peil bovenstrooms van de eerste stuw, tot aan de Reservaatwijk, is ingesteld op 9.20 m + NAP en het peil bovenstrooms van de tweede stuw op 9.60 m + NAP. Voor deze peilen is gekozen omdat dan nog net geen inundaties optreden.

Subregio 17 bevat de Reservaatwijk en, op twee knooppunten in de vloeivelden (subregio 15) na, alle knooppunten waar het peil in de Schaaphokswijk is veranderd. De waterbalans van subregio 17, voor en na de peilverhoging, staat in tabel 2. Uit de tabel blijkt dat in subregio 17 de Reservaatwijk en de Schaaphokswijk tesamen voor de ingreep 310 m³/d draineerden. Na de ingreep is dit veranderd in een netto-infiltratie van 105 m³/d. Dit infiltrerende water komt niet ten goede aan het hoogveenreservaat, maar stroomt naar het derde watervoerend pakket. De instroming vanuit de omringende subregio's wordt met circa 20% verminderd (van 400 naar 320 m³/d). Dit heeft echter weinig effect op de wegzijging vanuit de veencompartimenten in subregio's 14,16,18 en 25 (zie bijlage I).

Tabel 2. Waterbalans subregio 17 voor en na de peilverhoging naar 9.20/9.60 m + NAP in de Schaaphokswijk.

	voor (m ³ /d)	na (m ³ /d)
wegzijging naar 1e w.v. pakket	+1,060	+ 960
instroming 1e w.v.pakket	+ 10	+ 5
kanaalstroming 1e w.v. pakket	- 160	- 5
	----- +	----- +
wegzijging naar 2e w.v. pakket	+ 910	+ 960
instroming 2e w.v. pakket	+ 400	+ 320
kanaalstroming 2e w.v. pakket	- 150	+ 110
	----- +	----- +
wegzijging naar 3e w.v. pakket	+1,160	+1,390

opmerkingen bij de tabel:

- oppervlakte subregio 17: 146 ha
- neerslag subregio 17: 1,460 m³/d (1.0 mm/d)
- kanaallengte subregio 17: 3,200 m

In fig. 20 staat de toename in cm van de stijghoogten in het tweede watervoerend pakket als gevolg van het opzetten van het peil in de Schaaphokswijk naar 9.20/9.60 m + NAP. De invloed is

beperkt tot een strook van ongeveer 500 m breed aan weerszijde van de leiding, waar toenames zijn te verwachten van 5 tot 10 cm. Vergeleken met de peilverhoging van rond de 60 en 100 cm in de leiding zelf, zijn deze toenames erg gering. Dit kan toegeschreven worden aan de invloed van een gat in de potklei dat zich vanaf de vloeivelden tot aan de penitenciaire inrichting "Bankenbosch" onder de Schaaphokswijk bevindt (zie ook fig. 9). In de zomer moet rekening worden gehouden met het feit dat het peil van 9.20/9.60 m + NAP niet kan worden gehandhaafd. Als voorbeeld moge dienen de periode van 28 april tot 28 augustus 1986 (122 dagen). In deze periode had geen oppervlakkige afvoer plaats (zie par. 2.6) en op 28 augustus zijn de laagste openwaterpeilen en grondwaterstanden van 1986 gemeten. In de Reservaatwijk, die in 1985 is afgedamd en reeds een peil van 9.60 m + NAP heeft, is in deze periode het waterniveau achter de stuw 0.76 m gedaald. De neerslag te Veenhuizen min de openwaterverdamping te Eelde bedroeg in deze periode -228 mm. Als het peil hierdoor 0.23 m is gedaald, moet de resterende 0.53 m peildaling zijn veroorzaakt door infiltratieverliezen. Volgens tabel 2 is in een voorjaarssituatie de netto-infiltratie per strekkende meter kanaal in subregio 17 na de peilverhoging: 105 m³/d gedeeld door 3200 m, oftewel 0.033 m²/d. Bij een gemiddelde breedte van de waterspiegel van 4.0 m zou dit over een periode van 122 dagen een peildaling van 1.0 m veroorzaken. Stel dat het gemiddelde infiltrerend debiet gedurende de beschouwde periode de helft van de berekende waarde in het voorjaar bedraagt, omdat de stijghoogten van het (diepe) grondwater minder sterk dalen dan de kanaalpeilen. Dan bedraagt de berekende daling 0.5 m, overeenkomstig met wat is waargenomen. Uit dit voorbeeld blijkt dus dat de peildaling in de zomer voornamelijk door de infiltratieverliezen naar de regionale aquifer wordt veroorzaakt.

8 CONCLUSIES

Ondanks de beperkingen die een stationaire modelberekening met zich meebrengt, zijn toch een aantal duidelijke conclusies te trekken.

De ruilverkaveling "Smilde" heeft slechts geringe invloed op de waterhuishouding van het Fochtelooverveen. Hetzelfde geldt voor een aantal andere ingrepen zoals het ophogen van de slootpeilen in het Bankenbosch en in de landbouw-enclave. Bij alle peilveranderingen strekt de invloed zich niet verder uit dan 300 tot 400 m vanaf de grenzen van het desbetreffende gebied (Dit komt overeen met de in par. 4.1 berekende spreidingslengte).

Wel veel invloed hebben stijghoogteveranderingen in de regionale aquifer. Dit komt omdat het derde slecht doorlatend pakket (Formatie van Peel) op bepaalde plaatsen een lage weerstandswaarde tegen verticale stroming heeft. De ligging van een aantal reservaatcompartimenten (subregio's 16 en 18) is uit dit oogpunt dan ook ongunstig te noemen. Veendammen hebben hier een beperkte werking omdat het extra water dat is vastgehouden in de winter, gedurende de zomerperiode wegzijgt naar de diepere lagen.

De wegzijging uit het centraal gelegen compartiment "1" is door het model begroot op 120 mm/j. Deze waarde wordt door geen van de doorgerekende ingrepen beïnvloed. Dat het freatisch vlak in de zomer toch nog sterk daalt (in 1986 0.3 tot 0.9 m daling) komt vooral door de verdamping en de lage bergingscoëfficiënt van het gedegenerende veen.

Het ophogen van het peil in de Schaaphokswijk tot aan het niveau waarbij nog geen inundaties optreden (9.20/9.60 m + NAP) heeft een beperkte invloed op de stijghoogten in het tweede watervoerend pakket. Dit komt omdat het derde slecht doorlatend pakket onder deze leiding grotendeels zandig is ontwikkeld (verticale weerstand ongeveer 250 d), waardoor de invloed van de regionale aquifer veel groter is dan de invloed van de Schaaphokswijk. Er is berekend dat bij een hoger peil in de Schaaphokswijk de wegzijging uit deze leiding naar de regionale aquifer sterk zal toenemen. Hierdoor en door de verdampingsverliezen, zal in de zomer het waterpeil achter de geprojecteerde stuwen sterk dalen.

Omdat het infiltrerende water uit de Schaaphokswijk wegzijgt naar de regionale aquifer heeft de kwaliteit van het water in deze leiding geen invloed op het voedselarme milieu in de reservaatcompartimenten.

9 DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN

Uit dit onderzoek is gebleken dat de diverse door Natuurmonumenten voorgestelde ingrepen slechts op kleine schaal de grondwaterstroming in het reservaatgebied beïnvloeden. Een ingreep die in deze studie niet is onderzocht en die een mogelijk groter effect heeft, is het gedeeltelijk inunderen van subregio 17. Deze subregio vormt een laagte in het reservaatgebied waar het openwaterpeil door de aanleg van lage dammen opgehoogd zou kunnen worden naar 10.0 tot 10.5 m + NAP. Ongeveer 470 ha van het reservaatgebied stroomt af via subregio 17. Het gebied zou als een soort spaarbekken kunnen fungeren, waarmee de daling van het freatisch vlak in de aangrenzende reservaatcompartimenten gedurende de zomer gedeeltelijk kan worden tegengegaan. De hoogte van het freatisch vlak in subregio 17 was in het voorjaar van 1986 ongeveer 9.8 m + NAP. De wegzijging was ongeveer 0.66 mm/d, bij een stijghoogteverschil tussen het freatisch water en het derde watervoerend pakket van gemiddeld 1.0 m. Een verhoging van het freatisch vlak met 0.5 m (openwaterpeil naar 10.3 m + NAP) geeft dus theoretisch een wegzijging van ongeveer 1.0 mm/d. Voor de zomerperiode waarin geen oppervlakkige afvoer meer optreedt zal dus behalve met de verdampingsverliezen, rekening moeten worden gehouden met de infiltratieverliezen. Met een niet-stationair model zou bekeken kunnen worden hoe het waterpeil in het spaarbekken zal fluctueren en wat het effect zal zijn op de wegzijging uit de verschillende compartimenten.

Indien in de Schaaphokswijk stuwen worden geplaatst, wordt aanbevolen om ervoor te zorgen dat in droge zomers water vanuit de Kolonievlaart ingelaten kan worden, zodat het peil in ieder geval niet dieper wegzakt dan nu het geval is.

Bij een eventueel vervolgonderzoek wordt geadviseerd om de ondergrondse en de oppervlakkige afvoer uit het modelgebied opnieuw te calibreren. Deze moeten vooral voor het reservaatgebied dan nauwkeuriger bekend zijn dan nu het geval is. Misschien kan tegen die tijd tevens gebruik worden gemaakt van de resultaten van onderzoeken naar de verdamping van Pijpestrootje in hoogveengebieden dat o.a. door de vakgroep Hydraulica en Afvoerhydrologie van de L.U. zal worden verricht.

LITERATUUR

1. Bakel, P.J.T. van, Effecten van peilbeheer in het gebied van "De Monden" (Drenthe). Rapport 15 nieuwe serie I.C.W., Wageningen.
2. Bakel, P.J.T. van, A numerical model for non stationary saturated groundwaterflow in a multi-layered system. Nota 1077 I.C.W., Wageningen 1978.
3. Bakker, T.W.M., Het Dwingelderveld. Deelrapport geohydrologie. Staatsbosbeheer, Utrecht 1984.
4. Bodemonderzoek ruilverkaveling "Smilde". STIBOKA, Wageningen 1961.
5. Csengo, T., Matig tot slecht doorlatende afzettingen boven het grove watervoerende pakket - Deklagen in Drenthe. W.M. Drenthe, Assen 1981.
6. Drecht, G. van, Berekening van de stationaire grondwaterstroming naar sloten. R.I.D.-mededeling 83-3, Bilthoven 1983.
7. Ernst, L.F., Hydrologisch onderzoek van het Fochtelooverveen/ Kolonieveld. Nota 1164 I.C.W., Wageningen 1979.
8. Ernst, L.F., Grondwaterstandsfluctuaties en bergingscoëfficiënten in het Fochtelooverveen. Nota 1297 I.C.W., Wageningen 1981.
9. Ernst, L.F., Wegzijging en kwel; De grondwaterstroming van hogere naar lagere gebieden. Rapport 7 Nieuwe serie I.C.W., Wageningen 1983.
10. Geo-elektrisch onderzoek; Het Fochtelooverveen. D.G.V./T.N.O., Delft 1977.
11. Geo-hydrologische verkenning van Nederland; Aanvullend onderzoek pompproef Veenhuizen. D.G.V./T.N.O., Delft 1983.
12. Geologische kaart van Nederland, R.G.D., Haarlem
13. Grondwaterkaart van Nederland, 11 Oost, 12 West. D.G.V./T.N.O., Delft, 1987.
14. Jansen, J.H.M., Het Fochtelooverveen. Scriptie vakgroep Cultuurtechniek L.H. Wageningen, 1975.
15. Joosten, J.H.J. en Bakker, T.W.M., De Groote Peel, in verleden, heden en toekomst. Nooddruk Staatsbosbeheer, Utrecht 1988.
16. Poelman, A., Geohydrologische modelstudie van de Groote Peel en omgeving. Nooddruk Staatsbosbeheer, Utrecht 1988.
17. Post, H en Bakel, P.J.T. van, Onderzoek waterbeheer in de ruilverkaveling Ruinerwold/Koekange. Mededeling 164 Landinrichtingsdienst, Utrecht 1986.
18. Querner, E.P., Description of model FEMSATS. nota 1557 I.C.W., Wageningen 1984.
19. Querner, E.P., Usersmanual FEMSATS. nota 1558 I.C.W., Wageningen 1984.
20. Querner, E.P. en Bakel, P.J.T. van, Description of second level waterquantity model, including results. Nota 1586 I.C.W., Wageningen 1984.
21. Rapport 2 van de Technische Werkgroep Grondwaterplan Drenthe. Provinciale Waterstaat, Assen 1986.
22. Rapport ruilverkaveling "Smilde". Centrale Cultuurtechnische Commissie; Landinrichtingsdienst, Utrecht 1983.
23. Regionaal geohydrologisch onderzoek Provincie Drenthe. R.I.V.M.,

Bilthoven 1984.

