ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

NOTA 1515 februari 1984

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

TOEPASSING VAN HET STATIONAIRE GRONDWATERSTROMINGSMODEL

FEMSATS IN 'DE MONDEN'

E.H. Smidt

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties.
Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.
Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

I N H O U D

	blz.
1. INLEIDING	1
1.1. Algemene achtergrond	1
1.2. Doelstelling van het onderzoek	4
1.3. Inhoud van de nota	4
2. GEBIEDSBESCHRIJVING	4
2.1. Algemeen	4
2.2. Hydrogeologie	7
3. KOPPELING TUSSEN EEN MODEL VOOR DE VERZADIGDE EN EEN MODEL VOOR DE ONVERZADIGDE STROMING	8
3.1. Inleiding	8
3.2. Grootte van de elastische berging	9
3.3. Plaats van de koppeling tussen de modellen voor de verzadigde en onverzadigde stroming	9
3.4. Plaats en tijdstip van de koppeling	11
4. MODELBESCHRIJVING	13
4.1. Beschrijving van FEMSATS	13
4.2. Oplossingsmethodiek	16
4.3. Invoer en uitvoer van het model	18
5. IJKING VAN HET MODEL	21
5.1. Inleiding	21
5.2. Invoergegevens	22
5.3. Resultaten	31
5.4. Gevoeligheidsanalyse	39
5.5. Discussie	42

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

blz.

6. KWEL/WEGZIJGING AFHANKELIJK VAN GRONDWATERSTANDEN EN OPEN WATERPEILEN 43

6.1. Inleiding 43

6.2. Resultaten 45

LITERATUUR 53

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

1. INLEIDING

1.1. Algemene achtergrond

Een niet optimale toevoer van water over landbouwgewassen leidt tot opbrengstreducties ten opzichte van een maximaal haalbare opbrengst. Optimaal waterbeheer betekent daarom voor de Nederlandse situatie een snelle afvoer van water in perioden met een (groot) neerslagoverschot en conservering of aanvoer van water in perioden met een (groot) verdampingsoverschot. Een systeem van beweegbare stuwen stelt een waterschap in principe in staat om op regionale schaal het waterbeheer te optimaliseren. In de praktijk verloopt dit zogenaamde peilbeheer op grond van ervaringsregels. De vraag is echter of hiermee een optimaal beheer wordt gevoerd. Door middel van modelonderzoek kan op deze vraag een antwoord gevonden worden en kunnen eventuele nieuwe strategieën voor het peilbeheer ontwikkeld worden. Een dergelijk onderzoek wordt binnen het ICW door de afdeling Waterbeheersmodellen in samenwerking met het waterschap 'De Veenmarken' en de Landinrichtingsdienst Assen uitgevoerd.

Bij de modelmatige beschrijving van veranderingen in het open waterpeil moet onderscheid gemaakt worden tussen twee effecten ervan:

1. locaal effect (zie fig. 1A). Veronderstel dat het hydrologisch systeem geschematiseerd kan worden in een freatisch pakket en twee parallelle sloten. Een verandering in open waterpeil, h_o, leidt tot een nieuwe gemiddelde grondwaterstand, h_1, die afhangt van de drainage- of infiltratieweerstand, de verandering in de flux door het freatisch vlak, q_f, en de vorm van het freatisch vlak.

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

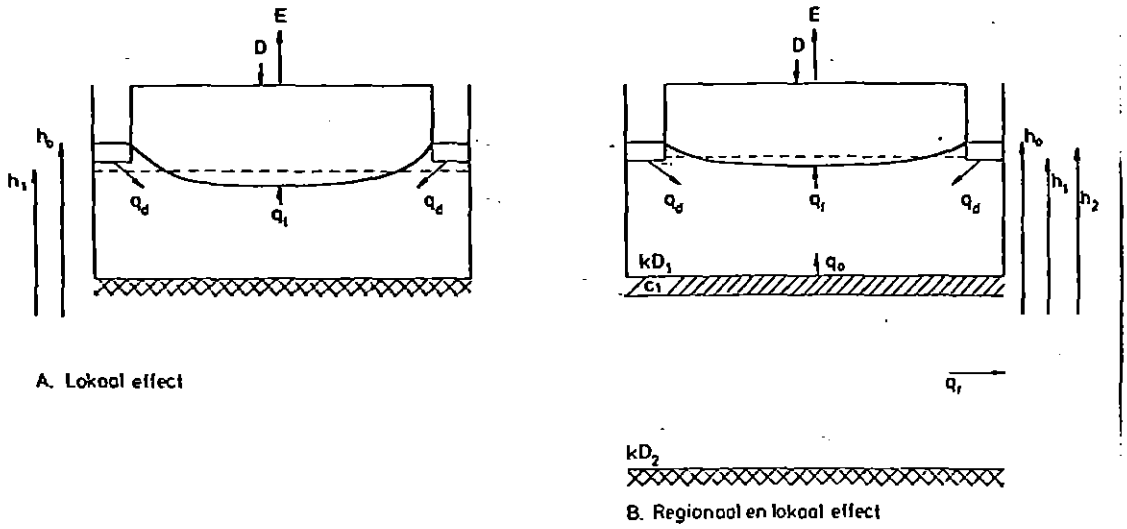


Fig. 1. Locaal en regionaal effect van veranderingen in open waterpeil

2. regionaal effect (zie fig. 1B). Het hydrologisch systeem bestaat uit een aantal watervoerende lagen. Een verandering in het grondwaterpeil in een aantal watergangen bijvoorbeeld binnen één peilvak, plant zich voort in het tweede en eventueel derde watervoerende pakket in verticale en horizontale richting. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat opzetten van het open waterpeil binnen één peilvak slechts tot een kleine toename van de capillaire opstijging, q_f, leidt binnen dit peilvak. Het geïnfiltreerde water stroomt gedeeltelijk naar de diepere watervoerende pakketten, hetgeen resulteert in een verandering in de regionale stroming, q_r, en komt in andere gebieden via toename van de kwel in het eerste watervoerende pakket.

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

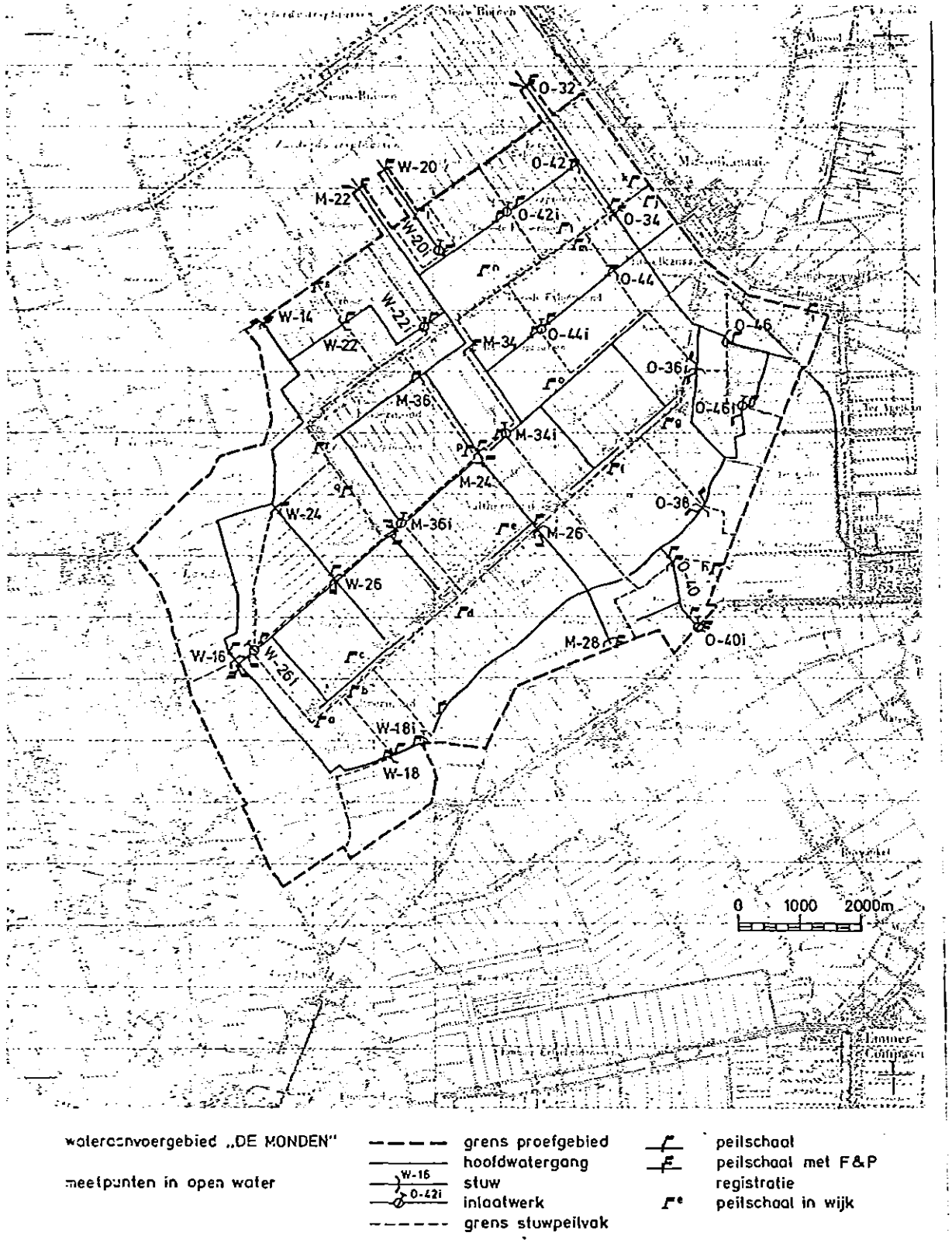


Fig. 2. Proefgebied 'De Monden' met overzicht van waterlopen en indeling in stuwpeilvakken (VAN KEULEN, 1982)

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

1.2. Doelstelling van het onderzoek

Binnen het ICW was geen model beschikbaar om zowel het regionale als het locale effect van peilbeheer te kunnen simuleren. Wel is het ééndimensionale model voor de onverzadigde en verzadigde stroming SWATRE (BELMANS et al., 1981) en het quasi-driedimensionale model voor de verzadigde grondwaterstroming FEMSAT (VAN BAKEL, 1978) beschikbaar. Het doel van dit onderzoek is de ontwikkeling van een eenvoudige methodiek om een regionaal grondwaterstromingsmodel (b.v. FEMSAT) te koppelen aan een model voor de onverzadigde zone (b.v. SWATRE of PEILBEHEER).

1.3. Inhoud van de nota

In hoofdstuk 2 wordt een korte beschrijving van het onderzoeksgebied gegeven. In hoofdstuk 3 volgt een verhandeling over de koppeling tussen het onverzadigde en verzadigde systeem. Hieruit blijkt dat het verantwoord is voor het gegeven probleem een stationair model te gebruiken. Een beschrijving van het quasi-driedimensionale stationaire grondwaterstromingsmodel FEMSAT wordt daarom in hoofdstuk 4 gegeven. De ijking van dit model voor de situatie in de winter 1980-1981 komt in hoofdstuk 5 aan de orde. In hoofdstuk 6 tenslotte worden de berekende relaties tussen grondwaterstanden en kwel/wegzijging besproken.

2. GEBIEDSBESCHRIJVING

2.1. Algemeen

Om modelresultaten te kunnen vergelijken met gemeten resultaten is het wateraanvoergebied 'De Monden' gekozen. Dit 8000 ha grote gebied maakt deel uit van het waterschap de Veenmarken, dat gelegen is in het Drenthse veenkoloniale gebied (zie fig. 2). Het gebied kenmerkt zich door:

1. een variatie in maaiveldhoogte van 15,0 m +NAP langs de westrand van het gebied tot 8,0 m in het noord-oosten van het gebied (zie fig. 3).

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

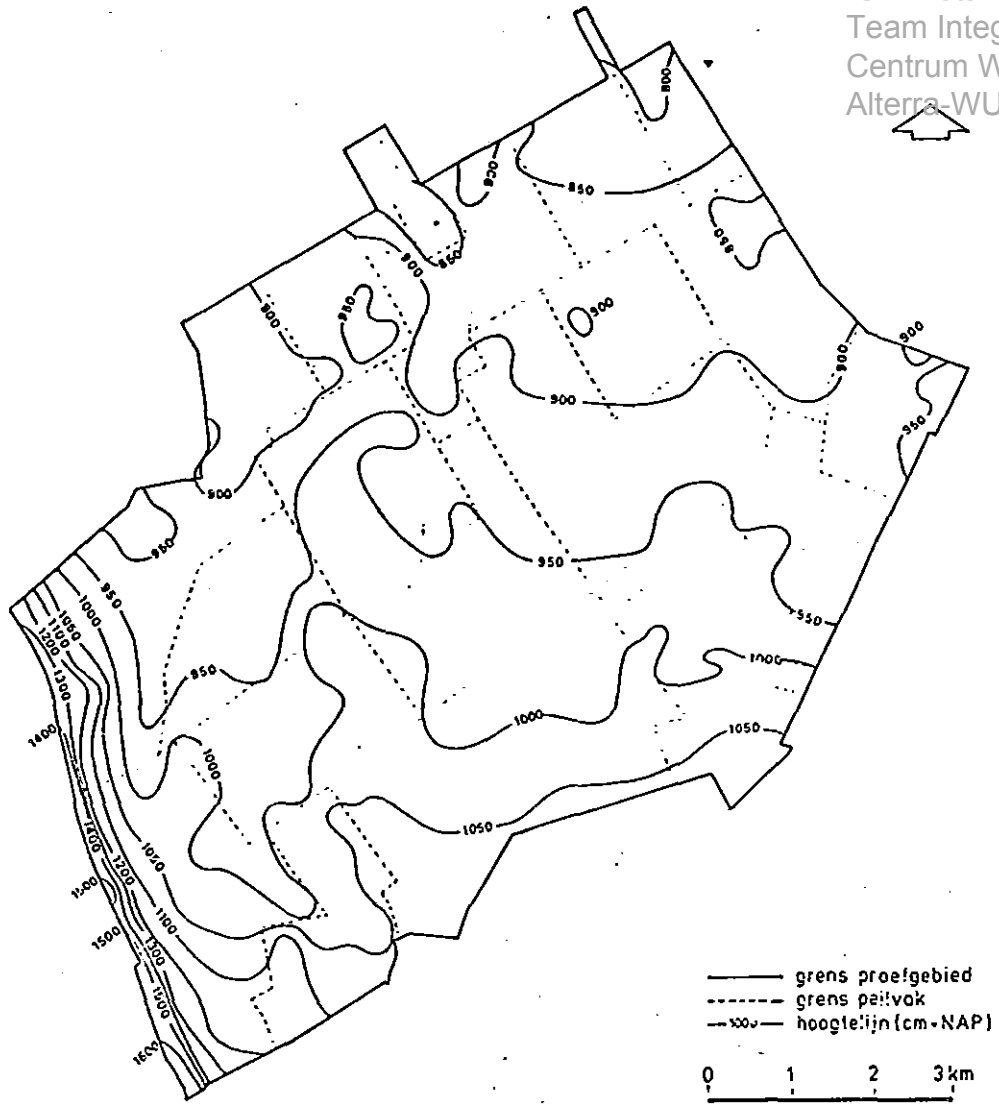


Fig. 3. Maaiveldshoogteligging (in cm + NAP) in het proefgebied 'De Monden'

De sterkste gradient treedt op in het westelijk deel van het gebied, dat samenvalt met de oostelijke flank van de Hondsrug.

2. Een regelmatig stelsel van kanalen en wijken met een afstand tussen de wijken van 170 m (zie fig. 1). Het stelsel had ten tijde van de vervening in dit gebied zowel een ontwaterings- als een transportfunctie. Tegenwoordig kan het gebruikt worden voor peilbeheer.

3. Indeling van het gebied in 20 peilvakken (zie fig. 2). Met behulp van beweegbare stuwen kan het waterschap de open waterpeilen binnen één peilvak, afhankelijk van de hydrologische situatie, variëren. In de zomer streeft men naar een peil dat ligt tussen 70 en 110 cm -mv. In de winter ligt dit niveau 50 cm lager.

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

In het gebied is een dicht netwerk van grondwaterstandsmeetpunten aanwezig (zie fig. 4)..

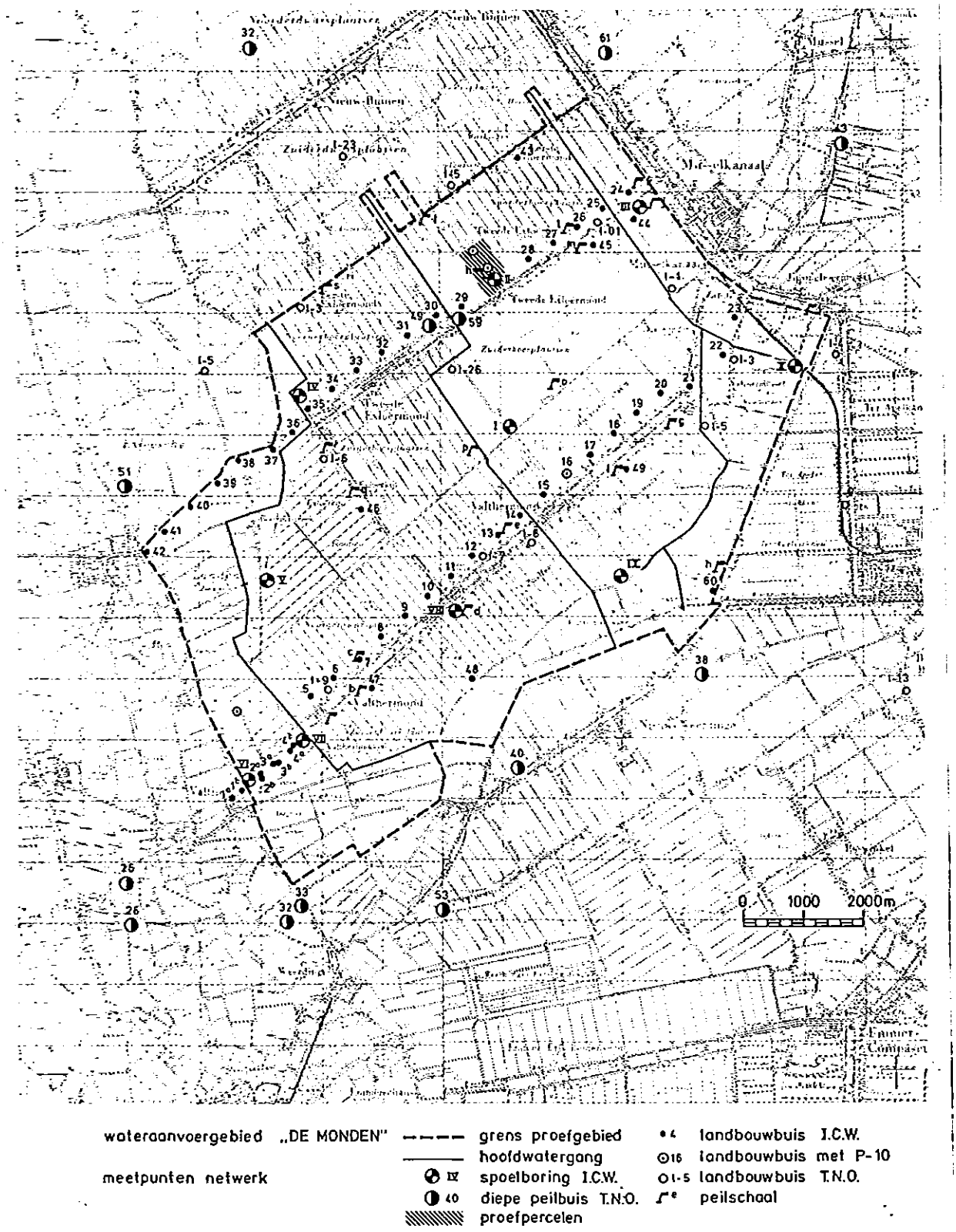


Fig. 4. Meetpuntennetwerk voor grondwaterstandswaarnemingen (VAN KEULEN, 1982)

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

2.2. Hydrogeologie

POMPER (1981) komt tot de volgende hydrogeologische opbouw: (zie fig. 5).

