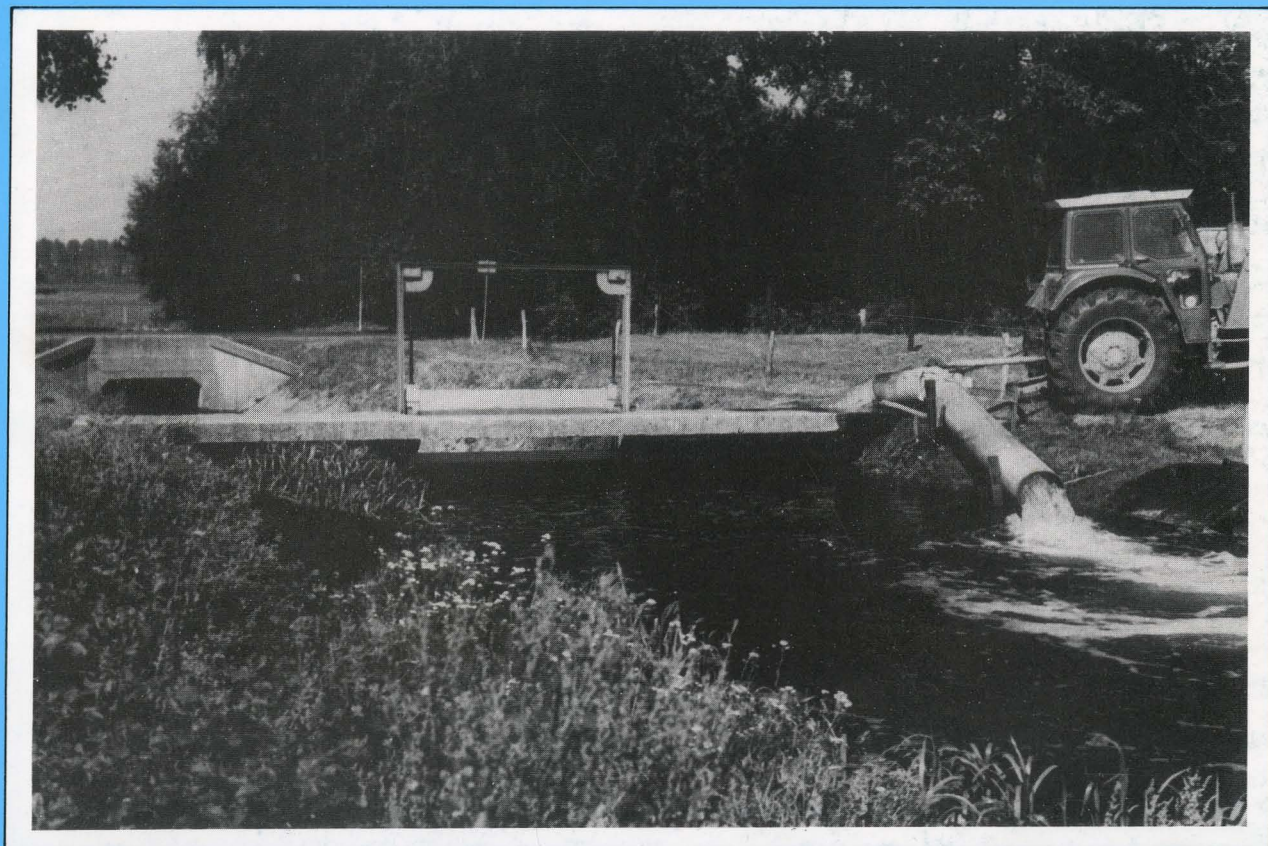


compensatie bij grondwaterwinning



keuringsinstituut voor waterleidingartikelen kiwa n.v.

mededeling nr. 88

Med. 88

COMPENSATIE BIJ GRONDWATERWINNING

Rapport van de Werkgroep Compenserende Maatregelen
van de Commissie Invloed Grondwaterwinning op de
Omgeving

G. van der Velde
Vakgroep Hydrologie

Nieuwegein, februari 1985

INHOUDSOPGAVE

	Blz.
VOORWOORD	4
SAMENSTELLING VAN DE WERKGROEP COMPEN- SERENDE MAATREGELEN	6
SAMENVATTING	7
1 INLEIDING	13
2 INFILTRATIE UIT OPEN LEIDINGEN	17
2.1 Algemeen	17
2.2 Theorie	18
2.2.1 De stationaire stromingssituatie	18
2.2.2 Het bevorderen van de infiltratie	21
2.3 Proeven ter bepaling van de infiltra- tieweerstand	27
2.3.1 Mogelijke proefopzetten	27
2.3.2 Opzetten van slootpeilen	27
2.3.3 Handhaven oorspronkelijk slootpeil	28
2.3.4 Bronbemaling	29
2.3.5 Modelmatige simulatie	29
2.3.6 Kwelmeter	30
2.3.7 Weerstandmeting bij bekende K_h en D	30
2.4 Wateraanvoer en -conservering	31
2.4.1 Mogelijkheden tot het verminderen van watertekort	31
2.4.2 Berekeningsresultaten van enkele mo- delstudies	33
2.5 Infiltratieprojecten bij grondwater- winningen	38
2.5.1 Algemeen	38
2.5.2 Infiltratieprojecten	39
2.6 Vermindering van de ecologische schade door grondwaterwinning	44

	blz.
2.7 Vermindering van de landbouwkundige schade door grondwaterwinning	45
2.7.1 Algemene voorwaarden	45
2.7.2 De landbouwkundige baten van twee wateraanvoerprojecten	46
2.8 Conclusies en aanbevelingen	48
3 KUNSTMATIGE BEREGENING	52
3.1 Algemeen	52
3.2 Berekening als compensatiemaatregel	55
3.3 Kosten van berekening als compensatiemaatregel	58
3.4 Gevolgen van berekening voor de drinkwaterwinning	69
3.5 Grondwaterstands dalingen door berekening met grondwater	72
3.6 Conclusies en aanbevelingen	82
4 INFILTRATIE DOOR MIDDEL VAN RETOUR-PUTTEN	84
4.1 Algemeen	84
4.2 Landbouw	86
4.3 Ecologie	89
4.4 Conclusies en aanbevelingen	94
5 GRONDVERBETERING DOOR DIEPE GRONDBEWERKINGEN	96
5.1 Algemeen	96
5.2 Zuurgraad	97
5.3 Indringingsweerstand	98
5.4 Menging van het profiel en grondverbeteringswerktuigen	100
5.5 Diepe grondbewerking en ecologie	101
5.6 Diepe grondbewerking en landbouw	103
5.6.1 Onderzoek	103
5.6.2 Akkerbouw	103

	blz.
5.6.3 Grasland	105
5.7 Bruikbaarheid als compenserende maat- regel	106
5.8 Conclusies	110
6 Literatuuroverzicht	111

Appendix A: De infiltratieweerstand

Appendix B: Voorbeeld van een infiltratieproef

VOORWOORD

De winning van grondwater kan tot een merkbare verlaging van de plaatselijke grondwaterstand leiden. Met name de landbouw en het natuurlijk milieu kunnen door deze verlaging schade ondervinden. Schade ten gevolge van onttrekkingen met vergunningen krachtens de voormalige Grondwaterwet Waterleidingbedrijven en de huidige Grondwaterwet dient te worden vergoed. Naast het uitkeren van schadevergoedingen kunnen maatregelen worden genomen om deze schade te voorkomen dan wel te verminderen.

De Vereniging van Exploitanten van Waterleidingbedrijven in Nederland (VEWIN) zag aanleiding om onderzoek naar de mogelijkheden van deze maatregelen op te nemen in haar aan het Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen KIWA N.V. opgedragen speurwerkprogramma.

De motieven hiervoor waren onder andere:

- Algemeen was men van mening dat het voorkomen van schadelijke gevolgen de voorkeur heeft boven het uitkeren van schadevergoedingen.
- Indien doelmatige compensatie haalbaar zou zijn, zou dit een verruiming van de mogelijkheden van grondwaterwinning kunnen betekenen.
- Het besef ontstond dat de aan het natuurlijk milieu toegebrachte schade niet via schadeuitkeringen kan worden vergoed.

In het kader van de Commissie Invloed Grondwaterwinning op de Omgeving (CIGO) werd medio 1980 de Werkgroep Compenserende Maatregelen (WCM) in het leven geroepen. Deze werkgroep kreeg tot taak onderzoek te begeleiden met de volgende doelstelling:

- a. het bestuderen van methoden om anders dan in de vorm van geld eventuele schade, veroorzaakt door grondwateronttrekking, te compenseren,

- b. het beoordelen van deze methoden op hun technische uitvoerbaarheid en te maken kosten,
- c. het aangeven van mogelijkheden om te komen tot integratie van grondwateronttrekkingen en waterbeheersingssystemen.

In het onderhavige rapport is getracht op algemene wijze de doelstelling uit te werken. Hierbij zijn met name de technische aspecten belicht.

Van de verschillende bestudeerde compenserende maatregelen is veel tijd en aandacht gegeven aan kunstmatige beregening. Dit heeft onder ander geleid tot een modelstudie waarover in H₂O is gepubliceerd en tot een praktijkonderzoek in Oost Gelderland.

De reden om aan kunstmatige beregening zoveel aandacht te schenken was dat, na een spectaculaire groei in het zeer droge jaar 1976, voor deze grondwateronttrekkers een stormachtige ontwikkeling werd verwacht. Deze verwachting werd bevestigd door de publikatie van het rapport "Aanvullende Watervoorziening van de Land- en Tuinbouw", van de Studiecommissie Waterbehoefte Land- en Tuinbouw in 1980. Een ander argument dat een belangrijke rol speelde was, dat met name door kunstmatige beregening de opbrengstdepressies bij gewassen wegens vochttekorten kunnen worden voorkomen.

Tenslotte nog de volgende opmerking. Aanvoer van oppervlaktewater en onttrekkingen van grondwater ter voorkoming dan wel vermindering van de gevolgen van grondwaterwinningen ten behoeve van de openbare drinkwatervoorziening kunnen in het algemeen niet als op zich zelf staande activiteiten worden beschouwd. Het is wenselijk dat ze onderdeel vormen van het totale waterbeheer in een bepaald gebied. Hopelijk levert het voorliggende rapport een bijdrage aan de discussie over de integratie van deze zogenaamde compenserende maatregelen in het waterbeheer.

SAMENSTELLING VAN DE WERKGROEP COMPENSERENDE MAAT-
REGELEN

ir. J. Zweegman, (voorzitter)	N.V. Waterleidingmaat- schappij voor de provincie Groningen
ir. G. van der Velde (secretaris/project- leider)	Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen KIWA N.V.
ir. M.G.M. den Blanken	Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen KIWA N.V.
ir. L.G. Maarleveld	Waterleiding Maatschappij "Overijssel" N.V.
dr. F.G. Mulder	N.V. Waterleidingmij. Oostelijk Gelderland
ir. D. van Rijsbergen	N.V. Waterleidingmaat- schappij Oost-Brabant
ir. M.A. van Vlerken	N.V. Waterleiding Maat- schappij Gelderland

SAMENVATTING

Compenserende maatregelen bij grondwaterwinningen worden met name getroffen om de nadelige gevolgen van die winning voor de landbouw, de natuur en het landschap te ondervangen. De maatregelen die in dit rapport aan de orde komen zijn: infiltratie uit open leidingen, kunstmatige beregening, infiltratie via retourputten en grondverbetering door diepe profielbewerking. Van deze maatregelen is nagegaan in hoeverre opbrengstdepressie bij landbouwgewassen kan worden beperkt, in hoeverre ecologische waarden kunnen worden behouden of kunnen worden hersteld en er wordt aandacht besteed aan de financiële en economische aspecten van deze maatregelen.

Onder het begrip "compenserende maatregelen" worden maatregelen verstaan die geheel of gedeeltelijk de gevolgen van de grondwaterwinning kunnen ondervangen dan wel kunnen verzachten. Samenvattend kan over genoemde maatregelen het volgende worden opgemerkt.

Infiltratie uit open leidingen

De redenen waarom op verschillende plaatsen kunstmatige infiltratie van oppervlaktewater wordt toegepast zijn van kwantitatieve en kwalitatieve aard. Kunstmatige infiltratie wordt tevens toegepast om de ongewenste gevolgen van een winning te ondervangen dan wel te beperken.

Door de veranderde eisen die de landbouw aan de water/luchthuishouding van de grond stelt, doet zich ook in deze sector een toenemende vraag naar oppervlaktewater voor. Ter voorkoming van watertekort worden daarom waterconserverings- en wateraanvoerplannen opgesteld. Hierin dient de relatief geringe behoefte van de waterleidingbedrijven ver-

disconteerd te zijn.

Waterconservering kan onder andere plaatsvinden door het bouwen van spaarbekkens en via een bepaald peilbeheer.

Uit modelberekeningen blijkt dat het opzetten van stuwpeilen in een droog jaar minder effect heeft op de vermindering van vochttekorten bij gewassen dan in een natter jaar.

Uit kostenberekeningen wordt duidelijk dat spaarbekkens geen aantrekkelijk alternatief zijn.

Er zijn verschillende cultuurtechnische maatregelen denkbaar om de infiltratiecapaciteit van een bepaald gebied te vergroten, waaronder het verdichten van het slotenstelsel en het aanleggen van een drainagebuissysteem. Hierdoor kan de infiltratiecapaciteit sterk worden vergroot, maar bij het drainagebuissysteem bestaat er nog onduidelijkheid omtrent het verstoppingsgevaar en de mogelijkheden van ontstopping. Onderzoek naar de verstoppings- en ontstoppingsproblematiek is wenselijk. Opschoningswerkzaamheden van open leidingen zijn in vergelijking met de andere cultuurtechnische maatregelen goedkoop. Het effect van opschoning op de infiltratiecapaciteit loopt echter nogal uiteen. Een beter inzicht hierover is gewenst.

Bij grondwaterwinningen zijn diverse infiltratieprojecten, al dan niet als gevolg van vergunningsvoorwaarden, uitgevoerd. Infiltratieproeven kunnen inzicht geven in de mate waarin de ongewenste gevolgen van de grondwaterwinning ondervangen kunnen worden. Het is gewenst na te gaan in hoeverre de berekeningsresultaten overeenkomen met de werkelijkheid.

In de bedrijfstak zijn relatief veel projecten uitgevoerd waarbij door infiltratie uit open leidingen gestreefd wordt de ecologische gevolgen van een grondwaterwinning te verminderen. Randvoor-

waarden hierbij zijn dat het oorspronkelijk grondwaterregime en de oorspronkelijke grondwaterkwaliteit zoveel mogelijk gehandhaafd dient te worden. Uit onderzoeken blijkt dat het realiseren van wateraanvoerplannen economisch aantrekkelijk kan zijn. Toepassing van infiltratieprojecten als compensatiemaatregel voor de landbouwkundige gevolgen van de winning is afhankelijk van de afweging tussen de vergoeding van de landbouwschade en de kosten van het infiltratieproject.

Bij de afweging kunnen echter ook factoren een rol spelen die moeilijk economisch zijn te waarderen. Vooral tijdens droge perioden blijkt hoe belangrijk de aanwezigheid van oppervlaktewater van goede kwaliteit in een agrarisch gebied is vanwege het gebruik voor velerlei doeleinden. In een grondwaterwinningsgebied spelen deze secundaire overwegingen nog nadrukkelijk, vandaar dat waar mogelijk de uitvoering van wateraanvoerplannen moet worden gestimuleerd.

Kunstmatige beregening

Ter beperking van opbrengstdepressie ten gevolge van vochttekort wordt in de landbouw op grote schaal kunstmatig beregend. Uit onderzoek blijkt dat niet zozeer uit rentabiliteitsoverwegingen tot aanschaf van beregeningsinstallaties wordt overgegaan maar veeleer om de bedrijfsrisico's te verkleinen. Beregening als compensatiemaatregel voor de opbrengstdepressie door vochttekort is uit landbouwkundig oogpunt, mits het sproeiwater aan de kwaliteitsnormen voldoet, een bij uitstek geschikt middel. Toepassing van beregening ter behoud van natuur en landschap lijkt ongeschikt te zijn.

Kunstmatige beregening met grondwater, doet de vraag naar grondwater toenemen. In een situatie

van schaarste aan grondwater, waarin wij ons tegenwoordig bevinden, zal een uitbreiding van beregening als compenserende maatregel andere belangen raken. Een beslissing over het toepassen van beregening als compenserende maatregel moet in deze context worden genomen.

Er zijn twee hoofdsystemen van beregening te onderscheiden, namelijk, beregening met een systeem van ontkoppelbare buizen met op geregelde afstanden sproeiers een zogenaamde buizeninstallatie en beregening via één grote sproeier aan het eind van een zich langzaam automatisch oprollende slang, de zogenaamde haspelinstallatie.

De vaste en variabele kosten van een buizeninstallatie zijn, beginnend bij een opbrengstreductie van circa 2 %, lager dan de gebruikelijke vergoedingen. Met name door de hoge vaste kosten van een haspelinstallatie zijn slechts in bepaalde omstandigheden de totale kosten lager dan deze vergoedingen. Worden de kosten van beregening gelijk gesteld aan de extra variabele kosten (veroorzaakt door de grondwaterwinning voor de drinkwatervoorziening), dan liggen de beregeningskosten beduidend lager dan de vergoedingen. Indien ervan uit wordt gegaan dat onder normale omstandigheden een haspelinstallatie op het landbouwbedrijf aanwezig is dan zouden alleen de variabele kosten voor de extra beregeningsgiften (als gevolg van de drinkwaterwinning) vergoed hoeven te worden. Een vergoeding op deze basis ligt beduidend beneden het niveau van de gebruikelijke vergoedingen.

Het is gewenst de gevolgen van grondwateronttrekkingen voor beregening ten aanzien van grondwaterstandsverandering en verandering van de verdampingsomvang ook in de praktijk te onderzoeken.

Retourputten

Het compenseren van de opbrengstdepressie van landbouwgewassen door middel van een retourputten-systeem is uit kosten oogpunt geen aantrekkelijke maatregel. Vanuit ecologisch gezichtspunt biedt een dergelijk systeem meer mogelijkheden. Het lijkt namelijk technisch mogelijk om binnen bepaalde marges het oorspronkelijke grondwaterregime van een natuurgebied te handhaven. Een moeilijkheid is de kwaliteit van het geïnjecteerde water dat in relatie moet staan tot de voorkomende vegetatietypen. Ook dient de milieudynamiek binnen bepaalde grenzen te blijven.

Retourputten (persputten) kunnen echter verstoppen. Door meetmethoden is het mogelijk de mate van verstopping ten gevolge van zwevende delen te voorspellen. Aldus kan een keus worden gemaakt tussen een uitgebreide voorzuivering of een hoge regeneratiefrequentie. Andere oorzaken van verstopping (gasvorming, chemische reacties en bacteriegroei) kunnen door preventiemaatregelen, een juist ontwerp en een juiste bedrijfsvoering worden voorkomen.

Grondverbetering door diepe grondbewerkingen

Veel voorkomende beperkingen voor het ontwikkelen van een diep doorworteld profiel zijn een te lage pH, een te geringe aëratie en een te hoge indringingsweerstand voor de wortels. Door diepe grondbewerkingen kunnen deze beperkingen worden opgeheven, waardoor het beschikbaar vocht kan toenemen. Er bestaan verschillende werktuigen waarmee, afhankelijk van het ten doel gestelde, het profiel kan worden bewerkt.

Als compensatiemaatregel hebben diepe grondbewerkingen vanuit de optiek van natuurbehoud en -beheer geen of weinig perspectief. Als compensatie-

maatregel in de landbouw zou deze maatregel bij akkerbouw in aanmerking kunnen komen omdat uit proeven blijkt dat profielverbetering bij akkerbouwgewassen opbrengstverhogend kan werken. Bij grasland is deze opbrengstverhoging niet geconstateerd. Uit de optiek van de waterleidingbedrijfstak zal slechts onder bepaalde omstandigheden profielverbetering aantrekkelijk zijn. In het algemeen wordt deze mogelijkheid van geringe betekenis geacht.

In het kort worden in de komende hoofdstukken de volgende aanbevelingen gedaan:

- het initiëren van onderzoek naar de verstoppings- en ontstoppingsproblematiek van een drainbuizensysteem bij infiltratie;
- het na uitvoering van infiltratieprojecten vaststellen in welke mate de berekende infiltratieflux overeenkomt met de werkelijkheid;
- het uitvoeren van infiltratieproeven om het inzicht in de nauwkeurigheid en de kosten van deze op verschillende wijzen uitgevoerde infiltratieproeven te vergroten.
- het op praktijkschaal onderzoeken in hoeverre grondwateronttrekkingen voor kunstmatige beregening de grondwaterstand en de gewasverdamping van de niet beregende percelen beïnvloeden;
- het uitvoeren van een langjarige proef op praktijkschaal om na te gaan of met een retourputstelsysteem schade aan het natuurlijk milieu kan worden hersteld;

INLEIDING

Artikel 35 lid 1 van de Grondwaterwet stelt "De schade aan een onroerend goed, welke is veroorzaakt door een onttrekking of infiltratie krachtens een vergunning als bedoeld in artikel 14, eerste lid, wordt door de vergunninghouder, indien en voor zover dit redelijkerwijze kan worden gevergd, ondervangen". Het ondervangen kan geschieden door de zogenaamde compenserende maatregelen. Compenserende maatregelen worden vooral getroffen om, voor zover dat mogelijk is, de belangen van landbouw en van natuur- en landschapsbehoud te dienen. De in dit rapport te behandelende maatregelen zijn; infiltratie uit open leidingen (hoofdstuk 2); kunstmatige beregening (hoofdstuk 3); infiltratie via retourputten (hoofdstuk 4) en grondverbetering door diepe grondbewerkingen (hoofdstuk 5).

Compenserende maatregelen ten behoeve van het voorkomen dan wel verminderen van schade door extra zettingen ten gevolge van grondwateronttrekkingen komen in dit rapport niet aan de orde.

Bij de besluitvorming over het toepassen van een compenserende maatregel, spelen vele factoren een rol, waarvan de voor- en nadelen dienen te worden afgewogen. In dit rapport is globaal nagegaan in hoeverre een maatregel opbrengstdepressie bij land- en tuinbouwgewassen kan beperken dan wel kan voorkomen en in hoeverre ecologische waarden kunnen worden behouden of kunnen worden hersteld. Verder wordt aandacht besteed aan de financiële en economische aspecten van de maatregelen. Slechts in dit hoofdstuk wordt zeer beknopt ingegaan op de beleidsmatige, juridische, hygiënische en sociaal/psychologische aspecten. Hiermede wordt niet gezegd dat deze aspecten van ondergeschikt belang

zouden zijn. Integendeel zoals uit het volgende zal mogen blijken.

Allereerst het beleidsmatige aspect. Bij het compenseren van de nadelige effecten van grondwaterwinningen is veelal aanvoer van oppervlaktewater wenselijk maar niet mogelijk. Door beleidsbeslissingen zou het mogelijk gemaakt kunnen worden, om een integraal wateraanvoerplan op te stellen en uit te voeren, waardoor de wenselijk geachte situatie kan worden bereikt. Een ander beleidsmatig aspect is het verdelingsvraagstuk. Uitgaande van een beperkte hoeveelheid grondwater, dat beschikbaar is voor de openbare drinkwatervoorziening, de industrie, de landbouw en de overige bestemmingen ontstaat het verdelingsprobleem tussen de verschillende belanghebbenden. Onder andere legt de landbouw reeds een grote claim op het beschikbare grondwater. Deze claim wordt vergroot bij toepassing van beregening uit grondwater als compenserende maatregel. Opgemerkt zij dat een dergelijke ontwikkeling ook positief kan worden geïnterpreteerd. Immers een sterke daling van de ondiepe grondwaterstand maakt de gewassen onafhankelijk van het grondwater, zodat bij verdere daling van de grondwaterstand geen opbrengstdepressie meer kan optreden. Bij een dergelijke opstelling moet evenwel gewezen worden op de schade die kan worden veroorzaakt aan terreinen die uit oogpunt van behoud van natuur en landschap belangrijk zijn.

Over het juridisch aspect valt op te merken dat bij toepassing van kunstmatige beregening uit grondwater weliswaar de droogteschade wordt gecompenseerd van de beregende gewassen, doch dat de grondwaterstand van de nabij gelegen percelen daalt door deze grondwaterwinning. Hierdoor kan vervolgens weer droogteschade ontstaan. Het is niet onmogelijk dat het waterleidingbedrijf aan-

sprakelijk kan worden gesteld voor deze door de compenserende maatregel veroorzaakte droogteschade. Verder kunnen infiltratieprojecten vergunningsplichtig zijn en kunnen op landbouwgronden beperkingen zijn gelegd, waardoor diepe profielbewerkingen verboden zijn.

Het hygiënische aspect speelt een rol omdat, in de verschillende putten waaruit grondwater wordt onttrokken ten behoeve van beregening, het grondwater kan worden verontreinigd of kan worden besmet. Verontreiniging van het grondwater kan ook plaatsvinden indien oppervlaktewater wordt geïnfiltréerd.

Tenslotte het sociaal/psychologisch aspect. In het algemeen kan gesteld worden dat bij het overeenkomen van schaderegelingen de gedupeerde gehouden is de goedkoopste oplossing te kiezen. Dit uitgangspunt dient echter niet te stringent te worden toegepast. De compenserende maatregel dient bij voorkeur aan te sluiten bij de bedrijfsvoering en bij de omstandigheden van de betrokken boer of tuinder maar ook bij wat gebruikelijk is in de land- en tuinbouw.

Het begrip "compenserende maatregelen" houdt in dat deze maatregelen de gevolgen van de winning geheel of gedeeltelijk kunnen ondervangen.

In kringen van natuur- en landschapsbehoud komt de mening voor dat dergelijke maatregelen de aan de natuur toegebrachte schade niet kunnen ondervangen doch (misschien) kunnen verzachten. In dit verband wordt dan gesproken over mitigerende maatregelen. Hierbij kan worden gedacht aan de situering en vormgeving van de gebouwen en pompputten, het beperken van vergravingen, het beperken van werkzaamheden tijdens de paar- en broedtijd, maar ook aan het toepassen van retourputten. Een andere vraag is of maatregelen die tot doel hebben voor-

waarden te scheppen tot het verbeteren van natuurlijke waarden (natuurbouw) als compenserende/mitigerende maatregelen kunnen worden opgevat.

Zonder hier te diep op in te gaan worden in dit rapport onder compenserende maatregelen verstaan: de maatregelen die geheel of gedeeltelijk de gevolgen van een grondwaterwinning kunnen ondervangen dan wel kunnen verzachten.

Tot slot zij opgemerkt dat dit rapport geen aanbevelingen bevat betreffende het toepassen van compenserende maatregelen. Bij het beslissingsproces tot het nemen van een compenserende maatregel dienen vele factoren te worden afgewogen. De Werkgroep Compenserende Maatregelen hoopt via deze rapportage het waterleidingbedrijf dat deze afweging moet maken, enige informatie ten aanzien van de landbouwkundige-, ecologische en financiële aspecten te verschaffen.

2 INFILTRATIE UIT OPEN LEIDINGEN

2.1 Algemeen

Ten behoeve van de drinkwatervoorziening wordt op verschillende plaatsen kunstmatige infiltratie van oppervlaktewater toegepast.