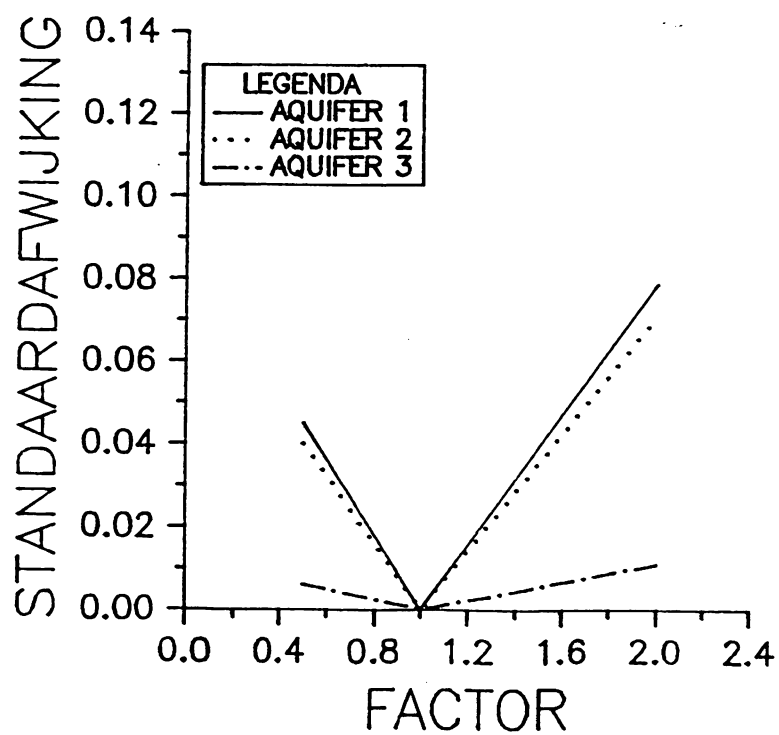
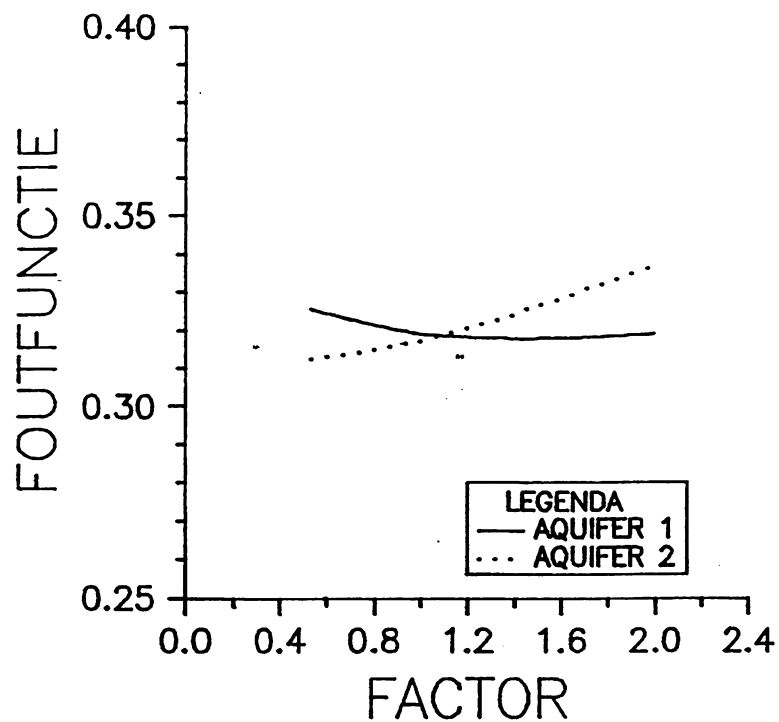
24. Smidt, E.H., Toepassing van het stationaire grondwaterstromingsmodel 'FEMSATS' in De Monden. Nota 1515 I.C.W., Wageningen 1984.
25. Smidt, E.H., Bakel, P.J.T. van, e.a., Southern Peel Area. Nota 1420 I.C.W., Wageningen 1983.
26. Straathof, N., Het Fochtelooverveen, een voor grondwaterstandsverlaging zeer kwetsbaar gebied. Stichting tot Behoud van Natuurmonumenten in Nederland, 's Gravelande 1980.
27. Streefkerk, J.G. en Casparie, W.A., De hydrologie van hoogveen-systemen. Staatsbosbeheer, Utrecht 1987.
28. Toelichting op maatregelen ter verbetering van de waterhuishouding Fochtelooverveen. Grontmij, Arnhem 1984.
29. Kortelever, M., Verslag Drentse Aa onderzoek (in bewerking). Staatsbosbeheer, Utrecht 1988.

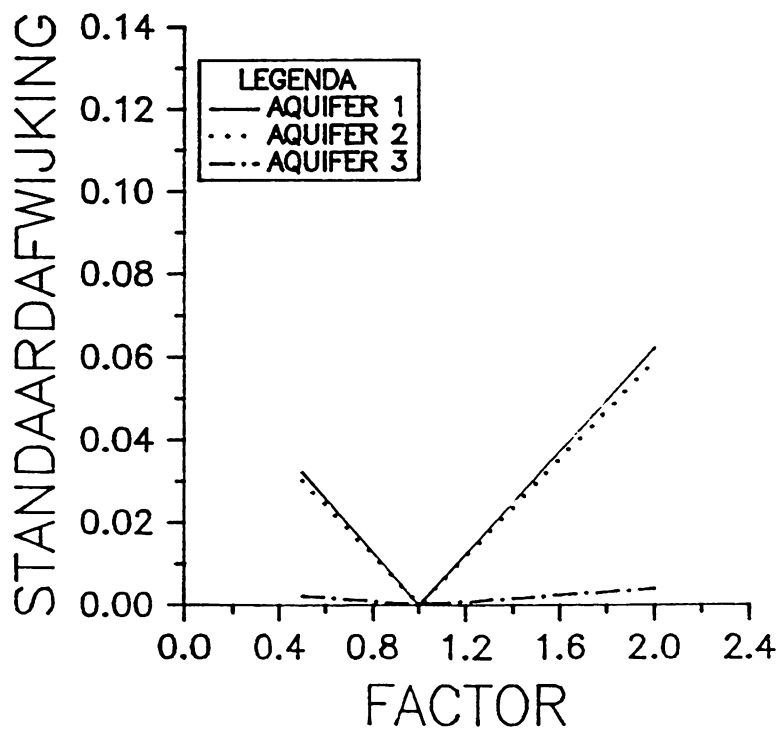
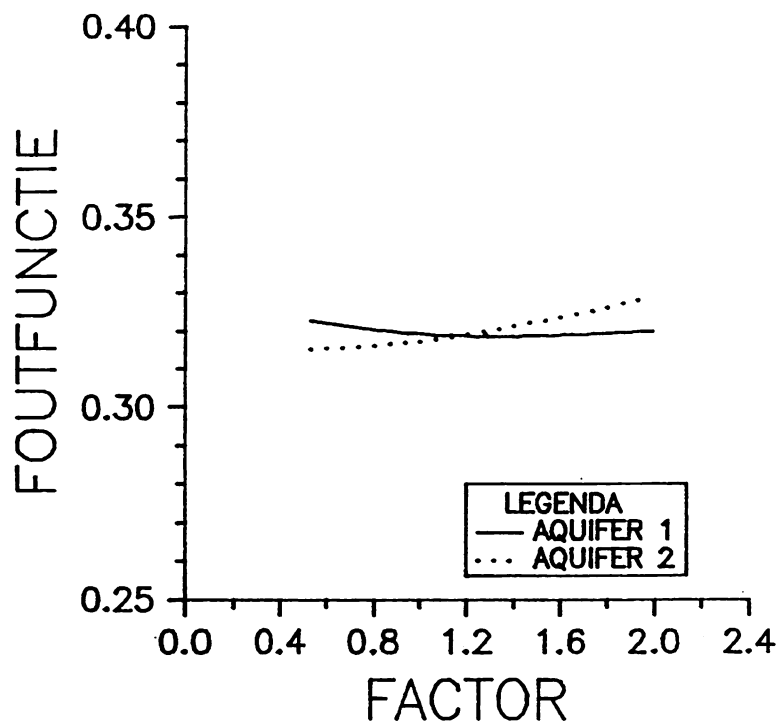
Bijlagen

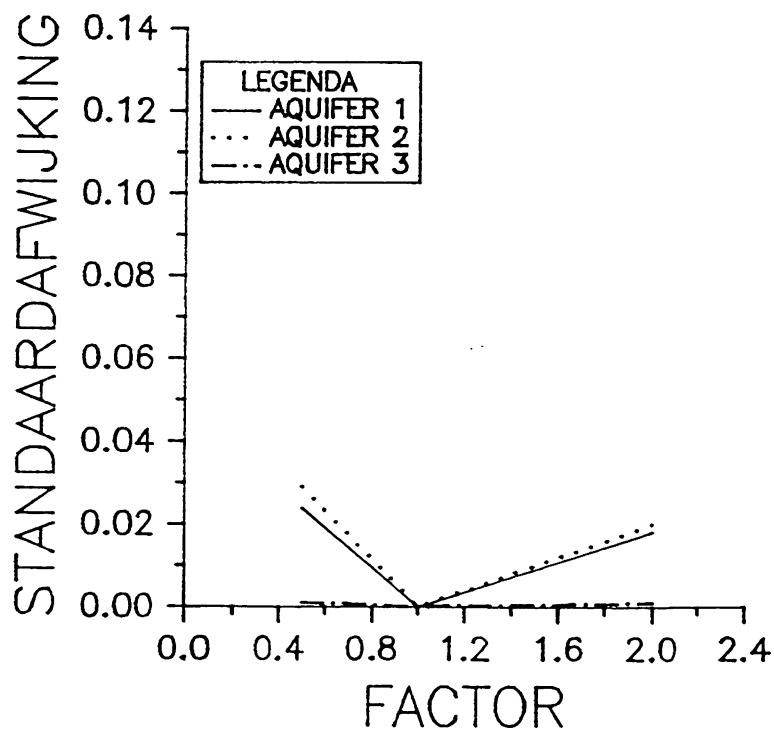
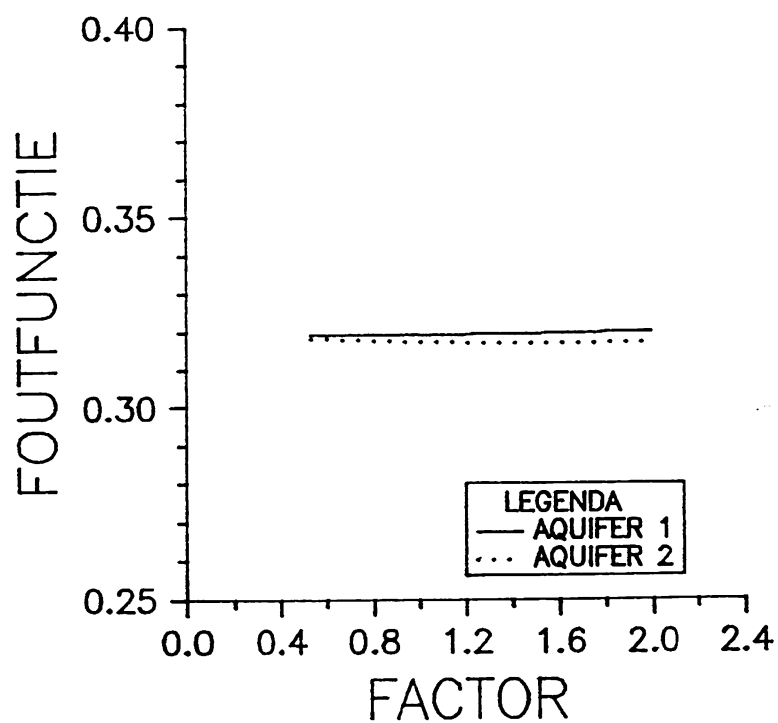
Bijlage I. Per subregio berekende, verticale grondwaterstroming op 28 April 1986 tussen het eerste slecht doorlatende en het eerste watervoerende pakket (wegzijging negatief, kwel positief) en de verandering hiervan als gevolg van diverse ingrepen.

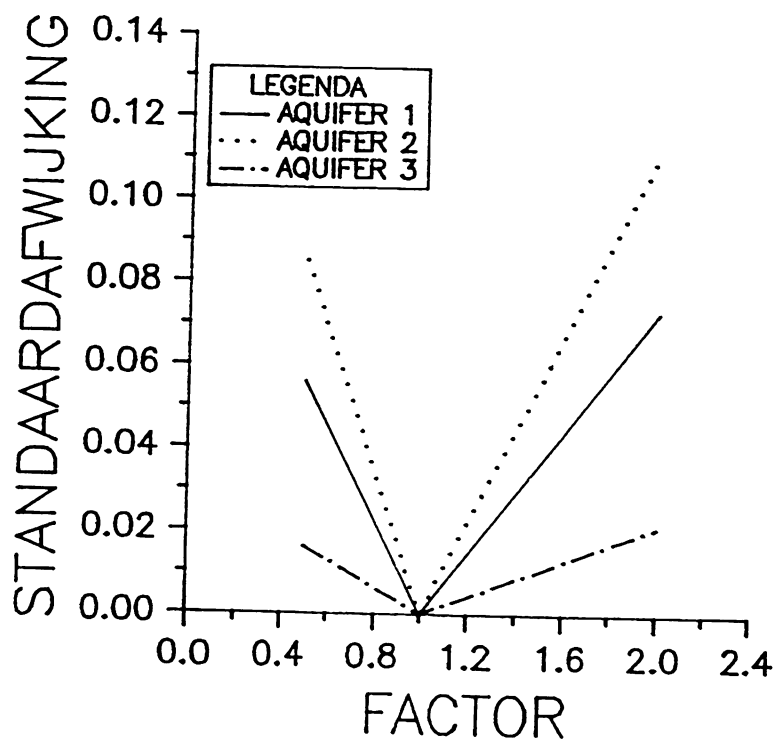
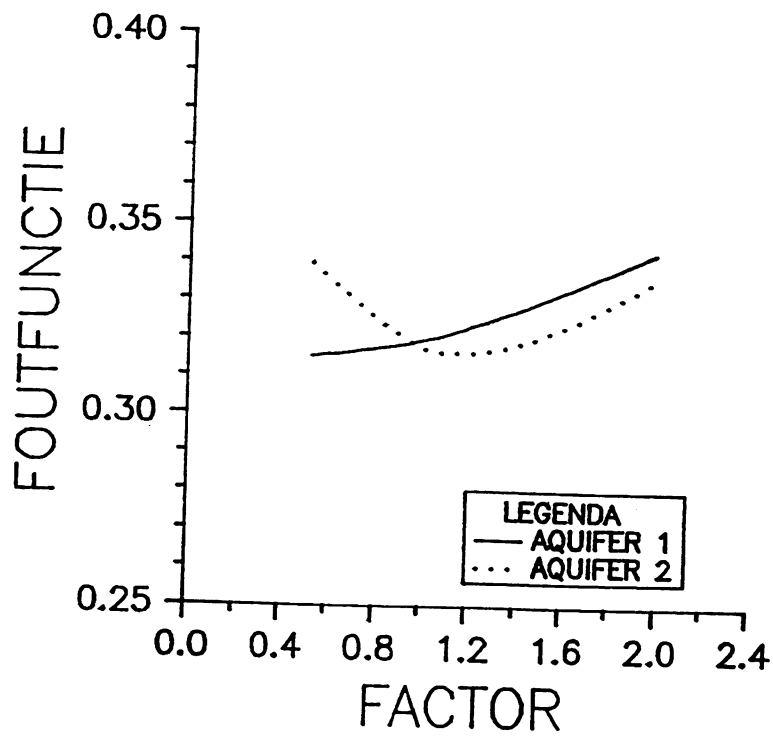
Subregio nummer (zie fig. 4)	Verticale stroming voor de ingreep (mm/d)	Verandering van de verticale stroming als gevolg van diverse ingrepen (mm/d)				
		Peilverl. rvk "Smilde"	Peilverh. Ban. bos	Peilverh. lb. encl.	Pot.verl. 3e ww. p.	Peilverh. Sch. wijk
1	-0.44	0.00	-0.08	0.00	-0.07	0.00
2	-0.33	0.00	-0.16	0.00	-0.05	0.00
3	-0.09	0.00	0.04	0.00	-0.02	0.00
4	-0.42	0.00	-0.17	0.00	-0.03	0.00
5	-0.25	0.00	0.05	0.00	-0.01	0.00
6	-0.31	0.00	-0.33	0.05	-0.14	0.01
7	0.01	0.00	0.04	-0.38	-0.08	0.00
8	-0.40	0.00	0.00	0.03	-0.07	0.00
9	-0.21	0.07	0.00	0.00	-0.05	0.00
10	-0.17	0.18	0.00	0.00	-0.12	0.00
11	-0.59	-0.04	0.00	0.00	-0.09	0.00
12	-0.39	-0.02	0.00	0.01	-0.04	0.00
13	-0.18	-0.05	0.00	0.03	0.00	0.00
14	-0.50	0.00	0.02	0.04	-0.02	0.04
15	-0.16	-0.01	0.00	0.00	-0.03	0.01
16	-0.83	0.00	0.00	0.00	-0.08	0.01
17	-0.73	0.00	0.01	0.00	-0.05	0.07
18	-0.54	0.00	0.01	0.00	-0.04	0.01
19	-0.11	0.00	0.01	0.00	-0.01	0.00
20	-0.21	0.00	0.01	0.00	-0.01	0.00
21	-0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	-0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	-0.27	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00
24	-0.52	0.00	0.00	0.00	-0.04	0.00
25	-0.34	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00
26	-0.84	-0.08	0.00	0.00	-0.08	0.00
27	-0.15	0.16	0.01	0.00	-0.04	0.01
28	0.48	0.07	0.00	0.00	-0.02	0.06
29	-0.06	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
30	0.13	0.09	0.00	0.00	-0.01	0.00
31	-0.06	0.01	0.00	0.00	-0.01	0.00
32	0.19	0.03	0.00	0.00	-0.03	0.00
33	0.08	0.03	0.00	0.00	-0.03	0.00
34	-0.23	0.04	0.00	0.00	-0.04	0.00
35	-0.05	0.06	0.00	0.00	-0.05	0.00
36	0.01	0.01	0.00	0.00	-0.01	0.00
37	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	-0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
39	-0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
40	-0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
41	0.04	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
42	-0.07	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
43	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00
44	-0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
45	-0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
46	-0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
47	-0.26	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00