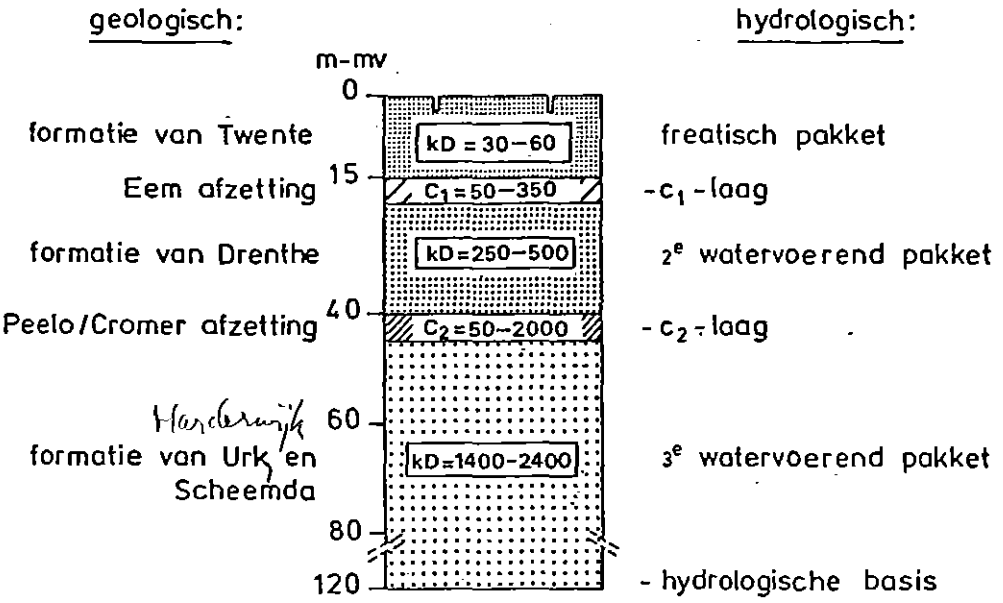


Fig. 5. Hydrogeologische schematisatie ten behoeve van modelberekeningen (VAN KEULEN, 1982 (gewijzigd))

In het betreffende gebied wordt de basis van het watervoerend systeem op een diepte tussen 120 en 140 m aangetroffen..

Het hierboven liggende watervoerende systeem kan worden onderverdeeld in drie watervoerende pakketten. Het onderste - ten dele bestaande uit fijne homogene zanden uit de Formatie van Scheemda en daarboven zeer grove oud-pleistocene zanden - vormt het voornaamste watervoerend pakket met een doorlaatvermogen tussen 1500 en 2400 m^2/dag. Het wordt in het gehele gebied aan de bovenzijde begrensd door een pakket fijne kleiïge zanden en klei uit de Formatie van Peelo. Tot dit pakket moet ook een kleilaag worden gerekend die door TSENGO (perscomm.) wordt aangeduid als 'Cromerklei' en welke in het zuidoostelijke deel van het gebied een dikte van 7 m bereikt.

Hierboven bevindt zich het tweede watervoerend pakket met een dikte van 10 à 20 m en een doorlaatvermogen van 250-500 m^2/dag.

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

Het wordt in een deel van het gebied aan de bovenzijde begrensd door een enkele meters dik pakket humeuze klei uit het Eemien. Het hierboven liggende pakket fijne zanden uit de Formatie van Twente kan worden beschouwd als het eerste watervoerend pakket. In verband met het geringe doorlaatvermogen is het (10-20 m^2/dag) de vraag of het pakket niet beter samen met de Eemklei en het dunne holocene pakket 1 à 2 m) als afdekkend pakket kan worden beschouwd.

Het bovenstaande overziend kan worden vastgesteld dat het hydrologische proces zich voornamelijk afspeelt in het derde watervoerend pakket, waarin zich vermoedelijk de regionale grondwaterstromingsprocessen afspelen.

Het laat zich aanzien dat de lokale grondwaterstromingsprocessen in het tweede watervoerend pakket plaats hebben, terwijl het eerste dan alleen een functie heeft in de afwatering van de percelen (drainage).

Voor het bovenstaande stromingsschema is te verwachten dat in een gebied als het onderhavige studiegebied de functie en het al of niet aanwezig zijn van de op betrekkelijk geringe diepte aangetroffen Eemklei van grotere betekenis is dan die van de 'Cromerklei' welke zich op grotere diepte bevindt.

De c-waarden, die in fig. 5 vermeld staan, zijn afkomstig uit waterbalansberekeningen (VAN KEULEN, 1982).

3. KOPPELING TUSSEN EEN MODEL VOOR DE VERZADIGDE EN EEN MODEL VOOR DE ONVERZADIGDE STROMING

3.1. I n l e i d i n g

Bij de koppeling tussen een model voor de verzadigde en onverzadigde grondwaterstroming spelen de volgende vragen een rol:

- hoe groot is de elastische berging in verband met de eventuele verwaarlozing hiervan
- waar dient de koppeling tot stand te komen
- moet de koppeling overal in het x-y vlak en op ieder tijdstip tot stand komen.

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

3.2. Grootte van de elastische berging

De grootte van de elastische of specifieke berging (S_s) kan bepaald worden met behulp van de door VAN DER GUN (1979) gegeven relaties tussen de specifieke berging van zandige aquifers, de dikte van de aquifer (D) en de diepte van de top van de aquifer (d).

Bij maximale omstandigheden (D = 200 m, d = 1 m) is $S_s \cong 3{,}5*10^{-3}$. Verandering in de grondwaterstand uitsluitend als gevolg van de meteorologische omstandigheden en variaties in open waterpeil zijn in de regel niet groter dan 1 m. Dit levert een elastische berging van 3,5 mm op. In de totale waterbalans is deze factor gering. Anders is de situatie bij onttrekkingen ten behoeve van drinkwatervoorziening en/of industriëel waterverbruik. Verlagingen van enkele meters zijn daarbij normaal en verwaarlozing van de elastische berging is niet meer geoorloofd.

3.3. Plaats van de koppeling tussen de modellen voor het verzadigd en onverzadigd systeem

De koppeling kan op minstens twee plaatsen geschieden (VAN BAKEL, pers. comm.) (zie fig. 6).

1. Ter plaatse van het freatisch vlak.
2. Onder de diepste voorkomende grondwaterstand in het freatisch pakket.

ad 1. In het verzadigde systeem treedt berging op ten gevolge van de porositeit (μ) en elasticiteit (S_s). In de regel geldt $\mu >> S_s$. Voor ieder knooppunt kan iteratief een onverzadigd model (b.v. SWATRE) gekoppeld worden aan het verzadigde, niet stationaire, model (b.v. FEMSAT) (zie fig. 7):
   - schat van ieder knooppunt de flux door het freatisch vlak, q_f, en bereken met FEMSAT de grondwaterstanden;
   - bereken met de grondwaterstanden als onderrand voor ieder of een aantal representatieve knooppunten q_f met SWATRE;
   - indien $q_f' - q_f > \Delta q_{min}$ voer dan q_f' in als bovenrand van FEMSAT en herhaal de procedure totdat het verschil tussen

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

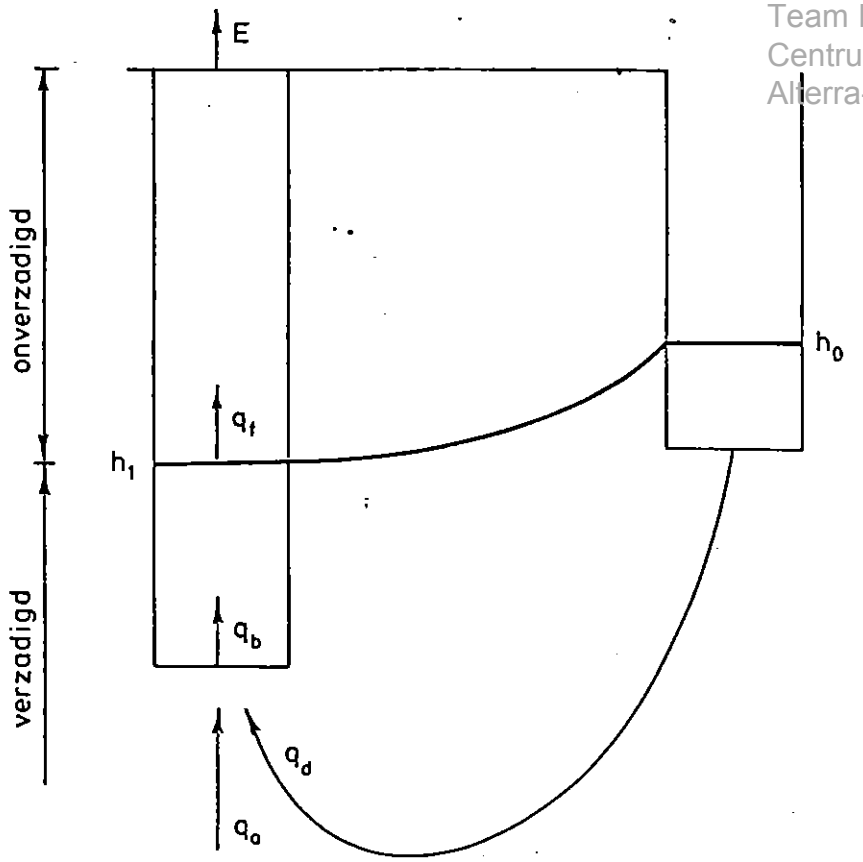


Fig. 6. Koppeling tussen het verzadigde en onverzadigde grondwatersysteem

de met FEMSAT en SWATRE berekende q_f kleiner is dan een van te voren bepaalde tolerantiewaarde.

ad 2. In dit geval heeft het regionale verzadigde systeem geen geheugen zolang het gestelde onder 3.2 opgaat. Dit betekent dat met een stationaire versie van FEMSAT (FEMSATS) dezelfde procedure gevolgd kan worden als beschreven onder 1). Ter onderscheid zal de flux door dit vlak worden aangeduid met q_b.

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

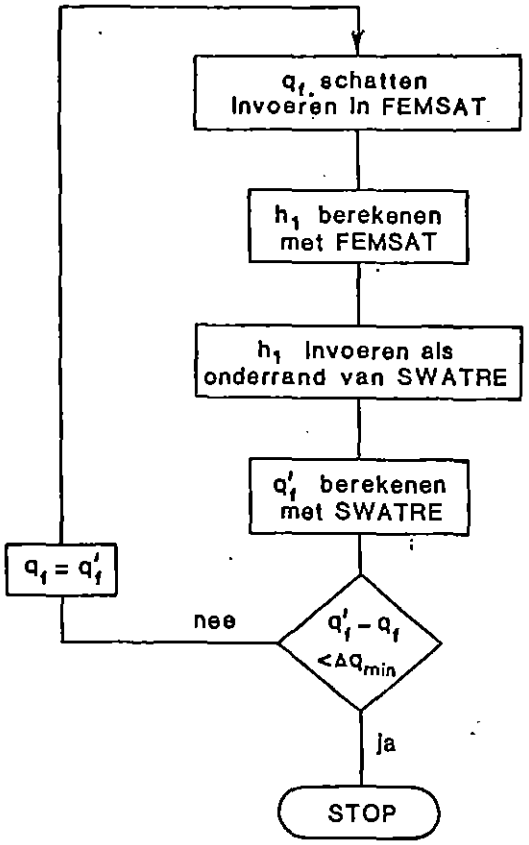


Fig. 7. Koppeling tussen FEMSAT en SWATRE:
plaats van koppeling is het freatisch vlak

3.4. Plaats en tijdstip van de koppeling

Wat de plaats van de koppeling betreft bestaan de volgende mogelijkheden:

1. In ieder knooppunt van het model voor de verzadigde grondwaterstroming. Het nadeel van deze methode is de lange rekentijd en een groot beslag op geheugenruimte van de computer.
2. In een aantal geselecteerde knooppunten. De selectie kan geschieden op grond van bijvoorbeeld representatieve bodemopbouw, regionaal stromingspatroon of maaiveldshoogteligging.

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

Voor het tijdstip waarop de koppeling plaatsvindt kan gekozen worden uit:

1. Van iedere tijdstap wordt zowel het model van de onverzadigde als het model van de verzadigde zone gedraaid.
2. De tijdstappen voor het onverzadigde systeem zijn kleiner dan voor het verzadigde systeem. Van de bovenrand van het model voor de verzadigde zone wordt een gemiddelde flux (q_f of q_b) of h_1 genomen over een aantal tijdstappen in het model voor de onverzadigde zone.

Bij alle genoemde alternatieven is de iteratieve rekenwijze tussen het model voor de onverzadigde en het model voor de verzadigde zone een blijvende vereiste. Hoewel deze methode computertechnisch niet onmogelijk is vergt ze veel rekentijd en geheugenruimte. De vraag is daarom of een verdere simplificatie mogelijk en verantwoord is.

Uit analyse van de tijdstijghoogtelijnen voor het grondwater en de watervoerende pakketten blijkt, dat stijghoogtes in het algemeen ruimtelijk eenduidig aan elkaar gecorreleerd zijn.

Ter toelichting hiervan is in fig. 8 het tijdstijghoogteverloop in landbouwbuis 3A en 33 getekend. Voor de lokatie van deze buizen

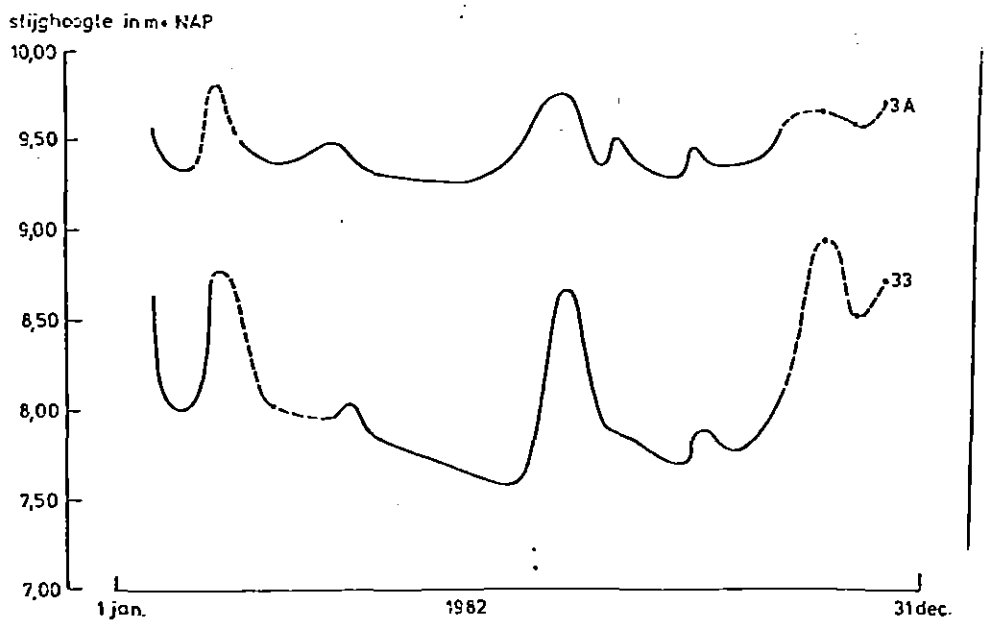


Fig. 8. Tijdstijghoogtelijnen in 1982 gemeten in landbouwbuis 3A en 33

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

wordt verwezen naar fig. 4. Bij één grondwaterstand in buis 33 hoort bij benadering een vaste grondwaterstand in buis 3A. Omdat hetzelfde geldt voor de open waterpeilen, h_o, in de verschillende peilvakken, bestaat er één relatie tussen q_b, q_a, h_o en h_1. Indien verondersteld wordt dat q_f over het gehele gebied gelijk is, dan kan door variatie in q_f en h_o een eenduidige relatie afgeleid worden tussen q_a, h_o en h_1

$$q_a = f(h_o, h_1) \qquad (3.1)$$

In het model SWATRE of PEILBEHEER kan de flux door de onderrand opgesplitst worden in een flux naar het drainagestelsel en een flux naar de diepe(re) watervoerende pakketten. De regionale effecten van peilveranderingen worden via vgl. (3.1) in rekening gebracht.

4. MODELBESCHRIJVING

4.1. Beschrijving van FEMSATS

Het stationaire grondwaterstromingsmodel FEMSATS (Finite Element Saturated Steady Groundwater Flow in a Multy Layered System) is afgeleid van het door van Bakel ontwikkelde niet-stationaire grondwaterstromingsmodel FEMSAT (VAN BAKEL, 1978).

De belangrijkste kenmerken van het model FEMSATS zijn:

. horizontale stationaire stroming in watervoerende en verticale stroming in slecht doorlatende lagen.

De algemene formule voor de stroming in de aquifer luidt:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(k_x D \frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k_y D \frac{\partial h}{\partial y}\right) + Q = 0 \qquad (4.1)$$

met:

k_x	= doorlatendheid in de x-richting	$(L.T^{-1})$
k_y	= doorlatendheid in de y-richting	$(L.T^{-1})$
D	= dikte van de aquifer	(L)
h	= stijghoogte	(L)
Q	= onttrekking of injectie per eenheid van oppervlakte	$(L.T^{-1})$

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

Eén van de componenten van Q is de verticale stroming door de slecht doorlatende lagen:

$$q_{s,1} = \frac{h_1 - h_{1-1}}{c_{1-1}} + \frac{h_i - h_{1+1}}{c_{1+1}} \qquad (4.2)$$

De index 1 geeft het nummer van de modellaag aan. In het model kan laag 1 een afdekkend pakket zijn (c-laag) of een watervoerende laag. De relatie tussen de nummering van de modellagen, het nummer van de watervoerende pakketten en van de c-lagen is gegeven in fig. 9.

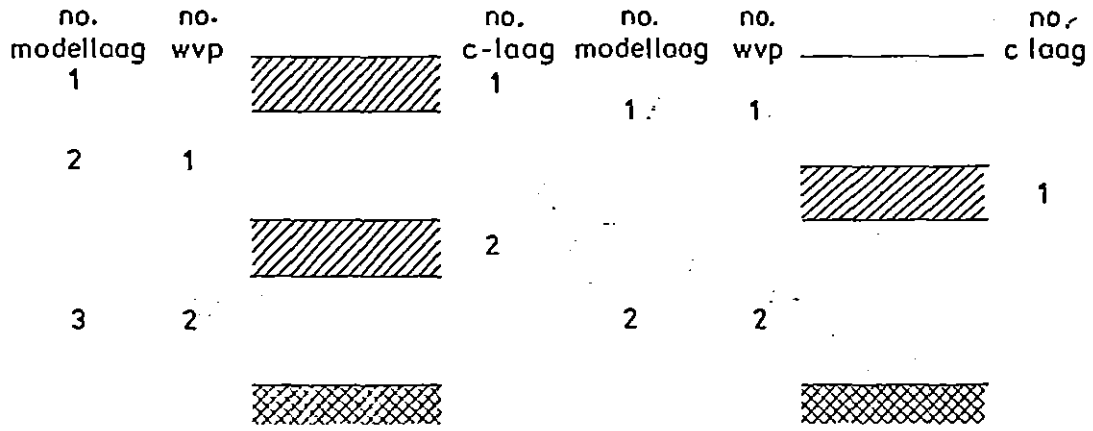


Fig. 9. Relatie tussen het nummer van de laag in FEMSATS, het nummer van het watervoerende pakket (wvp) en de c-laag

Laat N_1 het aantal lagen zijn, dan geldt:

$$1 = 1 \; ; \quad q_{s,1} = \frac{h_1 - h_2}{c_1} \qquad (4.2)$$

$$1 > 1 \quad \text{en} \quad i < N_1 \; ; \; q_{s,1} = \frac{h_1 - h_{1-1}}{c_{j-1}} + \frac{h_1 - h_{1+1}}{c_j} \qquad (4.3)$$

waarin: j de index van de c-laag is: j = i

$$1 = N_1 ; \; q_{s,N_1} = \frac{h_{N_1} - h_{N_{1-1}}}{C_{N_{1-1}}} \qquad (4.4)$$

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

- Relatie met het open waterstelsel.