Motieven hiervoor zijn (Roebert, 1982):

1. het oplossen van problemen op het gebied van waterkwantiteit en -kwaliteit;
2. het geheel of gedeeltelijk voorkomen van ongewenste gevolgen van grondwateronttrekking.

Afhankelijk van het gebied waar kunstmatig wordt geïnfiltrated, zal het eerste motief van meer of minder belang zijn dan het tweede.

In de duingebieden wordt met name geïnfiltrated om de winbare hoeveelheid grondwater te vergroten en om grondwatervoorraden aan te leggen. Verder wordt door het infiltratieproces de kwaliteit van het oppervlaktewater verbeterd en wordt de intrusie van zeewater tegengegaan. Overigens blijven winningen in duingebieden buiten beschouwing.

Bij grondwaterwinningen op de hoge en middelhoge gronden in de overige delen van Nederland wordt kunstmatige infiltratie voornamelijk toegepast om de gevolgen van die winningen te voorkomen danwel te verminderen. Hierbij kan de kwaliteit van het oppervlaktewater juist een probleem zijn. Immers, door een toenemend aandeel van geïnfiltrated oppervlaktewater kan de kwaliteit van het gewonnen water verminderen.

Vanuit elke watervoerende sloot, beek, kanaal, rivier etc., kan water infiltreren. Sommige winningen worden met opzet in de nabijheid van een waterloop gesitueerd om hiermee de winbare hoeveelheid

grondwater te vergroten. Dit gebeurt met name langs de grote rivieren als Rijn, Waal, Lek en Maas, die diep insnijden in watervoerende pakketten. Deze zogenaamde oevergrondwaterwinningen zullen in het vervolg buiten beschouwing blijven.

Het voorliggende hoofdstuk behandelt de mogelijkheden om de grondwateraanvulling kunstmatig te vergroten door hetzij de infiltratie uit open leidingen te doen toenemen, hetzij de afvoer van grondwater naar het oppervlaktewater te doen afnemen, om aldus de gevolgen van een grondwaterwinning te compenseren (paragrafen 2.5, 2.6 en 2.7). Ten behoeve hiervan wordt enige aandacht besteed aan de theoretische grondslagen van kunstmatige infiltratie (paragraaf 2.2) en de mogelijkheden van waterconservering en oppervlaktewateraanvoer (paragraaf 2.4).

De effectiviteit van een infiltratiesysteem wordt in hoge mate bepaald door de weerstanden van dit systeem. Aard en omvang van deze weerstanden kunnen echter sterk variëren. Vandaar dat het wenselijk is vóór de opzet van een project infiltratieproeven uit te voeren. Er zijn verschillende proefopzetten mogelijk die alle bepaalde voor- en nadelen hebben (paragraaf 2.3). Tot slot worden in paragraaf 2.8 enkele conclusies getrokken.

2.2 Theorie

2.2.1 De stationaire stromingssituatie

Ter voorkoming van wateroverlast is in Nederland een intensief ontwateringsstelsel opgebouwd. Voor het ontwerpen van de detailontwatering is veel onderzoek verricht om de afvoer via greppels, drainbuizen en een slootstelsel te kunnen berekenen. Voor het berekenen van de omvang van de infiltratie

van oppervlaktewater uit sloten en drainbuizen kunnen dezelfde formules worden toegepast als bij de berekening van de afvoer van grondwater naar deze ontwateringsmiddelen.

De stationaire stromingssituatie van infiltratie uit parallel lopende open leidingen is in figuur 1 geschetst.

Voor de in figuur 1 (pag. 20) geschetste situatie kunnen de volgende vergelijkingen worden opgesteld (Van Drecht, 1983 (gemodificeerd)):

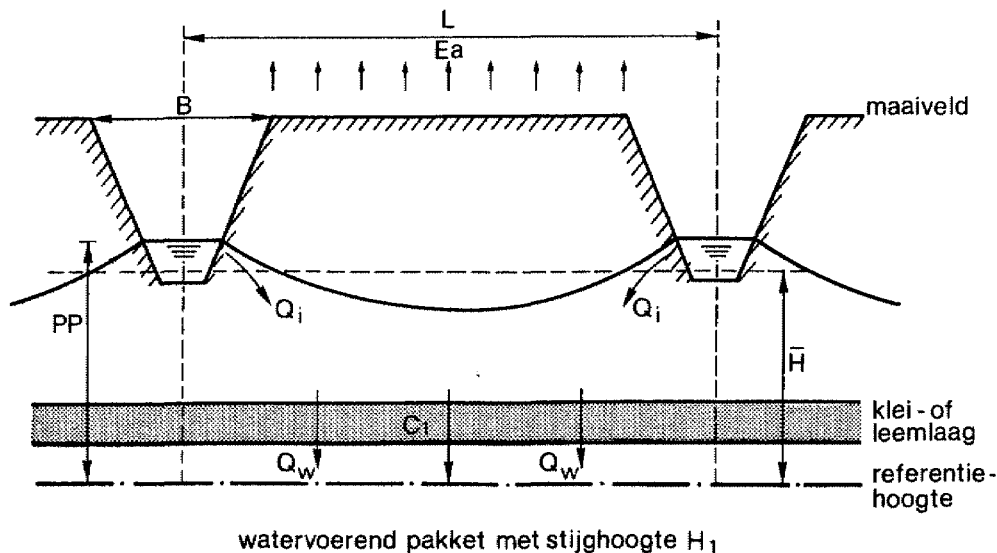
$$E_a (L-B) = Q_i - Q_w \quad (1)$$

$$Q_w = \frac{\bar{H} - H_1}{C_1} L \quad (2)$$

$$Q_i = \frac{PP - \bar{H}}{I} L \quad (3)$$

Vergelijking (2) houdt in dat de hoeveelheid oppervlaktewater die naar de ondergrond percoleert (Q_w), afhankelijk is van de weerstand van een aanwezige slecht doorlatende laag, van de afstand tussen de sloten en van het stijghoogteverschil tussen het freatisch pakket en het onderliggende watervoerende pakket. In geval van grondwaterwinning zal de stijghoogte in het watervoerend pakket dalen. Voor de omvang van de percolatie is in een dergelijk geval de weerstand van de scheidingslaag een belangrijke parameter. De weerstand van de scheidingslaag speelt dus een belangrijke rol bij het beantwoorden van de vraag of met behulp van infiltratie in zo'n geval een grondwaterstands daling is te voorkomen danwel te verminderen.

Bij het ontbreken van een slecht doorlatende laag zal, bij een vergelijkbaar infiltratiestelsel, extra infiltratie van oppervlaktewater niet van grote invloed zijn op de grondwaterstands dalingen nabij de winning; echter wel op grotere afstand. Immers,



15055 04 41

Figuur 1 - Schematische dwarsdoorsnede, loodrecht op evenwijdige sloten

Verklaring van de symbolen:

(dimensies: lengte: [L], tijd [T])

- Q_i = infiltratie van oppervlaktewater via sloten (per eenheid van slootlengte) $[L^3T^{-1}L^{-1}]$
- Q_w = wegzijging door de scheidingslaag per eenheid van slootlengte $[L^3T^{-1}L^{-1}]$; is negatief bij kwel
- \bar{H} = gemiddelde hoogte van de grondwaterspiegel tussen de sloten [L] (*)
- PP = slootpeil [L] (*)
- E_a = afvoer door het freatische vlak $[L^3T^{-1}/L^{-1}]$
- H_1 = stijghoogte onder de scheidingslaag [L] (*)
- L = slootafstand [L]
- B = slootbreedte [L]
- C_1 = weerstand van de scheidingslaag [T]
- I = infiltratieweerstand [T]
- (*) = ten opzichte van de referentiehoogte (bijvoorbeeld NAP)

(uit: Van Drecht, 1983 (gemodificeerd))

in een dergelijk geval zal het invloedsgebied van de grondwaterwinning afnemen.

Uit vergelijking (3) blijkt dat de volumestroom* infiltratiewater uit een open leiding evenredig is met de slootafstand en het verschil tussen slootpeil en grondwaterstand. De volumestroom is omgekeerd evenredig met de infiltratieweerstand (I). Voor het opvoeren van de volumestroom kunnen dus in principe 3 maatregelen worden genomen, namelijk:

1. het slootpeil verhogen;
2. de afstand tussen de sloten verkleinen;
3. de grootte van de weerstand doen verminderen.

De infiltratieweerstand is meestal de verzameling van een aantal deelweerstanden, namelijk een in-treeweerstand, een radiale stromingsweerstand en een horizontale en verticale stromingsweerstand. Wat deze deelweerstanden precies inhouden en hoe ze kunnen worden berekend, wordt uiteengezet in appendix A.

In de volgende paragraaf wordt verder ingegaan op de mogelijkheden om de infiltratie uit open leidingen te bevorderen.

2.2.2 Het bevorderen van de infiltratie

Er bestaan velerlei manieren om de infiltratie te vergroten. Niet alle manieren zijn even gemakkelijk uit te voeren of economisch aantrekkelijk. In het vervolg zal aan de hand van de parameters, voorko-

* Volumestroom: het volume water dat per tijdseenheid door een gegeven oppervlak stroomt [L^3T^{-1}]. Synoniemen zijn: volumeflux en flux

mend in vergelijking (3) en in de vergelijkingen genoemd in appendix A, een aantal mogelijkheden worden besproken. Voor het kwantificeren van de verschillende mogelijkheden zijn enkele berekeningen uitgevoerd, waarvan de resultaten in tabel 1 zijn weergegeven. Bij deze berekeningen wordt onder andere verondersteld dat een erg slecht doorlatende laag aanwezig is, zodat de wegzijging (Q_w) verwaarloosbaar klein is, dat de stroming stationair is en dat de sloten parallel lopen. Voor de in dit voorbeeld niet variabele parameters zijn de volgende waarden aangenomen: de pakketdikte $D = 10$ m; de horizontale en verticale doorlatendheidscoëfficiënten k_h en k_v bedragen respectievelijk 3 m/d en 0,5 m/d. De hoeveelheid oppervlaktewater die infiltreert, wordt uitgedrukt in de volumestroomdichtheid*, q (m/dag).

1. Het veranderen van de sloot afstand

De horizontale weerstand is een functie van het kwadraat van de slootafstand (L^2). Door L te verkleinen neemt de horizontale weerstand kwadratisch af (vergelijking 4, appendix A). In het algemeen is de horizontale weerstand in verhouding tot de overige weerstanden kleiner. Door L te verminderen zullen echter eveneens de radiale en de intree-weerstand afnemen.

Verkleining van de slootafstand kan onder andere worden bewerkstelligd door verdichting van het sloot- en/of drainbuizenstelsel.

Uit tabel 1 blijkt dat bij verkleining van L van

* Volumestroomdichtheid: het differentiaalquotiënt van de volumestroom naar het oppervlak [LT^{-1}]. Synoniemen zijn: volumefluxdichtheid en fluxdichtheid

200 m naar 50 m, de infiltratievolumestroomdichtheid toeneemt van $1,7 \cdot 10^{-3}$ m/dag tot $10,2 \cdot 10^{-3}$ m/dag. Bartelds en anderen (1982) hebben voor de jaren 1980 en 1981 de infiltratieweerstand vastgesteld voor twee proefgebieden in de veenkoloniale streek waar wel, respectievelijk niet, met behulp van een drainbuizenstelsel werd geïnfiltreerd. Hieruit bleek dat gemiddeld met een drainbuizenstelsel de infiltratieweerstand een factor 5 lager was. De infiltratie is hierdoor een factor 5 hoger.

Bij infiltratie via een drainbuizenstelsel neemt het risico van verstopping toe. Bij verstopping vermindert de infiltratie, maar tevens zal, tijdens een natte periode het drainagesysteem slecht functioneren. Indien verstopping van het infiltratie/drainage-systeem bij infiltratie toeneemt, is het uit kosten oogpunt belangrijk dat gezocht wordt naar de meest effectieve wijze van ontstopping. Verder is het belangrijk de optimale frequentie van ontstopping vast te stellen. Over de verstoppingsproblematiek is echter nog weinig bekend. Verder onderzoek is daarom gewenst.

2. Het veranderen van de natte omtrek

De natte omtrek heeft met name invloed op de radiale weerstand, alsmede op de intree-weerstand. Bij toename van de natte omtrek nemen de radiale weerstand en de intree-weerstand af.

De natte omtrek kan worden vergroot door de sloten te verbreden en/of te verdiepen.

Wordt in dit voorbeeld de natte omtrek van een sloot vergroot van 1 naar 3 m, dan neemt de volumestroomdichtheid toe van $3,5 \cdot 10^{-3}$ tot $5,4 \cdot 10^{-3}$ m/dag.

3. Verandering van het peil

Door het opzetten van het slootpeil wordt het potentiaalverschil tussen het slootpeil en de stijghoogte midden op het perceel vergroot.

Tevens nemen de radiale en de intree-weerstand af, doordat de natte omtrek toeneemt.

In dit voorbeeld is het potentiaalverschil van 0,2 verhoogd tot 0,8 m. De volumestroomdichtheid zal dan toenemen van $1,6 \cdot 10^{-3}$ tot $8,2 \cdot 10^{-3}$ m/dag.

Uit dit voorbeeld blijkt dat door het opzetten van peilen de infiltratie sterk kan toenemen. In paragraaf 2.4.2 worden tevens enkele berekeningsresultaten van modelstudies weergegeven.

4. Intree-weerstand

Sliblagen en vegetatie zorgen ervoor, dat er een extra weerstand op de bodem en de wanden van sloten ontstaat. Door opschoning van de sloten kan deze weerstand worden verkleind. Indien sterk verlande sloten worden geschoond, neemt tevens de radiale weerstand af. In dit voorbeeld wordt alleen de invloed van de intree-weerstand op de volumestroomdichtheid nagegaan.

De dikte van de sliblaag is op 0,24 m gesteld, terwijl de doorlatendheid ervan 0,3 m/dag bedraagt. Na het opschonen is dit respectievelijk 0,06 m en 0,5 m/dag. De volumestroomdichtheid neemt van $3,7 \cdot 10^{-3}$ tot $5,0 \cdot 10^{-3}$ m/dag toe.

Het effect van opschoning neemt met de tijd af. De snelheid van deze afname is van belang. Hierover zijn weinig gegevens bekend.

In de literatuur wordt een aantal proeven beschreven waarbij het opschoningseffect is vastgesteld. De volgende studies kunnen worden genoemd:

	<u>opschoningseffect</u>
- Glasbergen, Sondorp, 1980;	17 %
- Landinrichtingsdienst, 1983;	0 % - 20 %*
- Werkgroep Wateronttrekking Gelderse Vallei, 1979;	7 %

Uit het voorbeeld en uit de proefresultaten blijkt dat opschoning een gering tot behoorlijk effect kan hebben op de infiltratie. De kosten zijn echter gering mede gelet op het feit dat slootonderhoud toch noodzakelijk is voor het goed functioneren van de drainagemiddelen.

In tabel 1 wordt een overzicht van de berekeningsresultaten gegeven. Uit deze tabel blijkt dat allereerst de slootafstand en vervolgens het polderpeil een grote invloed hebben op de volumestroomdichtheid. In de praktijk zal de slootafstand alleen tegen aanzienlijke kosten kunnen worden verkleind. Bovendien kleven aan een te dicht slotenstelsel cultuurtechnische nadelen. Door het gebruik van een drainbuizenstelsel voor infiltratiedoeleinden kan de zogenaamde slootafstand sterk worden gereduceerd zonder dat er cultuurtechnische nadelen optreden (te kleine percelen). Een nadeel hiervan is dat de kans op verstopping van het drainagesysteem toeneemt.

* Het effect van opschoning is niet meetbaar. Indien het aandeel van de intree-weerstand meer dan de helft bedraagt van de infiltratieweerstand, dan kan het effect 10 à 20 % zijn

1. Uitgangssituatie

L	U	Δh	δ	k_s	D	k_h	k_v	q
100	2	0,5	0,12	0,4	10	3,0	0,5	$4,6 \cdot 10^{-3}$

2. Verandering van de afstand tussen de parallelle sloten (L)

L	U	Δh	δ	k_s	D	k_h	k_v	q	verschil
200	2	0,5	0,12	0,4	10	3,0	0,5	$1,7 \cdot 10^{-3}$	- 63 %
50	2	0,5	0,12	0,4	10	3,0	0,5	$10,2 \cdot 10^{-3}$	+ 122 %

3. Verandering van de natte omtrek (U)

L	U	Δh	δ	k_s	D	k_h	k_v	q	verschil
100	3	0,5	0,12	0,4	10	3,0	0,5	$5,4 \cdot 10^{-3}$	+ 17 %
100	1	0,5	0,12	0,4	10	3,0	0,5	$3,5 \cdot 10^{-3}$	- 24 %

4. Verandering van het peil (Δh)

L	U	Δh	δ	k_s	D	k_h	k_v	q	verschil
100	2,68	0,8	0,12	0,4	10	3,0	0,5	$8,2 \cdot 10^{-3}$	+ 79 %
100	1,32	0,2	0,12	0,4	10	3,0	0,5	$1,6 \cdot 10^{-3}$	- 65 %

5. Verandering van de bodemweerstand ($\frac{\delta}{k_s}$)

L	U	Δh	δ	k_s	D	k_h	k_v	q	verschil
100	2	0,5	0,24	0,3	10	3,0	0,5	$3,7 \cdot 10^{-3}$	- 18 %
100	2	0,5	0,06	0,5	10	3,0	0,5	$5,0 \cdot 10^{-3}$	+ 9 %

Tabel 1 - Overzicht van de invloed van de verschillende parameters op de volumestroomdichtheid bij infiltratie uit open leidingen

- L = slootafstand (m)
- U = natte omtrek van de sloot (m)
- Δh = stijghoogteverschil tussen het slootpeil en de gemiddelde hoogte van het freatisch vlak (m)
- δ = diktesliblaag (m)
- k_s = doorlatendheid van de sliblaag (m/dag)
- D = dikte watervoerende laag (freatisch) (m)
- k_h = doorlaatfactor voor horizontale stroming (m/dag)
- k_v = doorlaatfactor voor verticale stroming (m/dag)
- q = volumestroomdichtheid (m/dag)

Het veranderen van de natte omtrek en de bodemweerstand van een leiding hebben minder invloed op de volumestroomdichtheid dan de hiervoor genoemde parameters. Hiermee is niet gezegd dat deze maatregelen minder aantrekkelijk zijn dan de eerstgenoemde, immers de kosten verbonden met de maatregelen zijn buiten beschouwing gelaten.

2.3 Proeven ter bepaling van de infiltratieweerstand

2.3.1 Mogelijke proefopzetten

Bij de berekeningen van de invloed van een grondwaterwinning en berekeningen om deze invloed door infiltratie uit open leidingen te beperken, worden veelal numerieke methoden gebruikt, waaronder de eindige elementenmethode. Bij deze berekeningen is het belangrijk de relatie tussen oppervlaktewater en grondwater te kennen. Door middel van infiltratieproeven kan die relatie nauwkeurig worden bepaald. Deze proeven kunnen op verschillende manieren worden opgezet afhankelijk van de doelstelling van de proef, de reeds aanwezige gegevens en de vereiste nauwkeurigheid. Andere aspecten die een rol spelen bij de keuze van de proefopzet zijn, de omvang van de kosten, de benodigde arbeidsuren en de benodigde tijdsduur van de proef. Voor zover van belang komen bij de behandeling van de verschillende proefopzetten deze aspecten aan de orde.

2.3.2 Het opzetten van slootpeilen

In een afgedamde sloot wordt in korte tijd (enkele uren) de waterstand verhoogd. Hierna zal de waterstand langzaam dalen door de infiltratie die optreedt. Het stijghoogteverloop van het grondwater

dient te worden gemeten in raaien loodrecht op de afgedamde sloot. De stationaire stroming is bereikt indien de infiltrerende volumestroom water min of meer constant is evenals het stijghoogteverschil loodrecht op de sloot. De volumestroom (Q) alsmede het stijghoogteverschil tussen het midden van het perceel en het slootpeil (Δh) kan worden gemeten. De infiltratieweerstand (I) kan derhalve worden berekend (appendix A).

Het werkelijke peil is dus lager dan het peil tijdens de proef. Hierdoor ontstaan instationaire effecten die onder andere afnemen naarmate de peilverhoging geringer is. Bij geringe peilverhoging zal echter de grondwaterstandverhoging moeilijk meetbaar zijn. Verder stroomt het infiltraat bij het opzetten van peilen door grondlagen die bij het gebruikelijk slootpeil geen dienst doen. Hierdoor kunnen met name bij heterogene bodemprofielen in de proefresultaten fouten ontstaan.

2.3.3 Handhaven oorspronkelijk slootpeil

Ter voorkoming van de nadelen genoemd in paragraaf 2.3.2 (instationariteit, verandering van het doorstroomde bodemprofiel) kan het slootpeil in het afgedamde slootpand constant en gelijk aan het peil van vóór de proef worden gehouden. De in- en de eventuele afvoer kan via waterpompen worden geregeld. Deze dienen dusdanig op elkaar te zijn afgestemd dat een constant slootpeil tijdens de proef wordt verkregen. De volumestroom die infiltreert, wordt bepaald uit het verschil tussen de in- en de eventueel uitgepompte volumestroom water.

2.3.4 Bronbemaling

Evenwijdig aan de sloot worden een aantal (bijvoorbeeld 30 stuks) onttrekkingen geplaatst (bronebemaling), waarmee de grondwaterstand tot onder de slootbodem wordt verlaagd. De bij een dergelijke proef bepaalde weerstand bestaat uit de bodemweerstand en afhankelijk van de afstand tot de sloot, uit de radiale stromingsweerstand. De bronebemaling wordt dicht bij de sloot geplaatst.

De intree-weerstand wordt berekend door de volumestroomdichtheid te delen door het verschil tussen het slootpeil en de stijghoogte direct onder de sloot.

Deze methode is relatief duur.

2.3.5 Modelmatige simulering van de grondwaterstroming

Indien gedurende een bepaalde periode registratie plaatsvindt van:

- het slootpeil,
- de stijghoogtes in enkele raaien loodrecht op de sloot,
- de aan- en afvoer van de sloot,
- het neerslagoverschot,

kan met behulp van een modelmatige berekening de horizontale, de radiale en de intree-weerstand worden vastgesteld.

Het voordeel van deze methode is het aantal waarnemingen waarover kan worden beschikt waardoor de representativiteit van de uitkomsten wordt vergroot. De kosten zullen relatief gering zijn. Het nadeel is dat de te meten veranderingen veelal gering zijn en dat de metingen waarschijnlijk niet in een stationaire stromingssituatie zijn verricht.

2.3.6 Kwelmeter

Met dit meetinstrument wordt de intree-weerstand vastgesteld. Men verkrijgt hiermee een puntwaarneming die zowel in bodem als taluud kan plaatsvinden. De kwelmeter wordt toegepast bij brede watergangen. Voor het verkrijgen van een relevante waarde zijn vele waarnemingen vereist. Het is zelfs dan nog mogelijk dusdanig grote variaties in de waarnemingen te krijgen dat interpretatie ervan niet of nauwelijks mogelijk is.

2.3.7 Weerstandsmeting bij bekende $k_h D$

Indien de $k_h D$ uit bijvoorbeeld pompproeven bekend is, kan de radiale en intree-weerstand worden bepaald uit het stijghoogteverloop volgens raaien loodrecht op de sloot. Dit verloop kan zeer onregelmatig zijn.

Om mogelijke hierdoor veroorzaakte fouten te verminderen, kan het verschil van afstroming van de sloot tussen twee data worden bepaald en kan de omvang van de infiltratie worden bepaald.

Deze methode is relatief goedkoop terwijl de proefresultaten op veldwaarnemingen berusten.

Uit het voorgaande blijkt dat er vele factoren een rol spelen bij de keuze op welke wijze een infiltratieproef dient te worden opgezet. Op dit moment is onder andere nog weinig bekend over de nauwkeurigheid, de kosten en de tijdsduur van de verschillende proefopzetten. Het is wenselijk dat het bestaande inzicht hierover wordt vergroot. Te meer daar verwacht wordt dat de relatie die tussen oppervlakte en grondwater bestaat, van toenemend belang is bij het zogenaamde winplaatsonderzoek,

waardoor in toenemende mate infiltratieproeven zullen worden uitgevoerd.

2.4 Wateraanvoer en -conservering

2.4.1 Mogelijkheden tot het verminderen van watertekort

Ten behoeve van de vochtvoorziening van de landbouwgewassen is het in droge zomers veelal wenselijk de beschikking te hebben over voldoende oppervlaktewater. Bij grondwaterwinningen kan de beschikbaarheid van oppervlaktewater eveneens van belang zijn.

Zowel de waterleidingbedrijfstaking als de landbouwers hebben dus belang bij een goede oppervlaktewatervoorziening.

Voor het dekken van een tekort aan water doen zich de volgende mogelijkheden voor:

- a. aanvoer van oppervlaktewater,
- b. waterconserveringsmaatregelen,
- c. een combinatie van a en b.

Ad a

Op vele plaatsen in Nederland wordt oppervlaktewater aangevoerd om vochttekorten te voorkomen. In poldergebieden kan veelal op zeer eenvoudige en goedkope wijze water worden ingelaten. Voor de hogere zandgronden is dit vaak minder eenvoudig en daardoor kostbaarder. Een voorbeeld hiervan zijn de plannen om IJsselmeerwater naar Drenthe aan te voeren (Werkgroep Watervoorziening Drenthe, 1979).

Op kleinere schaal bestaan in polder- en op de zandgebieden vele projecten, waarbij water wordt ingelaten, respectievelijk opgemalen, om het via een slotenstelsel naar waterwingebieden te voeren, waar het kan infiltreren. Dergelijke projecten wor-

den bij voorkeur in het kader van ruilverkavelingen en/of waterbeheersingswerken uitgevoerd.

Ad b

Waterconservering heeft tot doel het water afkomstig uit perioden met een neerslagoverschot vast (op) te houden teneinde het te gebruiken in perioden waarin vochttekorten optreden. Het is dus een tijdelijke opslag van water. Die opslag kan plaatsvinden als bodemvocht, als grondwater en als oppervlaktewater.

Bij het conserveren van het neerslagoverschot kan gedacht worden aan:

1. het aanleggen van spaarbekkens;
2. het toepassen van een minder diepe of intensieve ontwatering en/of het verhogen van beek- en slootpeilen met behulp van stuwen.

Sub 1

Het neerslagoverschot in hellende gebieden kan naar bassins worden geleid. In het kader van het opstellen van het grondwaterplan voor Drenthe (Werkgroep Watervoorziening Drenthe, 1979) zijn berekeningen uitgevoerd naar de kosten ervan. Hierbij is de omvang van het bassin gevarieerd (1000 ha - 25 ha). Uit de berekeningen blijkt dat dergelijke spaarbekkens voor landbouwdoeleinden economisch onaantrekkelijk zijn. Nadelen van deze kunstmatige bassins zijn onder andere het ruimtebeslag, de optredende kwel- en verdampingsverliezen en de geringe capaciteit ten opzichte van de totale waterbehoefte.