48	0.09	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
49	-0.02	-0.06	0.00	0.00	0.00	0.00
50	-0.15	-0.12	0.00	0.00	0.00	0.00
51	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
52	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
53	-0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
54	-0.18	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00
55	-0.70	0.00	0.00	0.00	-0.12	0.00
56	-0.34	0.00	0.00	0.00	-0.04	0.00

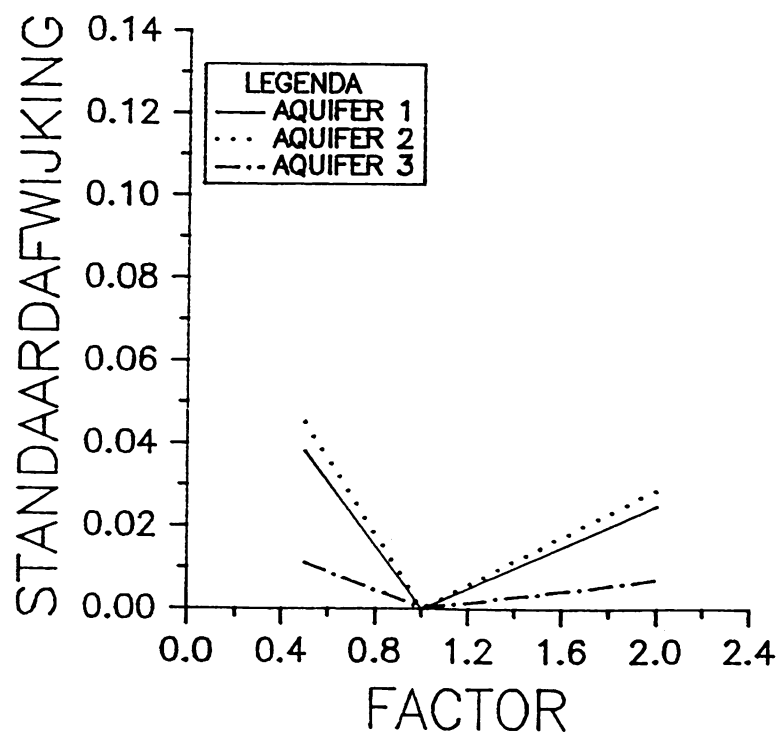
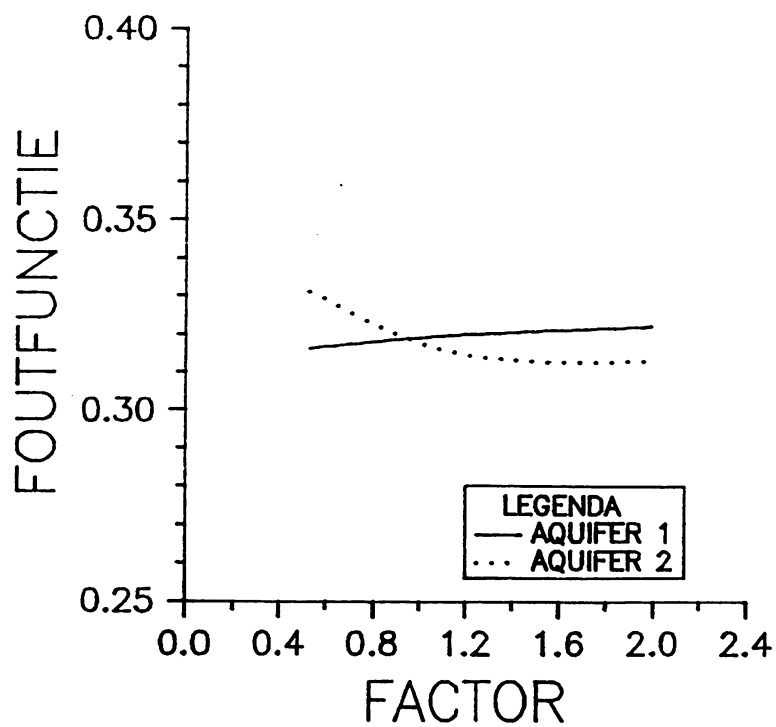




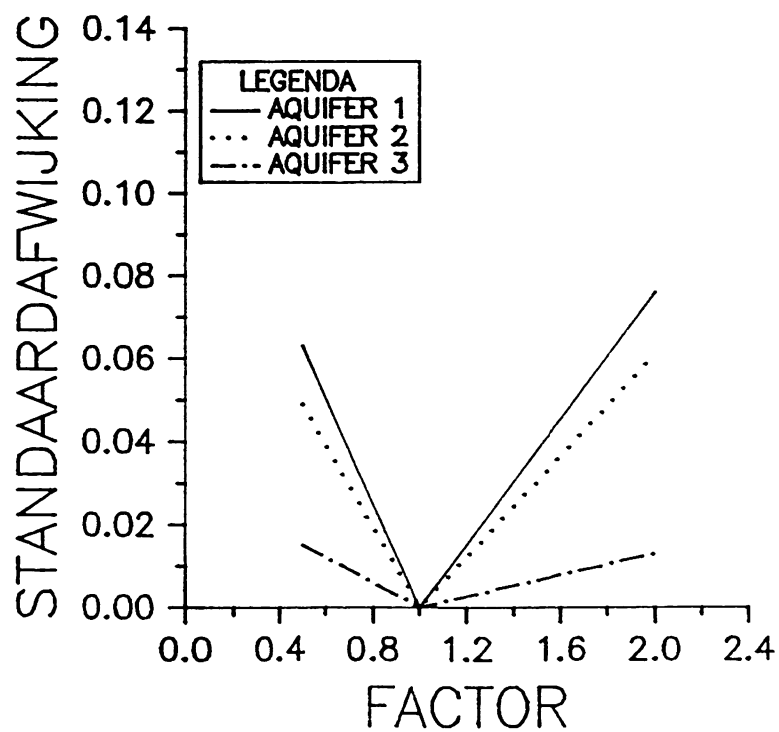
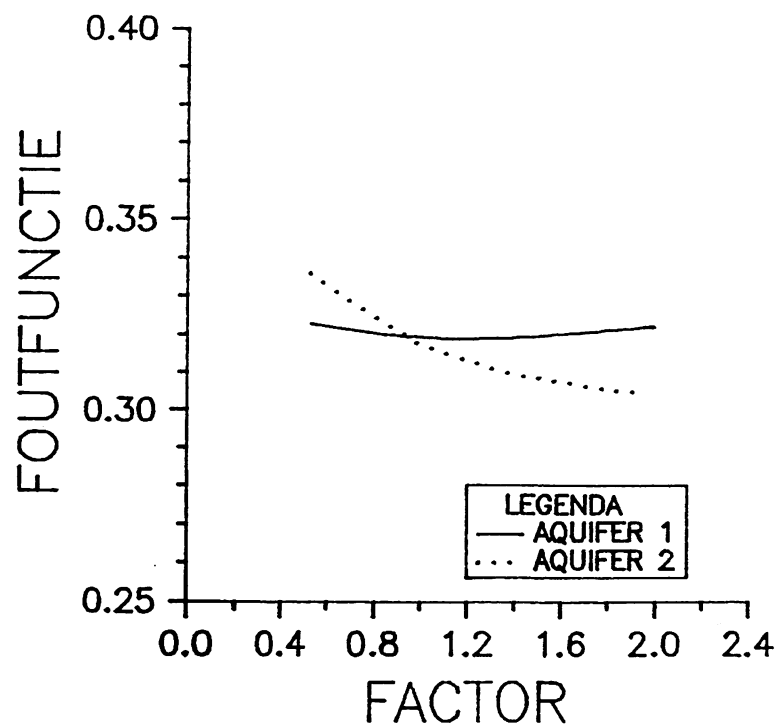




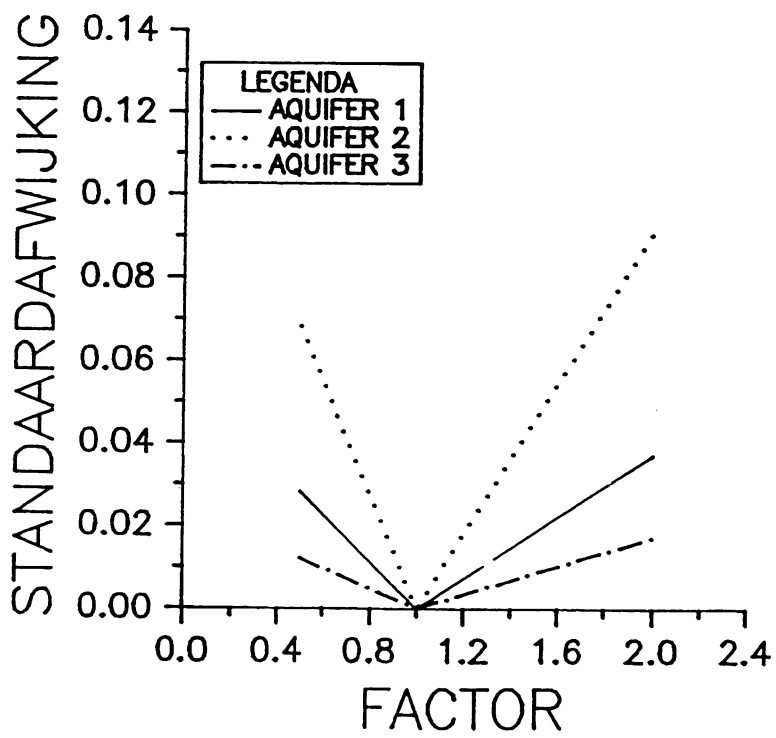
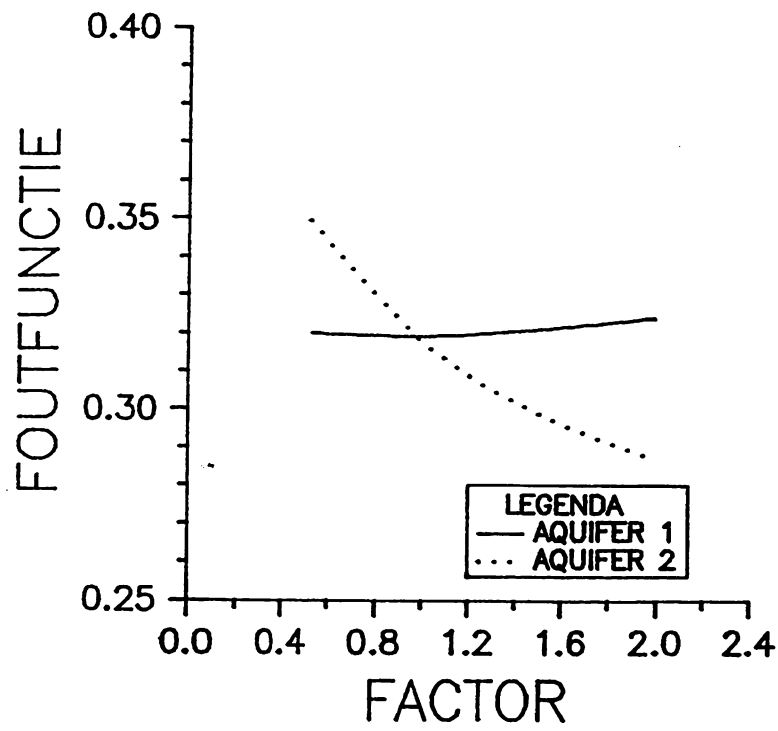
kD - waarde 2e watervoerend pakket



