

NOTA 601

20 januari 1971

: Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

NN31545.0601

WATERBEHEERSING, WATERTOEDILING EN
REKENTECHNIEKEN ALS GRONDSLAG DAARTOE

C) HET PRAKTISCH GEBRUIK VAN REKENMODELLEN

ir. W. C. Visser

STATIONSGEDOUW



Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking.

222675 C

HET PRAKTISCH GEBRUIK VAN REKENMODELLEN

Bij het praktisch gebruik van rekenmodellen, thans ook wel simulatie genoemd; hangt het model af van wat men berekenen wil, evenzo als het doel van het rekenen afhangt van wat men als model heeft weten te programmeren. Van belang is, wat men onder een model, te splitsen in een kernmodel en de op speciale doelen gerichte aanvullingsmodellen, verstaat.

Als kernmodel wordt gedacht aan een model dat een redelijke voorlopige oplossing geeft en dat in vele gevallen, waarin het niet om grote nauwkeurigheid noch om een redelijke nauwkeurigheid voor een eigenschap die zelden voorkomt gaat, maar men met een eerste oplossing genoeg neemt, kan worden toegepast als enige berekening.

Wil men over een bepaalde eigenschap meer in detail geïnformeerd worden, dan zijn aanvullingen nodig.

Wat verstaat men onder een model

Als kernmodel kan men ter bepaling van de waarden van de parameters de berekening op grond van de grondwaterstandswaarnemingen kiezen. De volledige reeks van waarnemingen waarover men veelal kan beschikken alsmede de nauwkeurigheid van de meting van de grondwaterdiepte, pleit voor deze keuze. Ook de neerslag zou men voor het vaststellen van de parameters kunnen kiezen. Maar de nauwkeurigheid van de regencijfers is veelal minder groot, deels omdat vaak het regenstation niet dichtbij het gebied ligt waarover men wat wil weten, terwijl de regen wat onregelmatig verdeeld over een gebied pleegt te vallen en een regenmeter door luchtwervelingen te veroorzaken de regen die valt maar bij benadering opvangt. Het kernmodel kan daarom met de meeste zekerheid op de grondwaterstand worden opgebouwd, al lijkt ten aanzien van de rekentechniek de vereffening via de neerslag het voordeel van grotere eenvoudigheid te kunnen hebben en zou men bij vereffening via de afvoer constanten voor een geheel stroomgebied en niet voor een enkel punt krijgen.

Men kan de vraag wat men onder een model verstaan zal, nog anders opvatten dan een onderscheid in kernmodel en aanvullende mo-

dellen, en wel wat een wiskundig model in gewone taal beschreven eigenlijk probeert weer te geven. Het zal duidelijk zijn dat een rekenmodel een formule voorstelt voor een bepaald proces of een bepaalde structuur, waarover men iets kwantitatiefs wil weten.

Dit kunnen heel eenvoudige berekeningen zijn, maar vooral ingewikkelde en moeilijke berekeningen zal men met het woord model aangeven. Wat men nastreeft met modellen, zoals die hier bedoeld zijn, is het zo nauwkeurig en volledig mogelijk nabootsen van een bepaald aspect van de werkelijkheid, bijvoorbeeld de waterbalans. Men kan daarmee langs de weg van berekeningen eigenschappen van de in het model vervatte relatie opsporen die zonder model alleen door proefnemingen zouden kunnen worden gevonden. Het model moet in staat zijn uitspraken toe te laten over situaties die men niet bewust in het model heeft ingebouwd en die mogelijk in de praktijk door het niet van nature voorkomen van de noodzakelijke combinatie van omstandigheden niet optreden. Maar in het model kunnen deze in de natuur niet voorkomende toestanden wel nagebootst worden. Een voorbeeld hiervan is het inbouwen in het model voor de waterbalans van de effecten van een onttrekking voor de waterwinning, in een model dat is opgebouwd en getoetst voor een plek waar deze waterwinning nog niet voorkomt.