Sub 2

De moderne landbouw stelt hoge eisen aan de water/luchthuishouding van de bodem. Dit betekent dat 's winters de gronden goed moeten kunnen ontwate-

ren, terwijl 's zomers een goede vochtvoorziening gewaarborgd dient te zijn. Met andere woorden, een minder diepe en/of minder intensieve ontwatering is voor de landbouw niet aantrekkelijk. Het aanwezige (gestuwde) water in het beek- en slotenstelsel kan in droge perioden de landbouw van nut zijn. Behalve dat een deel van dit water wordt gebruikt voor kunstmatige beregening, infiltreert een deel van het water naar de ondergrond waar het een verhoging van de grondwaterspiegel bewerkstelligt. De planten kunnen hierdoor meer water opnemen door de capillaire nalevering. In dit verband is het zinvol na te gaan wat de invloed van een peilverandering (verhoging) op de grondwaterstand is. Daarnaast speelt de vraag in hoeverre de kunstmatige infiltratie het vochttekort van de gewassen kan verminderen. Immers, de mate waarin met kunstmatige infiltratie vochttekorten bij vegetaties en gewassen kunnen worden voorkomen, bepaalt de aantrekkelijkheid van deze compenserende maatregel. Omdat infiltratieprojecten, uitgevoerd ten behoeve van het verminderen van de effecten van grondwaterwinningen, veelal onderdeel zijn van het waterbeheer van een groter systeem (regionaal), dient een dergelijk project opgenomen te zijn in dit groter waterbeheersingssysteem.

Vandaar dat in het vervolg enkele modelstudies worden aangehaald, waarbij voor een stroomgebied of een regio de invloed van een peilverandering op de grondwaterstand en op de gewasverdamping wordt nagegaan.

2.4.2 Berekeningsresultaten van enkele modelstudies

Op dit moment is nog weinig bekend over de mogelijkheden van waterconservering. Er zijn modelstu-

dies verricht die hier enig inzicht in geven. In het vervolg komen twee studies aan de orde. De nauwkeurigheid van de berekeningsresultaten van deze studies zal toenemen naarmate het model beter overeenkomt met de werkelijkheid en indien de berekeningsresultaten getoetst zijn aan veldwaarnemingen. Gezien de aard van deze studies zijn de berekeningsresultaten indicatief van aard.

- Kant en Stuyt (1980) berekenen voor het stroomgebied van de Groenlose Slinge (Oost-Gelderland) de afname van de basisafvoer ten gevolge van het opzetten van het peil in deze beek (waterconservering).

Het betreft een numerieke berekening, op basis van de theorie van Ernst (1978).

In tabel 2 wordt een overzicht van de afname van de afvoersom gegeven bij het opzetten van de beekpeilen.

h(m)	Δy (m)	afname afvoersom (mm)		
		90 % droog jaar	50 % droog jaar	10 % droog jaar
0,80	0,20	18	11	8
0,80	0,30	30	17	12
0,80	0,40	45	25	17
1,00	0,20	21	11	7
1,00	0,30	35	17	11
1,00	0,40	53	25	16
1,20	0,20	24	10	6
1,20	0,30	40	17	10
1,20	0,40	59	24	14

Tabel 2 - Afname van de afvoersom gedurende de periode van 1 april tot 1 oktober ten gevolge van opstuwning (Δy) in de Groenlose Slinge, bij 3 verschillende voorjaarsgrondwaterstanden (h) en voor 3 verschillende jaren (90 %, 50 % en 10 % droog jaar)

In deze studie zijn 3 verschillende voorjaarsgrondwaterstanden doorgerekend onder verschillende klimatologische omstandigheden, waarbij de opstuwung in de Groenlose Slinge is gevarieerd. Daaruit blijkt dat de afname van de afvoersom (dit is de maximaal extra beschikbare hoeveelheid water voor gewasverdamping en grondwateronttrekking) in een 50 % droog jaar niet wordt beïnvloed door de diepte van de voorjaarsgrondwaterstand. In een 10 % droog jaar neemt, naarmate de voorjaarsgrondwaterstand ondieper is de geconserveerde hoeveelheid water enigszins toe.

Voor een 90 % droog jaar geldt het omgekeerde.

Deze effecten worden verklaard doordat in een 10 % droog jaar de voeding (neerslag) gering is, zodat de te conserveren hoeveelheden grotendeels gedurende het hieraan voorafgaande winterhalfjaar gevallen moeten zijn. In een 90 % droog jaar is tijdens de groeiperiode de voeding naar verhouding groot en is de berging van de nuttige neerslag in de bodem groter naarmate de voorjaarsgrondwaterstand dieper is.

In hetzelfde rapport wordt de invloed berekend, van een kunstmatige onttrekking tijdens de winter tot 1 april (alternerende onttrekking) op de afname van de afvoersom. Deze onttrekking veroorzaakt een daling van de voorjaarsgrondwaterstand en van de beek- en slootpeilen.

Uit deze berekeningen blijkt dat in een 90 % droog jaar een grondwaterstandsverlaging tot 30 cm bij voorjaarsgrondwaterstanden tussen 80 en 120 cm min maaiveld in vrijwel alle gevallen meer dan volledig wordt gecompenseerd. De mogelijkheden van compensatie nemen in een dergelijk jaar toe met de diepte van de voorjaarsgrondwaterstand. In een 50 % droog jaar worden gedeelte-

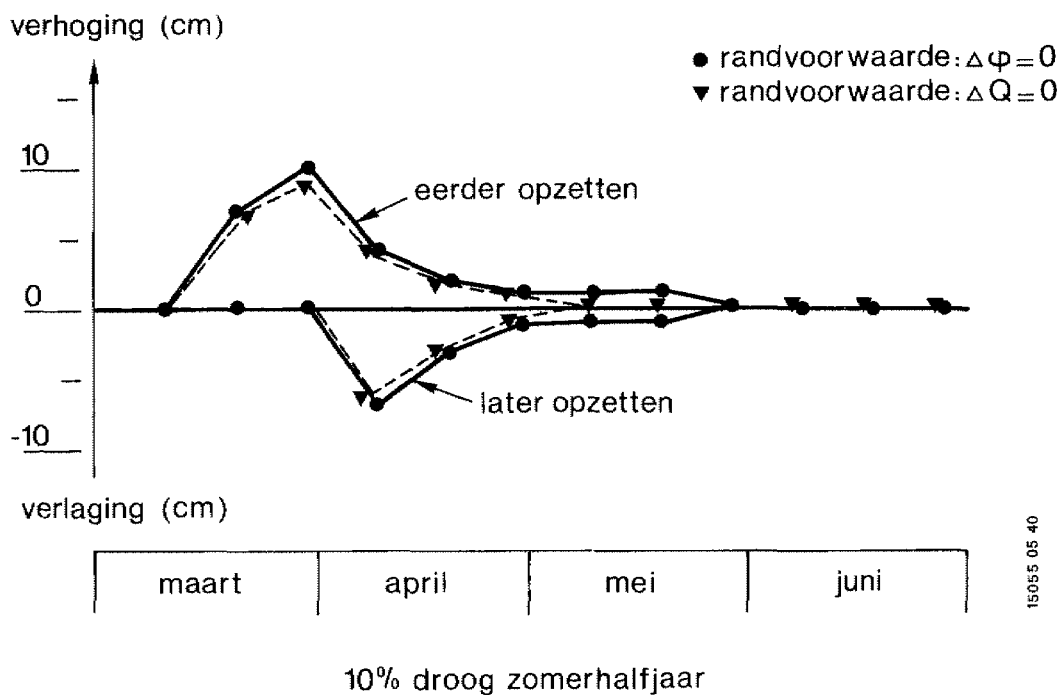
lijk, namelijk bij niet te diepe grondwaterstanden, de kunstmatig onttrokken hoeveelheden grondwater gecompenseerd. Tenslotte blijkt dat in een 10 % droog jaar het zonder uitzondering niet mogelijk is de hoeveelheid onttrokken grondwater te compenseren.

- Het effect van het eerder of later opzetten van de stuwpeilen op de grondwaterstand is door Van Lanen (1983c) voor het studiegebied Sleen met het model-GELGAM berekend.

De grondwaterstanden die voor de situatie op 4 april worden berekend, dienen als referentie voor de berekeningen van de grondwaterstand, indien de peilen 20 dagen eerder (15 maart) en indien de peilen 10 dagen later (14 april) worden opgezet. In figuur 2 zijn de berekeningsresultaten weergegeven.

Het 20 dagen eerder opzetten van de stuwen heeft tot gevolg dat er minder water uit het gebied stroomt. Dit leidt tot hogere grondwaterstanden. Door deze hogere grondwaterstanden zal de afvoer uit het modelgebied groter zijn dan in de oorspronkelijke situatie. Hierdoor wordt de verhoging van de grondwaterstand, ten gevolge van het eerder opzetten van peilen, eind mei teniet gedaan. Het omgekeerde doet zich voor indien het zomerpeil later wordt ingesteld.

De geschetste verhoging/verlaging van de grondwaterstand geldt voor een bepaald punt in het studiegebied. Het oppervlak van het studiegebied, waar de verhoging groter is dan 5 cm, is afhankelijk van de randvoorwaarden en bedraagt minimaal 10 % en maximaal 25 % van het totale oppervlak van het proefgebied. Uit de berekende waterbalans van het proefgebied voor een 10 % droog zomer-



Figuur 2 - De verandering van de grondwaterstand ten gevolge van het 20 dagen eerder en het 10 dagen later opzetten van de stuwen voor een punt in het zuidelijk gedeelte van het beekdal van de Sleenerstroom

ϕ = stijghoogte

Q = afvoer

halfjaar, beginnend op 4 april, blijkt het eerder of later opzetten van de peilen nauwelijks de grondwaterberging, de hoeveelheid geïnfiltreerd oppervlaktewater, de grondwaterstroming en de verdamping te beïnvloeden. Bij deze conclusie moet bedacht worden dat het verschil tussen winter- en zomerpeil varieert tussen nul en 45 cm. Er zijn aanvullende berekeningen uitgevoerd

(Van Lanen, 1983c) om de invloed van een peilverhoging op de verdamping na te gaan. Hierbij is uitgegaan van een extreem droog jaar. De peilen zijn in deze berekeningen met 10 cm verhoogd. De infiltratie uit het slotenstelsel neemt met 20 mm toe (800.000 m³). De gebiedsverdamping slechts met 1 mm. De grondwaterberging neemt vervolgens toe met 4 mm zodat geconcludeerd kan worden dat de rest (15 mm) uit het gebied wegstroomt. Deze hoeveelheid zou ook voor de drinkwatervoorziening kunnen worden aangewend.

2.5 Infiltratieprojecten bij grondwaterwinningen

2.5.1 Algemeen

In paragraaf 2.1 is reeds gesteld dat infiltratieprojecten bij grondwaterwinningen tot doel hebben de gevolgen van deze winningen, met name de landbouwkundige gevolgen, te verminderen dan wel te voorkomen. In dezelfde paragraaf is reeds opgemerkt dat infiltratie van oppervlaktewater de kwaliteit van het grondwater kan doen verminderen hetgeen uit bedrijfshygiënisch oogpunt nadelig kan zijn.

Een ander nadeel kan het beheer van een infiltratieproject zijn. Het belang van de landbouw zal in deze niet altijd gelijk zijn aan het belang van het waterleidingbedrijf. Het waterleidingbedrijf zal geneigd zijn te trachten alle schade veroorzaakt door watertekort te compenseren hetgeen uit landbouwkundig oogpunt tot te hoge slootpeilen kan leiden. De landbouw wenst namelijk een "optimaal" peil waarbij de som van de depressie ten gevolge van wateroverlast en watertekort minimaal is. Een dergelijk optimaal peil is weersafhankelijk. Bij het vaststellen van een optimaal slootpeil moet men be-

dacht zijn op het feit dat de grondwaterstand in het invloedsgebied van een grondwaterwinning veelal gemiddeld lager ligt dan er buiten. Voor het verkrijgen van een optimale grondwaterstand zal dan ook een hoger slootpeil nodig zijn. Het betrekken van de actuele grondwaterstand in het peilbeheer is in deze gebieden dan ook noodzakelijk.

In Nederland zijn diverse infiltratieprojecten, waarvan enkele op grond van vergunningsvoorwaarde, bij grondwaterwinningen uitgevoerd of verkeren nog in de onderzoeksfase. De investeringen van dergelijke projecten bedragen in de orde van enkele tonnen. Om enigszins een beeld van deze projecten te schetsen volgt hierna een korte beschrijving.

2.5.2 Infiltratieprojecten

a. Dinxperlo, waterwinvergunning $2 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Uit de Keizersbeek wordt water naar het waterwingebied gevoerd. Hiervoor zijn een aantal sloten gegraven en stuwen gebouwd. In 1982 zijn de werkzaamheden opgeleverd. De Keizersbeek is gemiddeld tot eind juli watervoerend. Met het project wordt een deel van de landbouwschade voorkomen. Er bestaan plannen om een pompproef uit te voeren om de invloed van de infiltratie vast te stellen.

b. Lochem, waterwinvergunning $3 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Het beïnvloedingsgebied van de waterwinning te Lochem wordt doorsneden door de Barchemse Veen-goot. Deze afvoerleiding is voorzien van stuwen en voert in nattere perioden kwelwater af. In droge perioden valt deze beek geheel droog. Nabij de uitmonding van deze beek bij de Berkel zijn voorzieningen getroffen om water vanuit de

Berkel te pompen in de Barchemse Veengoot. Begin 1982 waren de werken gereed. Zowel in 1982 als in 1983 was het mogelijk het leidinggedeelte dat het wingebied doorsnijdt vol te houden met water.

Een deel van de landbouwschade kan aldus worden voorkomen. Het aantrekkelijke van het project is echter, dat bij uitbreiding van de winning mag worden verwacht, dat aan de overzijde van het infiltratiekanaal, gerekend vanaf het pompstation, geen landbouwschade zal optreden. Een analyse van grondwaterstanden en opgepompte hoeveelheden moet nog uitgevoerd worden.

- c. Haarlo - Olden Eibergen, waterwinvergunningen $1,65 \times 10^6$ respectievelijk $1,2 \times 10^6 \text{ m}^3$.

De winplaats Haarlo, gelegen binnen de ruilverkaveling Borculo, ligt op circa 2 km van de waterwinning Olden Eibergen (buiten de ruilverkaveling). Bij de uitvoering van de ruilverkavelingswerken zijn rondom het winterrein Haarlo een aantal extra sloten aangelegd om deze te voeden met water vanuit de Berkel. De toevoer van water vanuit de Berkel loopt langs het winterrein te Olden Eibergen zodat tevens de infiltratie te Olden Eibergen, die sinds 1972 op kleine schaal plaatsvond, uitgebreid kon worden. Op het waterwinterrein te Olden Eibergen is een infiltratievijver aangelegd die naar verwachting goed is voor een infiltratie op jaarbasis van circa $0,6 \times 10^6 \text{ m}^3$. Of deze hoeveelheid inderdaad infiltreert en wat het effect ervan is op de grondwaterstand is, nog niet vastgesteld.

- d. De Groeve, waterwinvergunning $10 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Hier zijn ruime mogelijkheden om vanuit de

Oostermoersche Vaart water in het waterwingebied in te laten. Na uitvoering van de ruilverkaveling (1970) bleken de sloten echter droog te staan, terwijl vele grondgebruikers klaagden over scheurvorming en verzakking van het maai-veld. Daarom is in 1977 een peilbeheersingsplan tot stand gekomen. In het kader hiervan zijn een aantal sloten met een totale lengte van 20 km verdiept, zodat ze in een zomersituatie minimaal 40 cm water voeren. Tevens werden er twee stuwen gebouwd, waardoor het mogelijk werd dat in de zomer in het waterwingebied een hoger peil gehanteerd kan worden.

Het onderhoud en de bediening zijn in handen van het waterschap. Mede als gevolg van dit peilbeheersingsplan zijn de klachten over zettingen en droogteschade afgenomen. Het KIWA is bezig met een hydrologisch onderzoek in dit gebied, met als een van de doelstellingen te komen tot een optimaal peilbeheer. Daarnaast bestudeert de Landinrichtingsdienst Drenthe op een proefveld het effect en de looptijd van infiltratie via een drainbuizensysteem.

e. Boerhaar, proefonttrekking $0,7 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Het invloedsgebied van de winning nabij Boerhaar wordt geohydrologisch gekenmerkt door zijn egaliteit, homogeniteit en doorlatendheid. Uit een modelstudie blijkt (Olsthoorn, Boukes, 1982b) dat bij uitvoering van het wateraanvoerplan de eventuele landbouwschade sterk kan worden beperkt ook in het geval dat de sloten in slechte staat van onderhoud zijn.

f. Espelo/Espelose Broek, nog geen vergunning.

In het begin van de zeventiger jaren had de

N.V. Waterleiding Maatschappij "Overijssel" (WMO) het idee een grondwaterwinning te stichten van 3×10^6 m³/j in Espelo. Espelo ligt op de westrand van de Overijsselse Heuvelrug. De grondwaterstanden liggen vrij diep onder het maaiveld.

Tegelijkertijd waren in het kader van de ruilverkaveling Holten-Markelo plannen het Espelose Broek met behulp van onderbemaling te ontwateren.

De grondwaterstand in dit gebied, op circa 3 km ten westen van Espelo gelegen, is zeer ondiep. In de voorbereidingsfase is het idee geboren om bovenstaande plannen te combineren waardoor gewassenschade in Espelo zou worden voorkomen.

De Technische Werkgroep Espelose Broek (1983) bestaande uit vertegenwoordigers van Landinrichtingsdienst, RID (nu RIVM), Provinciale Waterstaat Overijssel, ICW, Waterschap Salland, WMO en ruilverkavelingscommissie, heeft dit als volgt uitgewerkt.

In het winterhalfjaar werd een grondwaterwinning van 2×10^6 m³ in het Espelose Broek ten behoeve van de landbouwontwatering gedacht en in het zomerhalfjaar van $0,6 \times 10^6$ m³/jaar in het Espelose Broek en een grondwaterwinning van $1,9 \times 10^6$ m³ in Espelo. De grondwaterstand in Espelo zou dan door natuurlijke oorzaken al zo diep zijn dat de gewasgroei niet meer afhankelijk is van het grondwater zodat er nauwelijks gewassenschade werd verwacht.

In de jaren 1979 tot en met 1982 is door de Technische Werkgroep een proef op ware grootte in het Espelose Broek begeleid.

In deze periode bleek het volgende.

Een goede ontwatering van het Espelose Broek is

mogelijk met grondwaterwinning.

Elk jaar zou minimaal 7 maanden onttrokken moeten worden in het Espelose Broek. In sommige jaren zou het gehele jaar in het Espelose Broek onttrokken kunnen worden zonder gewassenschade.

In de meeste jaren ontstaat bij de combinatie winning toch gewassenschade in Espelo.

Vervolgens zijn de kosten met inbegrip van de toegebrachte landbouwschade voor een aantal varianten onderzocht. Het bleek dat de extra kosten van gewassenschade bij alleen winnen in het Espelose Broek geringer zijn dan de extra investeringen voor een tweede puttenveld (voor de proef zijn alleen de putten in het Espelose Broek geboord).

De gewassenschade bij het gehele jaar onttrekken in het Espelose Broek zijn in een normaal jaar gelijk aan de gewassenschade ten gevolge van een traditionele ontwatering.

In zeer droge jaren zal de gewassenschade bij traditionele ontwatering een maximum hebben dat wordt bepaald door het moment dat de watergangen droog vallen, terwijl de grondwaterwinning in dat geval door blijft gaan.

Om deze effecten te compenseren is vervolgens een wateraanvoerplan ontwikkeld. Dit wateraanvoerplan compenseert alle ontstane gewassenschade ten gevolge van een heel jaar onttrekken in het Espelose Broek en geeft daarboven elk jaar in een groot gebied nog een verbetering van de landbouwwaterhuishouding.

Uiteindelijk is besloten een vergunning aan te vragen voor een geheel jaar grondwateronttrekking in het Espelose Broek gecombineerd met een

wateraanvoerplan dat door het Waterschap Salland uitgevoerd zal worden.

2.6 Vermindering van de ecologische schade door infiltratie

Bij compensatie van de ecologische gevolgen van een grondwaterwinning is het belangrijk dat hetzelfde grondwaterregime wordt gehandhaafd terwijl de grondwaterkwaliteit niet wordt veranderd (zie ook hoofdstuk 4). Bij infiltratie uit open leidingen kan minder dan bij een retourputten-systeem het oorspronkelijk grondwaterregime worden gehandhaafd. Dit geldt met name in die gevallen waar in de oorspronkelijke situatie kwel optrad. In situaties waar in de oorspronkelijke toestand reeds infiltratie optrad en de kwaliteit van het infiltratiewater sindsdien niet wezenlijk is veranderd, heeft het verminderen van de ecologische gevolgen van grondwaterwinning via infiltratie de meeste kans van slagen.

Door middel van een inventarisatie bij waterleidingbedrijven bleek dat met name via infiltratie van oppervlaktewater wordt getracht de nadelige effecten voor de natuur (waaronder de vegetatie) te verminderen (Van der Velde, 1982). Evaluatie-onderzoeken in hoeverre deze projecten doeltreffend zijn, zijn voor zover bekend niet uitgevoerd.

Naast het nemen van maatregelen tot natuurbescherming kunnen maatregelen worden getroffen tot natuurbouw. Hiermee wordt bedoeld, voorwaarden te scheppen tot het verbeteren en het ontwikkelen van natuurlijke waarden. Een voorbeeld hiervan is de infiltratievijver nabij het pompstation Olden Eibergen. Hier zijn zeer flauwe taluuds aangelegd zodat over een korte afstand de water/luchthuishou-

ding van de grond nogal verschilt. Hierdoor kan een gevarieerde vegetatie ontstaan.

Opgemerkt zij dat dergelijke projecten slechts incidenteel zijn uitgevoerd.

2.7 Vermindering van de landbouwkundige schade door infiltratie

2.7.1 Algemene voorwaarden

Voor het bereiken van een maximale produktie van landbouwgewassen kan een bovengrens en een ondergrens van de grondwaterstand worden onderkend. De bovengrens garandeert een goede bewerkbaarheid, voorjaarstemperatuur, lucht- en stikstofhuishouding en een minimum aan oogst- en beweidingsverliezen. De ondergrens dient zo gekozen te zijn dat geen vochttekort bij gewassen optreedt. Niet voor ieder jaar zal aan beide grenzen kunnen worden voldaan, zodat die grondwaterstand moet worden gehandhaafd, waarbij de som van de verliezen ten gevolge van wateroverlast en vochttekort het geringst is.

Een mogelijkheid tot beperking van vochttekorten is het verhogen van de grondwaterstand via infiltratie van water uit het slotenstelsel. Wil infiltratie landbouwkundig gezien slagen, dan moet aan een aantal voorwaarden worden voldaan (Feddes 1976), te weten:

- Het aan te voeren water moet beschikbaar zijn, goedkoop zijn en van zodanig goede kwaliteit dat de jaarlijkse neerslag in staat is eventueel opgehoopte zouten in het profiel uit te spoelen.
- De grond moet een goede doorlatendheid bezitten en uniform zijn.
- Er moet op 1,5 m diepte of hoger een natuurlijke grondwaterstand aanwezig zijn, of een slecht

doorlatende laag in de ondergrond ter beperking van wegzigingsverliezen naar beneden.

- Het maaiveld moet vlak zijn of slechts een lichte helling vertonen.
- Er moet een systeem van leidingen zijn om het water te kunnen aanvoeren en te verdelen.
- In verband met wisselingen in weersgesteldheid moet het mogelijk zijn om van aanvoer op afvoer over te schakelen en omgekeerd.

5.7.2 De landbouwkundige baten van twee wateraanvoerprojecten

1. Van Walsum en Van Bakel (1983) berekenen het effect van oppervlaktewaterbeheer op de gewas-transpiratie in het gebied van het waterschap de Veenmarken en verwerken deze gegevens in een kosten-baten-analyse. De studie is verricht op basis van de meteorologische omstandigheden die zich in de periode 1971 tot en met 1982 hebben voorgedaan.

In het betreffende studiegebied komt hoofdzakelijk bouwland voor, waarvoor het volgende bouwplan is aangenomen; aardappels (45 %), granen (30 %) en bieten (25 %).

In het rapport wordt gecijferd dat 1 mm gewasverdamping geacht wordt overeen te komen met f 19,-- per ha voor bouwland en f 8,-- per ha voor grasland (prijspeil 1982). Verder zijn de variabele kosten (pomp- en bedieningskosten) van het aanvoersysteem berekend.

Voor alle onderscheiden profielen zijn derhalve de netto baten (bruto baten min variabele kosten) te berekenen. Uit deze berekeningen blijkt dat de netto baten omvangrijk zijn. Om echter tot een besluit te komen over het aanvoeren van

water dienen de investeringskosten nog verrekend te worden. In dit opzicht is het investeringseffect van belang. Dit effect wordt gedefinieerd als:

$$\frac{\text{jaarlijkse netto baten}}{\text{investeringskosten}} \times 100 \%$$

Volgens de wet van de "afnemende meeropbrengsten" nemen de baten, bij verdere opvoering van de wateraanvoer, vanaf een bepaald moment af.

Met andere woorden, er is een optimum aanvoercapaciteit vast te stellen. Indien men besluit water aan te voeren dan moet in ieder geval de aanvoercapaciteit overeenkomen met dit optimum. Vervolgens kan berekend worden of verdere vergroting van de aanvoer zinvol is. Het investeringseffect van elke volgende investering kan als volgt worden vastgesteld:

$$\frac{\Delta \text{ NB}}{\Delta \text{ I}} \times 100 \%$$

$\Delta \text{ NB}$ = toename van netto baten bij een verhoging van de aanvoercapaciteit $\Delta \text{ Q}$.

$\Delta \text{ I}$ = toename van de vereiste investering bij een verhoging van de aanvoercapaciteit met $\Delta \text{ Q}$.

Van dit verband is een grafische voorstelling in de vorm van een blokdiagram te maken, waar op de verticale as het investeringseffect staat en op de horizontale as de aanvoercapaciteit. In dit geval blijkt onder andere dat, indien alle gebieden van water worden voorzien, de aanvoercapaciteit 5,71 m³/s bedraagt en het investeringseffect 9,4 % is.

Wordt uitgegaan van de huidige aanvoer (moderni-

sering van de gemalen in het primaire systeem) met een evenredige verdeling van het water over de gebieden dan is het investeringseffect 23 %.

Een alternatief voor het investeringseffect om de economische haalbaarheid van een investering aan te geven is de zogenaamde interne rentevoet. Deze interne rentevoet is de rente waarbij de gekapitaliseerde baten gelijk zijn aan de investering.

2. Bij de wateraanvoerplannen van het Espelose Broek, liggend in het Waterschap Salland, wordt van de volgende aannamen uitgegaan (Waterschap Salland, 1983).

In het geval dat er voor de wateraanvoerplannen verlagingen ten gevolge van de grondwateronttrekking aanwezig waren, wordt aangenomen dat binnen een strook van 400 m vanuit de watergangen deze verlagingen geheel opgeheven worden.