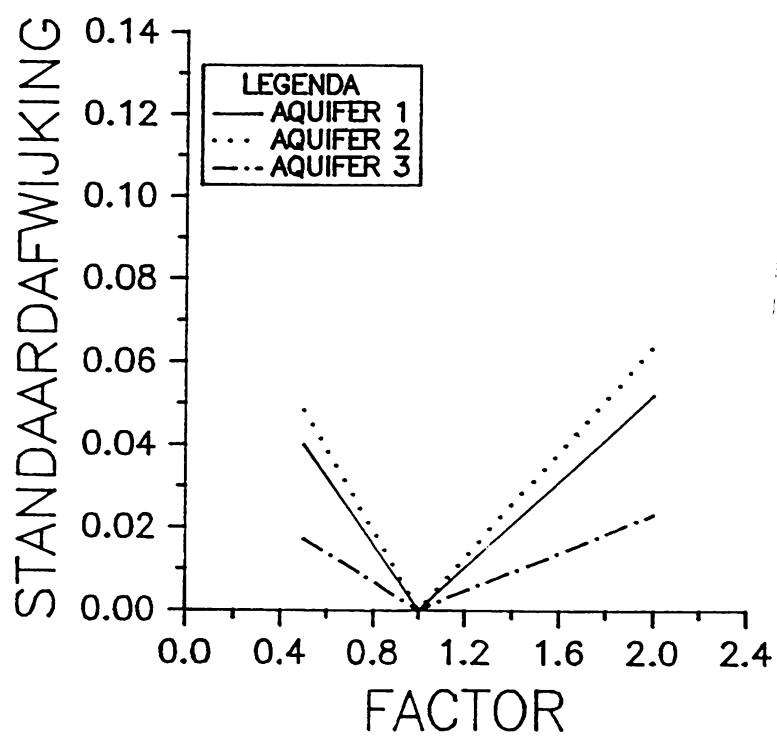
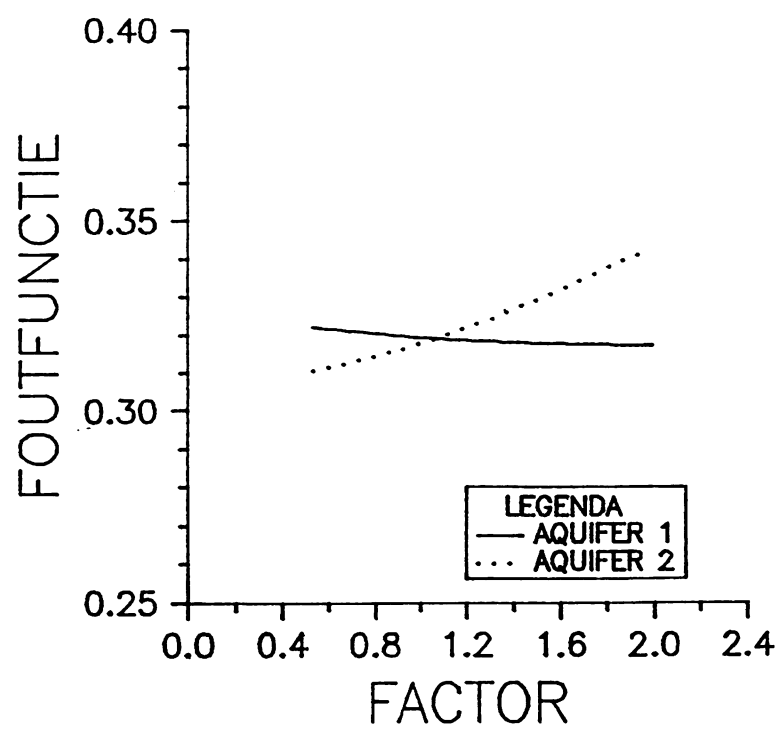
kD - waarde 3e watervoerend pakket



c - waarde 1e slecht doorlatend pakket

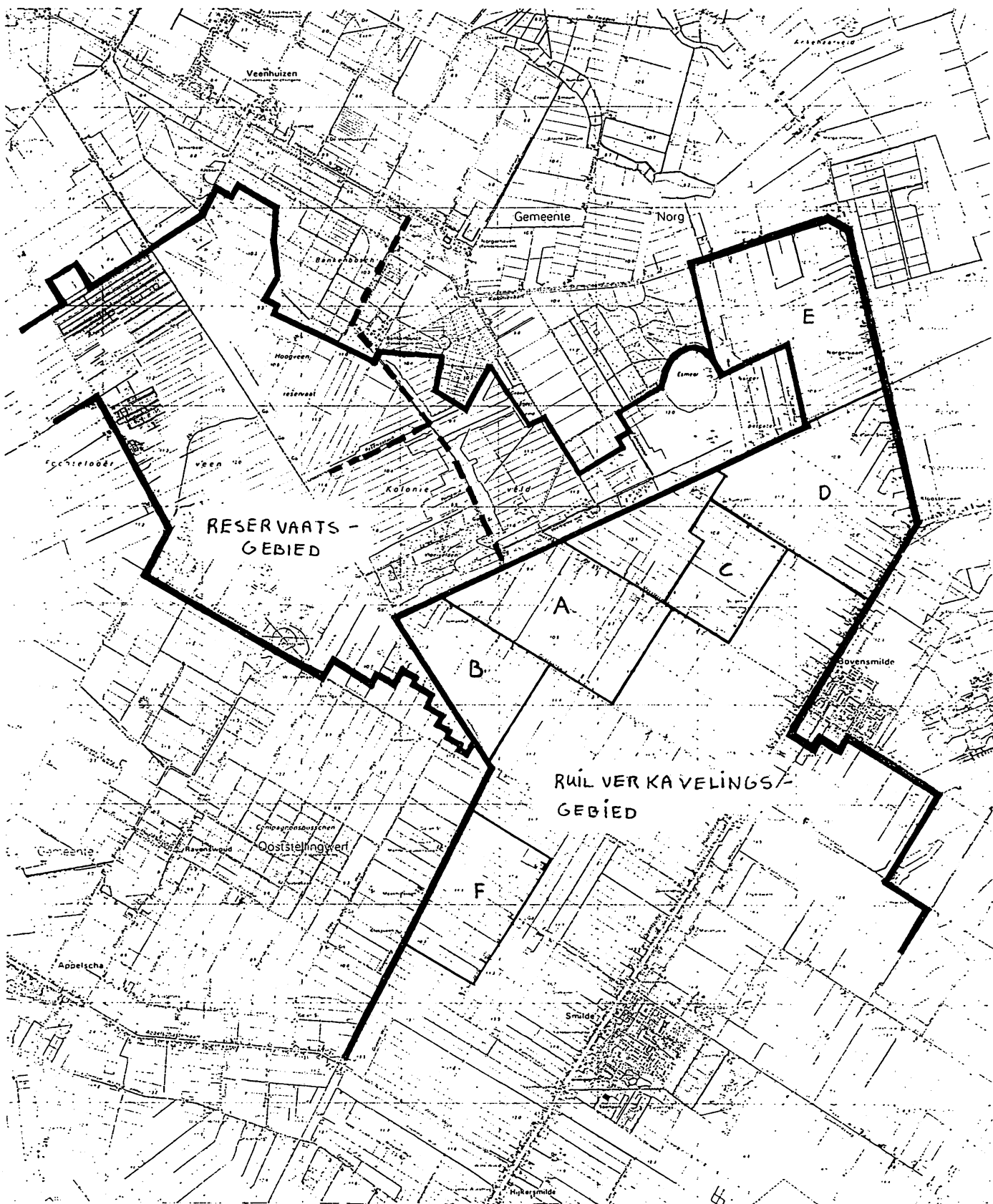


c - waarde 2e slecht doorlatend pakket



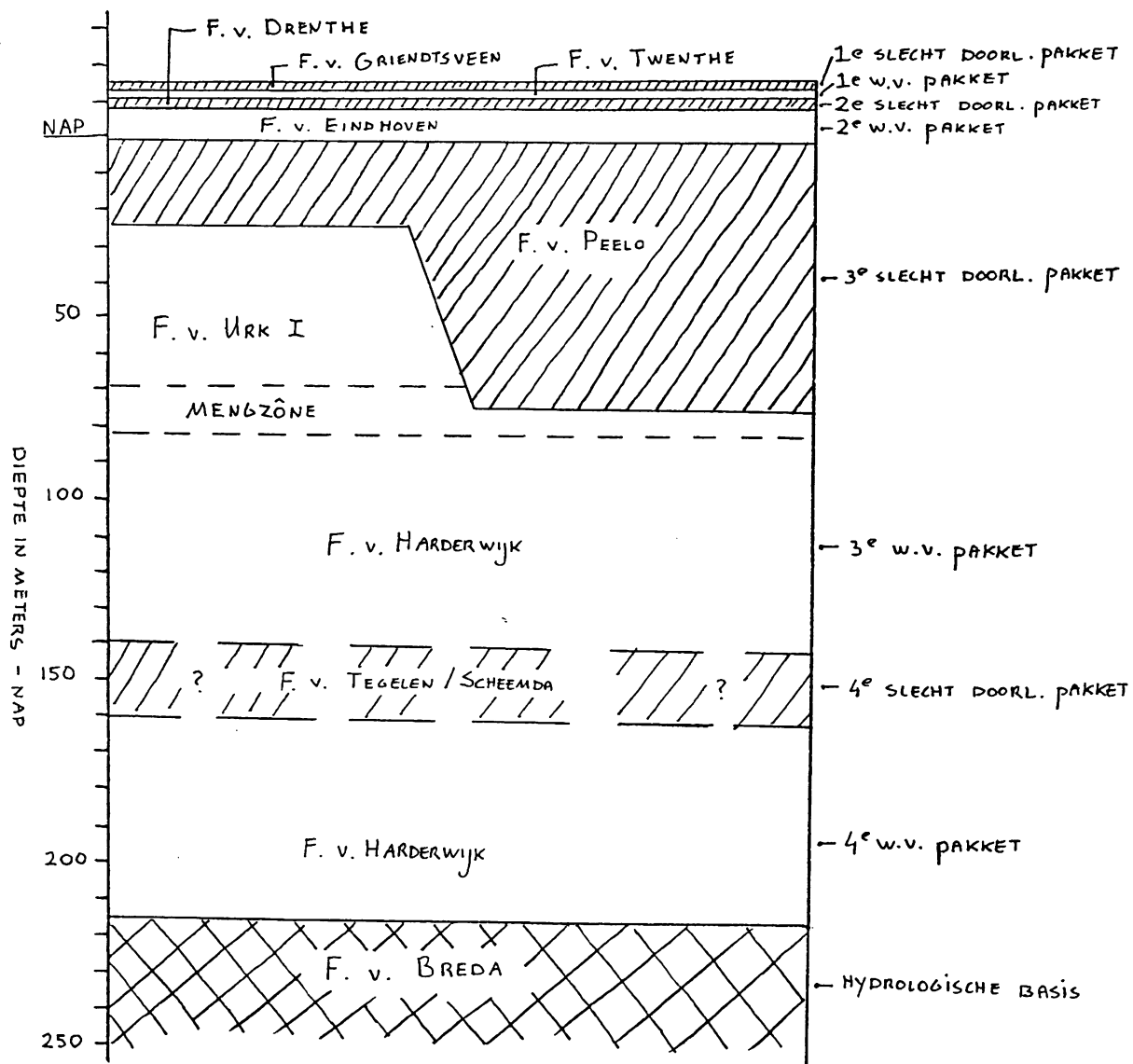
c - waarde zandige afzettingen van de Formatie van Peelo
(3e slecht doorlatend pakket)

Figuren

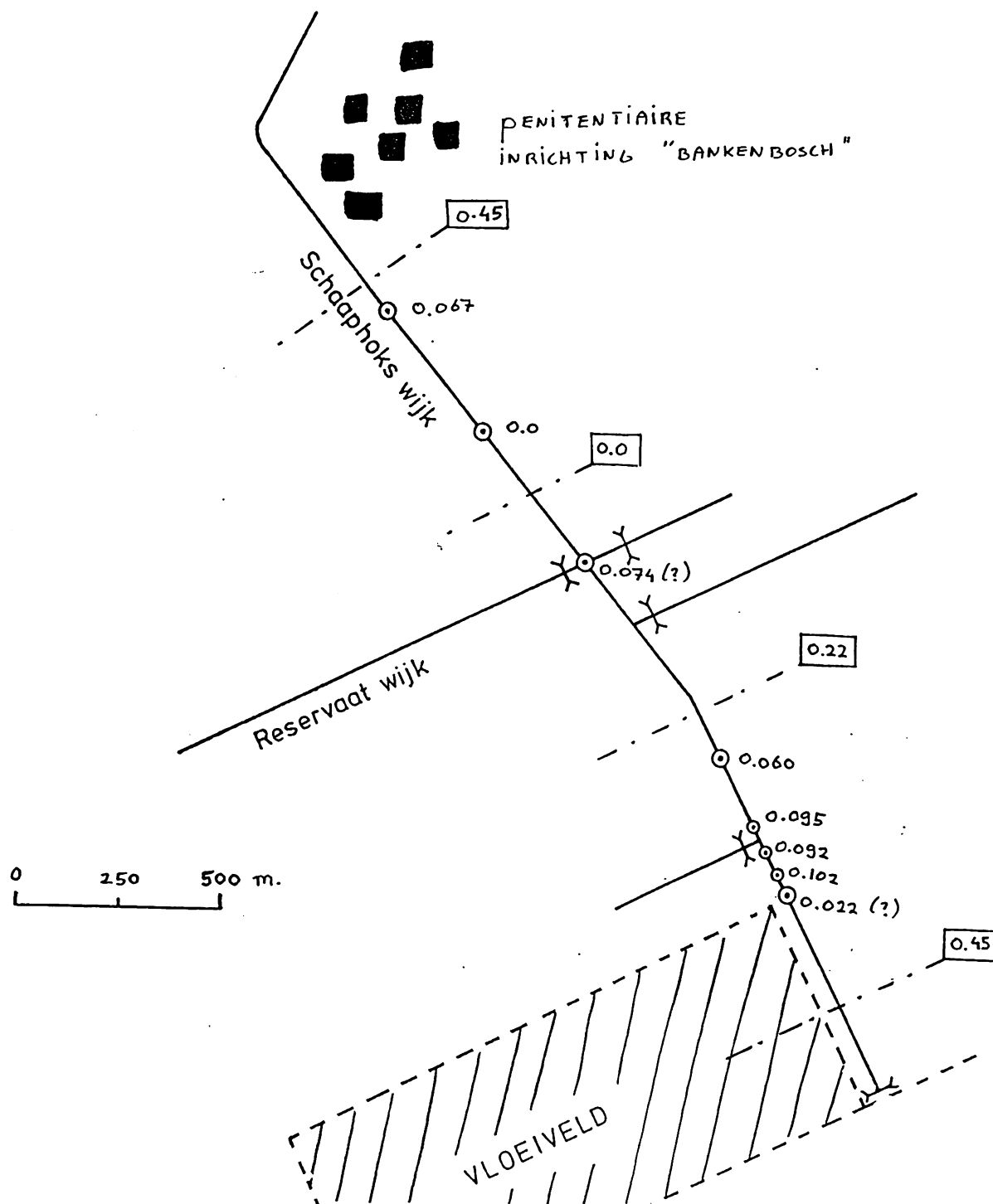


Figuur 1. Topografie
Schaal 1 : 55,000

- = grens reservaatstgebied en ruilverkavelingsgebied
- - = Schaaphokswijk en Reservaatswijk
- A = deelgebied A