Het centraal stellen van het nabootsen van een praktisch realiseerbare toestand legt de nadruk op de volledigheid van het model, op het inbouwen in het model van alle factoren die op het effect van de praktische maatregel van voldoende invloed zijn om de praktische nauwkeurigheid te beïnvloeden. Zo zal het verschil in gewas of de aard van het bodemprofiel de ondergrondse afvoer of de verdamping ongetwijfeld bij nauwkeurige perceelsgewijze studie wel blijken te beïnvloeden. Maar of men bij een studie, die op de beekafvoer van een stroomgebied gericht is, van deze effecten nog wel een duidelijke invloed waarneemt, die deze eigenschappen op de nauwkeurigheid uitoefenen waarmee het model de afvoer voorspelt, lijkt minder te verwachten. Men zal in eerste aanleg zich dus niet begeven in het vaststellen van de op-pervlakte aan verschillende verbouwde gewassen en dit als een gegeven beschouwen waarmee de berekening van de gebiedswaterbalans bij normale landbouwgronden zal dienen te worden uitgevoerd. Het eerste zal men het opnemen van het bouwplan als noodzakelijk gegeven

in de waterbalans overwogen, indien men te maken heeft met de waterbalans van een droge grond. Hier zullen meer gevallen optreden, waarin de voor de plant beschikbare hoeveelheid bodemvocht van belang is en waarbij gewaseigenschappen als de omvang van het wortelstelsel, de verdamping mede gaan bepalen. Dit effect van het bouwplan ligt bij de waterbalans veel ongevoeliger dan bij de bepaling van het economisch effect van de waterbalans.

De invloed van neerslag, verdamping en berging

Het rekenmodel heeft ten doel, de toestand te voorspellen die in werkelijkheid zal optreden als gevolg van een bepaalde ingreep in de waterbalans. Deze ingrepen zijn maar beperkt in type en ook in de balansterm die er door wordt beïnvloed is men aan restricties onderhevig.

Zo kan men de neerslag wel beschrijven maar niet naar wens beïnvloeden of veranderen. Men kan berekenen wat in zeer natte of zeer droge jaren aan effecten te verwachten is, maar deze combinatie van omstandigheden zou men ook uit waarnemingen uit vroegere natte of droge jaren kunnen afleiden. Hier biedt het model een vereenvoudiging maar geen beschrijving van nieuwe toestanden.

De verdamping is te beïnvloeden door al of niet verbouwen van gewassen of van bepaalde gewassen en door het wijzigen van de grondwaterdiepte. Wanneer echter de grondwaterdiepte bepaald wordt op grond van andere effecten dan de verdamping - bijvoorbeeld op grond van de opbrengst - en wanneer het bouwplan eveneens als manipuleerbare factor wegens de economische doelstelling van het grondgebruik uitvalt, dan vervalt ook de verdamping als werktuig ter beïnvloeding van de waterbalans.

Bij de berging kan men weinig aan de fundamentele constanten veranderen. Wel kan men invloed uitoefenen via de grondwaterdiepte. Ook hier weer zijn de mogelijkheden beperkt omdat de middelen om de berging te veranderen, zoals losmaken of verdichten van de grond, ofwel economisch niet uitvoerbaar, dan wel niet gewenst zijn. Het verdichten van de grond en daardoor verlagen van het bergend vermogen zou mogelijk technisch nog wel enige kansen hebben. Maar voor het voordeel van verkleinen van de berging zal men zelden redenen kunnen aanvoeren. En het vergroten van de berging door losmaken

van de grond is een bewerking waarnaar de landbouw reeds vele jaren zoekt. Maar hiervoor zijn geen methoden gevonden die anders dan op kleine oppervlakten toepasbaar zijn, zoals het door de grond mengen van veen, het toepassen van organische mest en het gebruik van chemische preparaten als krilium. De berging mag men dan ook wel als een vast gegeven beschouwen, speciaal wanneer het om grote oppervlakken gaat die niet in dezelfde hand zijn. Ware het wel mogelijk grote oppervlakten volgens een vast systeem te beheren, dan zouden maatregelen als bekalking bij lemige gronden en groenbemesters bij zandige gronden nog wel een kans kunnen hebben.

Wel bestaat nog een middel om de berging ongeveer met het tienvoudige te vergroten. Dit kan door de berging in de grond te vervangen door de berging van een open plas. Door deze plas verder tot een bergboezem met dijken en met hoge waterstand door oppompen van water uit te breiden kan men de berging in een gebied nog aanzienlijk verder uitbreiden, maar het handelt dan niet langer om grondwaterberging, maar open berging, welke voor beekafvoer en grondwaterwinning zonder twijfel van belang is. Voor de landbouw is deze open berging alleen van belang indien bovendien nog vele andere maatregelen genomen worden.

