KWEL EN NATUURONTWIKKELING IN HET BINNENVELD TUSSEN DE NEDER-RIJN EN VEENENDAAL

Deel 1: Tekst

G. Bier, D. van der Hoek, S. van der Schaaf (red.) en T.J. Spek

RAPPORT 19 Januari 1992

Vakgroep Hydrologie, Bodemnatuurkunde en Hydraulica
Nieuwe Kanaal 11, 6709 PA Wageningen

ISSN 0926-230X

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD

Voor het onderzoek, waarvan dit rapport het resultaat is, is op 27 juni 1990 opdracht gegeven aan de Vakgroep Hydrologie, Bodemnatuurkunde en Hydraulica van de Landbouwuniversiteit door de Directie Natuur-, Milieu- en Faunabeheer van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. Half september 1990 is daadwerkelijk met het onderzoek begonnen, nadat de vakgroep erin was geslaagd, een projectmedewerker aan te trekken.

Nadat de betreffende medewerker in december 1990 was vertrokken, werd het werk overgenomen door T.J. Spek, die in de loop van 1991 het grootste deel van de grondwatermodelstudie en een groot deel van het eerste concept-rapport (mei 1991) verzorgde.

Voor de waterkwaliteitsanalyses en de interpretatie daarvan werd D. van der Hoek van de Vakgroep Natuurbeheer van de Landbouwuniversiteit ingeschakeld. Het rapport mag in die zin als een co-productie van twee LUW-vakgroepen worden gezien.

Het project werd begeleid door een begeleidingscommissie, waarin zitting hadden:

C. Beets	Staatsbosbeheer
I. de Boer	Landinrichtingsdienst
M.W.J. Bons	Consulentschap NMF (later NBLF) in de provincie Utrecht
H. Nobbe	Waterschap Vallei en Eem
J. van Noord	Waterschap Gelderse Vallei
J.M.P.M. Peerboom	Provincie Utrecht, Dienst Milieu en Water
N.G.J. Straathof	Vereniging tot Behoud van Natuurmonumenten
A.J. Vette	Provincie Utrecht, Dienst Ruimte en Groen

De commissie is 7 maal bijeengeweest. Op de bijeenkomsten waren steeds tenminste twee van de auteurs aanwezig. Het laatste concept was begin augustus 1991 gereed en zou in september 1991 in definitieve vorm verschijnen. Eind augustus bleek, dat de verkregen informatie met betrekking tot de peilen in het voorgenomen A2-werk onjuist was. In het najaar van 1991 moest daarom vrij veel werk worden overgedaan. In die tijd is door de eindredacteur ook besloten tot een wat andere opzet die wellicht beter dan de versie van augustus 1991 tegemoet zou kunnen komen aan enkele suggesties van enige leden uit de begeleidingscommissie.

Omdat inmiddels T.J. Spek bij de vakgroep was vertrokken, is een groot deel van diens rol overgenomen door G. Bier, die overigens ook al in een eerder stadium bij het modelwerk was betrokken.

Vrijwel geen hoofdstuk heeft een enkele auteur. Van de auteurs van dit rapport leverde G. Bier voornamelijk een bijdrage aan de hoofdstukken 5 en 9. Hij verrichtte bovendien het modelonderzoek dat ten grondslag ligt aan het huidige hoofdstuk 5. De bijdrage van D. van der Hoek had betrekking op de hoofdstukken 6 en 10. T.J. Spek leverde de eerste versies van de hoofdstukken 4, 5 en 9 en verrichte in eerste instantie het grootste deel van het modelonderzoek. S. van der Schaaf verzorgde het overgrote deel van de hoofdstukken 1, 3, 7, 8 en 11 en een beperkt deel van 5 en 10. Hij trad tevens op als eindredacteur.

Wageningen, 7 december 1991.

SAMENVATTING

Dit rapport is het resultaat van in 1990/91 verricht onderzoek met betrekking tot de geo- en ecohydrologische omstandigheden in de zuidelijke Gelderse Vallei. Het laagste deel, het Binnenveld, is in 1990 door de Regering aangewezen als natuurontwikkelingsgebied als onderdeel van de ecologische hoofdstructuur va Nederland.

De beoogde natuurontwikkeling in het Binnenveld is er een in de richting van kwelafhankelijke, soortenrijke korte vegetaties. Die waren er tot aan de uitvoering van ruilverkavelings- en ontginningswerken in de jaren '40 van deze eeuw algemeen.

De Gelderse Vallei is een opgevuld gletsjertongbekken met bijbehorende stuwwallen dat is gevormd in het Saalien. Aan de onderkant van het bekken ligt een pakket leem en klei van voornamelijk lacustroglaciale herkomst met een aanzienlijke vertikale weerstand. Daaronder ligt een watervoerend pakket met een dikte van 60-90 m en een doorlaatvermogen van 2000-3500 m^2/etm. Binnen de bekkenopvulling (20-30 m dik) zijn twee matig doorlatende watervoerende pakketten te onderscheiden: het bovenste (eerste) met een doorlaatvermogen van 50-60 m^2/etm, en het middelste (tweede) watervoerende pakket met een doorlaatvermogen van 125-175 m^2/etm. De scheiding wordt gevormd door minder goed doorlatende lagen van de Eemformatie; in het z hoofdzakelijk veen, in het n veen en klei. De vertikale weerstand ervan neemt in het algemeen van zuid naar noord toe.

Van het gebied en zijn omgeving is m.b.v. het programma Microfem een stationnair model gebouwd. De bedoeling daarvan was, effecten van een aantal reeds uitgevoerde of geplande ingrepen op de kwel in het gebied te kunnen kwantificeren. Het betreft:
- Een gepland A2-werk in het gebied tussen Grift en Utrechtse Heuvelrug
- Het plaatsen van een of twee extra stuwen in de Grift
- Bestaande waterwinningen
- Stadsuitbreidingen

Op basis van de ijk- en verificatiegegevens van het model is met behulp van Flownet een aantal raaien gesimuleerd. Uit dit deel van het onderzoek bleek, dat de kwelstroming via het diepe (derde) watervoerende pakket in hoofdzaak vanuit de Veluwe wordt gevoed en dat de Utrechtse Heuvelrug als infiltratiegebied een zeer beperkte rol speelt. In twee zones van ca. 400-700 m breed aan weerszijden van de Grift blijkt kwel te overheersen.

De stroming in het eerste en tweede watervoerende pakket verloopt ten w van de Grift ongeveer van wzw naar ono, ten o van de Grift in omgekeerde richting. Hij wordt in belangrijke mate gevoed vanuit het derde

watervoerende pakket. Lokale systemen van inzijging en kwel in de bovenste twee watervoerende pakketten zijn ingebed in dit patroon van regionale schaal.

Omdat grondwaterkwaliteit bij de beoogde natuurontwikkeling van cruciaal belang is, is daaraan veel aandacht besteed. Er is twee maal een vrij uitgebreide bemonstering van het grondwater uitgevoerd: een op 24 september 1990 en een op 8 januari 1991. Op deze wijze is een ruwe indruk van seizoenseffecten verkregen. De samenstelling van het grondwater bevestigde het uit het modelonderzoek verkregen stromingsbeeld. In het lage gebied waar volgens het model kwel overheerst, werd overwegend een kweltype aangetroffen. Waar kwel en inzijging elkaar ruimtelijk afwisselen, was in het algemeen sprake van een mengtype van neerslag en kwel. Uit een analyse van stijghoogteverlopen van het grondwater in de verschillende watervoerende pakketten bleek, dat in dat gebied kwel en inzijging elkaar ook in de tijd afwisselen. Daarmee is het voorkomen van mengtypen in het grondwater afdoende verklaard.

De zuiverste kweltypen werden bij de winterbemonstering aangetroffen, hoewel men juist in dat seizoen eerder regeninvloed zou verwachten. Waarschijnlijk is hier sprake van een naijlingseffect a.g.v. transportafstand in de grond. De nutrientenbelasting van het grondwater bleek in het gebied waar kwel overheerst, zeer gering. In de zomermonsters was vrijwel steeds een lichte nitraatinvloed aanwezig. Deze kan waarschijnlijk worden toegeschreven aan omzettingsprocessen die 's winters niet optreden. Nitraatbelasting van het grondwater bleek voor te komen op de overgang van zand naar klei- en veengronden. Deze overgang valt echter samen met die naar het laagst gelegen gebied en dus ook met die van elkaar afwisselende kwel en inzijging naar overwegend kwel. Van infiltrerend water in een zwaar bemest landbouwgebied moet nu eenmaal worden verwacht, dat het nitraat uitspoelt. In de watergangen werd plaatselijk een lichte fosfaatbelasting geconstateerd. Over het algemeen is in de watergangen het kweltype meer verbreid dan nabij de grondwaterspiegel. Dat duidt erop, dat veel kwel in het gebied in de watergangen wordt opgevangen.

De concentraties aan opgeloste stoffen in het grondwater zijn laag. Dat is verklaarbaar op grond van de minerale samenstelling van de doorstroomde watervoerende pakketten. De consequentie is, dat kwelwater met een ratief korte verblijftijd minder duidelijke minerotrofe eigenschappen heeft dan in vele andere gebieden in Nederland. Dat heeft waarschijnlijk consequenties voor het effect van tijdelijke neerslaglenzen. Die zal relatief groot zijn.

De kwel uit het derde watervoerende pakket is in de tijd zeer constant; de horizontale en vertikale aanvoer van water via het eerste en tweede watervoerende pakket is 's zomers groter dan 's winters.

Uit de effectbepaling van het A2-werk bleek, dat de voorgestelde peilverlaging in het Velderbroek en het no-deel van de Meent aldaar een aanzienlijke toename van de kwel tot gevolg zou hebben, die deels ten koste gaat van die in het beoogde natuurontwikkelingsgebied. De kwel aldaar blijkt in het algemeen zeer gevoelig te zijn voor peilveranderingen in het hogere gebied: tot ca. 0.1 mm/dag voor iedere 0.1 m peilverandering. Dit getal geldt voor een smalle zone tegen de overgang van het lage naar het hogere gebied; verder in het lage gebied zijn minder hoge waarden berekend.

De Grift is het afwateringskanaal van het gebied. Het afgevoerde water stroomt via het Valleikanaal en de Eem af naar het Eemmeer. De Grift is het laagste punt in het Binnenveld. Door zijn lage peil trekt deze watergang veel kwelwater aan. Sinds de uitbaggering omstreeks 1985 is het gemiddelde peil nog ongeveer 0.20 m lager geworden. Ook de peilschommelingen zijn sindsdien verminderd. Daardoor is de kans op overstromingen vrijwel nihil geworden. Doordat in de Grift vervuild water uit de Neder Rijn wordt ingelaten, hebben die overstromingen een desastreus effect op het westelijk deel van het natuurreservaat de "Bennekomse Meent" gehad.

In de huidige omstandigheden is het verantwoord, in de Grift extra stuwen te plaatsen. De inlaat van Rijnwater kan dan verminderd worden of zelfs achterwege blijven en het peil verhoogd. Daardoor vermindert de hoeveelheid kwelwater die rechtstreeks naar de Grift stroomt en neemt de kwel in het grootste deel van het lage gebied toe. Alvorens een peil kan worden vastgesteld, zullen in het lage gebied maaiveldshoogten opnieuw moeten worden ingemeten. Het is waarschijnlijk dat de maaiveldshoogten op de hoogtecijferkaart 1:10000 in delen van het lage gebied ruim 0.20 m te hoog zijn aangegeven.

Als gevolg van de aanwezigheid van waterwinningen is de kwel in het Binnenveld met ca. 0.1 mm/etm verminderd; voor het gebied nabij Veenendaal is dat 0.2-0.3 mm/etm.

Stadsuitbreidingen blijken van geringe invloed op de kwel. Slechts in de omgeving van Veenendaal is die van enige betekenis voor het natuurontwikkelingsgebied.

Maatregelen ten behoeve van de natuurontwikkeling in het Binnenveld zullen in de eerste plaats gericht moeten zijn op handhaving en zo mogelijk verhoging van de kwelintensiteit. Daarbij is de vraag of en in hoeverre kwelwater de wortelzone bereikt, cruciaal. Peilbeheer is daarbij een belangrijk, maar niet eenvoudig te hanteren middel: te hoge peilen verminderen de kwel of doen hem omslaan in inzijging, te lage peilen resulteren erin dat het kwelwater de wortelzone niet bereikt. Er is daarbij een subtiele samenhang tussen geohydrologische omstandigheden, intern en extern peilbeheer en grootte van peileenheden die de nodige deskundige zorg vereist.

SUMMARY

This report is the result of research work carried out during 1990/91 regarding the geohydrological and ecohydrological conditions in het southern part of the Gelderse Vallei. By governmental decision, regeneration of nature is to take place the lowest parts of this area, called Binnenveld. It will be part of the envisaged main ecological structure of the Netherlands.

The envisaged development in the Binnenveld is towards upward seepage (exfilration) dependent species rich short vegetations. These were common in the area until the land reallocation and reclamation works took place in the fourties of this century.

The Gelderse Vallei is a filled up glacier tongue basin with associated ice pushed ridges, formed during the Saalian. At the bottom of the former basin lies a layer of glacio-lacustrian loams and clays with a considerable hydraulic resistance. It is underlain by an aquifer with a thickness of 60-90 m and a transmissivity of 2000-3500 m^2/day. In the basis fill, two aquifers of moderate transmissivity can be distinguished. The upper (first) one has a transmissivity of 50-60 m^2/day, the transmissivity of the middle (second) aquifer is 125-175 m^2/day. They are separated by less permeable layers of the Eem formation; mainly (compressed) peat in the sout and peat and marine clay in the north. The hydraulic resistance of this separating layer increases from S to N.

A steady state flow model of the area was built using the program Microfem. It was meant to assess effects of both proposed and already accomplished measures and on the rate of exfiltration. These include:
- a proposed intensification of a drainage scheme in the western part of the area that is to keep its destination of agricultural area
- installment of one or two weirs in the Grift, which is the arterial drainage of the area
- existing groundwater abstraction plants
- extensions of built-up areas

Based on calibration and verification data of the model, a number of transects through the area were simulated. From this part of the work it became clear that the groundwater in the deepest aquifer is mainly supplied by the Veluwe in the east and that the role of the second infitration area, the Utrechtse Heuvelrug in the west is very limited. Exfilration from this aquifer dominates the groundwater system in two zones of 400-700 m wide alongside the Grift.

West of the Grift, the flow in the upper and middle aquifer is from WSW to ENE, east of the Grift the flow is in the opposite direction. The deepest aquifer supplies a considerable proportion of the water flowing through the

middle aquifer. Local systems of infiltration and exfiltration occur in the upper and middle aquifer. They are embedded in the regional flow pattern.

Because groundwater quality is of crucial importance when it comes to development of nature, much attention was paid to it. The groundwater was sampled twice at over 50 locations. One sampling was done on 24th September 1990; the second on 8th January 1991. Thus a rough idea on seasonal effects could be obtained. The chemical composition of the groundwater confirmed the flow pattern as indicated by the model. The water types from the lowest parts indicated exfiltration, whereas in the somewhat higher parts with alternating infiltration and exfiltration mainly mixed types of exfiltration and precipitation water were found.
From an analysis of fluctuations of piezometric heads in time in the upper and middle aquifer it appeared that infiltration and exfiltration alternate in time as well as spatially. This explains the occurrence of mixed water types.

The purest exfiltration types were found in the winter samples, although one would expect more influence of rain in that season. The seasonal effect probably is delayed as a result of transport distance. Nutrient levels were very low where exfiltration prevails. In the summer, however, low nitrate levels were found which were absent in the winter. This may be due to decomposition of organic matter which doesn't occur in the winter season.
Nitrate was also found in the groundwater at the transition of sand to clay and peat soils. This is also the transition to the lowest parts of the area from alternating infiltration and exfiltration. The higher parts are mainly heavily manured and fertilised agricultural land from where leaching of nitrogen compounds to the groundwater may be expected. In the drains some phosphate was found locally. Generally, the exfiltration type of water is common in the drains over a much larger area than in the goundwater. This indicates that the drains take up a considerable proportion of the exfiltration water.

Concentrations of dissolved compunds in the groundwater are low. This is caused by the mineral composotion of the aquifers, which consist mainly of sands rich in silica and poor in other minerals. As a consequence, groundwater in the Gelderse Vallei needs more time than in most areas elsewhere to develop a minerotrophic composition. This may bear consequences as to the effect of rainwater temporarily stored in the root zone. It may be larger than in other areas.

The exfiltration from the deepest aquifer is very constant in time. The exfiltration from the middle aquifer towards the upper one is generally larger in the summer than in the winter.

One of the effects of the proposed intensification of the drainage scheme

as calculated by the model was a strong increase in upward groundwater flow (exfiltration) in a zone near the one where nature development is envisaged, partly at the expense of exfiltration in the latter zone. Generally, the sensitivity of exfiltration (or infiltration) to changes in water levels is considerable, being up to 0.1 mm/day per 0.1 m of change in level. The latter figure, however holds for a narrow zone along the area where the change in level is imposed.

As mentioned, the Grift is the arterial drainage of the area. Its discharge eventually flows northward into the Eemmeer, a part of the former Zuiderzee. Its level is the lowest in the Binnenveld. Thus it attracts much exfiltration water. It was dredged in 1985. The mean water level is about 0.20 m lower since. Level fluctuations have also decreased. The risk of inundations therefore has become nearly nil. Because the Grift receives large amounts of polluted Rhine water, these inundations have had a highly negative effect on vegetation in parts of the nature reserve "Bennekomse Meent"

The new circumstances justify installment of one or two additional weirs in the Grift. The intake of Rhine water can be diminished or perhaps even stopped and the level can be increased. This will cause the Grift to attract less exfiltration water which will result in higher groundwater levels in and more exfiltration water becoming available to the area allocated to nature development. However, before a new level can be decided on, the land surface levels in part of the area will have to be re-leveled, because it was found that the levels indicated on the 1:10000 ordnance survey level maps are likely to be too high by over 0.20 m.

Groundwater abstraction has lowered the exfiltration rates in the Binnenveld by approximately 0.1 mm/day. Near Veenendaal where three important plants occur, the decrease may be as high as 0.2-0.3 mm/day.

Extensions of built-up areas (where the groundwater table has been lowered by drainage) appeared to have very little influence on exfiltration rates. Only near Veenendaal it is of some importance to nature development.

Measures serving the development of nature in the Binnenveld should be directed towards maintenance or even increase of exfiltration rates. The question as to whether this exfiltration reaches the root zone is crucial. It is directly related to water level management. However, increased levels will reduce the exfiltration rates whereas lower levels will cause an increase but at the same time may cause the exfiltration water not to reach the root zone. The subtle balance between geohydrological conditions, level management and size of level units has to be played with carefully.

1. INLEIDING

Dit rapport heeft betrekking op het Binnenveld. Dat is het zuidelijk deel van de Gelderse Vallei, gelegen in de vierhoek Ede, Veenendaal, Rhenen, Wageningen. De ligging van het gebied in Nederland is aangegeven in fig. 1.1.

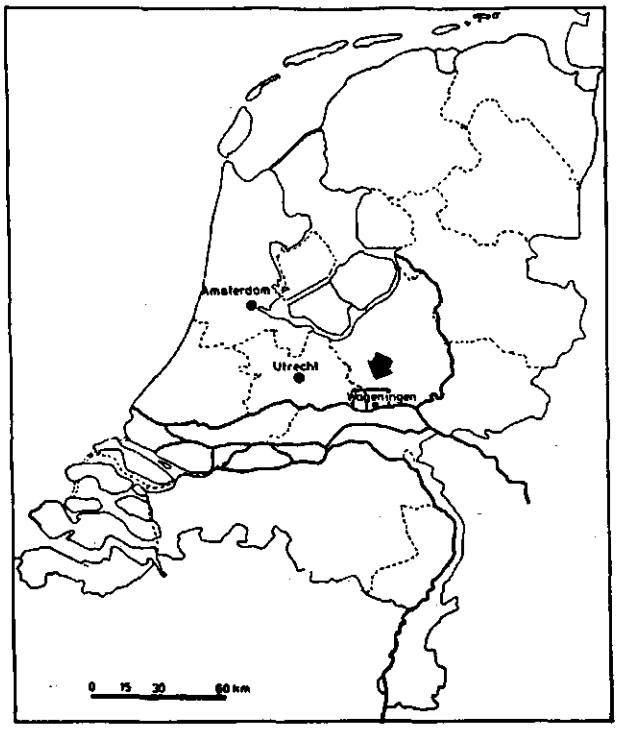

Fig. 1.1. Ligging van het onderzoeksgebied in Nederland

Van het Binnenveld is in de Regeringsbeslissing Natuurbeleidsplan een belangrijk deel aangeduid als natuurontwikkelingsgebied. Het laagstgelegen deel, waarin de natuurgebieden Hel, Blauwe Hel, Achterbergse Hooilanden en Bennekomse Meent liggen, is aangeduid als kerngebied. Bij de lokale invulling en uitvoering van het in de Regeringsbeslissing vastgelegde beleid bleek een sterke behoefte te bestaan aan meer inzicht in mogelijkheden en kansrijkdom voor natuurontwikkeling. Daarbij hebben met name de mogelijkheden voor ontwikkeling van kwelafhankelijke schrale graslanden de aandacht. Inzicht in het functioneren van het geohydrologische systeem in het betreffende gebied is daarbij van wezenlijk belang. Dit rapport is bedoeld om aan vergroting van dit inzicht een bijdrage te leveren.

Het onderzochte gebied ligt tussen de Utrechtse Heuvelrug en de stuwwal Wageningen-Ede. Het wordt aan de zuidzijde begrensd door de Neder-Rijn, in het noorden ongeveer door een lijn van het centrum van Ede naar dat van Veenendaal. Er zijn twee gedeelten te onderscheiden: het lage gebied ter weerszijden van de Grift en het overige -hoger gelegen- gebied. De ligging van het lage gebied is door middel van een omranding en arcering aangegeven op het kaartje van fig. 1.2.

In het lage gebied ligt behalve de hierboven genoemde natuurgebieden de proefaccomodatie "Veenkampen". Daar wordt door een drietal LUW-vakgroepen en de DLO-instituten CABO en Staringcentrum onder gecontroleerde hydrologische omstandigheden onderzoek op veldschaal gedaan naar de mogelijkheden voor regeneratie van halfnatuurlijke schrale graslanden. De ligging van de terreinen is eveneens aangegeven in fig. 1.2.

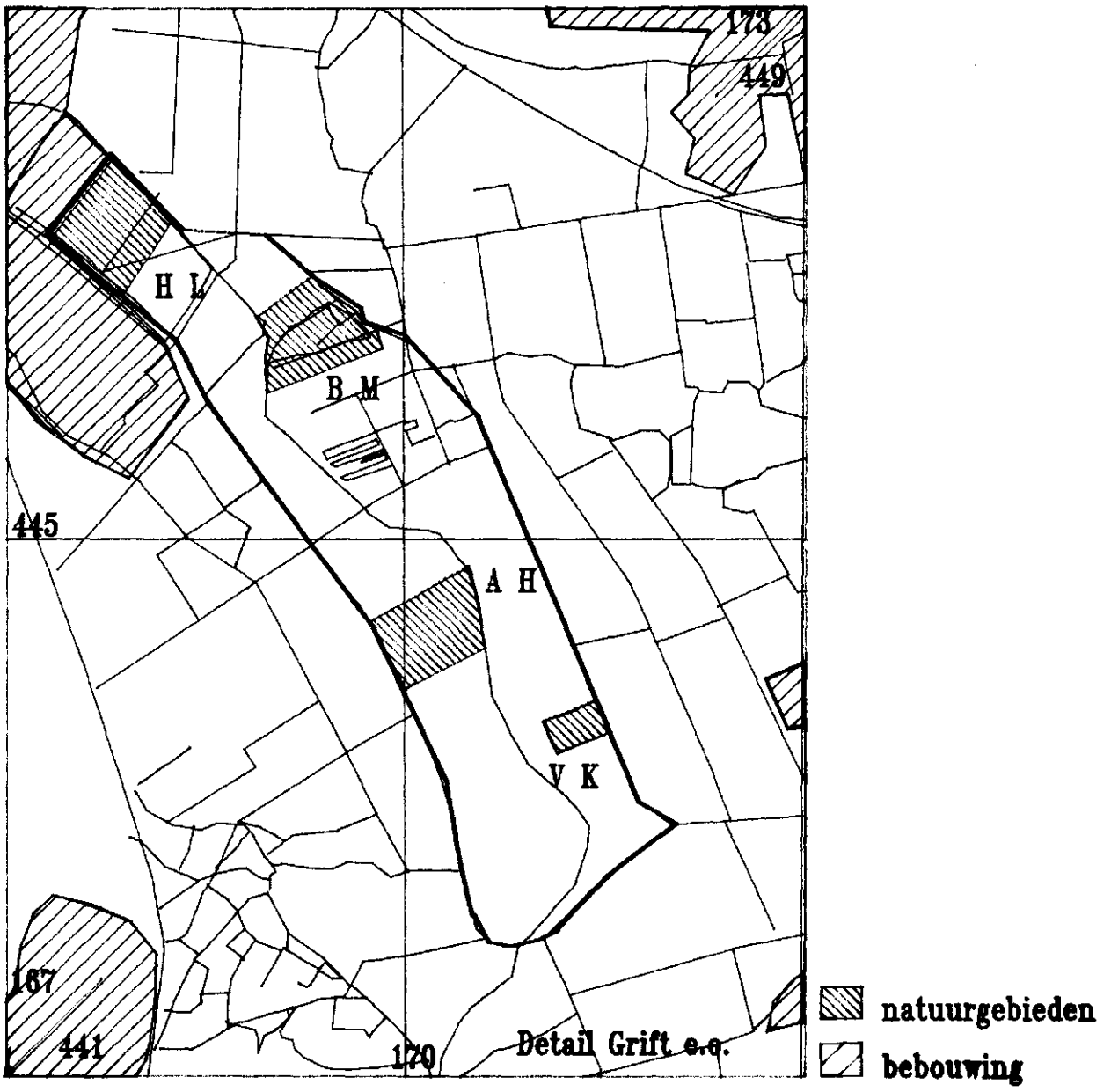

Fig. 1.2 Ligging natuurterreinen in het Binnenveld. HL: Hel en Blauwe Hel, BM: Bennekomse Meent, AH: Achterbergse Hooilanden, VK: proefaccomodatie Veenkampen.

Vooral in het laagste deel van het gebied treedt kwel op. De kwel wordt voor het grootste deel gevoed door de hoger gelegen grondwaterspiegel van de Veluwe; in geringe mate ook door die van de Utrechtse Heuvelrug.

Gesuperponeerd op deze systemen van regionale schaal komen ook systemen van inzijging en kwel op lokale schaal voor. Het gebied watert via Grift, Valleikanaal en Eem af op het Eemmeer.

De lagere delen hadden vanouds over het algemeen een mesotrofe, kwelafhankelijke vegetatie. In de hogere delen waar inzijging van het neerslagoverschot overheerst, kwamen ook vegetatietypen voor die wijzen op oligotrofe omstandigheden. Een aantal destijds voorkomende plantensoorten wordt genoemd door Kobus (1881).

Vooral in de jaren kort na de Tweede Wereldoorlog, toen in het gebied een ruilverkaveling is uitgevoerd, zijn ontwatering en afwatering er sterk geintensiveerd. Als gevolg hiervan en van toegenomen bemesting zijn de schraalgraslandvegetaties goeddeels verdwenen. Restanten zijn te vinden in de natuurreservaten Hel, Blauwe Hel en Bennekomse Meent. In de Achterbergse Hooilanden worden met dergelijke vegetaties in verband te brengen soorten nog aangetroffen in en aan sommige sloten.

Als gevolg van de geintensiveerde ontwatering moet de invloed van de kwel in het lage gebied zijn verminderd. Andere factoren met vergelijkbaar effect zijn bebossing (vooral met naaldhout), winning van drink- en industriewater en stadsuitbreidingen; kortom alles wat leidt of geleid heeft tot verlaging van de grondwaterstanden op en langs de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug. In welke mate de verschillende factoren aan een vermindering van de kwel hebben bijgedragen, is niet zonder meer te kwantificeren.

Deze ontwikkelingen zijn niet uniek voor het Binnenveld; ze doen zich in de rest van Nederland -en daarbuiten- evenzeer voor. De eruit voortkomende problemen worden steeds meer onderkend. Sinds de nota "De Waterhuishouding van Nederland" (1984), tegenwoordig doorgaans aangeduid als de "Tweede Nota Waterhuishouding", wordt ook op regeringsniveau onderkend dat er in de zandgebieden in Nederland, waaronder de Gelderse Vallei, op aanzienlijke schaal sprake is van een verdrogingsprobleem. De Derde Nota Waterhuishouding (1989) spreekt zelfs al van de wenselijkheid van "waterhuishoudkundige regeneratie" in dergelijke gebieden.

Van het natuurontwikkelingsgebied en kerngebied als aangegeven in het Natuurbeleidsplan ligt het grootste deel ten westen van de Grift. Ten oosten van de Grift valt slechts een brede strook direct langs de Grift onder de ecologische hoofdstructuur. Hoewel het onderzoek zich heeft uitgestrekt tot het hele Binnenveld, heeft het zwaartepunt gelegen in het tot de ecologische hoofdstructuur behorende gebied. Daarnaast is aandacht besteed aan de mogelijke effecten van een A2-werk (verbetering waterbeheersing door het waterschap met rijkssubsidie) in het gebied tussen Achterberg en Veenendaal.

Dit rapport gaat vooral in op de geohydrologische omstandigheden in het Binnenveld, de relatie met kwel en inzijging en de daarmee samenhangende grondwaterkwaliteitsaspecten met het oog op mogelijkheden voor de herontwikkeling van kwelafhankelijke schraalgraslanden. Daarbij komen zowel feitelijke en mogelijke verstoringen als enkele mogelijkheden tot herstel aan de orde.

De analyse van het hydrologische systeem is uitgevoerd op een als regionaal aan te duiden schaal. Er is gebruik gemaakt van het modelleringsprogramma Microfem. Met dit programma is slechts een stationnaire modellering van grondwaterstromingen mogelijk. Hoewel de wenselijkheid van stromingsberekeningen op niet-stationnaire basis in de gegeven situatie evident was, is daarvan afgezien op grond van de beperkte tijd die beschikbaar was voor de uitvoering van het onderzoek. Wel is een niet-stationnaire component toegevoegd door middel van analyse van het verloop in de tijd van kwelstromen op basis van door de vakgroep HBH van de Landbouwuniversiteit gedane grondwaterstandswaarnemingen.

Het rapport omvat elf hoofdstukken. Dit is hoofdstuk 1. Hoofdstuk 2 geeft de probleemstelling en de te onderzoeken punten. Hoofdstuk 3 gaat in op de geohydrologische gesteldheid en de geohydrologische schematisering. In hoofdstuk 4 wordt de modelstudie beschreven. In hoofdstuk 5 komen stromingspatronen in vertikale doorsnede, gebaseerd op het in hoofdstuk 4 beschreven model aan de orde. Hoofdstuk 6 behandelt de aspecten van grondwaterkwaliteit. Het peilbeheer van de Grift en in het bijzonder de effecten van het omstreeks 1985 uitgevoerde uitbaggeren worden in hoofdstuk 7 behandeld. De temporele variabiliteit van de kwel komt in hoofdstuk 8 aan de orde. In hoofdstuk 9 worden met behulp van het grondwaterstromingsmodel berekende effecten op de kwantitatieve waterhuishouding behandeld. Hoofdstuk 10 geeft een indruk van de perspectieven voor ontwikkeling van soortenrijke kwelafhankelijke vegetaties, voorzover het de hydrologische randvoorwaarden betreft. In hoofdstuk 11 tenslotte komen de conclusies en aanbevelingen aan de orde.

2. PROBLEEMSTELLING EN AANPAK

2.1 Probleem- en vraagstelling

2.1.1 Invloeden van ingrepen

De mogelijkheden voor natuurontwikkeling in de richting van kwelafhankelijke, min of meer schrale vegetaties hangen onder meer af van de effecten van ingrepen in de hydrologische gesteldheid van het gebied. Daarbij spelen zowel aspecten van waterkwantiteit als -kwaliteit een rol. Met betrekking tot het laatste punt is niet alleen de vraag van belang of in een gebied kwel optreedt en hoeveel, maar ook de herkomst. De verwachting is, dat grondwater van lokale herkomst een minder lithotroof karakter kan hebben dan kwelwater uit een verder weg gelegen herkomstgebied.

Met betrekking tot de kwantiteitsaspecten is er een aantal mogelijke beinvloedende factoren, te weten:
1. Het in hoofdstuk 1 genoemde A2-werk en eventuele andere waterbeheersingsmaatregelen in het hoger gelegen gebied
2. Het peilbeheer van de Grift
3. De invloed van waterwinningen.
4. De invloed van stadsuitbreidingen

Intensivering afwatering

Het waterschap Vallei en Eem wil komen tot een verbetering van de afvoer van water uit het hoger gelegen gebied tussen Achterberg en Veenendaal. Het gebied is met arcering aangegeven op de kaart van fig. 2.1. De kaart is gebaseerd op voorlopige gegevens van het waterschap Vallei en Eem. Het definitieve plan kan daarvan dus afwijken.

Volgens informatie van het waterschap gaat het vooral om korte perioden van wateroverlast, terwijl bovendien delen van het gebied uit landbouwkundig oogpunt onvoldoende ontwaterd zouden zijn. Hoewel geen algehele verlaging van de grondwaterspiegel in het betreffende gebied wordt beoogd, is het de vraag, in hoeverre bij een geintensiveerde ontwatering en afwatering de gemiddelde grondwaterspiegel op peil kan blijven, zodat de gemiddelde kwel in het lage gebied niet of niet noemenswaard wordt aangetast en de grondwaterkwaliteit gehandhaafd blijft. Vraagpunten zijn:
1. Welk deel van het neerslagoverschot en eventuele kwel in het betreffende gebied stroomt af via het watergangenstelsel en welk deel via het grondwater?
2. In welke mate worden de grondwaterstanden in het gebied nu beinvloed door het afwateringsstelsel?

3. In hoeverre kunnen door peilbeheer en dimensionering van watergangen tegelijkertijd effecten van hoge neerslagpieken worden verkleind en de gemiddelde kwelintensiteit in het lage gebied in stand gehouden?
4. In hoeverre kan versnelde afvoer van water uit het hoger gelegen gebied leiden tot ongewenste inundaties in het lage gebied?

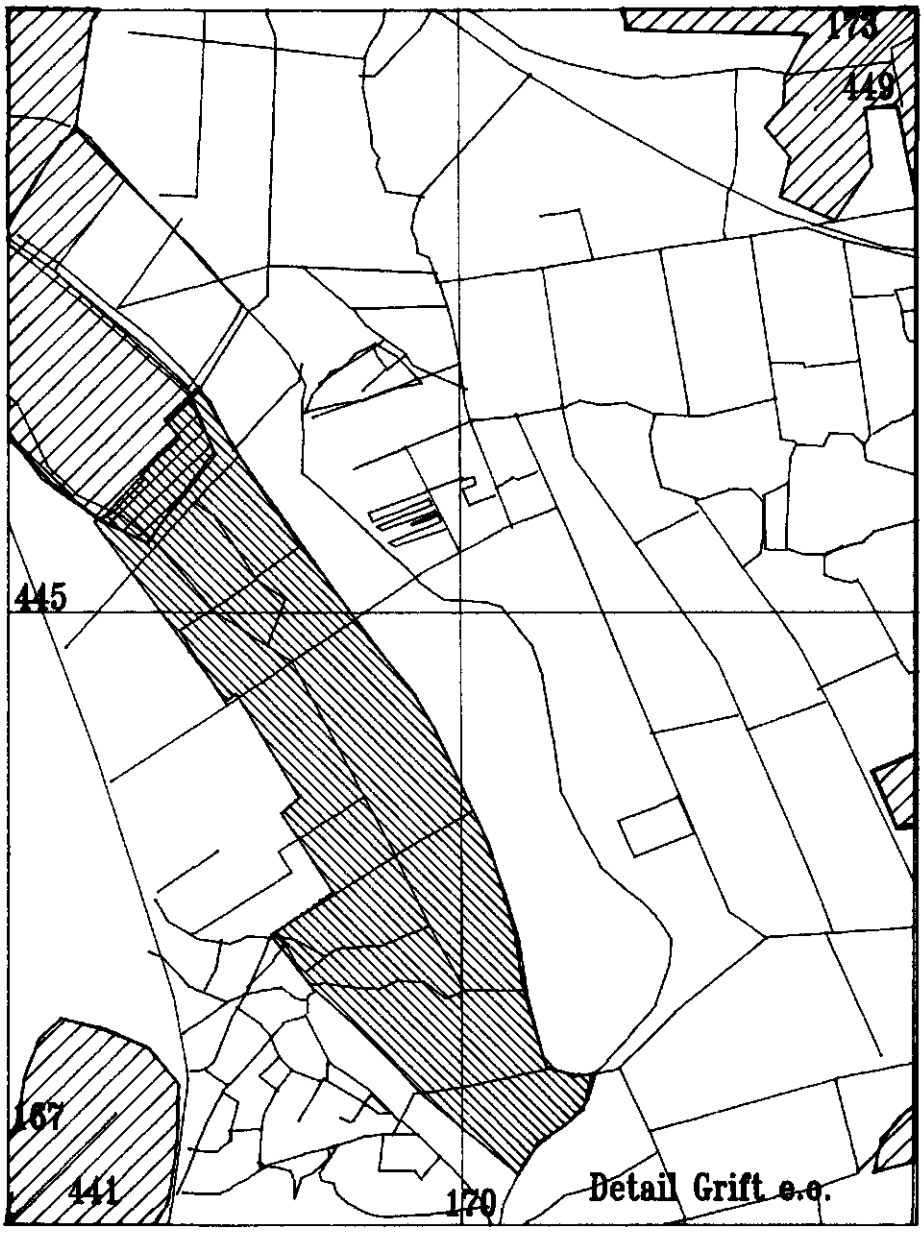

Fig. 2.1 Ligging van het gebied waar de A2-werken zijn gepland

Peilbeheer Grift

Met betrekking tot het peil van de Grift bestaat geen peilbesluit. De Grift is halverwege de jaren '80 uitgebaggerd. Het vermoeden bestaat, dat niet alleen de hoogst optredende standen in deze watergang sindsdien lager

zijn dan voorheen, maar dat ook de gemiddelde stand lager is geworden. Er zijn de volgende vragen:

1. Zijn de maxima en het gemiddelde niveau van de Grift sinds het uitbaggeren lager zijn dan voorheen?
2. In hoeverre is het peil van de Grift van invloed op grondwaterstanden en kwel in het lage gebied?
3. Is het zinvol, het pand van de Grift tussen Grebbesluis en Rode Haan middels een stuw op te delen in twee panden en zo ja, waar moet die stuw dan komen?

Invloed van waterwinningen

In het hogere gebied, de Veluwe en op de Utrechtse Heuvelrug ligt een aantal waterwinningen. Naast industriele winningen die zich vooral in Veenendaal bevinden, moeten de drinkwaterwinningen Lijstereng (Rhenen) en die in Veenendaal worden genoemd. De grootte van de effecten van de winningen op de kwel in het lage gebied moet worden vastgesteld.

Invloed van stadsuitbreidingen

Nabij het lage gebied liggen enkele industriewijken van Veenendaal en het sportveldencomplex "De Groene Velden". Van het industriegebied wordt het meest zuidelijke deel ontwaterd; het sportveldencomplex in zijn geheel. Verderafgelegen uitbreidingen als Ede-Rietkampen, Ede-Heestereng en Wageningen-Noordwest liggen waarschijnlijk te ver om een meetbare invloed op de grondwaterhuishouding van het lage gebied te hebben.

2.1.2 Niet rechtstreeks door ingrepen beinvloede factoren

Het gaat hier vooral om regionale verschillen en de temporele variabiliteit van de kwel.

Regionale verschillen

Er zijn waarschijnlijk verschillen tussen het hydrologische regime ten oosten en dat ten westen van de Grift. Deze zouden behalve met het algehele o-w stijghoogteverloop in Nederland kunnen samenhangen met de asymmetrie van de Gelderse Vallei.

Temporele variabiliteit van kwel

De kwelintensiteit is niet constant in de tijd. De vraag is, hoe groot de variaties zijn over de korte termijn (enkele weken), seizoenen en over perioden van meerdere jaren.

2.2 Werkwijze

De geohydrologische gesteldheid is geinventariseerd op basis van literatuurgegevens en eerder verricht eigen onderzoek.

Voor het bepalen van effecten van verschillende hiervoor genoemde factoren op de grondwaterhuishouding is een regionaal grondwaterstromingsmodel gebouwd op basis van het programma Microfem. Het model is geijkt en geverifieerd aan de hand van bij de vakgroep HBH van de LUW aanwezige grondwaterstandsgegevens, gegevens van het meetnet van de Dienst Openbare Werken van Ede en van gegevens van de provincie Utrecht.

Ten behoeve van de waterkwaliteitsaspecten zijn een maal in de zomer en een maal in de winter twee raaien peilbuizen bemonsterd. Er zijn analyses op macro-ionen uitgevoerd en op verschillende wijzen verwerkt.

Het verloop van het Griftpeil is geanalyseerd met behulp van 1-uurs recorderwaarnemingen over de jaren 1980-1989.

Met betrekking tot de temporele variabiliteit van kwel is een onderscheid gemaakt tussen zijdelingse aanvoer van water via het freatische watervoerende pakket en vertikale aanvoer via het onderliggende artesische pakket. Op basis van grondwaterstandsgegevens is een analyse gemaakt van het verloop in de tijd van stijghoogtegradienten.

3. GEOHYDROLOGISCHE GESTELDHEID

3.1 Geologie

3.1.1 Overzicht

Vooral de landijsuitbreiding van het Saalien is in sterke mate bepalend geweest voor zowel de morfologie van het landschap als de geohydrologische omstandigheden. Het Saalien kan daarom als een breekpunt in de ontwikkeling van het onderzoeksgebied worden gezien. De positie van het Saalien is dan ook bepalend voor de indeling van dit hoofdstuk.

Behandeld worden achtereenvolgens:
- tektoniek
- afzettingen van voor het Saalien
- afzettingen uit het Saalien
- afzettingen jonger dan het Saalien

3.1.2 Tektoniek

In het zw van het beschouwde gebied lopen enkele breuken van het Peelsysteem. Hun richting is bij benadering zo-nw. De invloed ervan is in het Kwartair gering geweest. De geohydrologische gesteldheid van het beschouwde gebied wordt voornamelijk bepaald door afzettingen uit het Kwartair en wordt nauwelijks beinvloed door het breukenstelsel.

3.1.3 Afzettingen van voor de landijsbedekking van het Saalien

Voor de geohydrologie zijn verschillende formaties uit voornamelijk het Plioceen en Pleistoceen van belang.

Als geohydrologische basis van het gebied kan de **Formatie van Oosterhout** worden gezien. De formatie omvat in zee afgezette sedimenten, die bestaan uit schelp- en/of zandhoudende kleien en (meest fijn) zand, grotendeels van pliocene ouderdom. De bovenkant van de formatie helt in het algemeen licht af naar het no. De diepteligging van de bovenkant is ongeveer NAP-100 m bij Rhenen, bij Wageningen NAP-123 m (boring 39F305, Zandstra en Ruegg, 1984) en ca. NAP-150 m in het gebied Ede-Lunteren.

Op deze formatie ligt de **Formatie van Maasluis**. Net als de F. van Oosterhout is ook deze formatie van mariene oorsprong. Ze is gevormd in het oudste Onder-Pleistoceen in een ondiepe zee nabij de kust. De afzettingen zijn gemiddeld wat grover dan die van de F. van Oosterhout. De formatie is in het beschouwde gebied omstreeks 20 m dik.

Aan de bovenkant van de F. van Maassluis gaan de afzettingen van mariene herkomst over in onder fluviatiele omstandigheden afgezet materiaal. De oudste fluviatiele afzetting is de **Formatie van Tegelen**. Deze formatie omvat in het gebied van de zuidelijke Gelderse Vallei voornamelijk zanden en vooral bovenin enige klei. Van die kleilagen is waarschijnlijk de zijdelingse verbreiding niet zodanig dat ze in geohydrologische zin van veel belang zijn. De F. van Tegelen is van zuidelijke herkomst. De dikte varieert van een kleine 20 m bij Rhenen tot ca. 30 m bij Ede.

Deels gelijktijdig met, deels na de periode waarin de F. van Tegelen is gevormd, is in het gebied de **Formatie van Harderwijk** afgezet. Deze eenheid is van (noord)oostelijke herkomst. Hij omvat voornamelijk grijswitte grove zanden met fijn grind met maar weinig klei. De zuidelijke grens van het verbreidingsgebied ligt ruwweg tussen Neder-Rijn en Waal (Zandstra en Ruegg, 1984). De dikte loopt van zzw naar nno op; bij Rhenen bedraagt deze ca. 40 m, tussen Ede en Lunteren ca. 80 m. De F. van Harderwijk is hydrologisch van groot belang; het doorlaatvermogen van de diepere ondergrond in zowel de Gelderse Vallei als op de Veluwe wordt in hoge mate bepaald door de dikte ter plaatse van deze formatie (Meinardi, 1978).

Tijdens en na de vorming van de F. van Harderwijk is de **Formatie van Kedichem** afgezet. Het materiaal is van zuidelijke herkomst en bestaat grotendeels uit fijne, soms lemige zanden, leem- en kleilagen. Het verbreidingsgebied is in het onderzoeksgebied beperkt. De noordgrens loopt waarschijnlijk o-w vlak ten n van Bennekom en ongeveer halverwege tussen Rhenen en Veenendaal zw-waarts richting Remmerden (Zandstra en Ruegg, 1984). Volgens dezelfde auteurs komt in zowel de stuwwal Wageningen-Lunteren als de Utrechtse Heuvelrug van de formatie afkomstig materiaal in gestuwde vorm voor. De resterende dikte bedraagt in het onderzoeksgebied in het algemeen minder dan 20 meter. De kleilagen kunnen in hydrologisch opzicht van belang zijn.