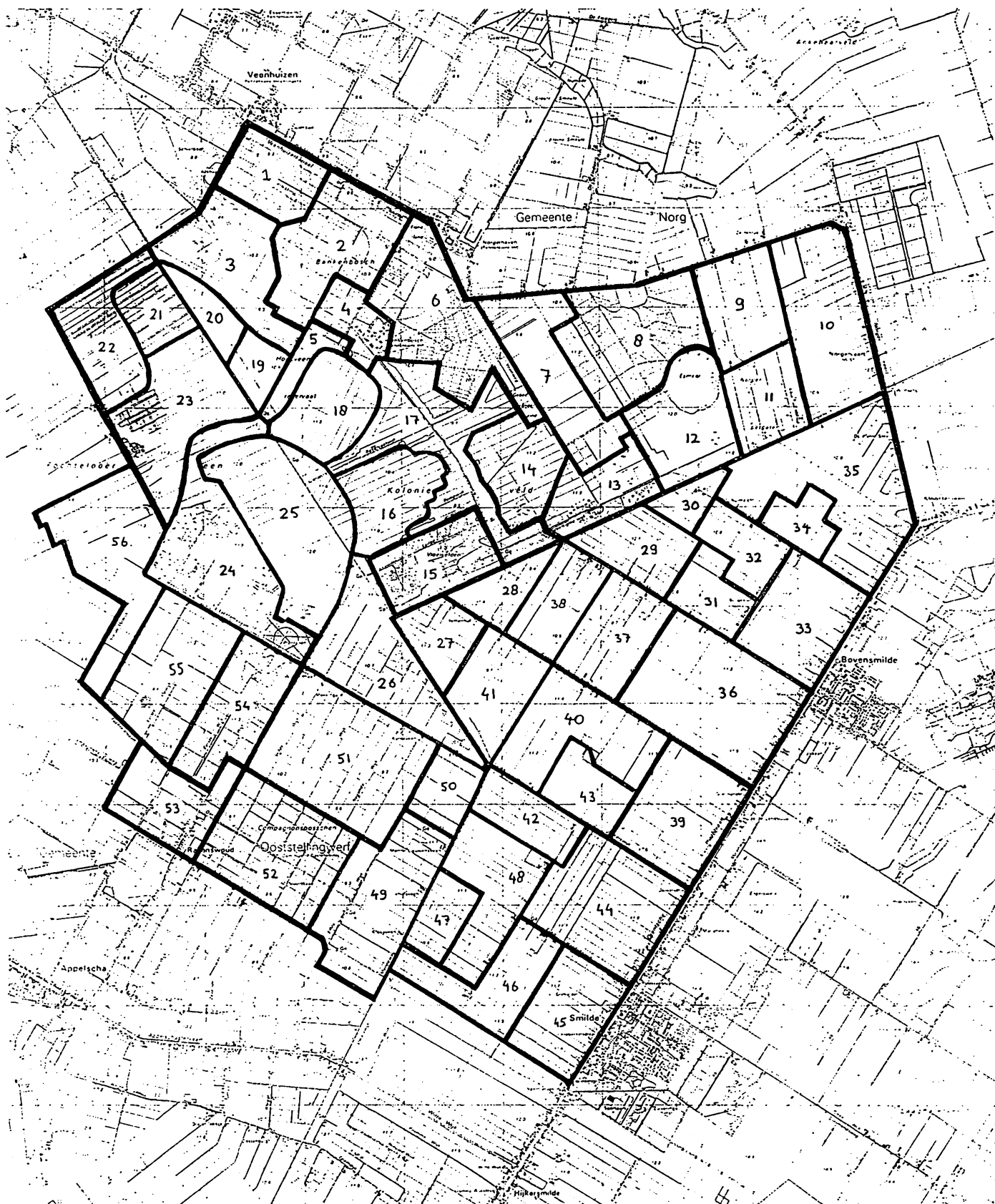
Figuur 2. Geohydrologische opbouw



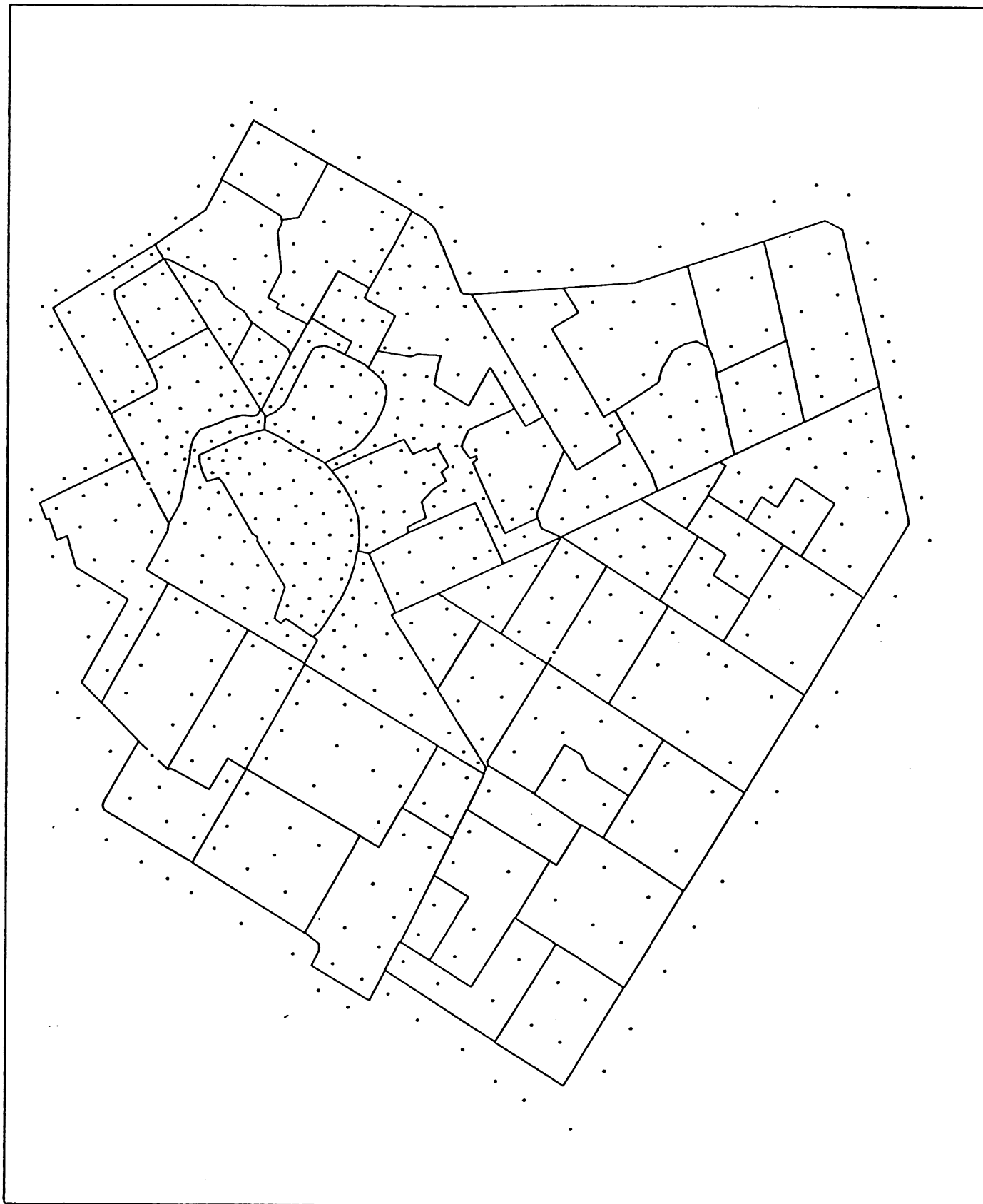
Figuur 3. Gemeten en berekende ondergrondse afstroming naar Schaaphokswijk (tweezijdig, in m^2/d)

- ⊙ = meetpunt met gemeten waarde (voorjaar 1978/1979)
- .-.- = positie raai met berekende waarde (voorjaar 1986)
- = waterloop
- X = dam (situatie 1986)

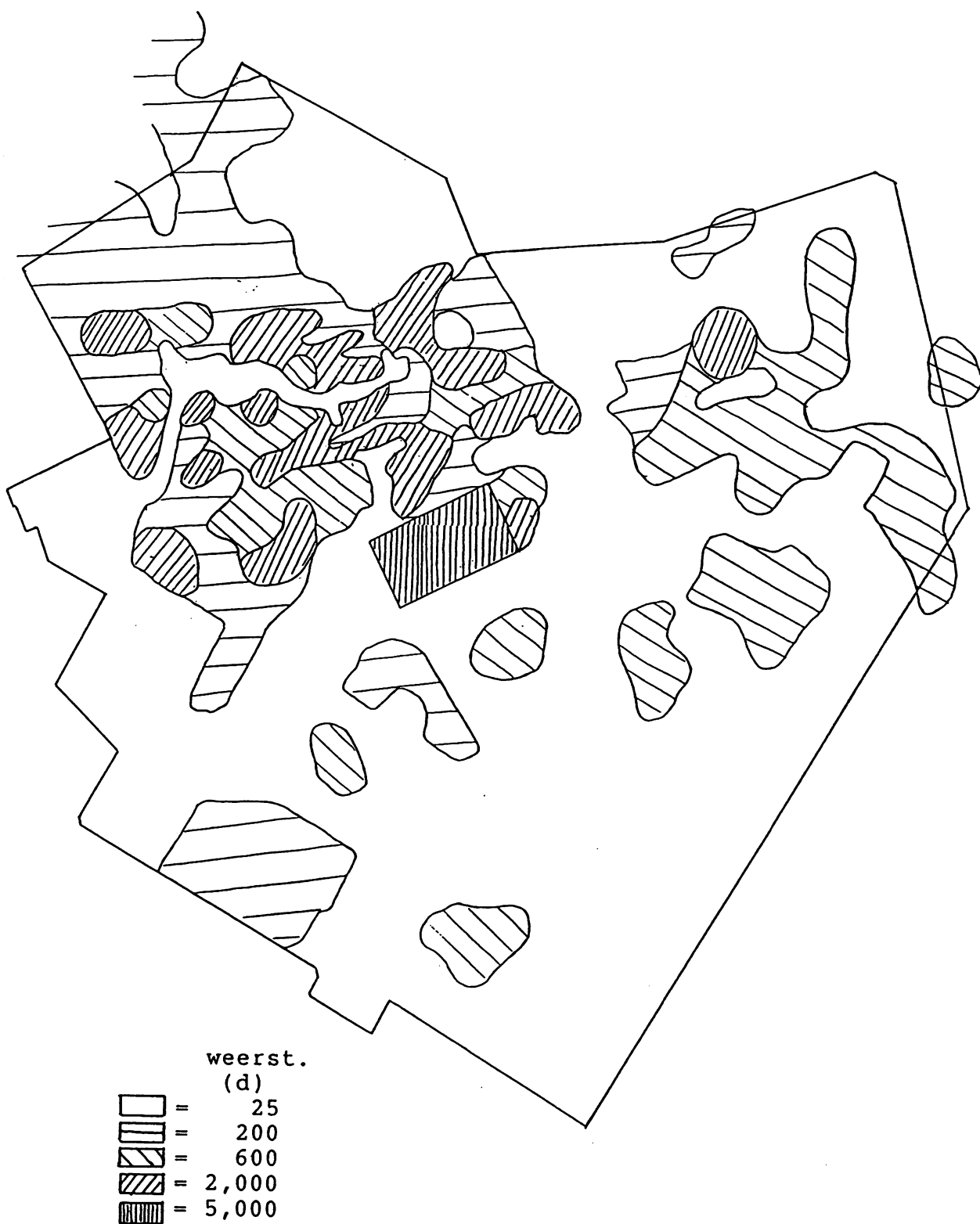
(bewerking van fig. 19 uit lit. 7)



Figuur 4. Subregio indeling
Schaal 1 : 55,000



Figuur 5. Knooppunten
Schaal 1 : 55,000



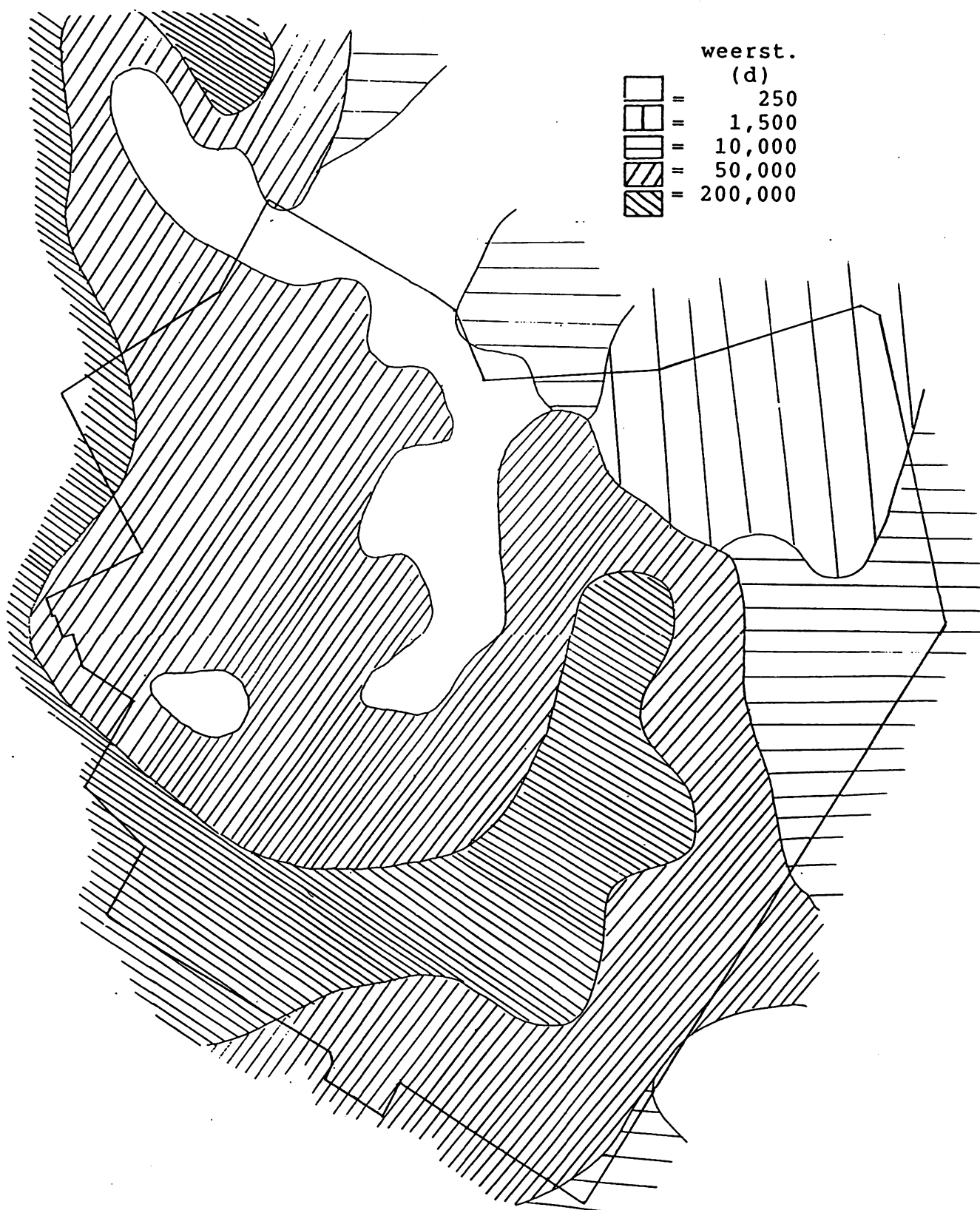
Figuur 6. Verticale weerstanden (d) eerste slecht doorlatende pakket.
Schaal 1 : 55,000