De beïnvloeding van de waterbalans via de afvoer

Het enige middel tot beïnvloeden van de waterbalans is het regelen van de afvoer. In de afvoerformule

$$A_{dr} = B_1(S - W) + B_2(S - W)^2 \quad B_1 = \frac{4kD}{L^2} \quad B_2 = \frac{8K}{L^2}$$

komt dit neer op het veranderen van B_1 en B_2 door een verkleining van de L of het veranderen van de drainagebasis S , welke letter het peil van het water in de sloot of de beek weergeeft, door onderhoudsmaatregelen. Hieronder wordt begrepen zowel het wegnemen van onkruid als het verbreden en verdiepen van de beek waardoor het peil wordt verlaagd. Dit alles verlaagt secundair het grondwaterpeil. Verhoging is echter ook mogelijk door het stellen van stuwpeilen. Naast de beïnvloeding van de waterbalans in de akker via de drainage maakt men dus gebruik van de beïnvloeding van het peil van het open water via een

vereenvoudigde formule voor de afvoer door de beek:

$$A_{\text{beek}} = K_M (0,49 + 0,08^b/h) h^{2,67} I^{0,5}$$

Het beekonderhoud beïnvloedt de wandruwheidswaarde K_M , de beekverbetering de bodembreedte b en de waterdiepte h , terwijl de stuw en het verhang I beïnvloeden, tegelijk ook hier weer met de h .

Tenslotte moet hier nog het effect van de waterafvoer A_{ww} via waterwinning worden genoemd, die plaatsvindt volgens de formule:

$$A_{\text{ww}} = \frac{2kD(h_2 - h_1)}{R^2 \ln \frac{r_2}{r_1} - \frac{r_2^2 - r_1^2}{2}}$$

In deze formule kan men de D veranderen door langere en diepere filters toe te passen, terwijl de omgrenzing van het afgepompte gebied door R en r_1 wordt gerepresenteerd. Hierbij wordt r_1 dus niet beschouwd als de straal van de filterbuis maar als de straal van een cirkel van vele meters, waarin een aantal pompputten staan opgesteld.

Het doorrekenen van praktische problemen

In het voorgaande werd uiteengezet, dat men maar over weinig werktuigen beschikt om in de waterbalans in te grijpen. In hoofdzaak zijn dit de middelen tot regulering van de afvoer door sloten of drainbuizen aan te leggen ofwel het peil in sloten te verhogen of te verlagen, waardoor de afstroming vanuit het perceel wordt verminderd of vergroot.

De maatregelen kan men zich het beste denken in verband met waterwinning en landbouw beide, beter dan de maatregelen in te stellen op de belangen van de landbouw alleen of van de waterwinning alleen. Zelfs voor het onderzoek in engere zin is deze combinatie van taken aan te bevelen, omdat hetzelfde model het inzicht in de beide richtingen van overweging tegelijk kan ondersteunen. Ten aanzien van de kosten - batenverhouding is wat betreft het ontwerp en de uitvoering de combinatie van beide probleemstellingen echter zonder twijfel eveneens aan te bevelen.

De meest voor de hand liggende vraag is die, hoeveel water men aan een gebied kan onttrekken voordat de landbouwschade te groot wordt. Wanneer men deze vraag oplost door het effect van een bepaalde grootte van een onttrekking op de opbrengst van de landbouwbedrijven vast te stellen, dan moet voor het voordeel van waterwinnen en het nadeel van de afname van de landbouwopbrengst een vergelijkingsnorm worden vastgesteld.

Men kan er van uitgaan, dat het nationale inkomen zoveel mogelijk moet toenemen. Bepalend is daarbij, hoeveel water men voor de waterwinning nodig heeft. Dit water zou dan zo onttrokken moeten worden, dat men het meeste wegpompt op de plaats waar de schade het geringste is, bijvoorbeeld wegens kwel of wegens een grote kD -waarde of wegens een groot bergend en vochthoudend vermogen.

Men kan er echter ook van uitgaan, dat het nationale inkomen niet vermindert. Vergeleken met de optimalisering van het nationale inkomen is dit een concessie aan de zwakste partij, dus vermoedelijk aan de landbouw.

Een nog grotere concessie zou zijn de landbouwschade tot een aanvaardbaar bedrag te limiteren, terwijl de grootste concessie ontstaat indien men de vochtbehoefte van de landbouw geheel zou dekken door een deel van het opgepompte water via kunstmatige beregening weer aan de landbouw beschikbaar te stellen. Wat hier als opklimmende concessie aan de landbouw wordt aangeduid, had ook een afnemende concessie voor de waterwinning kunnen worden genoemd, al naar gelang van wat men als norm voor de watertoedeling beschouwt.