Van na de vorming van de F. van Kedichem dateren de **formaties van Urk** en **Sterksel**. Ze zijn merendeels tamelijk grof van samenstelling, hoewel m.n. in de F. van Sterksel ook kleilagen voorkomen. In het onderzoeksgebied komt ze alleen in het uiterste no in hun oorspronkelijke ligging voor. In de rest van het gebied zijn ze opgenomen in de stuwwallen.

3.1.4 Afzettingen van het Saalien

Gedurende het Saalien bereikte een uitloper van het Scandinavische landijs het onderzoeksgebied. Deze gletsjertong lag in de huidige Gelderse Vallei. Door de vorming ervan werden de afzettingen van de formaties van Sterksel en Urk en een deel van de F. van Kedichem zijdelings en frontaal opgestuwd in stuwwallen die nu nog als ruggen in het landschap liggen.

Dat zijn vooral de Utrechtse Heuvelrug en de stuwwal Wageningen-Lunteren. De stuwheuvels van Veenendaal, de Emminkhuizer Berg en de stuwwal van Oud-Reemst zijn in een wat later stadium van de landijsuitbreiding ontstaan (ter Wee, 1962; Verbraeck, 1984)

De afzettingen die samenhangen met de landijsbedekking uit het Saalien worden gerekend tot de Formatie van Drente. Het gaat om:

1. *Grondmorene-afzettingen* (keileem). Deze komen in het onderzoeksgebied te weinig aaneengesloten voor om in hydrologisch opzicht van belang te kunnen zijn.
2. *Lacustroglaciale afzettingen.* Het zijn meest kleiige en lemige afzettingen, waarschijnlijk gevormd in een smeltwatermeer. Door de wijze van ontstaan is een aaneengesloten voorkomen over een groot gebied mogelijk. Dit is het geval in het deel van de Gelderse Vallei tussen Ederveen en de Neder-Rijn. De dikte van de lacustroglaciale afzettingen in dat gebied wordt door Verbraeck (1984) aangegeven als maximaal 12 m, maar is volgens dezelfde auteur meestal niet meer dan 6 m.
3. *Sanderafzettingen.* Deze afzettingen zijn gevormd in snel afstromend smeltwater. Ze bevatten dan ook in hoofdzaak -merendeels van de stuwwallen afkomstig- zand (Verbraeck, 1984). Ze liggen vooral langs de zw-rand van de Utrechtse Heuvelrug en in de spoelzandvlakte tussen de stuwwal van Oud-Reemst en de Rijn bij Renkum en Heelsum.
4. *Bekkenafzettingen.* Het gaat hierbij in hoofdzaak om meer of minder grove zandige afzettingen, die waarschijnlijk onder invloed van verschillende processen in het gletsjertongbekken terecht zijn gekomen. Ze worden meestal aangeduid met de in dit geval wat dubieuze term "fluvioglaciale afzettingen". Het pakket is in het Binnenveld 10-15 meter dik.

De ligging van het systeem van bekkens en bijbehorende stuwwallen is weergegeven in fig. 3.1.

De onderkant van het gletsjertongbekken in de Gelderse Vallei ligt langs de Neder-Rijn op ca. NAP-15 m. Naar het n neemt deze diepte toe tot ca. NAP-30 m ter hoogte van Ederveen (Verbraeck, 1984). Het reeds in het Saalien gevormde deel van de opvulling van het gletsjertongbekken omvat dus van beneden naar boven ca. 2 tot iets meer dan 10 meter lacustroglaciale klei en leem, gevolgd door 10-15 m zandig fluvioglaciaal materiaal.

3.1.5 Afzettingen van na het Saalien.

Hiertoe behoren de volgende formaties:
- Formatie van Kreftenheye
- Eemformatie
- Formatie van Twente
- Formatie van Griendtsveen
- Betuweformatie

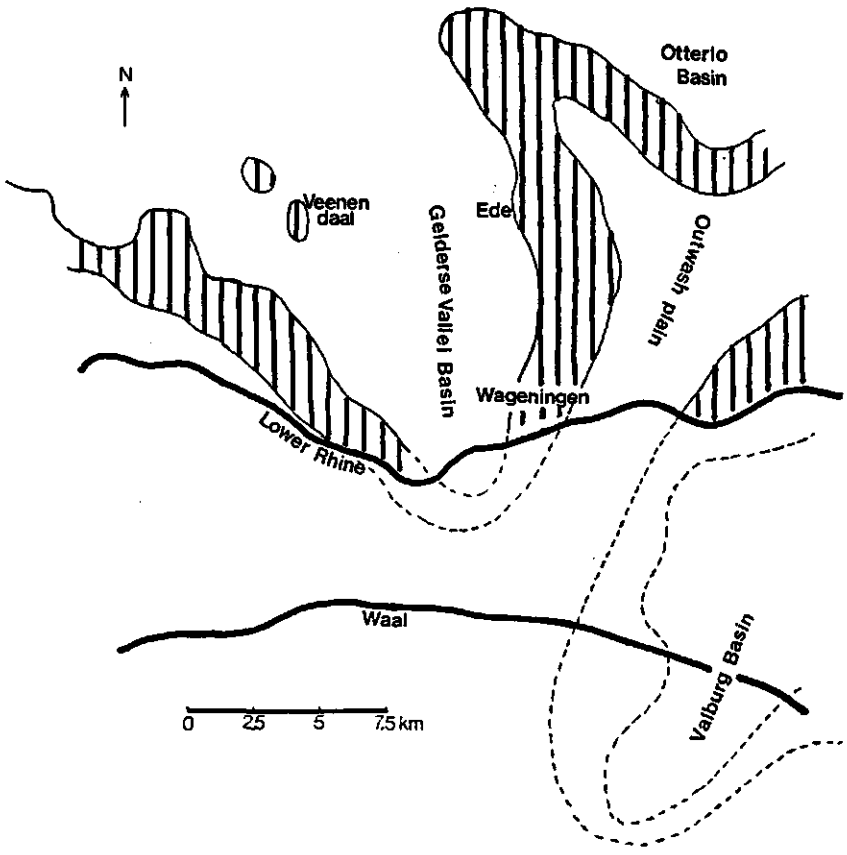

Fig. 3.1 Ligging van stuwwallen, bekkens en spoelzandvlakte (naar Verbraeck, 1984). Vertikaal gearceerd: stuwwallen. Gestippeld: restanten van stuwwallen, bedekt door jongere afzettingen

De fluviatiele **Formatie van Kreftenheye** dateert deels uit het Saalien; het grootste deel is echter jonger. De vorming heeft plaatsgevonden over een betrekkelijk lange periode: van de landijsbedekking van het Saalien tot het eind van het Weichselien. De formatie komt in het onderzoeksgebied alleen voor in het meest zuidelijke deel van het Binnenveld. De noordgrens van het verbreidingsgebied ligt 1-2 km ten n van de huidige loop van de Neder-Rijn. Het materiaal bestaat vooral uit meest grove zanden die vaak grind bevatten. De dikte langs de Neder-Rijn is ca. 20 m.

De **Eemformatie** is gevormd in het Eem-interglaciaal tussen Saalien en Weichselien. Hij komt voor in de hele Gelderse Vallei ten n van het verbreidingsgebied van de F. van Kreftenheye. De afzettingen omvatten in het zuiden humeuze, meest fijne zanden, veenlagen en plaatselijk wat klei. De totale dikte van de veenlagen neemt van zuid naar noord enigszins toe. In het noorden van de Gelderse Vallei, inclusief het uiterste noorden van het Binnenveld omvat de Eemformatie ook mariene afzettingen. Die omvatten behalve meest schelphoudende zanden steevast een meer of minder dikke

laag klei. De afzettingen van de Eemformatie die van mariene herkomst zijn, worden vaak aangeduid als "Mariene Eemafzettingen", de overige als "Continentale Eemafzettingen". De begrenzing van het verbreidingsgebied van de Eemafzettingen volgens Verbraeck is weergegeven in fig. 3.2.

De Eemformatie omvat ook in een zone ten z van de in fig. 3.2 aangegeven grens nog zware klei. Dat is o.m. in het gebied van de Bennekomse Meent het geval (van der Schaaf, 1986). Het feit, dat op praktisch hetzelfde niveau als bij Ederveen in het gebied om de Bennekomse Meent zware klei wordt aangetroffen, doet vermoeden dat het verbreidingsgebied van mariene klei in de Eemformatie groter is dan in fig. 3.2 is aangegeven. De totale dikte van de Eemformatie bedraagt in het laagste deel van de Gelderse Vallei in het algemeen iets minder dan 10 m.

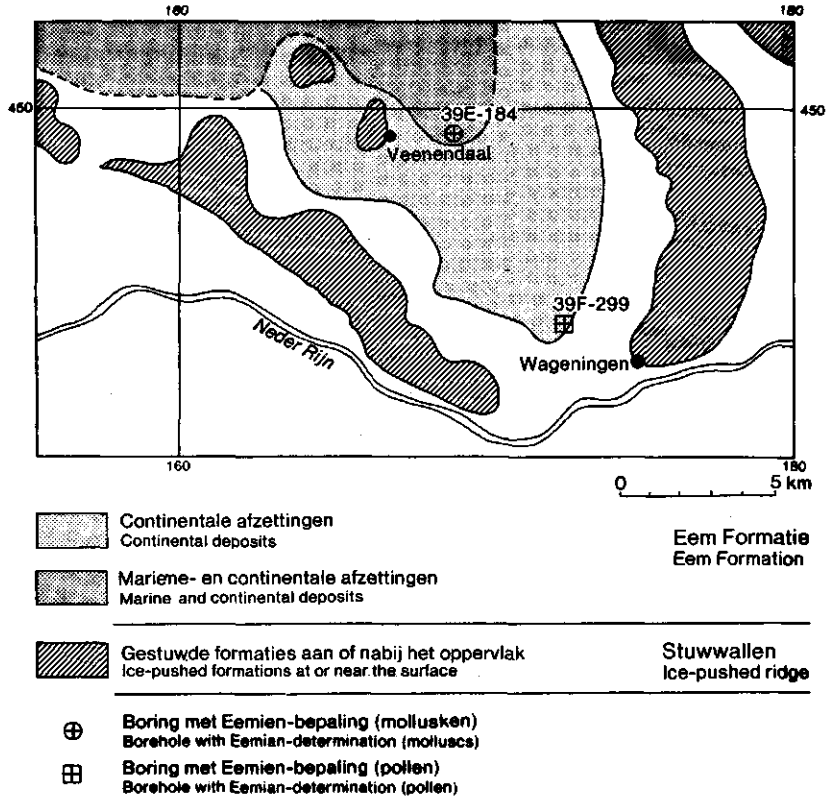

Fig. 3.2 Verbreidingsgebied Eemafzettingen (ontleend aan Verbraeck, 1984)

Op de Eemformatie ligt de **Formatie van Twente**. Deze eenheid is gevormd in het Weichselien en omvat materiaal van uiteenlopende aard: dekzand, loess, lokaal verspoeld materiaal en veenlaagjes. De dikte bedraagt meestal iets meer dan 10 m. De formatie ligt in het grootste deel van het Valleigebied aan maaiveld.

In het laagste deel van het Binnenveld, het lage deel aan weerszijden van de Grift, ligt op de F. van Twente veen van de holocene **Formatie van**

Griendtsveen. Naar het n toe (Veenendaal, Ederveen) is het veen grotendeels vergraven. Het resterende veen is in het algemeen minder dan 2 m dik. Het is hydrologisch nauwelijks, maar ecologisch wel van betekenis.

De laatste te bespreken formatie van holocene ouderdom is de **Betuwe Formatie**. Deze omvat voornamelijk kleilagen van fluviatiele herkomst. De formatie ligt in het zuidelijk deel van het Binnenveld. De noordgrens van het verbreidingsgebied ligt over het algemeen ca. 1.5 km noordelijker dan die van de F. van Kreftenheye. De dikte bedraagt in het algemeen enkele meters. De hydrologische betekenis is die van afdekkend pakket in het meest zuidelijke deel van het Valleigebied.

3.2 Geohydrologische schematisering

3.2.1 Indeling in deelgebieden

De geologische gesteldheid als beschreven in het voorgaande leidt voor het Binnenveld en zijn omgeving tot verschillende geohydrologische schematiseringen voor drie deelgebieden:
- Het Binnenveld, waaronder niet begrepen het rivierkleilandschap tussen Rhenen en Wageningen
- Het rivierkleilandschap tussen Rhenen en Wageningen
- De stuwwalgebieden van de Utrechtse Heuvelrug en de Veluwe

De gebieden worden hieronder achtereenvolgens behandeld.

De lagen worden behandeld van boven naar beneden. Deze volgorde is de omgekeerde van die, aangehouden bij de behandeling van de geologische gesteldheid.

3.2.2 Binnenveld

Er zijn in het algemeen drie watervoerende pakketten te onderscheiden, gescheiden door twee scheidende lagen.

Het eerste watervoerende pakket

Het eerste watervoerende pakket omvat de F. van Twente en eventuele goed doorlatende lagen in het bovenste deel van de Eemformatie. Het doorlaatvermogen is laag. Meinardi noemt waarden van ca. 100 m^2/etm. O.m. uit een in Ederveen gehouden pompproef bleek een waarde van 65 m^2/etm (v.d. Schaaf en de Vries, 1991). Uit de beschikbare beschrijvingen van boringen in zowel het eerste en tweede watervoerende pakket

blijkt dat in het algemeen in het eerste watervoerende pakket de gemiddelde korrelgrootte lager, en het humusgehalte en slibgehalte van de afzettingen hoger zijn dan in het tweede watervoerende pakket. Het doorlaatvermogen van het eerste watervoerende pakket moet daarom aanzienlijk lager zijn dan dat van het tweede w.p. De waarde zal in het algemeen rond de 50 m^2/etm of iets daarboven liggen.

De eerste scheidende laag

De eerste scheidende laag omvat in hoofdzaak slecht doorlatende lagen van de Eemformatie. In het verbreidingsgebied van de mariene afzettingen die tot deze formatie behoren, is de klei het belangrijkst. In het gebied met uitsluitend continentale Eemafzettingen gaat het voornamelijk om veenlagen en lokale kleilenzen van meest geringe dikte, met uitzondering van het eerder genoemde gebied rond de Bennekomse Meent. In het gebied met continentale Eemafzettingen kunnen plaatselijk ook veenlagen onderin de F. van Twente tot de scheidende laag worden gerekend. De grens tussen beide formaties is daar op grond van uitsluitend visuele beschrijvingen van boormonsters niet goed vast te stellen. De eerste scheidende laag kan in het zuiden van de Gelderse Vallei meer dan 1 veenlaag omvatten met daartussen matig doorlatende fijne zanden.

Ten zuiden van de lijn Bennekom-Achterberg zijn bij een aantal pompproeven vertikale weerstanden van 50-80 etm bepaald; ten noorden van deze lijn zijn over de gehele breedte van het Valleigebied waarden van 100-180 etm gevonden. Waar klei voorkomt, zijn de waarden onmiddellijk hoger; vlak ten z van de Bennekomse Meent ca. 400 etm (v.d. Schaaf, 1986). Volgens Meinardi (1978) ligt de weerstand langs de zuidelijke rand van het verbreidingsgebied van de mariene Eemafzettingen al op tenminste 1000 etm; verder noordwaarts zouden ze nog aanzienlijk hoger zijn.

Het tweede watervoerende pakket

Het tweede watervoerende pakket bestaat voornamelijk uit de zandige afzettingen van de formatie van Drente. Het doorlaatvermogen is tamelijk uniform en ligt tussen 125 en 175 m^2/etm (Lammers.,1984; Peerboom en Timmerman, 1985; van der Schaaf, 1986; van der Schaaf en De Vries, 1991). De beschikbare pompproefgegevens lijken erop te wijzen dat de hoogste doorlaatvermogens voorkomen aan de voet van de stuwwal en de laagste in het midden van de Vallei. Van zuid naar noord lijkt eveneens sprake te zijn van een lichte afname van het doorlaatvermogen.

De tweede scheidende laag

De tweede scheidende laag omvat de lacustroglaciale lemen en kleien van de Formatie van Drente. In de oostelijke helft van het Valleigebied, vanaf Wageningen tot Ede, liggen onder dit materiaal kleien van de F. van Kedichem. Deze worden ook tot de tweede scheidende laag gerekend. Eventueel tussen beide kleipakketten voorkomende zandige lagen zijn in hydrologische zin niet van betekenis. Daardoor kan de tweede scheidende laag in dat gebied plaatselijk een dikte bereiken van ca. 15 m. In het westen van het Valleigebied, waar kleilagen van de F. van Kedichem niet of nauwelijks voorkomen, is de tweede scheidende laag dunner: meestal 2-5 m.

Ten n van Ederveen heeft de tweede scheidende laag in het algemeen geen continu karakter meer. Dat betekent, dat daar de hydrologische betekenis ervan gering is (Meinardi, 1978)

Meinardi vermeldt een vertikale weerstand van 1600 etm als uitkomst van een in Ederveen gehouden pompproef. Een niet gepubliceerde, door het toenmalige ICW in 1963 ten w van Lunteren uitgevoerde pompproef leverde een verwaarloosbare C-waarde (v.d. Schaaf en de Vries, 1991).

Voor de rest van het gebied zijn geen gegevens aangaande de vertikale weerstand van de tweede scheidende laag uit pompproeven bekend. Driessen en Vossen (1983) berekenden op grond van een analyse van tijdreeksen van stijghoogten van het grondwater boven en onder de laag een vertikale weerstand van 3500-6500 etm. Gezien de dikten van de tweede scheidende laag in het oostelijk deel van het valleigebied, lijken dergelijke waarden realistisch. In het westen en zuiden, waar de tweede scheidende laag veel dunner is, zal een waarde van 1000-2000 etm een reele schatting zijn.

Het derde watervoerende pakket

Gerekend naar doorlaatvermogen is het derde watervoerende pakket verreweg het belangrijkste in het gebied van de Gelderse Vallei en de belendende stuwwallen. Het omvat van boven naar beneden eventuele zandige delen van de F. van Kedichem, de F. van Harderwijk, de F. van Tegelen en de F. van Maassluis. Het wordt aan de onderzijde begrensd door de formatie van Oosterhout. De F. van Harderwijk levert de grootste bijdrage aan het doorlaatvermogen. Omdat de dikte van de F. van Harderwijk van z naar n toeneemt, neemt ook het doorlaatvermogen in dezelfde richting toe. De eerder genoemde bij Ederveen gehouden pompproef leverde een waarde van 3500 m^2/etm; tussen Scherpenzeel en Woudenberg werd 3600 m^2/etm gevonden (Meinardi, 1978). Naar het noorden neemt de waarde verder toe; in het Bekken van Otterlo ligt deze op 5000-6000 m^2/etm (Meinardi, 1978; Houtman, 1985). In het meest zuidelijke deel van het Valleigebied is het doorlaatvermogen vrijwel zeker lager; vermoedelijk rond de 2500 m^2/etm.

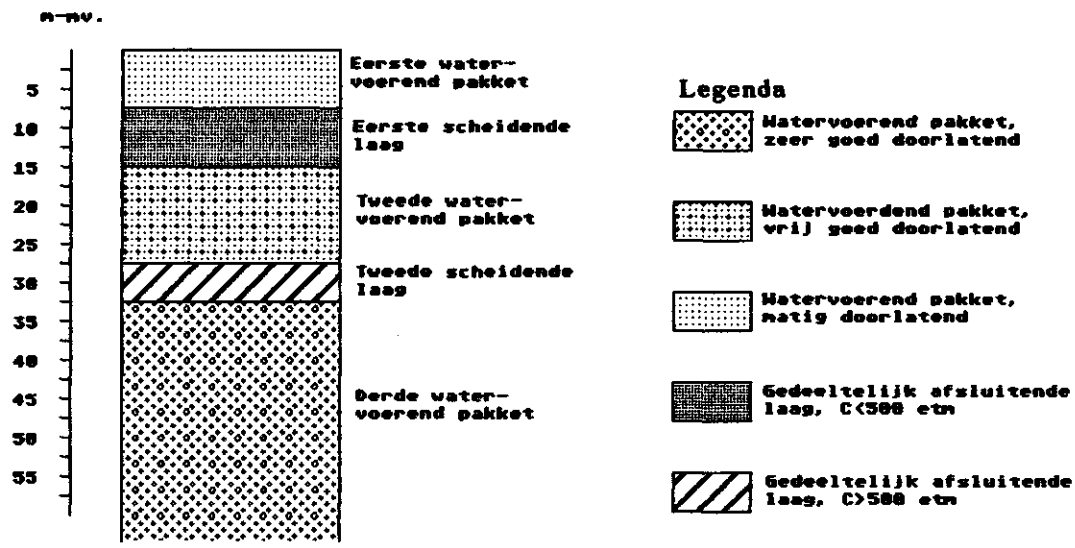

Fig. 3.3. Geschematiseerd Valleiprofiel met uitsluitend continentale Eemafzettingen

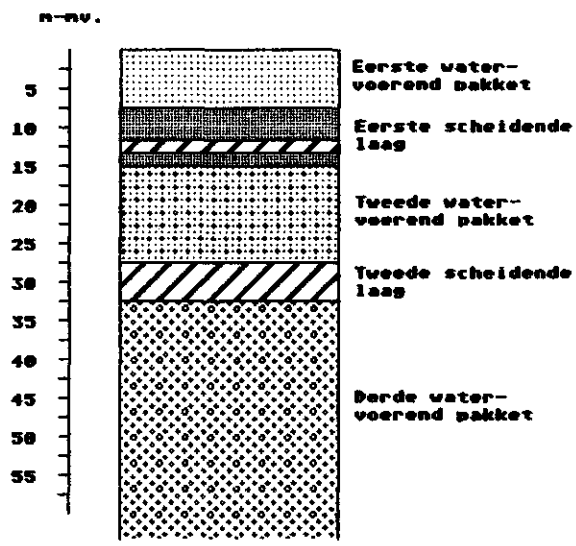

Fig. 3.4 Geschematiseerd Valleiprofiel met continentale en mariene Eemafzettingen

Fig. 3.3 geeft een visualisering van de geohydrologische schematisering voor het gebied zonder en fig. 3.4 voor dat met mariene Eemafzettingen.

3.2.3. Het rivierkleilandschap tussen Wageningen en Rhenen

De situatie in dit gebied wijkt op de volgende punten af van die in het Binnenveld:

- **Er is een afdekkende laag van gemiddeld ca. 2 m dik in de vorm van klei van de Betuweformatie**
- **De eerste scheidende laag is afwezig**
- **In plaats van de fijnzandige F. van Twente komt hier de grofzandige F. van Kreftenheye voor.**

Er zijn daardoor slechts twee watervoerende pakketten. Het bovenste omvat de F. van Kreftenheye en de fluvioglaciale afzettingen van de F. van Drente. Een pompproef in de uiterwaard bij Wageningen gaf een doorlaatvermogen van 1500 m2/etm (van Drecht, 1976). Omdat de dikte van het pakket naar het w nagenoeg niet verandert, zal een dergelijke waarde gelden voor het gehele gebied waar deze situatie voorkomt.

Ten aanzien van de "tweede" scheidende laag en het "derde" watervoerende pakket wijkt de situatie niet wezenlijk af van die, beschreven voor het overige Valleigebied. Wel geeft Verbraeck (1984) aan, dat de scheidende laag in dit gebied slechts een geringe dikte heeft. Fig. 3.5 geeft een visualisering van de geohydrologische schematisering voor dit gebied.

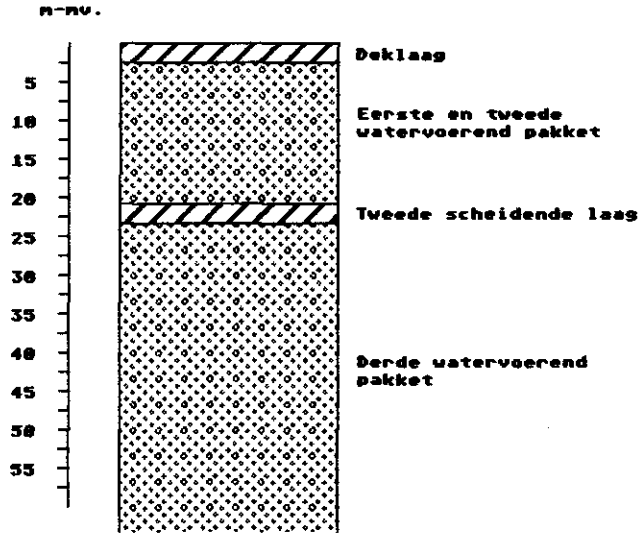

Fig. 3.5. Geschematiseerd profiel voor het meest zuidelijke gebied van de Gelderse Vallei (legenda: zie fig. 3.3).

3.2.4 Het stuwwalgebied van de Utrechtse Heuvelrug en de Veluwe

Tot dit gebied wordt in de context van dit rapport ook de spoelzandvlakte bij en ten n van Renkum en Heelsum gerekend ("outwash plain" in fig. 3.1).

De scheidende lagen zoals die zijn beschreven voor het Binnenveld komen hier niet voor, omdat hun vorming rechtstreeks samenhangt met de relatief lage ligging van het voormalige gletsjertongbekken. Er is een uitzondering: de klei van de Formatie van Kedichem. Deze klei ligt onder en waarschijnlijk ook gedeeltelijk in gestuwde positie in de zuidelijke helft van de stuwwal Wageningen-Lunteren. De diepteligging is ca. NAP-40 m.

In laatstgenoemd gebied is sprake van twee watervoerende pakketten, in de rest van het gebied van een ongedeeld pakket. Het doorlaatvermogen van het gestuwde deel en de afzettingen van de spoelzandvlakte is niet bepaald. Op grond van isohypsenkaarten is bij Wageningen een doorlaat-

vermogen van 1000-2000 m^2/etm af te leiden. Het onderliggende watervoerende pakket is van dezelfde samenstelling als het derde w.p. in de Vallei en zal daarvan qua doorlaatvermogen dus ook niet belangrijk afwijken.

In hoeverre de aanwezigheid van gestuwde kleilagen in de stuwwallen Wageningen-Lunteren en de Utrechtse Heuvelrug tussen Rhenen en Veenendaal aanleiding geeft tot zg. kleischotten en anisotropie in het horizontale vlak, zoals op de oostelijke Veluwe het geval is, is niet duidelijk. Wel komen in de Utrechtse Heuvelrug als gevolg van de aanwezigheid van gestuwde kleilagen schijngrondwaterspiegels voor.

4. DE GRONDWATERSTROMINGSMODELLEN

4.1 Overzicht

De gebruikte modellen zijn stationnair. Het Valleimodel is gebouwd met behulp van het programma Microfem. De geohydrologische constanten, randvoorwaarden e.d. zijn goeddeels ontleend aan bestaande gegevens en resultaten van eerder verricht eigen onderzoek. Er is geen noemenswaard aanvullend veldonderzoek verricht. Het model is geijkt aan de situatie 1974-1975. Een verificatie is uitgevoerd aan de hand van de situatie 1987-1988. Er is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor de invloed van een aantal modelparameters op stijghoogten en stijghoogteverschillen. Op basis van het na de verificatie gehanteerde model is het stromingspatroon in enkele dwarsdoorsneden in beeld gebracht met het programma Flownet.

4.2 Microfem en Flownet

Het pakket Microfem biedt de mogelijkheid tot het modelleren van regionale grondwaterstromingsgevallen. Het is beperkt tot een stationnaire benadering en gebaseerd op de methode van eindige elementen.

Hoewel het pakket voor een studie als deze onwelkome beperkingen kent, is vooral uit overwegingen van beschikbare tijd voor Microfem gekozen. Het pakket is beschreven door Hemker en van Elburg (1988).

Flownet geeft stroomlijnen in een vertikale dwarsdoorsnede, gegeven een potentiaalverdeling langs de randen. Het pakket is in de gegeven situatie weinig geschikt voor kwantitatief werk, maar geeft een 2-dimensionaal beeld van het stromingspatroon. De randvoorwaarden worden ontleend aan invoergegevens en uitkomsten van het Microfem-model.

Voor het doel van de studie, een beschrijving van het geohydrologische systeem van de zuidelijke Gelderse Vallei met het oog op de mogelijkheden voor de ontwikkeling van kwelafhankelijke schraallandvegetaties, zou een model als SIMGRO beter op zijn plaats zijn geweest. Het zou, behalve niet-stationariteit van het model, ook een betere benadering van de invloed van het ontwateringsstelsel in het gebied hebben mogelijk gemaakt, alsmede simulatie van watertransport in de onverzadigde zone. In de beginfase van het project is onderzocht, in hoeverre in afwijking van de projectbeschrijving alsnog met SIMGRO zou kunnen worden gewerkt. Al snel bleek, dat de voor het project beschikbare middelen vergaand ontoereikend waren om de benodigde mensdagen te financieren.

Inmiddels wordt door de vakgroep HBH wel gewerkt aan een SIMGRO-studie van een beperkt deel van het gebied (proefaccomodatie Veenkampen).

4.3 De opbouw van het model.

In deze paragraaf komen achtereenvolgens de modelranden, het netwerk en de invoergegevens aan de orde.

4.3.1 De modelranden.

Vorm en ligging van de randen van een model zijn mede bepalend voor het stromingspatroon in het model. Daarom is getracht, twee isohypsen en twee stroomlijnen als rand te kiezen. Deze dienen zover van het eigenlijke te onderzoeken gebied af te liggen, dat eventuele randfouten geen invloed van enig belang op het gesimuleerde stromingsproces in dat gebied hebben.

Een probleem bij het onderzoek was dat in het Binnenveld de stromingsrichtingen in verschillende watervoerende pakketten niet evenwijdig aan elkaar zijn. In de stuwwallen leidt dat niet tot problemen, omdat daar meestal -althans op regionale schaal gezien- sprake is van een ongedeeld watervoerend pakket. Mede daarom is gekozen voor een ruime begrenzing van het modelgebied. Deze is weergegeven in fig. 4.1.

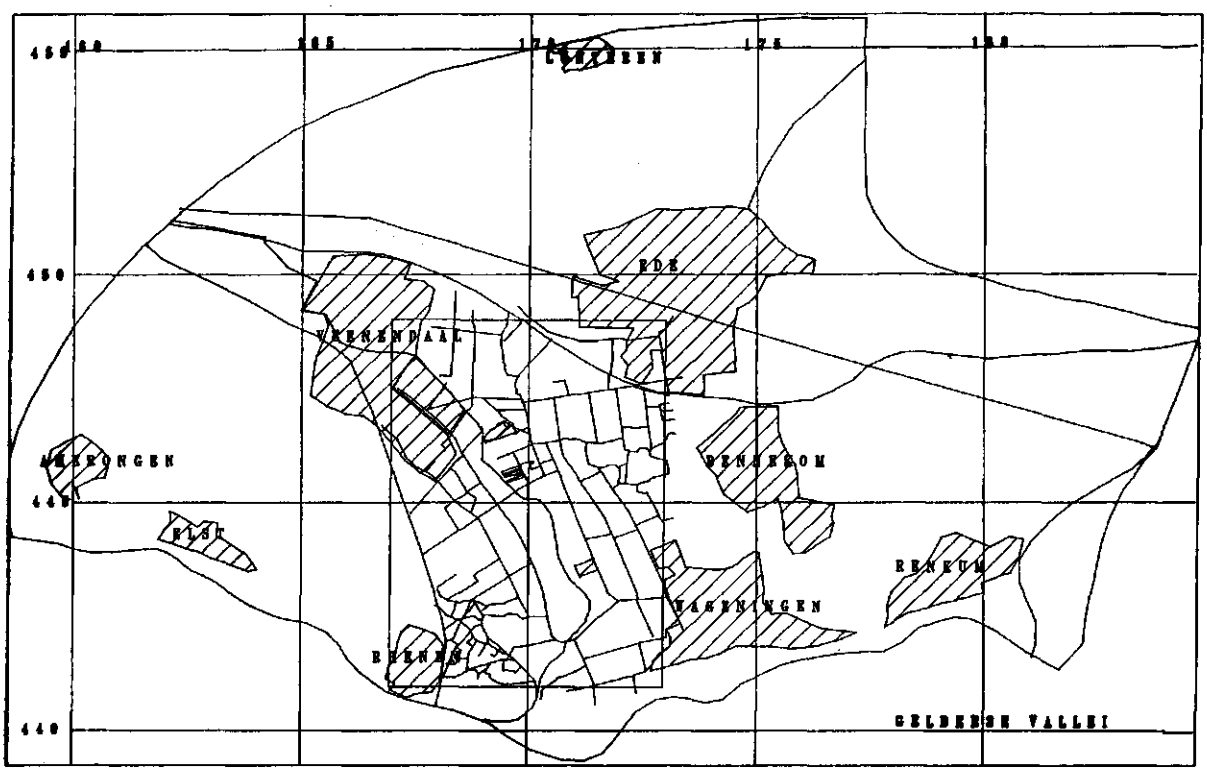

Fig. 4.1 Omgrenzing van het modelgebied. De getallen langs de rand zijn topografische coordinaten.

De situering van de modelranden is gebaseerd op de isohypsen in het eerste watervoerende pakket dd. 28 april 1975 volgens het Grondwaterplan Gelderland (1985). Door het meest westelijke punt van het modelgebied

ruim buiten het te onderzoeken gebied te kiezen -nabij Amerongen- komt de noordelijke modelrand in een gebied te liggen, waar de stromingen in de verschillende watervoerende pakketten wel redelijk evenwijdig zijn. Als zuidelijke modelrand is de loop van de Nederrijn van Amerongen naar het oosten gekozen.

4.3.2 Het netwerk

Het netwerk bestaat uit driehoeken. Er zijn drie gebieden met verschillende driehoekgrootten. In het lage deel van de Gelderse Vallei is een knooppuntsafstand aangehouden van 200 m, in het Valleigebied daaromheen van 325 m, daarbuiten 650 m. Dat leidt tot een netwerk met 1257 knooppunten; vrijwel de limiet van wat in de gegeven situatie met drie watervoerende en twee scheidende lagen met Microfem kan worden gesimuleerd. De netwerkconfiguratie en de ligging in het topografisch coordinatenraster zijn weergegeven in fig. 4.2.

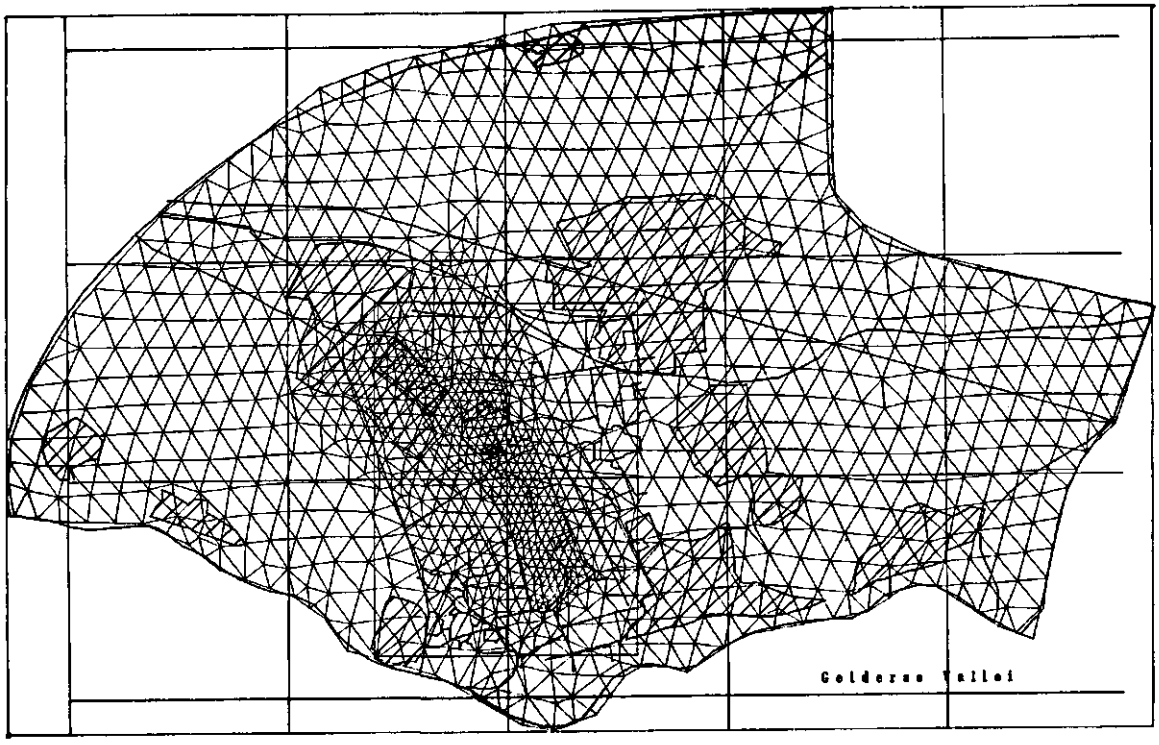

Fig. 4.2. Het netwerk.

4.3.3. De invoergegevens

Geohydrologische constanten

De geohydrologische constanten zijn geschat aan de hand van bekende gegevens. Ze zijn in de ijk- en verificatiefasen waar nodig aangepast.

Stijghoogten langs de modelranden

Op de randen die een isohypse zijn, is de bijbehorende stijghoogte opgelegd. Die langs de zuidrand is voor het eerste watervoerende pakket het berekende gemiddelde peil van het pand van de Rijn tussen de stuwen van Driel en Amerongen bij gesloten stuwen; voor de andere pakketten zijn ze evenals de stijghoogten op de andere isohypse-randen bepaald aan de hand van de situatie in het daarvoor gekozen jaar. Er zijn steeds situaties van eind april genomen, omdat die in het algemeen voor Nederland geacht worden, een gemiddelde toestand redelijk te benaderen.

Drainageweerstanden

Een beperking van Microfem is dat het de invloed van een drainagestelsel niet kan berekenen. Dat is in de Gelderse Vallei wel aanwezig. Daarom is een kunstgreep toegepast.
Deze bestaat uit het gebruik maken van een fictieve deklaag op het model. Die deklaag heeft een vertikale weerstand, de zg. drainageweerstand.

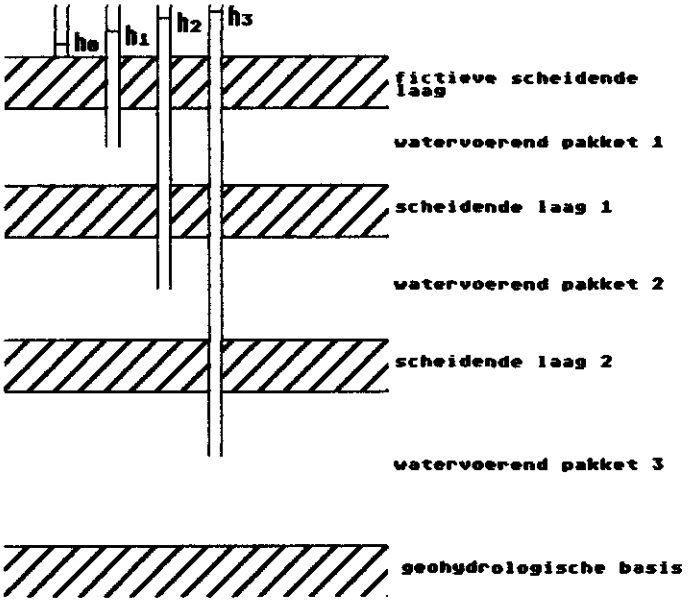

Fig. 4.3. Modellering van de drainageweerstand in Microfem. h_0 is het peil in de watergangen.

Boven deze deklaag wordt een stijghoogte opgelegd, gelijk aan het peil in de watergangen. Daarmee gaat de fictieve deklaag met opgelegd peil werken als een diffuus drainagestelsel. Het is niet mogelijk, automatisch de drainage uit te schakelen, zodra de grondwaterstand zich beneden de bodem van de watergangen bevindt (en omgekeerd). Dat betekent, dat voor iedere situatie t.a.v. drainageweerstanden modelaanpassingen nodig zijn. De modelsituatie in de vertikaal met drainageweerstand en peil in de watergangen is weergegeven in fig. 4.3.

De drainageweerstanden zijn in eerste instantie voor ca. 40 deelgebieden berekend. Voor de horizontale doorlatendheid is voor zandgronden uitgegaan van 5 m/etm, voor veen van 0.5 m/etm. Voor de anisotropiefactor α is een getal van 5 aangehouden.

Polderpeilen

Polderpeilen in de zuidelijke Gelderse Vallei zijn geen polderpeilen in de strikte zin van het woord. In feite is het beter, te spreken van bodemhoogten van sloten, omdat het bodemverhang in het gebied, met uitzondering van het lage deel, althans voor Nederlandse begrippen zeer hoog is: in de orde van 1 m/km. Er wordt in de watergangen dan ook geen peil gehandhaafd; ze voeren af als de grondwaterstand boven bodemniveau komt.

De Grift en een groot deel van de sloten in het lage gebied voeren het hele jaar door water. Het peil van de Grift wordt sinds 1972 door de LUW geregistreerd met behulp van een recorder.

De slootbodempeilen in het hogere Valleigebied zijn voor het gebied van het waterschap Vallei en Eem vrij goed bekend; ze staan aangegeven in de keur van het voormalige waterschap De Grebbe. In het oostelijk deel dat sinds kort valt onder het waterschap Gelderse Vallei is dat niet het geval. Voor dat gebied is een benadering uitgevoerd op basis van een gemiddelde grondwaterstand (gegevens meetnet LUW), een aangenomen drainageweerstand van 100 etm en een gemiddeld neerslagoverschot van 1 mm/etm (in werkelijkheid is dat iets minder). Dat resulteert in een sloot(bodem) peil 20 cm onder de gemiddelde grondwaterstand. Verder is het slootpeil tussen bekende punten zoveel mogelijk lineair geinterpoleerd.

Voor de stuwwallen zijn zeer hoge drainageweerstanden gehanteerd, terwijl de "polderpeilen" daar zo goed mogelijk aansluiten bij de gemeten grondwaterstanden. Op die manier is de invloed van een "drainagestelsel", dat a.g.v. de eerder besproken beperkingen van Microfem in het model moest worden gehanteerd, daar verwaarloosbaar klein gehouden.

Neerslagoverschot

Voor de bepaling van het neerslagoverschot is gebruik gemaakt van gegevens van het meteostation Haarweg te Wageningen. De verdampingscijfers hebben betrekking op gras. De verdamping van gebieden met ander bodemgebruik kan daaruit worden berekend m.b.v. gegevens van de provincie Gelderland (1985). De uitkomsten staan in tabel 4.1.

Tabel 4.1 Neerslagoverschot gerelateerd aan landgebruik voor verschillende perioden

Landgebruik	Neerslagoverschot(mm/d)		
	mei 1986- april 1987	mei 1974- april 1975	mei 1987- april 1988
Bos(naald/loof)	0.61	1.13	1.00
gras	0.81	1.32	1.20
bouwland	1.02	1.50	1.39
heide	0.81	1.32	1.20
stad	0.74	1.02	0.96
gras/bouwland	0.92	1.41	1.29

Om enigszins te kunnen compenseren voor de naijling van de reaktie van de grondwaterstand in de stuwwallen op perioden met veel en met weinig neerslag zijn zowel bij de ijking als de verificatie de gemiddelde neerslagoverschotten van het volle jaar, voorafgaande aan de referentiedatum (28 april 1975, resp. 28 april 1988) als invoer gebruikt.
Bijlage B geeft details over de berekening van het neerslagoverschot.

Onttrekkingen

De onttrekkingen van meer dan 200000 m^3/jaar zijn in het model ingebouwd. De benodigde informatie is verkregen uit de desbetreffende registers van de provincies Utrecht en Gelderland. De onttrekkingen vinden alle plaats in het derde watervoerende pakket.

4.4 De ijking van het model

Voor de ijking is het model doorgerekend. Tabel 4.2 geeft de gemiddelde afwijking en de standaardafwijking voor een aantal peilbuizen in de verschillende watervoerende pakketten.

Tabel 4.2 Het gemiddelde verschil tussen berekende en gemeten stijghoogten en de standaardafwijking daarvan. Een minteken bij de gemiddelde afwijking geeft aan dat de gemeten waarde gemiddeld lager is dan de berekende.

	gemiddeld verschil (cm)	standaard-afwijking (cm)	
watervoerend pakket 1	15	49	n=36
watervoerend pakket 2	-11	43	n=17
watervoerend pakket 3	-0	33	n=20

De uitkomsten van deze eerste berekening weken niet overmatig af van de in het veld gemeten situatie, zeker niet, als men bedenkt dat tussen groot-

ste en kleinste stijghoogte in het gebied rond 15 m verschil zit. Dat geeft aan, dat in de schematisering geen grote missers zaten. De belangrijkste veranderingen die naar aanleiding van de ijkfase zijn aangebracht , hebben betrekking op:

- de stijghoogte aan de zuidrand van het eerste watervoerende pakket
- het dal van Molenbeek en Kortenburgse Beek ten n en w van Renkum
- het doorlaatvermogen van het derde watervoerende pakket
- de vertikale weerstanden van scheidende lagen
- drainageweerstanden

Stijghoogte zuidrand eerste watervoerende pakket
In plaats van gegevens van Gelderland zijn die uit het ontwerp grondwaterplan van de provincie Utrecht gebruikt. De gegevens in het Gelderse plan stonden aangegeven als onzeker. De Utrechtse gegevens zijn recenter.

Molenbeek en Kortenburgse Beek
Het beekdal was aanvankelijk niet gemodelleerd. Het bleek van merkbare invloed te zijn. Er is een drainageweerstand toegepast van 200 etmalen en de slootbodemhoogte is bepaald op dezelfde wijze als voor het oosten van het Valleigebied.

Doorlaatvermogen derde watervoerende pakket
hierin is meer differentiatie aangebracht op basis van de dikte van de F. van Harderwijk: het doorlaatvermogen is nu in grote lijnen evenredig met de dikte van die formatie.

Vertikale weerstanden scheidende lagen
Deze zijn meer in overeenstemming gebracht met de dikte van de betreffende laag. Daardoor is er in de tweede scheidende laag een groter verschil ontstaan tussen de gebieden ten w en ten o van de Grift. In de eerste scheidende laag is o.g.v. de aanwezigheid van klei in de omgeving van de Bennekomse Meent de C-waarde in dat gebied verhoogd.