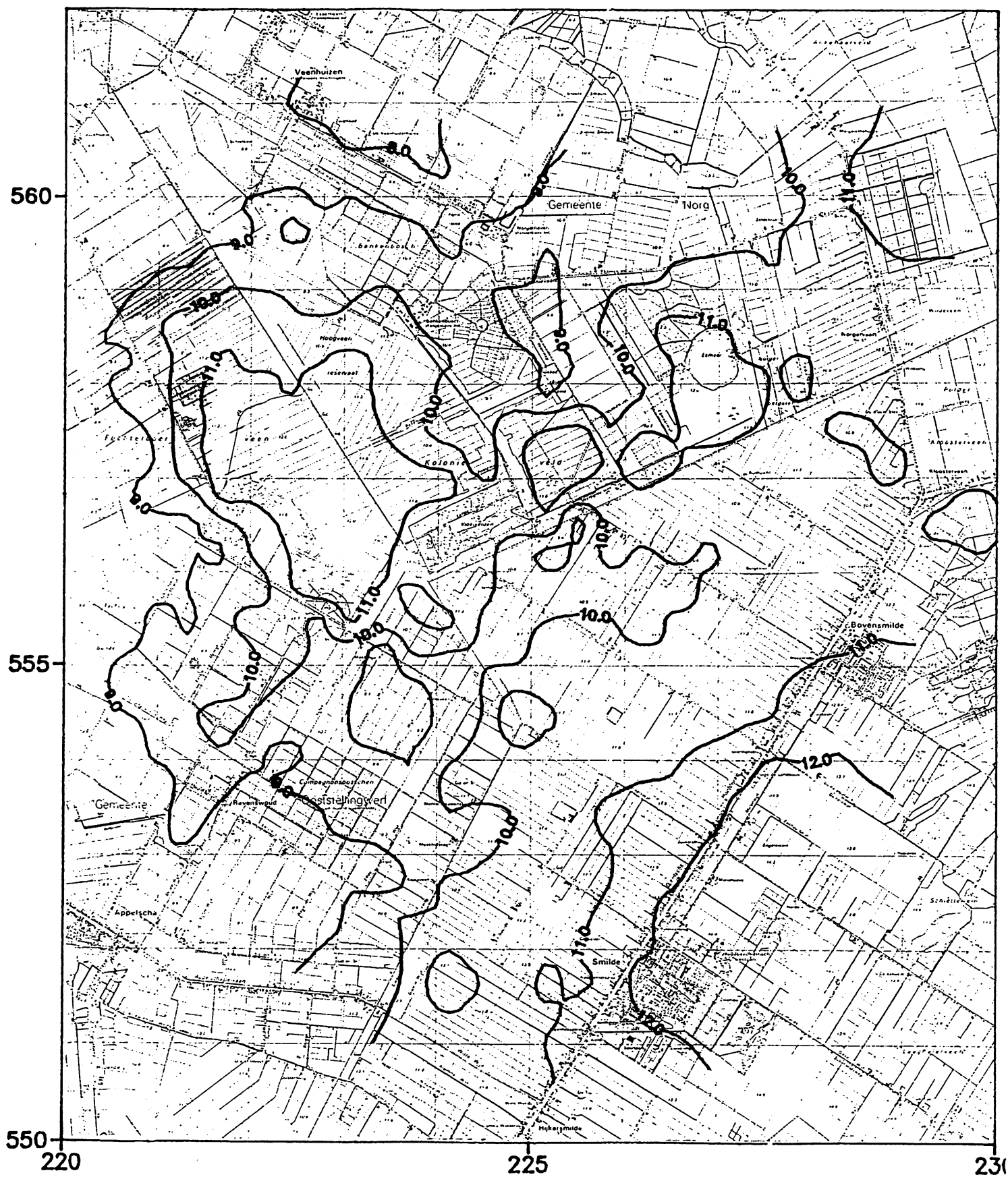
Figuur 7. Dikte (m) tweede slecht doorlatend pakket.
Schaal 1 : 55,000



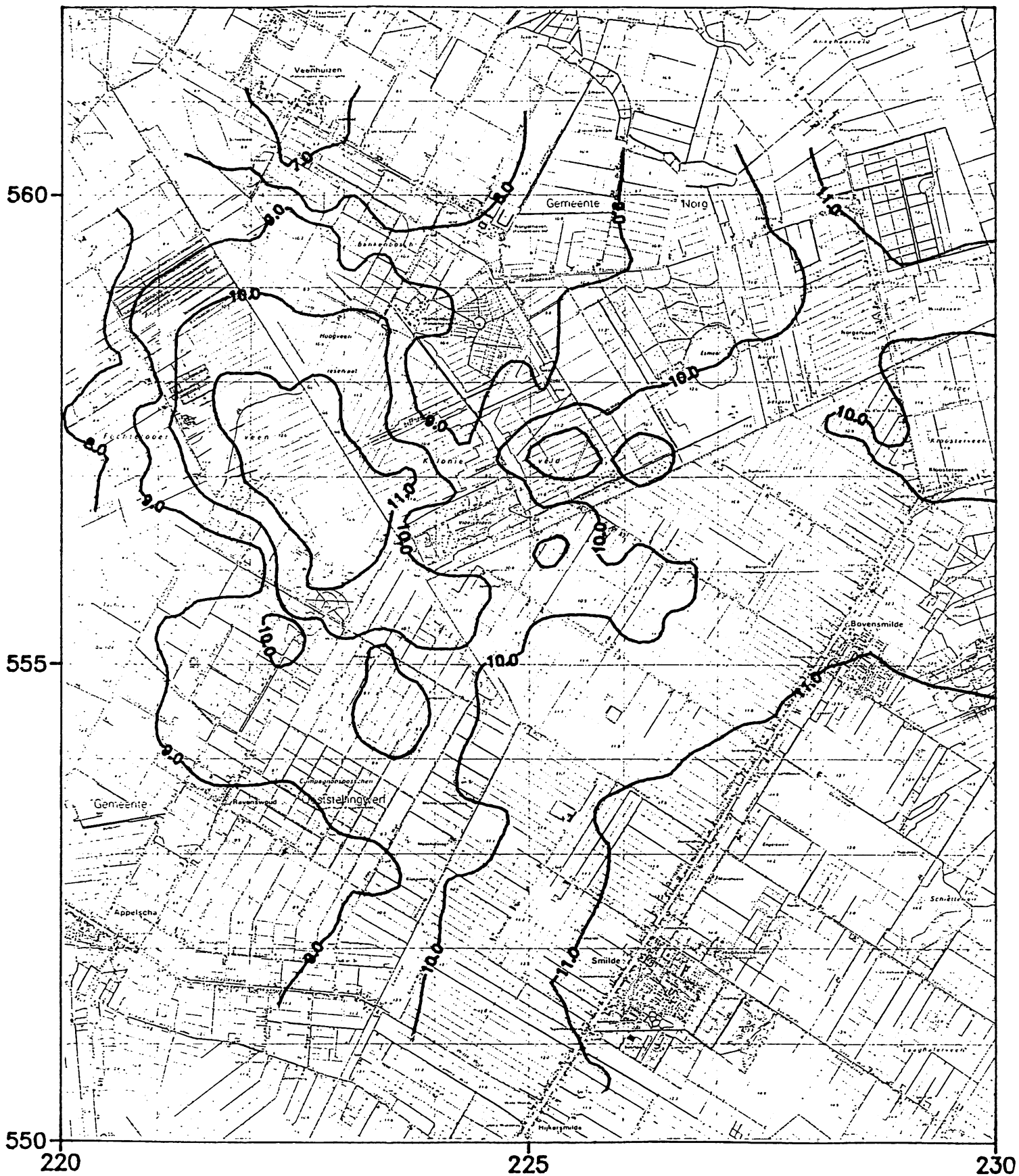
Figuur 8. Dikte (m) tweede watervoerend pakket.
Schaal 1 : 55,000



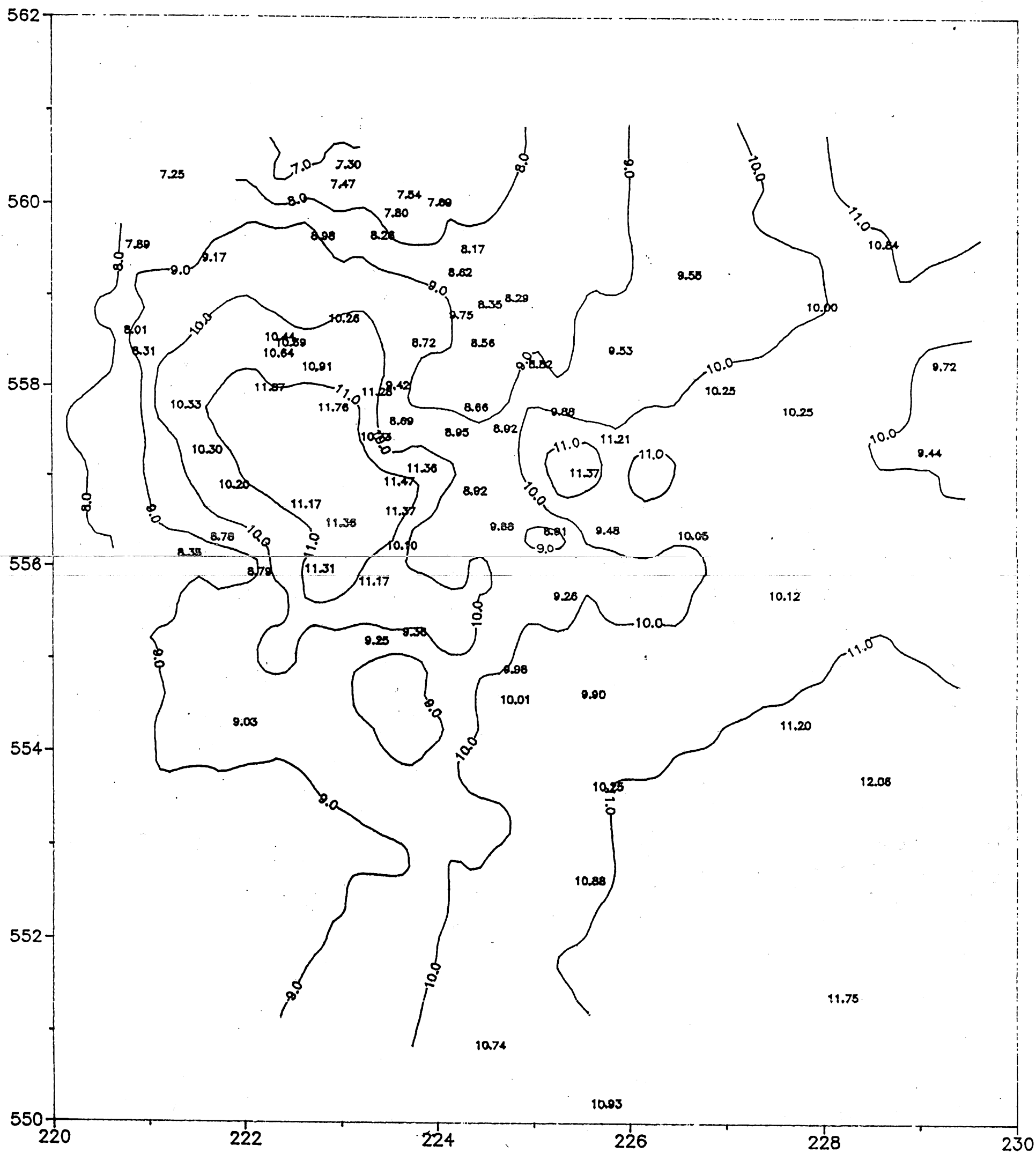
Figuur 9. Verticale weerstanden (d) derde slecht doorlatende pakket.
Schaal 1 : 55,000



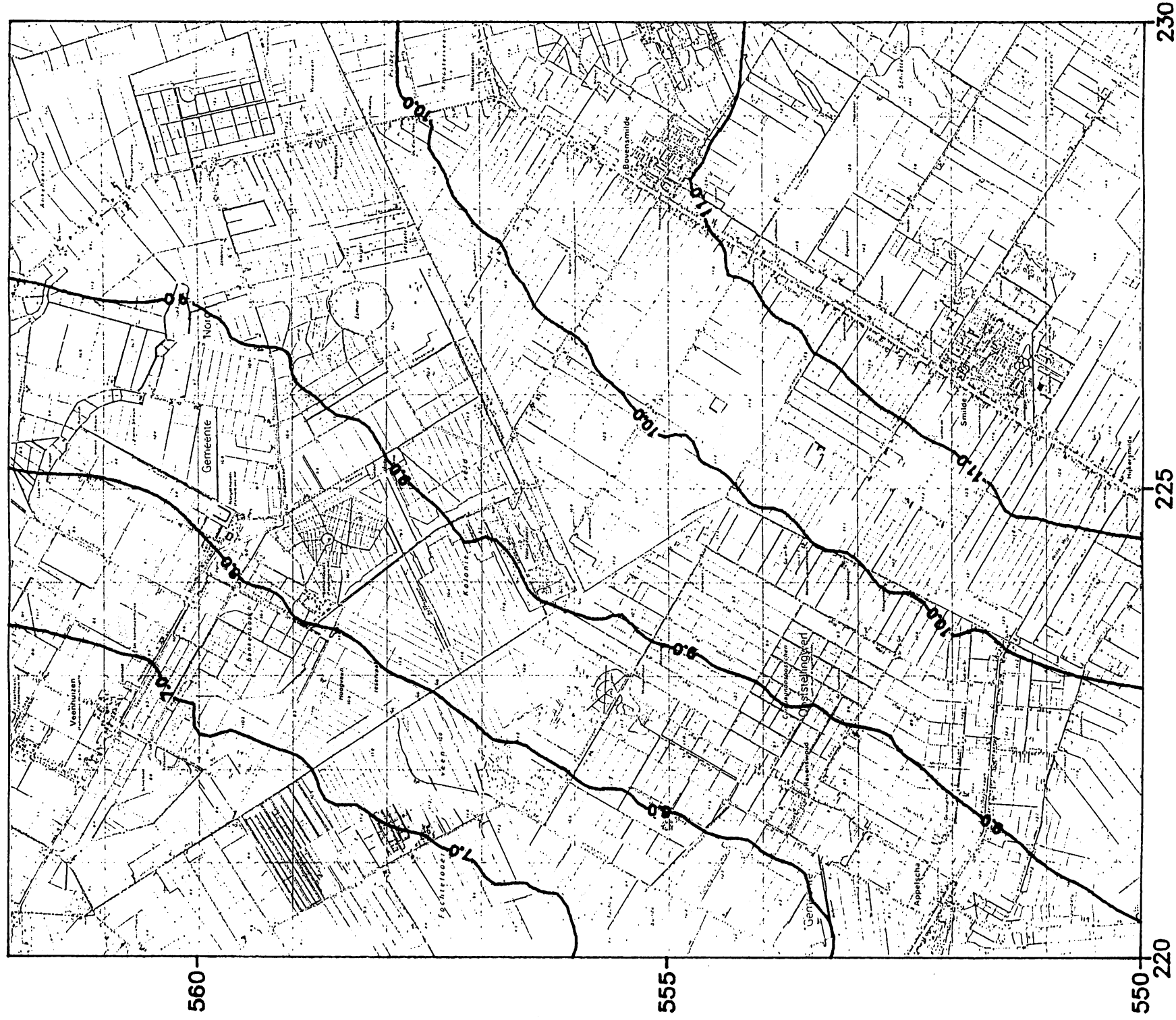
Figuur 10. Berekende isohypsen (m + N.A.P.) freatisch water op 28 april 1986.
Schaal 1 : 55,000