Het economisch aspect van het eenvoudige waterwinnen door oppompen

De berekening voor het optimale nationale inkomen voert men uit door bij opklimmende waarde van de kwel, de kD -waarde en het bergend vermogen bij enkele winningsdebiëten de grootte van de verdamping E_w en de berging - die aan het luchtgehalte L gelijk is - te berekenen (fig. 1).

De opbrengst van de gewassen berekent men door middel van een aanvullingsmodel voor de opbrengst via de verdamping E_w en het luchtgehalte L volgens de formule voor de opbrengst q als:

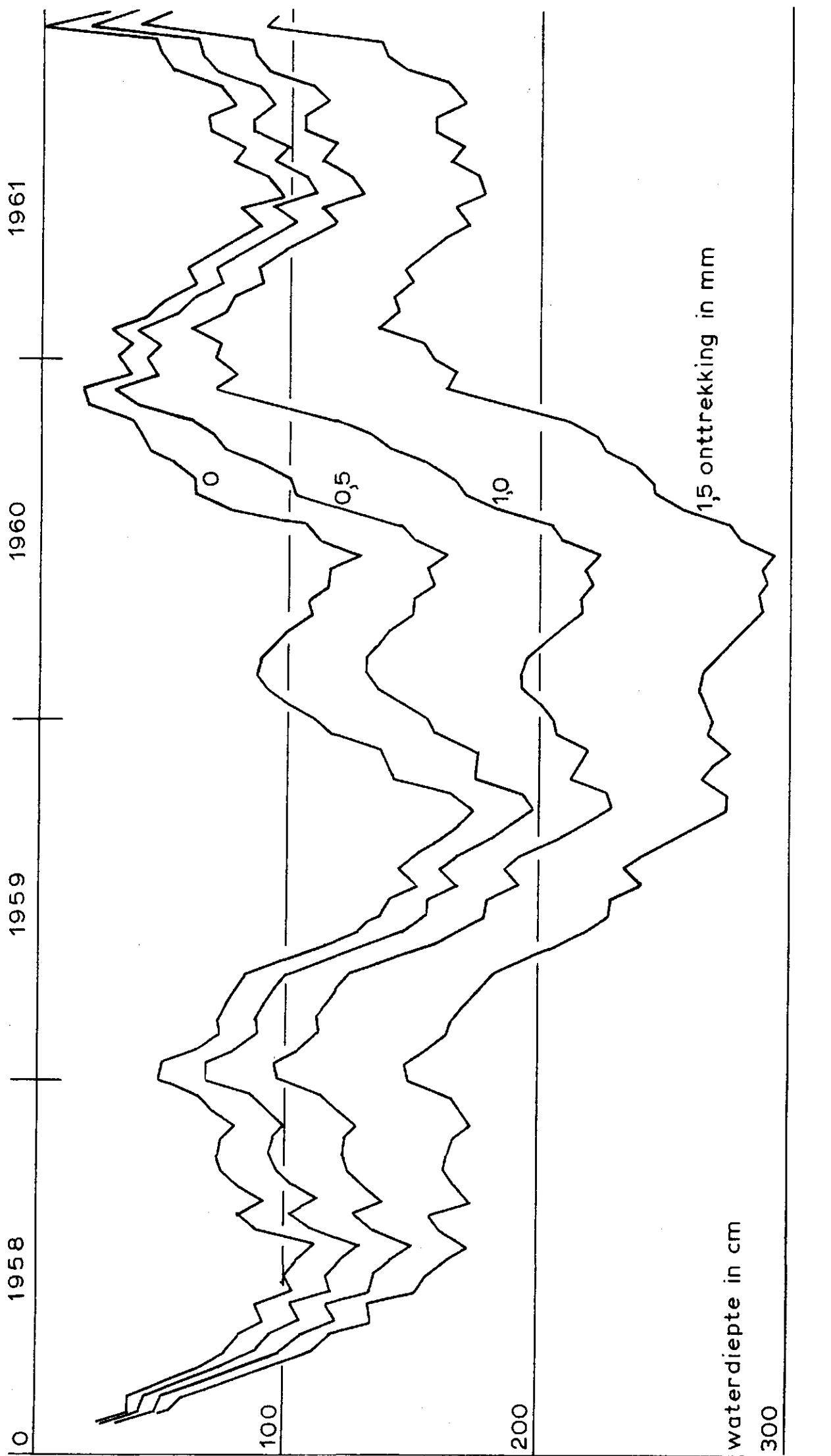


fig. 1

$$\left(1 - \frac{q}{a e^{\alpha t}}\right) \left(1 - \frac{q}{b \xi E_w t}\right) \left(1 - \frac{q}{c \xi L t}\right) = F$$