Drainageweerstanden
Gebieden met drainageweerstanden die niet veel verschilden zijn samengevoegd tot grotere eenheden. In het lage gebied zijn enkele weerstanden iets naar boven aangepast.

Tabel 4.3 geeft de gemiddelde afwijking en de standaardafwijking na uitvoering van de correcties. Daaruit blijkt, dat de aanpassingen hebben geleid tot verbetering.

Tabel 4.3. Gemiddeld verschil tussen berekende en gemeten stijghoogten en de standaardafwijking daarvan. Tussen haakjes de waarden van tabel 4.2 (voor de ijkfase). Een minteken bij het gemiddelde verschil geeft aan dat de gemiddelde gemeten waarde lager is dan de berekende.

	gemiddeld verschil (cm)	standaard afwijking(cm)	
watervoerend pakket 1	5 (15)	19 (49)	n=36
watervoerend pakket 2	1 (-11)	12 (43)	n=17
watervoerend pakket 3	-1 (-0)	12 (33)	n=20

4.5 De verificatie van het model

Zoals vermeld, is de verificatie uitgevoerd aan de hand van de grondwaterstanden van eind april 1988. Daartoe zijn de volgende grootheden aan de nieuwe situatie aangepast:
- neerslagoverschot
- drainageweerstanden en slootpeilen, waar deze a.g.v. stadsuitbreidingen zijn veranderd
- stijghoogten op de modelranden
- onttrekkingen

Ook is een analyse uitgevoerd van de gevoeligheid van stijghoogten in het model voor veranderingen in verschillende modelgrootheden.

De uitkomst van de eerste modelberekening gaf grotere afwijkingen t.o.v. de gemeten stijghoogten te zien dan die na de aanpassingen in de ijkfase. Daarom zijn opnieuw aanpassingen uitgevoerd. Daarna is het model voor de ijksituatie opnieuw doorgerekend. De belangrijkste aanpassingen hadden betrekking op de vertikale weerstand van scheidende lagen, drainageweerstanden en de inpassing van de Grift.

Vertikale weerstand scheidende lagen
Omdat van 1988 meer gegevens betreffende de stijghoogten op dezelfde plaats boven en onder de twee scheidende lagen beschikbaar waren dan van 1975, kon een betere aanpassing van de vertikale weerstanden worden gerealiseerd. In het zuidelijk deel van het Binnenveld is de weerstand van de eerste scheidende laag verhoogd van 50 naar 75 etmalen. In de tweede scheidende laag zijn grenzen tussen gebieden met verschillende weerstanden verlegd.
Omdat in het gebied rond Hel en Blauwe Hel de in het model berekende kwel niet overeenkwam met de resultaten van een eerdere modelstudie (van der Meulen en van der Schaaf, 1989) en met veldwaarnemingen (vertikale stijghoogtegradient en de met pompproefgegevens bepaalde vertikale weerstand van de eerste scheidende laag, heeft een verdere aanpassing

van de C-waarde van de tweede scheidende laag plaatsgevonden.

Drainageweerstanden
Enkele slootpeilen in de omgeving van de Grift zijn zodanig aangepast, dat ze -overeenkomstig de werkelijkheid- niet door het peil van de Grift worden beinvloed. Er is gebruik gemaak van pas tijdens de uitvoering van het onderzoek beschikbaar gekomen gegevens omtrent slootbodemhoogten bij uitmondingen in de Grift van het waterschap Gelderse Vallei.

Inpassing van de Grift
Een belangrijke wijziging betrof de inpassing van de Grift in het model. De Grift is weinig meer dan 10 m breed, terwijl de knooppunten in dat gebied ca. 200 m uit elkaar liggen. Het Griftpeil is lager dan dat van de meeste sloten in de naaste omgeving ervan. Dat betekent de aanwezigheid van twee drainageweerstanden naar twee verschillende peilen.
De eerste weerstand heeft betrekking op de stroming naar de sloten in het gebied, de tweede op die naar de Grift. Beide weerstanden verbinden de potentiaal in het eerste watervoerende pakket met een verschillende potentiaal ("polderpeil"). Een dergelijke situatie is in Microfem niet te simuleren. Een oplossing is, een vervangende enkelvoudige drainageweerstand met een vervangend enkelvoudig polderpeil te berekenen. De berekeningswijze en de afleiding zijn te vinden in bijlage A.
Bij de modelberekening bleek het effect van deze ingreep op de stijghoogte en de kwel in de gebieden langs de Grift minimaal: de kwelintensiteiten veranderden met niet meer dan 3%, de stijghoogten nog veel minder. Dat is toe te schrijven aan het feit, dat bij een verlaagde drainageweerstand door het apart in rekening brengen van de Grift een hoger polderpeil hoort (het peil in de sloten ligt gelijk met of boven dat van de Grift).

Tabel 4.4 Verschillen tussen modeluitkomsten en meetgegevens voor 1975 en 1988 na uitvoering aanpassingen verificatiefase. De aantallen waarnemingen (n) gelden voor 1988. Een positieve waarde bij het gemiddelde verschil geeft aan dat de gemeten waarde gemiddeld hoger is dan de berekende.

	gemiddeld verschil (cm)		standaard-afwijking (cm)		aantal waarn.	
jaar	1975	1988	1975	1988	1975	1988
watervoerend pakket 1	14	21	20	30	42	42
id., Vallei	8	4	13	14	30	28
id., stuwwal	30	55	24	23	12	14
watervoerend pakket 2	10	21	15	37	17	32
id., Vallei	10	4	13	14	13	24
id., stuwwal	12	74	30	33	4	8
watervoerend pakket 3	-1	12	16	13	20	23

Het aangepaste model is ook voor de ijksituatie opnieuw doorgerekend. De resultaten staan in tabel 4.4. De tabel geeft naast totaalcijfers voor de watervoerende pakketten 1 en 2 een differentiatie voor peilbuizen in de stuwwallen en in het valleigebied. Omdat in het stuwwalgebied geen peilbuizen tot watervoerend pakket 3 zijn gerekend, hebben de cijfers voor dat watervoerende pakket uitsluitend betrekking op het Valleigebied.

De grootste afwijkingen blijken voor te komen bij de peilbuizen in de stuwwallen. Ze zijn in bijlage C, waarin de resultaten per peilbuis zijn gespecificeerd, gemerkt met een "*". Deze verdeling van afwijkingen is verklaarbaar op grond van de volgende twee overwegingen:

1. de naijling van de grondwaterstand t.o.v. perioden van droogte en neerslag in het stuwwalgebied. Een voorjaarssituatie in de stuwwal is daarom niet vergelijkbaar met een voorjaarssituatie in de Vallei.
2. door het voorkomen van gestuwde kleilagen kunnen peilbuisgegevens minder representatief zijn voor de situatie in hun omgeving en kunnen plaatselijk stijghoogten in de vertikaal aanzienlijk verschillen.

Houdt men hiermee rekening, dan is de uitkomst van de modelbenadering in feite aanzienlijk gunstiger dan de totaalrijen van tabel 4.4 suggereren.

Wel is er een systematische afwijking tussen gemeten en berekende waarden. De stijghoogten in het model worden te laag berekend: voor het stuwwalgebied ca. 0.4 m en voor het Valleigebied ruim 0.1 m. Omdat is vergeleken met de grondwaterstandssituatie op een enkele datum, is dit zeker voor wat betreft het Valleigebied geen alarmerend verschil. De standaardafwijkingen zijn bovendien niet groot. Geconcludeerd kan worden dat het model, de beperkingen van een stationnair model en de specifieke eigenschappen van het gebied in acht genomen, de situatie goed weergeeft.

Bijlage D geeft de geohydrologische constanten en de berekende isohypsenkaarten voor de referentiesituatie (na de laatste verificatieronde). Er is geen isohypsenkaart van de gemeten situatie toegevoegd, omdat de interpolatie tussen de peilbuizen uiteindelijk tot afwijkingen leidt van tenminste in dezelfde orde van grootte als de verschillen tussen modeluitkomsten en gemeten waarden ter plaatse van de gebruikte peilbuizen.

4.6 Gevoeligheidsanalyse

Voor de gevoeligheidsanalyse zijn de gemeten stijghoogten van 28 april 1988 als referentiewaarden gebruikt. Van de volgende grootheden is het effect op de stijghoogten en -i.v.m. het belang van kwel- op stijghoogteverschillen over scheidende lagen bepaald:

- vertikale weerstand eerste en tweede scheidende laag
- neerslagoverschot
- slootpeilen
- stijghoogten op de modelranden
- drainageweerstanden

De resultaten zijn voor wat betreft de stijghoogten samengevat in tabelvorm en grafisch weergegeven in de figuren van bijlage E. Bijlage F bevat in tabelvorm gegevens met betrekking tot stijghoogteverschillen ter plaatse van een aantal peilbuisparen met filters boven, resp. onder de scheidende lagen. In de tabel van bijlage E zijn ter vergelijking ook de gemiddelde afwijking en de standaardafwijking van modelresultaten versus gemeten stijghoogten voor de referentiesituatie weergegeven.

Vertikale weerstand eerste scheidende laag
Vergroting met een factor 2 veroorzaakt in de watervoerende pakketten 2 en 3 een toename van de gemiddelde stijghoogte met slechts 5, resp. 4 cm. In het eerste watervoerende pakket is het effect verwaarloosbaar. De stijghoogteverschillen over de eerste scheidende laag worden gemiddeld ca. 1.7x zo groot. De kwelflux vermindert dus gemiddeld met maar 15%.

Vertikale weerstand tweede scheidende laag
Vergroting met een factor 2 veroorzaakt een toename van de gemiddelde stijghoogte in het derde watervoerende pakket met 12 cm. Er is weinig effect op de stijghoogten in de watervoerende pakketten 1 en 2. De kwelflux van het derde naar het tweede watervoerende pakket vermindert gemiddeld met ruim 10%.

Neerslagoverschot
Verdubbeling, resp halvering geeft duidelijke effecten op de stijghoogten. Verdubbeling heeft -zoals te verwachten is- een ongeveer 2x zo groot effect als de halvering. Ook de standaardafwijkingen worden er niet beter op. De kwelfluxen worden er evenwel weinig door beinvloed.

Slootpeilen
Verhoging en verlaging met 0.5 m geeft een aanzienlijk effect op de gemiddelde stijghoogte in alle watervoerende pakketten. Zoals te verwachten, is die het grootst in het eerste en het kleinst in het derde. Ontwateringsmaatregelen, maar ook waterconservering in de Vallei blijken een aanzienlijke en tegengestelde invloed op de grondwatervoorraad van de West-Veluwe te hebben.
Het stijghoogteverschil over de tweede scheidende laag neemt bij slootpeilverlaging met 50 cm gemiddeld toe met ca. 10 cm. Verhoging van het slootpeil heeft het omgekeerde effect. Omdat het gemiddelde stijghoogteverschil ongeveer 10x zo groot is, is de invloed op de kwelstroom door de tweede scheidende laag per saldo gering. De effecten op de kwel door de

eerste scheidende laag zijn gemiddeld nog kleiner, maar verschillen van plaats tot plaats meer.

Stijghoogten op de modelranden
Verlaging met 0.5 m geeft vooral een merkbaar effect in watervoerend pakket 3, in mindere mate in 1 en 2. Zowel de gemiddelde als de standaardafwijking worden er niet beter op. De kwelflux door de tweede scheidende laag vermindert met 10-20%, die door de tweede scheidende laag praktisch niet.

Drainageweerstanden
Verdubbeling geeft een aanzienlijke verhoging van de gemiddelde stijghoogten en de standaardafwijking in alle drie de watervoerende pakketten; halvering geeft een veel geringere verlaging van de stijghoogten en een kleine verlaging van de standaardafwijking in de bovenste twee watervoerende pakketten.
Vervolgens zijn in het hogere deel van het Valleigebied de drainageweerstanden verhoogd tot 2000 etm, wat neerkomt op elimineren van het ont- en afwateringssysteem. In het lage gebied zijn de weerstanden niet veranderd. Tussen beide gebieden is een smalle overgangszone met een drainageweerstand van 400 etm gemaakt. Het effect is vrijwel hetzelfde als dat van verdubbeling van de drainageweerstanden.
De kwelflux via de tweede scheidende laag wordt in het lage gebied bij laatstgenoemde manipulatie 15-20% groter, in het hogere gebied is er sprake van een afname varierend van onbetekenend tot 100%.

5. STROMINGSPATRONEN VAN HET GRONDWATER

5.1 Overzicht

Op basis van het na de verificatie verkregen model is met behulp van het programma Flownet een stromingsbeeld in het vertikale vlak geschetst. Daarmee kan in grote lijnen worden aangegeven, waar de kwel in een bepaald gebied vandaan komt. Men dient echter aan uitkomsten van Flownet geen kwantitatieve betekenis toe te kennen; ze geven slechts een indicatief beeld van het stromingspatroon.

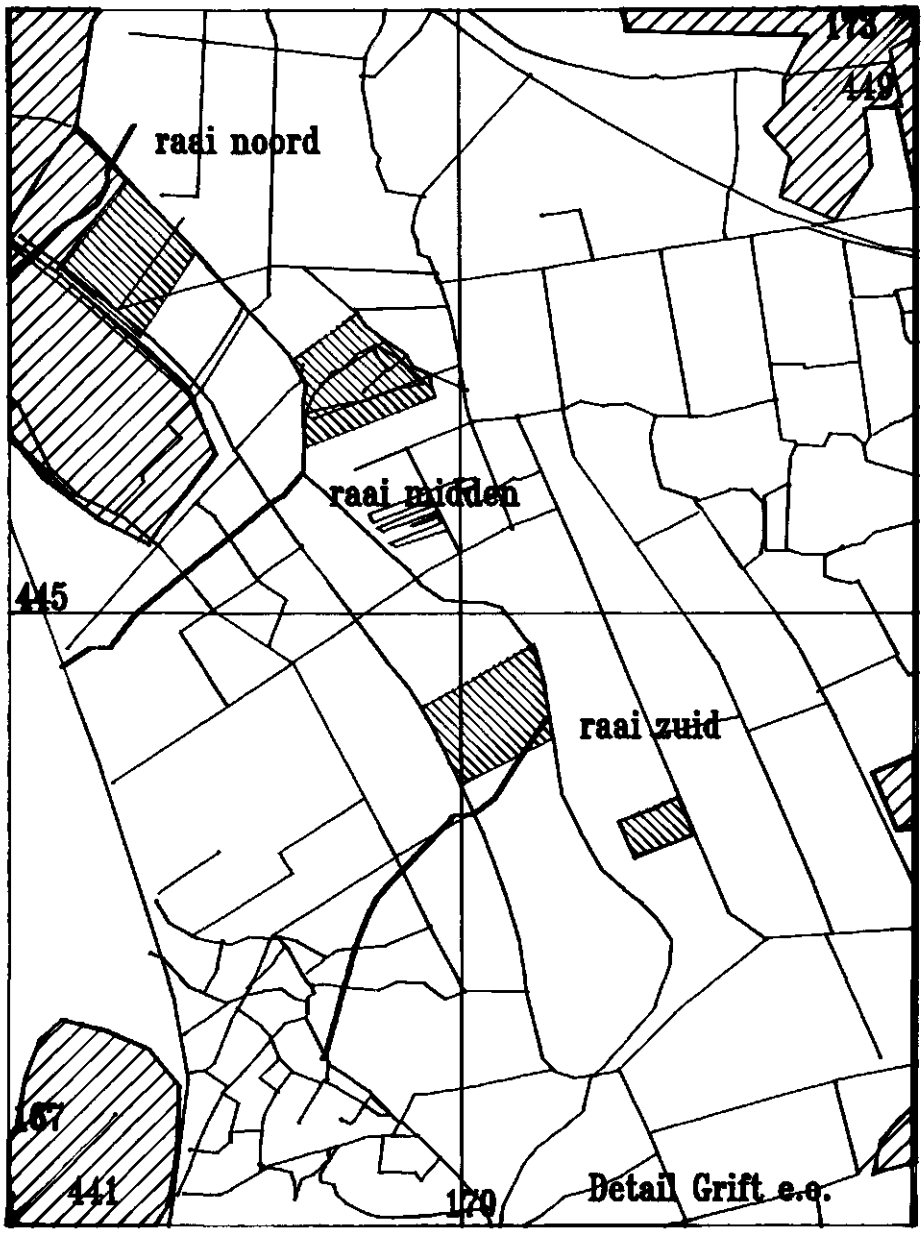

Fig. 5.1. Ligging van de raaien.

Langs een drietal raaien tussen Grift en Utrechtse Heuvelrug is een stromingsbeeld bepaald. De ligging is aangegeven in fig. 5.1. De raaien zijn aangeduid met resp. "Raai zuid", "Raai midden" en "Raai noord". Door de afmetingen van de kaart staat raai noord er slechts gedeeltelijk op. Hij loopt naar links in vrijwel rechte lijn buiten de kaart door tot de Cuneraweg Ook raai midden eindigt tegen deze weg.
De uitkomsten worden achtereenvolgens behandeld. Omdat het vermoeden bestond, dat de situatie in de noordelijke raai zou kunnen zijn beinvloed door de waterwinningen in Veenendaal, is deze raai doorgerekend voor zowel de huidige situatie als een, waarbij de waterwinningen in Veenendaal zijn gestopt.

5.2. De zuidraai

Het voor de zuidraai berekende patroon is afgebeeld in fig. 5.2. De waterbeweging in het derde watervoerende pakket is in deze raai in zijn geheel westelijk gericht. De stroomlijndichtheid neemt onder invloed van de kwel naar het bovenliggende systeem van oost naar west geleidelijk af. Omdat tussen Grift en Veluwe vrijwel geen inzijging vanuit eerste en tweede watervoerende pakket naar het derde optreedt, kan ervan worden uitgegaan, dat het water in het derde watervoerende pakket van de Veluwe afkomstig is en dat de Utrechtse Heuvelrug in deze raai geen rol speelt. Daarvoor is een tweetal oorzaken te noemen:

1. De Utrechtse Heuvelrug vormt ter hoogte van het Binnenveld slechts een smal intrekgebied in vergelijking met de Veluwe.
2. Het grondwaterstromingsstelsel in de Vallei is gesuperponeerd op de algehele o-w trend in Nederland. Onder andere daardoor ligt de waterscheiding op de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug oostelijk van de lengte-as van beide gebieden. De oostelijke ligging van de waterscheiding van de Veluwe wordt nog geaccentueerd doordat in de oostelijke stuwwal veel gestuwde klei voorkomt, als gevolg waarvan het doorlaatvermogen in w-o richting daar gering is en de afstroming van grondwater in westelijke richting nog wordt versterkt. De invloed van de Utrechtse Heuvelrug op het grondwaterstromingsstelsel van de zuidelijke Gelderse Vallei wordt daardoor relatief gezien nog kleiner.

Het patroon in het eerste en tweede watervoerende pakket is veel meer wisselend dan in het derde. Overigens komt in fig. 5.2 een onaangename hebbelijkheid van het programma Flownet naar voren: het tekent patronen die suggereren dat opwaartse en neerwaartse stromingen naast elkaar bestaan. In werkelijkheid is dat niet mogelijk, omdat het potentiaalverloop op de scheidingslijn tussen de twee stromingen dan niet gedefinieerd kan worden: er zouden tegelijkertijd een opwaartse en een neerwaartse gradient moeten bestaan.

Ondanks deze kritiek geeft het plaatje van fig. 5.2 een beeld dat erop wijst, dat in het eerste watervoerende pakket kwel en inzijgingspatronen

elkaar afwisselen. De hoofdstroming is van west naar oost gericht; de no-zw stroming in het derde watervoerende pakket buigt in het tweede watervoerende pakket terug in zw-no richting. Het kwelwater in het eerste watervoerende pakket is deels van lokale herkomst en deels via het derde watervoerende pakket afkomstig van de Veluwe.

In de omgeving van de Grift is het patroon in het eerste watervoerende pakket consistenter; het kwelwater zou daar voornamelijk afkomstig moeten zijn uit het derde watervoerende pakket. In analyses van de grondwaterkwaliteit zal dat tot uitdrukking moeten komen.

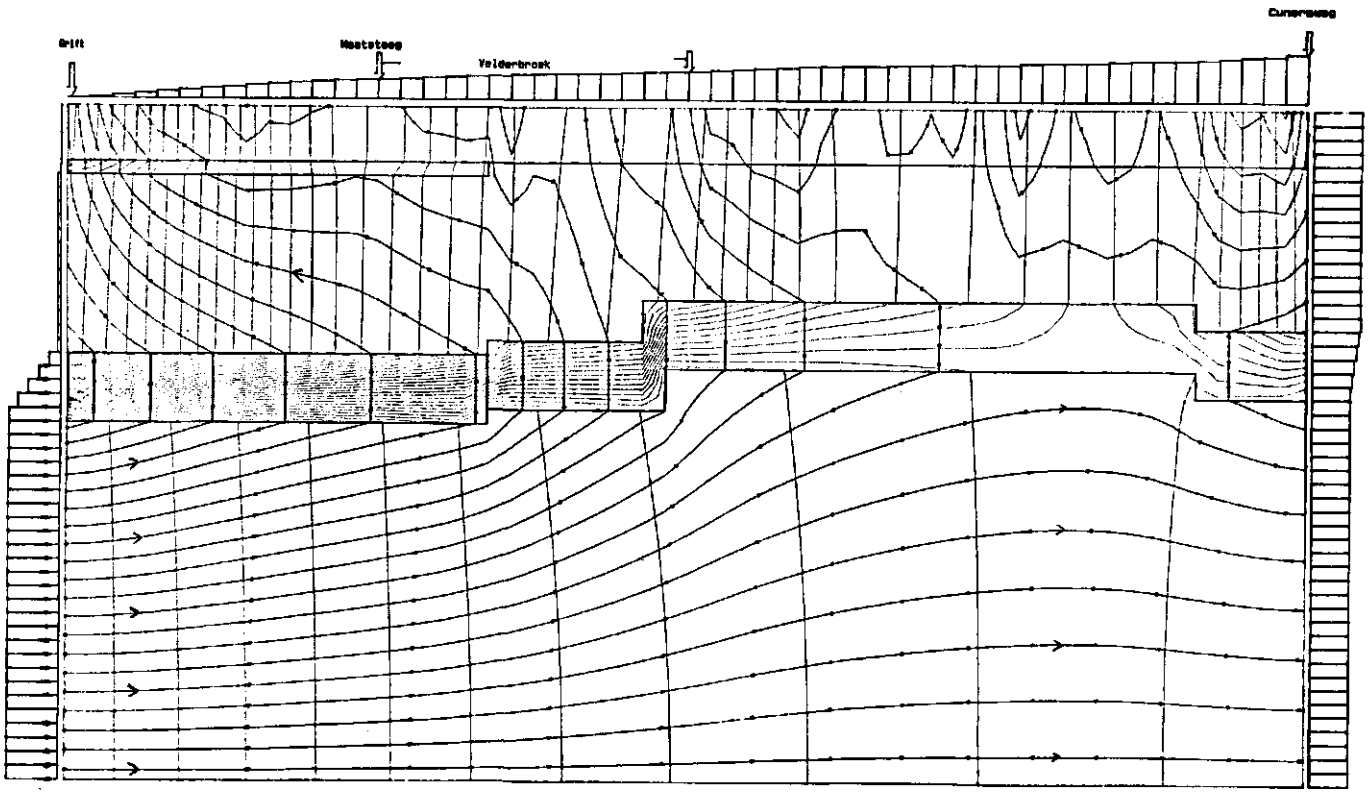

Fig. 5.2. Flownet patroon zuidraai

5.3 De middenraai

Het stromingsbeeld is weergegeven in fig. 5.3. Ook hier overheerst in het derde watervoerende pakket de stroming uit het oosten. Wel is aan de voet van de Utrechtse Heuvelrug de no-zw component vrijwel verdwenen. Voor het overheersen van de stroming vanuit de Veluwe in het derde watervoerende pakket gelden dezelfde oorzaken als in het geval van de zuidraai.

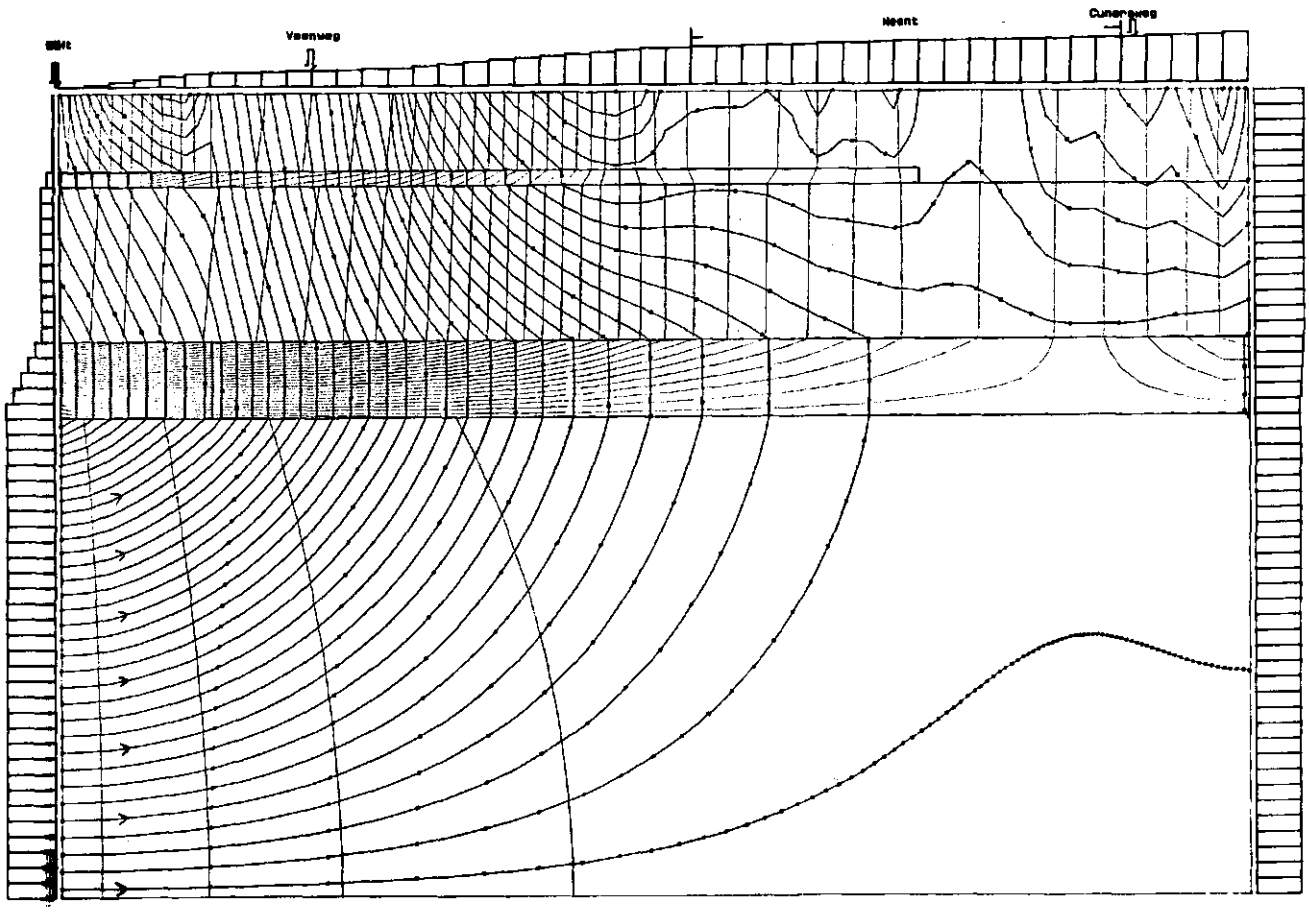

Fig. 5.3. Flownet patroon middenraai

In het tweede en eerste watervoerende pakket is het beeld weer gemengd, zij het in wat mindere mate dan in de zuidraai. Er zijn wel lokale systemen, maar het water daarin lijkt gemiddeld toch een wat langere weg af te leggen. Bovendien strekt de invloed van de kwelstroom uit het derde watervoerende pakket naar het eerste zich verder westwaarts uit dan in de zuidraai. Hier zou de grondwaterkwaliteit dus minder door lokale systemen beinvloed moeten zijn dan in het westelijk deel van de zuidraai. In de zone tussen Veenweg (noordelijk verlengde van de Maatsteeg en zuidelijk verlengde van Wageningse laan) en Grift lijkt een klein lokaal systeempje voor te komen. Of dat in werkelijkheid ook het geval is, is op basis van de beschikbare gegevens niet te zeggen.

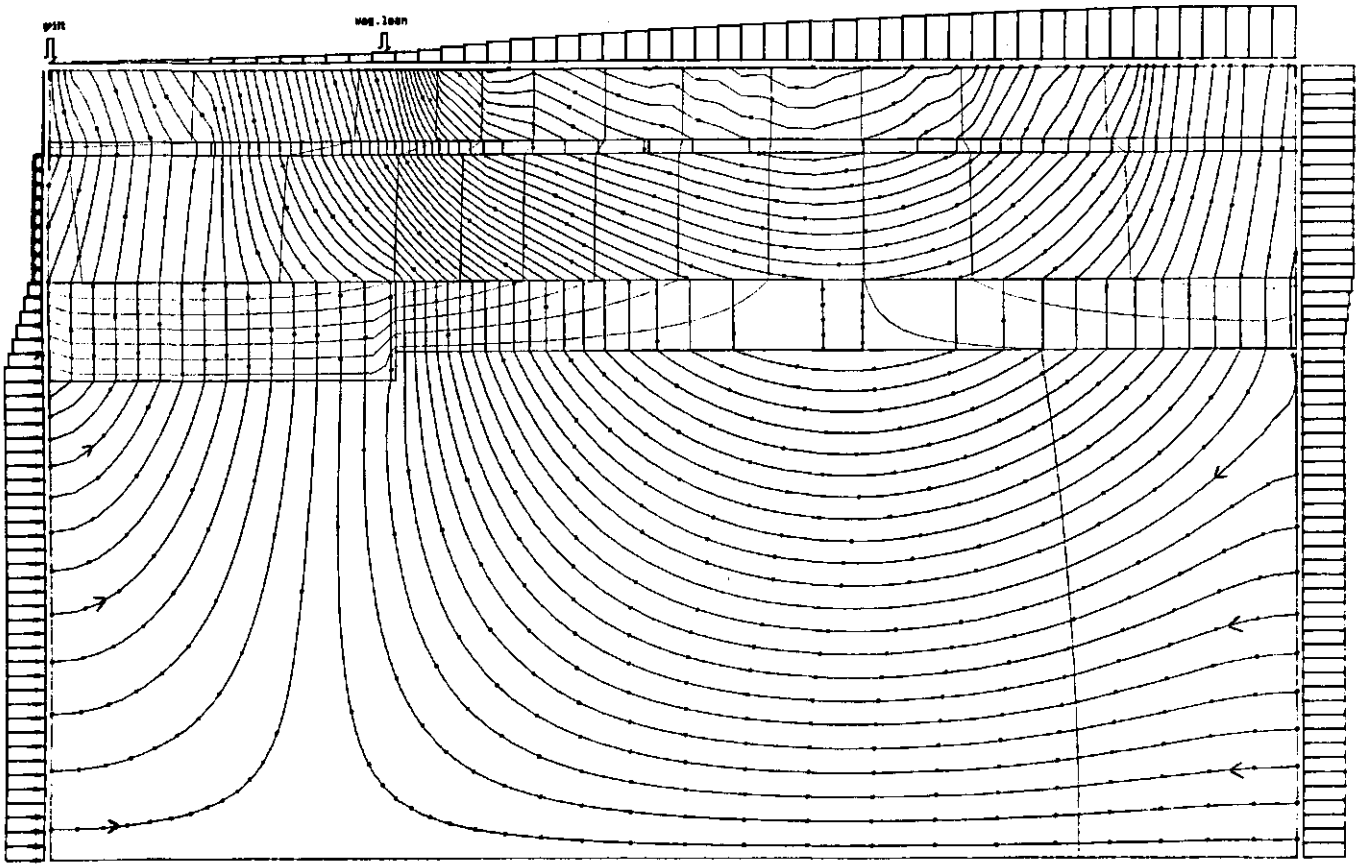

Fig. 5.4. Flownet-patroon noordraai met invloed waterwinningen

5.4 De noordraai

Het patroon is afgebeeld in fig 5.4. De stroming in het derde watervoerende pakket is hier grotendeels zw-no gericht. Hiervoor zijn twee mogelijke oorzaken aan te geven:

1. de invloed van de waterwinningen in Veenendaal
2. de van zuid naar noord toenemende breedte van zowel de Gelderse Vallei als de Utrechtse Heuvelrug. Daardoor ligt de noordraai op grotere afstand van de Veluwe dan de andere twee raaien en is ter plaatse van de noordraai de Utrechtse Heuvelrug in hydrologische zin van meer betekenis dan bij de andere twee raaien.

Het stromingsbeeld in het eerste en vooral het tweede watervoerende pakket is vrij consistent zw-no. Het lijkt erop, dat de stroming in het tweede watervoerende pakket vooral water afkomstig uit de overgangszone tussen Heuvelrug en Vallei betreft.

In tegenstelling tot de midden- en de zuidraai loopt de noordraai niet (bij benadering) langs een stroomlijn in het derde watervoerende pakket. Dat is grotendeels toe te schrijven aan de invloed van de Veenendaalse waterwinningen. Slechts in het gebied van de Grift is nog sprake van een no-zw gerichte stroming. In het westen is een vrij groot inzijgingsgebied, van

waaruit zowel het tweede als het derde watervoerende pakket worden gevoed. In het eerste watervoerende pakket lijkt in het westen de lokale component te overheersen; slechts in het oosten tussen Wageningse laan en Grift is sprake van een duidelijke kwel van Veluwewater vanuit het derde watervoerende pakket.

Om te kunnen vaststellen, in hoeverre inderdaad de stroming langs de noordraai is beinvloed door de waterwinningen, is een tweede berekening uitgevoerd, waarbij in het Microfem-model de winningen in Veenendaal (WMN, SKF en Duphar) zijn uitgeschakeld. Het resultaat is afgebeeld in fig. 5.5.

Uit fig. 5.5 blijkt, dat er zonder waterwinningen nog steeds een gebied is met een zw-no gerichte stroming. Dat gebied is echter duidelijk kleiner dan in de situatie met winningen. De scheiding tussen van de Veluwe en van de Utrechtse Heuvelrug plus overgangsgebied naar de Vallei afkomstig kwelwater ligt in de situatie met waterwinningen tussen Wageningselaan en Grift.
Zonder waterwinningen ligt deze bijna bij de Wageningselaan.

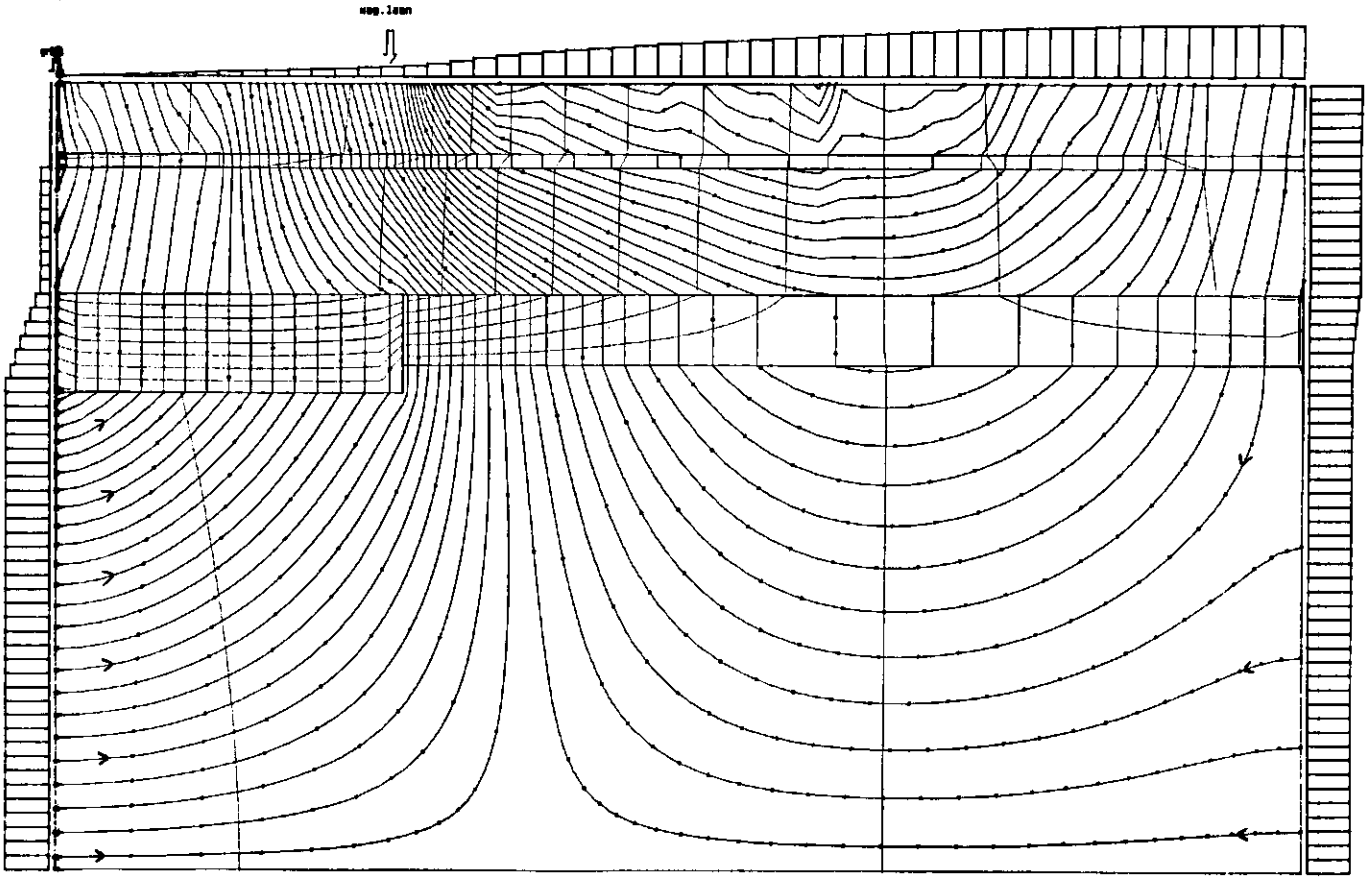

Fig. 5.5 . Flownet-patroon noordraai zonder invloed waterwinningen

De hieruit te trekken conclusie is, dat de Veenendaalse waterwinningen een deel van het Veluwewater oppompen dat anders in het natuurontwikkelingsgebied zou zijn terechtgekomen. Ook zonder waterwinningen blijft

evenwel in het derde watervoerende pakket de invloed van de Utrechtse Heuvelrug plus overgangsgebied duidelijk aanwezig.

Het stromingspatroon in het eerste en tweede watervoerende pakket lijkt zonder winningen nog wat consistenter dan met winningen. Lokale syusteempjes zijn niet noemenswaard aanwezig. Het lijkt erop, dat de toevoer van kwelwater naar de natuurgebieden Hel en Blauwe Hel voornamelijk afkomstig is van het overgangsgebied tussen Heuvelrug en Vallei.

5.5 Conclusies

Gezien de aard van het programma Flownet zijn de hieronder weergegeven conclusies niet zeer hard. Onder inachtneming daarvan kan het volgende worden gesteld:

1. De invloed van de Veluwe overheerst het stromingspatroon in het derde watervoerende pakket. Slechts in het noordelijk deel van het Binnenveld is invloed van de Utrechtse Heuvelrug vast te stellen. Deze conclusie wordt ondersteund door het isohypsenpatroon voor het derde watervoerende pakket (bijlage C).
2. Als gevolg van de waterwinningen in Veenendaal is de grens tussen het gebied met van de Veluwe afkomstige kwel en van de Utrechtse Heuvelrug en het overgangsgebied van Heuvelrug naar Vallei afkomstig kwelwater ter plaatse van Hel en Blauwe Hel enkele honderden meters naar het oosten verschoven.
3. De kwel is vooral in een zone langs de Grift vrijwel direkt afkomstig uit het derde watervoerende pakket. Voorzover in de rest van het Binnenveld kwel optreedt, is die zowel van lokale herkomst als afkomstig uit het derde watervoerende pakket.
4. In het tweede en derde watervoerende pakket komen gesuperponeerd op de zw-no gerichte hoofdstroming, lokale kwel-inzijgingssystemen voor. De betekenis van lokale systemen lijkt van zuid naar noord af te nemen.

6. WATERKWALITEIT.

6.1 Grondwaterstroming

Voor een verantwoorde interpretatie van de uitkomsten van de chemische analyses van de grondwatermonsters, is een indruk van de grondwaterstroming in het gebied noodzakelijk. Naast de in het vorige hoofdstuk beschreven profielen is op basis van beschikbare stijghoogtegegevens met Flownet een stromingsbeeld van het grondwater geproduceerd voor een noordelijke raai (iets ten z van de lijn Veenendaal-Ede) en een zuidelijke (Achterberg-Wageningen). Deze raaien liggen min of meer loodrecht op de Grift en op het isohypsenpatroon van het eerste watervoerende pakket.

Het verkregen stromingsbeeld geeft voor het gebied ten w. van de Grift nauwelijks verschillen met de eerder beschreven profielen. Evenals dat vanaf de Grift naar het westen het geval is, gaat de kwelsituatie nabij de Grift in oostelijke richting over in een patroon van lokale kwel- en inzijging, dat in het gebied tegen de stuwwal Wageningen-Lunteren overgaat in uitsluitend inzijging.

De zuidraai geeft voor het gebied bij de Grift en oostelijker een vergelijkbaar beeld. In westelijke richting gaat eerder dan in de noordelijke raai inzijging overheersen. Ook die tendens valt uit de in hoofdstuk 5 beschreven profielen af te leiden. Hij komt ook overeen met gegevens van Veen (1989) die in de kom bij Achterberg atmotroof oppervlaktewater aantrof.

Uit de gebruikte modellen blijkt niet, in hoeverre de kwel het oppervlak of althans de wortelzone daadwerkelijk bereikt. Voor de bepaling van de mogelijkheden voor vestiging c.q. handhaving van kwelafhankelijke vegetaties is kennis dienaangaande van groot belang. In de wortelzone spelen naast de grondwaterstroming ook andere zaken als neerslag, verdamping en infiltratiecapaciteit een rol. De situatie in kwelgebieden is in grote lijnen als volgt:
Er zijn twee stromingsstelsels: een gevoed door neerslag en een, gevoed door kwel. Waar de scheidingslijn ligt, hangt af van de grootteverhouding van kwelflux en neerslagflux. Naarmate de kwelflux relatief sterker is, zal de neerslaginvloed op geringere diepte overgaan in een overheersende kwelinvloed en omgekeerd. Reikt de kwelinvloed zo hoog, dat deze in staat is de grond tot op geringe diepte verzadigd te houden, dan zal bij neerslag een deel ervan oppervlakkig afstromen. Daardoor vermindert de invloed van neerslagwater op de grondwaterkwaliteit verder.

Op deze manier ontstaat bij voldoende kwel een slechts enkele cm dunne neerslaglens op het calciumrijke water. Wanneer bv. als gevolg van ontwatering de gemiddelde grondwaterstand is gedaald, dringt neerslagwater wel verder de bodem in. De kwel zal dan alleen nog in droge perioden tot de wortelzone kunnen doordringen.

Volgens Hoogendoorn (1990) bepaalt de dynamiek van de neerslaglenzen (in chemisch en fysische zin) in belangrijke mate het overleven of uitsterven van bijzondere plantensoorten. Voor het adequaat beschrijven van het gedrag van neerslaglenzen is (nog) geen model beschikbaar.

6.2 Achtergrondwaarden.

De chemische samenstelling van het grondwater wordt in hoofdzaak door de volgende processen bepaald:
- biologisch (aerobe en anaerobe processen, zie paragraaf 6.4)
- fysisch (indamping, menging, diffusie en dispersie)
- chemisch (oplossen van gassen, $CaCO_3$ en kationenuitwisseling).

Bij de interpretatie van gegevens omtrent (grond)waterkwaliteit moet rekening worden gehouden met genoemde processen. Daarbij spelen de volgende factoren een rol: verblijftijd van het water in de bodem, de oorspronkelijke samenstelling van infiltratiewater, de vegetatie en de beinvloeding door de mens. (Meinardi 1974 en 1980, Nota, 1990).

De Veluwe, vanwaar de kwel via het derde watervoerende pakket grotendeels afkomstig is, is een weinig gestoord (dat wil zeggen relatief weinig door de mens beinvloed) infiltratiegebied van neerslagwater. De ouderdom van het diepe grondwater wordt geschat op enkele honderden jaren (Meinardi, 1980). De oorspronkelijke watersamenstelling wordt o.a. gekarakteriseerd door een laag gehalte aan opgeloste stoffen. Dat komt tot uiting in een lage EC-waarde (ca 180 µS/cm).

De chemische samenstelling in mg/l van het neerslagwater in de Bilt in 1980 staat vermeld in tabel 6.1.

Tabel 6.1: De chemische samenstelling van neerslagwater in de Bilt in 1980 in mg/l (Cultuurtechnisch Vademecum, 1988).

pH	EC	H^+	NH_4^+	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	PO_4^{3-}
4.3	0.6	0.08	1.43	2.0	0.14	0.64	0.29	3.7	0.77	6.8	0	0.01

Voor het diepe grondwater van de Veluwe zijn de gehalten aan Mg^{2+}, Na^+, Cl^- en SO_4^{2-} nagenoeg gelijk aan de gehalten van het neerslagwater, gecorrigeerd met een indampingsfaktor. De relatief hoge Ca^{2+} en HCO_3^- gehalten in het grondwater worden veroorzaakt door biologische aktiviteit in de bodem. Het diepe grondwater is nog vrijwel aeroob, gezien de lage NH_4^+, Fe- en Mn-gehaltes (Meinardi, 1980). Indamping heeft tot gevolg dat de meeste anorganische componenten (uitgezonderd Ca^{2+}, HCO_3^-, Fe^{2+} en Mn^{2+}) een concentratietoename laten zien in de onverzadigde

zone (DGV/TNO, 1988).