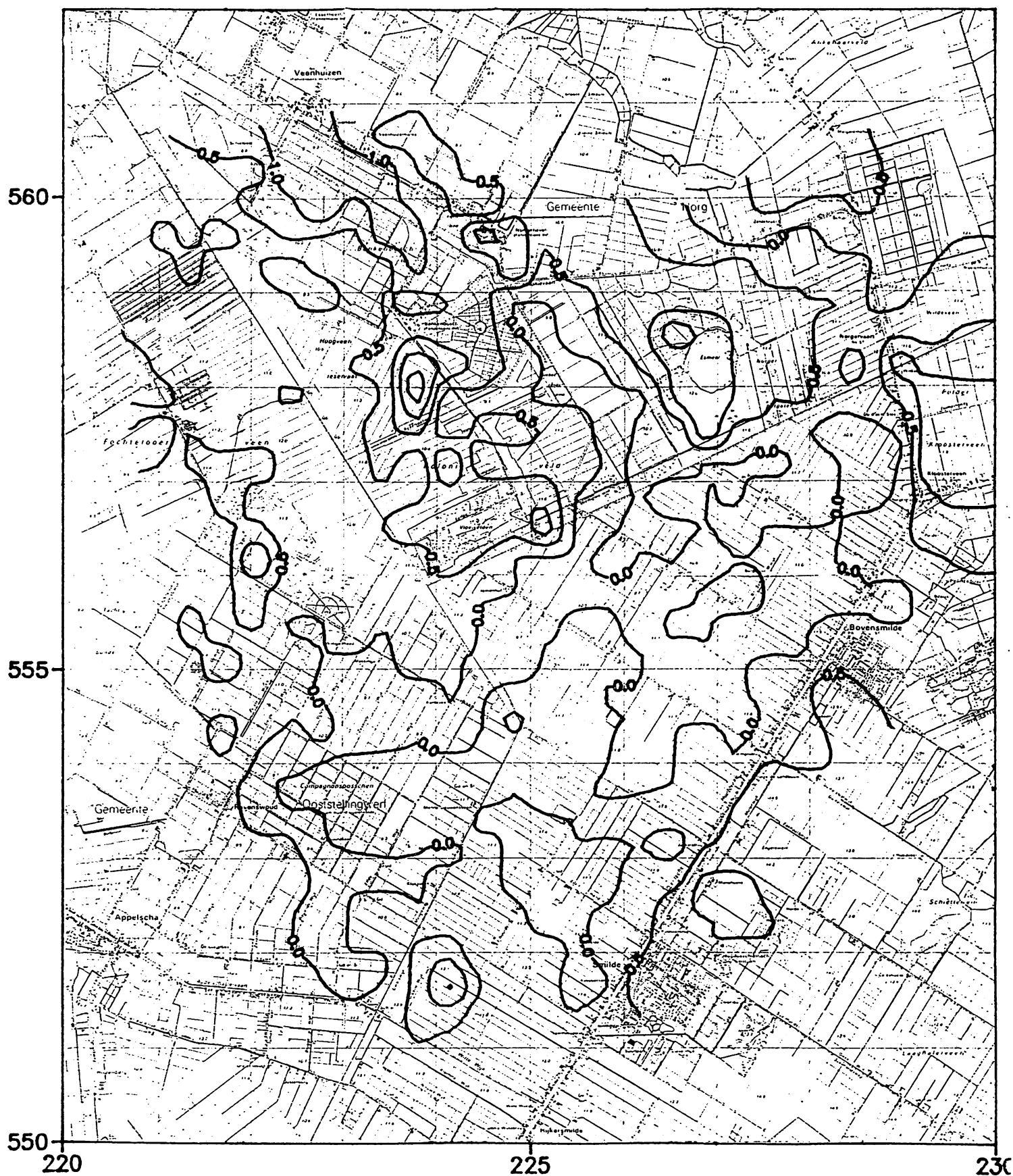
Figuur 11. Berekende isohypsen (m + N.A.P.) tweede watervoerend pakket op 28 april 1986.
Schaal 1 : 55,000



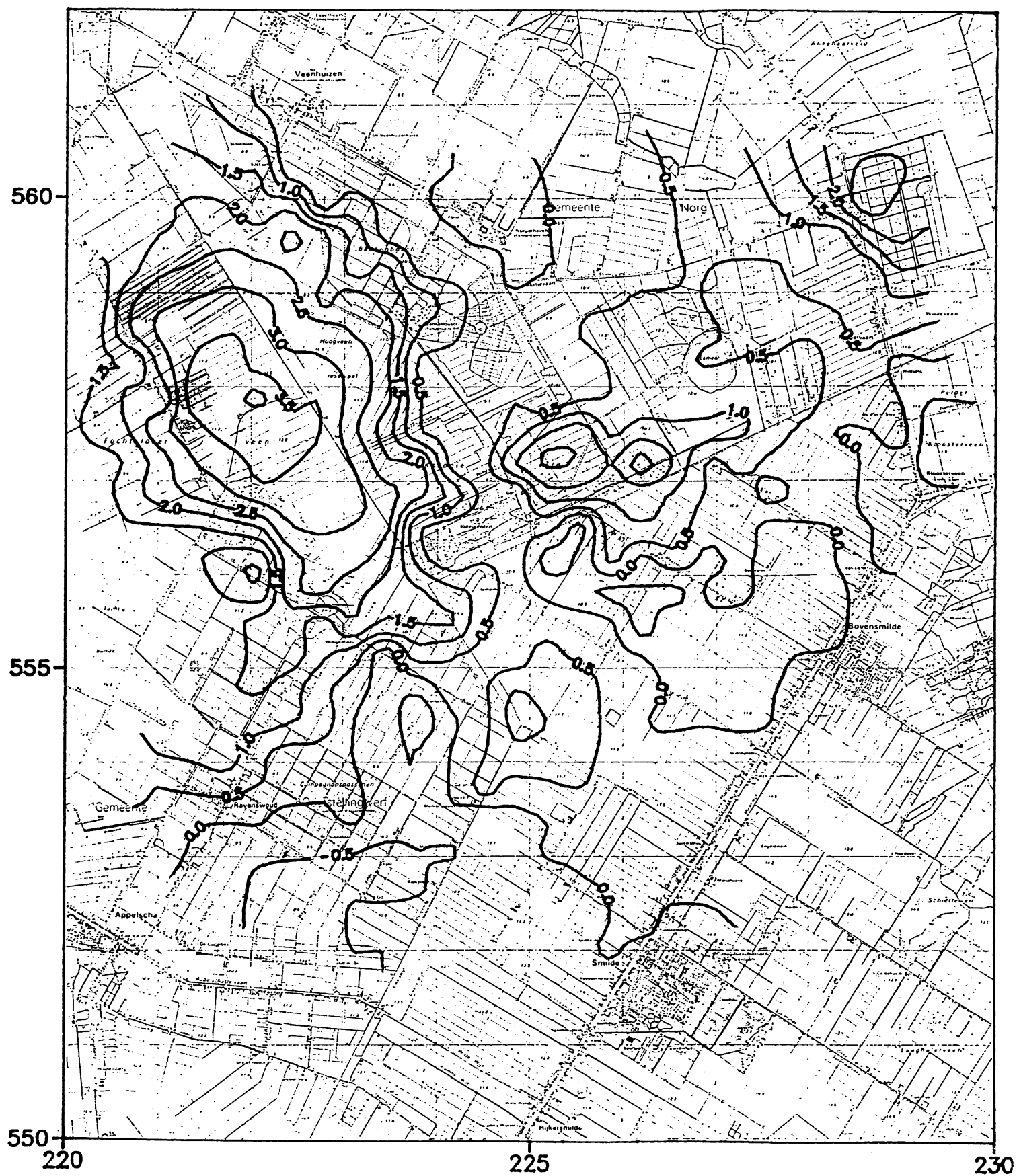
Figuur 12. Berekende isohypsen (m + N.A.P.) en gemeten stijghoogten (m + N.A.P.) van het tweede watervoerend pakket op 28 april 1986.



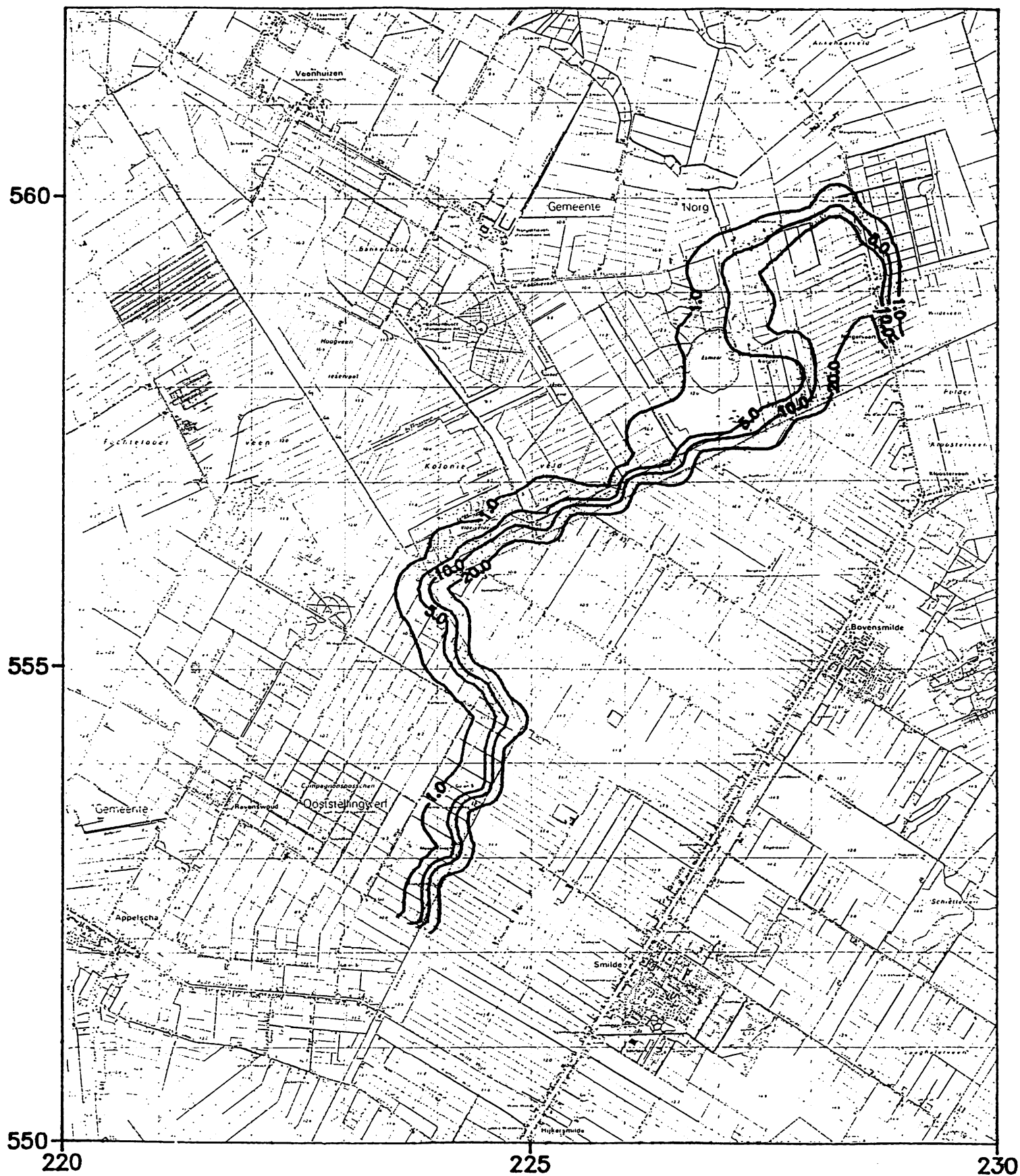
Figuur 13. Berekende isohypsen (m + N.A.P.) derde watervoerend pakket op 28 april 1986.
Schaal 1 : 55,000