  De flux van het tertiaire drainagestelsel (q_d) wordt berekend met behulp van

$$q_d = \frac{\bar{h}_1 - h_o}{\alpha\gamma} \qquad (4.5)$$

  waarin:

  $\bar{h}_1$ = de gemiddelde grondwaterstand in de 1e laag (L)
  h_o = het open waterpeil (L)
  α = vorm factor om $h_{1,m}$ om te zetten in $\bar{h}_1$ (-)
  γ = drainageweerstand (T)
  $h_{1,m}$ =stijghoogte midden tussen twee ontwateringsmiddelen (L)

  q_d = 0 als $h_{1,m}$ onder de ontwateringsdiepte ligt en er geen sprake is van infiltratie vanuit het open water.

- Andere termen van Q zijn onttrekkingen, randfluxen en de flux door het freatisch vlak (q_f). De q_f kan per knooppunt opgegeven worden.

  Een tweede mogelijkheid in het programma is dat q_f in geval van capillaire opstijging berekend wordt als functie van de grondwaterstandsdiepte. De algemene vorm van de in te voeren relatie is gegeven in fig. 10.

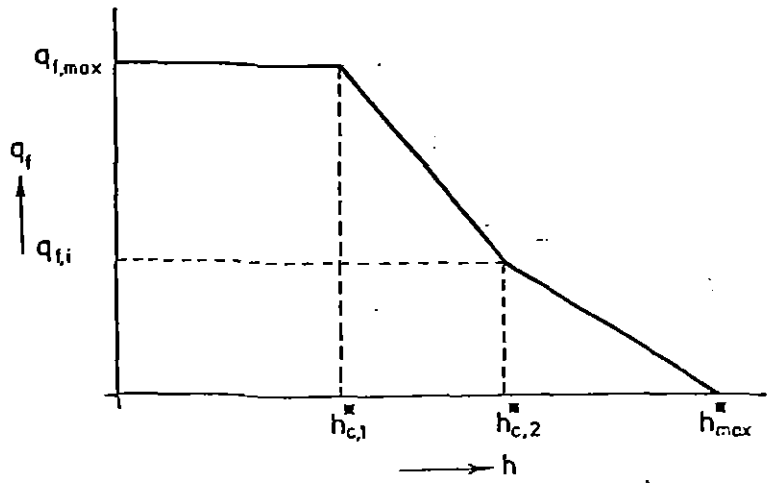


Fig. 10. Capillaire opstijging (q_f) als functie van de grondwaterstandsdiepte (h_i*) in het model FEMSATS

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

4.2. Oplossingsmethodiek

De oplossing van vgl. (4.1) wordt gevonden door de volgende stappen te doorlopen. Hiervan zijn theoretische achtergronden door VAN BAKEL (1978) uitvoerig beschreven.

- Opdeling van het gebied in elementen door middel van een knooppuntennetwerk. Het model maakt gebruikt van driehoeken. Dit heeft het voordeel dat onregelmatige interne of externe grenzen gemakkelijk gevolgd kunnen worden. Bij de toepassing van het model op het watervoergebied 'De Monden' zijn 625 elementen geconstrueerd met behulp van 351 knooppunten (zie fig. 11).
- Berekening van de representatieve transmissiviteit (kD-waarde). Als de bovenlaag een freatisch pakket is, kan een nieuwe kD-waarde tussen twee knooppunten berekend worden na een opgegeven gesommeerde verandering in de grondwaterstand.
- Oplossing van de eindige differentievorm van vgl. (4.2) met de iteratieve Gauss-Seidel overrelaxatiemethode. De iteratieve rekenwijze heeft tot voordeel dat niet-lineaire relaties in het model gebruikt kunnen worden. De overrelaxatiefactor, w, wordt toegepast om het convergentieproces van de iteratieve rekenwijze te versnellen:

$$h_i^{k+1} = h_i^{k} + w(h_i^{k+1} - h_i^{k}) \qquad (4.6)$$

waarin:

k = iteratieindex

i = knooppuntsindex

Deze oplossingsmethodiek wordt ook toegepast in FEMSAT. Hierbij wordt in iteratie k+1 de term Q in vgl. (4.1) berekend met behulp van stijghoogten, berekend in iteratie k. Toepassing van deze methodiek in FEMSATS leverde divergentie op. Daarom zijn in de huidige versie van FEMSATS de termen van Q, die afhankelijk zijn van h, uitgedrukt in de nieuw te berekenen grondwaterstand h^{k+1}.

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

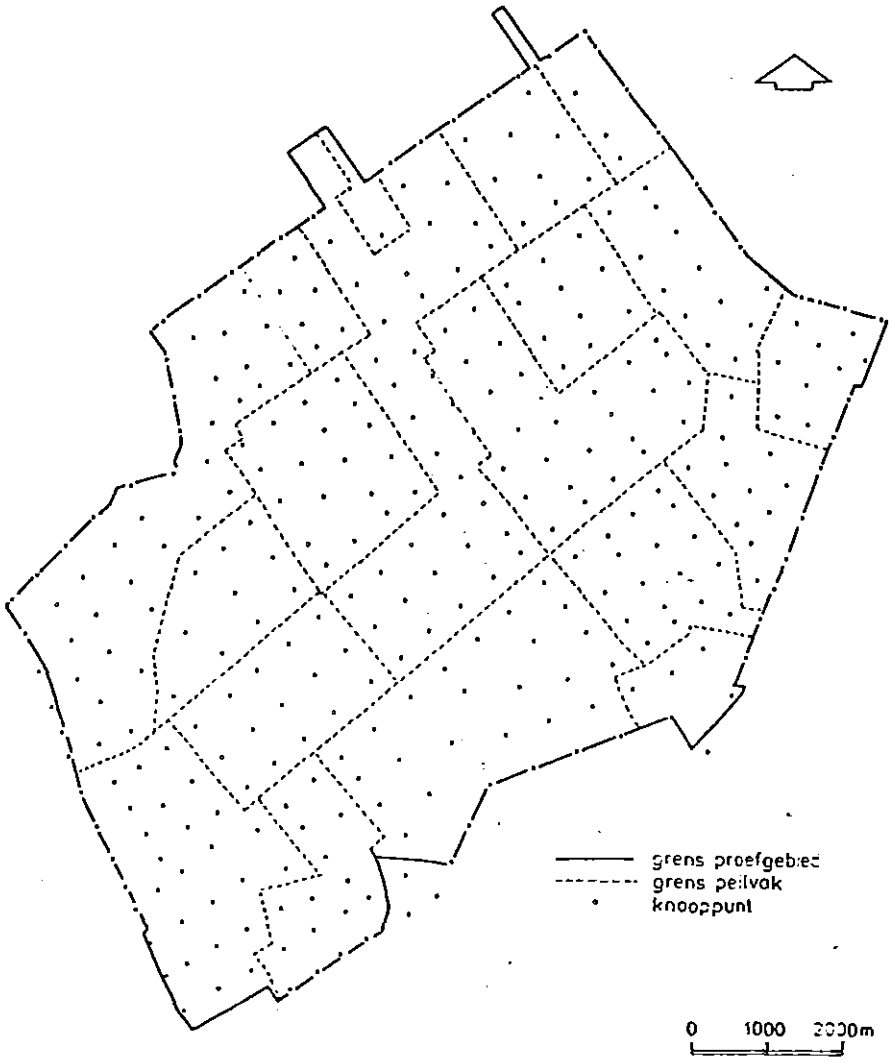


Fig. 11. Elementennetwerk voor 'De Monden'

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

4.3. Invoer en uitvoer van het model

De invoer van het model wordt van files gelezen. Voor de toepassing in 'De Monden' hebben deze files de volgende namen en inhoud.

- CONTACP.DAT: Deze file wordt opgemaakt met het programma CONTACTP34.FOR en bevat de contactpunten van ieder knooppunt. Elke toepassing van het model vraagt slechts één run met het programma CONTACP34.FOR. De basisbreedte van de kD-waarde matrix wordt hierdoor beperkt tot het maximum aantal contactpunten. De berekening van de kD-waarden matrix en de iteratieve oplossingstechniek verloopt dan efficiënter.
- MONDEN.DAT. Een samenvoeging van MONDEN1.DAT en MONDENX.DAT, met X > 1, bevat de algemene parameters waarvan enkele bij elke productierun gewijzigd worden. Deze variabelen staan vermeld in tabel 1. De gebruikelijke regels voor het type van de variabele gelden hiervoor.

Tabel 1. Invoervariabelen op MONDEN1.DAT

Naam	Beschrijving	Eenheid
HEAD	Kop boven de resultatenfile	(-)
NUMNP	Aantal knooppunten	(-)
NUMEL	Aantal elementen	(-)
NUMWATS	Aantal subgebieden	(-)
MAXIT	Maximaal aantal toegestane iteraties	(-)
TOL	Tolerantie of afbreekcriterium	(m)
OMEGA	Overrelaxatiefactor	(-)
OPITOL	Criterium om een nieuwe kD-matrix te berekenen	(m)
PREV	Flux door het freatisch vlak	(m)
DTCHLV	Ontwateringsdiepte	(m)
ALFA	Vormfactor voor het freatisch vlak	(-)
ITOP	Code voor de aard van de 1e laag ITOP = 1 : afdekkend pakket. ≠ 0 : watervoerend pakket	
DIFSUL	Open waterpeil verandering t.o.v. een ingevoerd open waterpeil	(m)
CORHGL	Correctie voor de maaiveldsdaling	(m)
CO1	Doorlatendheid van het 1e wvp	(m/d)
CO2	" " " 2e wvp	(m/d)
CO3	" " " 3e wvp	(m/d)

wvp = watervoerend pakket

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

Op de file MONDENX.DAT staan de invoergegevens per knooppunt, per element en per subgebied in een aantal blokken (tabel 2).

Tabel 2. Invoergegevens op file MONDENX.DAT

Blok	Naam	Beschrijving	Eenheid
A	IDUM	dummy variabele	(-)
	PDEPCR(N,1)	h^* in fig. 10	(m)
	PDEPCR(N,2)	$h^*_{c,2}$ in fig. 10	(m)
	PDEPMAX(N)	h^*_{max} in fig. 10	(m)
	UNINT	$q_{f,i}$ in fig. 10	(m/d)
	UNMAX(N)	$q_{f,max}$ in fig. 10	(m/d)
B	KODE(N)	knooppuntscode: 1 vaste stijghoogte 2 intern knooppunt 3 vaste flux	
	NN	dummy variabele = knooppuntsno.	
	HGI(N)	maaiveldshoogte	(m)
	X(N)	x-coördinaat	(m)
	Y(N)	y-coördinaat	(m)
	THI(N,1)	dikte van het 1e wvp	(m)
	TH1(N,2)	dikte van het 2e wvp	(m)
	TR3(N)	doorlaatvermogen van het 3e wvp	(m^2/d)
	DRARES(N)	drainageweerstand	(d)
	VERRES(N,1)	Verticale weerstand van de 1e scheidende laag	(d)
	VERRES(N,2)	Verticale weerstand van de 2e scheidende laag	(d)
C	NUMARR	aantal onttrekkingen of knooppunten met randfluxen	(-)
	N	knooppuntsnummer	(-)
	ARRED(N,1)	onttrekking/randflux in het 1e wvp	(m^3/d)
	ARRED(N,2)	onttrekking/randflux in het 2e wvp	(m^3/d)
	ARRED(N,3)	onttrekking/randflux in het 3e wvp	(m^3/d)
D	IDUM	dummy variabele = elementnummer	
	(KX(N,I),I=1,3)	knooppuntsnummer van de hoekpunten van een element	(-)
E	IDUM	dummy variabele = subgebiednummer	(-)
	NAMEWS(N)	naam van het subgebied	(-)
	INNPWS(N)	nummer van het eerste knoopp. i.h.subgebied	(-)
	WTWSØ	open waterpeil in het subgebied	(m)

wvp = watervoerend pakket

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

De variabelen IDUM tot en met UNMAX (blok A) worden alleen gelezen als de flux door het freatisch vlak kleiner is dan een in het programma op te geven grootheid (b.v. nul: d.w.z. bij capillaire opstijging). Blok A bestaat uit NUMNP regels. Blok B bestaat uit NUMNP regels met geometrische en hydrogeologische knooppuntsgegevens. Blok C bevat informatie over de onttrekkingen of randfluxen. Alleen als NUMARR groter is dan Ø worden er NUMARR regels ingelezen. In Blok D staan de knooppuntsnummers van de hoekpunten van alle elementen. De gegevens over de subgebieden worden ingelezen in blok E.

. HEADS.DAT. Op deze file staat de eerste schatting van de grondwaterstanden per knooppunt per laag. Bij de uitvoer van het programma behoort een file HEADS.RES, die gecopiëerd kan worden voor HEADS.DAT. Dit heeft het voordeel dat bij een vast patroon in de verandering van invoergegevens het resultaat van een berekening eenvoudig ingevoerd kan worden als beginschatting van de volgende run. De uitvoer wordt behalve voor de al genoemde file HEADS.DAT naar de volgende files geschreven:

. MONDEN.RES. Hierop staat de volgende informatie
- de algemene parameters ingelezen van file MONDEN1.DAT
- gegevens over de subgebieden (Blok E in file MONDENX.DAT)
- per iteratie de stijghoogten in twee vaste knooppunten, de maximale stijghoogteverandering, het knooppunt en de laag waarin deze plaatsvindt, de waarde van w en eventueel een mededeling over het optreden van divergentie
- stijghoogten en waterbalansgegevens per knooppunt en per laag. De waterbalansgegevens zijn uitgedrukt in m^3/d en in mm/d
- gemiddelde stijghoogte en waterbalansgegevens per subgebied
- waterbalansgegevens per laag.

In- en uitvoergegevens zijn in het programma eenvoudig te veranderen.

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

5. IJKING VAN HET MODEL

5.1. I n l e i d i n g

Voordat het model gebruikt wordt voor de berekening van q-h relaties moet de waarde van het model bepaald worden: de zogenaamde ijkingsfase. Dit gebeurt door vergelijking van gemeten en berekende parameters, zoals stijghoogten en afvoeren. Via een rationele bijstelling van de hydrogeologische constanten wordt geprobeerd deze waarden zo goed mogelijk op elkaar te doen gelijken. Deze methode heeft het voordeel dat de modelbouwer een goed inzicht krijgt in de gevolgen van veranderingen in de hydrogeologische constanten. Een nadeel is dat er geen strikt formeel bewijs is, dat de uiteindelijke oplossing de juiste is. In hoeverre er sprake is van een locaal optimum kan niet gecontroleerd worden.

Toepassing van het stationaire model in de ijkingsfase brengt het volgende probleem met zich mee.

Elke gemeten afvoer of stijghoogte is een tijdsopname en daardoor afhankelijk van de voorgeschiedenis. Bergingsveranderingen veroorzaken een vertraging in de response op elke input in het hydrologisch systeem. Door stationair te rekenen worden deze effecten niet meegenomen. Voor de stationaire ijking dient daarom een periode gekozen te worden waarin de bergingsveranderingen klein zijn.

De winterperiode 1980-1981 (10-10-'80 tot 27-2-'81) voldoet aan deze eis. De bergingsverandering over het gehele gebied is door VAN KEULEN (1982) berekend op 0,11 mm/d of 15,4 mm voor de hele periode.

De verandering in de elastische berging kan als volgt bepaald worden. Op grond van pompproeven bij 2e Exloërmond is een specifieke berging in het 3e watervoerende pakket gevonden van $2,74 * 10^{-4}$. Met een gemiddelde dikte van 90 m van dit pakket levert dit een specifieke bergingscoëfficiënt van $3 * 10^{-6}$ m^{-1}. Aangenomen is dat deze waarde ook voor de overige pakketten geldt. De totale bergingsverandering ten gevolge van elasticiteit is dan:

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

	Δh(m)	D(m)	Bergings-verandering (mm)
1e wvp	0,20	20	$1 * 10^{-2}$
2e wvp	0,22	15	$1 * 10^{-2}$
3e wvp	0,14	90	$4 * 10^{-2}$

De totale afvoer bedraagt 343 mm[1)] over de gehele periode. De conclusie is dat verwaarlozing van de berging (zowel elastisch als freatisch geoorloofd is.

5.2. Invoergegevens

Als invoer voor het model zijn de volgende gegevens gebruikt. Het gaat daarbij om hydrogeologische parameters en randvoorwaarden. Voor de waarde in een knooppunt moest in de regel geïnterpoleerd worden tussen isolijnen of waarnemingspunten.

A. Netwerkgegevens. Het gebied is ingedeeld in 625 elementen met 351 knooppunten (fig. 11). Per knooppunt zijn x- en y-coördinaat ingevoerd. Per element zijn de hoekknooppunten ingevoerd.

B. Hydrogeologische parameters.
   - kD-waarden van het derde watervoerende pakket zijn berekend door POMPER (1981) (zie fig. 12) uit put- en pompproeven en boorbeschrijvingen. De k-waarde van dit pakket is gelijk genomen van de k-waarde van het gehele watervoerende pakket: 16 m/d.
   - De dikte kaart van de Formatie van Drente volgens POMPER (1981) (zie fig. 13) is hiervoor als basis gebruikt. De dikte is vermenigvuldigd met de door POMPER gegeven k-waarde van 25 m/d (berekend uit boorbeschrijvingen) om de kD-waarde te verkrijgen.

1) Hiervoor is de afvoerdichtheid van het peilvak W-14 teruggebracht tot 3,3 mm/d en die van M-22 tot 2,64 mm/d.