In deze formule betekent t de tijd van het jaar en zijn α , b , c en F parameters. Men kan nu met het kernmodel E_w en L berekenen en de snelheid van groeien, die per tijdvak door $q = e^{\alpha t}$ wordt weergegeven en over de seizoenen gesommeerd wordt, op grond van het aanvullingsmodel uit bestaande gegevens halen. Het aangevulde rekenmodel leidt dan tot een inzicht in de kilogramopbrengst q . Via de berekening van de invloed van de waterhuishouding op het bouwplan en het bedrijfsinkomen worden bedrijfsinkomens voor de verschillende combinaties van grootten van kD , μ , verdamping en kwel verkregen. De combinatie, die de grootste voordelen voor de waterwinning wegens het niet hoeven toepassen van kostbaarder winningstechnieken paart aan de kleinste schade aan de gewassen, levert de oplossing voor het vraagstuk wat de invloed van de waterwinning op het nationale inkomen is. Het gaat hier weer om een optimalisatie, waartoe een gelijke rekentechniek wordt toegepast als voor de vereffening werd gebruikt. Hier ontbreekt naast de berekende waarde echter een direct bepaalde waarde zodat geen fout, maar alleen een gemiddelde kan worden bepaald.

Waterwinning bij door stuwten beheerste berging

De berekening kan zich verder richten op het optimale gebruik van het bergend vermogen. Hierbij is het belangrijkste vraagstuk, vast te stellen welk peil men in de leidingen zal moeten handhaven om een zo optimaal mogelijke grondwaterstand te verkrijgen. Dit effect op de grondwaterstand zou moeten worden gedifferentieerd naar het regenoverschot of verdampingoverschot, dat men in de komende maanden mag verwachten. Verder is van belang, welke maatregelen men ten aanzien van de afvoer zal moeten nemen, indien in een bepaalde periode veel meer regen valt dan op grond van de gemiddelde kans zou hebben mogen verwachten.

Het gaat hier niet alleen om de landbouwschade die door wateroverlast zou kunnen ontstaan, maar evenzeer om de hoeveelheid water,

die in een zo nat seizoen ongebruikt weg zou moeten stromen en dus voor de waterwinning verloren zou gaan.

In dit geval gaat het om een verdere uitwerking van het afstromingsmodel dat de afvoer in samenhang met het waterpeil in de beek en het verhang in de opeenvolgende beekpanden beschrijft. De moeilijkheid hierbij is, dat men de uitgebreidheid van de invloed van de beekopstuwwing mathematisch zou moeten weergeven en dat men niet meer met de waterbalans op een enkel punt te doen heeft maar de verschillen in lokale gesteldheid op een of andere wijze moet verwerken. Door variatie met de tijd te combineren met variatie naar plaats, beide voor invloeden die niet volgens een bepaalde wet maar volgens toeval variëren, zal men tot bijzonder grote en onoverzichtelijke modellen komen, die te onpraktisch worden om er een oplossing voor te proberen te vinden. Men zal vele grootheden onveranderlijk moeten veronderstellen, zoals de terreinhoogte, het profieltype en variaties in stromingsweerstand in de grond en in de leidingen. Men zal de geografie ingrijpend moeten vereenvoudigen door het toepassen van een soort Tiessen-methode voor waterbalansen in plaats van voor de regenval. Men kan zich voorstellen, dat men de berekening voor de plekken met grondwaterstandsbuizen uitvoert en deze maatgevend stelt voor een bepaald gebied rondom de buis.

In het aanvullende model voor de beekafvoer, weergegeven als:

$$A_{\text{beek}} = K_M (0,49 + 0,08 \frac{b}{h}) h^{2,67} I^{0,5}$$

waarbij de I de invloed van de stuwstand en de stuwplandlengte in aanmerking neemt, wordt de h onder invloed van de opstuwning ingevoerd en wordt deze waarde van h gewijzigd op het moment dat men op een andere stuwstand overgaat. Dit kan een bepaalde datum zijn die op grond van de gemiddeld te verwachten klimaatsvariatie optimaal is of wel kan men de stuwstand koppelen aan een bergend vermogen, een grondwaterstand of een beekafvoer waarmee men het strijken van de stuw ter voorkoming van wateroverlast met het model nabootst.