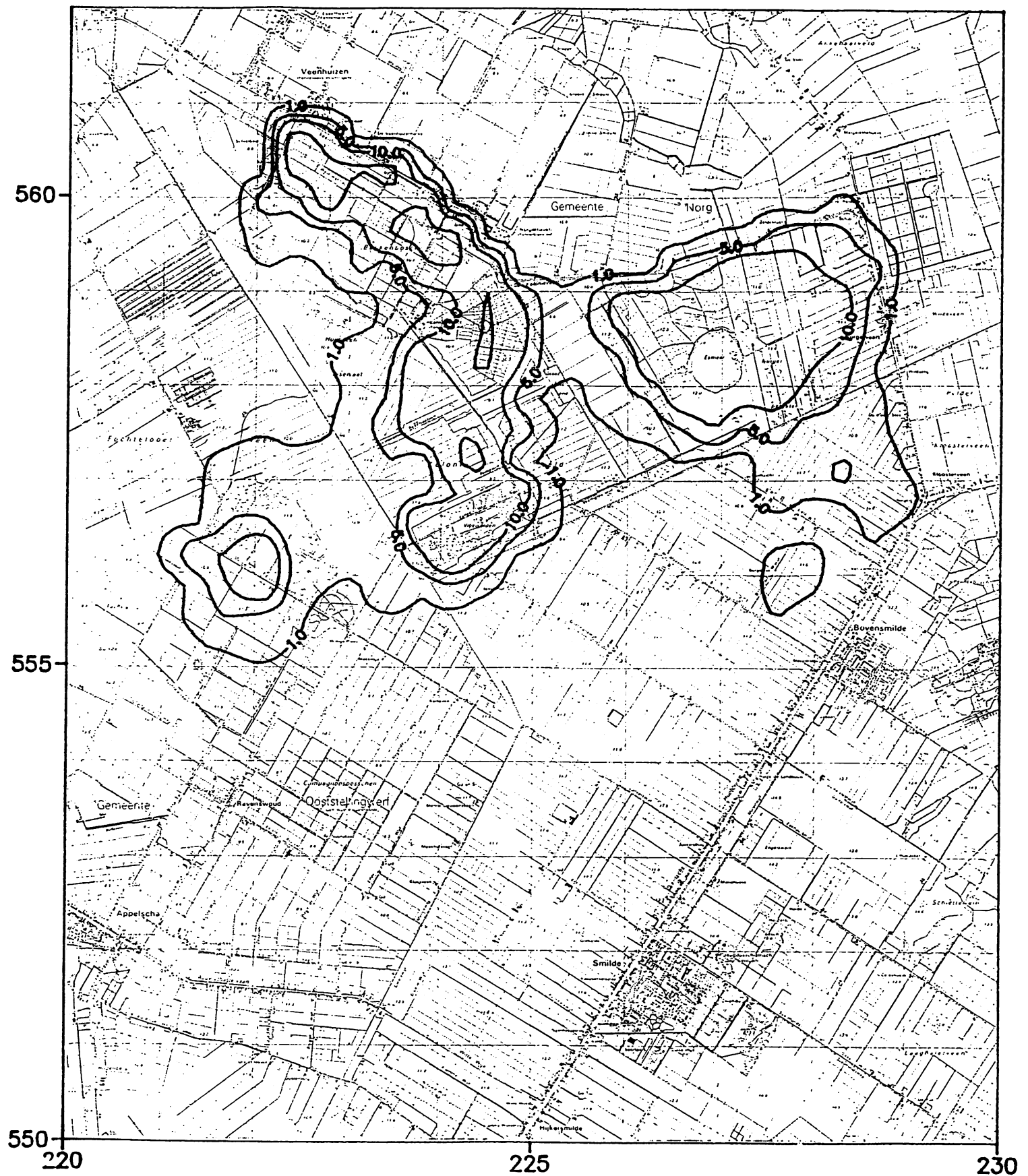
Figuur 14. Berekende stijghoogteverschillen (m) tussen het
freatisch water en het tweede watervoerend pakket op 28 april
1986
Schaal 1 : 55,000



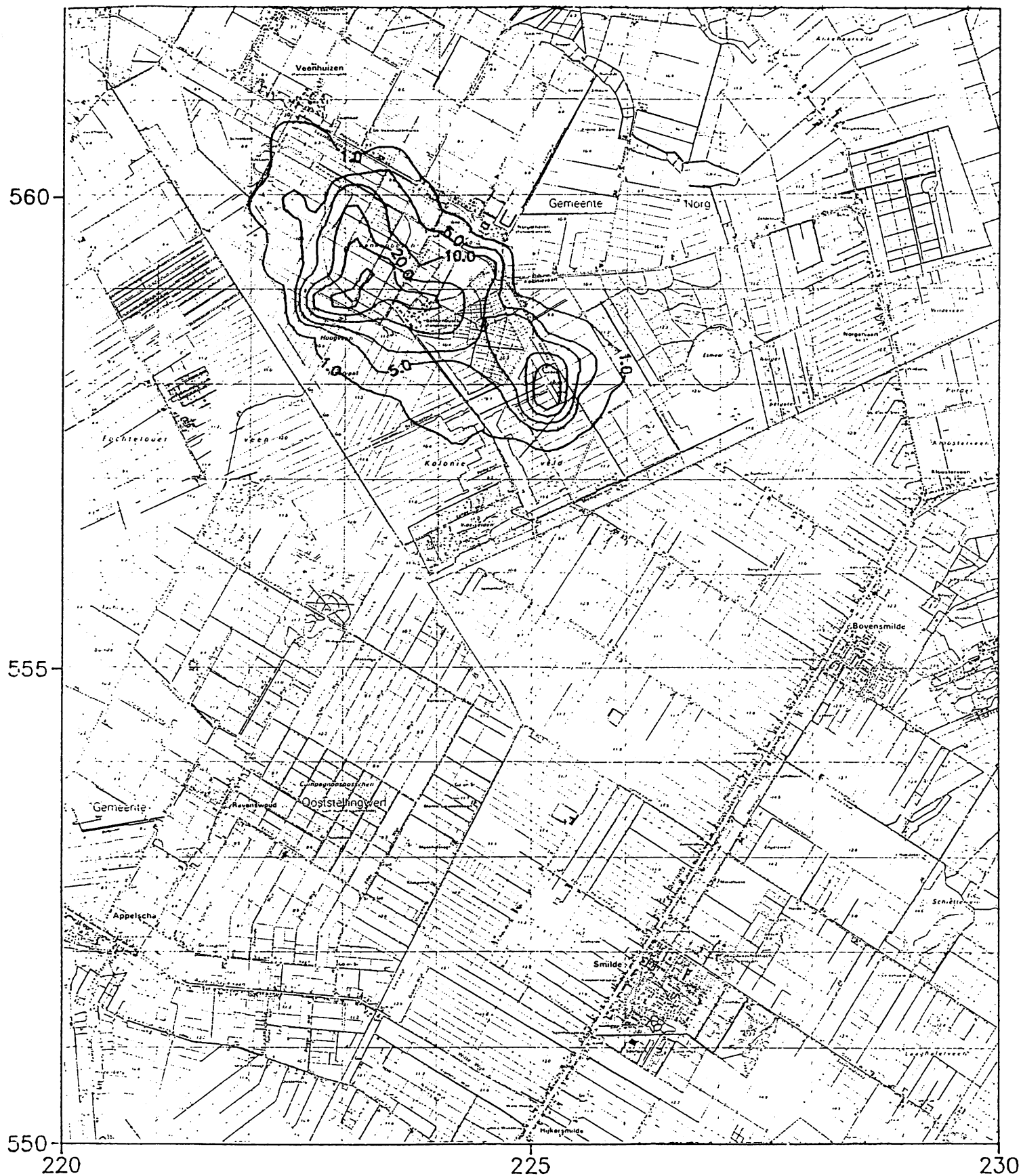
Figuur 15. Berekende stijghoogteverschillen (m) tussen het tweede en derde watervoerend pakket op 28 april 1986. Schaal 1 : 55,000



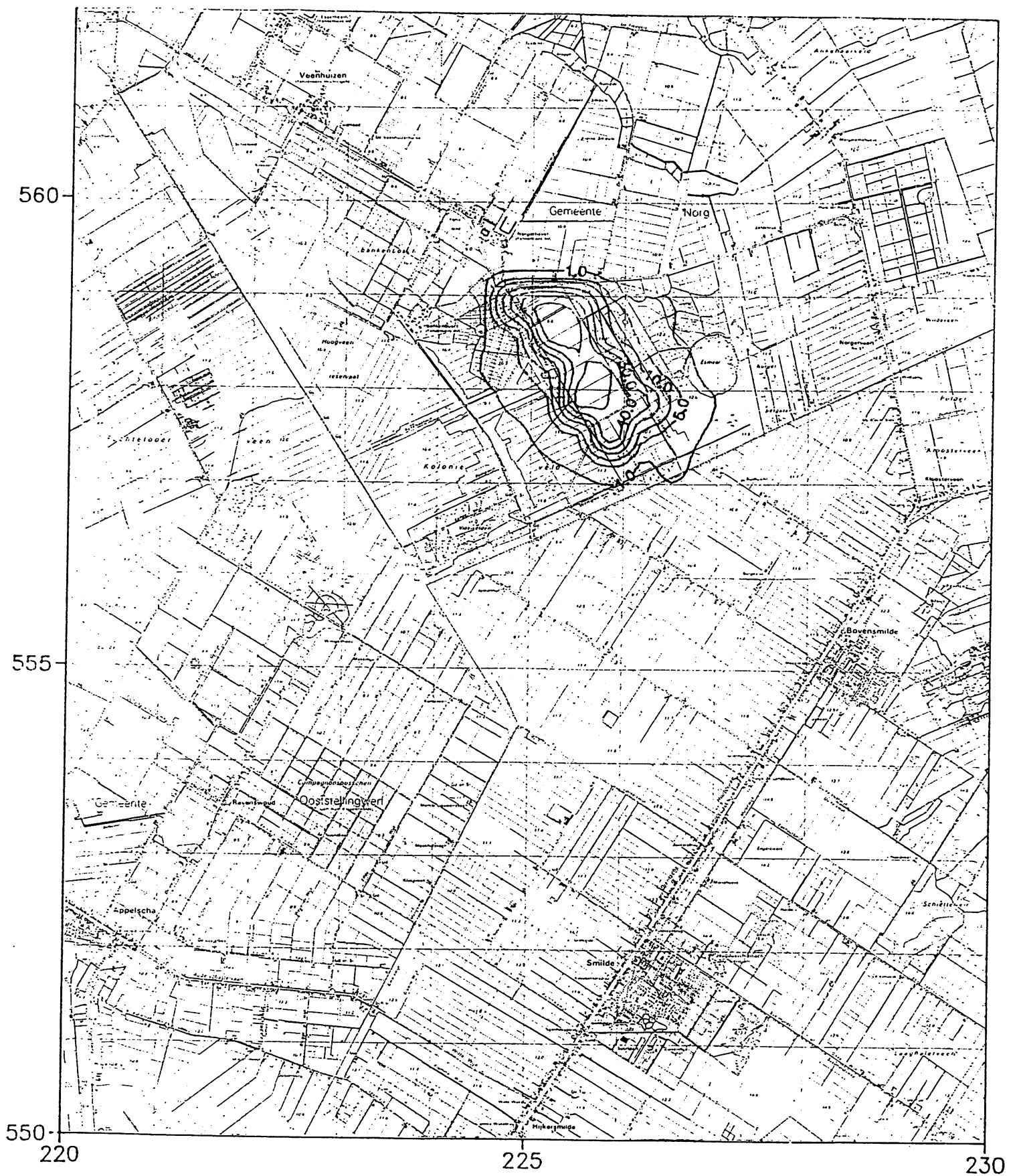
Figuur 16. Daling (cm) stijghoogten tweede watervoerend pakket bij peilverlaging in ruilverkaveling "Smilde" van 30 cm.
Schaal 1 : 55,000



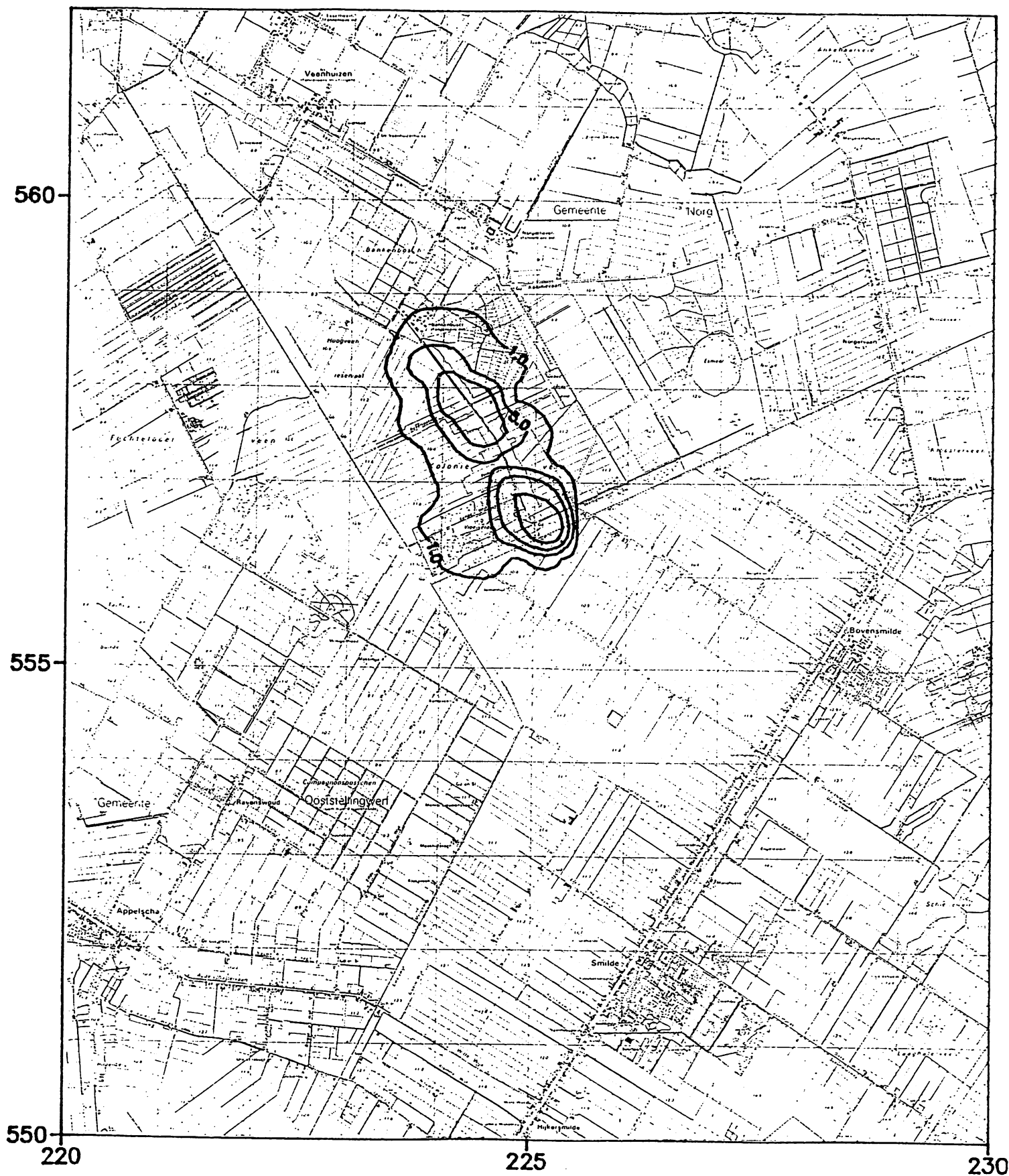
Figuur 17. Daling (cm) stijghoogten tweede watervoerend pakket bij daling stijghoogten in derde watervoerend pakket van 30 cm.
Schaal 1 : 55,000



Figuur 18. Toename (cm) stijghoogten tweede watervoerend pakket
 bij verhoging slootpeil in Bankenbosch naar 0.40 m - mv.
 Schaal 1 : 55,000



Figuur 19. Toename (cm) stijghoogten tweede watervoerend pakket bij verhoging slootpeil in landbouw-enclave naar 0.40 m - mv.
Schaal 1 : 55,000



Figuur 20. Toename (cm) stijghoogten tweede watervoerend pakket bij peilverhoging Schaaphokswijk naar 9.20/9.60 m + N.A.P.
Schaal 1 : 55,000