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

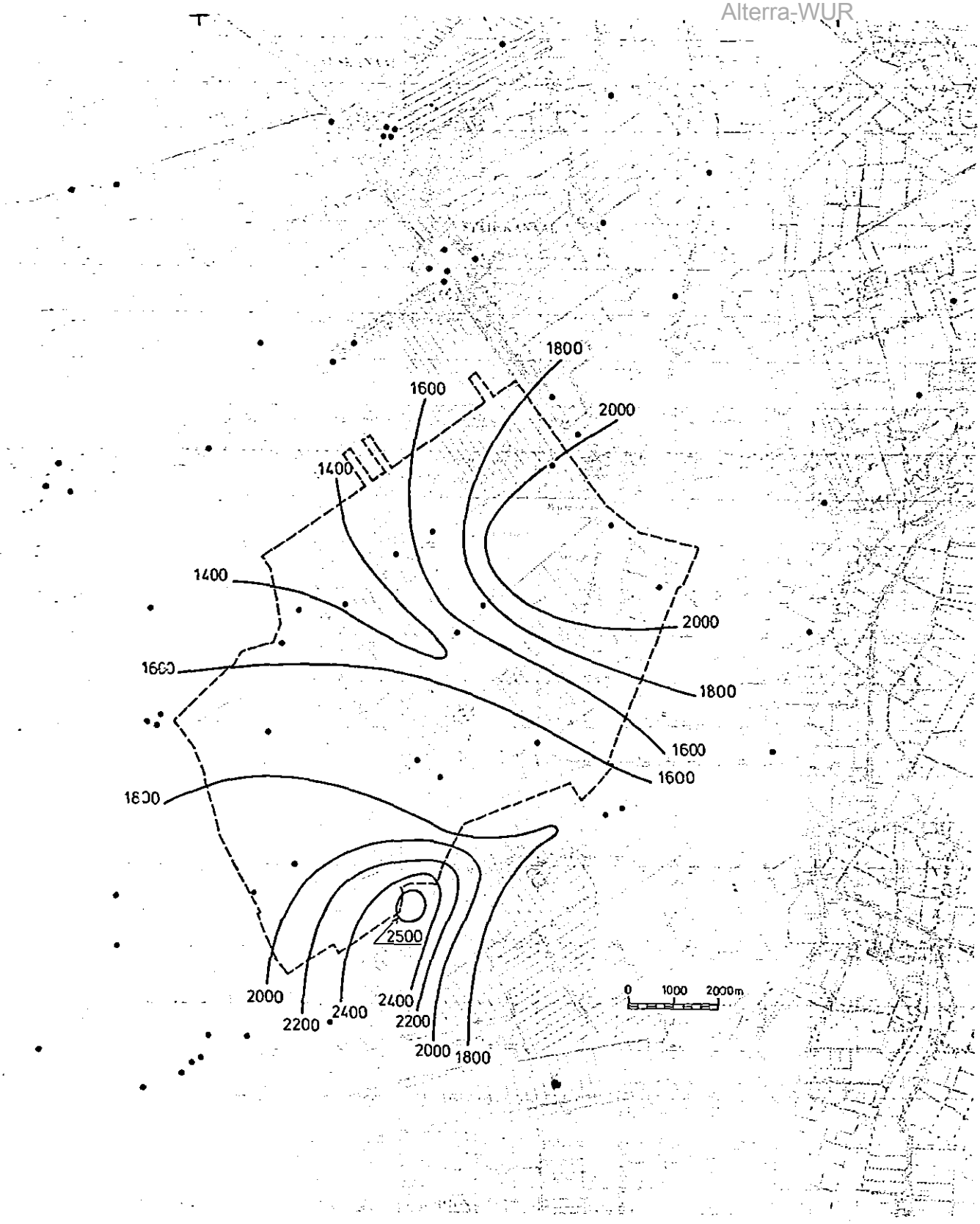


Fig. 12. Doorlaatvermogen van het derde watervoerende pakket (POMPER, 1981)

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

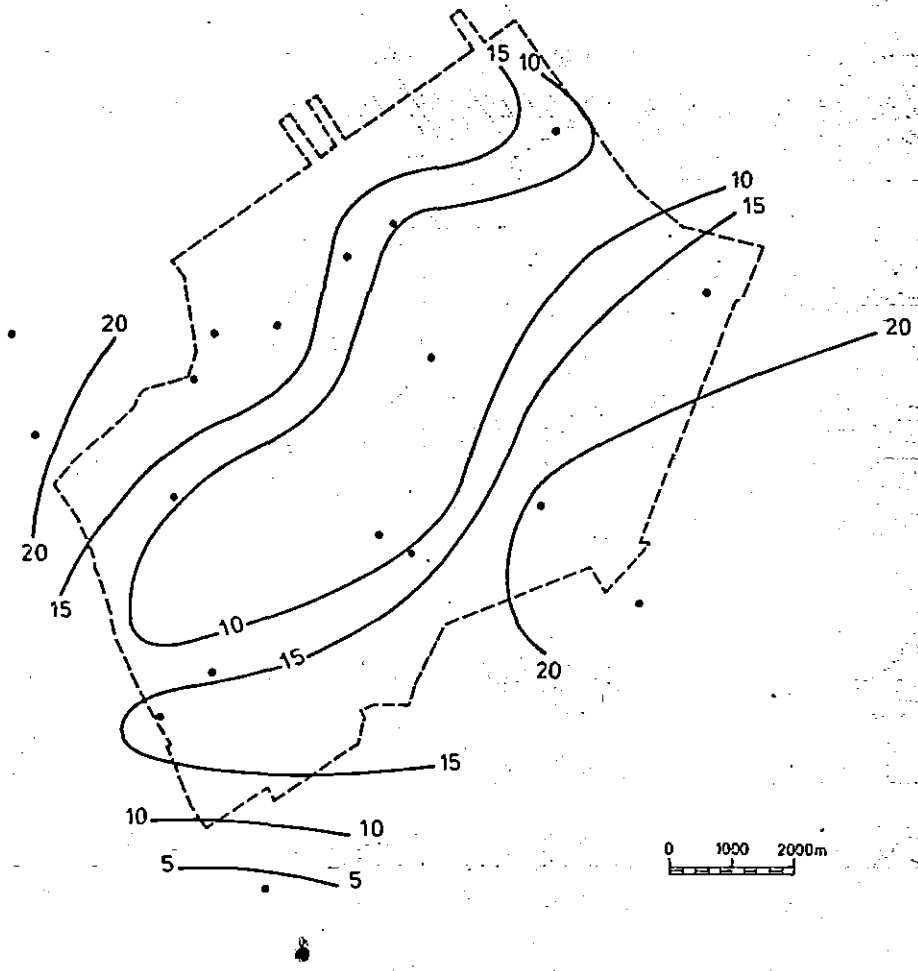


Fig. 13. Diktekaart van het 2e watervoerende pakket (Formatie van Drente) (POMPER, 1981)

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

- kD-waarden van het eerste watervoerend pakket. Hiervoor is de dikte van het Holoceen bij de dikte van de Formatie van Twente (zie fig. 14 en fig. 15) opgeteld en vermenigvuldigd met de k-waarde van 1,6 m/d. Deze waarde is gebaseerd op metingen die HOOGHOUDT in 1943 heeft uitgevoerd (POMPER, 1981).
- c_2-waarde (Cromer klei) en c_1-waarde (Eem-klei). VAN KEULEN (1982) vindt uit de waterbalansberekeningen c_2-waarden per peilvak. Deze waarden zijn omgezet in isolijnen (zie fig. 16 en fig. 17).
- Drainage weerstanden (γ). Uit de waterbalans berekeningen van VAN KEULEN volgt eveneens een drainageweerstand per peilvak (zie fig. 18). De variatie in deze waarden is betrekkelijk gering (150-350 dagen) en vertoont geen duidelijk ruimtelijk patroon. Er is daarom geen isolijnenkaart gemaakt. In het model zijn de drainagewaarden per peilvak daarom in eerste instantie gelijk verondersteld.
- Ontwateringsbasis. De ontwateringsbasis is op grond van persoonlijke mededelingen van NIJHOF (w.s. De Veenmarken) gesteld op 1,6 m -mv. Deze waarde is voor het gehele gebied aangehouden.
- Vormfactor voor de opbolling van de grondwaterspiegel tussen de wijken. Hiervoor is op grond van veldwaarnemingen een waarde van 0,9 genomen.

C. Randvoorwaarden

- Flux door het freatisch vlak. De flux door het freatisch vlak is voor het gehele gebied gesteld op 1,96 mm/d. Deze waarde is door VAN KEULEN berekend als het verschil tussen neerslag en evapotranspiratie. Daarbij is verondersteld dat er in de capillaire zone geen bergingsveranderingen optreden.
- Open waterpeil. Uitgaande van boven- en benedenstrooms stuwpeil en een gemeten wijkpeil is door VAN KEULEN (1982) een gemiddeld peil over het peilvak berekend (zie tabel 1)

$$h_o = h_{sf} + 0{,}8\ (h_2 - h_{sf}) \qquad (1)$$

h_o = gemiddeld open waterpeil per peilvak (m +NAP)
h_{sf} = stuwpeil in de hoofdwatergang (m +NAP)
h_2 = bovenstrooms peil in de wijk (m +NAP)

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

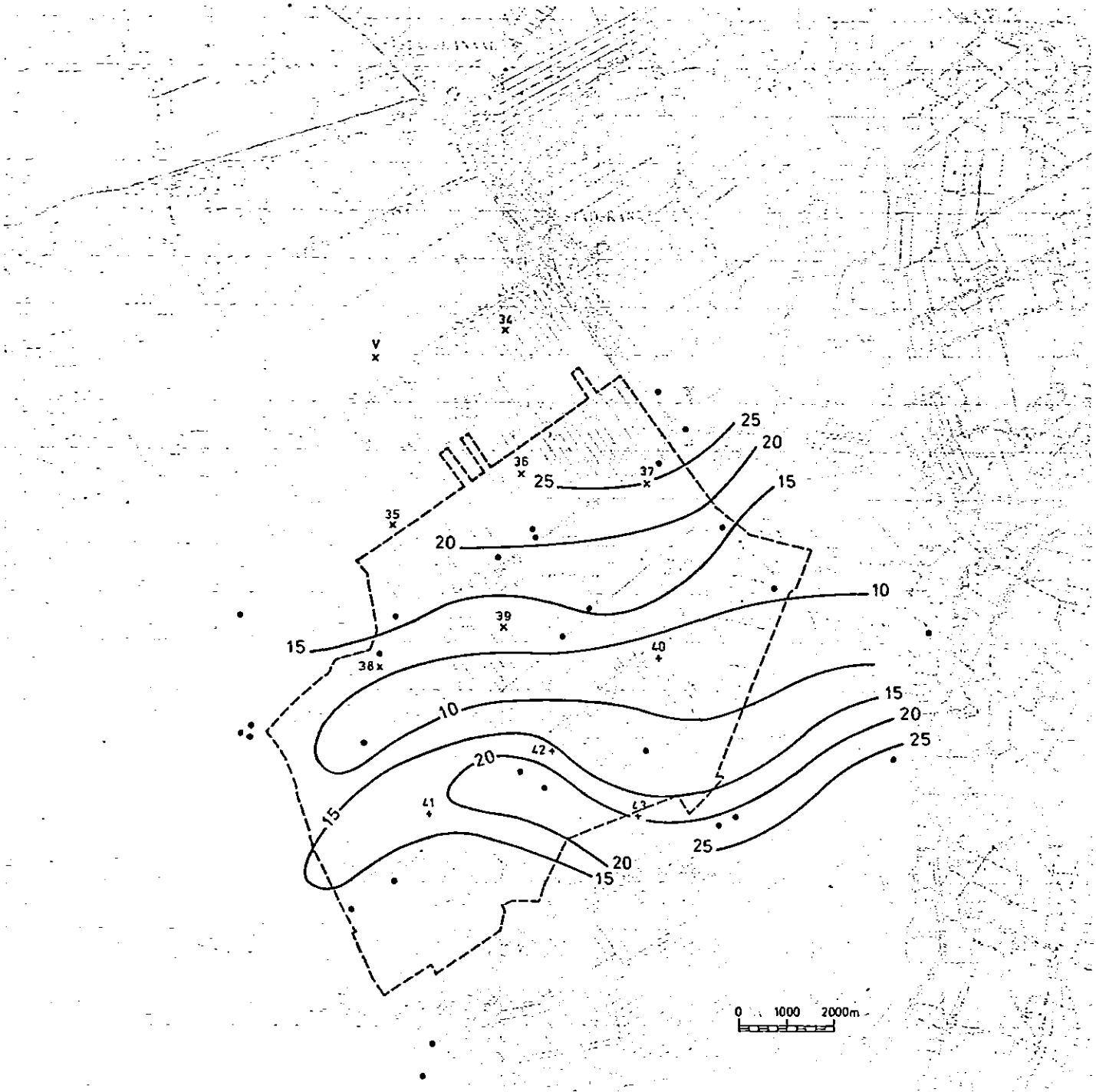


Fig. 14. Diktekaart van de Formatie van Twente (POMPER, 1981)

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

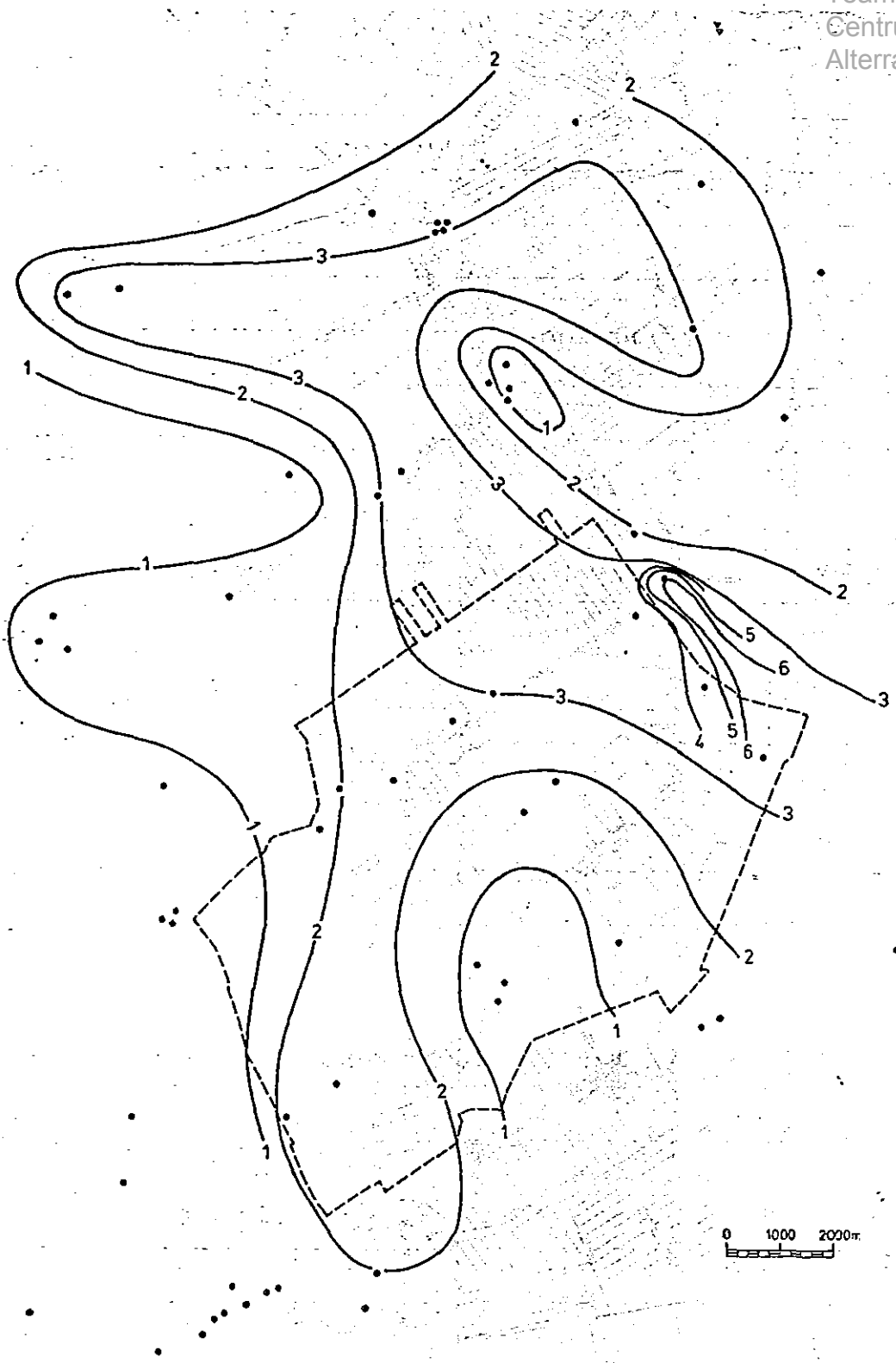


Fig. 15. Dikte en verbreiding van de Holocene afzettingen (POMPER, 1981)

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

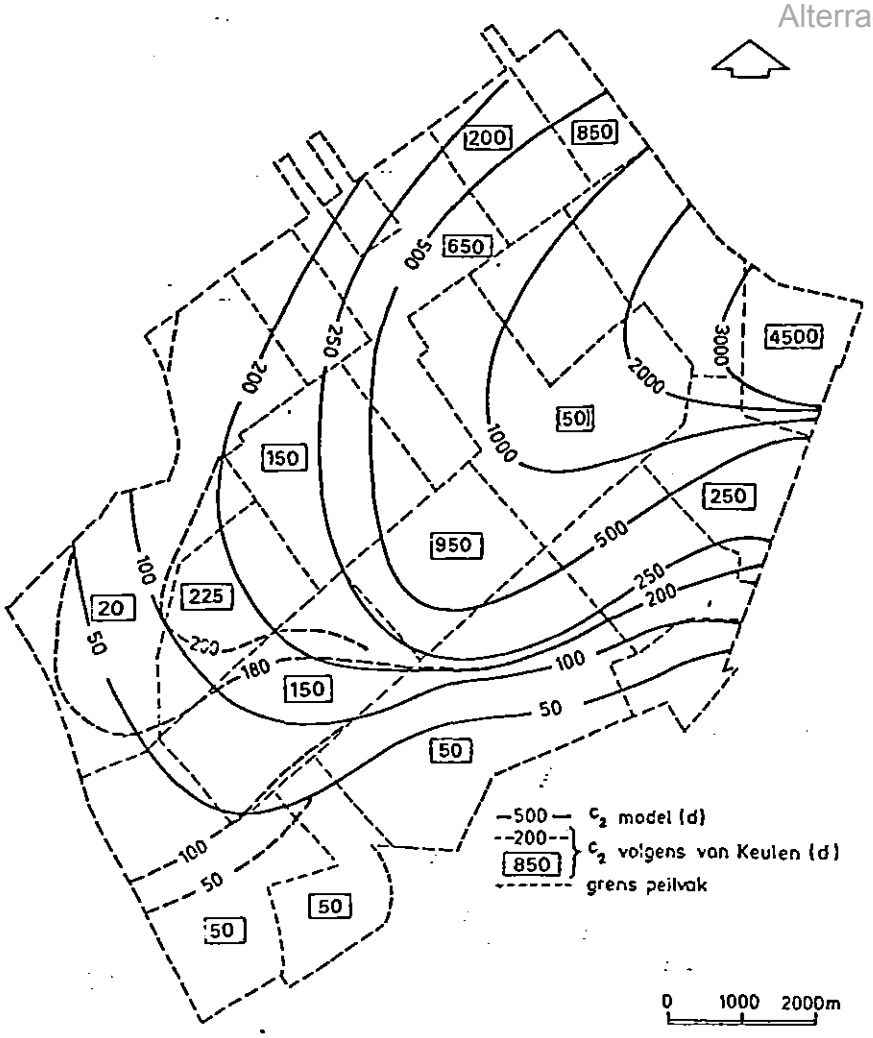


Fig. 16. Vergelijking tussen de met model FEMSATS berekende en uit waterbalansgegevens afgeleide c_2-waardenkaart