Voor berekeningen van het effect op de gewasgroei wordt gebruik gemaakt van normen ontleend aan de CoGroWa-zandgrondenmethode (CoGroWa, 1976). Het verschil tussen de oude en de nieuwe situaties is het effect van de infiltratie. Ook de effecten ten gevolge van de extra wateroverlast worden berekend. Verder wordt verondersteld dat binnen een afstand van 300 m van de watergangen met het aangevoerde oppervlaktewater kan worden berekend. Het effect hiervan op de gewasopbrengst wordt apart berekend, waarbij is aangenomen dat het vochttekort dat na infiltratie overblijft door kunstmatige beregening kan worden opgeheven. De landbouwkundige baten zijn via een drietal prognoses over de omvang van het toekomstige beregende areaal bepaald, namelijk 12,5 %, 25 % en 55 %. Bij het uiteindelijke plan

is uitgegaan van het 25 %-beregeningssalternatief.

De voor- en nadelen van het wateraanvoerplan zijn zodanig dat het zowel voor de landbouw als voor de openbare drinkwatervoorziening aantrekkelijk is om dit aanvoerplan te realiseren.

2.8 Conclusies en aanbevelingen

Vanwege de veranderde eisen die de landbouw aan de water/luchthuishouding van de bodem stelt, worden de landbouwgronden steeds beter ontwaterd, hetgeen in droge perioden tot grotere watertekorten kan leiden. Ter voorkoming van deze tekorten worden waterconserverings- en wateraanvoerplannen opgesteld. Het conserveren van oppervlaktewater door middel van spaarbekkens blijkt uit kostenoopt punt geen aantrekkelijk alternatief te zijn. Waterconservering door in het voorjaar de stuwpeilen op te zetten, heeft in droge jaren minder effect op een vermindering van het vochttekort voor gewassen dan in een gemiddeld jaar. In een nat jaar is het effect het grootst, maar dan treden er nauwelijks vochttekorten op.

Op verschillende wijzen kan de infiltratie worden bevorderd. Het verkleinen van de slootafstand beïnvloedt in sterke mate de volumestroom water die infiltreert. Door het gebruik van een drainagebuisstelsel voor infiltratiedoeleinden neemt, door verkleinen van de zogenaamde slootafstand, de volumestroom sterk toe. De kans op verstopping neemt evenwel ook toe. Over deze verstoppingsproblematiek en de mogelijkheden van ontstopping is nog weinig bekend. Verder onderzoek op dit punt is gewenst. Ook peilverhoging kan zeer effectief zijn.

Door een toename van de infiltratie uit open leidingen kunnen vochttekorten bij vegetaties en gewassen worden verminderd. De mate waarin de nadelige effecten van een grondwaterwinning op een ecologisch waardevol gebied kunnen worden ondervangen wordt in belangrijke mate bepaald door de kwaliteit van het infiltraat. Deze kwaliteit dient zoveel mogelijk overeen te komen met die van het oorspronkelijke grondwater.

Hoewel landbouwgewassen gevoelig voor de kwaliteit van het oppervlaktewater zijn speelt dit kwalitatieve aspect een minder belangrijke rol. Het uitvoeren van waterconserverings- en aanvoerprojecten wordt met name door economische aspecten bepaald. Een kosten-batenanalyse van dergelijke projecten is daarom veelal van doorslaggevend belang. Men mag veronderstellen dat bij de zogenaamde geïntegreerde wateraanvoerplannen waarbij zowel oppervlaktewater voor de landbouw als voor de drinkwatervoorziening wordt aangevoerd, het resultaat van deze analyse positief wordt beïnvloed. Per geval dient deze veronderstelling te worden onderzocht.

Er zijn diverse infiltratieprojecten van veelal beperkte omvang bij grondwaterwinningen uitgevoerd. Hoe groot het nut is van deze projecten is moeilijk exact aan te geven. Vaak is het echter groter dan zich eventueel laat berekenen uit een verhoging van de landbouwopbrengsten. De voordelen kunnen namelijk ook bestaan uit verruiming van de mogelijkheden van veedrenking en vermindering van scheurvorming en zakking. Alvorens tot uitvoering van een infiltratieproject over te gaan, is het zinvol de infiltratieflux door middel van infiltratieproeven vast te stellen, waarna de grondwaterstandsverandering kan worden berekend. Op deze manier kan inzicht verkregen worden in hoeverre de gevolgen van

de grondwaterwinning voor de landbouw en de natuur gecompenseerd worden. Na uitvoering van het infiltratieproject is het zinvol na te gaan, in hoeverre de berekeningsresultaten overeenkomen met de werkelijkheid. Verder is het gewenst het bestaande inzicht, betreffende de nauwkeurigheid, de kosten en de tijdsduur van de verschillende wijzen waarop infiltratieproeven kunnen worden uitgevoerd, te vergroten.

3 KUNSTMATIGE BEREKENING

3.1 Algemeen

In het Nederlandse klimaat komen zowel perioden met een neerslagoverschot als met een neerslagtekort voor. Het neerslagoverschot treedt gemiddeld gezien op in de periode van half juli tot eind maart (Wesseling, 1976). Nadat in de nazomer de vochtvoorraad van de onverzadigde zone is aangevuld wordt de rest van het neerslagoverschot afgevoerd via watergangen en/of vult het de grondwatervoorraad aan.

In de maanden april tot half juli is er gemiddeld gezien een verdampingsoverschot. In deze periode zal het gewas water onttrekken aan de vochtvoorraad in de bodem.

Voor het realiseren van maximale bedrijfsuitkomsten stelt de landbouwer hoge eisen aan de waterhuishouding. Onder andere ter verbetering van de bereikbaarheid, ter vergroting van de gewasopbrengst en ter verkleining van beweidings- en oogstverliezen wordt er naar gestreefd de grondwaterstand in het voorjaar laag te houden. Vooral in de laatste decennia zijn met name in de oostelijke en zuidelijke zandgebieden ontwateringswerken uitgevoerd. Overstromingen die in de zestiger jaren nog regelmatig in deze gebieden optraden, zijn nu zeer onwaarschijnlijk geworden.

Door deze ontwateringsmaatregelen (grotere drooglegging, versnelde afvoer) zal de bodemvochtvoorraad in het verdere verloop van het groeiseizoen geringer zijn. Ten tijde van droge perioden treedt derhalve eerder opbrengstdepressie wegens vochttekort op.

Een andere ontwikkeling die in de jaren zeventig in versterkte mate plaats vond, was dat door de druk op de prijzen van landbouwprodukten en de sterke stijging van de produktiekosten, de landbouw werd gedwongen, ter wille van het handhaven van een redelijk inkomen, de produktie per ha op te voeren. Het optreden van vochttekorten in droge zomerperiodes vormde hiervoor steeds meer een beperking. Deze ontwikkeling heeft er tenslotte toe geleid dat het kunstmatig beregenen van landbouwgewassen in bepaalde gebieden in ruime mate zijn toepassing vindt. Bij de hier geschetste ontwikkelingen heeft het extreem droge jaar 1976 als een soort "katalysator" gewerkt.

In de veehouderij kan men met behulp van beregeningsapparatuur de bodemvochtvoorraad aanvullen en zich daardoor verzekeren van een voldoende hoeveelheid ruwvoer. Met name bij gebruikmaking van de zogenaamde haspelinstallatie (één grote sproeier aan het eind van een zich langzaam automatisch oprollende slang) zijn met beregening relatief weinig extra arbeidsuren gemoeid. Dat beregening in veel gevallen echter niet zo rendabel is als uit de stormachtige ontwikkeling ervan zou kunnen worden afgeleid, blijkt uit een aantal onderzoeken. Doornbos e.a. (1977) komen bijvoorbeeld tot de slotsom dat op kleine gezinsbedrijven met veeteelt beregening rendabel is, echter alleen indien gebruik wordt gemaakt van een buizeninstallatie (een systeem van ontkoppelbare buizen met op geregelde afstanden sproeiers).

De rentabiliteit van beregeningsapparatuur in de akkerbouw hangt naast het bodemtype mede af van de verbouwde gewassen. Voor consumptie-aardappelen op matig lichte kleigronden wordt een gemiddelde meeropbrengst van circa 7 % verkregen (Studiecommissie Waterbehoefte Land- en Tuinbouw, 1980).

Keuning (1980) heeft het bedrijfseconomisch effect van beregening op akkerbouwgewassen (fabrieksaard-appels, granen, bieten) berekend. Uit deze berekening blijkt dat beregening alleen op bepaalde hoge zandgronden (podzolgronden) rendabel is.

De uitkomsten van eerder genoemde onderzoeken tonen aan dat de toename van het aantal beregeningsinstallaties niet in de eerste plaats uit rentabiliteitsoverwegingen verklaard kan worden, doch dat vooral tot aanschaf wordt overgegaan ter verkleining van bedrijfsrisico's. Het verbeteren van de ontwatering van landbouwgronden vergroot veelal de noodzaak tot aanschaf van een dergelijke installatie.

Ook grondwaterwinning kan bijdragen aan de vergroting van vochttekorten voor land- en tuinbouwgewassen. Door beregening kunnen deze tekorten worden aangevuld. Beregening kan echter ook een aantal nadelen hebben. Op de voor- en nadelen van beregening als compensatiemiddel zal in par. 3.2 worden ingegaan. Beregening als compensatiemaatregel brengt de nodige kosten mee, die vervolgens in paragraaf 3.3 belicht zullen worden. Het toepassen van kunstmatige beregening is zoals reeds is vermeld in de jaren 70 sterk toegenomen. Deze ontwikkeling zal zich naar verwachting verder voortzetten, hetgeen bij gebruik van grondwater de nodige consequenties voor de winbare hoeveelheid grondwater ten behoeve van de drinkwatervoorziening kan hebben. Deze ontwikkeling wordt in paragraaf 3.4 geschetst. Tot slot wordt een aantal resultaten van modelberekeningen gegeven betreffende verlagingen van het freatisch vlak door beregening met grondwater, waarna de conclusies worden getrokken.

3.2

Beregening als compensatiemaatregel

Opbrengstdepressies van land- en tuinbouwgewassen door vochttekort wegens grondwateronttrekkingen ten behoeve van de drinkwatervoorziening kunnen voor 100 % met beregening worden gecompenseerd. Vanuit landbouwkundig oogpunt bekeken is beregening dus een uitstekende maatregel. Bovendien kan met name bij tuinbouwgewassen maar in mindere mate ook bij akkerbouwgewassen, met behulp van beregening onder andere de kwaliteit van het produkt worden verbeterd. Sommige ziekten kunnen met succes worden bestreden, terwijl voorts het produkt eerder oogstrijp is waardoor veelal een betere prijs gehaald kan worden. Beregening kan dus naast kwantitatieve voordelen (kg/ha) ook kwalitatieve voordelen met zich meebrengen.

Beregening in de tuinbouw is op dit moment een dusdanig algemeen verschijnsel geworden dat gesteld kan worden dat voor een goed geleid bedrijf een beregeningsinstallatie onontbeerlijk is.

Naast de eerder beschreven positieve effecten van beregening zijn er ook negatieve effecten te noemen. Als eerste kan worden opgemerkt dat indien het sproeiwater niet aan zekere kwaliteitsnormen voldoet (bijvoorbeeld het zoutgehalte), dit de gewasopbrengst negatief beïnvloedt. Met name voor bepaalde tuinbouwgewassen worden hoge eisen gesteld aan de kwaliteit van het sproeiwater. Ook kan door beregening op onbedekte of onvolledig bedekte grond structuurbederf optreden, met name op slempgevoelige gronden. Een ander punt is, dat bij beregening vooral het bovenste deel van het profiel wordt bevochtigd. Hierdoor zal de plant een oppervlakkig wortelstelsel ontwikkelen en daardoor gevoeliger worden voor droogte. Verder speelt de temperatuur een rol bij de gewasgroei. Grondwater

heeft over het algemeen een vrij lage temperatuur (circa 10 °C), hetgeen met name de groei van mais nadelig kan beïnvloeden. In tegenstelling tot hetgeen op de vorige pagina is vermeld, komt het ook voor dat door beregening bij bepaalde gewassen onder bepaalde omstandigheden de risico's van bepaalde gewasziekten en insectenplagen kunnen toenemen. Zo bleek onder andere het aardappelras Bintje minder geschikt te zijn voor beregening als gevolg van de gevoeligheid van dit ras voor fytoftora (Gespreksgroep Beregening Akkerbouw, 1979) en zou bij grasland ten gevolge van beregening een emeltenplaag zijn opgetreden (Pijpers, 1981).

Voor het kunstmatig beregenen van gewassen kan zowel oppervlaktewater als grondwater worden gebruikt. Uit gegevens van Van Boheemen e.a. (1979) blijkt dat in 1976 in de periode april tot en met augustus de kunstmatige watervoorziening van de gewassen met oppervlaktewater groter is geweest ($500 \cdot 10^6$ m³) dan die met grondwater ($300 \cdot 10^6$ m³). Gebruik van oppervlaktewater en grondwater heeft ten aanzien van de kunstmatige watervoorziening van het gewas zowel voor- als nadelen. De volgende punten kunnen worden genoemd:

1. Onttrekkingspunt

Indien oppervlaktewater wordt gebruikt hoeft geen put geslagen en onderhouden te worden. Volgens Doornbos e.a. (1977) was in 1976, afhankelijk van de putcapaciteit, met het slaan van een put een bedrag gemoeid van f 2.500,-- à f 4.000,--. Uit eigen ervaring blijkt dat met name ingeval uit een freatisch pakket kan worden gewonnen, de boeren soms zelf een put maken. De kosten zijn dan aanzienlijk lager (in 1976 + f 700,--), echter de kwaliteit van de put zal veelal niet vergelijkbaar zijn.

2. Transportleidingen

Bij het gebruik van oppervlaktewater zijn veelal meerdere onttrekkingspunten mogelijk zodat een geringe lengte transportleiding is vereist. Bij grondwateronttrekkingen heeft men veelal één put waarmee via een transportleiding (soms ondergronds) meerdere percelen kunnen worden beregend.

3. Watertemperatuur

In het voorgaande is al op de lage temperatuur van grondwater gewezen (± 10 °C) en de nadelige effecten die dit op de gewasgroei kan hebben. Oppervlaktewater zal zomers een temperatuur hebben tussen de 15 en 20 °C, hetgeen voor de gewasgroei beter is.

4. Waterkwaliteit

Grondwater kan bijvoorbeeld ijzerhoudend zijn en daardoor niet geschikt voor beregening. Het oppervlaktewater kan van nature of door verontreiniging een minder gewenste samenstelling hebben. Bovendien kan de kwaliteit snel veranderen.

Uit deze opsomming van voor- en nadelen kan de conclusie getrokken worden dat er als regel een voorkeur zal bestaan voor het gebruik van oppervlaktewater bij beregening. Deze voorkeur zal vooral gebaseerd zijn op kostenoverwegingen. In de praktijk zal echter niet altijd een keuzemogelijkheid aanwezig zijn, met name niet op de hoge en middelhoge zandgronden.

Grondwaterwinningen in de nabijheid van natuurgebieden kunnen schade veroorzaken aan de natuurlijke vegetaties in deze terreinen. In deze situaties

lijkt beregening een minder geschikt compensatiemiddel. Immers door beregening zal het evenwicht tussen de plant en zijn omgeving worden verstoord. Verstoring kan onder andere optreden door veranderingen van het grondwaterregime, veranderingen in de kwaliteit van het grondwater, een toenemende uitloging van de grond, een afwijkende kwaliteit en temperatuur van het sproeiwater en door de toename van menselijke activiteiten in het betreffende gebied. De planten die voor dergelijke storingen gevoelig zijn, zullen verdwijnen ten gunste van andere planten die juist in deze verstoorde milieu's gedijen. Een dergelijke ontwikkeling is uit ecologisch oogpunt schadelijk (Den Hoed, 1984).

3.3 Kosten van beregening als compensatiemaatregel

Bij toepassing van kunstmatige beregening in de land- en tuinbouw kan zowel de van nature optredende droogteschade als de droogteschade ten gevolge van bijvoorbeeld de grondwaterwinning ten behoeve van de drinkwatervoorziening worden voorkomen. Dit betekent dat er beregeningsgiften worden verstrekt ter voorkoming van de droogteschade aan gewassen door meteorologisch bepaalde omstandigheden en dat nabij pompstations (extra) giften worden verstrekt om droogteschade ten gevolge van de daar plaatsvindende grondwaterwinning te voorkomen. Indien beregening als compensatiemaatregel wordt toegepast, kan droogteschade aan gewassen veroorzaakt door het pompstation gelijk gesteld worden aan de kosten van de extra verstrekte beregeningsgiften. Derhalve dienen de kosten van deze extra giften te worden berekend.

Voor het verkrijgen van een inzicht in deze extra kosten is een vergelijking gemaakt (tabel 3, pagi-

na 62) tussen een aantal studies waarbij o.a. de kosten van beregening zijn bepaald, te weten:

- Doornbos, J., e.a.; Beregening op melkveebedrijven, Proefstation voor de Rundveehouderij, 1977
Dit rapport heeft tot doel de rentabiliteit van beregening uit grondwater na te gaan voor melkveebedrijven. De studie spitst zich toe op de meer vochtige zandgronden. Voor de periode 1911 tot en met 1965 is het aantal benodigde giften van 30 mm berekend bij een aangenomen vochtvoorraad in de bodem van 90 mm. De kostenberekening is dus bepaald aan de hand van het aantal giften dat gemiddeld gegeven zal moeten worden. Bij de rentabiliteitsberekening is de bedrijfsgrootte en het type beregeningsinstallatie gevarieerd. In de jaarlijkse kosten, zoals weergegeven in tabel 3, is de factor arbeid niet opgenomen. De benodigde tijd voor één gift per ha wordt met een buizeninstallatie op 2 uur en met een haspelinstallatie op 15 minuten gesteld.

- Werkgroep Watervoorziening Drenthe; Water naar Drenthe, 1979

Ten behoeve van de aanvoerplannen van oppervlaktewater naar de provincie Drenthe is voor verschillende bodemtypen, gewassen en droogteklassejaren de beregeningsomvang bepaald. Vanwege het onderscheid in bodemtype, droogteklassejaar en gewas varieert de waterbehoefte en variëren daardoor eveneens de kosten vrij sterk. Daarom is in de vergelijking (tabel 3) uitgegaan van het in dit rapport gegeven voorbeeld. In dit voorbeeld is de bruto waterbehoefte gesteld op 35 mm, de bedrijfsgrootte op 15 ha en is uitgegaan van een haspelinstallatie. De factor arbeid is niet als een kostenpost opgenomen.

- Rijk, J.S.; Benadering extra exploitatiekosten berekening tuinbouwgewassen; N.V. Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant, 1980

Ten behoeve van het regelen van schadeclaims ten gevolge van schade aan tuinbouwgewassen door het pompstation nabij Vierlingsbeek, zijn de extra beregeningskosten per gift per ha berekend. De methodiek van de kostenberekening komt grotendeels overeen met die gevolgd door de Werkgroep Watervoorziening Drenthe met dit verschil dat de factor arbeid wel als een aparte kostenfactor is beschouwd. De kosten per gift per ha zijn zowel voor een buizen- als voor een haspelinstallatie berekend. De benodigde tijd per gift per ha wordt met een buis of haspelinstallatie op 2 uur respectievelijk op 20 minuten gesteld.

- Werkgroep Landbouw; De landbouwwatervoorziening in zuid-west Nederland. Keuze zout of zoet Grevelingenmeer, 1982

Voor het bestuderen van de landbouwwatervoorziening van Schouwen-Duivenland en een gedeelte van Goeree-Overflakkee is de Werkgroep Landbouw ingesteld. In het door de Werkgroep opgestelde rapport wordt onder andere een kosten-baten-analyse gemaakt van de wateraanvoerplannen.

Een onderdeel van de analyse is het vaststellen van de beregeningskosten. Deze kosten zijn berekend voor de verbouwde gewassen in de onderscheiden gebieden. Uit de studie volgen onder andere de beregeningskosten van een haspelinstallatie voor een bepaald bouwplan (geen grasland) onder gemiddelde klimatologische omstandigheden en voor het daar voorkomende gemiddelde profieltype. De bedrijfsgrootte wordt gevarieerd en bedraagt 20 respectievelijk 40 ha. Het blijkt dat de kosten per ha van beide bedrijven nage-

noeg overeenkomen. De factor arbeid is niet als een aparte kostenpost beschouwd.

- Petruschell, R.L.; e.a.; Policy Analysis of Water Management for the Netherlands Vol. XIII, Models for Sprinkler irrigation system design, cost and operation; The Rand Corporation, March 1982

Met behulp van computermodellen worden onder andere de beregeningskosten geminimaliseerd. Uit de onderscheiden typen beregeningsinstallatie wordt aldus die installatie gekozen waarvan de kosten bij een bepaald bedrijfstype het geringst zijn. De verschillende bedrijfsomstandigheden in de onderscheiden regio's worden bepaald aan de hand van statistisch materiaal van het Centraal Bureau van de Statistiek. Bij deze berekening wordt uitgegaan van gemiddelde klimatologische omstandigheden en een vochttekort van 90 mm. Verder wordt de factor arbeid als een aparte kostenpost opgevoerd.

In de vergelijking (tabel 3) worden de beregeningskosten gepresenteerd van grasland als gemiddelde van de onderscheiden regio's. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen berekening met oppervlakte- en grondwater.

Het aantal beregeningsinstallaties per regio komt overeen met de situatie in 1976.

In tabel 3 wordt een overzicht gegeven van de beregeningskosten. De in de onderscheiden studies berekende beregeningskosten zijn niet gebaseerd op één prijsniveau. Als basis voor de vergelijking van deze kosten is daarom het prijspeil van 1980 aangehouden hetgeen via de prijsindex van de ver-

schillende kostenposten is bereikt. In de tabel wordt onderscheid gemaakt tussen vaste en variabele kosten. Onder vaste kosten worden verstaan de jaarlijkse kosten aan afschrijving, rente en onderhoud. De variabele kosten omvatten de energiekosten en de eventuele arbeidskosten.

Als eenheid voor de vaste kosten is gekozen het aantal guldens dat één extra beregeningsgift kost per ha, terwijl de variabele kosten zijn uitgedrukt in het aantal guldens per mm per ha ofwel het aantal guldens per 10 m³ per ha.

	vaste kosten per jaar in guldens per ha per gift	variabele kosten per mm per ha in guldens
Doornbos, en anderen, 1977		
6 ha met buizeninstallatie	53	1,12
6 ha met haspelinstallatie	217	2,32
9 ha met buizeninstallatie	50	1,09
9 ha met haspelinstallatie	151	2,32
12 ha met buizeninstallatie	46	1,02
12 ha met haspelinstallatie	117	2,50
Werkgroep Watervoorziening Drenthe, 1979		
15 ha met haspelinstallatie	145	1,37
Notitie Rijk, 1980		
buizeninstallatie	40	3,17
haspelinstallatie	120	1,73
Werkgroep landbouw, 1982		
20 en 40 ha met haspelinstallatie	77	2,87
Petruschell, en anderen, 1982		
oppervlaktewater	59	2,26
grondwater	93	2,26

Tabel 3 - Overzicht van de beregeningskosten op basis van het prijspeil in 1980

Ter verduidelijking van de manier waarop de in tabel 3 vermelde beregeningskosten zijn berekend, wordt het volgende voorbeeld uit het rapport van Doornbos e.a. (1977) aangehaald. In dit rapport worden de vaste kosten, ingeval er 12 ha met een haspelinstallatie wordt berekend, gesteld op f 5.987,--. Verder is berekend dat het aantal giften per jaar gemiddeld 4,35 bedraagt, zodat wanneer door grondwaterwinning ten behoeve van de drinkwatervoorziening één extra gift noodzakelijk is, het aantal giften 5,35 bedraagt.

Door de jaarlijkse vaste kosten te delen door het aantal giften (5,35) en het aantal beregende ha en door tenslotte een correctie uit te voeren voor het prijspeil van 1980 worden de vaste kosten van één extra gift per jaar bepaald. Deze bedragen in dit geval f 117,--. Hierbij is dus verondersteld dat er een lineair verband bestaat tussen de vaste kosten en het aantal giften.

Bij het in beschouwing nemen van de in tabel 3 weergegeven berekeningsresultaten valt de variatie in de jaarlijkse kosten op.

Het blijkt dat de vaste kosten voor de eerste extra gift bij een buizeninstallatie variëren tussen f 58,-- en f 40,-- per ha (gemiddeld f 49,--). De variabele kosten bedragen f 3,17 à f 1,02 per mm per ha (gemiddeld f 2,10). Dit toch vrij grote verschil in variabele kosten wordt vooral veroorzaakt door het al dan niet opnemen van de arbeidskosten.

Het blijkt dat de vaste kosten van een haspelinstallatie beduidend hoger zijn, dan die, van een buizeninstallatie. Deze kosten variëren namelijk tussen f 217,-- en f 77,-- per ha voor de eerste extra gift. Aannemende dat uit kosten oogpunt op een oppervlak van 6 ha niet met een haspelinstallatie wordt berekend, dan bedragen de vaste kos-

ten f 151,-- à f 77,-- per ha (gemiddeld f 114,--)
voor de eerste extra gift. De variabele kosten van
de haspelinstallatie schommelen tussen f 2,87 en
f 1,03 per mm per ha (gemiddeld f 1,95). Bij de
vergelijking van de kosten van beregening is zo-
veel mogelijk uitgegaan van de gegevens in de be-
treffende rapporten. Hierdoor ontstaan naast ver-
schillen in aanschafprijzen, onderhoudskosten,
rentekosten onder andere verschillen vanwege:

1. de grootte van het beregende areaal;
2. het al dan niet als kostenpost opvoeren van de
factor arbeid;
3. de omvang van het vochttekort;
4. de te beregenen gewassen.

Over het al dan niet opvoeren van arbeid als kos-
tenpost nog het volgende. De reden dat in een aan-
tal studies de factor arbeid niet als een kosten-
post wordt beschouwd, ligt onder meer in het feit
dat ten tijde van een droge periode de werkzaam-
heden op een gemiddeld nederlands landbouwbedrijf
beperkt zijn. De arbeid nodig voor het beregenen
kan met de op het familiebedrijf aanwezige ar-
beidskrachten worden uitgevoerd.

De waarde van deze arbeid komt overeen met zijn
alternatieve produktiewaarde. Deze alternatieve
waarde kan erg klein zijn.

Ingeval gewasschade op basis van de extra berege-
ningskosten wordt vergoed, kunnen 2 standpunten
worden onderscheiden, namelijk:

1. De jaarlijkse vaste kosten worden evenredig
over de extra gift(en) per jaar verdeeld vanwe-
ge de extra slijtage van de beregeningsappara-
tuur.
2. De jaarlijkse vaste kosten worden niet in de
kosten voor de extra beregeningsgift(en) ver-
disconteerd.

Bij beide standpunten wordt ervan uitgegaan dat de jaarlijkse vaste kosten niet of nauwelijks beïnvloed worden door het aantal giften per jaar. Er wordt dus onder andere aangenomen dat de technische levensduur groter is dan de economische, zodat op basis van de economische levensduur moet worden afgeschreven. Beide standpunten verschillen doordat bij het eerste de jaarlijkse vaste kosten evenredig over het aantal beregeningsgiften, inclusief de extra gift(en), worden verdeeld, terwijl in het tweede geen vaste kosten aan de extra beregeningsgiften worden toegekend.