De verblijftijd van het grondwater in de bodem speelt in die zin een rol dat lokaal kwelwater (afkomstig uit de directe omgeving en dus in het algemeen met een relatief korte verblijftijd) ten opzichte van zijn oorspronkelijke samenstelling minder is veranderd. Het bevat minder calcium en vertoont meer invloeden uit de bovengrond dan regionale kwel (die uit het derde watervoerende pakket).

Hoogendoorn (1990) stelt dat de schaal van de kwel (lokaal of regionaal) van secundair belang is en dat de verblijftijd van het grondwater alleen van belang is als de bodem geen kalk bevat. Het Ca^{2+} gehalte wordt in dat geval bepaald door de processen die zich in de bodem afspelen. Ook Kemmers en Jansen (1982) stellen dat deze "rijping" van het grondwater sneller verloopt naarmate het sediment kalkrijker is.
Het materiaal in de ondergrond van de Veluwe en de Gelderse Vallei is vrijwel steeds kalkarm. Daardoor duurt het daar lang voordat de samenstelling van het grondwater volledig van karakter is veranderd.

6.3 Bemonstering en klassificatiemethoden.

In het Binnenveld zijn in totaal 52 peilbuizen bemonsterd. De ligging is aangegeven in fig. 6.1.

De bemonsteringen hebben plaatsgevonden op 24 september 1990 ("zomerbemonstering") en 8 januari 1991 ("winterbemonstering"). Een aantal bemonsteringspunten heeft filters in meer dan een watervoerend pakket. Daarmee kan een indruk worden verkregen van de kwaliteit van het grondwater op wat grotere diepte. Twee bemonsteringen (zomer en winter) zijn een minimumvereiste om betrouwbare uitspraken te kunnen doen (Beltman, 1989).
In het laboratorium van de vakgroep Natuurbeheer zijn de monsters op 13 parameters geanalyseerd. Er zijn vier algemeen toegepaste methoden gebruikt om de watertypen te kunnen klassificeren, te weten Stiff, Piper, IR/EC en Stuyfzand.

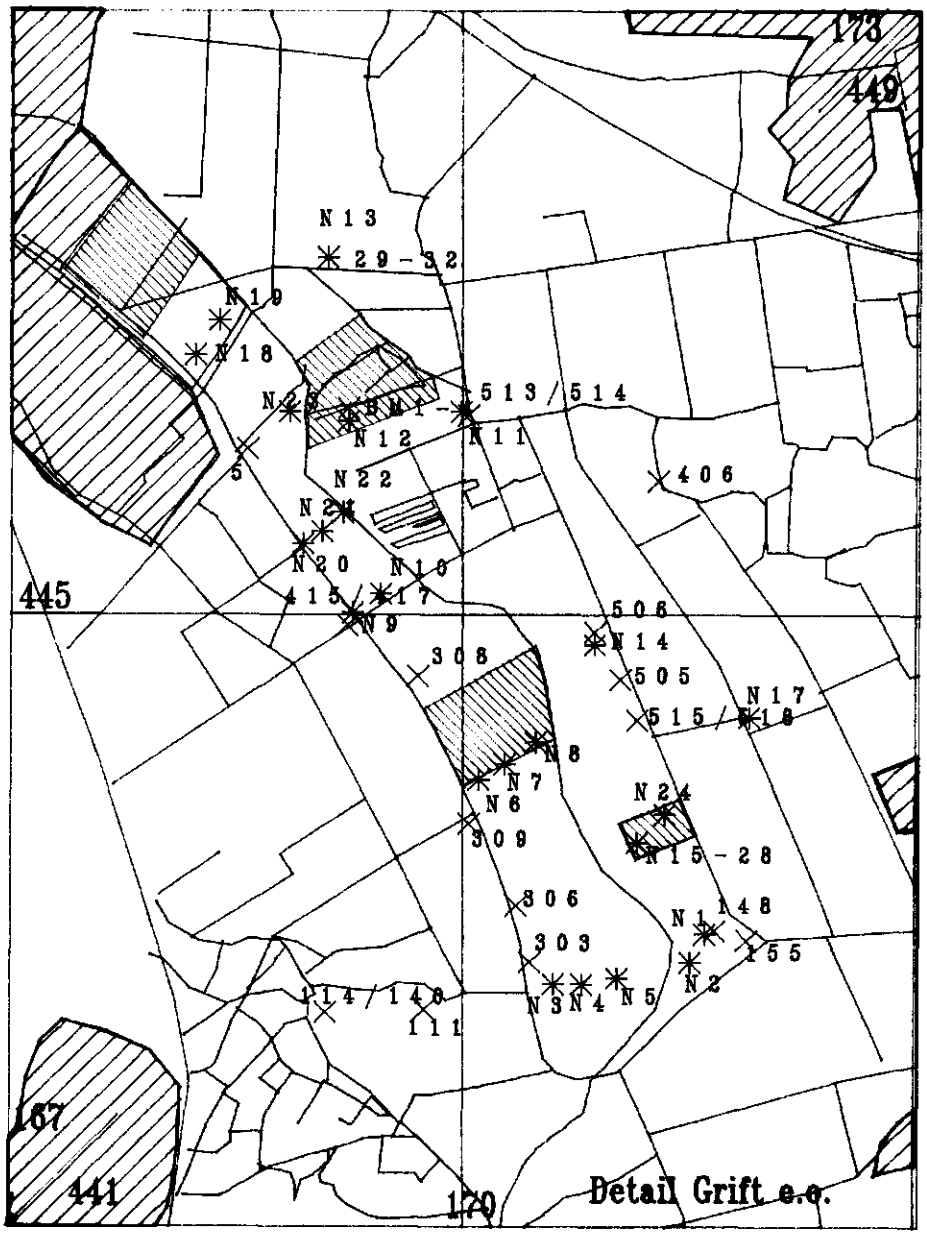

Fig. 6.1. Ligging van de bemonsteringspunten

6.3.1 Stiff.

Bij deze methode wordt het aandeel van de macro-ionen Ca^{2+} , Mg^{2+} en Na^{+} met K^{+} (kationen) en HCO_3^-, SO_4^{2-} en Cl^- (anionen) als percentage van de kationen- en anionensom uitgezet. Ook wordt de pH waarde aangegeven. Op deze manier ontstaat per monster een karakteristieke figuur, die snel een indruk geeft van de hydrologische positie van de monsterplek (Veen, 1989). Met behulp van het programma ANALYS worden de monsters op grond van de in tabel 6.2 genoemde kriteria ingedeeld (Kouwenhoven en Witte, 1983).

Tabel 6.2 : Klassificatiecriteria volgens Stiff

$Ca(HCO_3)_2$	:	Ca^{2+} > 50%,	HCO_3^- > 50%;
$Ca(HCO_3)_2$-puur	:	Ca^{2+} > 80%,	HCO_3^- > 80%;
$CaCl_2$	:	Ca^{2+} > 50%,	Cl^- > 50%;
$CaSO_4$	:	Ca^{2+} > 50%,	SO_4^{2-} > Cl^-, SO_4^{2-} >HCO_3^-;
$Ca(HCO_3)_2$-mix	:	Ca^{2+} > 30%,	HCO_3^- > 30%, rest > 15%;
$NaCl$-$Ca(HCO_3)_2$	:	rest.	

Omdat bij de zomerbemonstering van veel monsters de beschikbare hoeveelheid water beperkt was is nog een andere beoordeling toegepast. Hierbij zijn voor het NaCl-type de volgende normen aangehouden: Ca^{2+}, Na^+ en K^+, HCO_3^- en Cl^- > 30% en de rest < 25%. Per monster is bekeken welke criteria het best met de desbetreffende monsters overeen kwamen. Deze klassificatie is de gekorrigeerde Stiff genoemd.

6.3.2 Piper.

In dit diagram worden de procentuele bijdragen (in meq/l) van de macroiongroepen Ca^{2+} en Mg^{2+}, Na^+ en K^+, HCO_3^-, Cl^- en SO_4^{2-} tegen elkaar uitgezet. Er worden vijf typen onderscheiden: primair alkalien ($Na/K(HCO_3)_2$), secundair alkalien ($Ca(HCO_3)_2$), primair salien ($Na/K,SO_4/Cl$), secundair salien ($CaSO_4/Cl_2$) en een mix (Cultuurtechnisch Vademecum, 1988).

Kemmers en Jansen (1985) hebben in het Piperdiagram grenzen aangegeven waarbinnen voor natuurbeheer interessante watertypen in ongestoorde situaties op de Pleistocene zandgronden van Nederland voorkomen (onderbroken lijnen in de figuren 6.2 en 6.3). Veen (1989) hanteerde kriteria van $HCO3^-$ > 70% en (Ca2+ en Mg2+) > 70% om gerijpt water aan te geven. Door eventueel optredende bemestingsinvloeden, waarbij het aandeel Mg^{2+}, K^+ of SO_4^{2-} toeneemt, kan bij de Piper-typologie, evenals bij de Stiff-klassificatie, een vertekend beeld in de typologie optreden.

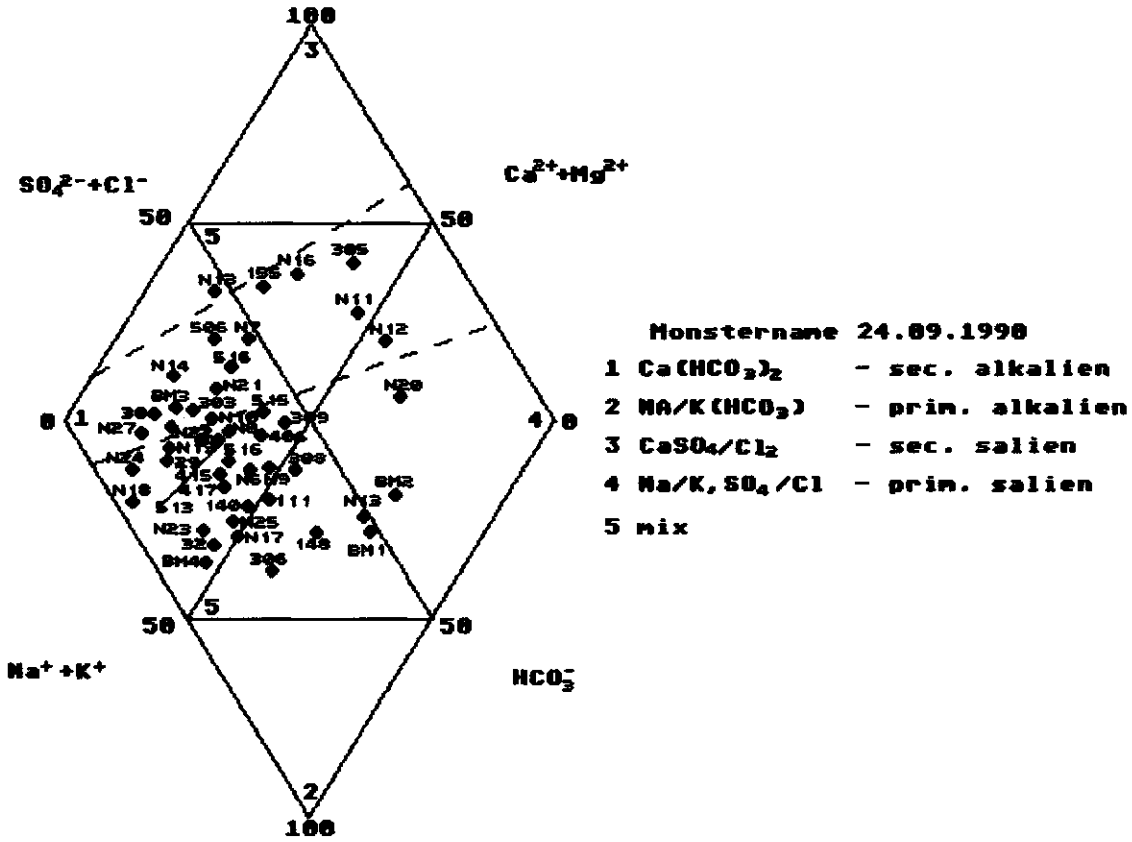

Fig. 6.2. Piperdiagram bemonstering september 1990.

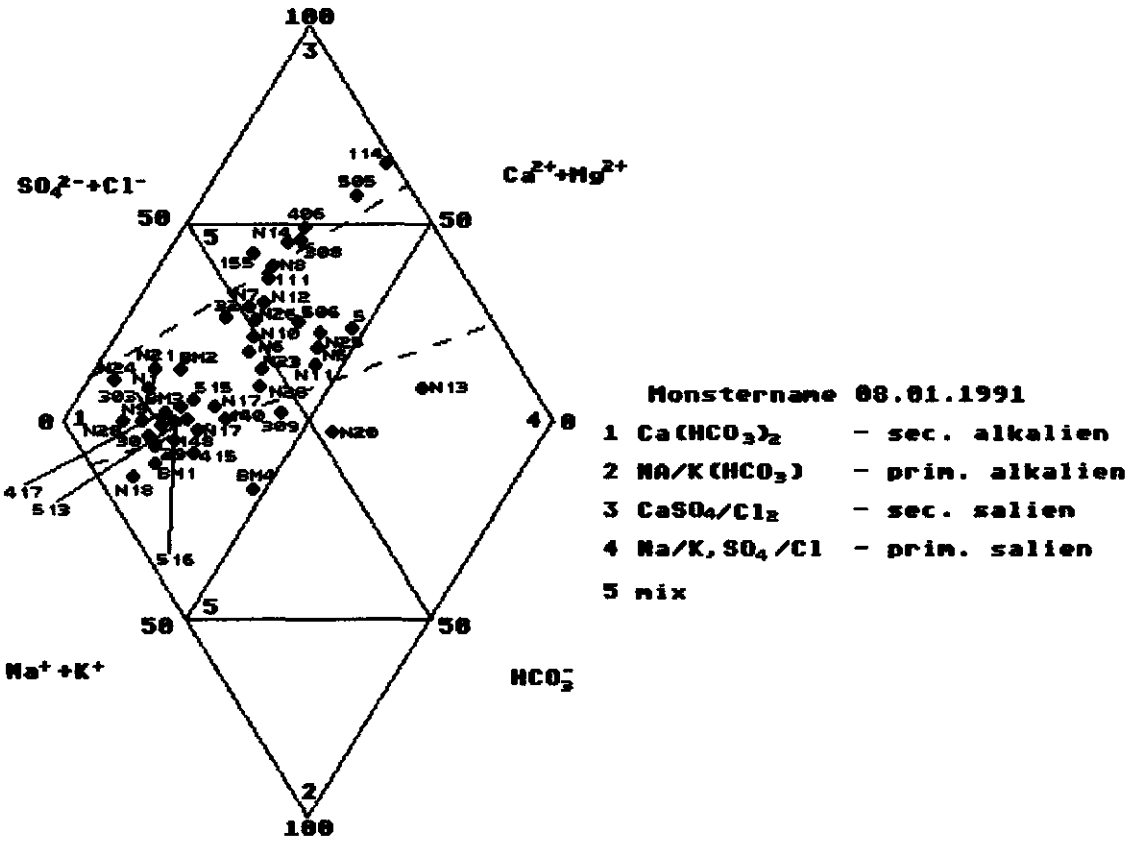

Fig. 6.3. Piperdiagram bemonstering januari 1991.

6.3.3 IR/EC ratio.

Bij deze methode wordt de ionenratio IR=$[Ca^{2+}]/([Ca^{2+}]+[Cl^-])$ (meq/l) uitgezet tegen de EC waarde (µS/cm). De ionenratio is een maat voor de rijping van het grondwater (hoe groter de ratio, hoe rijper het water). In het standaard IR/EC diagram heeft Van Wirdum (1981) een drietal referentiepunten bepaald voor atmotroof, lithotroof en thalassotroof water. Dit zijn de hoekpunten van de driehoeken in de fig. 6.4 - 6.7. Binnen de driehoek zijn grofweg vijf verschillende typen te onderscheiden, te weten atmotroof, overgang atmotroof-lithotroof, lithotroof, post-lithtroof en thalassotroof (Rijnmix) (Dijkema, 1985). De grenzen zijn in de figuren 6.4-6.7 aangegeven. Fig. 6.4 en 6.5 geven de diagrammen voor de bemonsteringen van het 2e en 3e, resp. het 1e watervoerende pakket op 24 sept. 1990, de fig. 6.6 en 6.7 die van 8 jan. 1991.

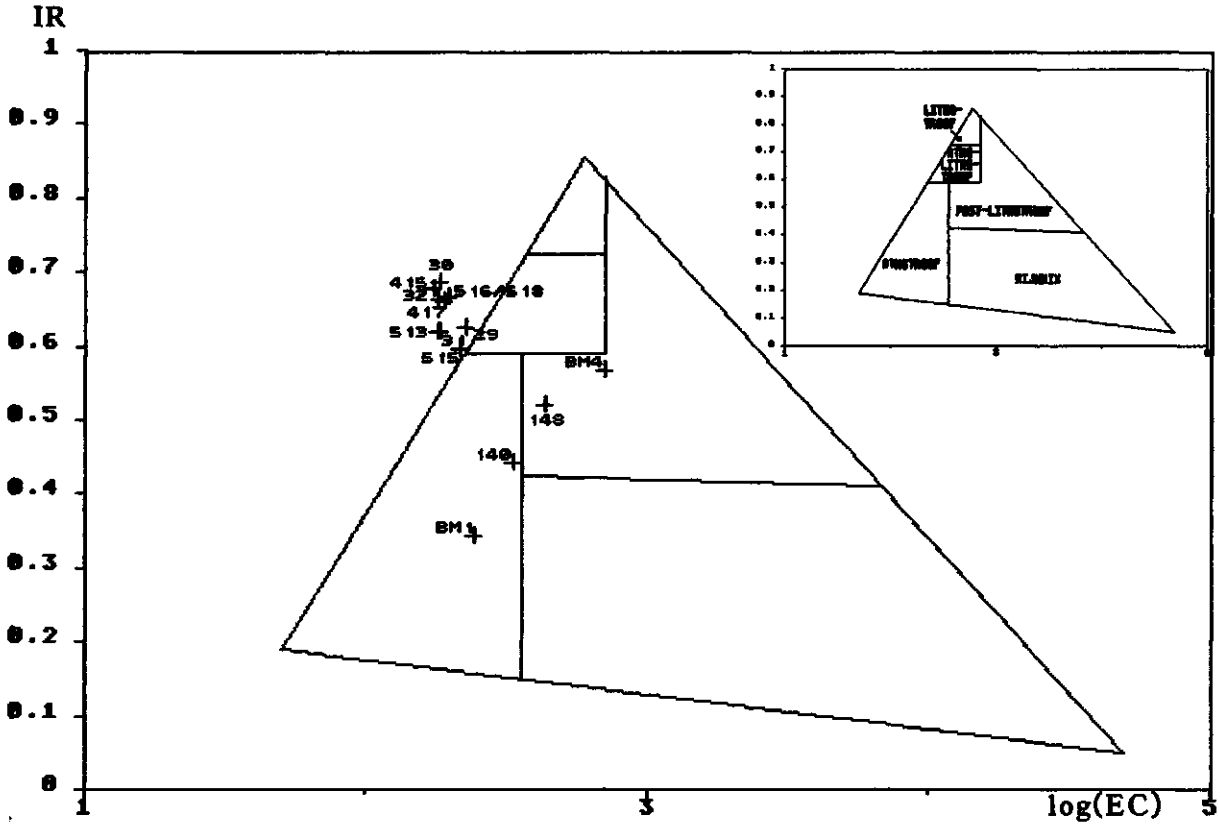

Fig. 6.4 IR/EC diagram watervoerende pakketten 2 en 3. 24 sept. 1990

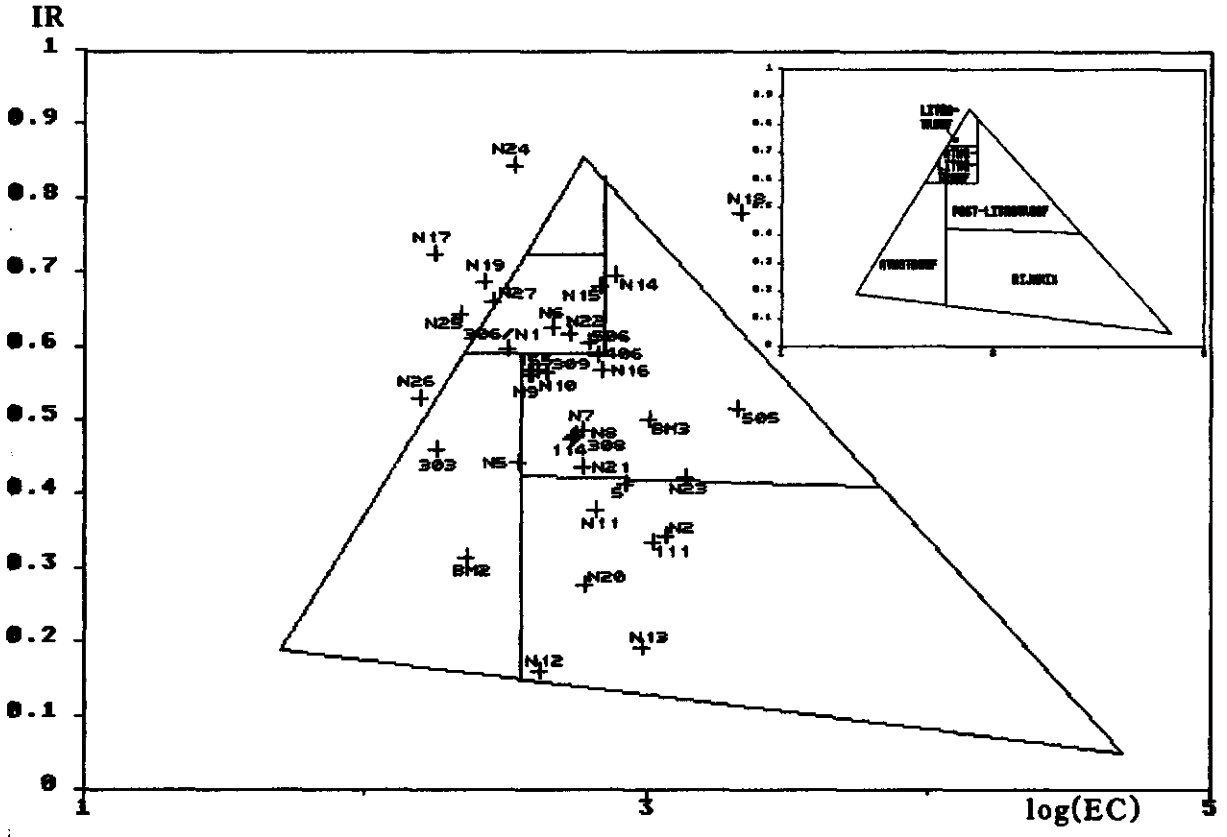

Fig. 6.5. IR/EC diagram watervoerend pakket 1. 24 sept. 1990

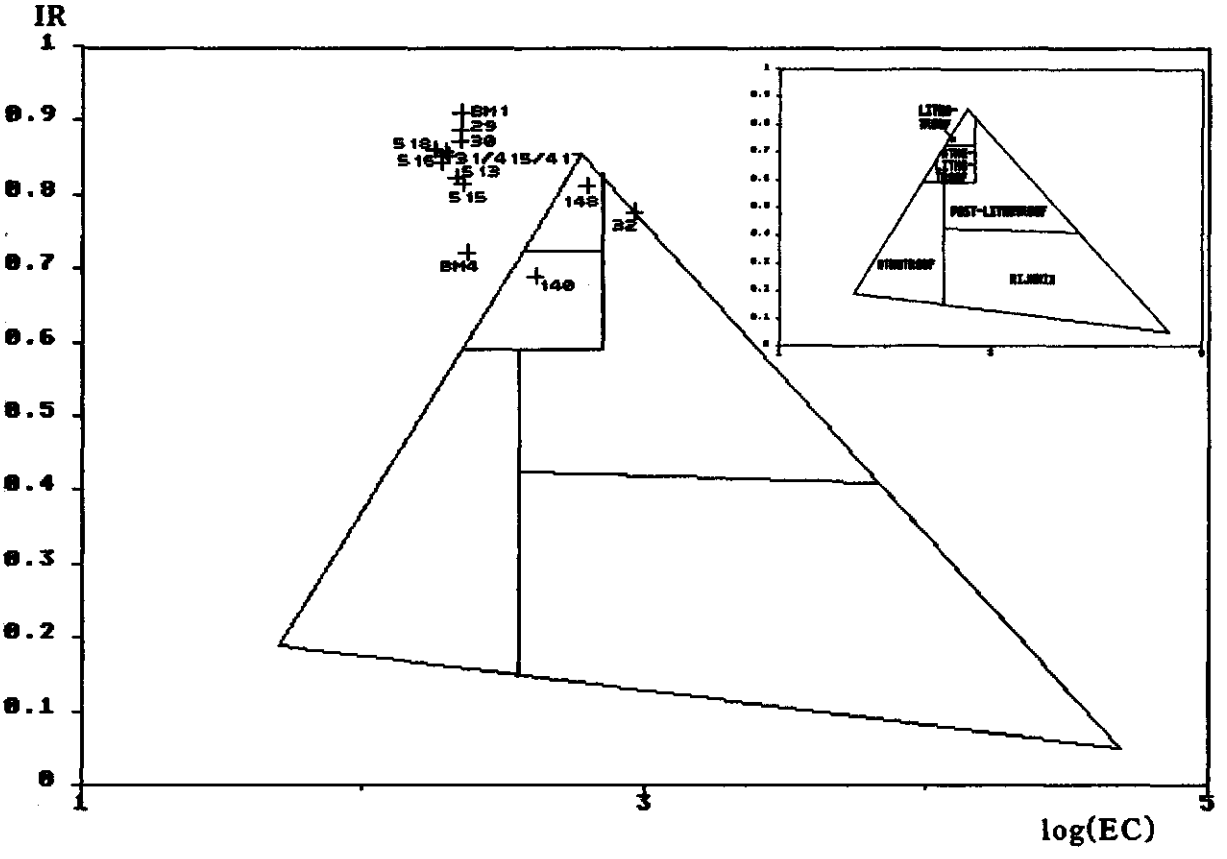

Fig. 6.6. IR/EC diagram watervoerende pakketten 2 en 3. 8 jan. 1991

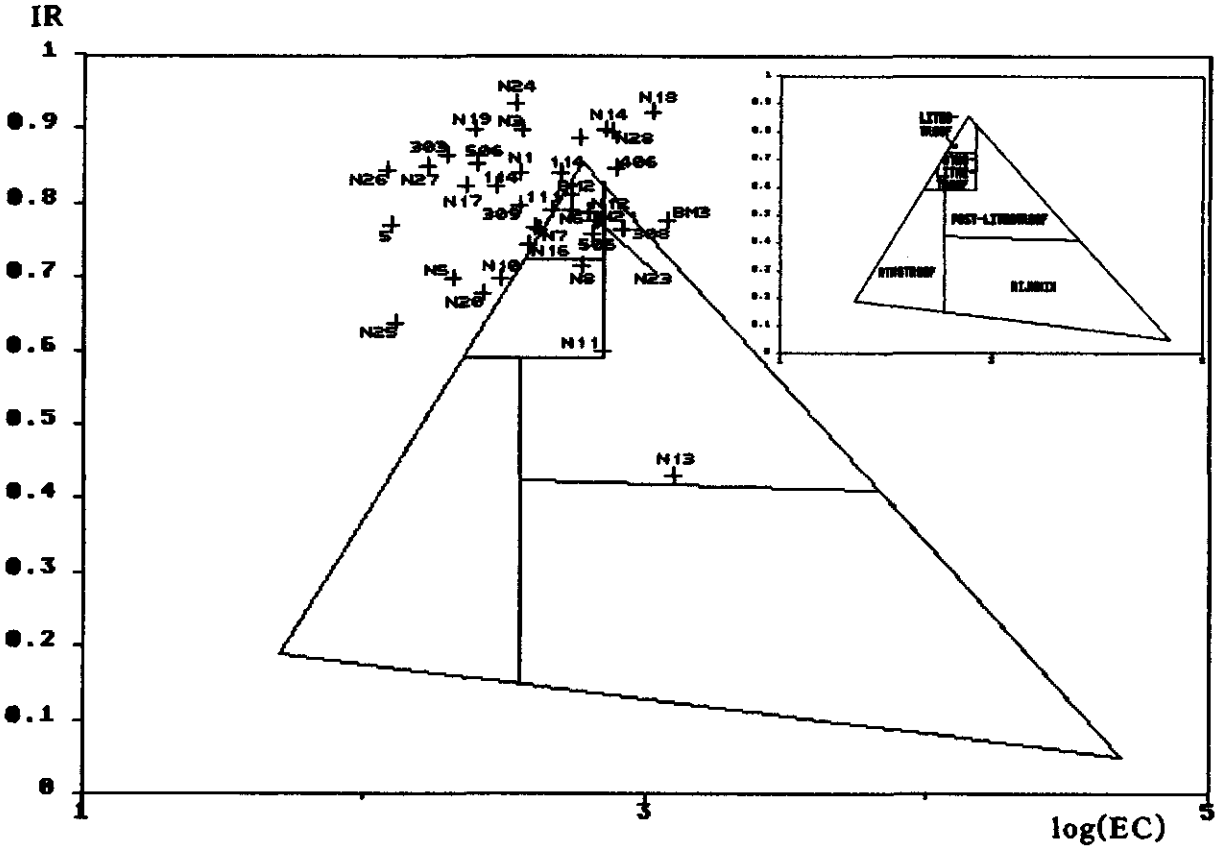

Fig. 6.7 IR/EC diagram watervoerend pakket 1. 8 jan. 1991.

6.3.4 Stuyfzand.

De Stuyfzandtypologie is een relatief nieuwe klassificatiemethode (1986), waarin een duidelijk hierarchische structuur in de benaming terug te vinden is. Er wordt op drie niveau's ingedeeld: het hoofdtype wordt aan de hand van het chloridegehalte vastgesteld (meestal < 150 mg/l); het subtype wordt bepaald door de hardheid van het water (Ca^{2+} en Mg^{2+} - gehalte) op een schaal van * tot 9; de klassen tenslotte worden onderscheiden door het dominante kat- en anion. Het voordeel van deze typering is dat bijvoorbeeld K^+ en NO_3^- ionen in de benaming naar voren komen. Een dergelijke gespecificeerde indeling heeft ook nadelen, wanneer in een gebied globaal de verschillende watertypen moeten worden beschreven. Door het grote aantal mogelijke watertypen is een vergelijking moeilijk te maken. Verder geeft Hoogendoorn (1990) aan dat het chloridegehalte verder onderverdeeld zou moeten worden om tot een zinvolle hoofdtypering te komen.

6.4 Analysenauwkeurigheid.

Om betrouwbare uitspraken te kunnen doen aan de hand van de uitgevoerde analyses, bestaan er drie methoden om de nauwkeurigheid van de analy-

ses te controleren:

1. Ionenbalans. Dit is de meest gangbare methode. Na bepaling van alle belangrijke parameters moeten de kationen- en anionensom (in meq/l) met elkaar in evenwicht zijn.
2. Toetsing van de EC-waarde aan de hand van een relatie met de totale ionensom
3. Toepassing van een bekende relatie tussen de gemeten en de op basis van ionengehalten berekende EC-waarde.

Deze methoden zijn toegepast. Er bleek in veel gevallen geen nauwkeurig evenwicht tussen de kationen- en de anionensom te zijn. Dat is mogelijk een gevolg van de aanwezigheid van (niet bepaalde) organische verbindingen. Het verband tussen de EC-waarde en de totale ionensom was daarentegen acceptabel. De resultaten lijken dus redelijk betrouwbaar. Een controle-analyse was niet mogelijk.
Het totale onderzoek is niet alleen gebaseerd op de voor dit onderzoek gedane analyses. Er is ook gebruik gemaakt van de stromingsgegevens en bestaande analyseresultaten. Bij de uiteindelijke conclusies moet desondanks rekening worden gehouden met het feit dat de analyseresultaten volgens de controlemethoden een verstoord beeld te zien geven.

6.5 Overeenkomsten en verschillen tussen klassificatiemethoden.

In de overzichtstabel uit bijlage G zijn de watertypen, gebaseerd op de vier verschillende klassificatiemethoden, aangegeven. Dit is gedaan voor zowel de zomer- als de wintersituatie. Deze paragraaf geeft een vergelijking en beoordeling van de resultaten van de gebruikte methoden. Tabel 6.3 geeft een overzicht van de percentages watertypen, die de verschillende klassificatiemethoden hebben opgeleverd.

Tabel 6.3. Percentages watertypen per klassificatiemethode.

Methode	Stiff (progr)		Stiff (gecor.)		Piper		IR/EC	
Datum	24/9	8/1	24/9	8/1	24/9	8/1	24/9	8/1
$Ca(HCO_3)_2$	40	51	44	57	69	65		
$Ca(HCO_3)_2$ puur		4		8				
$Ca(HCO_3)_2$ mix	15	4	29	16				
$NaCl-Ca(HCO_3)_2$	43	33	25	4				
Na/K SO_4/Cl					6	4		
$CaSO_4$	2	8	2	15		4		
atmotroof							12	-
atmo/lithotroof							36	4
lithotroof							4	82
post-lithotroof							34	14
rijnmix							13	-

In tabel 6.3 is de Stuyfzand typologie niet opgenomen, omdat daarbij zoveel watertypen worden onderscheiden, dat ze niet overzichtelijk in een tabel zijn weer te geven. Een vergelijking met de uitkomsten van andere methoden heeft dan weinig zin.
Uit tabel 6.3 blijkt dat het programma ANALYS voor de Stiff- klassificatie een te hoog NaCl-aandeel laat zien. Bij de gekorrigeerde Stiff bepaling (zie 6.3.1) is dit aandeel afgenomen ten gunste van het $Ca(HCO_3)^{2-}$mix type. Beide typen duiden op infiltratie. De Piperdiagrammen geven een hoger aandeel van het $Ca(HCO_3)_2$ type te zien (waarbij alle $Ca(HCO_3)_2$ monsters van de Stiff-typologie bij de Piper indeling ook onder dit type vallen). Dit wordt veroorzaakt door het feit dat het hardheidskriterium nu is: $(Ca^{2+} + Mg^{2+}) > 50$ % (vergelijk Stiff: $Ca^{2+} > 50$%).

Het lijkt dus aannemelijk dat Piper ten onrechte monsters als kweltype aanduidt. Het mixtype is een watertype, waarvan niet duidelijk is of het kwel dan wel infiltratie aangeeft. Verder valt in de figuren 6.2 en 6.3 op dat er een tendens in de winterperiode waarneembaar is, die naar rechts boven is gericht, overeenkomstig de literatuur (Kemmers, 1985). Wat betreft het voor natuurontwikkeling "interessante" grondwater, zoals Kemmers en Jansen (1985) dat aangeven, blijkt dat het grootste deel van de monsters in dit deel van het diagram valt. De vierde methode is het IR/EC diagram. Het weergegeven beeld is te zien als een aanvulling op de uitkomsten van de Stiff- en Piper-methoden, omdat de bijdrage van het calcium beter wordt weergegeven. Het is de meest eenvoudige methode en geeft een ruwere indeling van watertypen.

Ervan uitgaande, dat het meest gerijpte water (lithotroof) kwelwater is, zien we dat het aandeel als gevolg van het lage calciumgehalte in de zomersituatie nihil is. In de figuren 6.4-6.7 is te zien dat de grondwatermonsters van het tweede en derder watervoerende pakket hoger in het diagram liggen (en dus relatief meer calcium bevatten) dan die uit het eerste. In de wintersituatie is het aandeel lithotroof water hoog (80%).

Geconcludeerd kan worden dat voor het doel van de studie, het onderscheiden van kwel- en infiltratiegebieden, de Stiff-typologie het meest overzichtelijke resultaat geeft. De Piperdiagrammen tonen een hiermee overeenkomend beeld. De IR/EC ratio methode leidt als gevolg van het voor het gebied kenmerkende lage Ca^{2+} gehalte niet tot een goede klassificatie m.b.t. het kwelwatertype. Het lithotrofe type komt niet in alle gevallen overeen met het $Ca(HCO_3)_2$ type van de andere methoden. De Stuyfzand klassificatie geeft te veel informatie om in een kwel/infiltratie- kaartje te kunnen verwerken. De meeste watermonsters die bij Stuyfzand tot het kweltype behoren, worden door Stiff ook als zodanig geklassificeerd.

6.6 Interpretatie chemische samenstelling grondwater.

Op grond van de bevindingen in de vorige paragraaf is voor het onderscheiden van ruimtelijke en temporele variatie van de watertypen in het Binnenveld gekozen voor de gekorrigeerde Stiff typologie.

Fig. 6.8. Typering volgens Stiff van de bemonstering op 24 sept. 1990

6.6.1 Ruimtelijke variatie.

Aan de hand van de Stiff-watertypering is voor het Binnenveld een overzichtskaartje gemaakt met daarop de watertypen voor de zomer- en winterperiode (fig. 6.8 en 6.9). Daaruit blijkt dat de monsters uit het tweede en derde watervoerende pakket ("diepe buizen") grotendeels tot het $Ca(HCO_3)_2$ type behoren. Bij de ondiepe buizen zijn er duidelijk ruimtelijke verschillen.

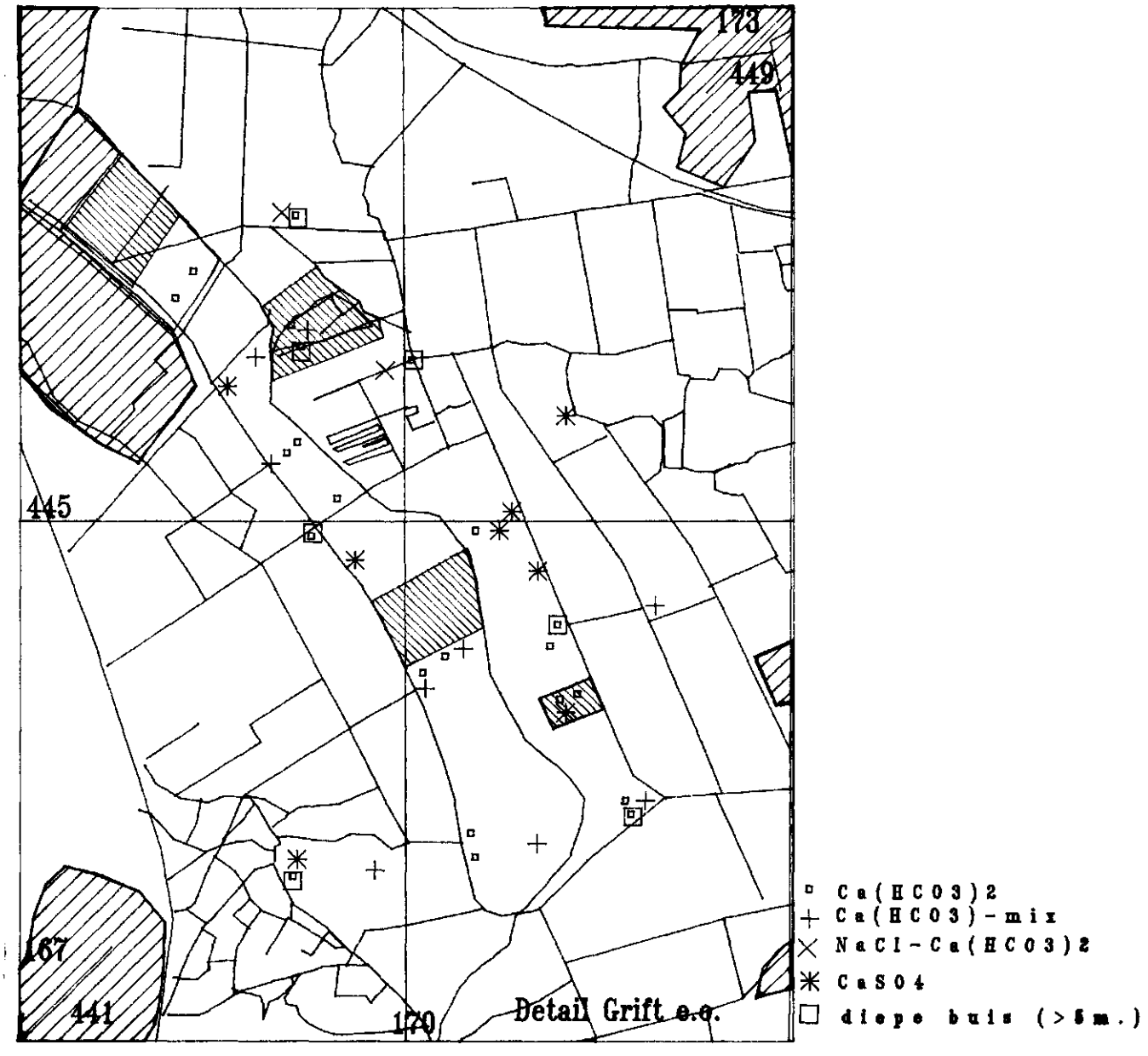

Fig. 6.9. Typering volgens Stiff van de bemonstering op 8 januari 1991.

In de zone langs de Grift, waar voornamelijk veengronden voorkomen, overheerst $Ca(HCO_3)_2$ type. Dat duidt op kwel tot in de bovengrond (i.e. 1

m-mv). Van de bemonsteringspunten met dit type liggen de buizen N18 en N19 (Blauwe Hel), N7 en N8 (Achterbergse Hooilanden) en N24, N27 en N28 (Veenkampen) in reservaten of beheersgebieden, maar ook in de buizen N21 en N22 (Goede Troost) is dit watertype aangetroffen. De westgrens van het voorkomen van het $Ca(HCO_3)_2$ type op ruim 1 m diepte loopt in de zomersituatie parallel aan en iets oostelijk van de Maatsteeg/Veenweg. In de wintersituatie ligt die grens wat westelijker: ongeveer langs de Maatsteeg/Veenweg. Deze weg ligt vrijwel op de grens tussen dekzand- en veengebied. Het dekzand (de buizen 306, 308, 309, N6, N9 en N20) heeft meest infiltratiewater, terwijl de buizen richting Grift (allen in het veengebied) kwel vertonen in de zomersituatie.

Het verschil in watertype tussen dekzand- en veengebied wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het verschil in hoogteligging tussen beide gebieden: maaiveld en het slootbodempeil in het dekzandgebied liggen tot ruim 0.50 m hoger dan in het veengebied.

6.6.2 Temporele variatie.

In de zomersituatie (fig. 6.8) leveren vijf buizen, die volgens de geo-hydrologische schematisering in het 2e watervoerende pakket liggen, een infiltratietype. In de wintersituatie leveren deze zelfde buizen een kweltype. Dit zou kunnen duiden op een verhoogde kweldruk vanuit het 3e watervoerende pakket in de winterperiode, ware het niet, dat bij de analyse van vertikale gradienten (hoofdstuk 7) geen enkele aanwijzing is gevonden dat deze in de winter hoger is dan in de zomer. Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn, dat door het transportproces van water de samenstelling naijlt op de omslag van kwel in de zomer naar infiltratie in de winter. Men dient bij dit alles wel te bedenken, dat op grond van slechts twee bemonsteringen geen harde uitspraken over seizoensafhankelijkheid van de ionensamenstelling van het grondwater kunnen worden gedaan.

De buizen in de Bennekomse Meent vertonen in de zomersituatie een geringere kwelinvloed, terwijl in de winterperiode duidelijk wel kwelwater aanwezig is. Ook hier is nauwelijks een andere verklaring mogelijk dan het naijlen van de samenstelling van het grondwater als gevolg van transportprocessen, temeer omdat de zijdelingse aanvoer op de overgang van het hogere naar het lagere gebied in de zomer juist hoger lijkt te zijn dan in de winter (hoofdstuk 7).

Doordat het aandeel Ca^{2+} ionen in de kationensom in de wintersituatie hoger is dan in de zomersituatie, komt ook het $Ca(HCO_3)_2$ puur type voor. De buizen 506, 505 en N14 in het veengebied aan de oostzijde van de Grift, hebben in de wintersituatie het $CaSO_4$-type, kenmerkend voor stagnerend regenwater. Waarschijnlijk is hier sprake van een geringe oppervlakkige

afvoer, waardoor het kwelwater in de zomersituatie wel en in de winterperiode niet tot de bovengrond (2.5 m) kan doordringen. Het water in de ondiepe buizen van de zandgebieden worden zowel in de zomer- als in de wintersituatie getypeerd als infiltratiewater.

Geconcludeerd kan worden dat de chemische grondwateranalyse gekoppeld aan het verkregen stromingsbeeld een goede indruk geeft over de werking van het geohydrologische systeem in het studiegebied. Er kunnen met een hoge waarschijnlijkheid kwelgebieden en verschillen daartussen, te herleiden op bv. een goede of slechte afvoer in de winter, worden onderscheiden. Daarmee is een basis gelegd voor de volgende stap: het aangeven van de mogelijkheden ten aanzien van natuurontwikkeling in het Binnenveld.