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

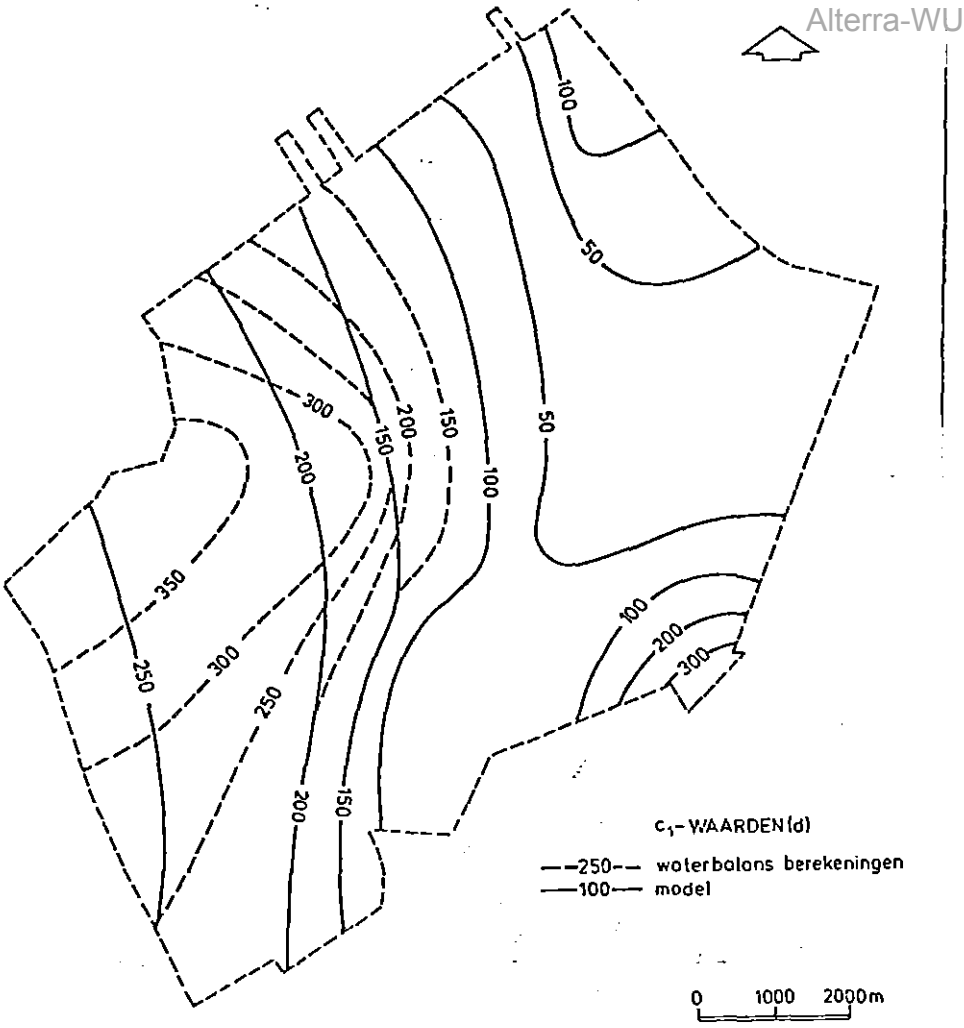


Fig. 17. Vergelijking tussen de met het model FEMSATS berekende en uit waterbalansgegevens afgeleide c_1-waardenkaart

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

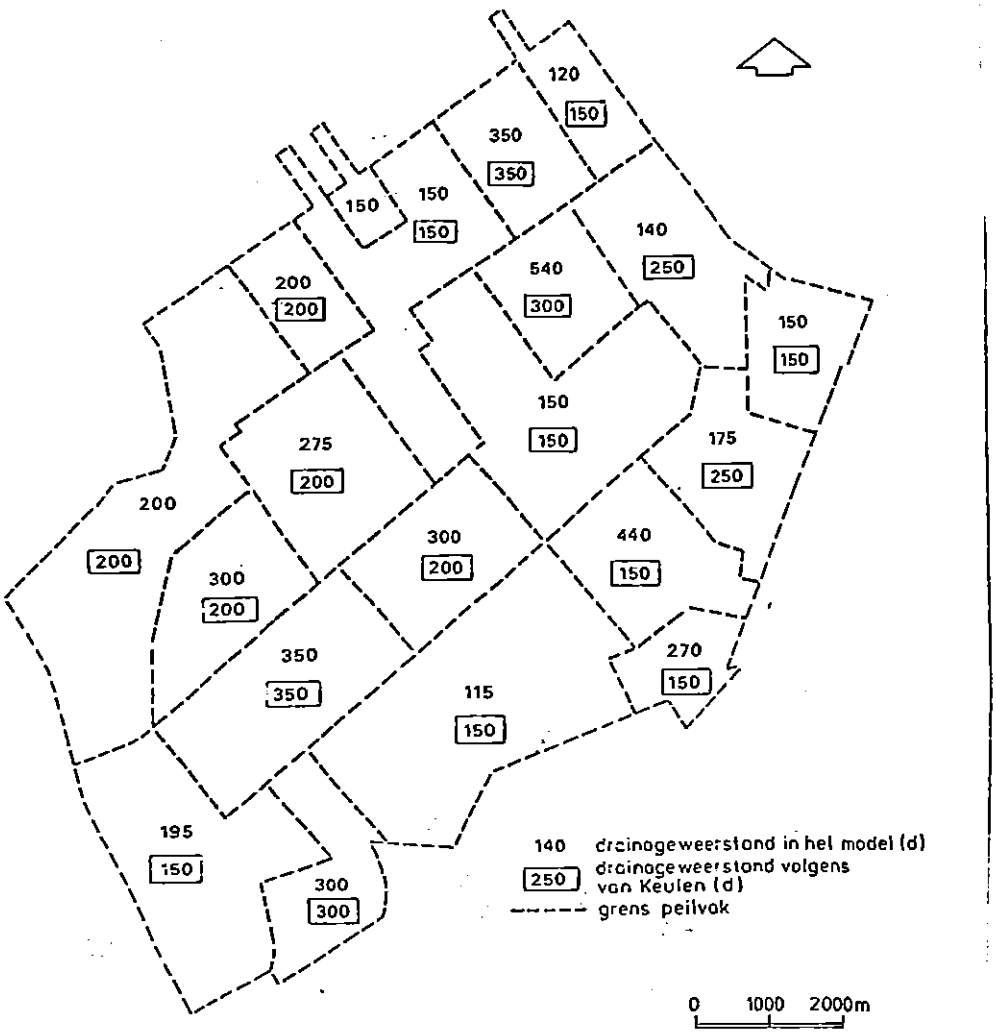


Fig. 18. Vergelijking tussen de met het model FEMSATS berekende en uit waterbalansgegevens afgeleide drainageweerstanden-kaart

Het peil in de wijk is in elk peilvak slechts op één plaats gemeten. Tengevolge van verschillen in de onderhoudstoestand van de wijken kunnen binnen één peilvak aanzienlijke verschillen optreden. VAN BAKEL (1981) vond voor een slecht, matig en goed onderhouden wijk respectievelijk 50, 20 en 5 cm opstuwing per 1000 m bij een afvoer van ca. 10 mm.d^{-1}. In het model wordt hiermee geen rekening gehouden.

. Randstijghoogte. Langs alle randen zijn de stijghoogten vastgelegd (Dirichlet randvoorwaarde). Hiervoor zijn de stijghoogtekaarten gebruikt, die door VAN KEULEN (1982) zijn geconstrueerd (zie fig. 19).

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

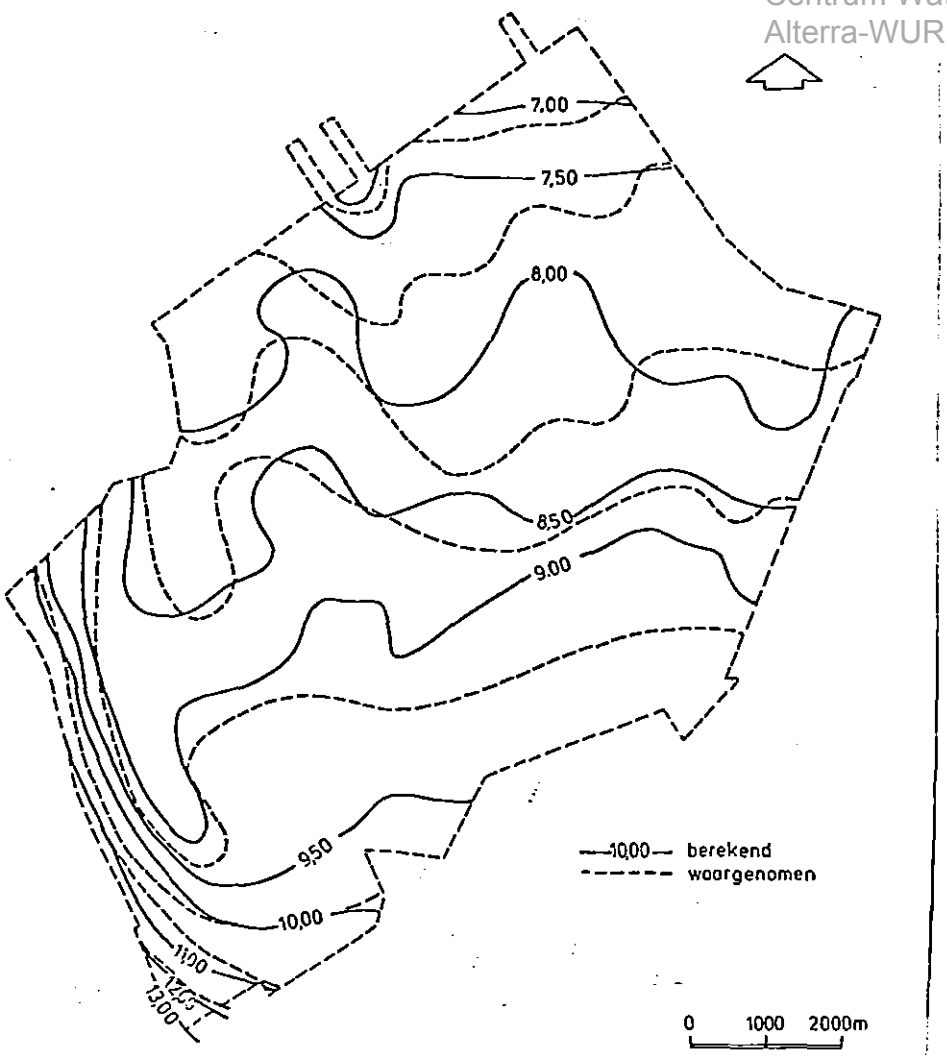


Fig. 19. Vergelijking tussen het met het model FEMSATS berekende isohypsenpatroon van het 1e watervoerende pakket en het uit waarnemingen afgeleide isohypsenpatroon (m +NAP), gedurende de winter 1980/1981

5.3. R e s u l t a t e n

Met de onder 2 beschreven gegevens is een eerste run gemaakt. De afwijkingen tussen gemeten en berekende waarden van de stijghoogte en de afvoer waren aanzienlijk.

. In het watervoerende pakket varieerden de verschillen tussen gemeten en berekende stijghoogten van -0,36 (lbb. 35) tot + 0,36 m (lbb.31).

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

- In het tweede watervoerende pakket bedroeg dit verschil -0,30 m (diepe spoelboring VII) tot + 0,08 m (diepe spoelboring IX).
- In het derde watervoerende pakket was het verschil - 0,51 m (diepe spoelboring VII) tot - 0,08 m (diepe spoelboring IV).
- Vergelijking tussen gemeten en berekende afvoeren leverde verschillen op van - 1,14 mm/d (O-36) tot + 0,72 mm/d (M-24).

Bij de aanpassing van de hydrogeologische parameters is er van uitgegaan dat de kD-waarden redelijk betrouwbaar zijn. De waterbalansmethode die gebruikt is voor de berekening van c en γ-waarden is minder betrouwbaar. Berekeningen van verschillende perioden leveren sterk uiteenlopende waarden voor bijvoorbeeld de γ-waarde). De belangrijkste aanpassing is daarom gepleegd in de c en γ-waarden, zodanig dat gemeten en berekende grondwaterstanden en afvoeren beter met elkaar overeenkomen. Omdat de berekende stijghoogten langs de westrand van het gebied het sterkste afweken van de gemeten stijghoogten zijn de c_1 en c_2 waarden in dit gebied aangepast (zie fig. 16 en 17). De c_2-waarde is zodanig verkleind dat de uiteindelijke waarde ook beter overeenkomt met de verbreiding van de Cromer klei (zie POMPER, 1981). De aangepaste c_1-waarde vertoont een geleidelijke toename naar het westen overeenkomstig de schaarse gegevens over de verbreiding van de Eemklei.

Ten aanzien van de uiteindelijke drainageweerstanden kunnen de volgende opmerkingen gemaakt worden:

- Een zone met een lage drainageweerstand (100 dagen) langs de grens van peilvak W-16 en W-26 is ingebouwd vanwege het voorkomen van een diepe hoofdwatergang ter plaatse. In de rest van het peilvak W-16 is de γ verhoogd tot 195 dagen, hetgeen voor het gebied langs de Hondsrug een redelijke waarde lijkt.
- De drainageweerstand van O-44 is verhoogd tot 540 dagen. Deze hoge waarde kan verklaard worden door de slechte onderhoudstoestand van de wijken. De afstand tussen twee ontwateringsmiddelen neemt toe en daarmee de drainageweerstand.
  Van de topografische kaart (zie fig. 2) is af te lezen, dat de dichtheid van afvoerende wijken in dit peilvak geringer is.
- De drainageweerstand in het peilvak O-38 is verhoogd tot 440 dagen. Deze waarde lijkt aan de hoge kant gezien de goede ontwateringstoestand van dit gebied.

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

- De verhoging van de drainageweerstand in 0-40 tot 270 dagen lijkt gezien de geringe slootdichtheid reëel.
- De overige waarden komen overeen met de waarden zoals die berekend zijn op grond van opschoningsproeven: Valtherblokker 175-240 dagen, Valthermond 200-215 dagen (WERKGROEP OPSCHONEN WIJKEN, 1983).

Nadat de boven aangegeven veranderingen in de hydrogeologische parameters in het model zijn aangebracht, zijn isohypsen berekend (zie fig. 19 tot 21). Ter vergelijking zijn in deze figuren zowel de waarde van de gemeten stijghoogte als de door VAN KEULEN geconstrueerde isohypsen opgenomen.

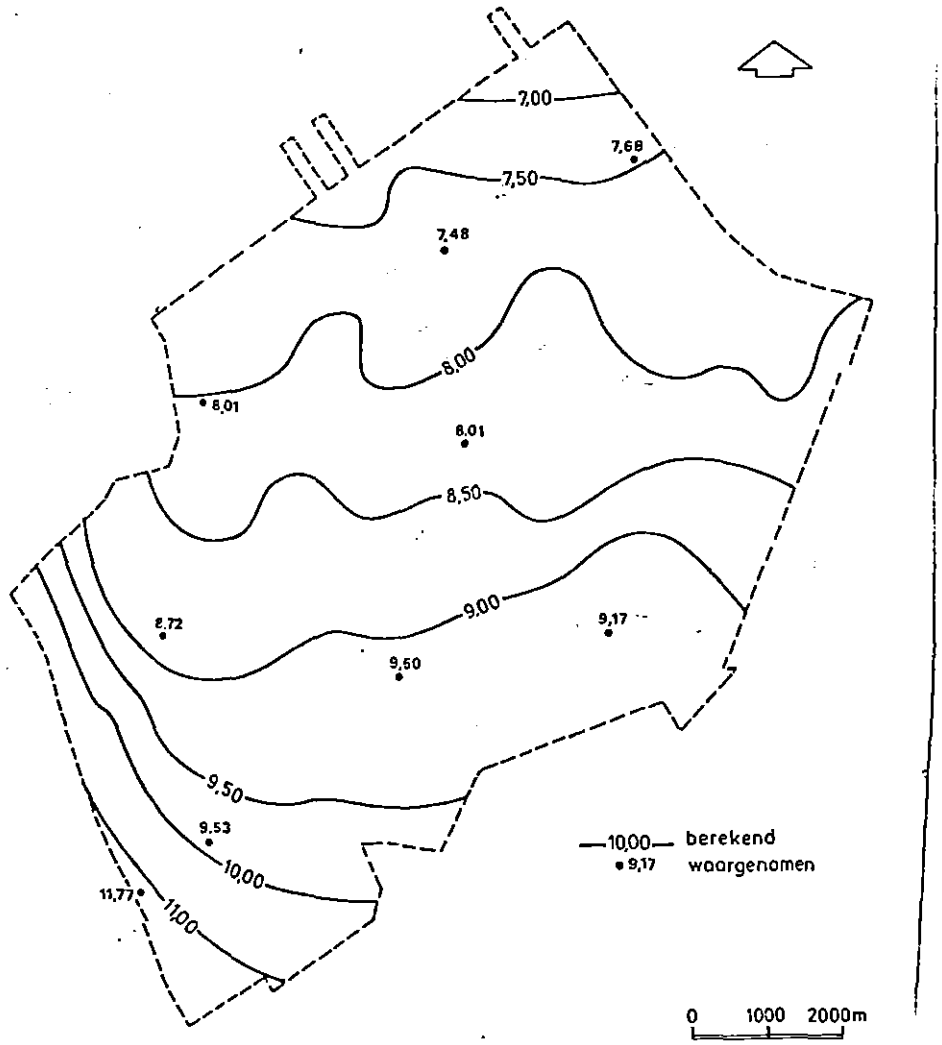


Fig. 20. Vergelijking tussen het met het model FEMSATS berekende isohypsenpatroon van het 2e watervoerende pakket en de waargenomen stijghoogtes (m +NAP), gedurende de winter 1980/1981

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

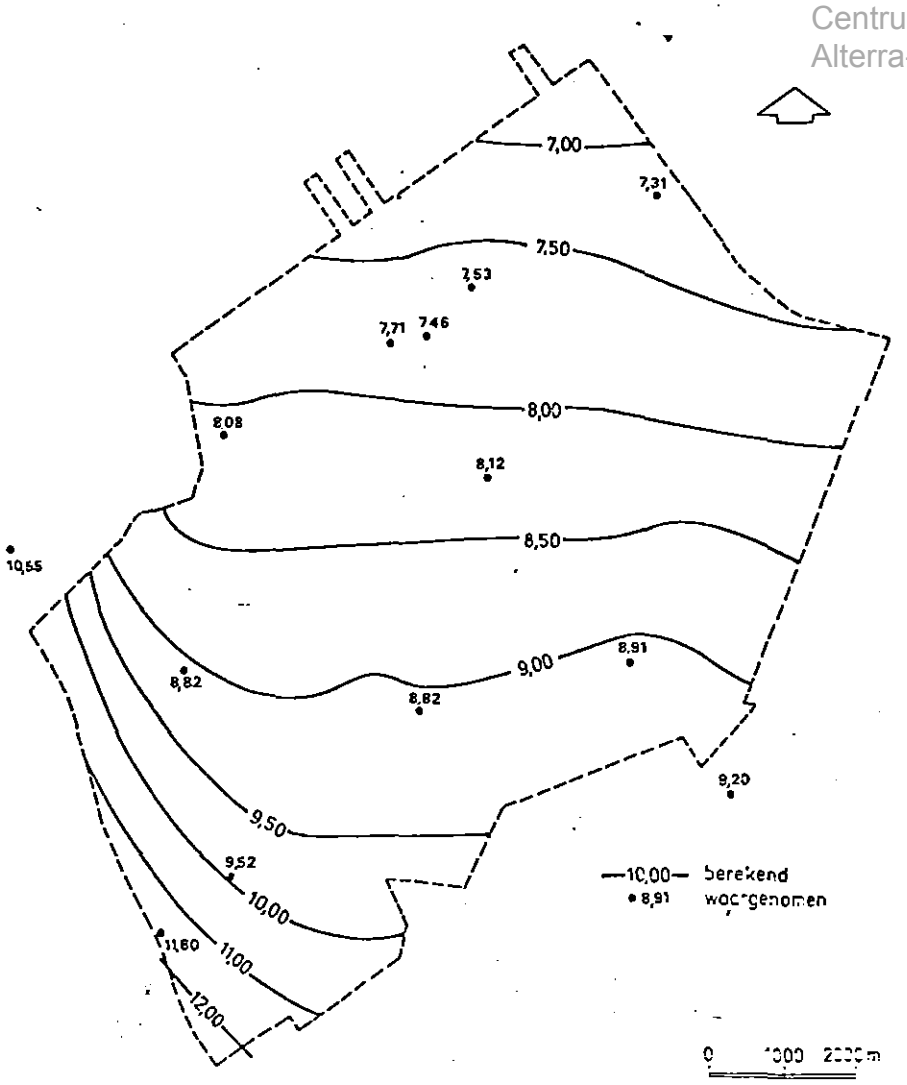


Fig. 21. Vergelijking tussen het met het model FEMSATS berekende isohypsenpatroon van het 3e watervoerende pakket en de waargenomen stijghoogtes (m +NAP), gedurende de winter 1980/1981

Vergelijking tussen modelresultaten en gemeten waarden kan uitsluitend geschieden ter plaatse van de stijghoogte meting. Afwijkingen in de isohypsen tussen de meetpunten zijn daarom niet erg van belang. Ten aanzien van de vergelijking kan het volgende opgemerkt worden:

. In het eerste watervoerende pakket is het globale patroon in de stijghoogten redelijk goed gesimuleerd. De hoge rug tussen Noorder dwarsplaatsen en de Markiezenplaats (richting N-Z) is in het modelresultaat goed te herkennen.
Eetzelfde geldt voor de toestroming naar het Dwarsdiep. De ijking

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

is echter niet op alle plaatsen optimaal. De 7,50 m +NAP lijn wijkt af van die door VAN KEULEN (1982) gegeven. Dit wordt veroorzaakt door:

a) een enigszins gewijzigde randconfiguratie
b) een gelijk open waterpeil voor het gehele peilvak. Tengevolge van een gedeeltelijk slechte onderhoudstoestand van de wijken in M-22 vindt er een grotere opstuwing plaats, hetgeen leidt tot een hogere grondwaterstand. Dit effect wordt in het model niet meegenomen.