Standpunt 2 kan worden toegepast als er (nagenoeg) geen causaal verband bestaat tussen de vaste kosten van beregening en de grondwaterwinning ten behoeve van de openbare drinkwatervoorziening. Dergelijke situaties treden op indien wordt aangenomen dat op goed geleide bedrijven beregeningsinstallaties onontbeerlijk zijn, zoals bij tuinbouwbedrijven wordt verondersteld of indien vóór de winning van grondwater voor de openbare drinkwatervoorziening de gewassen reeds kunstmatig van water werden voorzien. Verder moet, zoals is verondersteld, de economische levensduur kleiner zijn dan de technische.

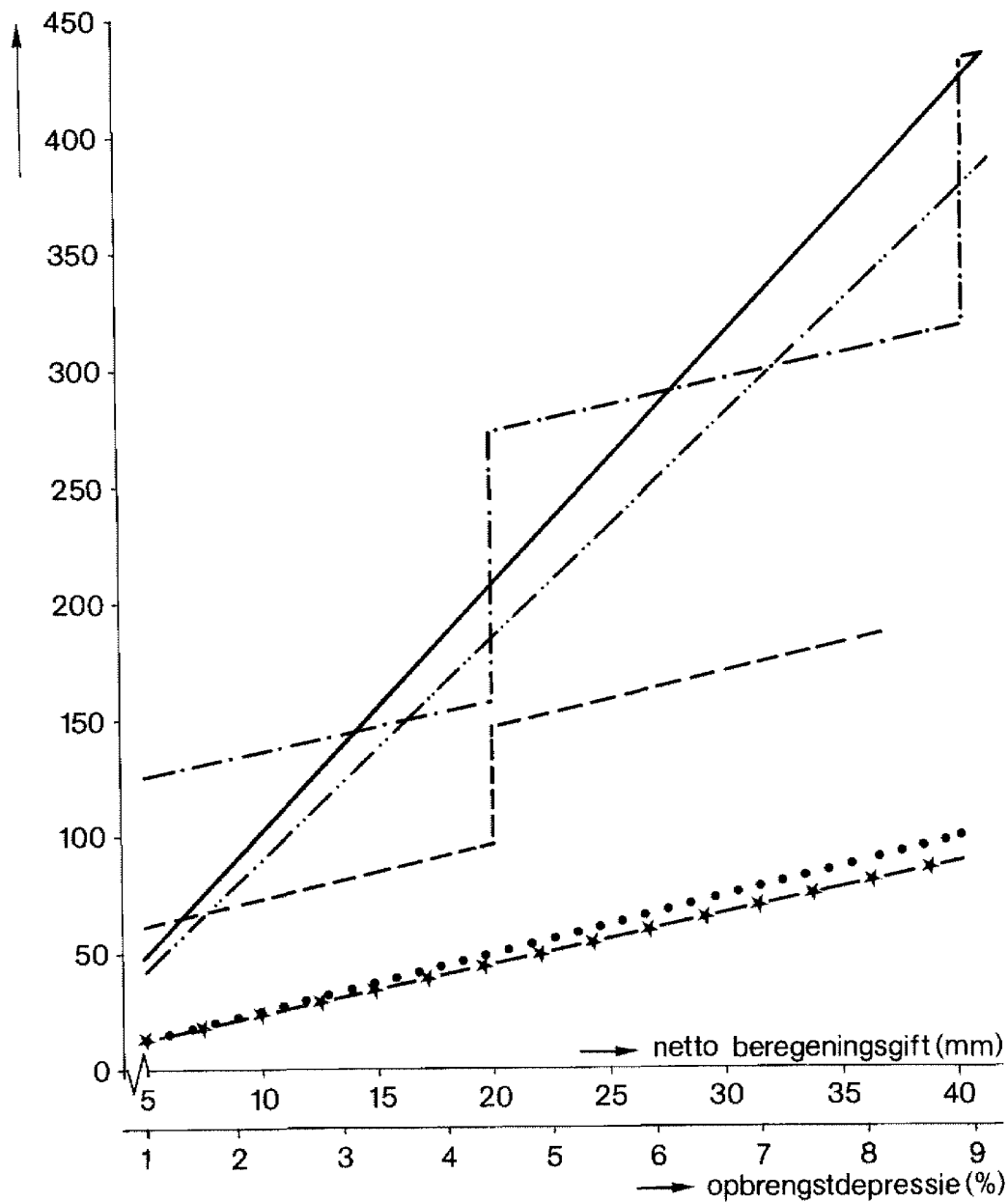
Ter vaststelling van het moment waarop het aantrekkelijk wordt de vergoeding van landbouwschade te berekenen op basis van de extra beregeningskosten, moet de opbrengstderving ten gevolge van vochttekort worden bepaald. Hierbij wordt uitgegaan van de door de Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven (CoGroWa) opgestelde norm, die voor 1980 per procent opbrengstdepressie f 47,67 per ha bedroeg. Op deze manier kan een kosten-baten analyse worden gemaakt zowel voor uitgangspunt

1 als 2, waarbij de baten van beregening overeenkomen met de genoemde norm van CoGroWa. Een en ander betekent dat indien de kosten van beregening geringer zijn dan de opbrengsten, het voor het waterleidingbedrijf aantrekkelijk kan zijn de gewaschade te vergoeden op basis van de extra beregeningskosten.

Beginnend bij uitgangspunt 1 kunnen, uitgaande van een extra netto-beregeningsgift van bijvoorbeeld 20 mm, de gemiddelde vaste kosten voor een buizeninstallatie worden gesteld op f 49,-- per ha en voor een haspelinstallatie op f 114,--. Omdat er verliezen optreden kunnen niet rechtstreeks de totale gemiddelde kosten van deze extra gift worden bepaald. Immers, indien er een beregeningsverlies optreedt van bijvoorbeeld 15 %, nemen de variabele kosten overeenkomstig toe.

De gemiddelde variabele kosten van een netto beregeningsgift van 1 mm bedragen derhalve voor een buizeninstallatie f 2,42 (2,10x1,15) en voor een haspelinstallatie f 2,24 (1,95x1,15) (zie bladzijden 63 en 64). In figuur 3 zijn op de verticale as, de opbrengsten per ha volgens de CoGroWa-norm en de beregeningskosten vermeld. Op de horizontale as is naast de netto-beregeningsgift de opbrengstdepressie in procenten weergegeven. Voor het vaststellen van de opbrengstdepressie is een potentiële verdamping tijdens het groeiseizoen van gras (180 dagen) van 450 mm verondersteld hetgeen overeenkomt met de verdamping in een gemiddeld droog groeiseizoen. Dit betekent dat er per procent opbrengstdepressie een verdampingsreductie optreedt van 4,5 mm. In de grafiek is weergegeven de relatie tussen de vergoeding en de opbrengstdepressies in fl./ha, alsmede het verband tussen beregeningskosten bij 2 typen installatie en de beregeningsgift.

kosten/opbrengsten per ha



15055 01 40

Figuur 3 - De beregeningskosten versus de oorspronkelijke en de huidige berekende graslandopbrengst (CoGroWa, 1984) (Prijspeil 1980)

- aanname 1:
- de vergoeding in guldens per ha volgens de oorspronkelijke berekening van CoGroWa
 - .-.-.- de vergoeding in guldens per ha volgens de huidige berekening (CoGroWa 1984)
- aanname 2:
- - - - de gemiddelde vaste en variabele kosten van een buizeninstallatie
 - .-.-.-.- de gemiddelde vaste en variabele kosten van een haspelinstallatie
 - *-*-*-* de gemiddelde variabele kosten van een buizeninstallatie
 - de gemiddelde variabele kosten van een haspelinstallatie

Omdat de beregeningsapparatuur per jaar wordt afgeschreven zijn de vaste kosten afhankelijk van het aantal giften per jaar. Derhalve nemen, uitgaande van uitgangspunt 1 de totale jaarlijkse kosten sprongsgewijs toe.

Uit figuur 3 blijkt dat, uitgaande van uitgangspunt 1, de kosten van berekening (vaste plus variabele kosten) reeds bij een beregeningsgift van 7 à 8 mm geringer worden dan de veroorzaakte opbrengstvergroting. Voor het waterleidingbedrijf betekent dit, dat vanaf een vochttekort van ruwweg 2 % het aantrekkelijk wordt om op basis van beregeningskosten de veroorzaakte opbrengstdepressie te vergoeden.

Ondanks de hoge vaste kosten van een haspelinstallatie zijn, met uitzondering van bepaalde beregeningsgiften, de totale kosten lager dan de veroorzaakte opbrengstvergroting. Derhalve is het compenseren van opbrengstdepressie ten gevolge van vochttekort op basis van de kosten van een haspelinstallatie slechts in bepaalde omstandigheden aantrekkelijk.

Indien van uitgangspunt 2 wordt uitgegaan, dan nemen de variabele kosten lineair toe met de omvang van de beregeningsgift. Zoals reeds is aangegeven bedragen deze kosten voor een buizeninstallatie f 2,42 per mm en voor een haspelinstallatie f 2,24.

Uit de in figuur 3 geschetste grafiek blijkt, dat dienovereenkomstig de kosten van berekening altijd beduidend geringer zijn dan de vergoeding berekend op basis van de opbrengst volgens de CoGroWa-norm. Uit eerder uitgevoerde berekening volgt dat de kosten tengevolge van beide standpunten zeer uiteenlopen. Beide uitgewerkte uitgangspunten kunnen

dan ook gezien worden als een maximum respectievelijk minimum regeling met vele mogelijkheden daartussen.

CoGroWa (1984) heeft de door haar gehanteerde opbrengstnormen aangepast. Door deze aanpassing wordt met een lagere grasopbrengst (fl.) per ha gerekend en er ontstaat een vrij grote jaarlijkse opbrengstfluctuatie (Van der Velde, 1984). Hoewel door deze berekende verlaagde opbrengst van grasland de toepasbaarheid van berekening als compenserende maatregel zou kunnen afnemen heeft deze voor zover nu bekend geen of nauwelijks invloed op het hiervoor geschetste beeld.

3.4 Gevolgen van berekening voor de drinkwaterwinning

In paragraaf 3.1 is reeds de stormachtige ontwikkeling in de aanschaf van beregeningsapparatuur genoemd. Er zijn een aantal onderzoeken waaruit de toename van beregeningsapparatuur in de land- en tuinbouw blijkt. Van Boheemen en De Wilde (1979) hebben de omvang van berekening en bevoeiing in het extreem droge jaar 1976 onderzocht. In dit onderzoek is onderscheid gemaakt tussen berekening uit grond- en oppervlaktewater.

Grondwaterwinning door waterleidingbedrijven vindt vooral in zandgebieden plaats. Vandaar dat voor het Zuidelijk en Oostelijk Zandgebied (indeling volgens het Landbouw Economisch Instituut) een vergelijking is gemaakt tussen de hoeveelheid opgepompt grondwater ten behoeve van berekening en ten behoeve van de drinkwatervoorziening (Overmars B., Velde, G. van der, 1982). In tabel 4 wordt een overzicht gegeven van het gebruik van grondwater voor de land- en tuinbouw en voor de drinkwatervoorziening.

Tabel 4 - Overzicht van het gebruik van grondwater voor de land- en tuinbouw en de drinkwatervoorziening in 1976 (uitgedrukt in 10⁶ m³)

Landbouw gebied (1)	Oppervlakte in 100 ha	Berekening in 1976 excl. glas-tuinbouw(2)	Drinkwaterwinning tijdens 120 dagen van het groeiseizoen(3)	Drinkwaterwinning in 1976 (3)
Oostelijk zandgebied	2044	65,9	28,7	77,7
Zuidelijk zandgebied	3011	179,6	74,9	203,3

1. Gebiedsindeling volgens de indeling van het Landbouw Economisch Instituut, 1979
2. Beregeningsomvang op basis van gegevens van Van Boheemen, 1979
3. Gewonnen hoeveelheid drinkwater op basis van gegevens van de VEWIN.

Het blijkt dat tijdens de beschouwde periode van 120 dagen de onttrekking ten behoeve van beregening een factor 2 à 3 groter is geweest dan die ten behoeve van de drinkwatervoorziening. Over het gehele jaar genomen is de drinkwaterwinning weliswaar groter (+ 15 %), doch ligt in dezelfde orde van grootte.

Het jaar 1976 is een extreem droog jaar geweest en derhalve niet maatgevend. Echter gezien de ontwikkelingen in de landbouw mag worden verwacht dat de vraag naar grondwater vanuit de landbouw verder zal toenemen. Deze ontwikkeling wordt eveneens door de Studiecommissie Waterbehoefte Land- en Tuinbouw (SWLT) (1980) voorzien. Dit blijkt uit haar rapport waarin, vanwege de moeilijkheid de

waterbehoefte van de land- en tuinbouw te voorspellen, drie scenario's worden beschreven die een schatting geven van het toekomstig grondwaterverbruik. In tabel 5 zijn deze scenario's voor twee droogteklassejaren weergegeven.

Eveneens is vermeld de prognose van de drinkwaterbehoefte die met grondwater moet worden gedekt.

Tabel 5 - Prognoses behoefte grondwater ten behoeve van beregening en drinkwatervoorziening in 10^6 m³ in 1990 (1)

Landbouw- gebied	Prognose grondwateronttrekkingen tbv beregening (2)						Prognose drinkwater- winning tijdens 120 dagen van het groei- seizoen	Prognose drinkwa- terwin- ning (3) op jaar- basis
	10 % droog jaar			5 % droog jaar				
	min.	tussen	max.	min.	tussen	max.		
Oostelijk zandgebied	19	52	86	33	92	150	34	91
Zuidelijk zandgebied	76	143	208	111	207	303	86	232

1. Uit de tekst van het rapport van de Studiecommissie blijkt dat de prognoses voor het jaar 1990 zijn opgesteld.
2. De verhouding oppervlakte-, grondwaterwinningen is overeenkomstig 1976.
3. Op grond van gegevens van de VEWIN op jaarbasis.

Uit tabel 5 blijkt dat de prognoses voor de landbouw sterk uiteenlopen. Indien wordt uitgegaan van het tussenscenario dan is de landbouwbehoefte in

een 10 % droogteklassesjaar ruwweg de helft van de drinkwaterbehoefte. In een 5 % droog jaar komt deze behoefte ongeveer overeen met die aan drinkwater.

De Studiecommissie Waterbehoefte Land- en Tuinbouw heeft de verwachte hoeveelheden te onttrekken grondwater ten behoeve van beregening opgeteld bij die hoeveelheid ten behoeve van de drinkwatervoorziening. De som is vergeleken met de winbaar geachte hoeveelheid grondwater. Met name in de provincies Groningen, Utrecht, Noord-Holland, Zeeland en Noord-Brabant mag volgens de Studiecommissie een toekomstig (1990) tekort aan grondwater verondersteld worden.

Hoewel het rechtstreeks sommeren van de grondwaterstandsdingen ten gevolge van beide type onttrekkingen onjuist is (zie paragraaf 3.5) is het wel duidelijk, dat bij de verwachte ontwikkeling van beregening en ingeval de geraamde winbare hoeveelheid grondwater als strikte grens wordt gehanteerd, de hoeveelheid beschikbaar grondwater voor de drinkwatervoorziening in gevaar kan komen. Het eventueel toepassen van beregening als compensatiemaatregel moet in de hiervoor omschreven context benaderd worden. Gezien de beleidsmatige aspecten van een dergelijke afweging wordt hier niet verder op ingegaan.

3.5 Grondwaterstandsdingen door beregening met grondwater

Gezien tegen de achtergrond van de (verwachte) ontwikkelingen, als beschreven in paragraaf 3.4, is het belangrijk kennis en inzicht te krijgen in de grondwaterstandsdingen ten gevolge van beregening uit grondwater.

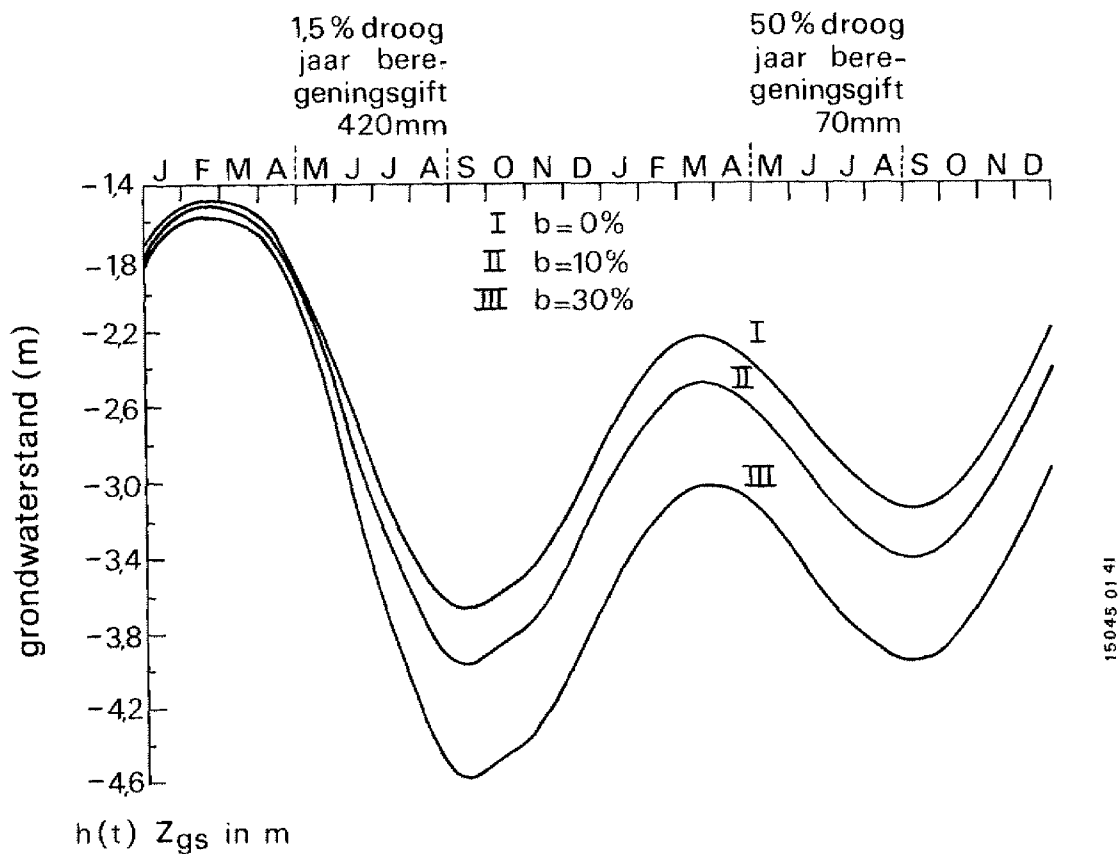
Ernst en Feddes (1979) berekenen de verlaging ten

gevolge van onttrekkingen ten behoeve van berekening en de drinkwatervoorziening voor een modelgebied van 10.000 ha waarbij de winningen uit het freatisch pakket plaatsvinden. De onttrekking ten behoeve van de drinkwatervoorziening is op 8 miljoen m³/jaar gesteld, terwijl verondersteld is dat op 10 % van het gebied gedurende 120 dagen 200 mm wordt beregend. Verder is op basis van lysimeteronderzoek aangenomen dat per cm grondwaterstands daling een verdampingsreductie van 7 mm ontstaat. Uit de berekeningen blijkt dat door de onttrekkingen ten behoeve van berekening een verdampingsreductie op de niet beregende percelen wordt bewerkstelligd van 8 mm. Indien wordt aangenomen dat, in plaats van 10 %, 30 % wordt beregend, dan bedraagt de verdampingsreductie op de niet beregende percelen circa 24 mm. De verdampingsreductie ten gevolge van onttrekking voor de drinkwatervoorziening bedraagt 26 mm en ligt dus in dezelfde orde van grootte als de verdamping ten gevolge van de situatie waarin 30 % van het gebied wordt beregend.

In het kader van het onderzoek van de Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland is eveneens de invloed van berekening op de grondwaterstand berekend. Deze berekening is voor de Achterhoek onder andere voor de jaren 1971, 1972 en 1973 met het GELGAM-model uitgevoerd. De berekeningsgift is bepaald uit het verschil tussen de potentiële en actuele verdamping waarbij is aangenomen dat 50 % van het landbouwareaal is beregend. De berekeningen toonden aan dat de vochttekorten in de drie genoemde jaren respectievelijk 39, 0 en 49 mm waren. Dit resulteerde in grondwaterstandsverlagingen van 5 à 20 cm (Awater, de Laat, 1980). Bij deze berekening is verondersteld dat de waterlopen het gehele jaar door een constant peil heb-

ben zodat ten tijde van vochttekort oppervlaktewater infiltreert.

Van der Giessen (1980) heeft analytisch de invloed van beregening en drinkwaterwinning op de grondwaterstand, voor een situatie voorkomend in Noord-Brabant, berekend. Voor verschillende droogteklasseringen is een netto beregeningsgift aangenomen.



Figuur 4 - Berekend grondwaterstandsverloop voor hoge zandgronden voor een 1,5 % droog jaar, gevolgd door een 50 % droog jaar bij verschillende waarden voor het percentage beregend oppervlak (b = % beregend oppervlak) (Uit: Van der Giessen, ICW-nota 1183)

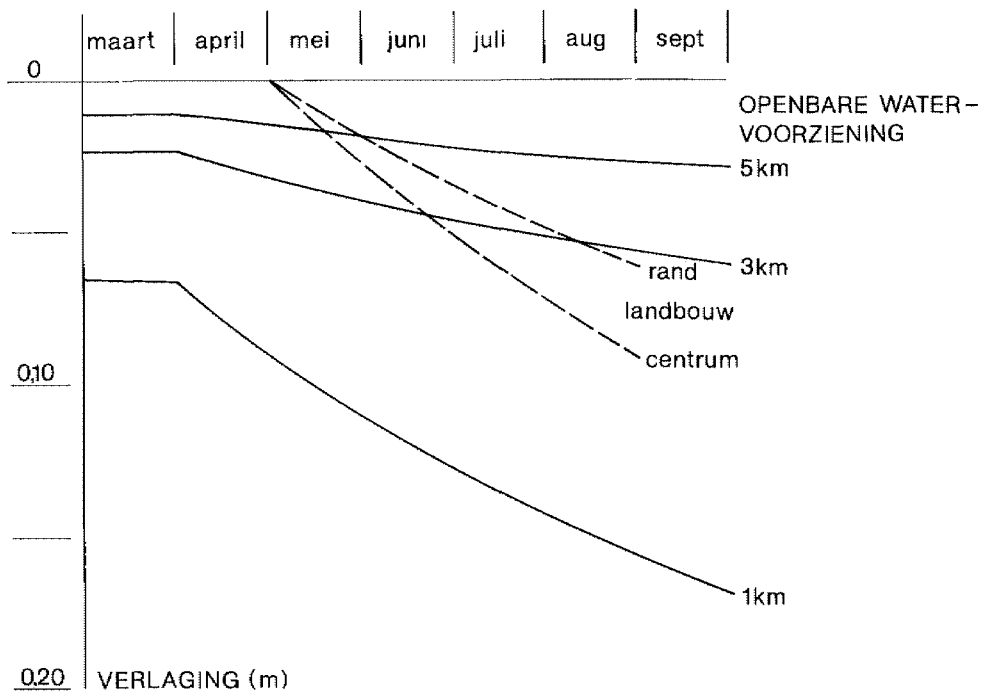
Uit de berekeningen blijkt (zie figuur 4) dat de grondwaterstanden na verlaging ten gevolge van onttrekkingen voor beregening op de lage zandgronden in de meeste gevallen tijdens de winterperiode op het oorspronkelijke niveau terugkomen. Dit in tegenstelling tot de hoge zandgronden waar afhankelijk van het droogteklassejaar geen volledig herstel optreedt.

Onttrekkingen ten behoeve van beregening zijn verspreid en niet permanent, terwijl grondwaterwinningen ten behoeve van de drinkwatervoorziening permanent en geconcentreerd zijn. Dit levert verschillende hydrologische effecten op. Van Lanen (1981) berekent voor een 2-lagensysteem (Gelderse vallei) de verlaging van het grondwater ten gevolge van beregening met een niet-stationaire oplossingsmethode.

De onttrekkingshoeveelheid voor de drinkwatervoorziening is op 11.000 m³/dag gesteld. Op jaarbasis is de beregeningsomvang hieraan gelijkgesteld zodat gedurende de 4 maanden van beregening, 33.000 m³/dag wordt onttrokken. De berekende verlagingen als gevolg hiervan zijn in figuur 5 geschetst.

Uit figuur 5 blijkt dat gedurende het zomerhalfjaar er gebieden zijn waar de verlagingen ten gevolge van beregening groter zijn dan die veroorzaakt door onttrekkingen ten behoeve van de drinkwatervoorziening.

In hetzelfde artikel gaat Van Lanen in op het aspect dat onttrekkingen van grondwater verdampingsreducties kunnen veroorzaken op niet beregende percelen. Aangenomen is dat 50 % van het beschouw-



15045 02 41

Figuur 5 - Het verloop van de grondwaterstandsverlaging ten gevolge van de winning van dezelfde hoeveelheid grondwater ten behoeve van grondwateronttrekkingen voor de drinkwatervoorziening en voor de beregening van landbouwgewassen (Uit: Van Lanen, H₂O 16/81)

de modelgebied wordt beregend. In geval van een 50 % droogzomerhalfjaar heeft dit op de niet beregende percelen een verdampingsreductie tot gevolg van 0,7 à 1,2 %. In een 10 % droogzomerhalfjaar ligt de verdampingsreductie tussen de 1,6 en 2,4 %.

Van Lanen (1983 (a)) heeft de invloed van beregening met grondwater die op de hoge- en middelhoge gronden plaatsvindt, op de laaggelegen gronden berekend. Hiertoe heeft hij uitgaande van een beek, een systeem van lage-, middelhoge- en hoge gronden onderscheiden, zoals dat in Oost-Gelderland zou

voorkomen.

Voor de jaren 1971 tot en met 1980 zijn de watergiftten vastgesteld en verder is het percentage oppervlak dat wordt berekend gevarieerd overeenkomstig het tussen en maximum scenario van de Studiecommissie Waterbehoefte Land- en Tuinbouw (40 respectievelijk 65 % van de oppervlakte cultuurgrond). Uit de berekening blijkt dat de grondwaterstandsverlaging op de hoge gronden 1-65 cm, op de middelhoge gronden 1-51 cm, en op de lage gronden 0-17 cm bedraagt. De verlaging ten gevolge van berekening aan het begin van het seizoen is respectievelijk 0-11 cm, 0-8 cm, en 0-3 cm. Op de niet beregende percelen is de verdampingsreductie uitgerekend. Deze reductie was in 1976 het grootst en bedroeg op de hoge gronden maximaal 3,4 %, op de middelhoge gronden maximaal 5,0 % en op de lage gronden maximaal 5,5 %.

Van Lanen heeft met het model Gelgam (1983 (b)) de invloed van kunstmatige berekening voor het studiegebied Sleen gesimuleerd. Hierbij zijn 2 situaties te onderscheiden, namelijk het jaar 1977 waarin 350.000 m³ werd onttrokken en een 10 % droog jaar waarbij de onttrekking voor berekening op 1.100.000 m³ werd gesteld. In het 10 % droog jaar is de grootste stijghoogte verlaging verkregen, namelijk bijna 30 cm. In ditzelfde droge jaar is de totale verdampingsreductie op de niet beregende percelen ten gevolge van de grondwateronttrekkingen gemiddeld 1 mm. Op de beregende percelen bedraagt de verdampingstoename 29 mm.