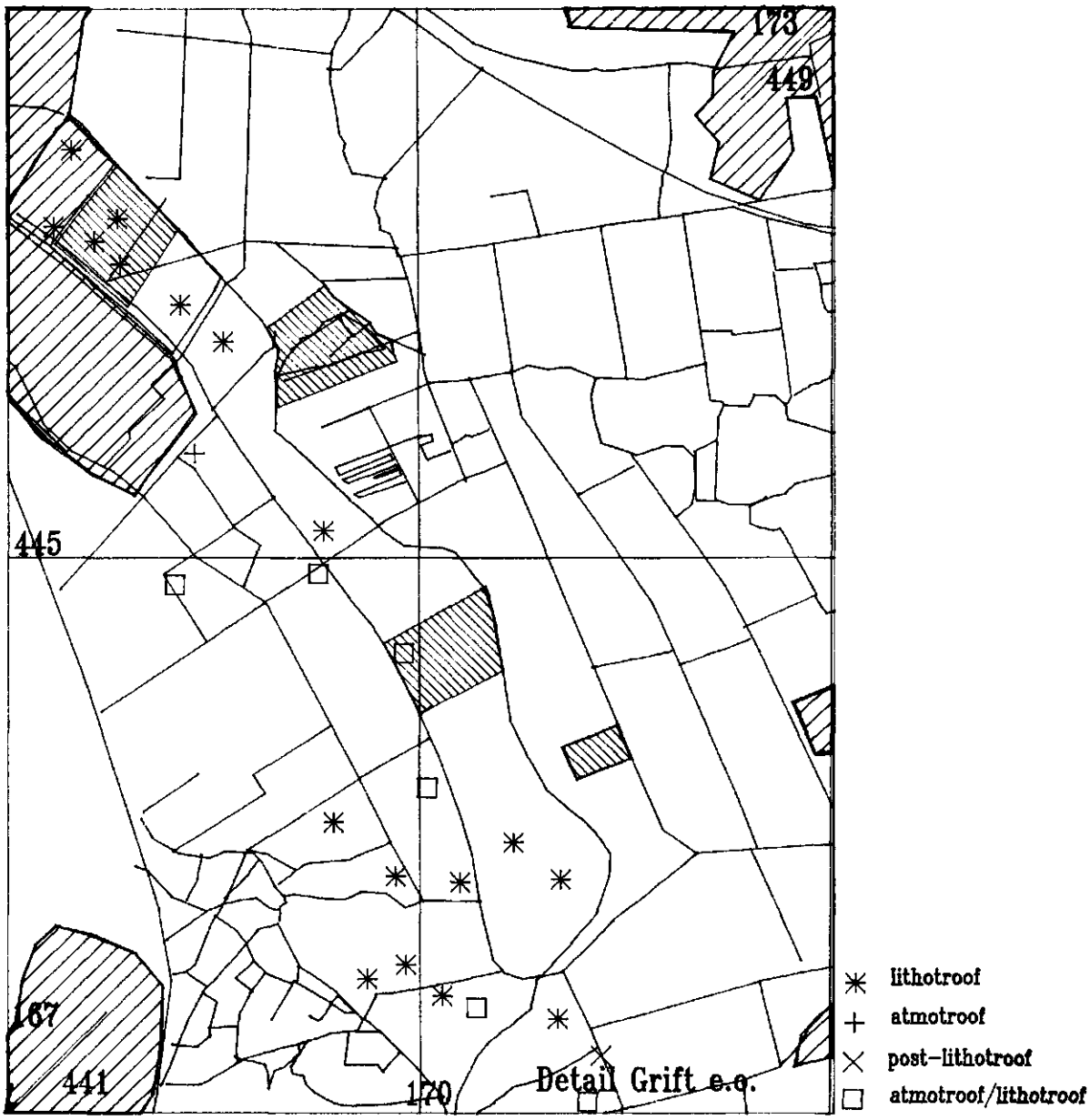

Fig. 6.10 Oppervlaktewaterkwaliteit in het gebied langs de Grift volgens Veen (1989)

6.7. Chemische samenstelling oppervlaktewater.

Veen (1989) heeft in zijn studie naar de relatie tussen waterkwaliteit en waterplantvegetaties aan de Utrechtse Heuvelrug (westzijde van de Grift) onderzoek gedaan naar de kwaliteit van het oppervlaktewater.

Van zijn monsterpunten bevinden zich 28 in het studiegebied zoals dat in dit onderzoek is gehanteerd. Fig. 6.10 geeft de watertypen aan zoals Veen die door middel van de IR ratio voor de zomersituatie geklassificeerd heeft. Uit de figuur blijkt het voorkomen van lithotroof water in het zuiden en noorden nabij de Grift. Het voorkomen van dit lithotrofe water is gecorreleerd aan het veen waarin de buizen gesitueerd zijn. Zoals eerder opgemerkt, zal dit feit meer te maken hebben met de lage ligging van het veen dan met het voorkomen ervan. De watertypen op de klei- en zandgronden vallen onder het overgangstype atmotroof/lithotroof en post-lithotroof. Een mogelijke verklaring voor het vele gevonden lithotrofe water is het feit dat slootwater is getypeerd. Sloten vangen door hun lagere ligging in het veld veel kwelwater weg.

6.8 Bemestingsinvloed.

De volgende fase van het waterkwaliteitsonderzoek omvat een analyse van het effekt van de bemesting op de kwaliteit van het grondwater. Uit recent onderzoek in de Gelderse Vallei is de gevoeligheid van bepaalde gebieden ten aanzien van belangrijke milieuinvloeden (vermesting, verdroging en verzuring) gebleken (UBM, 1990). Relatief gezien is het grondwater in het Binnenveld, en met name de gebieden langs de Grift:

- zeer gevoelig voor fosfaatvermesting;
- weinig gevoelig voor nitraatvermesting;
- weinig gevoelig voor ammoniakverzuring;
- zeer gevoelig voor verdroging.

6.8.1 Grondwater

Op basis van de chemische analyse van de zomerbemonstering is met behulp van het clusterprogramma CLUMSI (Latour, 1988) een typologie gemaakt naar de aard van de bemestingsinvloed. Hierbij zijn de volgende parameters ingevoerd: NH_4^+, NO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-, P en EC-waarde. De resultaten van deze clustering is uitgezet in fig. 6.11. Daarbij is een onderscheid naar diepte gemaakt.

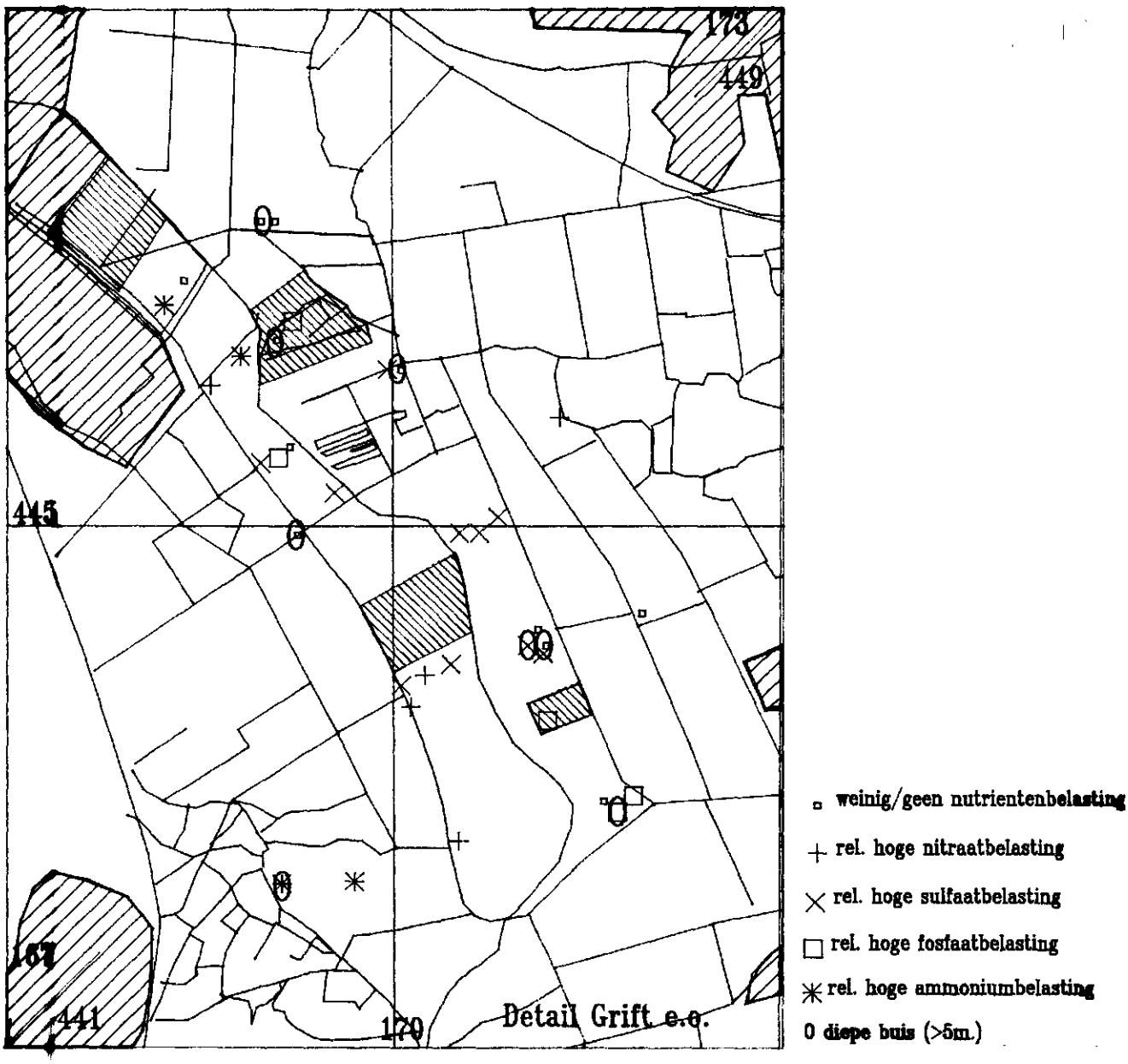

Fig. 6.11 Aandeel nutrienten in de samenstelling van het grondwater (24.09.1990, CLUMSI)

Hierbij valt op dat in de gebieden waar kwel tot in de bovengrond optreedt de nutrientenbelasting relatief gering is. De bemestingsinvloeden zijn vooral aanwezig in de ondiepe buizen (het eerste watervoerende pakket) van de infiltratiegebieden. Ook op de grens van dekzand en veen komt nitraat in het grondwater voor. Slechts op enkele plaatsen werden opvallende ammonium en sulfaatinvloeden aangetroffen (fg. 6.12). Van de diepe buizen laten alleen de nummers 140 en 515 in de zomersituatie een bemestingsinvloed zien.

Door middel van een vergelijking met de grenswaarden die in de literatuur

vermeld zijn (Jansen, 1988), is meer inzicht verkregen in de mate van de eutrofiering van het grondwater. De waarden zijn weergegeven in tabel 6.4.

Tabel 6.4. Grenswaarden nutrientengehalten water (Jansen, 1988).

	Opp.water		Grondwater				Drinkwater	
			klei/veen		zand			
	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l
Cl^-	200	5.63	100	2.82	100	2.82		
SO_4^{2-}	100	2.08	150	3.13	150	3.13		
K^+							10.0	0.26
P	0.15	0.027	3.0	0.48	0.4	0.065		
NO3-	10.0	0.81	5.6	0.45	5.6	0.45		
NH4+	1.0	0.21	10.0	2.14	2.0	0.43		

Deze grenswaarden geven een door de overheid gestelde landelijke norm aan waaraan de waterkwaliteit moet voldoen. Adriaanse (1988) vermeldt dat, ten opzichte van de totale beschikbare hoeveelheid N, voor schraalgraslandvegetaties de tolerantiegrens van 2 mg/l geldt, hoewel de norm ook wel op 0 mg/l wordt gesteld. In tabel 6.5 is aangegeven bij welk percentage van de grondwatermonsters er waarden lager dan wel hoger dan de grenswaarden werden bepaald. Het blijkt dat in ruim 40 % van alle bemonsterde buizen, zowel ondiepe als diepe, een of meer van de gestelde grenswaarden worden overschreden. De nutrientenbelasting voor de zomer- en winterbemonstering is aangegeven in resp. fig. 6.12 en 6.13.

TABEL 6.5 Bemestingsinvloed (%monsters met een nutrientenbelasting hoger dan de grenswaarde)

	ZOMER	WINTER
NO_3^-	15	14
NH_4^+	8	-
P	10	18
SO_4^{2-}	2	2
$P+NO_3^-$	2	6
$P+NH_4^+$	2	4
$P+SO_4^{2-}+NO_3^-$	2	-
GEEN BEL.	59	56

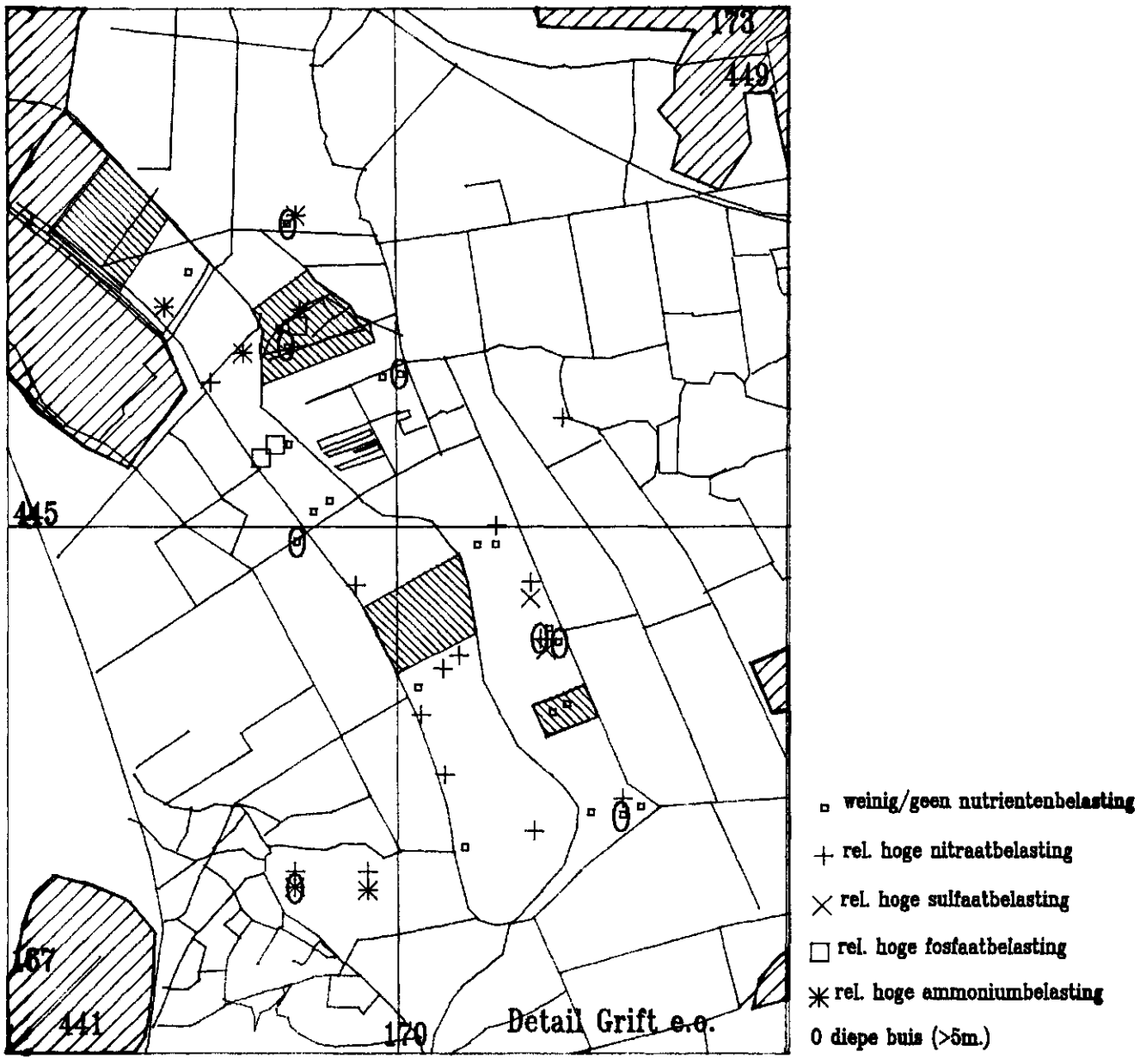

Fig. 6.12. Nutrientenbelasting grondwater. Bemonstering 24.09.1990

In de zomer werden vooral hoge stikstofwaarden aangetroffen; bij de winterbemonstering overheersten hoge waarden voor fosfaat. In tabel 6.6 is dit per watertype (gecorrigeerde Stiffmethode) uitgewerkt. Bij het $Ca(HCO_3)_2$-type, dat vooral in kwelgebieden en in diepe buizen is aangetroffen, zijn de gemeten waarden in ruim 70% van de gevallen lager dan de grenswaarden. Bij de andere typen is in overwegende mate bemestingsinvloed aangetroffen. Het $CaSO_4$ type ontwikkelt zich alleen 's winters ten gevolge van infiltrerende neerslag. Deze infiltratietypen komen voor in gebieden waar intensieve landbouw wordt bedreven.

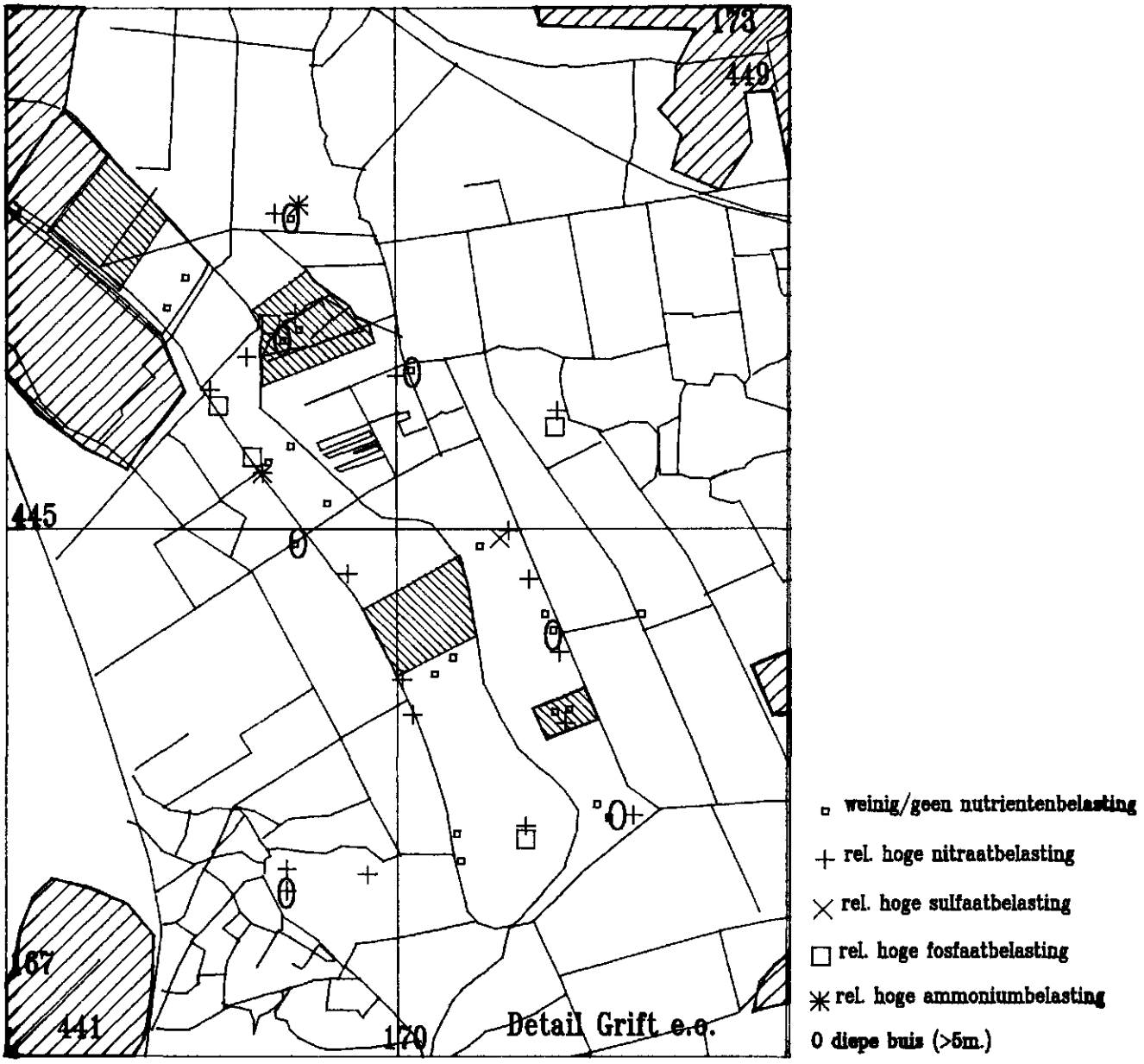

Fig. 6.13. Nutrientenbelasting grondwater. Bemonstering 8 jan. 1991.

Vooral bij de lithogene grondwatertypen komt de bovenvermelde seizoensfluctuatie m.b.t. de stikstof en fosfaatbelasting voor. Mogelijk zijn de hoge nitraatwaarden in deze venige kwelgebieden in de zomer mede een gevolg van mineralisatieprocessen die dan als gevolg van de lagere grondwaterstanden optreden. De hogere fosfaatwaarden in de winter in deze gebieden kunnen worden verklaard door de betere oplosbaarheid van de fosfaatverbindingen ten gevolge van de hogere wintergrondwaterstanden.

TABEL 6.6 Bemestingsinvloed per watertype (%monster met een nutrientenbelasting hoger dan de grenswaarde)

TYPE	$Ca(HCO_3)_2$		$Ca(HCO_3)_2$-MIX		$NaCl-Ca(HCO_3)_2$		$CaSO_4$	
	ZOMER	WINTER	ZOMER	WINTER	ZOMER	WINTER	ZOMER	WINTER
% voorkomen per type(%)	58	53	27	16	15	4	-	27
NO_3^-	10	4	21	25	25	100	-	14
NH_4^+	-	-	14	-	12	-	-	-
P	7	11	7	50	25	-	-	14
SO_4^{2-}	-	-	7	-	-	-	-	7
$P+NO_3^-$	-	-	7	12	-	-	-	14
$P+NH_4^+$	3	7	-	-	-	-	-	-
$P+SO_4^{2-}+NO_3^-$	-	-	7	-	-	-	-	-
GEEN BEL.	77	78	37	13	38	-	-	51

6.8.2 Oppervlaktewater.

Om een indruk van de nutrientenbelasting van het oppervlaktewater te geven, is evenals bij de watertypering gebruik gemaakt van het kwaliteitsonderzoek van Veen (1989). Voor de punten aan de westzijde van de Grift waar de nutrientenbelasting bepaalde grenswaarden overschrijdt, heeft Veen in zijn rapport de aard van nutrienteninvloed aangegeven (fig. 6.14). Veen concludeert hieruit dat fosfaatbelasting in het studiegebied verspreid voorkomt en nitraatbelasting met name op de overgang van dekzand naar klei en veen is te vinden. Dit laatste zou op laterale afstroming of lokale kwel kunnen duiden.

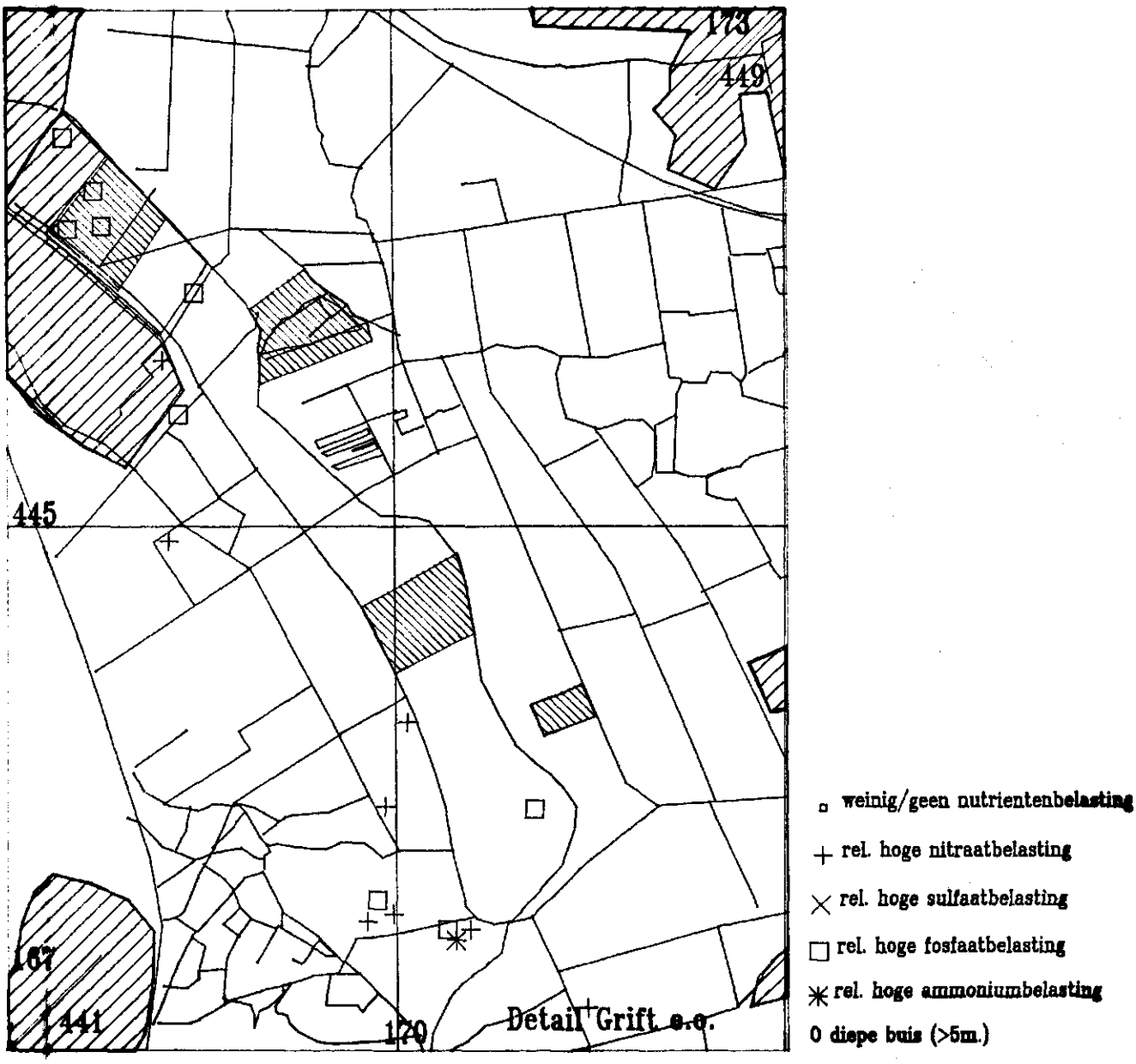

Fig. 6.14. Nutrientenbelasting in het oppervlaktewater in het gebied nabij de Grift (Veen, 1989).

6.9 Vergelijking stromingsbeeld met waterkwaliteitsonderzoek.

Wanneer in de Flownet-schematisering van het stromingsbeeld de situering van de buizen in de raaien wordt aangeven, kan per buis worden onderzocht of het aldus verkregen watertype overeen komt met het waterkwaliteitsonderzoek (paragraaf 5.2). Hiervoor zijn zowel de zomersituatie (24-09-90) als de wintersituatie (08-01-91) bekeken, hoewel het stromingsbeeld slechts een gemiddelde situatie (voor het voorjaar '87/'88) aangeeft.

In het noordelijk deel van het gebied liggen de diepe buizen 415, 416 (verstopt) en 417 (met hoge pH waarden, respectievelijk 7.8 en 7.5); ze behoren volgens verwachting tot het calciumbicarbonaattype. Buizen N9 en N10 liggen in het kwelgebied; N10 is dan ook Calcium-bicarbonaattype, N9 door een te hoog K-gehalte volgens de Stiff-typologie niet, maar volgens de door Piper gehanteerde normen wel.

Buis 406 ligt in een infiltratiegebied en vertoont het $Ca(HCO_3)_2$-mix type en als enige buis in deze raai bemestingsinvloed (nitraat). Voor de wintersituatie geven buis 415 en 417 eenzelfde beeld te zien (hoge pH waarde en $Ca(HCO_3)_2$ type). Buis N9 was verstopt. N10 geeft een nog hogere pH-waarde dan 415 en 417 (8.1) en het $Ca(HCO_3)_2$ type te zien. Ook in deze situatie geeft buis 406 als enige in de raai bemestingsinvloeden te zien. Uit de chemische analyse volgt dat deze buis tot het op regenwater duidende $CaSO_4$ type behoort. Deze conclusies komen vrij goed overeen met de kwel/inzijgingssituaties volgens de modelstudie (hoofdstuk 5 en 7).

In het zuiden van het Binnenveld bevinden zich de buizen 148, N1, N2, N3 en N4 (in de zomersituatie beiden verstopt) en N5 volgens de modeluitkomsten in het (lokale en regionale) kwelgebied. De chemische analyses klassificeren alleen de buizen 303 en N1 tot het $Ca(HCO_3)_2$ type (Stiff-typologie). Volgens de Piper-indeling vallen ook de buizen N2 en 140 onder dit op kwel duidende watertype. Buis 303 wordt overigens gekenmerkt door lage gehalten voor alle kationen.

De bemestingsinvloeden worden volgens verwachting in de infiltratiegebieden gevonden (buis 111, 114, 155 en N5 vertonen nitraatinvloeden en buis 111 en 140 ammonium-invloeden). Uit het IR/EC diagram blijkt dat de buizen 111 en N2 tot het Rijnmengsel behoren, waarschijnlijk veroorzaakt door antropogene invloeden. Voor de wintersituatie zien de resultaten er aldus uit: de buizen 140, 148, 303, N1 en N3 vallen onder het Ca(HCO3)2 type, zowel volgens Stiff als Piper en de buizen 148 en 303 laten eveneens een hoge pH waarde zien (resp. 6.1 en 6.7). Buis 114 valt on der het $CaSO_4$ type en de buizen 111, 155 en N5 tot het $Ca(HCO_3)_2$-mix type. Deze laatste vier buizen en buis 140 laten tevens bemestingsinvloeden zien (voornamelijk nitraat). In de wintersituatie zijn geen watertypen van het Rijnmengsel terug te vinden; door de natte omstandigheden is het electrisch geleidingsvermogen afgenomen. Ook in het zuiden lijken de waterkwaliteitsgegevens de modeluitkomsten te ondersteunen.

Geconcludeerd kan worden dat het stromingsbeeld uit de modellen overeenkomt met de chemische waterkwaliteit. Alleen de typering van de buizen 303, N3 en N5 komt niet overeen. De oorzaak kan worden toegeschreven aan lokale oorzaken (peilbuis 303 ligt bv. in een enige jaren geleden gedraineerd perceel), , onnauwkeurigheid van de schematisering, of aan seizoensverschillen (sept/jan. tegenover april). Het relatief lage calcium-

gehalte van monster N5 is uit het stromingspatroon niet te verklaren. Ook dit zal vermoedelijk lokale oorzaken hebben. Wat verder opvalt is dat de waterkwaliteit in de buizen op het dekzand duiden op een infiltratie situatie terwijl in deze gebieden volgens de grondwaterstroming een geringe kwel voorkomt. Dit verschil kan er op wijzen dat de geringe kwelstroom de bovenste 2.5 m van het freatische pakket niet bereikt en er dus in de bovengrond sprake is van infiltratie. Onderzoek dienaangaande vraagt aanzienlijk ingewikkelder modellen dan in deze studie konden worden gebruikt.

7. TEMPORELE VARIABILITEIT VAN DE KWEL

7.1 Overzicht

In de hoofdstukken 5 en 6 bleek, dat ruimtelijk gezien de intensiteit van kwel en het patroon van kwel en inzijging nogal varieert. In genoemde hoofdstukken is een voornamelijk stationnair beeld van de kwel- en inzijgingssituatie geschapen. Het is echter de vraag, in hoeverre dat beeld met de werkelijkheid overeenkomt. Omdat om in hoofdstuk 2 al genoemde redenen het niet mogelijk was, met een tijdsafhankelijk model te werken, is een analyse uitgevoerd van het verloop in de tijd van stijghoogtegradienten, gebaseerd op grondwaterstandswaarnemingen van het meetnet van de LUW. De meetpunten met filternummers zijn weergegeven in fig. 7.1.

Er zijn twee vormen van aanvoer van grondwater onderzocht: de vertikale kwelcomponent via de eerste en de tweede scheidende laag en de zijdelingse aanvoer via het eerste en het tweede watervoerende pakket. Daarbij zijn twee perioden beschouwd: 1981-1984 (4 jaar) en 1985-1989 (5 jaar).

7.2 De vertikale kwelcomponent

7.2.1 Kwel van watervoerend pakket 3 naar watervoerend pakket 2

Over 1981-1984 zijn gegevens van 6 piezometeropstellingen in of nabij het lage gebied beschikbaar, voor 1985-1989 van 7.

Het stijghoogteverloop boven en onder de tweede scheidende laag verschilt niet veel. Ter illustratie zijn fig. 7.2 en 7.3 opgenomen, die het stijghoogteverloop over beide perioden weergeven voor peilfilter 415 (WVP 3) en 416 (WVP 2). Dat het verloop niet veel verschilt, valt vooral te verklaren uit de zeer lage bergingscoefficient van een vrijwel afgesloten watervoerend pakket, wat het derde watervoerende pakket is (Van der Schaaf, 1986b). Wel is de amplitude van de stijghoogteschommelingen in het derde watervoerende pakket <u>gemiddeld</u> wat kleiner dan die in het eerste en tweede watervoerende pakket, hoewel dat onder invloed van lokale factoren van plaats tot plaats kan verschillen. Daardoor mag een zeer lichte seizoensinvloed worden verwacht in de zin van iets hogere kwelintensiteiten in de zomer dan in de winter.

Gesteld kan worden, dat in het algemeen het stijghoogteverschil over de tweede scheidende laag en daarmee de kwel uit het derde watervoerende pakket door stijghoogteschommelingen in het tweede watervoerende pakket weinig wordt beinvloed. Het verloop van het stijghoogteverschil tussen de piezometers 415 en 416 in de tijd is weergegeven in fig. 7.4 en 7.5. De

kwel zelf is niet berekend, omdat daarvoor de de vertikale weerstand van de tweede scheidende laag ter plaatse nodig is. Die is niet exact bekend.

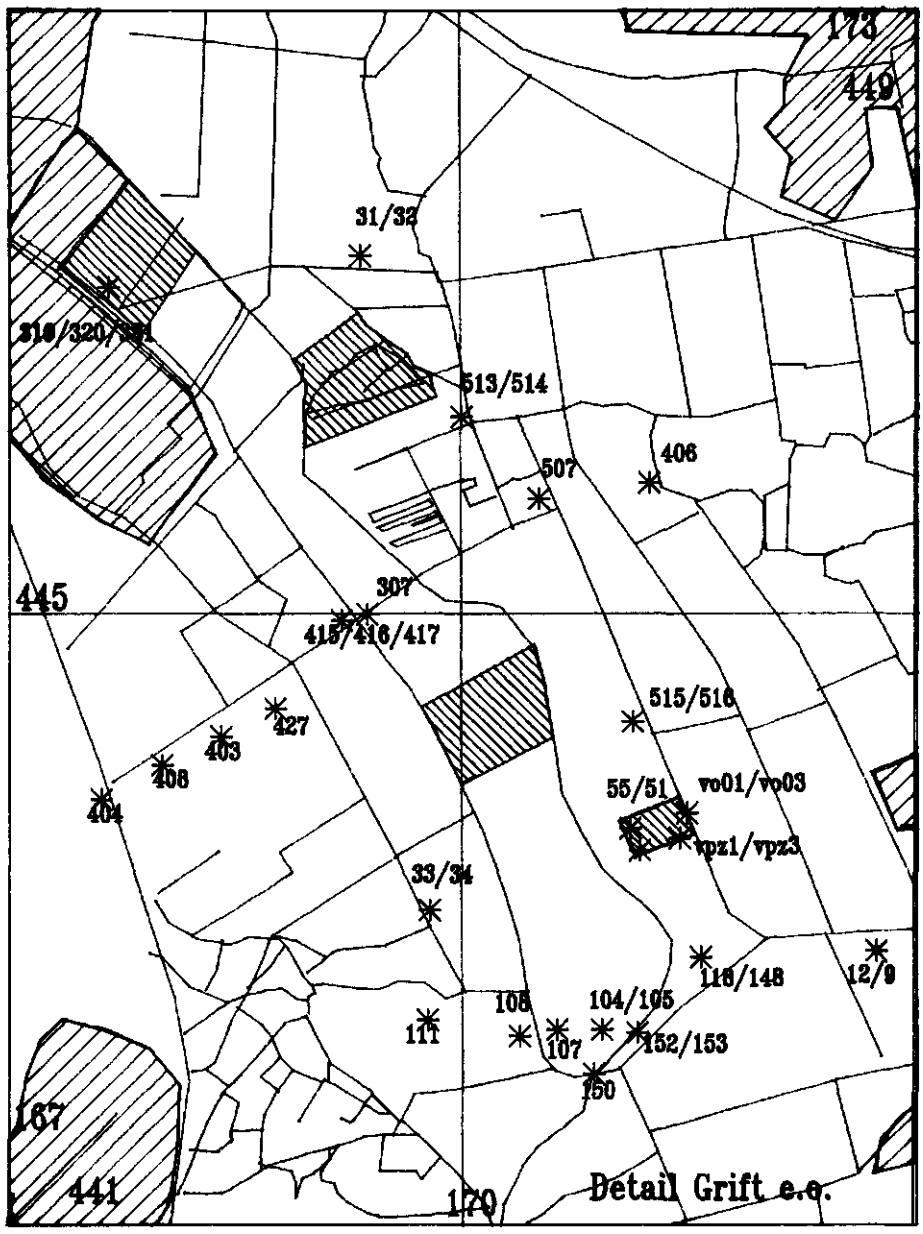

Fig. 7.1. Ligging peilbuizen

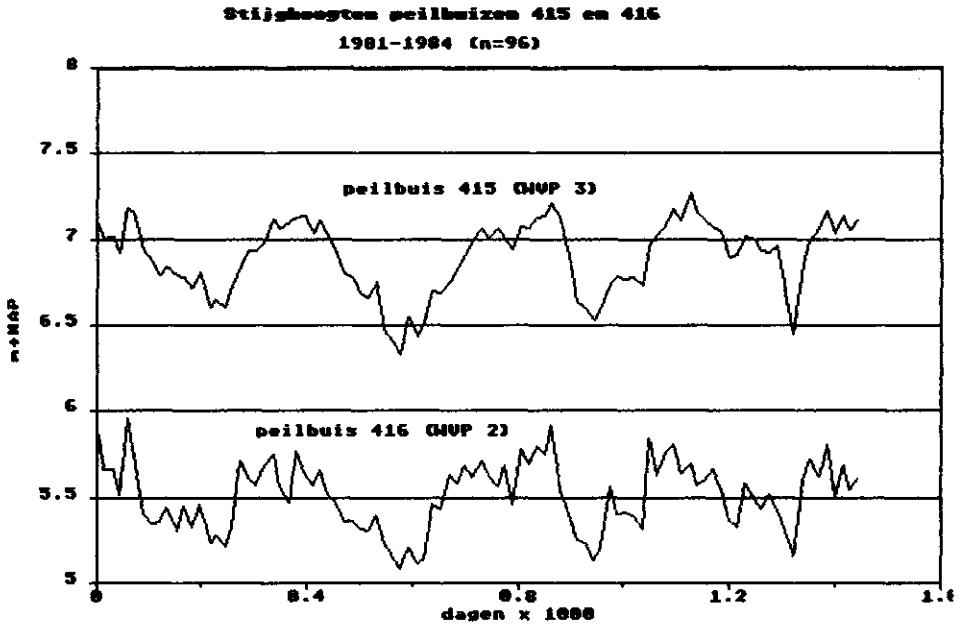

Fig. 7.2 Stijghoogteverloop over 1981-1984 van de peilbuizen 415 en 416

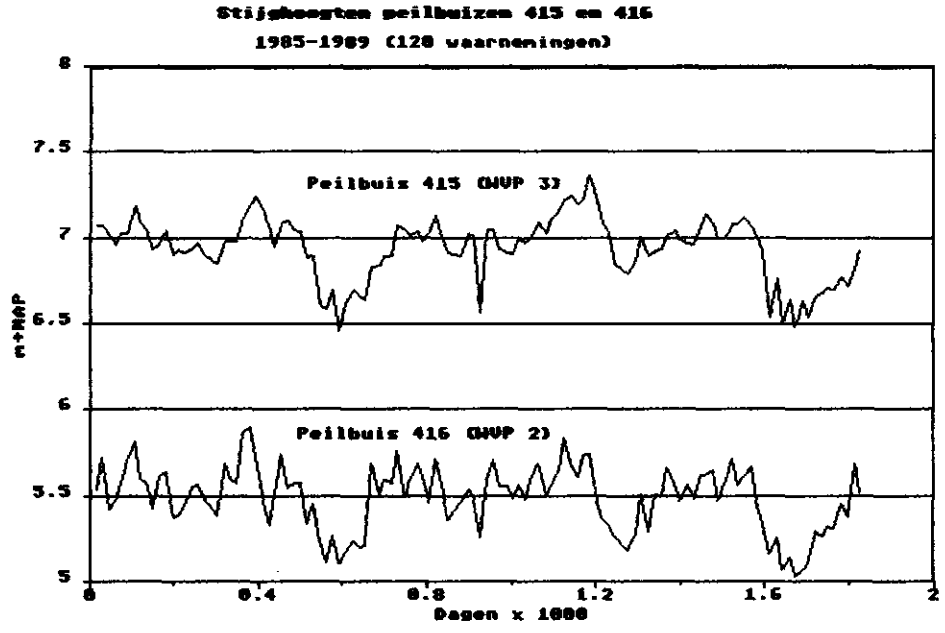

Fig. 7.3 Stijghoogteverloop over 1985-1989 van de peilbuizen 415 en 416

Uit de figuren blijkt, dat de kwel via de tweede scheidende laag ter plaatse van de piezometers 415 en 416 over het geheel genomen een vrij gelijkmatig verloop in de tijd heeft. De gemiddelde waarde ligt over de jaren 1985-1989 iets hoger dan over 1980-1984. Waarschijnlijk ligt de oorzaak in de natte jaren 1987-88. Daardoor is de stijghoogte van het grondwater in de stuwwallen in die jaren hoger geworden, wat meer doorwerkt in de stijghoogte in het derde watervoerende pakket dan in die van het tweede.

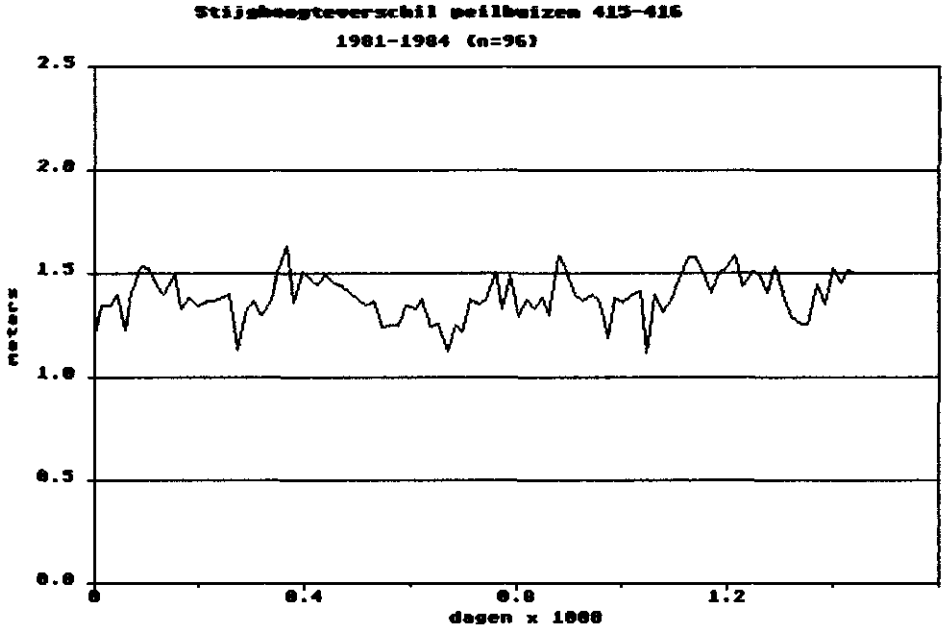

Fig. 7.4. Verloop stijghoogteverschil op de peilbuizen 415 en 416 over 1981-84

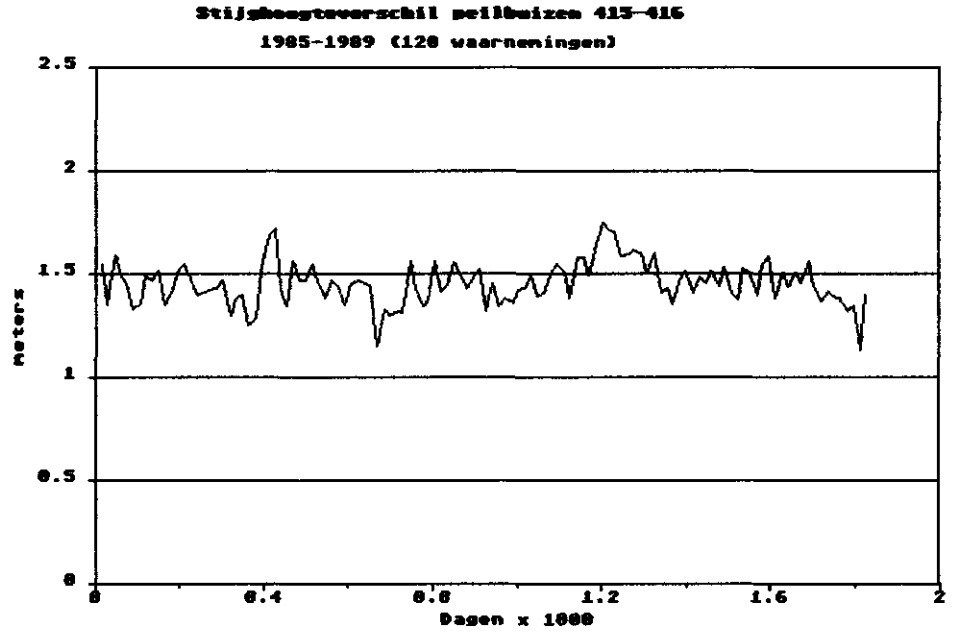

Fig. 7.5. Verloop stijghoogteverschil op de peilbuizen 415 en 416 over 1985-89

Tabel 7.1. Gemiddeld stijghoogteverschil tussen derde en tweede watervoerende pakket en standaardafwijking voor enkele peilfilteropstellingen in en bij het lage gebied over 1981-1984 (96 sets gegevens) en 1985-1989 (120 sets gegevens). De stijghoogte in het derde watervoerende pakket is steeds hoger dan die in het tweede (kwelsituatie). Eenheid: meters

Filter WVP 2	32	34	153	320	416	514	516	alle
Filter WVP 3	31	33	152	319	415	513	515	alle
	Gemiddeld verschil in stijghoogte							
1981-1984	1.82	0.41	0.76	----	1.37	1.66	2.00	1.35
1985-1989	1.90	0.46	0.88	0.95	1.46	1.93	2.04	1.44
	Standaardafwijking stijghoogteverschil							
1981-1984	0.14	0.08	0.15	----	0.11	0.19	0.13	0.14
1985-1989	0.15	0.08	0.15	0.10	0.11	0.21	0.11	0.14

Tabel 7.1 geeft gemiddelden en standaardafwijkingen van het stijghoogteverschil over de tweede scheidende laag, gemeten op een aantal piezometeropstellingen. De standaardafwijking van het stijghoogteverschil per peilbuis blijkt bijna onafhankelijk van het stijghoogteverschil zelf te zijn. Dat betekent dat de variabiliteit van de kwel, afgemeten naar de gemiddelde waarde, afhangt van het gemiddelde stijghoogteverschil. In het lage gebied, waar de stijghoogteverschillen relatief groot zijn, is de kwel uit het derde watervoerende pakket daarom constanter dan aan de randen van het gebied met kwel uit het derde watervoerende pakket (zie hoofdstuk 8).