Een tweede afwijking is de 8,00 m +NAP isohypse
Vooral in het peilvak O-44 wijkt deze af van de door VAN KEULEN geconstrueerde lijn. Hiervoor geldt dat er binnen het peilvak geen stijghoogten gemeten zijn, zodat vergelijking niet mogelijk is.

- Het regionaal grondwaterstromingspatroon in het 2e en 3e watervoerende pakket wordt goed gesimuleerd. Plaatselijke afwijkingen tot 0,37 m blijven echter aanwezig.

De berekende en gemeten afvoerdichtheden zijn gegeven in tabel 3. Het maximale verschil tussen deze twee waarden is -0,87 mm/d in het peilvak W-20, waarvan bekend is dat er grote kwel optreedt. In percentages van de gemeten afvoer uitgedrukt zijn de verschillen lager dan 40%. Uitzondering hierop vormt de afvoer van O-38. De absolute waarde van de gemeten afvoer is hier echter zo klein, dat de relatieve afwijking al snel zeer groot is. Beschouwen we de afvoerdichtheden over het westelijk, midden en oostelijk gebied, dan zijn deze afvoerdichtheden vrijwel overeenkomstig de gemeten afvoerdichtheden (afwijkingen van 0,05, 0,30 en -0,08 mm/d). De totale berekende afvoer van het gebied wijkt slechts 0,16 mm/d af van de gemeten afvoer.

Om een inzicht te geven in de regionale afvoer-kwel-stijghoogte relatie is de berekende kwel uitgezet in fig. 22 en is profiel AA' gegeven in fig. 23. Het regionale patroon voor kwel langs de Hondsrug (tot 2,8 mm/d), wegzijging in de hoge rug tussen Noorderdwarsplaatsen en de Markiezenplaats (tot -1 mm/d) ten oosten en ten westen ervan lichte kwel (tot 0,8 mm/d), wegzijging in het grootste deel van de oostelijke peilvakken (tot -1,5 mm/d) en kwel vlak langs het Mussel-kanaal (tot 1,1 mm/d), komt hieruit duidelijk naar voren. Wat de reden

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

Tabel 3. Gemeten en berekende afvoer intensiteiten gedurende de winter '80-'81 (10-10-'80 tot 27-2-'81)

Stuwpeil-vak	Open water-peil (m +NAP)	Gemeten afvoer-dicht-heid (mm/d)	Berekende afvoer-dicht-heid (mm/d)	Verschil (mm/d)	Procentueel verschil (% van gemeten afvoerdicht-heid)
W-14	7,30	3.30[1]	3,17(2,77)[2]	0,53	16
W-16	7,50	3,34	3,72(3,37)[3]	-0,03	1
W-18	8,51	bij W-16	2,68	-	-
W-20	6,41	2,39	3,26	-0,87	36
W-22	7,53	bij W-14	1,19	-	-
W-24	7,84	1,86	2,48	-0,62	33
W-26	8,24	1,99	2,13	-0,14	7
West		2,91	2,86	0,05	2
M-22	7,26	2,64[1]	1,92(2,05)[4]	0,59	22
M-24	8,22	1,35	1,89	-0,54	40
M-26	8,87	2,94	2,61	0,33	11
M-28	8,87	3,01	2,37	0,64	21
M-34	7,73	bij M-22	2,16	-	-
M-36	7,81	1,42	1,78	-0,36	25
Midden		2,45	2,15	0,30	12
O-32	6,78	1,92	1,74	0,17	9
O-34	7,03	3,07	2,86	0,21	7
O-36	8,17	2,63	1,86	0,77	29
O-38	8,68	0,45	0,98	-0,53	118
O-40	8,87	1,58	1,59	-0,01	1
O-42	6,68	1,48	1,49	-0,01	1
O-44	7,08	1,29	1,48	-0,19	15
O-46	7,54	1,76	1,87	-0,11	6
Oost		1,67	1,75	-0,08	5
Totaal		2,45	2,29	+0,16	6

1)Gecorrigeerd wegens foutieve meting
2)Tussen haakjes staat de afvoer van W-14 + W-22
3)Tussen haakjes staat de afvoer van W-16 + W-18
4)Tussen haakjes staat de afvoer van M-22 + M-34

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

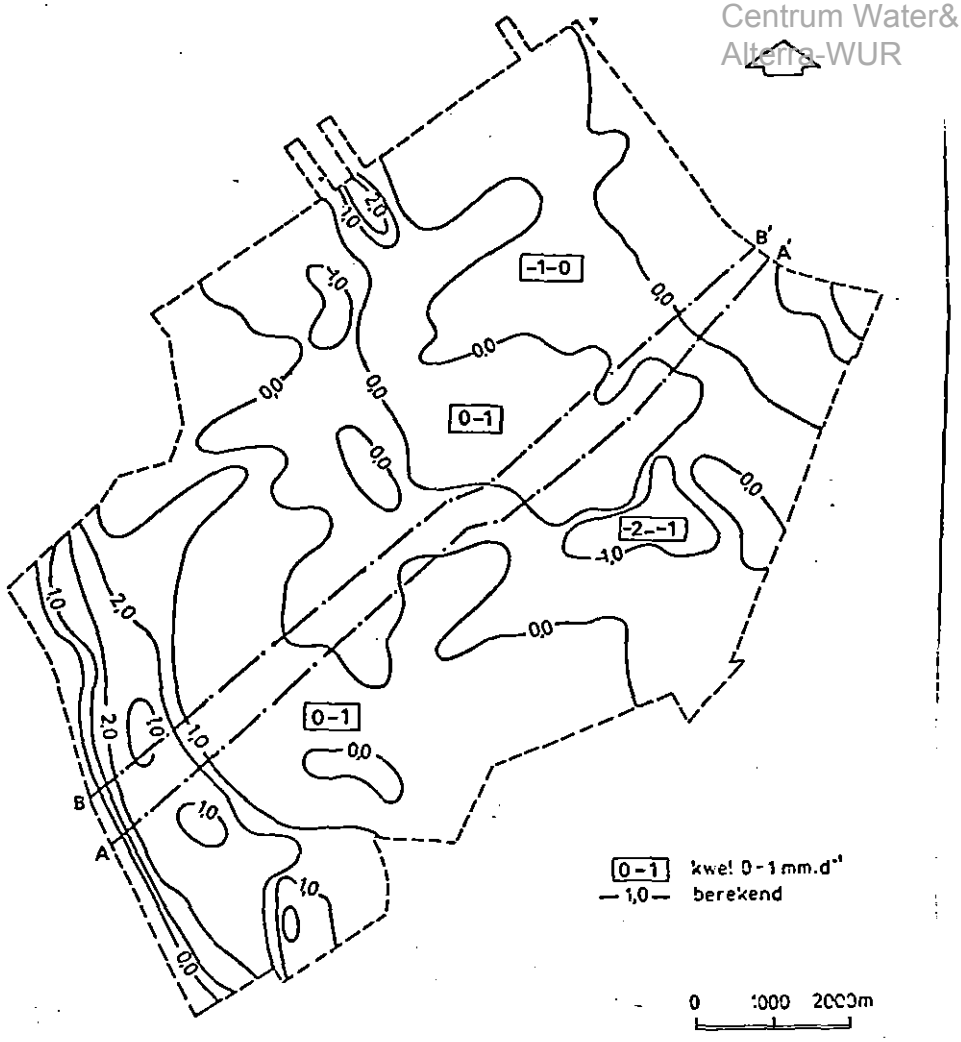


Fig. 22. Kwel en wegzijging in 'De Monden' gedurende de winter 1980/ 1981, berekend met het model FEMSATS

van het laatste verschijnsel is , is overigens niet duidelijk. Uit Profiel AA' blijkt eveneens dat het regionaal patroon van gemeten stijghoogten redelijk goed gesimuleerd wordt. Plaatselijk zijn er echter enige verschillen. Een voorbeeld vormt het stijghoogteverloop ter hoogte van de grens tussen peilvak M-24 en M-34. Hier wreekt zich het opgelegde constante stuwpeil over het gehele peilvak. Bij de grens met M-34 is in peilvak M-24 de afstand tot de stuw kleiner dan aan de westrand van het peilvak. Het werkelijke open waterpeil zal daardoor lager zijn dan in het model opgegeven, waardoor de stijghoogte ook zal afnemen. Uit de figuur is tevens de invloed van de maaiveldshoogteligging af te leiden.

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

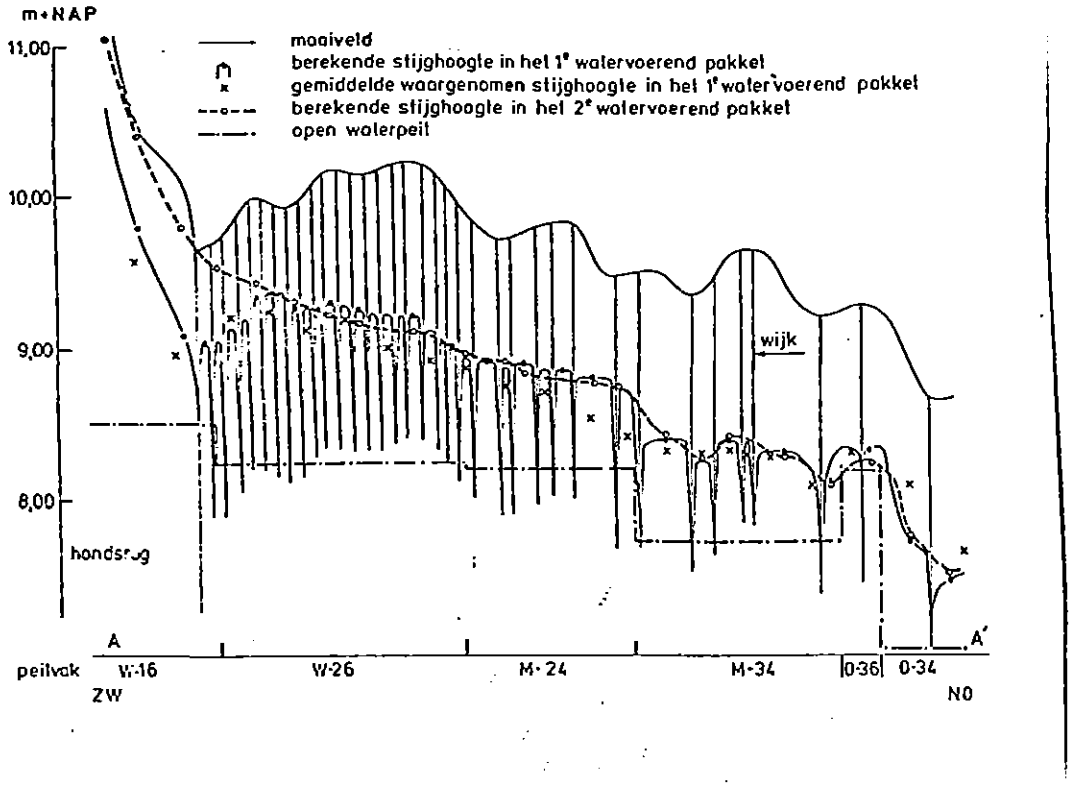


Fig. 23. Met FEMSATS berekende stijghoogten voor de winter 1980/1981 in profiel AA' (zie fig. 22)

Het profiel is geconstrueerd door het hoge gedeelte van W-26. Hierop vindt vrije afwatering plaats. Uit de modelberekening blijkt, dat de regionale trend-afname van de stijghoogte naar het NO - tengevolge van de maaiveldshoogte in W-26 wordt afgezwakt. Tenslotte blijkt uit profiel AA' de invloed van de grootte van de drainageweerstand. In W-26 is deze 350 dagen en in M-34 150 dagen. De gemiddelde opbolling van de grondwaterspiegel is in W-26 0,85 m en in M-34 0,32 m. De oorzaak hiervan is de invloed van de Eemklei (c_1 is gemiddeld 250 dagen in W-26 en 50 dagen in M-34).

Ter verduidelijking van het lokale effect van kwel/wegzijging is profiel BB' geconstrueerd (fig. 24). Hierin is de invloed van het wijkenstelsel weggelaten. Langs dit profiel vindt binnen de

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

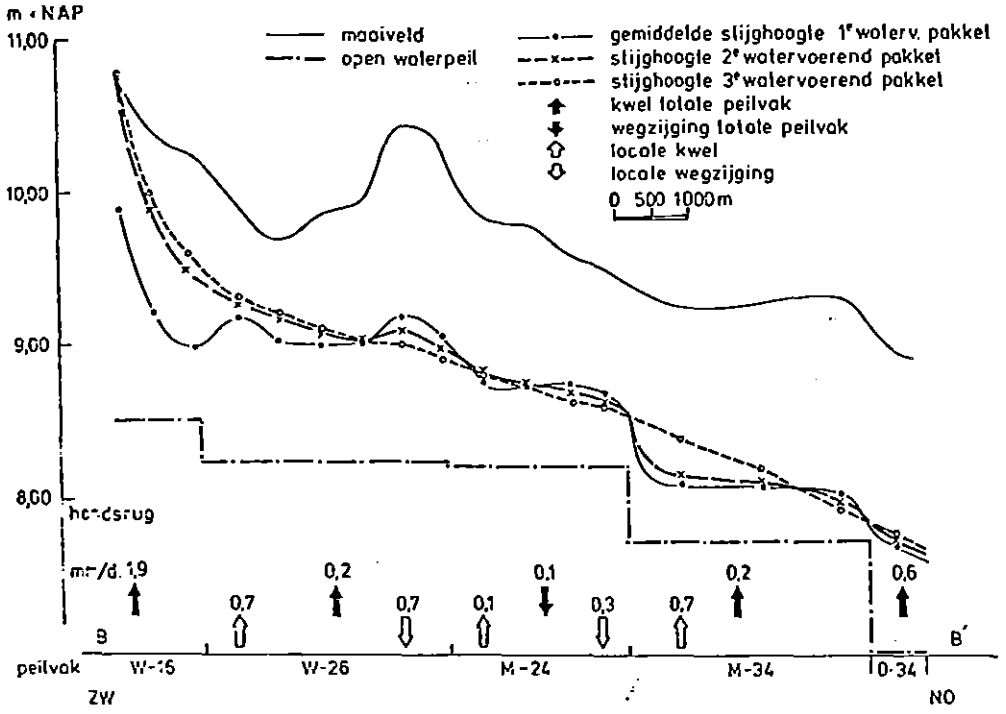


Fig. 24. Met FEMSATS berekende stijghoogten voor de winter 1980/1981 profiel BB' (zie fig. 22)

peilvakken W-26, M-24 en M-34 volgens de modelberekeningen zowel kwel als wegzijging plaats. Dit wordt veroorzaakt door:

a) de trappen in het open waterpeil waardoor water uit het bovenstroomse peilvak infiltreert in het lager gelegen peilvak;
b) locale verhogingen in het landschap (grens tussen W-26 en M-24).

5.4. Gevoeligheidsanalyse

Een gevoeligheidsanalyse is gewenst om het effect te onderzoeken van variaties in de hydrogeologische constanten. Als controle variabelen zijn genomen de afvoerdichtheden per peilvak en de gemiddelde stijghoogte in het eerste watervoerende pakket per peilvak.

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

Alle kD-, c- en γ-waarden zijn over het gehele gebied met een factor 0,5 en 2 vermenigvuldigd. In een enkel geval leidde dit tot tot numerieke problemen en is gekozen voor een factor 0,75 in plaats van 0,5 bij de variatie van γ en 1,5 in plaats van 2,0 bij de variatie van c_1.

De resultaten zijn uitgezet in tabel 4. Hierin staat de ijkingswaarde van de afvoer of de gemiddelde stijghoogte in de eerste kolom en vervolgens komen de verschillen tussen de nieuw berekende waarde en de ijkingswaarde.

Vooral het doorlaatvermogen van het derde watervoerende pakket, de drainageweerstand en de verticale weerstand van de eerste slecht doorlatende laag beïnvloeden de stijghoogten en de afvoeren sterk. Deze beïnvloeding variëert van:

	ΔU_d (mm/d)	Δh (m)
kD_3 * 0,5	-0,41 tot 0,10	-0,06 tot 0,03
kD_3 * 2,0	-0,10 tot 0,43	-0,04 tot 0,08
γ * 0,75	-0,01 tot 0,66	-0,19 tot -0,02
γ * 2,0	-1,13 tot -0,03	0,06 tot 0,50
c_1 * 0,5	-0,11 tot 0,42	-0,02 tot 0,05
c_2 * 1,5	-0,39 tot 0,07	-0,03 tot 0,01

Vooral de stijghoogten en afvoerdichtheden in het westelijk gebied blijken gevoelig te zijn voor variaties in de genoemde parameters. Verder valt het effect van niet-lineariteit op. De berekende veranderingen zijn niet in alle gevallen (b.v. in W-18 en W-26) evenredig met de aangebrachte veranderingen in de hydrogeologische parameter. Dit geldt het sterkste voor het westelijke gebied, waar het wijkenstelsel wel of geen afwaterende functie heeft afhankelijk van de grondwaterstand. Vergroting van kD_3 en γ en verkleining van c_1 leidt tot een hogere grondwaterstand. Bij overschrijding van de totale ontwateringsdiepte gaat afvoer optreden, hetgeen leidt tot een relatief grotere afvoer (zie fig. 25).