Zweegman (1982) wijst eveneens op verschillen tussen onttrekkingen voor berekening en drinkwatervoorziening en concludeert onder andere dat het simpelweg optellen van de onttrokken hoeveelheden voor beide doeleinden onjuist is. In het volgende

overzicht staan enkele kenmerkende aspecten van beide typen grondwateronttrekkingen.

	<u>Berekening uit</u> <u>grondwater</u>	<u>Grondwaterwinning</u> <u>tbv. drinkwaterv.</u>
- Periode van winning	tijdens groeiseizoen (discontinu)	hele jaar door (continu)
- Onttrekkingshoeveelheid per dag, week, maand	sterk klimaatsafhankelijk	bijna onafhankelijk van klimaat
- Capaciteit per installatie	plm. 50 m ³ /h	plm. 50 m ³ /h per put
- Totale onttrekkingshoeveelheid per jaar	variërend met droogteklasse jaar	geringe variatie van jaar tot jaar
- Situering	door hele gebied gespreid	meer geconcentreerd
- Diepte filters beneden maaiveld	veelal ondiep (circa 15 m)	veelal diep (> 40 m)
- Filterplaatsing t.o.v. afdekkende (weerstandbiedende) lagen	als regel er boven	bij voorkeur er onder
- Gevolgen voor ondiepe grondwaterstand	veelal ingrijpend en moeilijk controleerbaar	beperkt en goed bekend (zie schaderegelingen)
- Relatie met wetgever	moeizaam: groot aantal particulieren	eenvoudig: beperkt aantal (semi) overheidsbedrijven

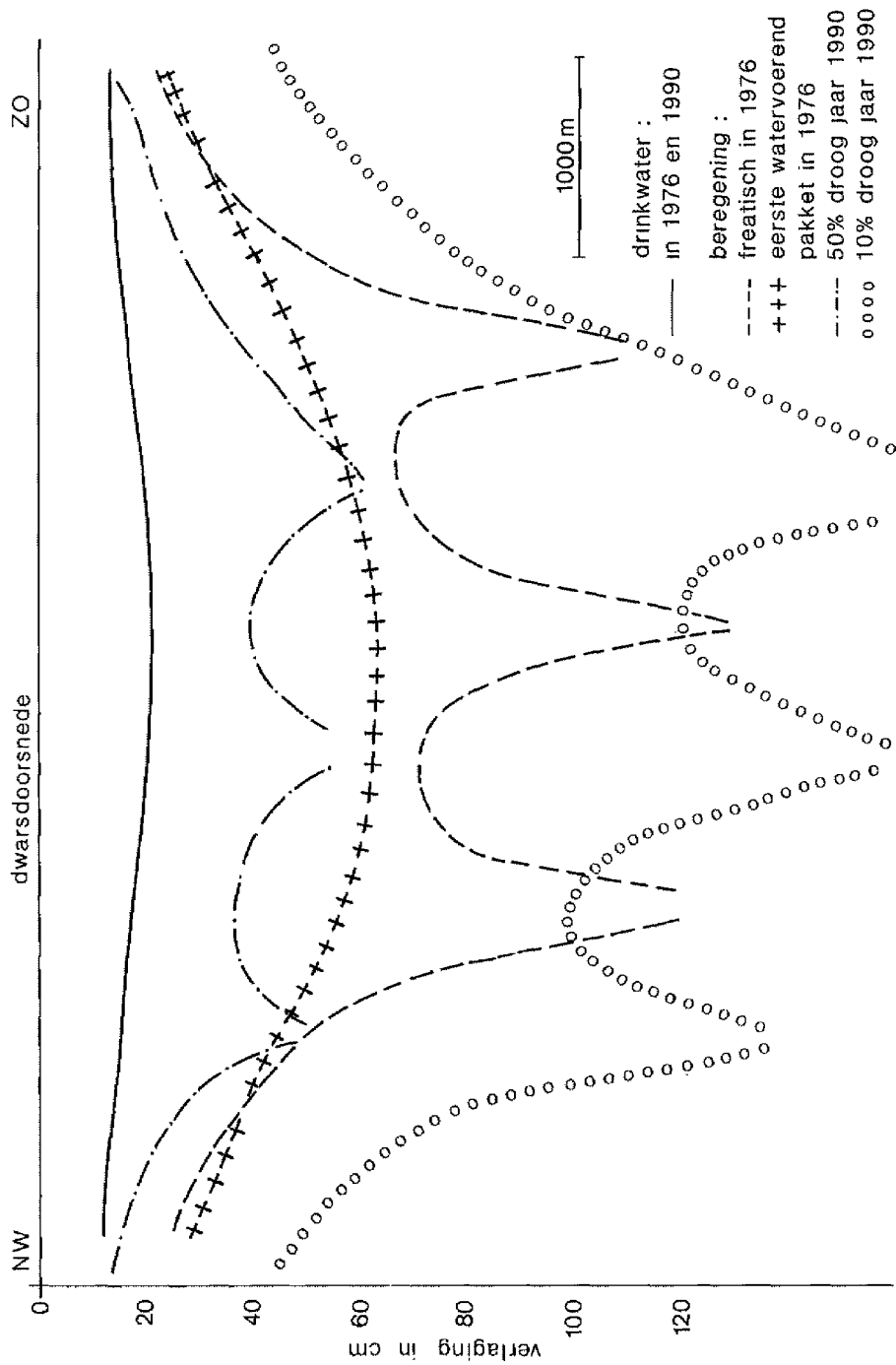
	<u>Berekening uit grondwater</u>	<u>Grondwaterwinning tbv. drinkwaterv.</u>
- Controle op ontwikkeling	moeilijk, wetgeving in kinderschoenen	door Grondwaterwet volledig onder controle
- Gevolgen voor derden	ingrijpend, te beginnen voor boer, die niet beregent (geen schade-regeling)	veelal beperkt (zo nodig schade-regeling)

Tot slot worden nog de berekeningsresultaten genoemd van een studie van Overmars en Van der Velde (1982). In deze studie zijn voor een modelgebied de verlagingen van het grondwater ten gevolge van berekening en drinkwaterwinning bepaald. Hierbij is zoveel mogelijk uitgegaan van een praktijk-situatie.

Met het ontwikkelde numerieke model zijn voor een drielagensysteem de verlagingen berekend.

De drinkwaterwinning vond uit de derde watervoe-rende laag plaats en de berekening uit de eerste of een combinatie van de eerste en tweede water-voerende laag. Tussen de tweede en derde watervoe-rende laag bevindt zich een erg slecht doorlatende laag ($C_2 = \pm 10.000$ dagen). Voor beide onttrek-kingen wordt een stationair stromingsproces veron-dersteld.

De berekening is voor twee situaties uitgevoerd. In de eerste berekening wordt het verlagingsbeeld vastgesteld zoals dat in 1976 in het modelgebied is opgetreden. Vervolgens worden voor een toekomstige situatie (1990) de verlagingen van beide ty-pe winningen in hetzelfde modelgebied voorspeld.



Figuur 6 - Verlaging van het freatisch vlak van het modelgebied

In figuur 6 worden via een doorsnede van het modelgebied de verlagingen voor beide type onttrekkingen in 1976 respectievelijk 1990 weergegeven. Uit deze figuur blijkt dat slechts sprake is van een diffuus onttrekkingsbeeld in geval onder slecht doorlatende pakketten grondwater opgepompt wordt. Verder toont figuur 6 dat zowel de verlagingen veroorzaakt door beregening in 1976 als in 1990, de verlagingen veroorzaakt door de onttrekkingen ten behoeve van drinkwatervoorziening overtreffen. Tot slot zij nog opgemerkt dat het verlagingsbeeld ten gevolge van de onttrekkingen voor beregening in 1976 en 1990 verschillen mede doordat het aantal putten waaruit grondwater wordt onttrokken is toegenomen. Hierdoor treden de maximale verlagingen in beide jaren op verschillende plaatsen op.

Zoals reeds is aangegeven, wordt in deze berekening van een stationaire situatie uitgegaan. In werkelijkheid zal zich geen stationaire situatie instellen omdat intermitterend wordt gepompt. Bij gebruik van een buizeninstallatie, zullen namelijk na \pm 2 uur beregenen de sproeiers verplaatst dienen te worden. Onder andere afhankelijk van de beregeningsapparatuur en de afstand waarover de sproeiers verplaatst moeten worden, is hiervoor 15 tot 120 minuten nodig. Ten tijde van de verplaatsing wordt de pomp uitgezet zodat het toestromende grondwater de gevormde afpompingsstrecther gaat opvullen. Dit proces herhaalt zich een aantal keren per dag. Omdat over het algemeen s'nachts niet wordt beregend zal met name s'nachts het grondwater de tijd krijgen de ontstane trechter in het grondwaterniveau op te vullen.

Bij gebruik van een haspelinstallatie wordt na \pm 8 uur de pomp uitgeschakeld om de apparatuur te verplaatsen. Door deze langere inschakelduur kan

's nachts makkelijker beregend worden. Verder is de verplaatsingstijd geringer (15 à 60 minuten). Naast het intermitterend pompen kan eveneens instationairiteit van het stromingsproces ontstaan doordat alleen in droge perioden tijdens het groeiseizoen wordt beregend.

Tot nog toe is in de modelberekeningen de instationaire toestroming van grondwater bij grondwateronttrekkingen ten behoeve van berekening niet dan wel gedeeltelijk benaderd.

Het lijkt zinvol dit instationaire proces in de modelberekeningen te bouwen of althans te verifiëren wat het effect ervan is op de grondwaterstand.

3.6 Conclusies en aanbevelingen

Het in Nederland heersende klimaat veroorzaakt gemiddeld gezien van april tot medio juli een verdampingoverschot. Vanwege de hogere eisen die de landbouwer aan de ontwatering stelt, zijn en worden vele ontwateringswerken uitgevoerd waardoor de drooglegging van de gronden toeneemt. Hierdoor neemt de kans op vochttekort tijdens het groeiseizoen toe.

Vanwege de wens bedrijfsrisico's te verkleinen, wordt beregeningsapparatuur aangeschaft, ondanks dat slechts in min of meer bijzondere gevallen een dergelijke investering voldoende rendement oplevert.

Berekening als compensatiemaatregel voor de opbrengstdepressie door vochttekort wegens grondwaterstands daling is uit land- en tuinbouwkundig oogpunt een bij uitstek geschikt middel, mits het sproeiwater aan de kwaliteitsnormen voldoet. Wel kunnen negatieve neveneffecten ontstaan, waarbij met name gedacht moet worden aan structuurbederf

in geval onbedekte of onvolledig bedekte grond wordt beregend. Kunstmatige beregening ter behoud van waardevolle natuurgebieden en landschappen lijkt geen geschikt middel te zijn.

Beregening als compensatiemaatregel heeft een extra grondwaterstands daling tot gevolg. Een beslissing omtrent het toepassen van beregening als compenserende maatregel moet in deze context worden genomen.

Bij de toepassing van beregening als compensatiemaatregel blijken de vaste en variabele kosten van een buizeninstallatie, beginnend bij een opbrengstdepressie van ruwweg 2 %, minder te zijn dan de gebruikelijke uitgekeerde vergoedingen ten gevolge van opbrengstdepressie door vochttekort. Met name vanwege de hoge vaste kosten van een haspelinstallatie zijn afwisselend de totale kosten groter dan de uitgekeerde vergoedingen en omgekeerd. Worden de extra kosten van beregening echter gelijk gesteld aan de extra variabele kosten, zoals voor tuinbouwgewassen gebruikelijk is dan liggen de extra beregeningskosten beduidend lager dan de gebruikelijke uitgekeerde vergoedingen.

Door de recente actualisering van de landbouwschaderegelingen is de opbrengst van grasland (fl.) op een lager niveau gesteld. De verlaging lijkt niet van dien aard te zijn dat de hiervoor getrokken conclusies dienen te worden herzien.

De grondwaterstands daling (veroorzaakt door beregening met grondwater) is tot nu toe modelmatig berekend. Gezien de bij deze berekeningen gehanteerde aannamen en de uiteenlopende resultaten is een verificatie door onderzoek op praktijkschaal gewenst.

4 INFILTRATIE DOOR MIDDEL VAN RETOURPUTTEN

4.1 Algemeen

In geval van grondwateronttrekking ontstaat een verlaging van de stijghoogte van het grondwater. Dit geeft een verhoging van de korrelspanning in de bodem, waardoor met name de klei- en veengronden gaan zetten. Voor gebouwen en of kunstwerken kan dit aanleiding geven tot zettingsschade. Verder treedt er een grondwaterstandsverlaging op waardoor opbrengsten van landbouwgewassen negatief kunnen worden beïnvloed.

Indien de grondwateronttrekking ten doel heeft een bouwput droog te houden, doet zich de vraag voor waar het opgepompte water moet worden geloosd.

Gezien het bovenstaande is het niet verwonderlijk dat juist bij de realisering van de civiel-technische werken de gedachte ontstond het opgepompte water weer in de bodem te brengen om zo plaatselijk de stijghoogte op een acceptabel niveau te houden. Men spreekt van retourbemaling.

Ter verbreding van kennis is een studiegroep ingesteld die de problematiek van de retourbemaling heeft beschreven. (Studiegroep retourbemaling 1978). De studiegroep trekt onder meer de conclusie dat de in Nederland uitgevoerde retourbemalingen succesvol zijn verlopen. In een aantal gevallen verstopte de infiltratieput vanwege het vrijkomen van gas of door het uitvlokken van ijzerhydroxyden. Door het aanbrengen van een effectieve ontgassingsinstallatie of door het water onder druk te houden kan eerstgenoemde vorm van verstopping worden voorkomen. De tweede vorm van verstopping kan voorkomen worden indien het ijzerhoudende zuurstofarme water niet in contact wordt gebracht met zuurstof. Er mag dus onder andere geen menging

plaatsvinden met zuurstofrijk water, evenmin mag beluchting optreden.

De waterleidingbedrijven toonden eveneens belangstelling voor de toepassingsmogelijkheden van infiltratie via putten zoals ten behoeve van:

- 1) voorraadvorming door verdringing van brak en zout grondwater;
- 2) kwaliteitsverbetering door bodempassage;
- 3) maatregelen ter compensatie van grondwaterstands dalingen.

Met name de waterleidingbedrijven die winplaatsen exploiteren in het Nederlandse kustduingebied, hebben reeds in een vroeg stadium onderzoek verricht naar de mogelijkheden om het grondwater aan te vullen door middel van putten (persputinfiltratie). In 1970 is daartoe de Werkgroep Persputten ingesteld (Den Blanken, Peters, 1981). Het zwaartepunt van het onderzoek lag aanvankelijk op het leren beheersen van de verstoppingsprocessen en het regenereren van de verstopte putten. Uit het onderzoek bleek, dat bij gebruik van oppervlaktewater de daarin voorkomende zwevende stoffen meestal de oorzaak van verstopping zijn. Een in het kader van het hyperfiltratieproces ontwikkelde meetmethode, de Membraan Filter Index (M.F.I.) bleek als algemene kwaliteitsparameter voor de injecteerbaarheid van water dienst te kunnen doen. Doordat de mate van verstopping aldus voorspelbaar is kan een keus gemaakt worden tussen een uitgebreide voorzuivering of een hoge regeneratiefrequentie (Olsthoorn, 1982a). De andere oorzaken van verstopping (gasvorming, chemische reacties en bacteriegroei) kunnen door preventiemaatregelen, een juist ontwerp en een juiste bedrijfsvoering, worden voorkomen. Geconcludeerd kan worden dat infiltratie van grondwater en voorgezuiverd opper-

vlaktewater via putten mogelijk is. Aangezien retourbemaling met grondwater het eenvoudigst uitvoerbaar is (hierbij is immers geen voorzuivering nodig) is het gewenst voor de toepassingsmogelijkheden een dergelijk systeem als compenserende maatregel voor landbouw en natuur nader te beschrijven. Hier moet steeds bedacht worden dat in geval grondwater wordt gebruikt om de grondwaterstand te verhogen elders de grondwaterstand dienengevolge daalt.

Alvorens in te gaan op de toepassingsmogelijkheden van kunstmatige infiltratie via putten nog het volgende over de naamgeving. De term "bemaling" duidt op een ingreep waarbij een zekere drooglegging van een gebied als doelstelling wordt nagestreefd. In het kader van dit rapport gaat het echter om het verhogen van de grondwaterstand.

De term "bemaling" is in dit opzicht dus misleidend. In het vervolg zal gesproken worden van "retourputten" in casu "een systeem van retourputten".

4.2

Landbouw

Tot nu toe is geen onderzoek verricht om de opbrengstreduktie van landbouwgewassen wegens vochttekort, door middel van retourputten te verminderen dan wel te voorkomen. Zoals in de inleiding reeds is aangegeven kan met retourputten plaatselijk de grondwaterstand op een gewenst niveau worden gebracht. Dit heeft echter als consequentie dat elders de grondwaterstand extra wordt verlaagd. Hiermede is tevens een randvoorwaarde van een systeem van retourputten als compenserende maatregel gegeven, namelijk dat slechts voor een beperkt areaal van het invloedsgebied van een

grondwaterwinning de grondwaterstand kan worden verhoogd. Ingeval oppervlaktewater wordt geïnfiltreerd hoeft het eerder genoemde bezwaar niet te gelden. Echter gezien de kwaliteit van het oppervlaktewater in Nederland zal infiltratie van dit water via putten nauwelijks mogelijk zijn zonder een voorzuivering, hetgeen uit kosten oogpunt een dergelijk projekt veel minder aantrekkelijk maakt. Ten aanzien van de toepassingsmogelijkheden van retourputten ter compensatie van schade aan de landbouw kan het volgende opgemerkt worden:

- 1) De kosten van retourputten zijn onder andere afhankelijk van de hoeveelheid water die geïnfiltreerd dient te worden. Deze hoeveelheid kan beperkt blijven indien het freatisch watervoerend pakket door een slecht doorlatende laag wordt gescheiden van het watervoerend pakket waaruit de waterwinning plaatsvindt. (zie ook paragraaf 4.3).

Een ander aspect vormt het doorlaatvermogen (kD-waarde in m^2/etm) van het freatisch pakket. In geval van een grote kD-waarde zal bij overigens gelijke omstandigheden per put een grotere hoeveelheid water dienen te worden geïnfiltreerd dan in geval van een kleine kD-waarde. Voor het compenseren van dezelfde grondwaterstandsverlagingen zijn in geval van een kleine kD-waarde echter meer putten nodig. Hierdoor zullen de kosten van een retourputtensysteem toenemen. Op grond van dezelfde overweging is ook een kleine intree-weerstand wenselijk. Deze waarde zal overigens bij het in gebruik zijn van de put oplopen tot een zeker niveau waarna regeneratie gewenst is. Dit onder andere om onderloopsheid (wegspoelen van deeltjes van de putomstorting en/of van de bodem) van de infiltratieput te voorkomen.

Er zal dus een optimum zijn tussen het aantal benodigde putten en de frequentie van regeneratie.

- 2) De schade aan landbouw bedraagt voor de winplaatsen waarvoor momenteel een schaderegeling is opgesteld gemiddeld ongeveer 2 à 3 cent per m³ opgepompt grondwater. Hoewel in het groeiseizoen slechts ten tijde dat gevaar voor droogteschade aan de gewassen dreigt te ontstaan, de infiltratieputten in bedrijf gesteld dienen te worden, zullen naar alle waarschijnlijkheid de kosten van een retourputtensysteem groter zijn dan de genoemde schade aan de landbouw. Geschat wordt dat de kosten van retourputten 20 à 70 cent per m³ zullen bedragen (prijspeil 1981).

Gezien het kostenniveau en de alternatieve compenserende maatregelen als beregening en infiltratie uit open leidingen is een retourputtensysteem ter compensatie van droogteschade aan gewassen niet aantrekkelijk.

Indien de kans op een zeer omvangrijke schade groot wordt geacht is het toepassen van een retourputtensysteem niet bij voorbaat uitgesloten. Zo is bij het onderzoek naar de gevolgen van de drooglegging van de Markerwaard, onder andere de mogelijkheid bestudeerd om met behulp van een retourputtensysteem de te verwachten potentiaaldalingen onder het vasteland van de provincie Noord-Holland te compenseren.

Dit lijkt een dure oplossing, echter de belangen zijn groot gezien het gevaar voor onder andere de oude Zuiderzee-steden indien te grote (ongelijke) zettingen zullen optreden.

4.3

Ecologie

Grondwaterwinningen kunnen een grondwaterstandsdaaling tot gevolg hebben waarbij zowel de waterhuishouding als de voedselvoorziening van de vegetatie verandert (Van Gijsen, 1979). Deze veranderingen verstoren de bestaande evenwichten tussen de aanwezige levensgemeenschappen. Uit ecologisch oogpunt dient een dergelijke ontwikkeling zoveel mogelijk vermeden te worden.

Uit technisch oogpunt komen voor het handhaven van het oorspronkelijke grondwaterregime zowel de van oudsher toegepaste infiltratie uit open leidingen als de infiltratie door middel van putten in aanmerking. Voordelen van infiltratie door middel van putten lijken te zijn dat de toevoerleidingen ondergronds kunnen worden gelegd en de putten buiten het natuurgebied kunnen worden geplaatst. Bovendien kan grondwater geïnjecteerd worden dat over het algemeen minder vervuild is dan oppervlaktewater.

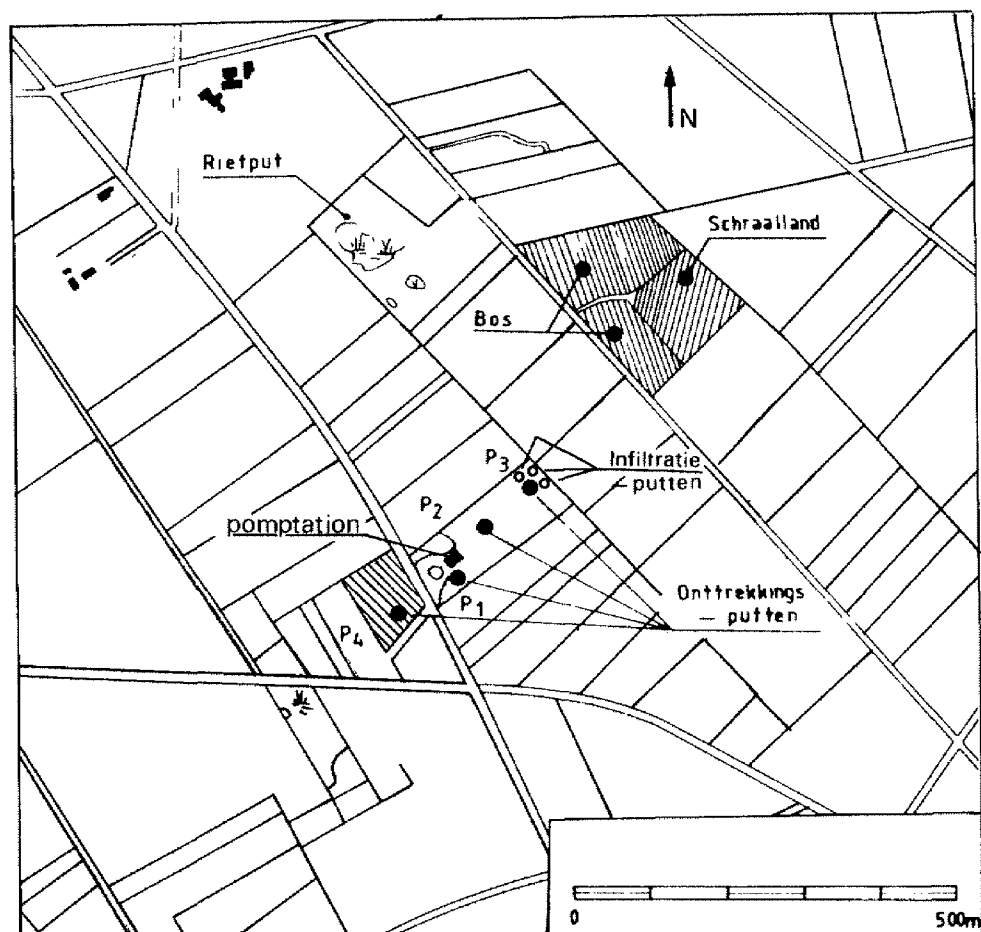
Voor een tweetal natuurgebieden te weten Koolmansdijk in Oost Gelderland en Groot Zandbrink in de Gelderse vallei, zijn de mogelijkheden van retourputten als compenserende maatregel bestudeerd.

Het gaat hier om twee geohydrologisch verschillende situaties. Bij Koolmansdijk vindt de grondwaterwinning in het freatisch pakket plaats, zodat de onttrekking voor de drinkwatervoorziening in het retourputtensysteem in hetzelfde pakket plaatsvindt als de infiltratie van het systeem.

In geval van Groot Zandbrink is onder het eerste watervoerend freatisch pakket een slecht doorlatende laag aanwezig, zodat de geohydrologische opbouw geschematiseerd kan worden tot een freatisch gedeelte dat via een slecht doorlatende laag

wordt afgeschermd van de tweede watervoerende laag, die aan de onderkant wordt begrensd door de ondoorlatende basis.

Naast een modelstudie is voor Koolmansdijk tevens een retourputtenexperiment uitgevoerd (Olsthoorn, Mulder 1981). In figuur 7 is de opstelling van dit experiment weergegeven.



15041 01 41

Figuur 7 - Het pompstation, de Rietput en het Schraalland van het natuurterrein Koolmansdijk

Uit het retourputtenexperiment bleek, dat verstoppingstechnisch geen problemen verwacht hoeven te worden. Vanwege het zuurstofarme karakter van het water leverde menging van diep- en ondiep grondwater geen problemen op. Zoals te verwachten was,

maakte de proef duidelijk dat binnen een zekere afstand van de put het oorspronkelijke grondwater verdrongen wordt door het infiltratiewater. Op grotere afstand van de infiltratieput wordt het geïnfiltreerde water door een laag neerslagwater bedekt. Hierdoor zal het water waarmee de plant in contact staat kwalitatief overeenkomen met het grondwater in de oorspronkelijke situatie. Olsthoorn en Mulder (1981) komen derhalve tot de aanbeveling de infiltratieputten niet te dicht bij het natuurterrein te plaatsen maar ten minste 50 m er vandaan en uitsluitend benedenstrooms van het natuurterrein en wel tussen de onttrekkingspunten en het natuurterrein.