7.2.2 Kwel van watervoerend pakket 2 naar watervoerend pakket 1

Er zijn gegevens beschikbaar van 8 peilfilteropstellingen die wat onregelmatig over het gebied verdeeld zijn en ook niet alle over de volle periode 1981-89 zijn waargenomen. Tabel 7.2 geeft informatie over het verloop van de stijghoogteverschillen in de tijd, op dezelfde manier als tabel 7.1.

Het beeld van tabel 7.2 is aanmerkelijk diverser dan dat van tabel 7.1. Dat duidt erop, dat in de bovenste twee watervoerende pakketten plaatselijke omstandigheden een belangrijker rol spelen dan in het derde watervoerende pakket. Niet op alle plaatsen is sprake van een netto kwel. Dat blijkt ook al uit voorgaande hoofdstukken. De inzijging bij punt 118/148 heeft vermoedelijk te maken met de ligging nabij de Grift: het peil van de Grift dat lager is dan de grondwaterstanden in de omgeving, werkt in het tweede watervoerende pakket over grotere afstand door dan in het eerste.

Ter illustratie is voor het peilbuizenpaar 105/104 het verloop van het stijghoogteverschil in de tijd voor beide perioden opgenomen (fig. 7.6 en 7.7). Dan blijkt, dat er wel verschillen zijn. De kwel treedt vooral in de zomer op, inzijging in de winter en dan vooral bij en kort na perioden met veel regen.

Tabel 7.2. Gemiddeld stijghoogteverschil tussen tweede en eerste watervoerende pakket en standaardafwijking voor enkele peilfilteropstellingen in en bij het lage gebied over 1981-1984 en 1985-1989. Een "-" geeft inzijging aan: de gemiddelde stijghoogte in het eerste watervoerende pakket is dan hoger dan die in het tweede.

Filter WVP 1	12	53	105	118	321	V003	VPZ3
Filter WVP 2	9	51	104	148	320	V001	VPZ1
	Gemidd. verschil in stijghoogte (m)						
1981-1984	-.04	0.05	0.04	-.08	----	----	----
1985-1989	-.04	0.02	0.05	----	0.10	0.15	0.10
	Standaardafwijking stijghoogteverschil (m)						
1981-1984	0.07	0.02	0.08	0.19	----	----	----
aantal gegevens	96	48	96	84	----	----	----
1985-1989	0.08	0.03	0.17	----	0.02	0.08	0.06
aantal gegevens	120	120	120	----	120	83	83

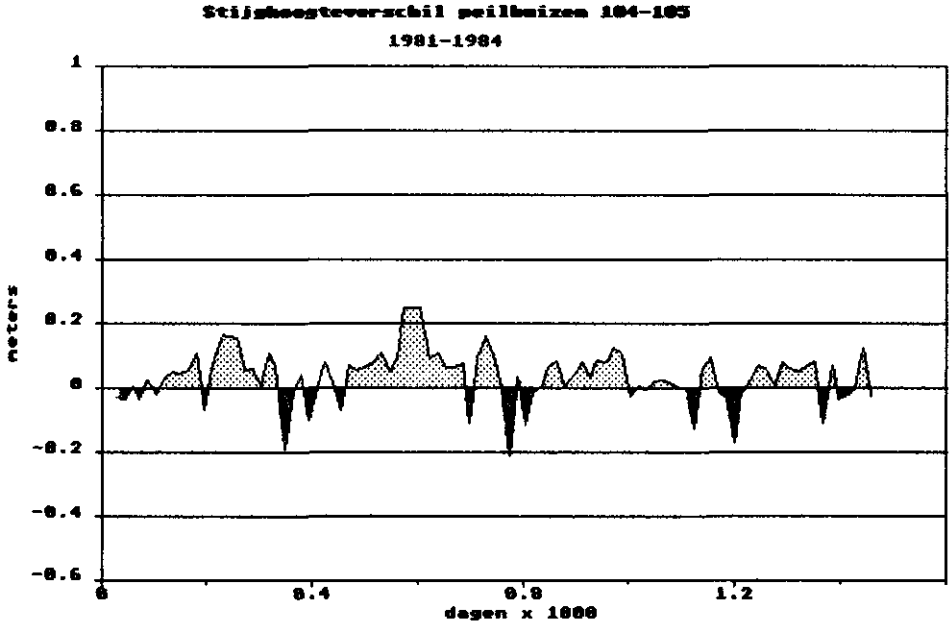

Fig. 7.6. Stijghoogteverschil peilbuizen 104 en 105 over 1981-84. Positieve waarden duiden op kwel.

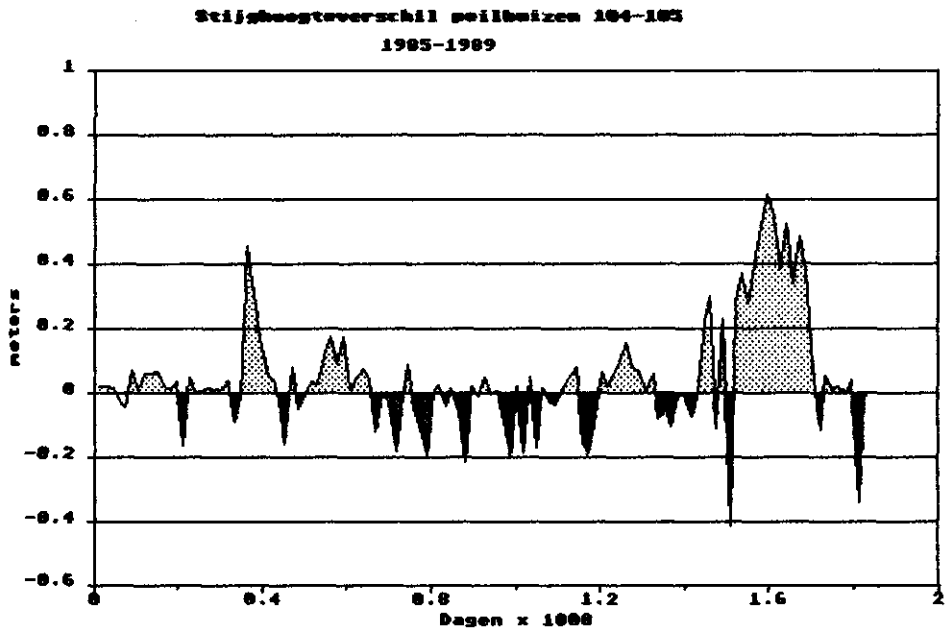

Fig. 7.7. Stijghoogteverschil peilbuizen 104 en 105 over 1981-84. Positieve waarden duiden op kwel.

De natte jaren '87/88 komen in fig. 7.7 duidelijk naar voren als perioden met evenveel of meer inzijging dan kwel. In het daaropvolgende droge jaar 1989 treedt vervolgens een hoge kwelpiek op.

Ditzelfde beeld vindt men in meerdere of mindere mate bij alle peilbuisparen terug. Vrijwel permanente kwel treedt op bij de paren 321/320, VO03/VO02 en VPZ3/VPZ1.

Bij de set 53/51 is de kwel rond 1986 afgenomen. Daarvoor is een eenvoudige verklaring. De peilbuizen liggen in het proefgebied Veenkampen, vlak naast het deel waar omstreeks die tijd kunstmatig verhoogde peilen zijn ingesteld.

7.3 De horizontale component

De variabiliteit van de horizontale component, ofwel de zijdelingse aanvoer, is bepaald aan de hand van gradienten langs een tweetal raaien:

1. de peilbuizen 111-108-107-105
2. de peilbuizen 404-408-403-427-417-307 en 406-507.

Er zijn geen absolute aanvoercijfers bepaald, omdat alleen een beeld moest worden verkregen van de variabiliteit in de tijd van de zijdelingse aanvoer. Omdat deze recht evenredig is met de horizontale stijghoogtegradient behoeft daartoe slechts laatstgenoemde grootheid te worden

berekend. Bovendien is met behulp van een model op regionale schaal niet op lokaal niveau te bepalen, in welke mate kleine deelgebieden, waarvoor peilbuizen geacht kunnen worden representatief te zijn, door de zijdelingse aanvoer worden beinvloed. Daarvoor zijn studies op lokaal niveau nodig.

Alle peilbuizen liggen in het gebied met continentale Eemafzettingen. Van het gebied met mariene Eemafzettingen waren geen gegevens voorhanden.

De ligging is aangegeven in fig. 7.1. Er is gebruik gemaakt van peilbuizen in het eerste watervoerende pakket. Omdat de stijghoogten in eerste en tweede watervoerend pakket in het gebied met alleen continentale Eemafzettingen niet veel verschillen, zijn de gevonden stijghoogtegradienten te beschouwen als eveneens maatgevend voor die in het tweede watervoerende pakket.

Omdat de beelden 1981-1984 en 1985-1989 weinig uiteenliepen, is alleen laatstgenoemde periode uitgewerkt. Er zijn horizontale stijghoogtegradienten bepaald voor het eerste watervoerende pakket. Om een indruk te krijgen van de grootte en de variatie zijn over de volle periode gemiddelde en standaardafwijking berekend. Om een indruk te krijgen omtrent seizoensvariatie zijn gemiddelden en standaardafwijking voor zomer- en winterseizoenen afzonderlijk bepaald. Daarbij werden de zomerseizoenen geacht te lopen van 28 april tot en met 28 oktober. Bovendien zijn, om een indruk te krijgen van het effect van langere aaneengesloten natte perioden, gemiddelde en standaardafwijking voor de natte jaren 1987-88 afzonderlijk berekend. Tabel 7.4 geeft de uitkomsten.

Tabel 7.4 Horizontale gradienten (m/km) tussen paren peilbuizen in het eerste watervoerende pakket. Periode 1985-1989

Hoogste	111	108	107	404	408	403	427	417	406
Laagste	108	107	105	408	403	427	417	307	507
Afstand (km)	0.75	0.30	0.25	0.55	0.50	0.65	0.70	0.07	0.75
Gemidd. tot.	0.46	0.48	1.00	0.96	0.52	0.96	1.18	3.03	1.20
St. afw. tot.	0.08	0.38	0.39	0.26	0.10	0.17	0.26	1.49	0.23
n totaal	111	111	120	120	120	116	116	120	98
Gemidd. 87/88	0.47	0.45	1.06	1.03	0.56	1.02	1.21	2.93	1.21
St. afw. 87/88	0.09	0.33	0.36	0.28	0.10	0.22	0.27	1.48	0.24
n 87/88	48	48	48	48	48	48	48	48	48
Gemidd. zomer	0.45	0.62	0.91	0.91	0.51	1.03	1.01	3.60	1.13
St. afw. zomer	0.06	0.36	0.35	0.16	0.10	0.16	0.20	1.35	0.23
n zomer	58	58	60	60	60	60	60	60	54
Gemidd. winter	0.46	0.32	1.09	1.01	0.53	0.89	1.35	2.45	1.28
St. afw. wi.	0.10	0.33	0.40	0.33	0.10	0.16	0.20	1.40	0.20
n winter	53	53	60	60	60	60	60	60	44

Uit de cijfers van tabel 7.4 valt het volgende af te leiden:

1. De stijghoogtegradienten liggen gemiddeld iets onder de 1 m/km.
2. Uit de standaardafwijkingen blijkt dat de temporele variabiliteit van zijdelingse aanvoer over korte perioden de tendens heeft, van stuwwal naar Grift toe te nemen
3. In natte jaren (1987/88) is over het algemeen slechts een lichte toename van de zijdelingse aanvoer te constateren. Dit is in overeenstemming met wat in hoofdstuk 5 is opgemerkt t.a.v. de verhouding van de resp. aandelen van grondwater en watergangen in de afvoer van het hoge gebied, nl. dat het overgrote deel van het water via de watergangen wordt afgevoerd en dat een aanmerkelijk grotere afvoer via grondwater niet te realiseren is, tenzij men aanzienlijke verhogingen van de gemiddelde grondwaterstanden in het hoger gelegen Valleigebied accepteert.
4. In sommige gevallen is er een aanzienlijk verschil tussen zomer- en winteraanvoer. De zomeraanvoer is aanmerkelijk groter dan de winteraanvoer bij de peilbuisparen 108/107 en 417/307. Van deze paren ligt een peilbuis in het hogere en een in het lage gebied. Dat duidt erop, dat het hogere gebied ten opzichte van het lagere een naleverend effect van grondwater heeft. Dat wordt waarschijnlijk vooral veroorzaakt door de -vooral in het droge seizoen- aanzienlijk hogere drainageweerstand in het hogere gebied. In het hogere gebied is het effect van zomer en win-

ter gemengd; zowel 's zomers als 's winters komen er gemiddelde gradienten voor die hoger zijn dan die in het andere seizoen.

5. De variabiliteit van de horizontale gradienten over korte tijdsafstanden lijkt o.g.v. de standaardafwijkingen tussen zomer en winter meestal weinig te verschillen, met uitzondering van twee peilbuisparen ongeveer midden tussen de overgang Heuvelrug-Vallei en hoger-lager gebied: 404/408 en 111/108, waar de variabiliteit op korte tijdsafstanden in de winter duidelijk hoger ligt dan in de zomer.

8. HET PEILBEHEER VAN DE GRIFT

Omdat het vermoeden bestond, dat de Grift tegenwoordig een lager peil heeft dan in de eerste helft van de jaren '80, is op grond van beschikbare gegevens van de waterstandsrecorder van de LUW nagegaan, in hoeverre een verandering in het peilregime van de Grift is opgetreden. De recorder staat bij de brug over de Grift nabij de Zijdvang. De plaats is aangegeven op de kaart van fig. 7.1 (punt nr. 150).

Beschikbaar waren gegevens tot eind oktober 1989. Latere waarnemingen moeten nog een kwaliteitstest ondergaan en zijn om die reden buiten beschouwing gebleven. Gebruikt zijn uurwaarnemingen (24 per etmaal) over de jaren 1980-1989.

De waarnemingen zijn verwerkt tot etmaalgemiddelden. Vervolgens zijn hoogste, laagste en gemiddelde waarde bepaald, alsmede de standaardafwijking rond het gemiddelde. Laatstgenoemd getal is -meer dan hoogste en laagste stand- een maat voor de mate, waarin peilschommelingen optreden. De resultaten zijn weergegeven in tabel 8.1. Omdat de recorder niet voortdurend vlekkeloos heeft gewerkt, is ook het aantal daggemiddelden voor elk jaar vermeld.

Tabel 8.1. Enkele kencijfers omtrent het peilverloop van de Grift over 1980-1989, gebaseerd op daggemiddelden. Meetpunt: brug Maatsteeg. Peilen in m+NAP, standaardafwijkingen in m.

Jaar	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Max.	5.25	5.39	5.07	5.30	5.31	5.15	5.19	5.13	5.00	4.93
Min.	4.25	4.22	4.24	4.23	4.29	4.23	4.18	4.18	4.20	4.31
Gemidd.	4.66	4.77	4.74	4.64	4.69	4.65	4.49	4.49	4.53	4.52
Stand. afw.	0.22	0.27	0.18	0.24	0.23	0.21	0.15	0.18	0.16	0.12
dagwaarden	360	364	357	339	366	365	358	365	366	300

Hoogste en laagste stand lijken in de tweede helft van de periode iets, maar niet veel lager te zijn dan in de eerste helft. Na 1985 is echter wel de gemiddelde stand consistent ca. 20 cm lager. Ook de standaardafwijking is dan duidelijk lager dan voordien. Dat duidt erop, dat pieken in de waterstand sneller dan voorheen worden afgevoerd en dat in het algemeen de peilschommelingen in de Grift geringer zijn geworden. Vooral in 1988/89 lijkt het verschil tussen hoogste en laagste stand kleiner. Daarbij moet worden opgemerkt, dat de laatste 2 maanden van 1989 niet zijn meegenomen. Dat kan het beeld iets vertroebeld hebben.

Omdat Veenendaal ca. 6 km benedenstrooms van de recorder ligt, zijn de Griftstanden daar lager dan ter plaatse van de recorder; waarschijnlijk 1-2 dm. Nadere gegevens zijn niet beschikbaar.

Zoals uit het volgende hoofdstuk zal blijken, heeft de geconstateerde verlaging van het Griftpeil gemiddeld een lichte vermindering van kwel in het lage gebied tot gevolg gehad. De kwelintensiteit vlak bij de Grift is evenwel toegenomen, zodat elders grotere kwelverminderingen zijn opgetreden. De invloed van de verlaging van het Griftpeil op de kwel is niet afzonderlijk berekend. De resultaten van de simulatie van een stuw in de Grift,beschreven in het volgende hoofdstuk, geven daarvoor een voldoende schattingsbasis.

Tegenover de kwelvermindering staat het feit, dat door de geringere peilschommelingen in combinatie met het lagere Griftpeil de kans op overstroming en daarmee eutrofiering van het aanliggende gebied sterk is afgenomen.

Gezien de afgenomen peilschommelingen in de Grift kan in deze watergang in beginsel een hoger peil worden gehandhaafd dan voor 1985 zonder toename van de kans op inundaties. Voorzichtigheid is echter geboden, ook gezien de in verband met de mogelijke bouw van een stuw bij de Eendenkooi in hoofdstuk 9 genoemde twijfels met betrekking tot de maaiveldshoogten tussen Grift en Veensteeg.

9. EFFECTENSTUDIE

9.1 Overzicht

Met het in hoofdstuk 4 beschreven model zijn effecten op de kwel in het natuurontwikkelingsgebied van de volgende factoren, resp. ingrepen berekend:

1. Intensivering van het afwateringsstelsel rond en ten n van Achterberg (gepland A2-werk)
2. Verandering in het peilbeheer van de Grift d.m.v. stuwen
3. Veranderingen in peilbeheer en drainageweerstanden in het gebied tussen Maatsteeg en Heuvelrug.
4. Waterwinningen
5. Stadsuitbreidingen van Ede en Veenendaal

Fig. 9.1 Namen en ligging van deelgebieden.

In dit hoofdstuk wordt een aantal malen verwezen naar deelgebieden. Fig. 9.1. geeft een kaartje met de namen ervan.

9.2. De referentiesituatie

Voor het bepalen van effecten van een ingreep is een referentiesituatie nodig, waarmee de berekende toestand na de ingreep wordt vergeleken. De gebruikte referentiesituatie is die van het geohydrologische model na afronding van de verificatie (hoofdstuk 4). Dat betekent, dat voorjaarssituaties worden vergeleken. Met name in zomersituaties kunnen effecten anders liggen. Het verschil zit vooral in de drainageweerstanden. Die plegen 's zomers het hoogst te zijn, doordat dan in het gebied een groot aantal watergangen droogvalt. De effectieve afstand tussen de ontwateringsmiddelen loopt dan snel op. De drainageweerstand is evenredig met het kwadraat van die afstand. Deze belangrijke geohydrologische constante is dus sterk afhankelijk van de grondwaterstand en daarmee van het seizoen.

Dat dit bij een modelstudie lastig is, behoeft geen nader betoog. In hoofdstuk 2 is aangegeven, waarom in dit geval min of meer noodgedwongen is gewerkt met een niet tijdsafhankelijk stromingsmodel. Waar nodig, zal in dit hoofdstuk een kanttekening worden gemaakt bij op modeluitkomsten gebaseerde gevolgtrekkingen.

De isohypsen en andere gegevens met betrekking tot de referentiesituatie zijn te vinden in bijlage E. Fig. 9.2 geeft een kaartje met door het model berekende kwel en inzijging, alsmede afvoeren via het watergangenstelsel voor een aantal deelgebieden in de referentiesituatie, alles in mm/etm. Negatieve kwelwaarden betekenen inzijging.

Fig. H.1 (bijlage H) geeft isolijnen van de kwel van het tweede naar het eerste watervoerende pakket, fig. H.2 van de kwel van het derde naar het tweede.
Het gaat hier om kwel in een voorjaarssituatie. Gezien het verloop in de tijd van grondwaterstanden en stijghoogten in het gebied zal de kwel in de winter wat minder zijn dan in de zomer (hoofdstuk 7). Voor inzijging geldt het omgekeerde.

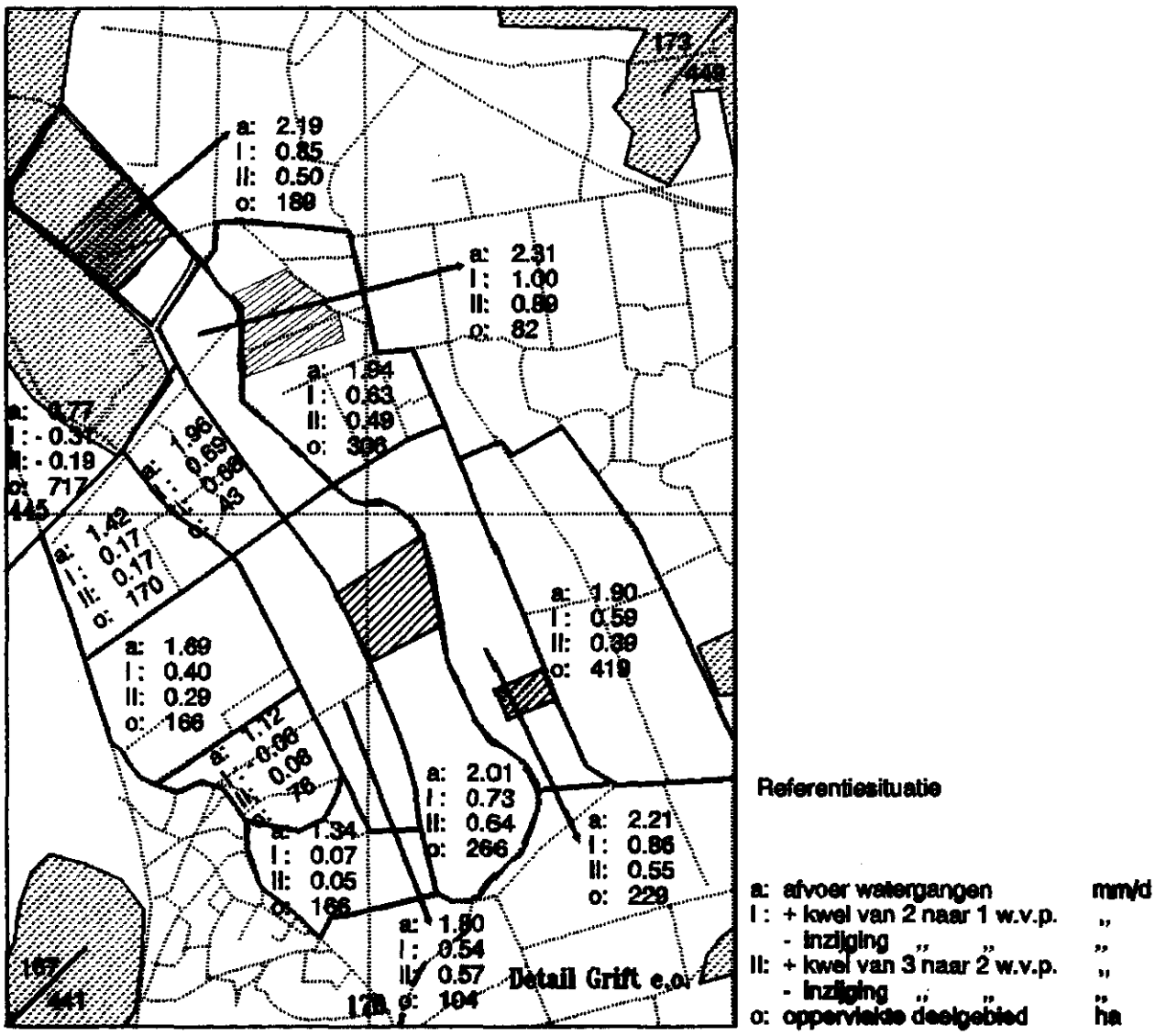

Fig. 9.2. Kwel, inzijging en afvoeren per deelgebied (referentie)

Uit de figuren 9.2, H.1 en H.2 blijkt dat het gebied met een netto kwel van het tweede naar het eerste watervoerende pakket vooral geconcentreerd is in een vrij smalle zone langs de Grift.
De kwel uit het derde naar het tweede watervoerende pakket vindt over een veel breder gebied plaats en is ruimtelijk meer constant. Een deel ervan verplaatst zich dus over een zekere afstand horizontaal in het tweede watervoerende pakket, voordat hij in het eerste watervoerende pakket terechtkomt. Deze constatering is in overeenstemming met de Flownetplaatjes in hoofdstuk 5.

Gezien de uitkomsten van de kwaliteitsbemonstering is het waarschijnlijk dat in het tweede watervoerende pakket een zekere menging met neerslagwater optreedt. Dat kan op twee manieren: door afwisseling van kwel en inzijging in de ruimte en in de tijd. Die in de tijd is m.b.v. analyse van

tijdsverlopen van stijghoogteverschillen aangetoond in hoofdstuk 7; die in de ruimte lijkt, gezien de Flownet-uitkomsten mogelijk. De waterkwaliteitsgegevens (hoofdstuk 6) duiden in dezelfde richting.

Fig. 9.3. Huidige peilen in het A2-gebied (m+NAP)

9.3 Het A2-werk.

9.3.1 Situatie en vraagstelling

De ligging en de omvang van het betreffende gebied zijn in het voorgaande al aangegeven (fig. 2.1). De huidige en de geplande peilen staan aangegeven in fig. 9.3, resp. 9.4.

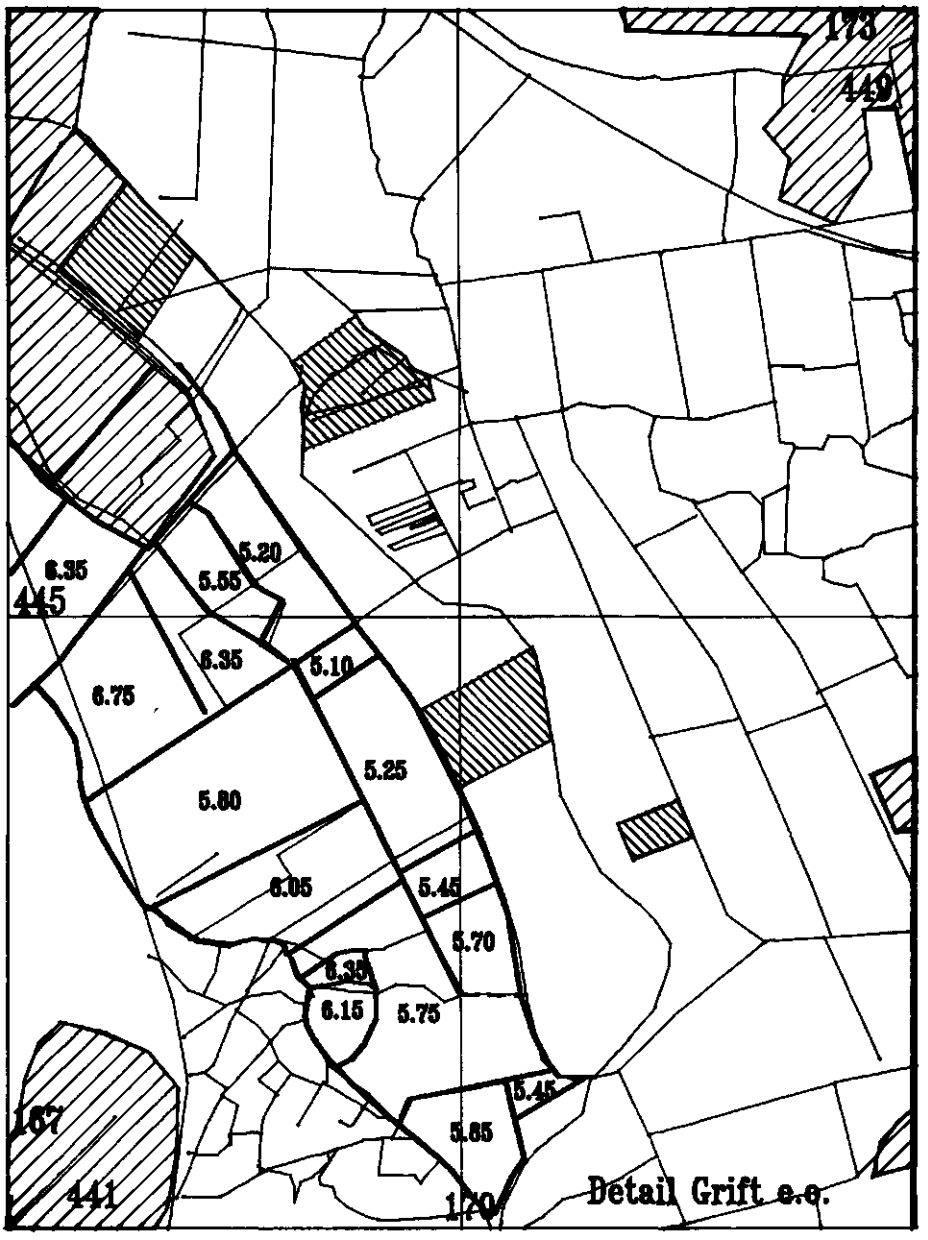

Fig. 9.4. Geplande peilen na uitvoering van het A2-werk (m+NAP).

Naast de vraag, wat het effect van het invoeren van nieuwe peilen van het A2-werk op de kwel in het lage gebied is, komen de volgende vragen aan de orde:

1. Welk deel van het uit bovengenoemd gebied af te voeren water (neerslagoverschot plus kwel uit het derde watervoerende pakket plus zijdelingse aanvoer uit het heuvelruggebied) stroomt af via het afwateringsstelsel en welk deel via het grondwater voor en na de ingreep?
2. Wat is de invloed van het afwateringsstelsel in het hoger gelegen Valleigebied op de kwel in het lagere deel (Binnenveld)?
3. Kan door middel van peilbeheer en dimensionering van watergangen tegelijkertijd de afvoer van neerslagpieken worden bevorderd en de

gemiddelde kwelintensiteit in het lage gebied worden gehandhaafd of vergroot en zo ja, hoe?

9.3.2. Huidig aandeel van watergangen en grondwater in de afvoer.

Bekendheid met het aandeel in de afvoer van het A2-gebied van open water enerzijds en grondwater anderzijds geeft een indruk m.b.t. de vraag, in hoeverre verruiming van het watergangenstelsel in het hogere gebied op de kwel in het lage gebied invloed kan hebben.
Indien bv. een aanzienlijk deel van het water uit het A2-gebied via het grondwater afstroomt, zal de invloed van verruiming van het watergangenstelsel een aanmerkelijke invloed op althans de zijdelingse grondwateraanvoer van het lage gebied kunnen hebben en omgekeerd.

Fig. E.20 (bijlage E) geeft voor de refentiesituatie in het A2-gebied een stijghoogtegradient van ca. 0.7 m/km in het tweede watervoerende pakket. In het eerste w.p. is de situatie vergelijkbaar. Het gezamenlijk doorlaatvermogen van beide pakketten bedraagt ca. 200 m^2/etm. Via het grondwater wordt dus per strekkende m gebiedsrand 0.14 m^3/etm via het grondwater afgevoerd. Het A2-gebied is gemiddeld ca. 1700 m breed. De afvoer via het grondwater ligt dan in de orde van grootte van 0.1 mm/etm of iets minder.

Een hoeveelheid van 0.1 mm/etm lijkt weinig, maar omdat hij voornamelijk aan de dag treedt in de smalle zone tussen Maatsteeg en Grift, ter breedte van niet meer dan 500 m, betekent dat voor die zone een potentiele kwelbijdrage van gemiddeld zo'n 0.3 mm/etm. Dat is in een kwelafhankelijk natuurgebied een substantiele hoeveelheid.

De kwelbijdrage van het hogere gebied kan in principe ook worden berekend op basis van de modelneerslag en de afvoeren als weergegeven in fig. 9.2. Omdat de grondwaterafvoer dan bepaald wordt als restpost in een balans met relatief grote getallen, is de in het voorgaande gehanteerde methode betrouwbaarder.

De conclusie hieruit is, dat van het neerslagoverschot en de kwel in het hogere gebied omstreeks 90% via de watergangen wordt afgevoerd, maar dat het kleine deel dat via het grondwater afstroomt desondanks een substantiele bijdrage levert aan de kwel in het lage gebied.

9.3.3 Effect van het A2-werk op de kwel in het lage gebied

Bij vergelijking van fig. 9.3 en 9.4 valt op, dat volgens het plan in een zone langs de Maatsteeg (Velderbroek, Meent no) in het algemeen de peilen verlaagd worden. Meer naar het westen krijgen sommige gebieden een ho-

ger peil. Ten aanzien van de kwel zijn dan tegengestelde effecten te verwachten. Fig. 9.5 geeft de berekende effecten per deelgebied. In het gebied van de Achterbergse Hooilanden is een minimale kwelvermindering berekend. Aan de overzijde van de Grift (Veenkampen) is die zo mogelijk nog kleiner.

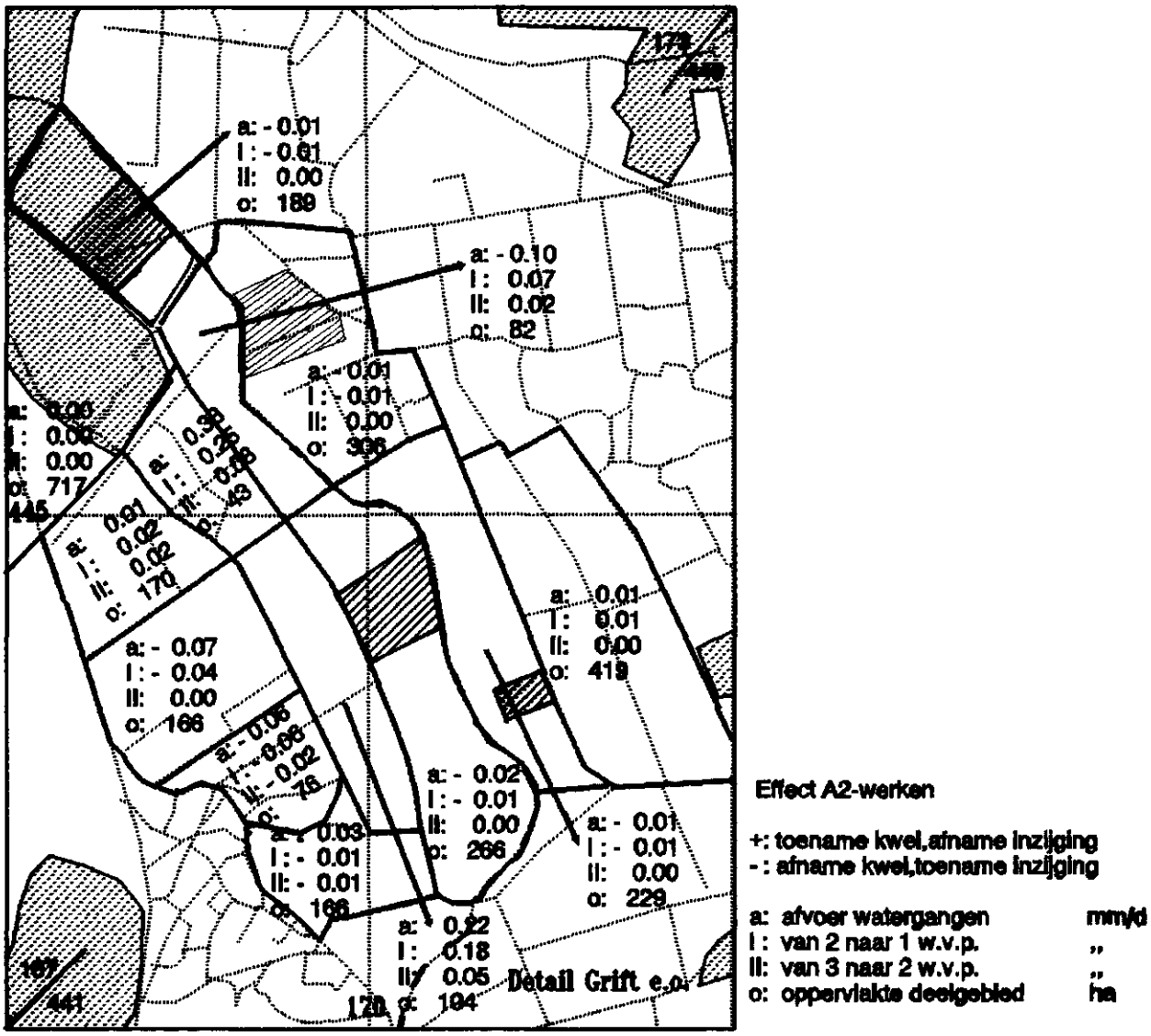

Fig. 9.5. Effect A2-werk per deelgebied.

In Velderbroek en Meent is sprake van een aanmerkelijke kweltoename van watervoerend pakket 2 naar watervoerend pakket 1; die van watervoerend pakket 3 naar 2 is kleiner, maar niet verwaarloosbaar.
De meerdere kwel verdwijnt in zijn geheel via de watergangen uit het gebied.

Verder naar het westen is in het algemeen sprake van een lichte kwelvermindering. Omdat hier gemiddeld een wat hoger peil dan voorheen is gepland en Velderbroek/Meent meer kwel aantrekken, is dat ook te ver-

wachten.

Het is mogelijk, een nadere differentiatie van het effect van het A2-werk te verkrijgen door middel van isolijnen van kwelverandering. Dat beeld wordt gegeven in fig. H.3 (kwel van watervoerend pakket 2 naar 1) en H.4 (kwel van watervoerend pakket 3 naar 2) in bijlage H. Dan wordt het beeld voo he natuurontwikkelingsgebied veel genuanceerder.

De grens tussen kwelvermeerdering en -vermindering loopt in fig. H.3 door het gebied van de Achterbergse Hooilanden. De verklaring daarvoor is, dat de peilverlaging in het Velderbroek doorwerkt langs de westrand van de Achterbergse Hooilanden. Daardoor neemt daar de kwel toe. De kans dat die kwel ook de wortelzone bereikt, neemt echter door de peilverlaging af. Meer naar de Grift neemt de kwel juist af; plaatselijk zelfs met ca. 0.5 mm/etm. Gemiddeld over het hele gebied komt dit neer op de zeer geringe kwelvermindering van fig. 9.5. Deze figuur geeft dus een bedrieglijk beeld, doordat effecten over deelgebieden worden uitgemiddeld.

De isolijnen in fig. H.3 geven soms wat merkwaardige effecten, zoals ogenschijnlijke kruisingen. Dat is een gevolg van de elementgrootte buiten het eigenlijke natuurontwikkelingsgebied. Er is voor gekozen, de lijnen zo te laten staan.
De nullijnen nabij Ede in fig. H.3 zijn lijnen tussen uiterst geringe toe- en afname van kwel. Uit een oogpunt van getrouwe rapportage zijn ze gehandhaafd, maar de waarde ervan is gering tot nihil.

Fig. H.4 toont de isolijnen van de kwelverandering van het derde naar het tweede watervoerende pakket. Het zwaartepunt van de toename ligt, zoals te verwachten, onder het Velderbroek en De Meent. Ook hier is het beeld meer gedifferentieerd dan blijkt uit fig. 9.5. Het is veel vloeiender dan dat van fig. H.3, wat ook te verwachten is. De kwelafname is over zo'n groot gebied gespreid, dat deze overal, behalve in een klein stukje van het deelgebied Achterbergse Hooilanden kleiner dan 0.05 mm/dag is.

9.3.4. Invloed van het huidige afwateringsstelsel op slootafvoer en kwel

Twee grootheden zijn van belang: drainageweerstand en slootpeilen. Ze worden achtereenvolgens behandeld.

Drainageweerstanden

Om vast te kunnen stellen wat de invloed is van de drainageweerstand van het huidige afwateringsstelsel op het aandeel van de kwel in de totale afvoer van water uit het hoger gelegen gebied zijn in het model de drainageweerstanden in het hoger gelegen gebied ten w van de Grift ruwweg

vervier- tot zesvoudigd. Dat komt neer op een royale verdubbeling van de afstand tussen de ontwateringsmiddelen. De kaart van fig. 9.6 geeft de nieuwe situatie v.w.b. de drainageweerstanden.

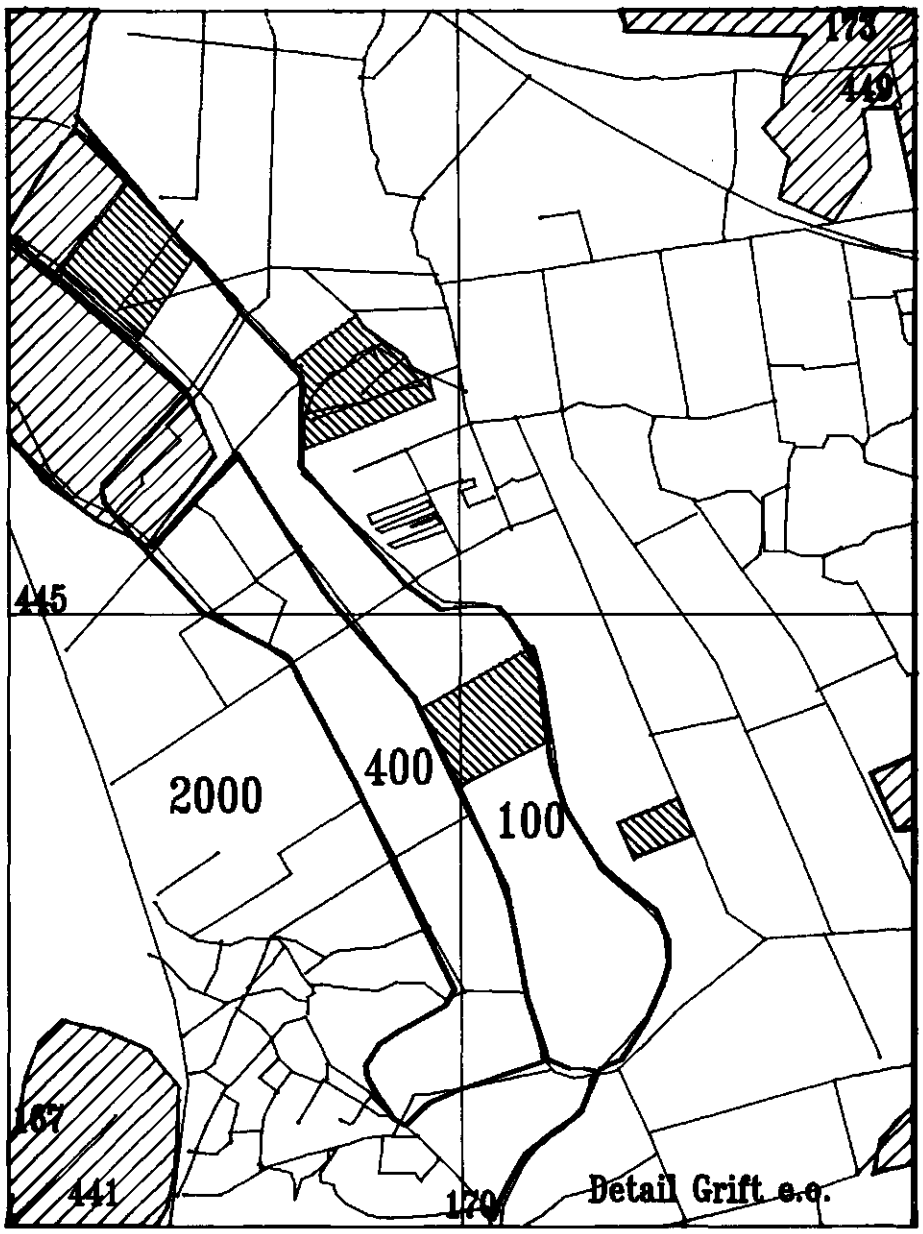

Fig 9.6 Verhoogde drainageweerstanden tussen Utrechtse Heuvelrug en Grift (etm).

De berekende effecten op de kwel en de slootafvoeren zijn per deelgebied aangegeven in fig. 9.7. Fig. H.6 en H.7 geven isolijnen van kwelverandering, resp. van watervoerend pakket 2 naar 1 en van watervoerend pakket 3 naar 2. Hierbij moet worden aangetekend, dat het model voor het hogere gebied grondwaterstanden tot aan of zelfs boven maaiveld berekende. Fig. H.5 geeft het effect op de stijghoogten in het eerste watervoerende pakket. Er komen grondwaterstandsstijgingen voor tot 1.20 m. Dat betekent

grondwaterstanden boven maaiveld. In werkelijkheid zou er daarom in de gegeven situatie meer water door de watergangen afstromen en zouden de effecten op de kwel minder zijn dan berekend.