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

Tabel 4a. Resultaten van gevoeligheidsanalyse met betrekking tot afvoerintensiteit (mm/d), ten opzichte van ijkwaarde

Peil-vak	Ijkings-resul-taat	kD_1		kD_2		kD_3		Y		c_1		c_2	
		*0,5	*2,0	*0,5	*2,0	*0,5	*2,0	*0,75	*2,0	*0,5	*1,5	*0,5	*2,0
W-14A	3,08	-0,01	+0,01	-0,01	0,00	-0,02	0,01	0,66	-1,13	0,08	-0,05	+0,02	-0,03
W-14B	3,21	-0,01	+0,03	-0,04	0,06	-0,25	0,26	0,26	-0,66	0,27	-0,18	0,04	-0,07
W-16	3,72	-0,02	0,04	-0,13	0,15	-0,41	0,43	0,21	-0,60	0,42	-0,39	0,05	-0,09
W-18	2,68	0,00	-0,01	-0,03	0,05	-0,20	0,24	0,34	-0,74	-0,01	-0,01	0,02	-0,02
W-20	3,26	-0,04	0,07	-0,10	-0,10	0,03	0,00	0,46	-0,92	0,19	-0,15	0,09	-0,09
W-22	1,19	0,01	-0,02	0,06	-0,09	0,03	-0,03	0,05	-0,15	-0,11	0,07	-0,04	0,04
W-24	2,48	0,00	0,00	-0,02	0,05	-0,20	0,26	0,10	-0,32	-0,01	-0,01	+0,02	-0,03
W-26	2,13	0,00	-0,01	-0,01	0,03	-0,17	0,25	+0,09	-0,29	-0,08	0,03	-0,02	0,01
West	2,86	0,00	0,01	-0,03	0,05	-0,22	0,25	0,24	-0,56	0,14	-0,10	0,02	-0,04
M-22	1,92	0,00	0,01	-0,01	0,01	+0,01	-0,01	0,04	-0,12	-0,01	0,00	0,02	-0,01
M-24	1,89	0,00	0,00	0,01	-0,01	0,00	0,02	0,06	-0,19	-0,02	0,01	-0,01	0,01
M-26	2,61	-0,01	0,00	-0,03	0,03	-0,05	0,08	0,23	-0,42	0,01	-0,02	0,00	-0,01
M-28[1]	2,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	-1,18	0,00	0,00	0,00	0,00
M-34	2,16	0,00	0,00	-0,05	0,06	0,01	-0,02	-0,01	-0,03	0,00	-0,01	0,03	-0,02
M-36	1,78	0,01	0,00	0,03	-0,04	-0,01	0,03	0,05	-0,16	-0,04	0,03	-0,01	0,02
Midden	2,15	0,00	0,01	-0,02	0,01	-0,02	0,03	0,09	-0,20	0,00	0,00	0,01	0,00
O-32	1,74	-0,01	0,01	-0,02	0,02	0,01	-0,01	0,24	-0,44	0,00	-0,01	-0,02	0,02
O-34	2,86	-0,01	0,03	-0,14	0,20	0,01	-0,01	0,32	-0,57	0,02	-0,01	0,02	0,00
O-36	1,86	0,00	0,00	0,02	-0,02	0,06	-0,05	0,19	-0,39	0,00	0,00	-0,05	0,05
O-38	0,98	0,00	-0,01	0,09	-0,09	0,10	-0,10	0,08	-0,20	-0,04	0,04	-0,07	0,08
O-40	1,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	-0,04	0,34	-0,59	-0,06	0,07	-0,01	0,02
O-42	1,49	0,00	-0,01	0,04	-0,06	0,03	-0,02	0,16	-0,38	-0,02	0,01	-0,03	0,03
O-44	1,48	0,01	-0,02	0,07	-0,09	0,02	-0,02	0,12	-0,30	-0,01	0,01	-0,06	0,05
O-46	1,87	0,00	0,00	-0,04	0,08	0,01	0,00	0,18	-0,38	0,00	0,00	-0,02	0,02
Oost	1,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	-0,03	0,19	-0,39	-0,01	0,01	-0,03	0,04
Totaal	2,29	0,00	0,01	-0,01	0,03	-0,07	0,09	0,17	-0,30	0,05	-0,03	0,01	0,00

Tabel 4b. Resultaten van gevoeligheidsanalyse met betrekking tot geniddelde stijghoogten (m), ten opzichte van ijkwaarde

W-14A	8,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,03	0,10	0,01	-0,01	0,00	0,00
W-14B	9,21	0,00	0,00	-0,01	0,00	-0,04	0,03	-0,10	0,28	0,03	-0,02	0,00	-0,01
W-16	10,49	0,00	0,01	0,01	0,01	-0,04	0,05	-0,19	0,29	0,05	-0,03	0,01	-0,01
W-18	9,89	0,00	0,00	-0,01	0,01	-0,05	0,06	-0,10	0,28	0,00	-0,01	0,00	-0,01
W-20	6,02	0,00	0,01	-0,01	0,01	0,00	0,00	-0,05	0,15	0,02	-0,01	0,01	-0,01
W-22	7,95	0,00	-0,01	0,01	-0,02	0,00	-0,01	-0,04	0,13	-0,02	0,01	-0,01	0,00
W-24	8,61	-0,01	-0,01	-0,01	0,00	-0,06	0,06	-0,15	0,48	-0,01	-0,01	0,00	-0,02
W-26	9,09	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,05	0,08	-0,14	0,50	-0,02	0,01	0,00	0,01
M-22	7,68	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	-0,05	0,22	0,00	0,00	0,01	0,00
M-24	8,77	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	-0,11	0,41	0,00	0,01	0,00	0,00
M-26	9,28	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,01	-0,05	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00
M-28	9,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M-34	8,05	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	-0,07	0,29	0,00	0,00	0,01	0,00
M-36	8,41	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	-0,01	-0,10	0,36	-0,01	0,00	0,00	0,00
O-32	6,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,02	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
O-34	7,48	0,00	0,00	-0,02	0,02	0,00	0,00	-0,05	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00
O-36	8,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,05	0,14	0,00	0,00	-0,01	0,00
O-38	9,07	0,00	-0,01	0,03	-0,04	0,03	-0,04	-0,07	0,22	-0,02	0,01	-0,03	0,03
O-40	9,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,00	0,02	-0,08	0,01	0,01	0,00	0,01
O-42	7,23	0,0	0,00	0,02	-0,01	0,01	0,00	-0,06	0,19	0,00	0,01	0,00	0,01
O-44	8,00	0,01	-0,01	0,03	-0,04	0,01	-0,01	-0,14	0,43	-0,01	0,01	-0,03	0,02
O-46	7,98	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	-0,03	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00

1) slechts één knooppunt

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

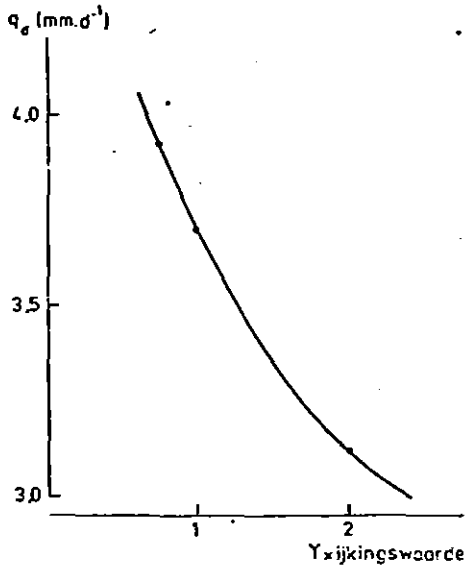


Fig. 25. Afvoerintensiteit in W-16 als functie van de drainageweerstand

5.5. D i s c u s s i e

De vraag kan gesteld worden of de bereikte nauwkeurigheid van de ijking voldoende is. Bij de beantwoording hiervan dienen de volgende aspecten betrokken te worden:

- De verhouding tussen het representatieve oppervlak van een stijghoogtemeting tot het invloedsoppervlak van een knooppunt bedraagt circa 1 : 2,5 x 10^7.
- Het doel van het gebruik van het model is de bepaling van gebiedsrelaties tussen diepe kwel/wegzijging en de gemiddelde stijghoogte.
- In het model zijn een aantal vereenvoudigingen in vergelijking met de werkelijke situatie geïntroduceerd: één flux voor het freatisch vlak, één ontwateringsbasis per gebied, één open waterpeil per peilvak.

Deze overwegingen leiden tot de conclusie dat verdere verbeteringen van de ijkingsresultaten zouden leiden tot schijnnauwkeurigheden.

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

6. KWEL/WEGZIJGING AFHANKELIJK VAN GRONDWATERSTANDEN EN OPEN WATERPEILEN

6.1. Inleiding

In hoofdstuk 3 is uitgelegd waarom een eenduidige relatie tussen kwel of wegzijging (q_a), de grondwaterstand in het eerste watervoerende pakket (h_1 of $\bar{h}_1$) en het open waterpeil (h_o) met het stationaire model FEMSATS een goede benadering van de werkelijkheid oplevert.

Omdat het effect van stuwpeilbeheer gedurende een groeiseizoen bestudeerd wordt, moeten in het model randvoorwaarden ingevoerd worden die gelden voor een gemiddelde 'zomer'situatie:

. Flux door de bovenrand van het model (q_b).
  In eerste instantie is aangenomen dat deze flux over het gehele gebied gelijk is.

. Stijghoogten en/of randfluxen in de randknooppunten.
  Omdat peilbeheer in de regel niet beperkt blijft tot één wateraanvoergebied kan aangenomen worden dat de grondwaterstandsveranderingen als gevolg hiervan ook buiten het gebied zullen optreden. Dit houdt in dat de flux over de rand constant gehouden kan worden. Langs de westrand van het gebied gaat deze veronderstelling echter niet op omdat er op de Hondsrug geen stuwpeilbeheer mogelijk is. Hierlangs is de grondwaterstand constant verondersteld. Een gemiddelde verhoging van de grondwaterstand in het studiegebied zal daardoor een geringere totale kwel tot gevolg hebben.
  De randfluxen per knooppunt zijn bepaald aan de hand van de resultaten voor de wintersituatie. De grondwaterstanden langs de westrand zijn bepaald door gemiddelde grondwaterstanden over de periode 1970-1981 te interpoleren naar de knooppunten op de westrand.

. Open waterpeilen.
  Per peilvak is een constant peil ingevoerd. Als zomerpeil is genomen de waarde opgegeven door het Waterschap 'de Veenmarken' (zie tabel 5).

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

Tabel 5. In FEMSATS ingevoerde zomerpeilen in het wateraanvoergebied 'De Monden'

Peil-vak	Maai-veld (m)	Zomer-peil (m+NAP)	Zomer-peil (m-mv)	Peil-vak	Maai-veld (m)	Zomer-peil (m+NAP)	Zomer-peil (m-mv)
W-14	9,84	7,60	2,04	M-34	10,05	7,85	1,20
W-16	11,24	8,60	2,64	M-28	9,54	8,20	1,34
W-18	10,55	9,10	1,45	M-36	10,37	9,20	1,17
W-20	8,98	7,85	1,13				
W-22	9,29	7,95	1,24	O-32	8,09	6,85	1,24
W-24	9,33	8,10	1,23	O-34	8,50	7,30	1,20
W-26	9,83	8,60	1,23	O-36	9,21	8,00	1,21
				O-38	9,69	8,50	1,19
				O-40	10,33	9,10	1,23
M-22	9,83	7,55	1,28	O-42	8,24	7,10	1,14
M-24	9,60	8,40	1,20	O-44	8,73	7,65	1,08
M-26	10,13	8,80	1,33	O-46	9,14	7,90	1,24

De gemiddelde zomerpeilen in m -mv, in tabel 5, zijn in bijna alle peilvakken groter dan de in andere berekeningen (VAN WALSUM en VAN BAKEL, 1982) aangehouden streefpeilen van 1,05 m -mv. De oorzaak hiervan is het effect van maaiveldsdaling.

Gemiddelde maaiveldshoogten

In de FEMSATS berekeningen is uitgegaan van de maaiveldshoogteligging in 1982. Daarvoor is voor het gehele gebied een bodemdaling van 15 cm sinds de maaiveldshoogtebepaling ingevoerd. De opgegeven zomerpeilen zijn echter afgestemd op een eindsituatie waarin de bodemdaling circa 30 cm bedraagt. Op de q_a (h_o,h_1) relaties heeft dit echter geen effect.

Door h_o te variëren tussen het ingevoerde zomerpeil en zomerpeil -50 cm en q_b tussen 5,5 mm.d^{-1} en -2,0 mm.d^{-1} wordt de eenduidige relatie tussen q_a, h_o en $\bar{h}_1$ berekend. In plaats van de gemiddelde grondwaterstand $\bar{h}_1$ kan ook de gemiddelde grondwaterstandsdiepte $\bar{h}_*$ genomen worden.

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

6.2. Resultaten

De berekende q_a (h_o,$\bar{h}$*) relaties zijn voor alle peilvakken uitgezet in fig. 26 tot en met 32. Alvorens in te gaan op de kenmerken van de onderscheiden typen relaties volgen enkele algemene opmerkingen over de relaties:

- In de figuren is kwel positief, wegzijging negatief.
- Bij de constructie van de lijnen in fig. 27 tot en met 32 is rekening gehouden met de niet in de figuur aangegeven onnauwkeurigheid in het resultaat. Deze is het gevolg van de iteratieve berekeningswijze en het gekozen tolerantie in de $\bar{h}_1$ (0,001-0,005 m).
- Omdat de invloed van h_o relatief klein is zijn alleen twee uiterste gevallen uitgezet:
  - in het hele peilvak is h_o gelijk aan het zomerpeil (zie tabel 5)
  - in het gehele peilvak is h_o gelijk aan het zomerpeil -0,5 m.
- Omzetting van de uitgezette grondwaterstandsdiepte ($\bar{h}$*) naar stijghoogte ($\bar{h}_1$) kan gedaan worden met behulp van de in tabel 5 gegeven gemiddelde maaiveldshoogte per peilvak.

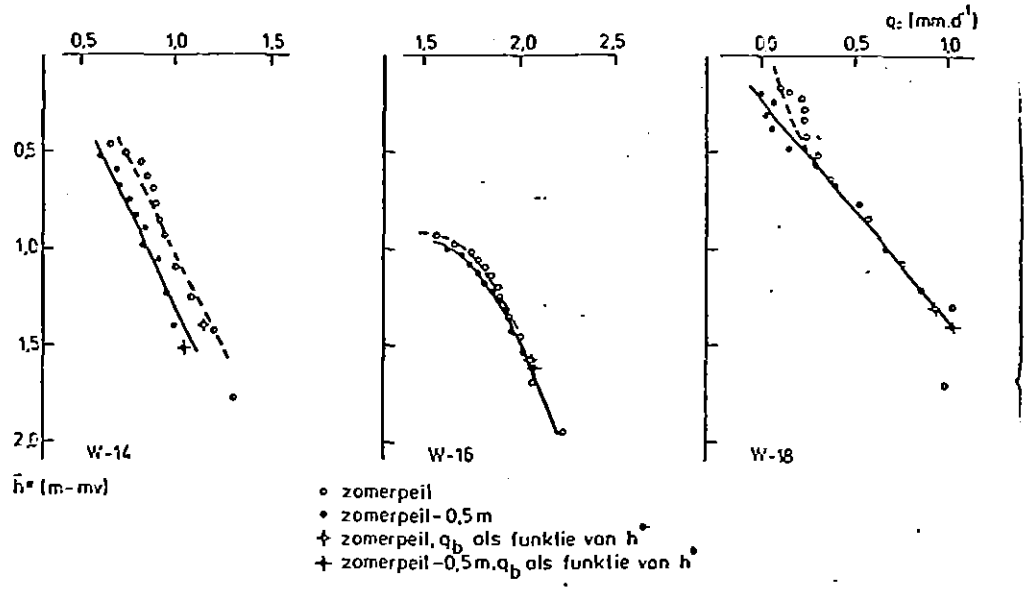


Fig. 26. Met FEMSATS berekende kwel/wegzijging per peilvak, q_a, als functie van open waterpeil, h_o, en gemiddelde grondwaterstandsdiepte, $\bar{h}$*: type A

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

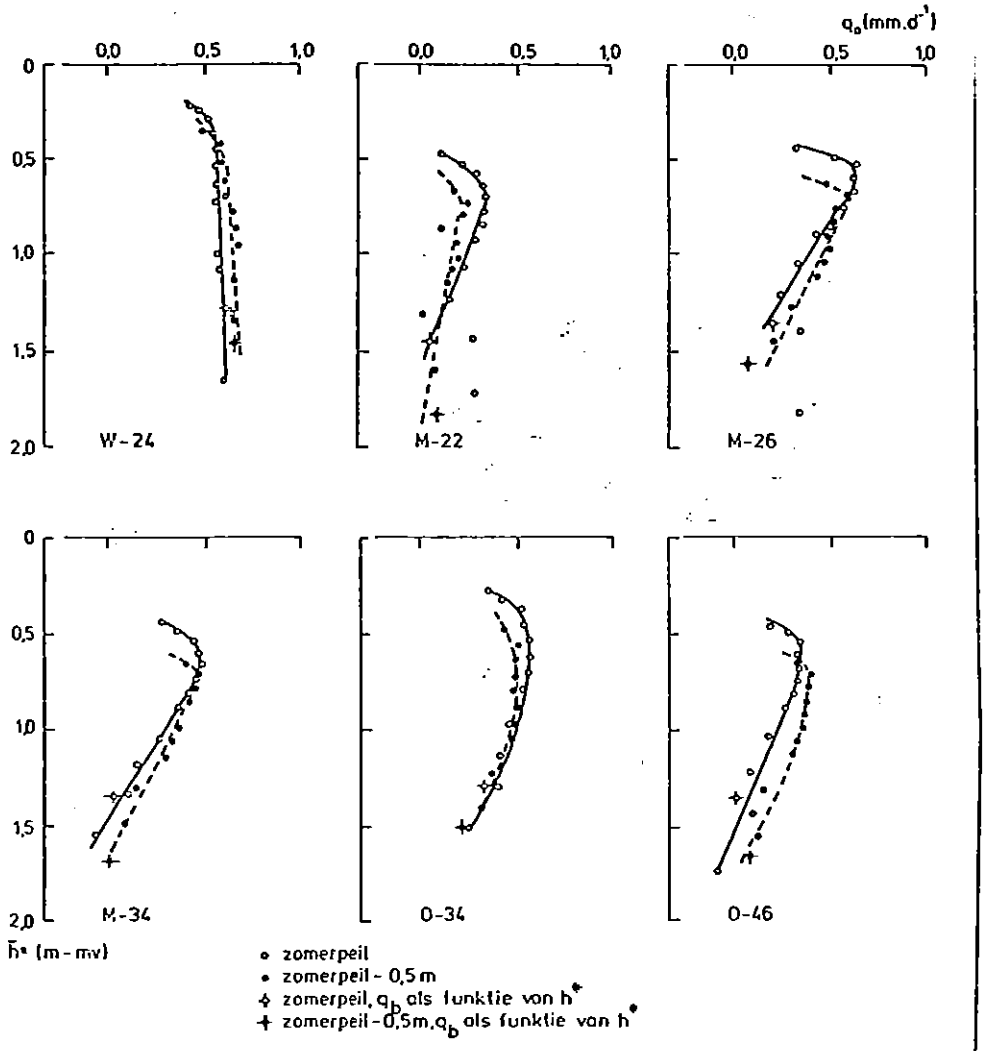


Fig. 27. Met FEMSATS berekende kwel/wegzijging per peilvak, q_a, als functie van openwaterpeil, h_o, en gemiddelde grondwaterstandsdiepte, $\bar{h}^*$: type B

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

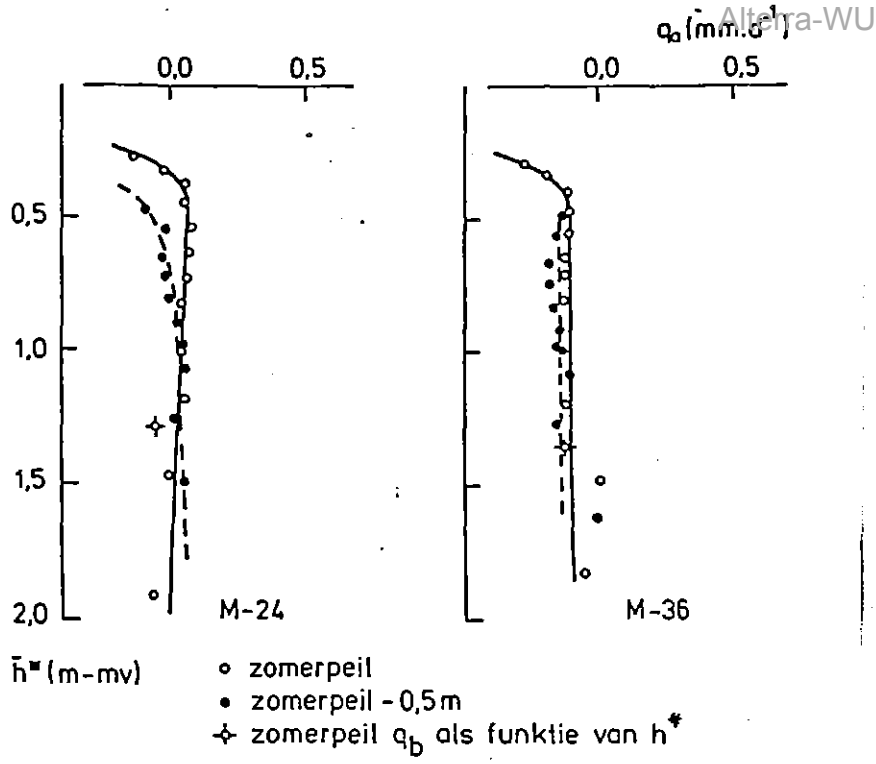


Fig. 28. Met FEMSATS berekende kwel/wegzijging per peilvak, q_a, als functie van openwaterpeil, h_o, en gemiddelde grondwaterstandsdiepte, $\bar{h}^*$, type C