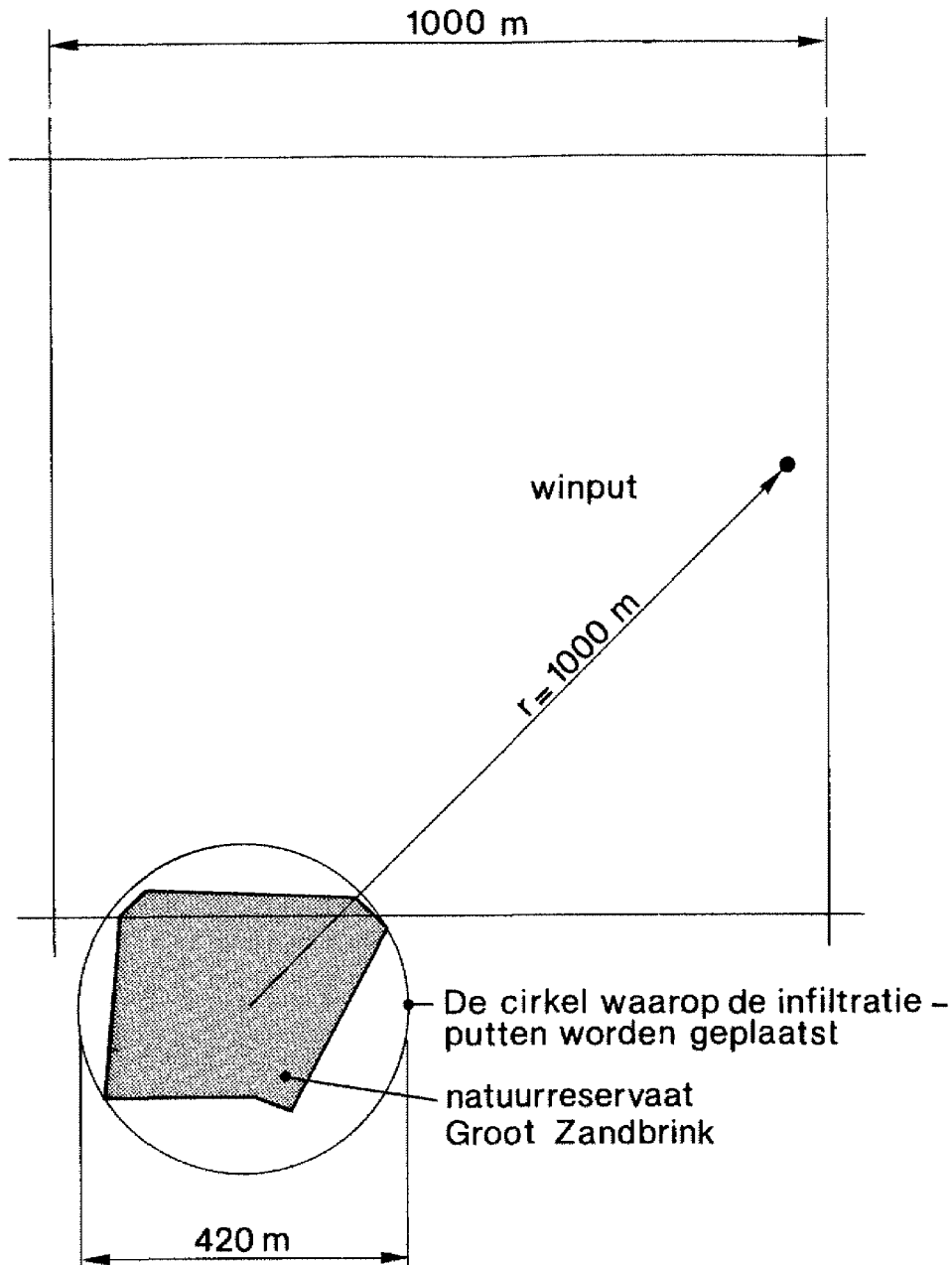
In het geval van Koolmansdijk wordt zoals eerder aangegeven in hetzelfde pakket zowel gewonnen als geïnfiltreerd. Uit de modelstudie blijkt dat de infiltratiecapaciteit zomers tweemaal zo hoog moet zijn dan de produktie van het pompstation.

In geval van Groot Zandbrink is een modelstudie in het kader van het winplaatsonderzoek van de Glindhorst verricht (Olsthoorn, 1978).

De grondwateronttrekking was in het tweede watervoerende pakket gepland, terwijl de retourputten in het freatisch pakket werden gedacht. Uit de modelstudie blijkt, dat de infiltratiecapaciteit zomers 2 à 3 % van de geplande jaarlijkse produktie zou moeten bedragen. In figuur 8 is de opstelling weergegeven waarop de modelstudie is gebaseerd.

Olsthoorn trekt de conclusie dat binnen de Zandbrink noch de grondwaterstand noch de grondwaterkwaliteit van het ondiepe grondwater enige verandering ondergaat bij uitvoering van een retourputtensysteem (Olsthoorn 1978).

Nadien hebben Kemmers en Jansen (1980) de relatie



Figuur 8 - Vorm en ligging van Groot Zandbrink ten opzichte van de winput

tussen enerzijds de vegetatie en het vegetatietype en anderzijds de grondwaterstand en -kwaliteit van Groot Zandbrink onderzocht. Uit dit onderzoek blijkt, dat lokale grondwaterstromingen gesuperponeerd zijn op de regionale. Via kwel komt dit regionale water in contact met de plant. Dit kwelwa-

ter verschilt kwalitatief van het lokale. In het natuurgebied komen derhalve kwelprofielen, infiltratieprofielen en profielen met een intermediair karakter voor, elk met hun eigen typerende vegetatie.

In geval van grondwaterwinning uit het tweede wattervoerende pakket zal de stijghoogte in dit pakket dalen en ten gevolge hiervan zal tevens de kwelstroom verminderen. Infiltratie in het freatisch gedeelte kan deze afname niet voorkomen. Aan dit aspect is in de modelstudie van Olsthoorn (1978) geen aandacht besteed.

Het is evenwel in principe mogelijk, binnen bepaalde marges, met retourputten grondwater van overeenkomstige kwaliteit als het kwelwater in het freatisch pakket te brengen, daar waar oorspronkelijk kwel optrad. Op grond van berekeningen en metingen kan de hoeveelheid kwel bepaald worden en dus de te infiltreren hoeveelheid grondwater. Het uitvoeren van een langjarige proef op praktisch-schaal zou de juistheid van de berekeningsresultaten kunnen aantonen.

Toepassing van retourputtensystemen moet van geval tot geval bekeken worden. Op zich lijkt het een goede zaak dat, in een situatie waar schade door grondwateronttrekking reeds is ontstaan, gezocht wordt naar mogelijkheden om het oorspronkelijk grondwaterregime en kwaliteit terug te brengen tot de situatie, waarin het eco-systeem zich ontwikkeld heeft. Dit herstel vergt de nodige tijd en is onder andere afhankelijk van de duur van de verstoring. In situaties waarin de ingreep nog plaats moet vinden blijft terughoudendheid geboden. Gezien de marges van de betrouwbaarheid van modelstudies en de relatieve onbekendheid met de eisen die een eco-systeem aan het grondwaterregime en

-kwaliteit stelt, zal een compensatie in kwetsbare situaties nooit die zekerheid voor handhaving van diversiteit en stabiliteit bieden, die handhaving van de oude situatie biedt. Deze overweging zal van minder belang zijn naarmate het betrokken ecosysteem zelf meer aangepast is aan een hogere milieudynamiek*.

4.4 Conclusies en aanbevelingen

Technisch gezien is het mogelijk om met behulp van retourputten grondwaterstandsdalingen te compenseren. Als compensatiemaatregel voor landbouwschade laat het zich aanzien dat deze maatregel uit kostenoverwegingen niet aantrekkelijk is. Bovendien bieden andere compenserende maatregelen wellicht meer soelaas.

Op grond van technische overwegingen moet het met behulp van retourputten mogelijk geacht worden om binnen bepaalde marges het oorspronkelijk grondwaterregime van een natuurgebied te handhaven. De benodigde infiltratie-capaciteit ten opzichte van de produktie is een belangrijke parameter voor de aantrekkelijkheid van retourputten. In het geval dat in hetzelfde pakket wordt geïnfiltreerd als gewonnen, is de bovenstaande verhouding slecht. Vindt de infiltratie en de winning in afzonderlijke pakketten plaats dus in geval het freatisch pakket aan de onderzijde begrensd wordt door een slechtdoorlatende laag dan heeft een retourputten-systeem wellicht mogelijkheden. Hierbij moet de restrictie worden gemaakt, dat de kwaliteit van het grondwater in relatie moet staan tot de voor

* Het begrip "milieudynamiek" wordt nader omschreven door Den Hoed (1984).

komende vegetatietypen en dat de toename van de milieudynamiek, afhankelijk van het ecosysteem, binnen bepaalde grenzen moet blijven.

Naar aanleiding van het voornoemde zou het idee om een langjarige proef op praktijkschaal toe te passen, bijvoorbeeld voor sterk aangetaste natuurgebieden waar al veel veranderingen hebben plaatsgevonden door onder andere een betere ontwatering, een grondwaterwinning of door kwaliteitsveranderingen van het grondwater, kunnen worden overwogen.

5 GRONDVERBETERING DOOR DIEPE GRONDBEWERKINGEN

5.1 Algemeen

De opbouw van het bodemprofiel heeft naast de aard van het gewas, de meteorologische omstandigheden en de hoogte van de grondwaterstand, invloed op de vochtvoorziening van gewassen. Bij een diep doorworteld profiel, zal de vochtvoorziening van het gewas beter gewaarborgd zijn, dan bij een profiel waar de wortels zich hoofdzakelijk in het bovenste deel bevinden. De grens van de dieptegroei van de wortels wordt bepaald door omstandigheden waarbij het milieu niet meer voldoet aan de minimumvoorwaarden voor de wortelgroei. Veel voorkomende beperkingen zijn (Houben, 1979):

- een te lage pH,
- een te geringe aëratie,
- een te hoge indringingsweerstand voor de wortels.

In het vervolg wordt ingegaan op de vraag bij welke waarden van de pH, het poriënvolume en de indringingsweerstand de wortelgroei stagneert. Aan gezien een te geringe aëratie met name opgeheven kan worden door een verbeterde water-luchthuishouding, wordt aan deze eventueel beperkende voorwaarde geen verdere aandacht geschonken. Vervolgens wordt in het kort de manier beschreven, waarop het profiel kan worden vermengd en wordt een aantal werktuigen genoemd waarmee het profiel kan worden verbeterd. Er wordt ingegaan op diepe grondbewerkingen in relatie tot natuurbehoud, -beheer en landbouw. Ten aanzien van de landbouw worden onderzoeksresultaten vermeld en wordt aandacht geschonken aan de ontwikkeling van het in uitvoering nemen van diepe grondbewerkingsprojecten. Tot slot worden enkele conclusies getrokken.

In dit rapport wordt niet ingegaan op het verlagen van het maaiveld door het vergraven van de onderliggende zandlaag. Dit omdat de opbrengst die de zandverkoop oplevert, veelal het doel van deze maatregel is. Een neveneffect daarvan kan een verminderde droogtegevoeligheid van het betreffende profiel zijn. Verder zij het volgende nog vermeld. Mocht diepe grondbewerking worden overwogen dan dient te worden nagegaan of deze maatregel op grond van het bestemmingsplan is toegestaan. Er zijn namelijk landbouwgronden waarvoor, landbouwkundig gezien, beperkende voorwaarden zijn opgesteld. Een beperkende voorwaarde kan zijn het niet mogen uitvoeren van diepe profielbewerkingen.

5.2 Zuurgraad

Een grondlaag met pH-KCl*-waarden van minder dan 3,5 à 4,0 is over het algemeen te zuur voor de wortelgroei. Door deze lage pH-waarden kunnen ionen in oplossing komen (onder andere Al, Mn en Fe-ionen), die naast de hoge H-ionenconcentratie verantwoordelijk zijn voor de stagnerende wortelgroei (Houben, 1979).

Te lage pH-waarden komen met name op bepaalde veengronden voor, namelijk bij oligotroof veen (veenmosveen). Dit type veen treft men vooral in de Veenkoloniën (Drente, Oost-Groningen) aan. Waarden van de pH-KCl van 3,2 à 3,1 komen regelmatig in deze gebieden voor (Booij e.a. 1975). Onder dergelijke zure omstandigheden zijn de oxyderende

* pH-KCl; ten behoeve van het meten van de zuurgraad wordt vooraf het grondmonster met een bekende KCl-oplossing geschud.

bacteriën niet actief waardoor in principe het veen niet verdwijnt.

Onder andere door de hogere pH-waarden in de bouwvoor oxydeert jaarlijks een hoeveelheid van de in de wortelzone aanwezige organische stof. Om het organische stofgehalte van de bouwvoor op een voldoende hoog niveau te houden, ploegen de boeren elk jaar veen dat onder de bouwvoor aanwezig is, in de bouwvoor (Wind, 1979). Hierdoor verdwijnt uiteindelijk het veen en komt de bouwvoor direct op het zand te liggen (versleten veenkoloniaal profiel). Dit profiel heeft grote overeenkomsten met de veldpodzol. Door de ondiepe beworteling van 20 à 30 cm (Houben, 1979) zijn de veenkoloniale gronden met in de ondergrond zure veenlagen droogtegevoelig.

Bij verlaging van de grondwaterstand zijn, wat betreft de gewasopbrengst, twee effecten te verwachten. Ten eerste zal door een verlaging van de grondwaterstand de droogtegevoeligheid van de grond toenemen. Hierdoor neemt de omvang van de opbrengstdepressie ten gevolge van vochttekort toe. Ten tweede zal bij een oorspronkelijk te hoge grondwaterstand de wateroverlast afnemen en de depressie dientengevolge.

Overheerst de droogteschade dan zou het waterleidingbedrijf ter compensatie kunnen overwegen over te gaan tot profielverbetering door het veen met het onderliggende zand te vermengen. Hierdoor kan het gewas over de gehele werkdiepte een wortelstelsel ontwikkelen waardoor de droogteschade wordt beperkt.

5.3 Indringingsweerstand

Bij wortelgroei moeten de wortels een zekere weerstand overwinnen om de grond in te dringen. De wortels dringen door kleine holten en poriën naar

beneden. Te kleine poriën ($< 200 \mu\text{m}$) kunnen echter niet worden binnengedrongen (Wiersum, 1957). De mogelijkheid van wortelgroei kan worden uitgedrukt als functie van het poriëngehalte. Bij humus en slibarm zand kan geen wortelgroei plaatsvinden indien het poriëngehalte $< 40 \%$ bedraagt.

Meer recent wordt de indringingsweerstand bij veldcapaciteit bepaald met een zogenaamde penetrometer. Een conus van 1 cm^2 met een tophoek van 60° wordt de grond ingedrukt, zodat de indringingsweerstand van de grond gemeten kan worden (Houben, 1979).

Voor veel zandgronden ligt de grens waarboven de wortels de grond niet verder kunnen binnendringen tussen 3 en 5 MPa ($1 \text{ MPa} = 10 \text{ atm}$) (Houben, 1979). Voor een goede berijdbaarheid en afwezigheid van vertrappingsgevaar dient de binnendringingsweerstand 0,5 respectievelijk 0,6 MPa te bedragen (CoGroWa, 1984).

Met name bij zandgronden kunnen zich situaties voordoen waarbij de indringingsweerstand te groot is. Dit is veelal het geval bij sterk verkitte B_2 horizonten en humusarme C-horizonten (podzolen). Klei-op zandgronden (plaatgronden) kunnen droogtegevoelig zijn door eveneens een beperkte bewortelingsdiepte.

Door diepe profielbewerkingen uit te voeren worden de verschillende grondlagen in meer of mindere mate vermengd (paragraaf 5.4) en wordt een lossere pakking van de grond verkregen. Het poriëngehalte zal toenemen en de indringingsweerstand zal afnemen. Het wortelstelsel van de plant zal zich beter kunnen ontwikkelen. Hierdoor zal de plant meer vocht uit de ondergrond op kunnen nemen.

5.4 Menging van het profiel en grondverbeteringswerk- tuigen

Er is een aantal soorten werktuigen waarmee profielverbetering kan worden uitgevoerd. In het resultaat van de bewerking kan het volgende onderscheid worden gemaakt (Wiebing, Wind, 1979).

- . De proportionele menging. De samenstelling van het mengsel is op elke diepte in het verbeterde profiel nagenoeg gelijk.
- . De conservatieve menging. Hierbij bevindt zich na de bewerking in de bovenste helft van het mengsel meer dan 50 % van het materiaal dat vóór de bewerking ook al in de bovenste helft van het profiel aanwezig was.
- . De revolutionaire menging. In de bovenste helft bevindt zich minder dan 50 % van het bodemmateriaal dat vóór de menging in de bovenste helft te vinden was.
- . De selectieve menging. Hierbij worden bepaalde lagen van het profiel tijdens de bewerking naar bepaalde diepten gebracht.

Men kan over een diepe grondbewerking spreken indien de bewerking dieper gaat dan 50 cm min maaiveld. Meestal gaat de bewerking niet dieper dan 150 cm min maaiveld.

Achtereenvolgens kunnen de volgende werktuigen worden genoemd waarmee diepe grondbewerkingen kunnen worden uitgevoerd.

Diepploeg: met een diepploeg kan het profiel op zijn kop worden gezet (revolutionaire menging). De bouwvoor komt beneden en de ondergrond wordt naar boven gehaald. Het is evenwel ook mogelijk dusdanig te ploegen dat er een nagenoeg homogene bouwvoor ontstaat (proportionele menging).

Door het vele werk ten behoeve van de begin- en eindvoren is deze methode nogal kostbaar en wordt

weinig meer toegepast (Wind, 1979).

Mengwoeler: met een mengwoeler worden de onderste grondlagen gebroken, maar de opbouw van het profiel blijft min of meer ongewijzigd (conservatieve menging).

Ten opzichte van diepploegen kan met mengwoelers sneller worden gewerkt. Hierdoor is mengwoelen goedkoper. Het nadeel van deze bewerking is de benodigde trekkracht (Wind, 1979).

Mengploeg of woelploeg: naar het resultaat van de bewerking is de mengploeg een combinatie van de diepploeg en de mengwoeler. Met een mengploeg wordt het grootste deel van de bouwvoor in de bovenste 50 cm van het profiel gehouden (conservatieve menging).

Mengrotor: met de mengrotor wordt over de gehele werkdiepte het profiel vermengd. Aan een rotor (wiel) zijn schopjes (schoepen) bevestigd. Door dit geheel rond te draaien wordt de grond over de gehele werkdiepte vermengd (proportionele menging). De werksnelheid is gering, ongeveer 1/4 van de mengploeg.

Spitfrezen: met spatelvormige elementen wordt over de gehele werkdiepte het profiel vermengd (proportionele menging).

5.5 Diepe grondbewerking en ecologie

Voor het verkrijgen van inzicht in de mogelijkheden om via diepe grondbewerkingen de gevolgen van grondwaterwinningen te verminderen kan in het algemeen het volgende worden opgemerkt. Een bepaalde profielopbouw is veelal het resultaat van processen als sedimentatie, humificatie, mineralisatie, in- en uitspoeling die eeuwenlang hebben plaatsgevonden. Er bestaat een wisselwerking tussen de aard van de bodemprocessen en de vegetatie/gewas-

sen die op de grond voorkwamen en -komen. Daarom is de profielopbouw een belangrijk ecologisch gegeven. In gebieden die uit oogpunt van natuur- en landschapsbehoud van belang zijn, wordt diepe grondbewerking veelal schadelijk geacht, omdat daarmee de hierboven beschreven relaties worden verstoord. Ook in gebieden waarvan de actuele waarde weliswaar niet hoog is, maar de potentiële waarde wel, leidt diepe grondbewerking tot een achteruitgang. Als natuurbeheersmaatregel zullen diepe profielbewerkingen dan ook vrijwel nooit worden toegepast.

Het is evenwel niet uitgesloten dat in het kader van natuurbouw (het verbeteren van de voorwaarden van de ontwikkeling van natuurlijke waarden) veranderingen van een bepaald bodemprofiel zinvol kunnen worden geacht. Als voorbeeld hiervan kunnen de voorgestelde maatregelen worden genoemd, om waardevolle vochtige duinvalleivegetaties te krijgen, indien de momenteel verdroogde duinvegetaties weer onder invloed van natuurlijk grondwater komen (vermindering of stopzetting van de waterwinning) (Drijver, e.a., 1980). Door middel van afplagging wordt de humeuze bovenlaag van het bestaande profiel verwijderd en door uitstuiving wordt getracht het maaiveld tot een gewenst niveau ten opzichte van de grondwaterstand te brengen. Op deze manier tracht men verruiging te voorkomen.

In dit voorbeeld gaat het om het veranderen van een bepaald bodemprofiel echter niet met behulp van diepe grondbewerking. Het nadeel van een diepe grondbewerking is dat het profiel over grote diepte wordt verstoord, hetgeen in het algemeen, zoals eerder bleek, ongewenst is.

Kortom: diepe grondbewerkingen hebben vanuit de

optiek van natuurbehoud en -beheer geen of weinig perspectief.

5.6 Diepe grondbewerking en landbouw

5.6.1 Onderzoek

Vanwege de hoge eisen die de akkerbouw aan de water-luchthuishouding van de bodem stelt, is vooral grondverbeteringsonderzoek voor akkerbouwgewassen ter hand genomen. Ofschoon ook profielverbeteringswerken voor grasland zijn uitgevoerd, zijn de effecten ervan weinig onderzocht. Sinds kort zijn onderzoeksresultaten bekend van diepe profielbewerkingen op grasland van het Regionaal Onderzoek Centrum (ROC) te Heino.

In het vervolg worden enkele resultaten van profielverbetering bij akkerbouw en bij grasland weergegeven.

5.6.2 Akkerbouw

Havinga (1978) doet verslag van de gewasreactie op diepe grondbewerking bij plaatgronden. Plaatgronden hebben een kleiige bovengrond (< 80 cm) terwijl de ondergrond bestaat uit slibarm zand.

Deze gronden komen voor in het zuidwesten van Nederland (circa 20.000 ha).

Het profiel van deze plaatgronden is bewerkt met een diepploeg, mengwoeler en mengrotor (mengfrozen). Over de jaren 1962 tot en met 1970 zijn de gewassen zomergerst, tarwe, peulvruchten, suikerbieten en aardappels verbouwd.

Uit het onderzoek blijkt dat tarwe en zomergerst overwegend een grotere opbrengst geven (circa 9 %). Peulvruchten reageren negatief op de diepe

grondbewerkingen. Suikerbieten geven een grotere opbrengst te zien met name door het mengfrozen. Consumptie-aardappelen reageren positief op het diepploegen, negatief op het mengwoelen en neutraal op het mengfrozen.

Op de veenkoloniale gronden zijn veel grondverbeteringswerkzaamheden uitgevoerd. In 1978 is op 25 000 ha van de 100 000 ha een diepe grondbewerking uitgevoerd (Wind, 1979). Op de proefboerderij in de Borgercompagnie is het effect van een aantal diepe grondbewerkingen bepaald over de jaren 1968-1976 voor de gewassen; aardappels, suikerbieten, zomertarwe en haver.

Wat in dit onderzoek opvalt is het positieve effect van de hakvruchten* (9 %) ten opzichte van dat van de granen (7 %). Een reden waarom granen minder positief reageren dan de hakvruchten, zou kunnen zijn dat de opbrengst van granen beïnvloed wordt door afrijpingsziekten, zodat de factor water niet de beperkende factor is (Wind, 1979).

Slib- en humusarme zandlagen kunnen nagenoeg niet door planten worden doorworteld. Een profiel waar een dergelijke C-horizont voorkomt is de veldpodzol. De totale oppervlakte in Nederland hiervan bedraagt 300 000 ha. Dergelijke gronden komen met name in het zuiden en oosten van het land voor (Verhaegh, Wiebing, 1978). Het opbrengstniveau van deze gronden wordt meestal beperkt door het beschikbaar vocht. Door het losmaken van de grond zal de vochtcapaciteit van de bodem eerder af- dan

*hakvruchten; teeltgewassen waarbij men van oorsprong tijdens de groei hakt (met de hak wieden). Voorbeelden zijn aardappels, bieten, uien, wortelen en koolrapen.

toenemen. Bij toename van de diepte van beworteling kan echter een hoeveelheid extra vocht voor het gewas beschikbaar komen. Of deze mogelijkheid zich inderdaad voordoet is voor de jaren 1975, 1976 en 1977 onderzocht (Verhaegh, Wiebing, 1978). Uit het onderzoek bleek dat in bijna alle jaren op de gefreesde en in mindere mate op de gewoelde proefveldjes de actuele verdamping geringer was. Dit komt doordat de afstand tussen de maximale wortelingsdiepte en het grondwater te groot was. In 1975 heeft het gewas (aardappels, suikerbieten) gedeeltelijk van de diepe grondbewerking geprofiiteerd omdat de droogteperiode laat in het groeiseizoen viel, toen reeds de maximale wortelingsdiepte was bereikt. Op plaatsen waar de grondwaterstand meer dan 200 cm onder maaiveld stond, trad dit effect niet op.

Tot slot werd geconcludeerd dat op deze gronden diepe grondbewerking geen alternatief is voor be-
regening.

5.6.3 Grasland

In 1976 is op het onderzoekscentrum te Heino een proef opgezet, waarmee de opbrengstverandering van grasland (engels raaigras) op een diepe grondbewerking is nagegaan (Schothorst, Hettinga, 1981). Het betreft een jonge ontginningsgrond (podzol) met een wortelingsdiepte van circa 40 cm. Als bewerkingen zijn uitgevoerd: woelen en spitfreen. Het woelen is dusdanig uitgevoerd dat de humeuze bovengrond boven in het profiel is gebleven (meng- of woelploeg). Bij het spitfreen is in het ene geval een dubbele fosfaatbemesting gegeven, terwijl de andere perceeltjes niet zijn bemest met

fosfaat*. Verder is de invloed van beregening bepaald door alle proefveldjes op te delen in een beregend en onberegend gedeelte. Deze proef is van 1977 tot en met 1980 uitgevoerd.

Uit dit onderzoek valt te concluderen dat door de diepe grondbewerkingen lagere opbrengsten worden verkregen. Bij hoge N-giften bedroeg de opbrengstdepressie bij woelen 20 % en bij spitfreen 5 % (opbrengstniveau 13 ton ds/ha). Dit negatieve effect kan grotendeels door beregening worden gecompenseerd, hetgeen betekent dat de depressie wegens vochttekort optrad.

Een verklaring hiervoor is dat door de diepe grondbewerking het bovenste deel van het profiel verschraalt. Ondanks dat het wortelstelsel zich beter kan ontwikkelen qua diepte en omvang, weegt het niet op tegen het verschralend effect van de bovenste 40 cm van het profiel. Dit gecombineerd met de relatief grote betekenis van de bovenste wortels bij gras voor de vochtvoorziening. Verder zou het capillair geleidingsvermogen door de diepe profielbewerking ongunstig worden beïnvloed vanwege een lossere pakking van de ondergrond.

5.7 Bruikbaarheid als compenserende maatregel

Het doel van diepe grondbewerking is veelal het vergroten van het beschikbaar vocht. Door diepe grondbewerking wordt een aantal factoren beïnvloed die zowel een positieve als een negatieve invloed kunnen hebben op het beschikbaar vocht zoals:

* Fosfaat heeft met name een positieve invloed op de wortelontwikkeling.

- de menging; door menging zal veelal het bovenste deel (0-40 cm) van het profiel verschralen, zodat het beschikbare vocht van deze bodemlaag zal afnemen. Het humus- en lutumgehalte in de diepere lagen zal veelal toenemen en daardoor het vochtgehalte;
- het poriënvolume; door toename van het poriënvolume zal het wortelstelsel zich beter kunnen ontwikkelen, waardoor de hoeveelheid beschikbaar vocht in het profiel zal toenemen;
- de capillaire opstijging; door een diepere beworteling van het gewas (door een verkleining van de afstand tussen de wortelzone en het freatisch vlak), komt meer bodemvocht ter beschikking. Het is echter eveneens mogelijk dat door het toenemen van het poriënvolume (een lossere pakking) de capillaire opstijging afneemt.