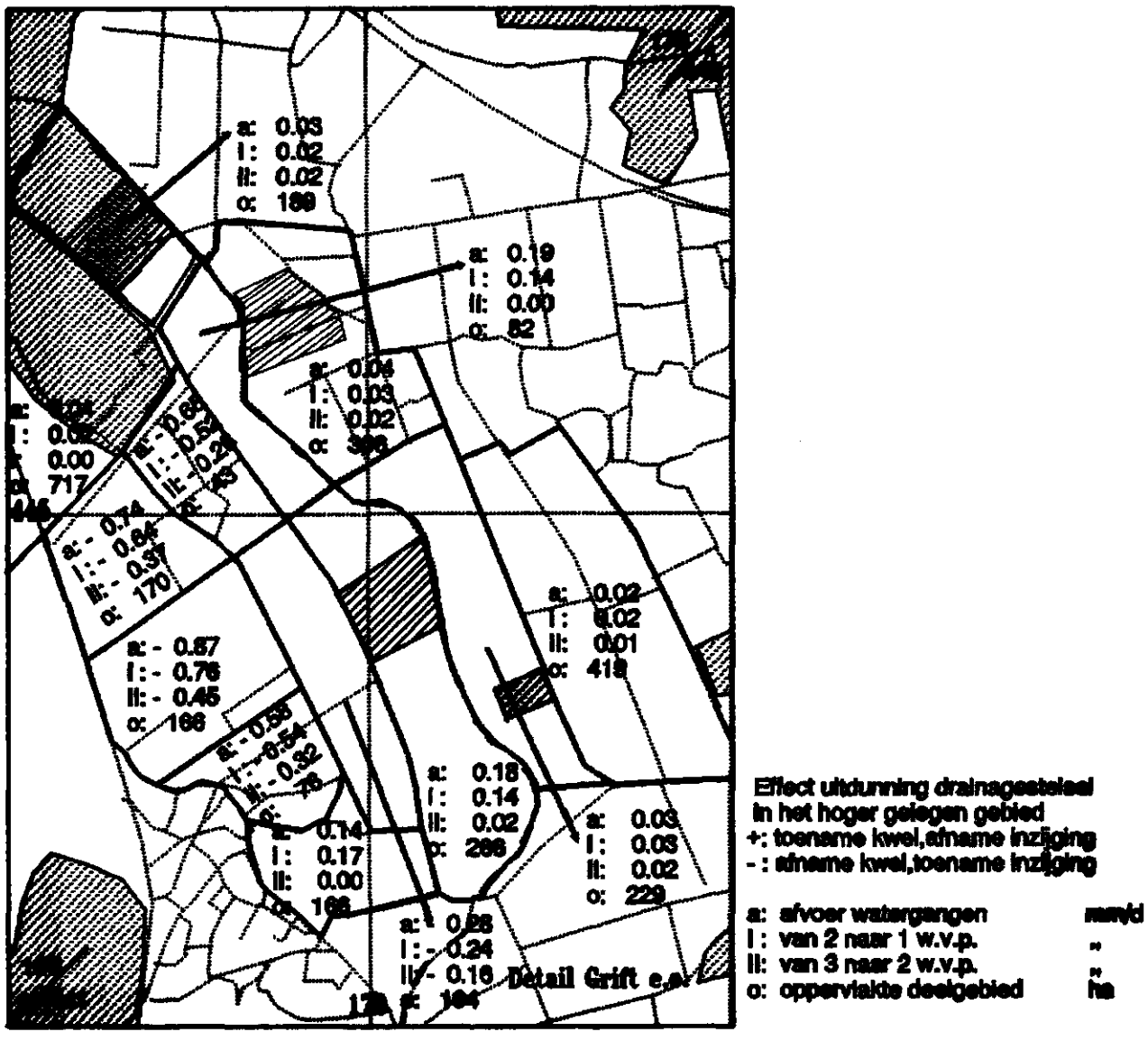

Fig. 9.7. Effecten van verhoging van de drainageweerstand op kwel en inzijging per deelgebied.

Voor het bepalen van effecten van verhoging van de drainageweerstanden is de uitkomst desondanks bruikbaar. Indien bv. wordt uitgegaan van halvering van de toename van de drainageweerstand, d.w.z. een veranderhalfvoudiging van de slootafstanden, moeten ook de effecten worden gehalveerd. In dat geval zouden inundaties in de voorjaarssituatie van zo beperkte omvang zijn, dat de uitkomst reeel mag worden genoemd.

De veroorzaakte toename van de inzijging in het westen (Achterberg, De Kampen, De Meent ZW) is groot; de kweltoename in de Achterbergse Hooilanden is weliswaar aanzienlijk, maar in verhouding tot de toegenomen inzijging in het westen gering. In de Veenkampen is het effect al vrijwel uitgewerkt.

Ook hier is het isolijnenbeeld (fig. H.6 en H.7) gedifferentieerder dan het beeld van de deelgebieden. In het gebied met toegenomen inzijging blijken in het eerste watervoerende pakket zelfs lokale kwelgebiedjes te ontstaan. Voor de Achterbergse Hooilanden blijkt, dat het effect het grootst is langs de Maatsteeg en richting Grift snel minder wordt. In fig. H.7 (effect op de kwel van watervoerend pakket 3 naar 2) is het beeld aanzienlijk rustiger.

De effecten zullen 's zomers wat lager zijn dan berekend. Omdat onder invloed van de maatregel zich 's winters in het hogere gebied een extra voorraad grondwater vormt, zal er 's zomers toch een vrij lange nawerking zijn. Hoe lang, is alleen goed te schatten met een tijdsafhankelijk model.

Slootpeilen

Hoewel bij de effectbepaling van het A2-werk al is gerekend aan nieuwe slootpeilen, zijn de verschillen tussen de geplande nieuwe peilen en de bestaande zo divers, dat uit die effectbepaling geen invloed van het slootpeil op de kwel in het lage gebied af te leiden valt. Daarom is een modelberekening van de kwelintensiteiten uitgevoerd, waarbij in het gebied tussen Maatsteeg/Wageningselaan en Cuneraweg de slootpeilen met 0.5 m zijn verlaagd.

Fig. 9.8 toont de effecten op kwel en afvoer per deelgebied. Zoals te verwachten is, is er ten w van de Maatsteeg een aanzienlijke toename van de kwel. De extra kwel wordt volledig door de watergangen afgevoerd.

In de Achterbergse Hooilanden en de Goede Troost is er een iets minder grote afname van de kwel. Ten o van de Grift is het effect praktisch uitgewerkt. De beinvloeding van de kwel uit het derde watervoerende pakket is iets geringer dan die van de kwel uit het tweede, maar het verschil is niet groot.

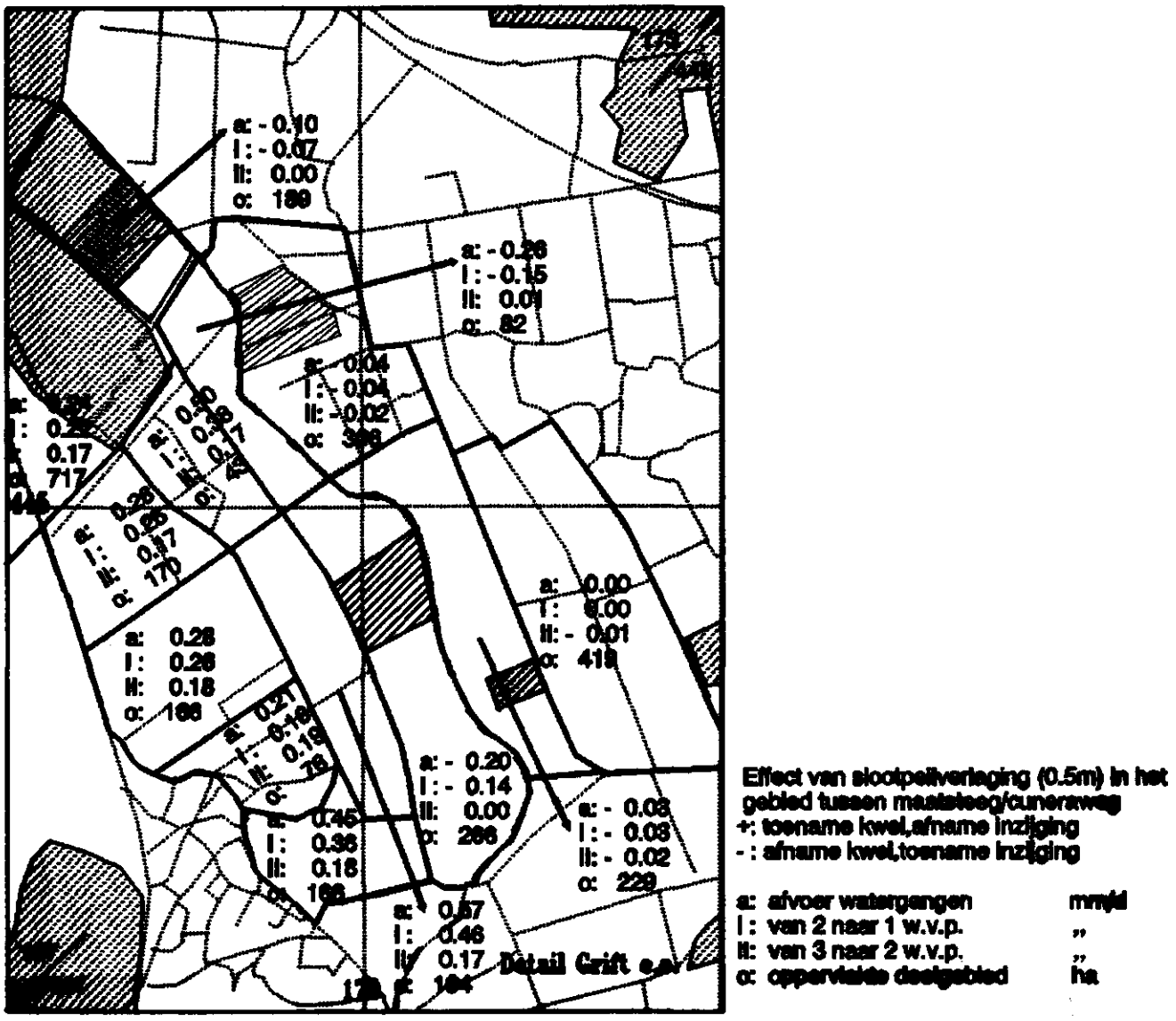

Fig. 9.8. Effect op de kwel per deelgebied van slootpeilverlaging met 0.5 m

Het isolijnenbeeld van het effect van slootpeilverlaging op de kwel (fig. H.8, bijlage H) geeft aan, dat de grootste effecten -zowel toename als afname- geconcentreerd zijn in een smalle zone langs Maatsteeg en Wageningselaan. Dat geldt althans voor het effect op de kwel van het tweede naar het eerste watervoerende pakket. Het effect op de kwel uit het derde watervoerende pakket (fig. H.9 in bijlage H) geeft een beeld van kleinere effecten, gespreid over een groter gebied.

Geconcludeerd kan worden, dat een algehele peilverlaging in het gebied ten w van de Maatsteeg (het A2-gebied) een aanzienlijke invloed op de kwel in de Achterbergse Hooilanden, De Goede Troost en in mindere mate de Hellen heeft, in het bijzonder in een smalle zone langs de westrand van deze gebieden. Er is praktisch geen invloed op de kwel in het gebied ten o van de Grift. Van een algehele peilverhoging mag een ongeveer even groot

omgekeerd effect worden verwacht. Ook hier zal a.g.v. het droogvallen van watergangen 's zomers het effect wat kleiner zijn dan 's winters.

Uit de gevoeligheid van de kwel voor veranderingen in ontwateringspeilen kan worden afgeleid dat de geintensiveerde ontwatering van het Valleigebied een aanzienlijke negatieve invloed op de kwel moet hebben gehad.

9.3.5. Mogelijkheden voor conservering van water door middel van peilbeheer en dimensionering van watergangen.

Uit het voorgaande is gebleken, dat het overgrote deel van het neerslagoverschot in het hoger gelegen gebied wordt afgevoerd via het watergangenstelsel. Vermindering van het aandeel van die afvoer in de totale afvoer heeft automatisch een verhoging van de afvoer via grondwater en dus toename van de kwel in het lage gebied tot gevolg. Zoals in 9.3.4 al is aangegeven, leidt een verhoging van de drainageweerstand door uitdunning van het watergangenstelsel al snel tot aanzienlijke verhogingen van de grondwaterstand in het hogere gebied.

Conservering van water in watergangen kan op zichzelf weinig effect hebben, omdat de daarmee gemoeide hoeveelheid water gering is, mede gezien de kleine slootprofielen en de relatief geringe slootdichtheid in het hoger gelegen Valleigebied. Wel kan op die manier de gemiddelde grondwaterstand mogelijk wat worden verhoogd. Omdat in het voorgaande is gebleken dat de grondwaterafvoer van het gebied relatief gering is en gezien de met het model bepaalde effecten van grondwaterstandsveranderingen op de kwel, is de "lekkage" uit zo'n voorraad zo klein, dat het effect zich over een periode met een duur in de grootteorde van een maand kan uitstrekken.

Indien de stijghoogtegradient in het eerste en tweede watervoerende pakket met ca. 0.1 m/km kan worden verhoogd, levert dit een extra kwelbijdrage in het lage gebied van ongeveer 0.02 m3/etm per strekkende meter gebiedsrand op. Bij een gemiddelde diepte van het ontvangende gebied van 500 m komt dit neer op een kweltoename met gemiddeld 0.04 mm/etm ofwel grofweg 5%. Dat lijkt weinig, maar in de praktijk zal het grootste effect zijn geconcentreerd in een aanzienlijk smallere zone dan 500 m. Het is dan evenredig groter. In hoeverre het grondwater in de westelijke rand van het lage gebied daarmee ook een meer lithotroof karakter zal krijgen is op grond van dit onderzoek niet met zekerheid te zeggen. Gezien de te verwachten lage snelheid van verandering van de samenstelling van het water die, zoals eerder betoogd, eigen is aan het Valleigebied, zal het vermoedelijk om een overgangstype tussen atmotroof en lithotroof gaan.

Om deze vorm van waterconservering te bereiken, zouden stuwen in de watergangen naar de Grift kunnen worden gerealiseerd. Het is echter ook

mogelijk, de watergangen minder diep te maken met een voldoende breed profiel om neerslagpieken aan te kunnen. Doordat de bodemverhangen als gevolg van de helling van het gebied aanzienlijk kunnen zijn, hoeven geen excessief grote profielen te worden gemaakt. Dat wordt geillustreerd met tabel 9.1. Daarin is de waterdiepte berekend bij een bodemverhang van 0.8 m/km en een aantal debieten. Het aantal bijbehorende ha. is te benaderen door uit te gaan van een maatgevend debiet van 1 l/sec per ha. 0.1 m^3/sec staat dan ongeveer voor de maatgevende afvoer van 100 ha.

Tabel 9.1. Waterdiepten in m bij verschillende bodembreedten, een wandruwheidscoefficient (k_M) van 30, bodemverhang 0.8 m/km, belopen 1:1.5.

Bodembreedte (m)	1.0	1.5	2.0
Afvoerdebiet (m^3/sec)			
0.1	0.26	0.21	0.18
0.2	0.38	0.31	0.27
0.4	0.54	0.46	0.40

Uit de tabel blijkt, dat bij een goede dimensionering geen excessieve waterdiepten hoeven op te treden. De bodemhoogte in de belangrijkste watergangen in het hogere gebied ligt meer dan 1 m onder het aanliggende maaiveld. Bij de berekende waterdiepten blijft dan voldoende drooglegging over.

Dat betekent, dat het in de praktijk mogelijk moet zijn, de afwateringsproblemen van het A2-gebied zo op te lossen, dat er in ieder geval geen extra kwelwater verloren gaat. Het belangrijkste probleem zal grondverwerving, onderhoud en wellicht ook verduikering van watergangen zijn.

9.4 Aanpassing van het peilbeheer van de Grift.

9.4.1. Overzicht

Het pand van de Grift tussen Grebbesluis en de stuw bij de Rode Haan is in feite te lang. In Veenendaal is een laag peil noodzakelijk in verband met de waterhuishouding van het bebouwde gebied. Ten z. van Veenendaal zou een hoger peil mogelijk en wellicht ook gewenst zijn. Om een zeker peilverschil tussen boven- en benedendeel van het Griftpand te handhaven moet een stroming tussen Grebbesluis en Rode Haan in stand worden gehouden. Dat is mogelijk door middel van het inlaten van aanzienlijke hoeveelheden Rijnwater via de Grebbesluis. Zowel uit ecologisch als waterstaatkundig oogpunt is dat een weinig gewenste situatie.

In ecologisch opzicht is de huidige situatie om drie redenen ongunstig:
1. De kwaliteit van het Griftwater is door de inlaat via de Grebbesluis weinig beter dan die van de Rijn. Daardoor is ontwikkeling van waarde-

vol geachte aquatische ecosystemen daarin momenteel niet mogelijk.

2. Het peil van de Grift is van invloed op de kwel in het lage gebied: hoe lager het peil, des te meer grondwater stroomt rechtstreeks naar de Grift. Het huidige peil is ca. 0.2 m lager dan voor 1985.
3. De huidige kwaliteit van het Griftwater is slecht voor de ecologische kwaliteit van aangrenzende natuurgebieden (v.d. Hoek en v.d. Schaaf, 1988). De invloed ervan hangt samen met incidentele inundaties door de Grift van het aangrenzende gebied. Die zijn echter sinds de Grift in 1985 is uitgebaggerd niet meer voorgekomen.

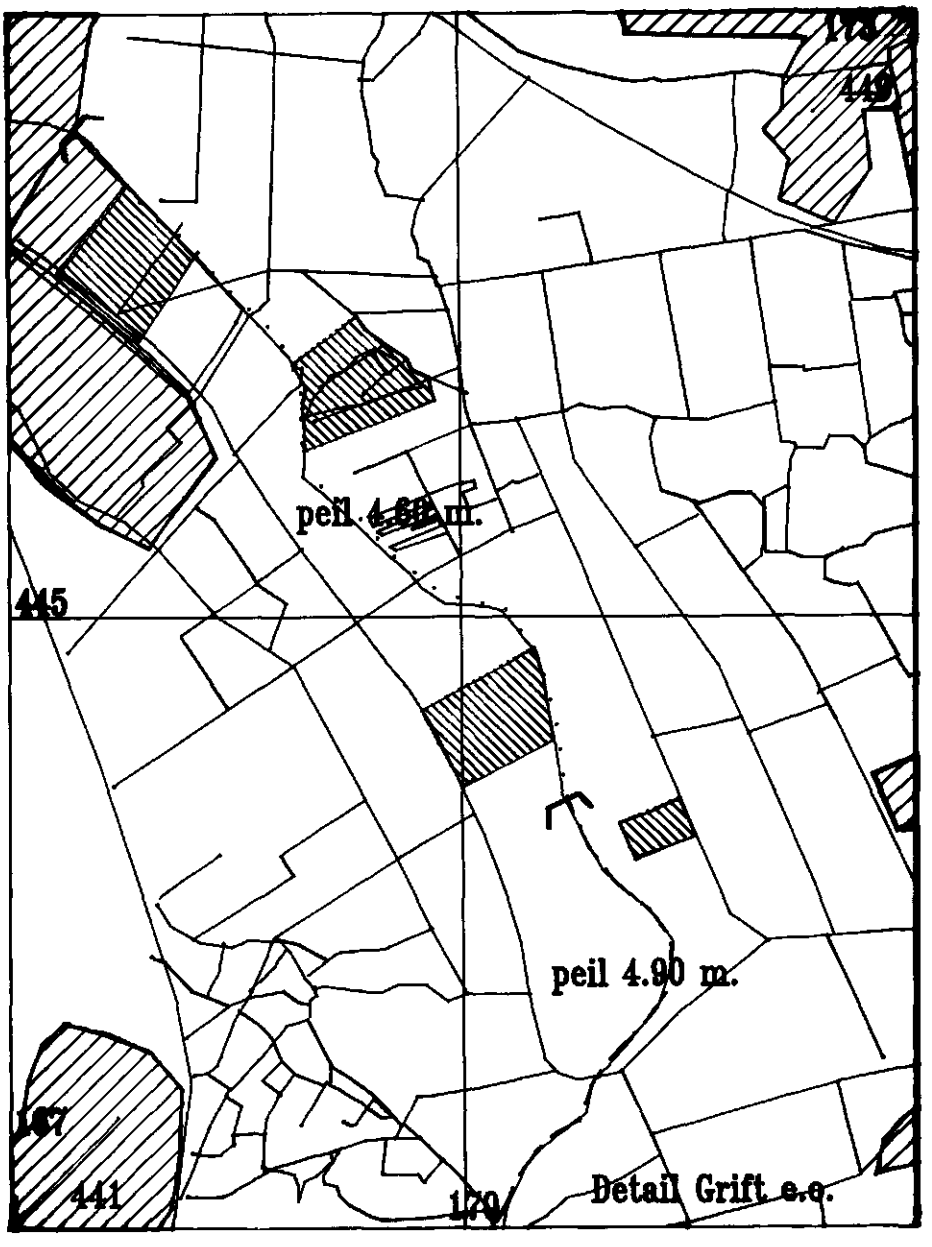

Fig. 9.9. Ligging van de gesimuleerde stuwen en de bijbehorende stuwpeilen.

Punt 2 is met behulp van het model nader onderzocht. Daarbij zijn de volgende situaties vergeleken met de referentiesituatie van eind april

1988:

1. Stuw bij de Eendenkooi, stuwpeil op NAP+4.90
2. Een tweede stuw direkt ten zo van de bebouwde kom van Veenendaal, stuwpeil op NAP+ 4.60 m

De positie van de stuwen in het model is weergegeven in fig. 9.9.

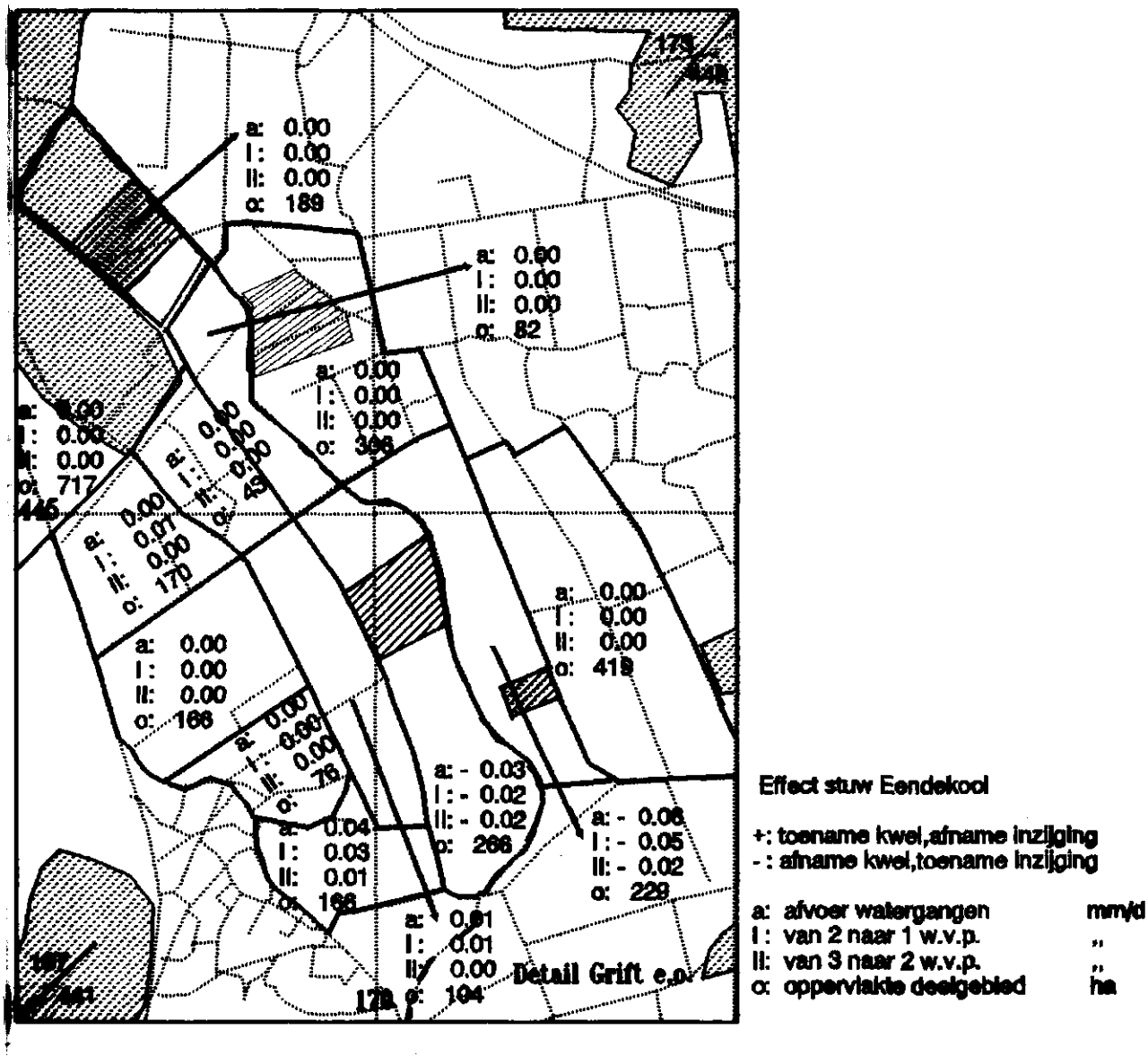

Fig. 9.10. Effect op kwel en afvoer per deelgebied van het aanbrengen van een stuw bij de Eendenkooi (peil NAP+4.90 m)

9.4.2. Stuw bij de Eendenkooi, stuwpeil NAP+4.90 m.

De plaats van de stuw is bepaald aan de hand van de hoogtecijferkaart van het gebied (Topografische Dienst). Ter hoogte van de eendenkooi daalt het maaiveld van z naar n over vrij korte afstand met meer dan 0.40 m. Indien de stuw ten n van deze knik zou worden geplaatst, zou het peil in het bovenstroomse pand aanzienlijk lager moeten zijn dan 4.90 m om de landbouw in het gebied voor wateroverlast te vrijwaren.

De effectberekeningen zijn op dezelfde manier gedaan als die voor het geplande A2-werk. De presentatie geschiedt op analoge wijze.
Het peil van NAP+4.90 m is ruim 0.5 m hoger dan voor de situatie van eind april 1988 in het model is ingevoerd.

De effecten op kwel en afvoer zijn per deelgebied weergegeven in fig. 9.10.

Het effect lijkt op grond van fig. 9.10 minimaal. Er is zelfs een afname van de kwel in de Achterbergse Hooilanden en het gebied van de Veenkampen.. Dit kan slechts veroorzaakt zijn doordat de Grift minder kwel aantrekt en de kweltoename in het aangrenzende gebied deze vermindering niet geheel kan compenseren. Deze veronderstelling wordt bevestigd door fig. H.10 (bijlage H), waarin isolijnen van de verandering zijn weergegeven. Vlak bij de Grift liggen de lijnen zo dicht bij elkaar, dat ze niet meer afzonderlijk zichtbaar zijn. Daarom zijn ze daar deels weggelaten.

De figuur had wellicht fraaier kunnen worden door toepassing van een groter interval. Dan was het beeld van het uitwiggen van het effect via de isolijnen van 0.1 - 0.3 mm/etm echter verloren gegaan. Het beeld is vertekend, doordat het aantal modelelementen dwars op de Grift klein was.

De kwelvermindering vlak bij de Grift blijkt met 1-1.4 mm/etm nogal spectaculair. De breedte van het gebied waarin deze voorkomt lijkt door de presentatie groter dan hij in werkelijkheid is. Hoeveel is als gevolg van de afstand tussen de modelknooppunten niet precies te zeggen. In een veel breder gebied blijkt er echter een toename te zijn met 0.1-0.4 mm/etm van de kwel naar het eerste watervoerende pakket.

Het beeld van het effect op de kwel uit het derde watervoerende pakket is zoals gebruikelijk aanzienlijk rustiger dan dat m.b.t. de kwel van het tweede naar het eerste (fig. H.11, bijlage H). Er is in een brede zone sprake van een lichte kwelvermindering. De verklaring ligt in het feit, dat er alleen een peil op het eerste watervoerende pakket is verhoogd. Buiten de lijn van 0 mm/etm is sprake van een kweltoename. Deze is overal kleiner dan 0.1 mm/etm, zodat daarvan geen isolijnen op de kaart voorkomen.

N.B.
Ten aanzien van de uitkomsten van het uitgevoerde onderzoek dient een belangrijke aanvullende kanttekening te worden gemaakt. Uit na afronding van de modelstudie door de vakgroep HBH uitgevoerde waterpassingen in het lage gebied zijn lagere maaiveldsliggingen gevonden dan aangegeven op de hoogtecijferkaart van de Topografische Dienst. Wellicht zijn tussen het moment van opname van de maaiveldshoogten (veelal vermoedelijk in de kort na WO-II uitgevoerde ruilverkaveling) en nu maaiveldsdalingen opgetreden. Waarschijnlijk gaat het om verschillen die gemiddeld rond de 20-25 cm liggen. Bij een definitieve peilvaststelling zal hiermee rekening

moeten worden gehouden.

9.4.3. Stuw direct ten zo van de bebouwde kom van Veenendaal, stuwpeil NAP+4.60 m

De stuw is gemodelleerd benedenstrooms van de natuurgebieden Hel en Blauwe Hel en bovenstrooms van de bebouwde kom van Veenendaal. Daarbij is het volgende overwogen.

Het stuwpeil van de Rode Haan kan niet omhoog in verband met het peil in de bebouwde kom van Veenendaal. In verband met de genoemde natuurgebieden is een verhoging van het Griftpeil wenselijk. Anderzijds verzetten op dit moment gevestigde landbouwbelangen zich tegen een te hoog stuwpeil. Door de stuw direct ten zo van de bebouwde kom van Veenendaal te plaatsen wordt de waterhuishouding van het bebouwde gebied in die plaats niet noemenswaard beinvloed. Een peil van NAP+4.60 m lijkt voor de landbouw geen onoverkomelijke bezwaren op te leveren: in feite is een dergelijk peil tot aan de uitbaggering van de Grift rond 1985 jarenlang het gemiddelde peil in deze watergang geweest (hoofdstuk 8).

Het peil van 4.60 m ligt ruim 0.20 hoger dan het peil van de referentiesituatie van 28 april 1988. Dat peil is t.o.v. het gemiddelde peil iets aan de lage kant. Omdat het verschil tussen het huidige gemiddelde peil en dat van voor de uitbaggering ongeveer hetzelfde is als dat tussen het referentiepeil en het gemodelleerde peil, kunnen de berekende effecten ongeveer worden gezien als wat zou gebeuren indien ten z van Veenendaal de in hoofdstuk 6 berekende rond 1985 opgetreden verlaging van het Griftpeil ongedaan zou worden gemaakt.

De gecombineerde effecten op kwel en afvoer van de stuw bij de Eendenkooi als beschreven in de vorige paragraaf en die bij Veenendaal voor de deelgebieden wijken zo weinig af van die voor de stuw bij de Eendenkooi alleen, dat hiervoor geen aparte figuur is opgenomen.

Wel zijn de berekende gecombineerde effecten in de vorm van isolijnenkaartjes weergegeven in fig. H12 en H13 van bijlage H.

Uit fig. H.12 komt voor het gebied ten z van de Eendenkooi min of meer hetzelfde beeld naar voren als uit fig. H.10. Ook hier zijn in het gebied van de Grift isolijnen weggelaten. Het interval is wat vergroot. Langs de Grift ligt een zone met verminderde kwel.

Dat deze zone ten n van de stuw bij de Eendenkooi even breed is als ten z ervan duidt niet op gelijke kweleffecten, maar hangt volledig samen met de elementgrootte van het gebruikte model. In werkelijkheid is de kwel-

vermindering a.g.v. de Veenendaalse stuw de helft of minder van die, teweeggebracht door de stuw bij de Eendenkooi. De ligging van de elementen in het model bewerkstelligt ook, dat op het kaartje de Grift soms zeer excentrisch in de zone van kwelvermindering ligt. Die asymmetrie heeft niets met de geohydrologische omstandigheden te maken. Er is in dit geval tot het maximum gegaan van wat in het toegepaste model nog mogelijk is.

De door de Veenendaalse stuw teweeggebrachte kweltoename in het aangrenzende gebied is aanzienlijk kleiner dan die a.g.v. de stuw bij de Eendenkooi; hij bereikt nergens de 0.2 mm/etm.

Fig. H.13 in bijlage H tenslotte geeft een beeld van de invloed op de verandering van de kwel uit het derde watervoerende pakket. Er is sprake van een lichte vermindering in een zone ter breedte van Achterbergse Hooilanden en Veenkampen samen. De verklaring is duidelijk: er zijn in dit gebied alleen peilen verhoogd.

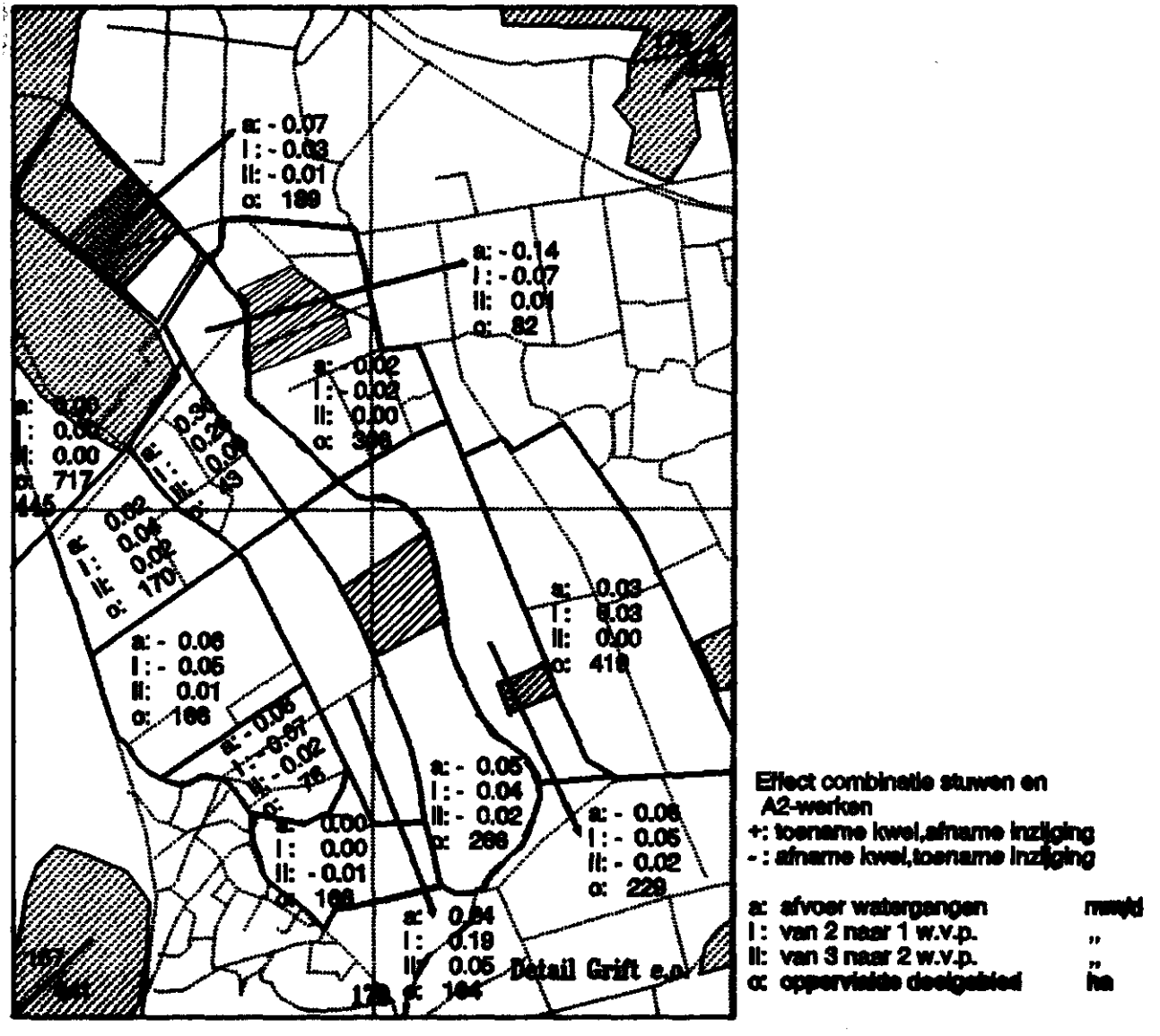

Fig. 9.11. Gecombineerde effecten van stuwen en A2-werk op kwel en afvoeren.

Fig. 9.11 geeft een overzicht per deelgebied van de gecombineerde effecten van stuwen en A2-werk. Het zal geen verwondering wekken dat de verschillen met de berekende effecten van het A2-werk (fig. 9.5) niet spectaculair zijn.

Iets meer variatie vinden we in de isolijnenkaartjes van fig. H.14 en H.15 (bijlage H). H14 toont het gecombineerde effect op de kwel in het eerste watervoerende pakket, fig. H.15 op die uit het derde watervoerende pakket. In feite is hier grotendeels sprake van een optelsom van effecten. Slechts een klein aantal sloten is bij het stuwpeil van NAP+4.90 m anders gemodelleerd dan in de referentietoestand.
Omdat er een niet verwaarloosbare kans is, dat zowel A2-werk als minimaal een stuw zullen worden gerealiseerd, is het resultaat toch opgenomen.

9.5 De invloed van de waterwinningen

De waterwinningen en hun gemiddelde produktie over 1988 en 1975 zijn weergegeven in tabel 9.2. Alle winningen onttrekken in de F. van Harderwijk.

Tabel 9.2 Waterwinningen

Naam	Coordinaten (m)		produktie (m^3/etm)	
	X	Y	1988	1975
WMN Veenendaal	165900	448400	8637	6020
Duphar V'daal	166650	449050	1918	1867
Lijstereng Rhenen	166900	442600	3649	3178
SKF V'daal	166950	447400	2369	2511
Parenco Renkum	178500	442425	15668	9941
AKZO Ede	175120	448435	10729	9981
Stroomberg Ede	172885	448920	2119	1212
VNB Edese Bos	175550	451775	15025	12045
VNB Wageningen	177020	442145	7463	7826
Binnenhaven Wag.	173060	442595	1986	2203
Dreyen Wageningen	175175	442370	1042	1113

De berekende gezamenlijke invloed van alle waterwinningen in het modelgebied op kwel en afvoer is per deelgebied aangegeven in fig. 9.13. De invloed is berekend door alle winningen in het model stop te zetten. In feite geeft fig. 9.12 dus het effect van stopzetting van alle grondwaterwinningen.

De effecten op de kwel van het tweede naar het eerste watervoerende pakket en op die van het derde naar het tweede zijn in dit geval nagenoeg gelijk. De verklaring is, dat de ingreep heeft plaatsgevonden in het derde watervoerende pakket. De enige manier, waarop het effect kan doorwerken is via de tweede en eerste scheidende laag. De enige afwijking van dit patroon is in het gebied van de Hellen. De voornaamste verklaring is, dat dit gebied dicht bij de noordwestelijke begrenzing van de bekkenleem van de Formatie van Drente ligt. De waterwinning van de WMN in Veenendaal onttrekt uit een ongedeeld watervoerend pakket. Een deel van het effect plant zich in het gebied van de Hellen nog rechtstreeks voort via het eerste en tweede watervoerende pakket.

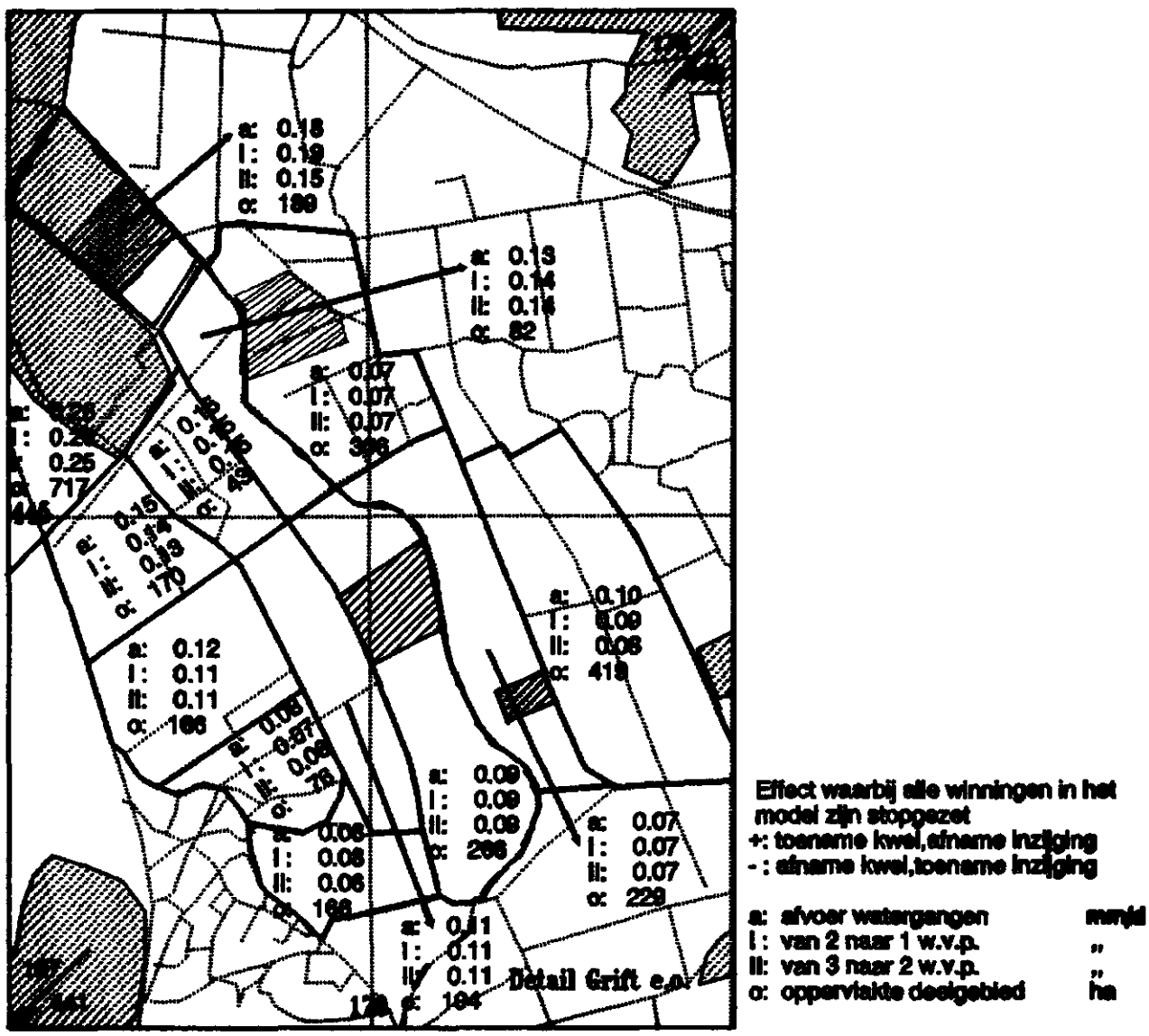

Fig. 9.12. Effect per deelgebied op kwel en afvoer van alle waterwinningen, genoemd in tabel 9.2.

Uit de gegevens kan worden berekend, dat als gevolg van alle waterwinningen samen in het Binnenveld de kwel van het tweede naar het eerste watervoerende pakket met ca. 15% en die van het derde naar het tweede watervoerende pakket met ca. 18% is verminderd, indien het deelgebied "industriegebied" ten z van Veenendaal buiten beschouwing wordt gelaten. In dit gebied overweegt inzijging. Wordt dit gebied wel meegeteld, dan zijn de cijfers resp. 28% en 32%.

Uit kaart H.16 (bijlage H) blijkt nog wat duidelijker dan uit fig. 9.13 dat de grootste invloed van de waterwinningen op de kwel in het lage gebied geconcentreerd is in het gebied in en ten z en zo van Veenendaal.

Het gaat om effecten van de winningen van de WMN (8637 m^3/etm), Duphar (1918 m^3/etm) en de SKF (2369 m^3/etm). In het zuiden is de invloed per winning of groep van winningen in het algemeen kleiner en zijn er geen winningen die er qua effect duidelijk uitspringen. Dat komt vooral doordat daar geen grondwaterwinningen op korte afstand van het Binnenveld liggen.

Ook Kaart H.17 (bijlage H, effect van waterwinningen op de kwel uit het derde watervoerende pakket) toont een duidelijke invloed van de gezamenlijke Veenendaalse waterwinningen aan op de kwel, in dit geval die uit het derde watervoerende pakket.

9.6 De invloed van stadsuitbreidingen

De verschillende stadsuitbreidingen zijn:

Ede:	Rietkampen en Heestereng
Veenendaal:	Industriewijken ten w van de Wageningselaan en het sportveldencomplex "De Groene Velden"

De stadsuitbreidingen leiden tot een lichte vermindering van kwel in de deelgebieden in het lage gebied. Gezien de berekende geringe effecten van de uitbreidingen van Ede, zijn die van Wageningen buiten beschouwing gebleven. Laatstgenoemde uitbreidingen zijn niet alleen aanmerkelijk kleinschaliger, ook de teweeggebrachte daling van de grondwaterspiegel is er geringer dan die in Ede en Veenendaal.

De invloed van de Veenendaalse industriewijken is beschreven door Van der Meulen en v.d. Schaaf (1989). Bij de modellering is ervan uitgegaan, dat de later door Van der Schaaf (1989) gegeven aanbevelingen voor beperking van de invloed van de laatste uitbreiding zijn opgevolgd. De gevonden effecten voor de Hellen Veenendaal hebben daarom vooral betrekking op het peilbeheer van De Groene Velden.

De berekende invloed voor de deelgebieden waar een effect is geconstateerd, is hieronder weergegeven in tabel 9.3. Daarbij is uitgegaan van een peilverlaging met 1 m in de stadsuitbreidingen.

Tabel 9.3. Berekende vermindering van de gemiddelde kwel van watervoerend pakket 3 naar 2, resp. watervoerend pakket 2 naar 1 per deelgebied in mm/etm per m peilverlaging in de stadsuitbreidingen van Ede en Veenendaal.

Deelgebied		Ede	Veenendaal	Ede + Veenendaal
Hellen	kw2-1	0.02	0.09	0.11
	kw3-2	0.01	0.01	0.02
Goede	kw2-1	0.02	0.02	0.04
Troost	kw3-2	0.02	0.02	0.04
Hooilanden	kw2-1	0.01	0.01	0.02
en AHL	kw3-2	0.01	0.01	0.02
Meent	kw2-1	0.00	0.02	0.02
	kw3-2	0.01	0.02	0.03
Grift	kw2-1	0.01	0.02	0.03
noord	kw3-2	0.02	0.01	0.03

Te constateren valt, dat de effecten uiterst gering zijn, temeer omdat in de meeste gevallen de in de stadsuitbreidingen teweeggebrachte daling van de grondwaterspiegel aanzienlijk minder dan een meter is.