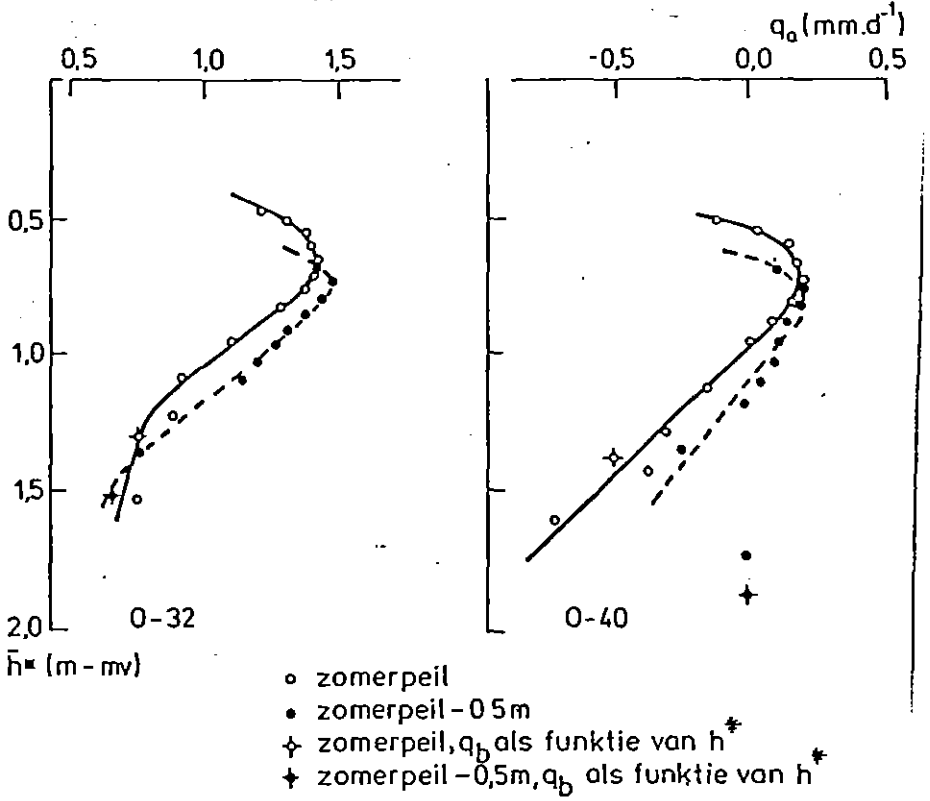


Fig. 29. Met FEMSATS berekende kwel/wegzijging per peilvak, q_a, als functie van openwaterpeil, h_o, en gemiddelde grondwaterstandsdiepte, $\bar{h}^*$, type D

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

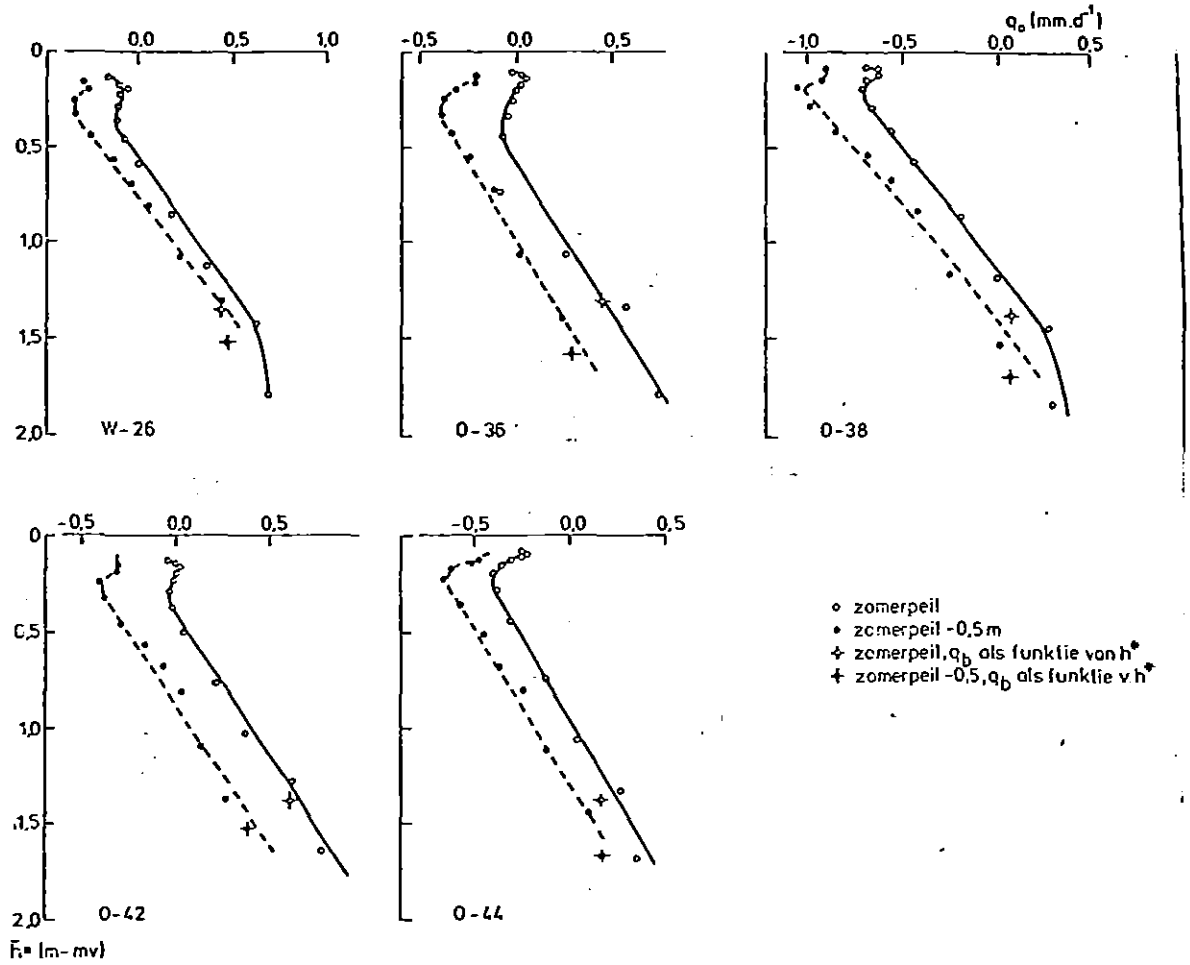


Fig. 30. Met FEMSATS berekende kwel/wegzijging per peilvak, q_a, als functie van openwaterpeil, h_o, en gemiddelde grondwaterstandsdiepte, $\bar{h}^*$, type E

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

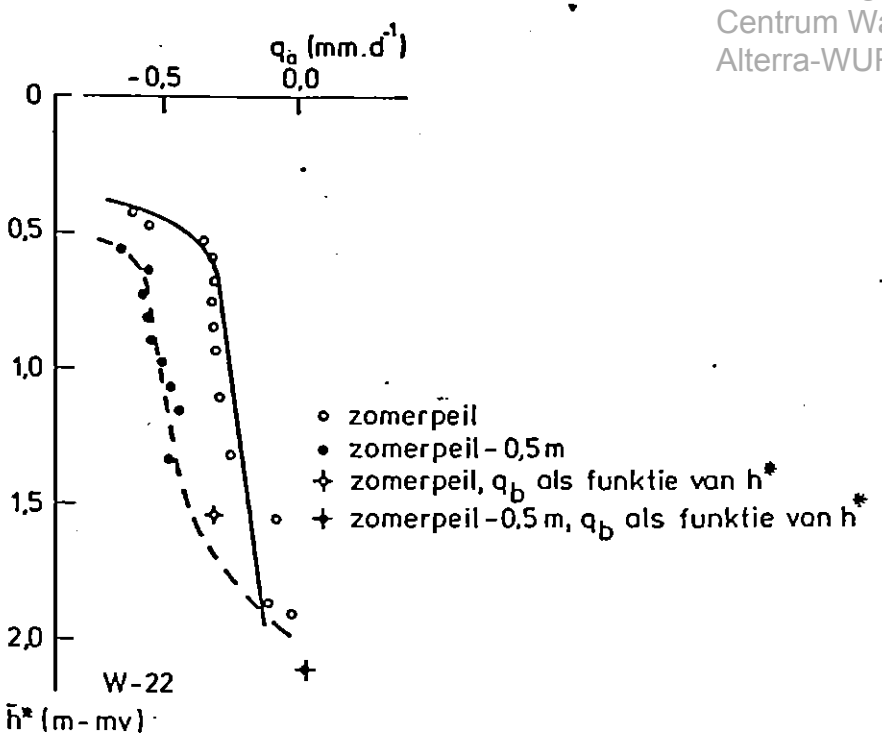


Fig. 31. Met FEMSATS berekende kwel/wegzijging per peilvak, q_a, als functie van openwaterpeil, h_o, en gemiddelde grondwaterstandsdiepte, $\bar{h}^*$: type F

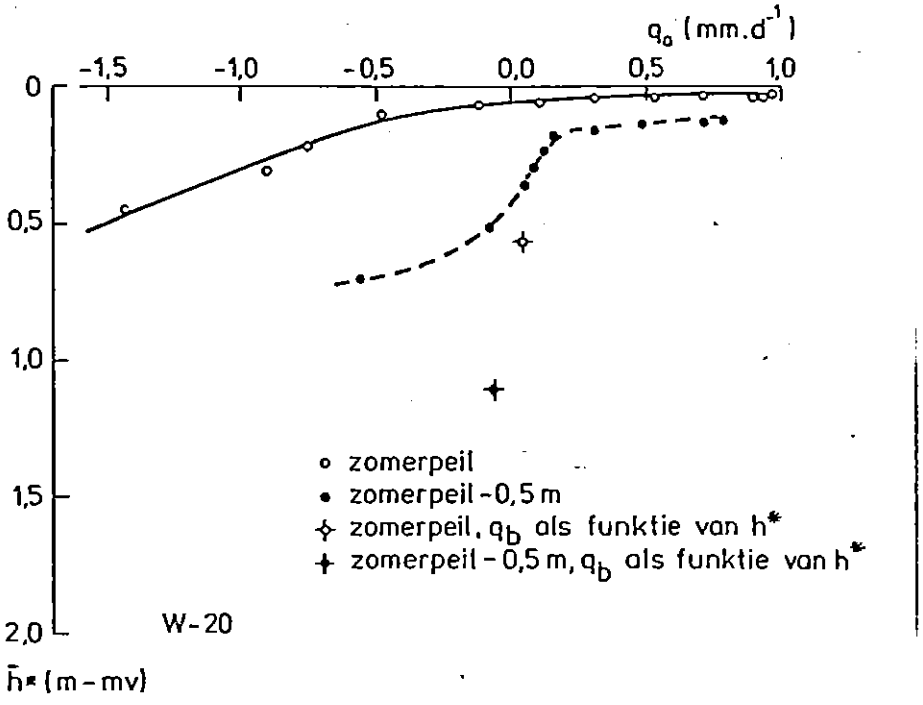


Fig. 32. Met FEMSATS berekende kwel/wegzijging per peilvak, q_a, als functie van openwaterpeil, h_o, en gemiddelde grondwaterstandsdiepte, $\bar{h}^*$: type G

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

. In de figuren zijn ook de resultaten uitgezet van de berekening waarin de capillaire opstijging ($q_b < 0$) afhankelijk is van de h_o (zie vgl. 4.1; fig. 10). Per knooppunt is één van de twee volgende relaties ingevoerd, afhankelijk van het percentage gemengwoelde percelen in het invloedsoppervlak van een knooppunt:

				>50% gemengwoeld	<50 % gemengwoeld
		$h^*_{c,1}$	(m)	1,05	0,82
		$h^*_{c,2}$	(m)	1,37	1,19
		h^*_{max}	(m)	1,83	1,55
$q_{f,max}$	=	q_{max}	($mm.d^{-1}$)	-4,0	-0,30
$q_{f,i}$	=	$q_{b,i}$	($mm.d^{-1}$)	-1,3	-0,15

. Deze gegevens zijn gebaseerd op berekeningen met het model CRISP voor een al dan niet gemengwoelde iWp-grond (VAN BAKEL, pers. comm.). De op deze manier berekende q_a wijkt in het algemeen minder dan 0,15 $mm.d^{-1}$ af van de q_a (h_o,$\bar{h}^*$) relatie berekend met opgegeven fluxen.
Hieruit blijkt, dat de aanname dat q_b constant is over het gehele gebied ook in geval van capillaire opstijging niet leidt tot onwaarschijnlijke uitkomsten. Een uitzondering hierop vormt het peilvak W-20. De oorzaak hiervan is het feit, dat de opgegeven maaiveldshoogtes voor de twee knooppunten de gemiddelde maaivelds-hoogte onderschatten (zie ook tabel 5). De capillaire opstijging wordt in het model dan overschat, waardoor q_a bij een zekere h* groter zal zijn dan in het geval van gegeven q_b.
Een tweede uitzondering betreft peilvak O-40. Bij het zomerpeil -0,5 m is hier geen infiltratie meer mogelijk. Capillaire opstijging is evenmin mogelijk vanwege de te diepe grondwaterstand. Het gevolg is q_a = 0,0 $mm.d^{-1}$ en $\bar{h}_1 = \bar{h}_2$.

. In het model is aangenomen dat bij een grondwaterstandsdiepte kleiner dan 0,20 m -mv de drainageweerstand (γ) lineair afneemt tot 10 dagen als de grondwaterstand het maaiveld bereikt. Hiermee worden de zwetsloten en de oppervlakteafvoer in locale depressies gesimuleerd. De omkering in richting in veel $q_a(h_o, \bar{h}^*)$ relaties bij ondiepe grondwaterstanden is hiervan het gevolg.

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

Bij de analyse van de $q_a(h_o,\bar{h}^*)$ relaties is onderscheid gemaakt tussen de volgende typen:

. type A (fig. 26)(W-14, W-16, W-18). Kwelgebieden waarin q_a groter wordt bij toenemende $\bar{h}^*$ (q_a varieert van 0,5 tot 2,2 mm.d^{-1}). q_a is sterk afhankelijk van $\bar{h}^*$. Daarentegen heeft een verhoging van h_o een kleine toename van q_a tot gevolg ($\frac{\Delta q_a}{\Delta h_o}$ = 0,28 mm.d^{-1}.m^{-1} in W-14).

Dit effect is het geringste in W-16. In grote delen van dit gebied treedt vrije afwatering op. Veranderingen in h_o zullen daarom nauwelijks invloed hebben op q_a.

. type B (fig. 27) (W-24, M-22, M-26, M-34, O-34, O-46).
De gevoeligheid van q_a voor een verandering in h_o is evenals bij type A gering. Verhoging van h_o in het gehele gebied heeft voor dit type deelgebieden (met uitzondering van O-34) een verlaging van de q_a tot gevolg. Dit is in tegenstelling tot de relatie bij type A. De oorzaak hiervan is, dat randfluxen vrijwel constant zijn. Uit de waterbalans van het totale gebied volgt dat toename van q_a in één deelgebied als gevolg van een verandering in h_o in andere deelgebieden gecompenseerd moet worden door een afname in q_a.

. type C (fig. 28) (M-24 en M-26). Te vergelijken met type B.
Er is nauwelijks kwel of wegzijging. Alleen bij zeer ondiepe grondwaterstanden ($h^* \leq \pm 0{,}5$ m) komt wegzijging voor. De geringe invloed van $\bar{h}^*$ en h_o op q_a is het gevolg van kwel en wegzijging binnen één peilvak (zie ook 5.3).

. type D (fig. 29) (O-32 en O-40). Te vergelijken met B. Er treedt echter een sterker daling op van q_a als $\bar{h}^*$ groter wordt dan de grenswaarde.

. type E (W-26, O-36, O-38, O-42, O-44). Kwel of wegzijging is afhankelijk van $\bar{h}^*$. In het traject $\bar{h}^*$ = 0 tot $\bar{h}^*$ = 0,2 m neemt q_a toe. Bij verdere daling van de grondwaterstand neemt q_a af. Boven een grenswaarde van $\bar{h}^*$, die tussen 0,2 en 0,6 m -mv ligt, wordt q_a opnieuw groter bij toenemende $\bar{h}^*$. De invloed van h_o op q_a is relatief groot in deze gebieden:

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

$$(\frac{\Delta q_a}{\Delta h_o} = 0{,}6 \text{ mm.d}^{-1}.\text{m}^{-1} \text{ in } 0\text{-}42 \text{ bij } h^* = 2{,}0 \text{ m -mv})$$

. type F (fig. 31). Wegzijgingsgebied W-22. Bij een grondwaterstandsdiepte groter dan 0,6 m -mv verandert q_a nauwelijks. Regionale verhoging van het openwaterpeil leidt tot een relatief grote vermindering in de wegzijging $(\frac{\Delta q_a}{\Delta h_o} = 0{,}48 \text{ mm.d}^{-1}.\text{m}^{-1})$

. type G (fig. 32). Zeer sterke variatie in kwel/wegzijging gecombineerd met een grote invloed van h_o (W-20). Bij toenemende h* neemt q_a sterk af. Gezien de eerder gemaakte opmerking over de maaiveldshoogte in W-20 in het model is de betrouwbaarheid van de q_a $(h_o,\bar{h}^*)$ relaties voor dit peilvak gering. Omdat het oppervlakte klein is heeft een fout in dit deelgebied weinig invloed op de resultaten voor de andere deelgebieden.

Resumerend kan gesteld worden dat het westelijk deel van 'De Monden' vooral gekenmerkt wordt door type A. Daarnaast komen type B, E, F en G voor. In het middengedeelte komen type B en C voor. In het oostelijk gedeelte is type E het meest voorkomend. Daarnaast komen type B en D voor.

ICW-nota 1515
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

LITERATUUR

WERKGROEP OPSCHONEN WIJKEN, 1983. Opschonen wijken. Verslag van een proef in de Drentse Veenkoloniën

BAKEL, P.J.T., 1978. A numerical model for non-stationary saturated groundwater flow in a multi-layered system. ICW-nota 1077

BELMANS, C., J.G. WESSELING, R.A. FEDDES, 1982. Simulation model of the waterbalance of a cropped soil providing different types of boundary conditions (SWATRE). Nota 1257 ICW

GUN, J.A.M. VAN DER, 1979. Schatting van de elastische bergingscoëfficiënt van zandige watervoerende pakketten. Jaarverslag DGV-TNO, pp 51-60

KEULEN, T. VAN, 1982. Bepaling van geohydrologische grootheden uit waterbalansen en grondwaterstanden van het wateraanvoergebied 'De Monden'. Nota 1363 ICW

POMPER, A.B., 1981. De geohydrologische opbouw van het proefgebied 'De Monden' in het waterschap 'De Veenmarken'. Nota 1316 ICW