In tegenstelling tot gras reageren akkerbouwgewassen over het algemeen positief op diepe profielbewerking, waarbij de diepte van de grondwaterstand, vanwege de capillaire nalevering, een belangrijk gegeven is. Op vele ha's akkerbouwgronden is dan ook een diepe profielbewerking uitgevoerd.

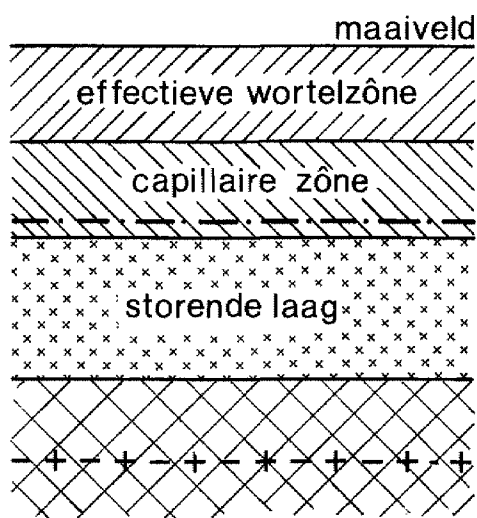
Met name in de veenkoloniën zijn na het droge jaar 1976 vele ha's bewerkt (zie par. 5.6.2). Wind (1979) berekende voor akkerbouwgewassen in de veenkoloniën een meeropbrengst van f 300,-- à f 400,-- per ha (prijspeil 1978). De diepe grondbewerking kostte in 1978 f 1.000,-- per ha, zodat het economisch aantrekkelijk was een dergelijke bewerking uit te voeren. Naast dit economisch voordeel deden zich eveneens nevenvoordelen voor, zoals het beter bewerkbaar zijn van de grond, het minder benodigd zijn van stikstof en het beter conserveren van de grond. Dit laatste ontstaat doordat zand met het veen wordt vermengd, waardoor het veen minder snel verdwijnt.

Tegenwoordig worden zowel op de veenkoloniale gronden als op de overige gronden waarvan de profielen werden verbeterd, weinig diepe grondbewerking meer uitgevoerd. De stagnatie in de uitvoering van profielverbetering moet gezocht worden in de toename van de mechanisatie op akkerbouwbedrijven. Door de zware machines en werktuigen wordt het bewerkte profiel erg snel verdicht tot het oorspronkelijke niveau.

Bovendien worden de bovenste delen van de bouwvoor in zijn algemeenheid door de bewerking verschaald hetgeen kan leiden tot een grotere droogtegevoeligheid. Een ander aspect van de toename van de mechanisatie is dat de boer zelf diepe profielbewerkingen uitvoert met name om de ploegzool open te houden. Ook de resultaten van deze diepe grondbewerking zijn niet altijd bevredigend (Jager en Boersma, 1983).

Kortom, diepe profielbewerkingen bieden, landbouwkundig gezien, tegenwoordig weinig perspectief. Uit de optiek van de waterleidingbedrijfstak is het compenseren van opbrengstdepressie ten gevolge van vochttekort door middel van diepe profielbewerking slechts onder bepaalde omstandigheden aantrekkelijk. Ter illustratie dient figuur 9.

In het profiel geschetst in figuur 9 komt in de ondergrond een storende laag voor die de capillaire opstijging belemmert (bijvoorbeeld een keileemlaag of grindlaag). Voor de grondwaterwinning blijft de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) boven de storende laag zodat geen of nauwelijks vochttekorten optreden. Bij een grondwateronttrekking daalt de grondwaterstand tot onder de storende laag, waardoor de capillaire opstijging zal afnemen. Hierdoor ontstaat opbrengstdepressie bij



- . - . Gemiddeld laagste grondwaterstand zonder grondwateronttrekking
- x - x Gemiddeld laagste grondwaterstand met grondwateronttrekking

Figuur 9 - Een profiel met een storende laag met daarbij de grondwaterstand vóór en een grondwateronttrekking

gewassen. Ter compensatie kan worden besloten het gestoorde profiel te verbeteren door uitvoering van diepe profielbewerkingen. Door opheffing van de storende laag zal de capillaire opstijging toenemen - en mogelijk de wortelontwikkeling, afhankelijk van de diepte van de storende laag -, zodat de gewasdepressie afneemt of zelfs wordt voorkomen.

Uit het voorgaande blijkt dat per geval dient te worden onderzocht of diepe grondbewerkingen zinvol zijn om landbouwschade te beperken. Afgezien van droge perioden waarin droogteschade kan ontstaan, zal bij toename van de grondwateronttrekking vervolgens de omvang van landbouwschade weer toenemen.

5.8

Conclusies

Er kunnen in de bodem omstandigheden voorkomen waardoor de wortelontwikkeling van het gewas wordt gestoord, zoals lage pH-waarden en hoge indringingsweerstand. Het doel van diepe grondbewerking is deze beperkende omstandigheden op te lossen dan wel te verruimen. Hiermee wordt over het algemeen beoogd dat het gewas minder gevoelig wordt voor droge weersomstandigheden.

De werktuigen waarmee de diepe grondbewerking wordt uitgevoerd, kunnen worden onderscheiden naar de menging die in het verbeterde profiel optreedt. Zo wordt gesproken over proportionele, conservatieve, revolutionaire en selectieve menging.

Diepe grondbewerkingen hebben uit oogpunt van natuurbehoud en -beheer geen perspectief.

Ten behoeve van landbouwkundige doeleinden zijn op vele ha's landbouwgrond diepe grondbewerkingen uitgevoerd. Met name bij akkerbouwgewassen zijn hiermee goede resultaten verkregen. Op basis van de huidige proefresultaten blijkt dat het effect van diepe profielbewerking op de graslandproductie slecht is.

Met name door het toenemend gebruik van zware machines en werktuigen wordt het effect van diepe grondbewerking snel teniet gedaan. Hierdoor worden tegenwoordig slechts op beperkte schaal diepe profielbewerkingen toegepast.

Hieruit blijkt dat landbouwkundig gezien tegenwoordig dergelijke bewerkingen weinig aantrekkelijk zijn.

Uit de optiek van de waterleidingbedrijfstak kan gesteld worden dat per geval de mogelijkheid van diepe grondbewerking om de landbouwschade te beperken onderzocht dient te worden. Deze mogelijkheid wordt echter gering geacht.

LITERATUUROVERZICHT

Awater, R.H.C.M.; Laat, P.J.M. de; Groundwaterflow and evapotranspiration a simulation model; Basisrapport ten behoeve van de Commissie Bestu- dering Waterhuishouding Gelderland, Arnhem, december 1980.

Bartelds, A.; Merkens, H.; Schiltkamp, H.; en Wolters, T.; Drainage- en infiltratieweerstan- den in het veenkoloniale gebied; Een onderzoek naar de mogelijkheden om het grondwaterpeil te beïnvloeden door middel van infiltratie via opgeschoonde wijken of drains; Hogere Bosbouw en Cultuurtechnische School, Velp, 1982.

Blanken, M.G.M. den; Peters, J.H.; Kunstmatige In- filtratie; KIWA, Voortgangsbericht nr. 14, 1981.

Boheemen, P.J.M. van; Wilde, J.G.S. de; Watervoor- ziening van Land- en Tuinbouw in het droge jaar 1976; Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, regionale studies 15, 1979.

Booij, A.H.; Rutten, G.; Wind G.P.; Reconstructie- gebied Oost Groningen en Gronings-Drentse Veenkoloniën en streekplangebied Oost- en Zuidoost Drente, onderzoek naar grondverbete- ringsbehoefte ten behoeve van de landbouw bij optimale ontwateringstoestand van de gronden; Stichting voor Bodemkartering en Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding nr. 1198, 1975.

Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven,
Technisch Secretariaat; Opbrengstdepressie van
grasland ten gevolge van een kunstmatige ver-
laging van de grondwaterstand op zandgronden;
Utrecht, 1976 (concept).

Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven;
Landbouwkundige Aspecten van Grondwateront-
trekkingen; Commissie Grondwaterwet Waterlei-
dingbedrijven, 1984.

Doornbos, J., Straten, H. van der, Wieling, H.;
Berekening op melkveebedrijven. Rentabili-
teitsbegrotingen voor gezinsbedrijven op matig
droogte gevoelige grond in het zuidelijk zand-
gebied; Proefstation voor de Rundveehouderij,
nr. 53, 1977.

Drecht, G. van; Berekening van de stationaire
grondwaterstroming naar sloten; Rijksinstituut
voor Drinkwatervoorziening, RTD-mededeling
83-3, Voorburg, 1983.

Drijver C.A.; Hommel, P.; Roeloffzen G.B.;
Scholze A.S.; Milieu-effecten rapportage Zuid-
Kennemerland, beschrijvingsmethode voor de mi-
lieu-effecten van de bouwstenen; Centrum voor
Milieukunde, Leiden, 1980.

Ernst, L.F.; Drainage of undulating sandy soils
with high groundwater tables; I; A drainage
formula based on a constant hydraulic head
ratio; Journal of Hydrology, nr. 39, 1978a.

Ernst, L.F.; Drainage of undulating sandy soils with high groundwater tables; II; The variable hydraulic head ratio. Journal of Hydrology, nr. 39, 1978b.

Ernst, L.F.; Feddes, R.A.; Invloed van grondwateronttrekking voor beregening en drinkwater op de grondwaterstand. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, nota 1116, Wageningen, 1979.

Feddes, R.A.; Compenserende maatregelen bij grondwateronttrekkingen; In; De winning en aanvulling van grondwater en beïnvloeding van de omgeving; Vakantiecursus in drinkwatervoorziening; Technische Hogeschool, Delft, 1976.

Gespreksgroep Beregening Akkerbouw; Beregeningsonderzoek in de akkerbouw. Inventarisatie van de bestaande kennis en van de onderzoeksbehoefte; Directie Landbouwkundig Onderzoek, Wageningen, juli 1979.

Giessen, A. van der; Grondwaterstandsdalingen ten gevolge van onttrekkingen voor kunstmatige beregening en de drinkwatervoorziening; Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, nota 1183, 1980.

Gijsen, M.E.A. van; Ecologische Aspecten van Grondwaterwinning; Rijksinstituut voor Natuurbeheer en Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 1979.

Glasbergen, P. en Sondorp, H.; De uitbreiding van het peilbuizennet in Zuidoost-Groningen in verband met een mogelijke wijziging van het freatisch vlak als gevolg van de aanleg van het kanaal Veendam-Musselkanaal; Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening hy.h. 80-15, Voorburg, 1980.

Havinga, L.; Effecten en gewasreactie ten gevolge van diepe grondbewerking op plaatgronden; Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Misc. Reprints 220, 1978.

Hoed, M.A. den; Ecologie en Grondwaterwinning; Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen KIWA N.V., Mededeling nr. 80, Nieuwegein, 1984.

Houben, J.M.M.Th.; Bodemgesteldheid en diepte van worteling; Stichting voor Bodemkartering, nr. 1459, 1979.

Jager, A.; Boersma, O.H.; Negatieve effecten bij het opheffen van bodemverdichting; Landbouwkundig tijdschrift, nr. 19, september, 1983.

Kant, G.R. en Stuyt, L.C.P.M.; Mogelijkheden tot waterconservering in hellende zandgebieden in Oost-Nederland; Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, nota 1202, Wageningen, 1980 (doctoraalscriptie).

Kemmers, R.H.; Jansen, P.E.; De invloed van chemische factoren in grondwater en bodem op enkele vegetatietypen in C.R.M. reservaat "Groot Zandbrink"; Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, nota 1181, 1980.

Keuning, N.J.; Bedrijfseconomisch effect van beregening op akkerbouwgewassen in de veenkoloniën en het noordelijk zandgebied; Proefstation voor de akkerbouw en de groenteteelt in de volle grond, 1980.

Landinrichtingsdienst; Opschonen Wijken; Verslag van een proef in de Drentse Veenkoloniën; Mededelingen Landinrichtingsdienst nr. 146, Utrecht, 1983.

Lanen, H.A.J. van; Grondwater als bron voor de openbare watervoorziening en voor de beregening in de landbouw; H₂O 16/81, 1981.

Lanen, H.A.J. van; Berekening uit het grondwater op hogere gronden en het effect daarvan op lagere gronden; H₂O 16/83; 1983(a).

Lanen, H.A.J. van; Aanvullend onderzoek met het model GELGAM in het studiegebied Sleen (Drenthe); Deel III; Hydrologische effecten van intensieve beregening uit het grondwater en het eerder of later opzetten van stuwen; Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, hy.h. 83-13, 1983 (b).

Lanen, H.A.J. van; Aanvullend onderzoek met het model Gelgam in het studiegebied Sleen (Drenthe); Deel III; Hydrologische effecten van intensieve beregening uit het grondwater en het eerder of later opzetten van de stuwen; Rijksinstituut voor drinkwatervoorziening, hy.h. 83-13; 1983 (c).

Olsthoorn, T.N.; Bescherming van het natuurterrein "De Zandbrink" met behulp van persputten bij grondwateronttrekking in de Glindhorst (Gelderse Vallei); Projektgroep Grondwater; Rijswijk, 1978. (Derde versie).

Olsthoorn, T.N.; Mulder, F.G.; Persputexperiment met het oog op compenstatie van grondwaterstandsverlaging; H₂O, nr. 22/81, 1981.

Olsthoorn, T.N.; Voordracht tijdens het externe KIWA-colloquium 1981; H₂O nr. 15/82, 1982(a).

Olsthoorn, T.N.; Boukes, H.; Grondwaterwinning Boerhaar, Verlagingspatroon; Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen KIWA N.V., SWO-417, 1982(b).

Overmars, B; Velde, G. van der; De voor een praktijkgeval berekende verlaging van de grondwaterstand door beregening en drinkwaterwinning, H₂O nr. 17, 1982.

Petruschell, R.L.; Repnau, T.; Baarse, G.; Policy Analysis of Water Management for The Netherlands, Vol. XIII, Models for Sprinkler irrigation system design, cost and operation; Rand Corporation; Rand Corporation, March 1982.

- Pijpers, B.; Berekening in de landbouw, Natuur en Milieu, juli/augustus 1981.
- Rijk, J.S.; Benadering extra exploitatiekosten berekening tuinbouwgewassen; N.V. Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant, 1980.
- Roebert, A.J.; Doeleinden van kunstmatige grondwateraanvullingen; Stichting Postacademiale Vorming Gezondheidstechniek; Cursus: Grondwaterwinning en kunstmatige grondwateraanvulling, 1981-1982; Technische Hogeschool, Delft.
- Schothorst, C.J.; Hettinga, D.; Het effect van diepe profielbewerking bij grasland op lichte zandgrond; Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, nota 1304, 1981.
- Studiecommissie Waterbehoefte Land- en Tuinbouw; Aanvullende Watervoorziening van de Land- en Tuinbouw; Den Haag/Utrecht, 1980.
- Studiegroep Retourbemaling; Retourbemaling; Koninklijk Instituut voor Ingenieurs, 1978.
- Technische Werkgroep Espelose Broek; Opzet en resultaten van onderzoek naar geïntegreerd waterbeheer in het Espelose Broek; Technische Werkgroep Espelose Broek, 1983.
- Velde, G. van der; Een inventarisatie van de Ecologische problematiek bij grondwaterwinningen; Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen KIWA N.V., SWI 400, 1982.

- Velde, G. van der; Grondwaterwinning en de gevolgen voor Land- en Tuinbouw; Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen KIWA N.V., SWE 84.001, 1984.
- Verhaegh, W.B.; Wiebing, R.; Verbetering Veldpodzolen; Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, nota 1041, 1978.
- Walsum, P.E.V. van; Bakel, P.J.T. van; Berekening van de effecten van infiltratie op de gewasverdamming in het herinrichtingsgebied, met een aangepaste verzie van het model SWATRE; Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, nota 1434, Wageningen, 1983.
- Waterschap Salland; Watervoorzieningsplan Espelose Broek; Waterschap Salland, 1983.
- Werkgroep Landbouw; De landbouwwatervoorziening in zuid-west Nederland. Keuze zout of zoet Grevelingenmeer, 1982.
- Werkgroep Wateronttrekking Gelderse Vallei; Onderzoek Glindhorst 1974-1979; Velp, maart 1979.
- Werkgroep Watervoorziening Drenthe; Water naar Drenthe, Assen, april 1979.
- Wesseling, J.; De winning en aanvulling van grondwater en beïnvloeding van de omgeving; 28^e vakantiecursus in drinkwatervoorziening, Technische Hogeschool, afdeling Weg- en Waterbouwkunde, Delft, 1976.

Wiebing, R.; Wind, G.P.; Bodemverbeteringsonderzoek in de veenkoloniën; Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Misc. Reprints 246, 1979.

Wiersum, L.K.; Problemen en methodiek van fysiologisch-oecologisch wortelonderzoek; TNO-Nieuws 12,1; 8-11, 1957.

Wind, G.P.; Grondverbetering, conservering van veen en winderosie in de Veenkoloniën; Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Misc. Reprints 234, 1979.

Zweegman, J.; Verdroging door beregening uit het grondwater: een onvermijdelijke ontwikkeling?; H₂O nr. 18, 1982.

De infiltratieweerstand

Voor het schematiseren van de stroombanen kan men de infiltratieweerstand als volgt opdelen.

- Intree-weerstand (I_i)

Dit is de weerstand die het slootwater moet overwinnen om de grond in te kunnen stromen. De weerstand wordt veroorzaakt door organisch materiaal, slib- en leemlaagjes. In formule kan de intree-weerstand als volgt worden beschreven:

$$I_i = \frac{L \delta}{U k_s} \quad [T] \quad (1)$$

L = slootafstand [L]

δ = dikte van de sliblaag [L]

k_s = doorlatendheid van de sliblaag [LT^{-1}]

U = natte omtrek van de sloot [L]

Het quotiënt van de dikte en de doorlatendheid van de sliblaag ($\frac{\delta}{k_s}$) wordt vaak bodemweerstand genoemd.

- Radiale stromingsweerstand (I_r)

Deze weerstand ontstaat door het afbuigen van de stroombanen nabij de sloot. Voor het berekenen van deze weerstand kunnen de volgende betrekkingen worden opgesteld.

$$I_r = \left(\frac{1}{\pi k_r} \ln \frac{aD}{U} \right) L \quad [T] \quad (2)$$

$$k_r = \sqrt{k_h \cdot k_v} \quad [LT^{-1}] \quad (3)$$

a = de waarde van a hangt af van de verhouding van de breedte van de sloot (ter hoogte van het slootpeil) en het slootpeil verder van het feit of verschillende grondlagen zijn te onderscheiden. Bij normale kavelsloten liggend in een homogeen pakket is a = 1

k_v = doorlaatfactor voor de verticale stroming
[LT⁻¹]

k_h = doorlaatfactor voor de horizontale stroming
[LT⁻¹]

Uit vergelijking 2 blijkt dat de dikte van de wattervoerende laag, waarin de waterloop insnijdt, van belang is. Een dik pakket geeft een kleine weerstand en dus een grote volumestroom infiltraat, terwijl een dun pakket precies het omgekeerde bewerkstelligt. Indien de radiale stroming in het freatisch pakket optreedt kan, bij een geringe dikte ervan, de grondwaterstand invloed hebben op deze weerstand. In zo'n situatie verschilt de radiale weerstand bij infiltratie van die welke bij drainage optreedt.

- Horizontale stromingsweerstand (I_h)

De horizontale weerstand treedt op indien het grondwater horizontaal door de bodem stroomt. De omvang van deze weerstand kan met de volgende vergelijking worden berekend:

$$I_h = \frac{fL^2}{8 k_h D} \quad [T] \quad (4)$$

f = vormfactor voor het freatisch vlak. Deze varieert tussen 2/3 en 1.

Evenals bij de radiale weerstand kan bij een geringe dikte van een freatisch watervoerend pakket de horizontale weerstand bij drainage en infiltratie verschillen.

- Verticale stromingsweerstand (I_v)

Deze weerstand ondervindt het stromende water indien het zich verticaal voortbeweegt. Door de specifieke pakking van bodemdeeltjes in sedimenten is in Nederland de verticale doorlatendheid kleiner dan de horizontale. Als vuistregel wordt wel gesteld dat de verticale doorlatendheid een factor tien kleiner is dan de horizontale (Feddes, 1976).

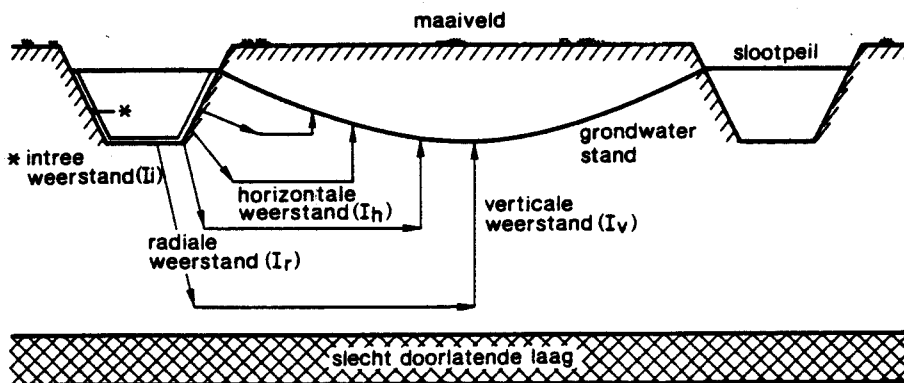
Met de volgende vergelijking kan de verticale weerstand worden vastgesteld:

$$I_v = \frac{D_v}{k_v} \quad [T] \quad (5)$$

D_v = de verticale stromingsafstand

Veelal is de verticale stromingsweerstand verwaarloosbaar klein.

Ter illustratie zijn in figuur 1 de geschematiseerde stroombanen tijdens infiltratie uit open leidingen geschetst. De daarbij optredende weerstand is daarin aangegeven.



Figuur 1 - De geschematiseerde weergave van de optredende weerstand bij infiltratie uit open leidingen

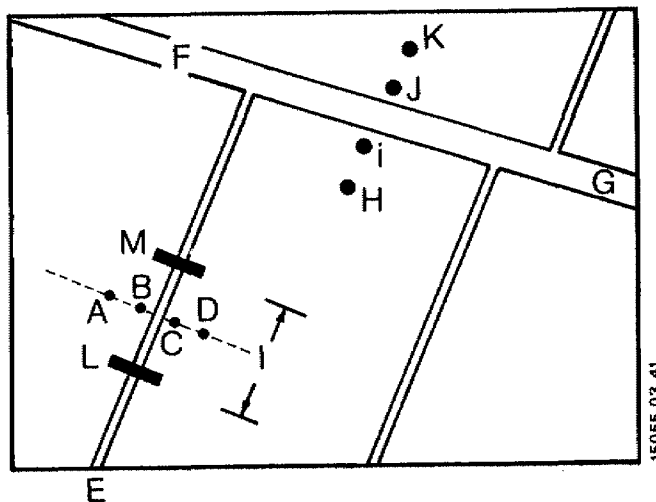
De totale infiltratieweerstand kan met de volgende formule worden vastgesteld, te weten:

$$I = \frac{D_v}{k_v} + \frac{L^2}{8 k_h D} + L \left(\frac{1}{\pi k_r} \ln \frac{D}{U} + \frac{\delta}{U k_s} \right) \quad [T] \quad (6)$$

In de literatuur wordt de infiltratieweerstand, evenals de andere genoemde weerstanden, meestal in een tijdeenheid per lengte-eenheid uitgedrukt. Dit is mogelijk door de weerstanden te delen door de slootafstand (L). Eveneens komt in de literatuur vaak het begrip slootweerstand voor. Veelal wordt hiermee de intree- plus de radiale weerstand bedoeld al dan niet gedeeld door de slootafstand (L).

Voorbeeld van een infiltratieproef

Veronderstel een slotenstelsel als weergegeven in figuur 1. Stel dat van de sloot EF en de grotere waterloop FG de weerstand moet worden onderzocht.



Figuur 1 - Het proefveld

■ dam

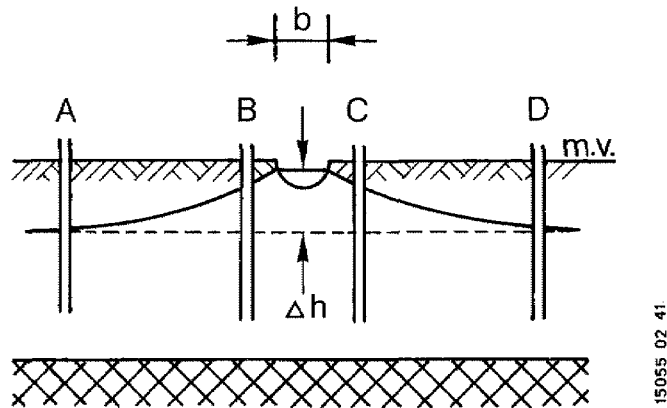
l= lengte afgedamd stuk sloot

b= breedte sloot aan waterspiegel

A, B, C en D peilbuizen in raai \perp EF

H, I, J en K peilbuizen in raai \perp FG

Door in het afgedamde stuk met lengte l en breedte b de slootactiviteit (de volumestroom die per meter sloot infiltreert) te bepalen, kan tevens de kd bepaald worden als in A, B, C, en D de stijghoogten worden waargenomen (figuur 2).



Figuur 2 - De raai A, B, C, en D ⊥ op de afgedamde sloot.

De infiltratieweerstand is nu $\frac{\Delta h}{Q}$ ($\frac{\text{m}}{\text{m}^3/\text{dag.m}}$)

De weerstand van de grotere waterloop FG kan bepaald worden uit de berekende kD en de stijghoogten in H, I, J en K.

Stel dat in het afgedamde stuk LM met lengte van 50 m en een breedte van 2 meter in vrij korte tijd 5 m³ water wordt gebracht. De waterspiegel in LM zal dan maximaal 5 cm stijgen. Veronderstel dat de waterspiegel in LM in stationaire toestand zakt met een snelheid van 0,5 cm per uur. De sloot EF infiltreert dus in normale omstandigheden gemiddeld 0,01 m³/uur per meter lengte (dus 12 m³/dag per 50 m).

Stel dat de afstand tussen AB en CD 20 m bedraagt en dat de stijghoogten als volgt zijn;

- A = 10,774 m+ NAP
- B = 10,806 m+ NAP
- C = 10,792 m+ NAP
- D = 10,763 m+ NAP

De kD van het freatische pakket is dus;

$$kD = \frac{0,24 \cdot 20}{(10,806-10,774)+(10,792-10,763)} = 80 \text{ m}^2/\text{dag}$$

De stijghoogten in A, B, C en D zullen zeer nauwkeurig bepaald moeten worden.

Als Δh (zie figuur 2) berekend wordt als 48 cm, dan geldt voor de infiltratieweerstand van EF

$$I_{EF} = \frac{0,48 \text{ m}}{0,24 \text{ m}^3/\text{dag.m}} = 2 \text{ dag/m}$$

Voor de infiltratieweerstand I van een element met oppervlak 200 m bij 200 m waarin 250 m sloot ligt, geldt dus:

$$I = \frac{200 \cdot 200 \cdot 2}{250} = 320 \text{ dagen}$$