10. PERSPECTIEVEN VOOR NATUURONTWIKKELING

10.1. Overzicht

Hoewel perspectieven voor natuurontwikkeling strikt genomen niet onder de onderzoeksopdracht vielen, wordt daaraan in dit hoofdstuk toch enige aandacht besteed. Het geeft een beschouwing met betrekking tot de perspectieven voor de ontwikkeling van kwelafhankelijke, soortenrijke vegetaties in het Binnenveld, voorzover het de hydrologische randvoorwaarden betreft.

Aspecten van verspreidingsvermogen van soorten, methoden van verschraling e.d. zijn buiten beschouwing gebleven. Ze vallen te ver buiten het bestek van het in dit rapport beschreven onderzoek.

In relatie tot hydrologische aspecten wordt aandacht besteed aan de situatie in de huidige natuurterreinen en mede op basis daarvan wordt een aantal doeltypen van vegetaties aangegeven. Ook worden enige maatregelen om gewenste situaties te bereiken kort besproken

10.2 Uitgangspunten

Bij het aangeven van mogelijkheden voor natuurontwikkeling vanuit een op regionale schaal opgezet hydrologisch onderzoek beschouwt men in feite twee schaalniveau's: regionaal en standplaats. Op laatstgenoemde schaal is geen onderzoek gedaan. Ten aanzien van het tussenniveau, de lokale schaal, kunnen in grote lijnen wel, maar in detail geen zinvolle uitspraken worden gedaan.

Ten aanzien van standplaatsfactoren gaat het voornamelijk om twee zaken:

1. Fysische omstandigheden. Deze worden voornamelijk bepaald door de fluctuaties van de grondwaterspiegel over zowel perioden van enkele dagen als seizoenen.
2. Chemische omstandigheden. Deze werken voornamelijk door via de beschikbaarheid van nutrienten en de zuurgraad. De omstandigheden worden deels bepaald door de onder 1 genoemde fysische omstandigheden (bv. N-mineralisatie), deels door de chemische eigenschappen van kwelwater. Een voorbeeld van het laatste is de aanwezigheid van calcium of ijzer die de beschikbaarheid van fosfaat kan beperken.

Schommelingen van de grondwaterstand worden in het algemeen beperkt door kwel. Door de toevoer van grondwater zakt de grondwaterspiegel in de zomer minder diep uit dan daarzonder. Grondwaterstandsschommelingen worden evenwel ook door andere factoren beinvloed, zoals de aanwezigheid en de mate van functioneren van ontwateringssystemen.

Waterbeheer kan van invloed zijn op de fysische omstandigheden in de bodem. In het Binnenveld liggen hier, mede gezien de ervaringen in het proefcomplex "De Veenkampen" goede mogelijkheden. De concentraties aan opgeloste stoffen in het kwelwater zijn er echter dusdanig laag, dat van een aanzienlijke chemische beinvloeding van de bovengrond op korte termijn geen sprake zal zijn.

10.3 Referentiesituaties.

In het Binnenveld kwamen voor 1950 grote oppervlakten blauwgrasland voor. Westhoff (1973) noemt een groot aantal nu in Nederland zeldzame soorten, die in het gebied op grote schaal voorkwamen. Op de natte stukken kwamen waarschijnlijk Calthion en Junco-Molinion voor. De ruigere stukken werden gekenmerkt door het Filipendulion; op de kleiige gronden kwam het Arrhenaterion voor. Op de overgang van land naar water kwamen Phragmition en Magnocaricion voor. Er waren echter ook voor 1950 graslanden zonder grote soortenrijkdom in het gebied aanwezig. De huidige in het Binnenveld gelegen reservaten, resp. gebieden waar natuurontwikkeling aan de orde is, zijn achtereenvolgens:
- De Blauwe Hel
- De Hel
- De Bennekomse Meent
- De Achterbergse Hooilanden
- Proefaccomodatie Veenkampen

De Blauwe Hel

Het reservaat is 15 ha groot en is gelegen in het laagste deel van het Binnenveld. De ligging is aangegeven in fig. 1.2. Er zijn vier vegetatietypen te onderscheiden: trilveen, grasland, riet- en ruigteland en struweel. De grondwaterstand varieert 's zomers van ca 0.60 m -mv. tot aan maaiveld. De kwelintensiteit in het reservaat is relatief hoog (Van der Meulen en Van der Schaaf, 1989). Uit waterkwaliteitsgegevens van Molenaar (1987) blijkt, dat de kwel in de wortelzone doordringt. Uit de kwaliteitsgegevens (hoofdstuk 6) blijkt overigens dat de ionenactiviteit laag is, maar het aandeel aan Ca^{2+} ionen groot.

De Hel

Het reservaat De Hel is 26 ha groot. Het grenst in het nw aan de Blauwe Hel. Van het gebied is nauwelijks ecohydrologisch onderzoek bekend. Het omvat een veenplas met omliggend terrein. Volgens zowel de studie van Van der Meulen en Van der Schaaf (1989) als de uitkomsten van het in dit rapport beschreven model is de kwelintensiteit er vrij aanzienlijk.

De Bennekomse Meent

De Bennekomse Meent was oorspronkelijk 14 ha groot. Inmiddels is het door aankoop uitgebreid tot ca. 25 ha. Het ligt aan de Gelderse oever van de Grift (fig. 1.2). Het wordt overigens omringd door intensief gebruikt produktiegrasland. Deze hebben ondanks maatregelen (bufferzone en omkading) een belangrijke invloed op het reservaat.

Door inlaat van eutroof Griftwater heeft in de lagere delen verruiging plaatsgevonden. Nog steeds wordt aan de oostkant lokaal eutroof kwelwater aangetroffen, afkomstig van het aangrenzende landbouwgebied (Van der Hoek, 1987). Als gevolg van deze randeffecten is het areaal blauwgrasland gereduceerd tot niet meer dan 20% van de totale oppervlakte van het oorspronkelijke reservaat.

Ook in dit gebied is er een kwelstroom vanuit het derde watervoerende pakket. Uit lokaal onderzoek blijkt, dat het kwelwater slechts gedurende een korte periode in het jaar de wortelzone bereikt. Desondanks lijkt tot nog toe de kwelstroom voldoende om de buffermechanismen in stand te houden, zodat de invloed van verzurende infiltratie wordt tegengegaan. Dit is in het bijzonder het geval, waar ondiepe begreppeling voorkomt.

Op andere plaatsen heeft waterconservering geleid tot oppervlakkige verzuring van de bodem en tot vergrassing (Schouwenburg e.a., 1991). Het aandeel calciumionen is over het geheel genomen echter lager dan in de Blauwe Hel. Ook is er een relatief hoog sulfaatgehalte in de bovengrond gemeten. Dit is waarschijnlijk toe te schrijven aan de omkading, waardoor regenwater in het gebied stagneert. De geringere kwel, vergeleken met de Hellen, is waarschijnlijk in hoofdzaak het gevolg van het ter plaatse voorkomen van een kleilaag in de Eemformatie.

De Achterbergse Hooilanden

Het gebied is door Staatsbosbeheer aangekocht in 1983. Voordien was het voornamelijk in gebruik als bemest hooi- en weideland. In het gebied komen nog zeldzame soorten voor van het overgangsgebied van veen naar klei en zand. Er is een orienterend onderzoek gedaan naar de mogelijkheid voor regeneratie van natte, schrale en soortenrijke hooilanden (Grubben 1989).

Gebleken is, dat in de slootkanten en langs perceelsranden nog restanten van de oorspronkelijke vegetatie voorkomen. Het gaat o.m. om Poelruit, Waterviolier, Snavelzegge, Blauwe Zegge, Gewone Zegge en Wateraardbei.

In het gebied is een duidelijke gradient van Maatsteeg naar Grift aanwezig. De bodem bestaat uit veen met een kleiige bovengrond. Langs de Maatsteeg komen moerige zandgronden voor. De grondwaterstanden vlak bij de Grift zijn lager dan die in de rest van het gebied (Grubben, 1989). Dit kan worden toegeschreven aan de invloed van het Griftpeil, dat gemiddeld 0.50 m of meer beneden maaiveld ligt, terwijl de grondwaterstanden in het gebied 's winters regelmatig aan maaiveld komen.

Uit de modelstudie komt het gebied voor het overgrote deel als kwelgebied naar voren. Dit komt overeen met waterkwaliteitsgegevens van de vakgroep Natuurbeheer. Daaruit blijkt een (relatief) hoog calcium- en bicarbonaatgehalte van grondwatermonsters. van 0.10, 0.30 en 0.60 m beneden maaiveld. In de bovenste 10 cm komt wat meer chloride voor, wat duidt op periodieke vorming van ondiepe regenwaterlenzen.

Proefaccomodatie "De Veenkampen"

De Veenkampen zijn een proefterrein van 12 ha in het klei- en veengebied ten oosten van de Grift (fig. 1.2). Er wordt gezamenlijk onderzoek gedaan naar de mogelijkheden voor regeneratie van halfnatuurlijke vochtige schrale graslanden door de DLO-instituten CABO en Staringcentrum en de vakgroepen HBH, Natuurbeheer en VPO van de Landbouwuniversiteit. Door middel van verschillend peilbeheer, infiltratie van diep grondwater via artesische bronnen en drains en verschillende vormen van vegetatiebeheer wordt getracht, inzicht te verkrijgen in de regeneratiemogelijkheden van natte. schrale soortenrijke graslanden.

Volgens het ontwikkelde model komt in het gebied kwel voor. Op grond van grondwateranalyses kan worden vastgesteld, dat deze de wortelzone in het algemeen niet bereikt. De grondwaterstanden zakken in de zomer dan ook van nature uit tot ca. 0.75 m beneden maaiveld. In de winter bereikt de grondwaterspiegel weliswaar af en toe het maaiveld, maar dat is slechts gedurende zeer korte perioden het geval.

Waarnemingen aan piezometers tonen aan, dat er inderdaad in het gebied sprake is van een zekere kwel. Waar de grondwaterstanden zijn opgezet m.b.v. artesisch water treedt echter gedurende het hele jaar inzijging op. Waterconservering d.m.v. omkading blijkt te leiden tot hogere grondwaterstanden in de winter en het vroege voorjaar. Dit leidt echter tot verzuring in de bovenste laag van de bodem (Schouwenberg e.a., 1991).

Afplaggen (ca. 5 cm) blijkt te resulteren in een nieuw bodemoppervlak, waarin o.m. Koekoeksbloem en Blauwe en Blonde Zegge spontaan ontkiemden.

10.4 Waterkwaliteit Binnenveld en referentiegebieden

In het algemeen blijkt in de referentiegebieden 's zomers het calciumgehalte in de grondwatermonsters gemiddeld ca 2x zo hoog te liggen als in de rest van het Binnenveld. 's Winters liggen de getallen in dezelfde orde van grootte. Dat komt vooral door de hogere gehalten buiten de referentiegebieden.

Daarvoor zijn twee verklaringen: in de referentiegebieden wordt in het algemeen niet bemest en de referentiegebieden liggen in de laagste delen van het Binnenveld, waardoor de kwel er in het algemeen gemakkelijker de wortelzone bereikt dan elders. Bovendien zijn er buiten de referentiegebieden geen bemonsteringspunten in de allerlaagste delen. Daardoor kan het beeld wellicht wat vertekend zijn. Bemestingsinvloeden vindt men hoofdzakelijk buiten de referentiegebieden. De invloed van neerslag op de kwaliteit van het grondwater lijkt daar in het algemeen ook groter te zijn dan in de referentiegebieden.

Het gehalte aan opgeloste stoffen in het grondwater van het Binnenveld is overigens relatief laag. Dat valt te verklaren uit het feit, dat met name het kwelwater uit het derde watervoerende pakket zich verplaatst door een gesteente dat zeer weinig verweerbare bestanddelen bevat. Het gaat hier vooral om de Formatie van Harderwijk. Deze is van oostelijke herkomst en bestaat voornamelijk uit kwartsrijke zanden met weinig andere mineralen.

10.5 Doeltypen

Op basis van het geohydrologische systeem, de bodemopbouw en de toestand in referentiegebieden kan men komen tot enkele doeltypen.

Daarbij moet men zich realiseren, dat inmiddels opgetreden irreversibele of bijna irreversibele processen volkomen herstel van de oorspronkelijke situatie praktisch gesproken onmogelijk maken. De belangrijkste zijn de drastische verhoging van het nutrientengehalte door jarenlange (zware) bemesting en de relatieve aanrijking met klei in de bovengrond als gevolg van mineralisatie van organische stof. Dit laatste proces hangt samen met de geintensiveerde ontwatering van het gebied.

Ook andere vegetaties dan de doeltypen zullen zich onder invloed van beheersmaatregelen kunnen ontwikkelen. Grootjans (1986) geeft een gradient aan tussen waterkwaliteit en vegetatietypen. Twee daarvan zijn voor het Binnenveld van belang:

- Eutrafente vegetaties, zoals het Calthion, Magnocaricion en Phragmition worden gekenmerkt door een grondwatertrap IV of lager en het mijden van infiltratie. Dit komt overeen met enkele actuele situaties in het onderzoeksgebied.

- Mesotrafente vegetaties zoals Parvocaricetea, Caricion Curti nigra en Cirsio-Molinietum.

De laatste groep omvat echte schraallandvegetaties. Op grond van de grondwaterkwaliteit in delen van het studiegebied moet de ontwikkeling van dergelijke vegetaties in delen mogelijk zijn. Het gaat hierbij vooral om de Hellen, De Goede Troost en delen van de Achterbergse Hooilanden. In andere gebieden zal men zich, zeker in de eerste fase van de regeneratie, tevreden moeten stellen met het nastreven van de ontwikkeling van de meer eutrafente vegetatietypen.

10.6 Hydrologische maatregelen

Hydrologische maatregelen moeten erop gericht zijn, zoveel mogelijk kwelwater uit het derde watervoerende pakket te doen doordringen in de wortelzone.

Daarbij kan men denken aan:
- intern peilbeheer
- extern waterbeheer
- maaiveldsverlaging
- ondiepe begreppeling
- omkading
- aanvoer van gebiedsvreemd water

Intern peilbeheer
Van belang is, dat binnen een natuur(ontwikkelings)gebied niet een zodanig hoog peil wordt gehanteerd, dat de kwel a.h.w. uit het gebied wordt weggedrukt. Anderzijds mag het peil niet zo laag zijn, dat de kwel de wortelzone niet of in te geringe mate bereikt en gedurende te lange tijd regenwaterlenzen ontstaan. Hierbij zijn zowel de regionale geohydrologische situatie als het transport van opgeloste stoffen in de onverzadigde zone van de bodem van belang. Vooral m.b.t. het laatste is sprake van een duidelijke en ernstige kennislacune.

Extern waterbeheer
Door het opzetten van peilen buiten het natuurgebied wordt daar de kwel geremd. Daardoor wordt de kwelintensiteit in het natuurgebied verhoogd. Het effect is het omgekeerde van peilverhoging in het natuurgebied. De grootte van het effect in de zin van kweltoename is m.b.v. geohydrologische modellen vrij goed te schatten. Verhoging van het peil van de Grift valt onder dit type maatregelen. In dit verband kan ook worden gedacht aan het beperken van grondwaterwinning in het gebied.

Maaiveldsverlaging
Door het afgraven van de bovengrond komt het maaiveld dichter bij de grondwaterspiegel te liggen. Het effect is, dat meer kwelwater de bovengrond bereikt. Bovendien wordt (een deel van) de tijdens het landbouwkundig gebruik opgebouwde nutrientenvoorraad afgevoerd. Indien slechts geplagd wordt (ca. 5 cm o.i.d.), kan wellicht een deel van de oude flora uit de in de bodem aanwezige zaadvoorraad regenereren. Dit bleek in de proefaccomodatie Veenkampen het geval te zijn.

Ondiepe begreppeling
Door ondiepe begreppeling kan neerslagwater dat anders in een gebied zou stagneren en infiltreren, worden afgevangen. Zo wordt de vorming van neerslaglenzen in de bodem tegengegaan. Het middel werkt alleen goed, als er ook een zekere kwel is.

Omkading
Omkading leidt tot conservering van neerslagwater. Dat heeft in een deel van de Bennekomse Meent voornamelijk geleid tot vergrassing. In feite is hier sprake van hetzelfde proces als hiervoor beschreven bij verhoging van het interne peil.

Aanvoer van gebiedsvreemd water
Gebiedsvreemd water is in natuurgebieden meestal ongewenst. Inundatie door Griftwater heeft bv. in de Bennekomse Meent ongewenste gevolgen gehad. Wel zou men kunnen denken aan aanvoer van elders opgevangen kwelwater (bv. stadsuitbreidingen met een vrij diepe ontwatering). In de voedingsgebieden zullen dan wel waarborgen moeten zijn dat geen vervuiling kan optreden. In de wereld van de stedelijke hydrologie ontstaan momenteel ideeen die ertoe kunnen leiden dat in de toekomst dit soort constructies mogelijk realistisch zouden kunnen zijn.

In fig. 10.1 wordt een tentatieve aanduiding gegeven van het deel van het Binnenveld dat op grond van de kwelsituatie voldoende kansrijk moet worden geacht voor natuurontwikkeling als hiervoor omschreven. Er worden 3 zones onderscheiden:
1. overwegend kwel
2. zowel ruimtelijk als in de tijd afwisseling van kwel en inzijging
3. overwegend inzijging

Eventueel extern waterbeheer zal vooral moeten plaatsvinden in zone 2, tenzij het om onttrekkingen gaat. Die hebben een veel verder strekkende invloed.

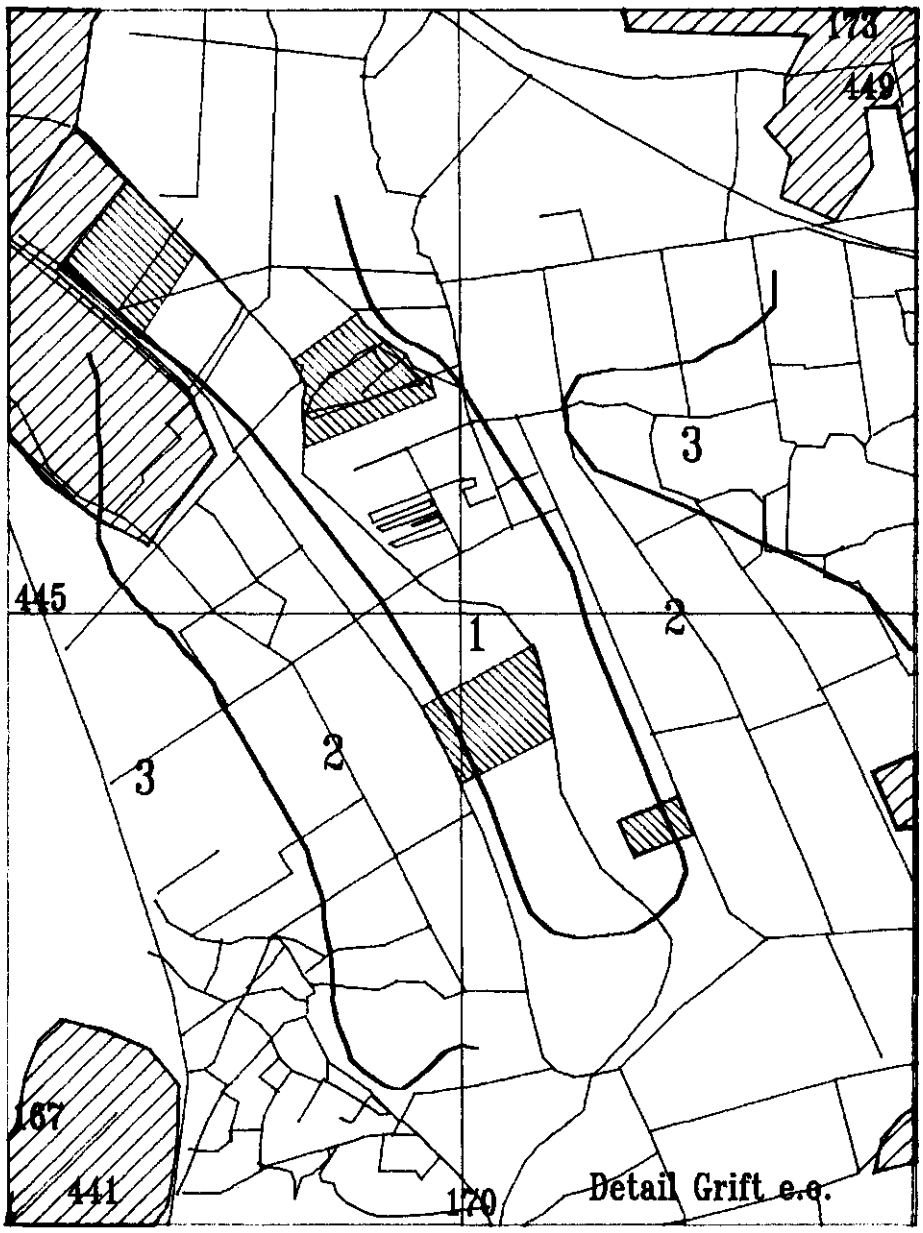

Fig. 10.1. Zones met voornamelijk kwel (1), afwisselend kwel en inzijging (2) en voornamelijk inzijging (3). De aangegeven grenzen zijn (zeer) tentatief

11. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

11.1 Conclusies

11.1.1. Geohydrologie

1. Het Binnenveld is een opgevuld gletsjertongbekken tussen de stuwwal van de Utrechtse Heuvelrug en het stuwwal- en spoelzandvlakte complex van de zuidwestelijke Veluwe. De beide flankerende stuwwalgebieden zijn infiltratiegebieden, van waaruit grondwater naar het Valleigebied stroomt. Verreweg de grootste hoeveelheid grondwater is afkomstig van de Veluwe. Het toegevoerde grondwater levert in het Valleigebied kwelwater. De kwelintensiteiten zijn als gevolg van de geohydrologische opbouw niet groot, maar wel gespreid over een vrij groot gebied.

2. Als geohydrologische basis in het beschouwde deel van de Gelderse Vallei kan de pliocene formatie van Oosterhout worden gezien. Deze ligt in het gebied gemiddeld op NAP-130 m. Daarboven ligt een systeem met drie watervoerende pakketten, met daartussen twee scheidende lagen. Verreweg het grootste doorlaatvermogen heeft het derde (diepste) watervoerende pakket. Deze ligt in het gebied rond de 2500-3000 m^2/etm. Het is de belangrijkste "aanvoerroute" van kwelwater van de Veluwe. De tweede scheidende laag ligt tussen het derde en tweede watervoerende pakket. De vertikale weerstand is hoog: meest enige duizenden etmalen. Hij lijkt van oost naar west af te nemen. Hij is onder de Utrechtse Heuvelrug niet, maar onder het meest zuidelijke deel van de stuwwal Wageningen-Ede veelal wel aanwezig. Deze laag en het hoge doorlaatvermogen van het derde watervoerende pakket zijn de hoofdoorzaak van de spreiding van de kwel over een groot gebied.

   Het tweede watervoerende pakket is matig doorlatend: in het algemeen 125-175 m^2/etm. Het is van het eerste w.p. pakket gescheiden door de eerste scheidende laag. Deze laag heeft een lage vertikale weerstand; in het algemeen 50-200 etmalen. In het noorden van het onderzochte gebied komt in de eerste scheidende laag klei van mariene herkomst voor en is de vertikale weerstand hoger; in het algemeen $>$1000 etm. Direkt ten z van het gebied met mariene klei is de eerste scheidende laag plaatselijk nog kleiig en komen nog vertikale weerstanden voor in de orde van 500 etm. Het doorlaatvermogen van de eerste scheidende laag is niet groot: in de orde van 50 m^2/etm.

3. Het eerste en tweede watervoerende pakket vormen in het algemeen de transportroute voor lokale kwel/inzijgingssysteempjes. Kwel en inzijging wisselen elkaar in een groot gebied buiten het laagste deel van het Binnenveld aan weerszijden van de Grift ook in de tijd af.

4. De stroming in het derde watervoerende pakket verloopt in het algemeen van no naar zw. Hij wordt voornamelijk gevoed door infiltratie op de Veluwe. Alleen in de omgeving van Veenendaal is de Utrechtse Heuvelrug als voedingsgebied van belang, mede onder invloed van de waterwinningen aldaar, die veel Veluwewater aantrekken. De stromingsrichting in het eerste en tweede watervoerende pakket is ten o van de Grift voornamelijk van ono naar wzw; ten w van de Grift is die richting omgekeerd. Het tweede watervoerende pakket wordt deels gevoed door kwel uit het derde w.p., in de hogere delen van het gebied ook door infiltratie vanuit het eerste watervoerende pakket.

11.1.2 Het grondwaterstromingsmodel

1. Het op basis van het pakket Microfem voor het gebied ontwikkelde stromingsmodel bleek na een aantal aanpassingen een goede weergave van het grondwaterstromingsstelsel in het gebied te geven. Het model is niet erg geschikt voor simulatie van systemen met een ont- en afwateringssysteem. Met enige kunstgrepen lijken de modeluitkomsten de werkelijkheid echter zeer behoorlijk te benaderen.
   Het is een model op regionale schaal. Dat betekent, dat het niet geschikt is om conclusies ten aanzien van lokale details te trekken.

   Het model heeft voorts beperkingen ten aanzien van tijdsafhankelijkheid (het is stationnair) en het levert geen simulatie van het stromingsproces in de onverzadigde zone. Dat betekent dat het constateren van kwel en veranderingen in kwelintensiteiten o.g.v. modeluitkomsten nog niet betekent, dat daarmee ook consequenties voor de omstandigheden in de wortelzone vaststaan. Daarvoor is onderzoek op lokale en standplaatsschaal met behulp van onverzadigde stromingsmodellen nodig. Wel mag ervan worden uitgegaan, dat veranderingen in kwelintensiteit bij (vrijwel) ongewijzigde grondwaterstand consequenties kunnen hebben voor de kwalitatieve waterhuishouding in de wortelzone.

2. Het ontwikkelde model berekent stijghoogten en geen kwelintensiteiten. Kwelintensiteiten kunnen worden afgeleid van stijghoogteverschillen tussen de watervoerende pakketten en de vertikale weerstand van de tussenliggende scheidende laag. In theorie zou dit kunnen betekenen, dat de nauwkeurigheid van de kwelberekening gering is. Bij verificatie van het model bleek echter, dat de kwelintensiteiten niet in sterke mate afhingen van veranderingen in de meeste modelgrootheden. Het belangrijkste effect lijkt de vertikale weerstand van de tweede scheidende laag te hebben. Deze is hoofdzakelijk gemodelleerd op basis van de dikte van die laag, zoals die uit beschikbare boorgegevens blijkt. Omdat het door het model berekende isohypsenpatroon van het derde watervoerende pakket goed overeenkomt met het patroon op basis van stijghoogtewaarnemingen, is er weinig reden, ervan uit te gaan dat de modeluit-

komsten in essentiele mate van de werkelijkheid afwijken.

11.1.3. Grondwaterstroming en -kwaliteit

1. Het gebied tussen Utrechtse Heuvelrug en Grift heeft in het hoge gebied overwegend inzijging. In het lage gebied overheerst kwel, in het tussenliggende gebied wisselen kwel en inzijging elkaar af, zowel in ruimte als in tijd. Dat blijkt ook uit de de kwaliteitsbepalingen: in het lage gebied wordt overwegend een kweltype gevonden, in het wat hogere gebied een mengtype of zelfs een regenwatertype.
   Het neerslagoverschot in het gebied wordt in overwegende mate afgevoerd via het watergangenstelsel.

2. De kwaliteitsanalyses bevestigen in grote lijnen het beeld dat uit de modellering naar voren komt. In het lage gebied overheerst het kweltype. Langs de randen van het lage gebied worden over het algemeen mengtypen aangetroffen, met een tendens naar een neerslagtype in het hogere gebied. Er lijkt een zekere naijling op te treden v.w.b. seizoenseffecten op de grondwaterkwaliteit.

3. Waar in het lage gebied kwel overheerst, bereikt deze als gevolg van de relatief hoge grondwaterstand althans gedurende een deel van het jaar de wortelzone. Doordat de concentraties aan opgeloste stoffen in het kwelwater relatief gering zijn, is het gebied wellicht gevoeliger voor kwelvermindering dan andere kwelgebieden met een hogere concentratie aan opgeloste stoffen in het grondwater. Langs de overgang naar het hogere gebied lijkt een zekere bijmenging met neerslagwater op te treden.

4. De nutrientenbelasting in het grondwater is in gebieden waar blijkens de analysecijfers het kwelwater tot in de wortelzone doordringt, gering. Wel komt vrijwel overal een lichte nitraatbelasting voor, vooral in de zomer. Waarschijnlijk is dit tenminste deels het gevolg van omzetting van organische stof in de zode. In de winter is de nitraatbelasting gering tot afwezig. Wel kan dan plaatselijk een lichte fosfaatbelasting voorkomen. Buiten het gebied met overwegend kwelinvloed en aan de randen ervan lijken de invloeden van nutrienten groter.

5. In de watergangen komt fosfaatbelasting in het studiegebied plaatselijk voor. Nitraatbelasting werd vooral gevonden op de overgangen van dekzand naar klei en veen.

6. De natuurgebieden liggen vrijwel geheel in het lage gebied, evenals het proefgebied Veenkampen, waar LUW en DLO-instituten onderzoek doen naar de regeneratie van halfnatuurlijke soortenrijke graslanden. In de Bennekomse Meent lijkt de kwel wat minder te zijn dan in de Hellen en

de Achterbergse Hooilanden. Wellicht is dat een gevolg van de aanwezigheid in eerstgenoemd gebied van klei in de eerste scheidende laag.

7. In de tijd blijkt de kwel uit het derde watervoerende pakket zeer constant te zijn. Er zijn geen duidelijke seizoensvariaties, noch schommelingen over termijnen van enkele jaren.

8. De vertikale kwel naar het eerste watervoerende pakket vertoont een zekere seizoensafhankelijkheid. Hij is in de zomer doorgaans hoger dan in de winter. Bij kortstondige perioden met veel neerslag wordt deze kwel afgeremd. Hij is eveneens gevoelig voor lokaal peilbeheer. Plaatselijke verhoging van waterstanden leidt tot kwelvermindering of zelfs tot omslag in inzijging. Ook in regenrijke jaren is er minder kwel dan in droge.

9. De zijdelingse aanvoer van grondwater naar het lage gebied verloopt hoofdzakelijk via het tweede watervoerende pakket. Hij is in het hogere gebied weinig seizoensafhankelijk. Op de overgang tussen het hogere en het lage gebied lijkt in de zomer de toevoer aanzienlijk hoger te zijn dan in de winter. Dat lijkt ook het geval op andere overgangen van (iets) hoger naar (iets) lager. De zijdelingse aanvoer is weinig afhankelijk van natte en droge jaren; hij schommelt echter aanzienlijk over korte perioden (enkele weken).

11.1.4 Effecten van ingrepen

1. Het berekende effect van het in het gebied van het voormalige waterschap De Grebbe (nu opgenomen in waterschap Vallei en Eem) geplande A2-werk is een aanzienlijke toename van de kwel in het Velderbroek en het no-deel van de Meent (daar wordt het peil verlaagd) en een (minder grote) kweltoename in delen van het lage gebied; in andere delen, vooral ten n van het Velderbroek lijkt sprake te zijn van een lichte kweltoename. Omdat deze toename het gevolg is van peilverlaging, mag worden aangenomen dat de invloed ervan in de wortelzone nihil is. De kwelintensiteit blijkt zeer gevoelig te zijn voor "overall" peilveranderingen in het hogere Valleigebied: tot ca. 0.1 mm/etm per decimeter peilverandering. De grootste effecten zijn echter beperkt tot een zeer smalle zone ten o van de Maatsteeg.

2. Conservering van grondwater door middel van het verhogen van de drainageweerstand heeft een verhogend effect op de kwelintensiteit in het lage gebied, omdat de grondwaterstanden in het hoge gebied erdoor worden verhoogd. Een zekere mate van conservering van grondwater lijkt mogelijk, indien de watergangen zodanig worden gedimensioneerd, dat kortstondige afvoerpieken goed kunnen worden afgevoerd, maar dat de watergangen bij dalende grondwaterstand snel onwerkzaam worden.

Dat is bv. mogelijk door het verbreden en verondiepen van watergangen. Eventueel kunnen ook stuwen worden geplaatst.

3. Uit de conclusies 1 en 2 van deze paragraaf valt af te leiden, dat de grondwaterstandsverlaging ten behoeve van de landbouw die vooral in de jaren '40 van deze eeuw zijn beslag heeft gekregen, de kwel in het lage gebied in aanzienlijke mate moet hebben verminderd.

4. Het peil van de Grift is in de tweede helft van de jaren '80 ca. 0.20 m lager geweest dan in de eerste helft van die periode. Daartussen ligt de uitbaggering (1985). Ook de peilschommelingen in de Grift zijn na uitbaggering duidelijk afgenomen.

5. Het aanbrengen van stuwen in de Grift heeft vlak langs de Grift een aanzienlijke vermindering van kwel tot gevolg; in het grootste deel van het lage gebied is sprake van een kweltoename. Bij een stuwpeil van NAP+4.90 m van de al geplande stuw bij de Eendenkooi ten n van de proefaccomodatie "Veenkampen" kunnen kweltoenamen tot ca. 0.4 mm/etm worden verwacht. Bij het vaststellen van het stuwpeil dienen de huidige maaiveldshoogten in het gebied goed te worden geinventariseerd, omdat het ernstige vermoeden bestaat dat de op de hoogtecijferkaarten van de Topografische Dienst in het betreffende gebied ca. gemiddeld ca. 20-25 cm hoger zijn dan momenteel het geval is. Waarschijnlijk is in het gebied in de jaren '50-80 een maaiveldsdaling opgetreden als gevolg van ontwatering. Een tweede stuw direkt ten z van Veenendaal met een stuwpeil van NAP+4.60 m geeft een verdere zeer lichte verhoging van de kwel te zien in het gebied tussen Eendenkooi en Veenendaal.

6. De berekende invloed van waterwinningen op de kwel in het Binnenveld is vooral in het noorden van het gebied vrij groot. Er is daar vooral invloed van de waterwinningen in Veenendaal merkbaar. De andere grote winningen liggen verder van het lage gebied in het Binnenveld vandaan. Gemiddeld gaat het om ruim 0.1 mm/etm; in het gebied nabij Veenendaal om 0.2 - 0.3 mm/etm..

7. De invloed van recente stadsuitbreidingen op de kwel in het Binnenveld als geheel is zeer gering. Alleen in het gebied van Hel en Blauwe Hel is sprake van een aanzienlijke vermindering van kwel (ca. 0.1 mm/etm per meter peilverlaging) als gevolg van de nabijheid van stedelijk gebied. Lokaal kunnen die effecten veel groter zijn. Uitbreidingen aan de o- en z-zijde van Veenendaal dienen daarom steeds op hun effect op de kwel in de Hellen te worden beoordeeld.

11.2 Aanbevelingen

1. Op grond van de uitkomsten van het onderzoek kan worden vastgesteld, dat de hydrologische omstandigheden in het lage gebied ten w van de Grift goede mogelijkheden bieden voor de ontwikkeling van kwelafhankelijke halfnatuurlijke vegetaties. Dat geldt vrjwel zeker ook voor de zone ten o van de Grift, grofweg gelegen tussen deze watergang en de Veensteeg

2. Maatregelen met betrekking tot het waterbeheer in het natuurontwikkelingsgebied moeten vooral gericht zijn op het handhaven, resp. vergroten van de kwel in dat deel van het Binnenveld. Daarbij is peilbeheer cruciaal. Te lage peilen in het gebied bewerkstelligen dat de kwel de wortelzone niet bereikt; te hoge peilen dat de kwel wordt weggedrukt naar naburige gebieden en er ongewenste regenwaterlenzen ontstaan. Deze wisselwerking tussen peilen en lokale geohydrologische omstandigheden enerzijds en minimale omvang van gebieden anderzijds is een werkterrein voor specialisten.

   Het instellen van bufferzones kan hierbij nuttig zijn. Uit het onderzoek naar effecten van het A2-werk is bv. gebleken, dat peilveranderingen in het Velderbroek en Meent no een niet onaanzienlijke invloed hebben op de kwelintensiteit in de Achterbergse Hooilanden en de Goede Troost.

3. Bij voldoende kwel kan de vorming van regenwaterlenzen worden tegengegaan door het aanbrengen van ondiepe begreppelingen met vrije afvoer.

4. De bereikbaarheid van de wortelzone voor kwelwater kan ook worden verbeterd door afplaggen. Daarbij wordt tegelijkertijd een aanzienlijk deel van in de bovengrond aanwezige nutrienten afgevoerd en krijgen zaden van verdwenen soorten die blijkens ervaringen in de Veenkampen nog steeds kiemkrachtig zijn de kans, te ontkiemen.

5. In de kerngebieden (de huidige natuurreservaten Hel, Blauwe Hel en Benekomse Meent en in mindere mate de Achterbergse Hooilanden kan men zich richten op de ontwikkeling van mesotrafente vegetatietypen. Elders zouden eutrafente vegetaties als Calthion en Magnocaricion al een fraai resultaat zijn.

6. Aanvullend onderzoek met het oog op natuurontwikkeling zou zich op drie punten moeten richten:
   1. Op regionaal niveau: niet stationnaire modellering van het regionale stromingsstelsel alsmede transport, fixatie en afbraak van nutrienten (P, N, wellicht ook K)

2. op lokaal niveau: invloed van lokale maatregelen op de grondwater- en kwelstroom (metname intern en extern peilbeheer), zodat duidelijkheid kan worden verkregen over de minimale afmetingen van een peileenheid en bufferzones om daadwerkelijk een peil te kunnen handhaven en de consequenties daarvan op de kwel ter plaatse
3. eveneens op lokaal niveau: transport van kwelwater en opgeloste stoffen in de onverzadigde zone i.v.m. de maximale diepte van de grondwaterstand, mede in relatie tot de concentratie van opgeloste stoffen in het kwelwater.

LITERATUUR

Adriaanse, P.I. en R.H. Kemmers (1988); Bufferzones tegen nitraatinspoeling in beekdalen; een methode om de ligging en de breedte vast te stellen. Nota 27, ICW, Wageningen.

Anonymus (1984); De Waterhuishouding van Nederland. Tweede Kamer, vergaderjaar 1984-1985, 18 793, nrs 1-2.

Anonymus (1985); Grondwaterplan. Bijlage 1. Geohydrologie. Provincie Gelderland.

Anonymus (1985); Onderzoek naar de wenselijkheid van opname van de gehele provincie Gelderland in waterschapsverband. Deelonderzoek I: Hydrologisch onderzoek. Provincie Gelderland, Dienst Waterbeheer.

Anonymus (1987); Grondwaterplan provincie Utrecht. Ontwerp.

Anonymus (1989); Derde Nota Waterhuishouding. Tweede Kamer, vergaderjaar 1988-1989, 21 250, nrs 1-2.

Anonymus (1990); Regeringsbeslissing Natuurbeleidsplan. Tweede Kamer, vergaderjaar 1989-1990, 21 149, nrs 2-3.

Beltman, B., G. van Wirdum en T.G. Rouwenhorst (1989); De Ionic ratio als variabele standplaatsfactor. Landschap 4:312-332.

Cultuurtechnische Vereniging (1988); Cuutuurtechnisch Vademecum, Utrecht.

DGV-TNO (1988); Achtergrondwaarden van chemische parameters in het grondwater van de provincie Zuid Holland. Rapp. OS 88-05.

Drecht, G. van (1977); Geohydrologie van het zuidelijk gedeelte van de Gelderse Vallei. Doctoraalscriptie, Landbouwhogeschool, Vakgroep Cultuurtechniek.

Driessen, J. en F. Vossen (1983); De invloed van een slecht doorlatende laag op de grondwaterbeweging in de zuidelijke Gelderse Vallei. Doctoraalscriptie, Landbouwhogeschool, Vakgoep Cultuurtechniek.

Dijkema, M.P. et al. (1985); Ecohydrologische beschrijvingen en vergelijking van een tiental natuurgebieden. S.W.N.B.L. deelrapport 1b.

Grubben, P. (1989); Regeneratie van intensieve graslanden: Achterbergse Hooilanden. Int. Rapp. 1050, Vakgroep natuurbeheer, Landbouwuniversiteit, Wageningen.

Hemker C.J. en H. van Elburg (1988); Microfem users manual (version 2.0). microcomputer multilayer steady state finite element groundwater modeling. Amsterdam, 1988.

Hoek, D. van der (1987); The input of nutrients from arable lands on nutrient poor grasslands. Pezinok, CSSR.

Hoek, D. van der en S. van der Schaaf (1988); The influence of water level management and groundwater quality on vegetation development in a small nature reserve in the Southern Gelderse Vallei (The Netherlands). Agric. Water Management 14:423-437.

Hoogendoorn, J.H. (1990); Enige gedachtenvorming met betrekking tot de ecohydrologie. DGV-TNO, Oosterwolde.

Houtman,W. (1985); Grondwaterkaart van Nederland, Amersfoort Oost, kaartblad 32 Oost. Inventarisatierapport. Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft/Oosterwolde.

Jansen, E.J. (1988); De invloed van de landbouw op de kwaliteit van het oppervlaktewater. ICW, Wageningen

Kobus, J.D. (1881); Eine Excursion nach Veenendaal bei Wageningen in Holland. Irmischia, Botanische Monatsschrift, II. Jahrgang, no. 2.

Kemmers, R.H. en P.C. Jansen (1982); Redoxpotentialen en calcium in relatie tot de stikstof- en fosfaathuishouding van schraalgraslanden. ICW-nota 1330, Wageningen.

Kemmers, R.H. en P.C. Jansen (1985); Stikstofmineralisatie in onbemeste halfnatuurlijke graslanden. ICW, Wageningen.

Kouwenhoven, P.A. en J.P. Witte (1983); Hydrochemie en vegetatie natuurreservaat "De Lange Kampen". Landbouwhogeschool, Vakgroep Natuurbeheer, rapp. 679.

Lammers, B. (1984); Gemeente Ede, Maandereng, Ontwateringsplan, ontwerp groene vijver. Doctoraalverslag Landbouwhogeschool, vakgroep Cultuurtechniek.

Latour, P.J.M., J.Ph.M. Witte e.a. (1988); Halbaarheidsstudie ecologische doelstelling Chaamse beken. Landbouwuniversiteit, Vakgroep Natuurbeheer.

Meinardi, C.R. (1974); De chemische samenstelling van het grondwater van de Veluwe. RID-meded. 74-4.

Meinardi, C.R. (1978); Geohydrologische gegevens van Zuidelijk Flevoland en de Gelderse Vallei. RID mededeling 78-4.

Meinardi, C.R. (1980); Schets van de natuurlijke samenstelling van het zoete grondwater in Nederland. RID-meded. 80-9.

Meulen, K. van der en S. van der Schaaf (1989); De invloed van de aanleg van een nieuwe industriewijk in Veenendaal op de hydrologie van de Hel en de Blauwe Hel. LUW, vakgroep Cultuurtechniek. Meded. 125.

Molenaar, A. (1987); De hydrologie van een natuurgebied in het zuiden van de Gelderse Vallei. Rijksuniversiteit Utrecht.

Nota, D.J.G. en B. v.d. Weerd (1990); Collegedictaat Hydrogeologie. Landbouwuniversiteit, Vakgroep Bodemkunde en Geologie.

Peerboom, J.M.P.M. en R. Timmerman (1985); De invloed van Griftpeilverandering en Griftuitbaggering op de grondwaterstand in enkele natuurterreinen in het Binnenveld (Gelderse Vallei). Doctoraalverslag Landbouwhogeschool, vakgroep Cultuurtechniek.

Schaaf, S. van der (1986a); Verslag van de pompproeven in de Bennekomse Meent en de Achterbergse Hooilanden, gehouden op 5 en 6 november 1986. LUW, Vakgroep Cultuurtechniek, Int. Rapp. 31.

Schaaf, S. van der (1986b); The physical basis of variability. In: J.W. van der Made (ed), Design aspects of hydrological networks, pp. 15-34. TNO Committe on Hydrological Research, The Hague.

Schaaf, S. van der (1989); Een mogelijke aanpak van het probleem van verminderde kwel in de Hel en de Blauwe Hel als gevolg van de aanleg van een industriewijk ten zo van Veenendaal. LUW, Vakgroep Cultuurtechniek, Meded. 126.

Schaaf, S. van der en C.J. de Vries (1991); Integraal Waterbeheer Ede. Deelrapport ontwatering. LUW, Vakgroep Hydrologie, Bodemnatuurkunde en Hydraulica. Rapport 13.

Schouwenberg, E.P.A.G., J.E.M. van Mierlo en D. van der Hoek (1991); Is vernatting een effectieve maatregel voor het herstel van natte, schrale graslanden?. De Levende Natuur 4.

Studiecommissie SWNBL (1988); Water boven water.

Stuyfzand, P.J. (1986); Een nieuwe hydrochemische klassificatie voor watertypen met Nederlandse voorbeelden van toepassing. H2O 86(23):562-568.

Veen, P.H. (1987); Waterkwaliteit en waterplantenvegetaties (aan de oostkant van de Utrechtse Heuvelrug). Rijksuniversiteit Utrecht.

Verbraeck, A. (1984); Toelichtingen bij de geologische kaart van Nederland 1:50.000. Blad Tiel West (39W) en blad Tiel Oost (39O). Rijks Geologische Dienst, Haarlem

Wee, M.W. ter (1962); The Saalian glaciation in the Netherlands. Meded. Geol. Stichting, N.S. 15:57-76.

Westhoff, V. (1973); Wilde planten, flora en fauna in onze natuurgebieden, deel 3. Vereniging tot Behoud van Natuurmonumenten.

Wirdum, G. van (1981); Linking up the natic subsystem in models for water management. Water Resources on a Regional Scale, Proceedings of the Technical Meeting 37, CHO-TNO.

Zandstra, J.G. en G.H.J. Ruegg (1984); Neogeen en Pleistoceen: tot midden Saalien. In: Verbraeck, A.; Toelichtingen bij de Geologische Kaart van Nederland 1:50000. Blad Tiel West (39W) en blad Tiel Oost (39O). Rijks Geologische Dienst, Haarlem