De berekeningen voor het optimaliseren van de maatregelen ter optimalisering van het effect van bergingsbeheersing is door de aard van het probleem, waarbij regionale zowel als tijdelijke toevalinvloeden meespelen, nogal ingewikkeld. Het zal veel overweging vergen, vast

te stellen wat men minimaal zal moeten onderzoeken en wat, hoewel nuttig en nodig, achterwege zal moeten blijven. Wel is alles wat voor een eerste project geprogrammeerd is, voor elk volgend gelijksoortig project beschikbaar en dit zal het werk in latere stadia van het waterwinningsonderzoek beperken. Maar er zijn vele typen van verschillende projecten denkbaar en het is de vraag of zich een niet te ingewikkeld verzamelmodel laat ontwerpen, dat het gehele probleem van bergingsbeheersing voldoende gedetailleerd beschrijft.

De waterwinning bij door spaarbekkens beheerste berging

Een aspect dat met het model met veel minder complicaties bewerkt kan worden is het toepassen van bergboezems. In werkelijkheid is de bergboezem reeds in de vorm van de zakwaterberging B_z aanwezig. Welke term van de waterbalans ophoudt zakwater weer te geven indien $h \gg 0$ wordt en het water dus niet verder afzakken kan door gebrek aan verhang.

In geval men de bergboezem in het model wil invoegen, zal het noodzakelijk zijn de toevoer van de beek, waarvan men het water wil opbergen, in de formule op te nemen. In verschillende gevallen en vooral indien men met lange tijdvakken werkt, zou men de open water afvoer kunnen nemen die ter plaatse is berekend. Dit zou in ieder geval de som van A_{dr} en A_{opp} moeten zijn terwijl de afvoer naar verre leidingen A_{ver} zou moeten worden onderzocht op de plaats waar dit water op de leiding komt. Is dit beneden het ontnaempunt van de bergboezem, dan zou deze afvoer voor het betreffende deel niet opgenomen mogen worden.

De aan de beek ontleende hoeveelheid water zal, door het bergend oppervlak gedeeld, de toename van de vulling van de bergboezem leveren, terwijl een onttrekkings- en wateraflaatregiem de afname van de vulling dient te geven, zodat men in het model de waterbalans van het spaarbekken volledig heeft weergegeven.

Voor dit ontnemen van water aan de bergboezem zal men een strategie moeten opstellen, bijvoorbeeld een regelmatige suppletie van de grondwateronttrekking, of een aanvulling van het grondwater tot een zekere waterstand. Ook voor de aanvoer van water naar de bergboezem dient een systeem te worden geprogrammeerd, hetzij gravi-

tatiestroming, hetzij oppompen, al naar gelang van de constructie van de bergboezem. Is het bekkenpeil lager dan dat van het grondwater en gaat de boezem als pompput werken, dan dient bij standen beneden het grondwaterpeil een pompputformule de formule voor de hangwaterberging te vervangen. Deze mogelijkheden zijn overigens in één en hetzelfde rekenmodel te combineren.

Bij de strategie voor waterontname, zoals bij elke gebruiksstrategie, dient men zich wel af te vragen wat men bereiken wil en welke van de verschillende doelstellingen de grootste urgentie heeft. Terwijl het kunnen blijven leveren van water de hoogste urgentie heeft, valt dit criterium als berekeningsgrondslag uit, omdat men dit doel ongeacht de kosten zal nastreven en hieruit dus geen kosten criterium te halen valt. Het technisch criterium is bij grondwaterwinning niet van belang. Water kan men altijd onttrekken, gezien de enorme berging in dikke grondlagen. De waterleverantie dient in werkelijkheid in stand gehouden te worden tegen de laagste kosten volgens de sleutel die men bij de vergelijking van baten en schaden bij landbouw en waterwinning heeft aangelegd.

Daar men bij spaarbekkens steeds een ruime marge aan water ten opzichte van gemiddelde klimaatstoestanden ter beschikking zal hebben, gaat het bij het bepalen van de optimale gebruiksstrategie om situaties die zich maar zelden en alleen in zeer droge jaren zullen voordoen. Een zorgvuldig onderzoek zal gewenst zijn om na te gaan of men onder deze omstandigheden niet het beste doet om op plaatsen met een diepe waterstand het benodigde water maar op te pompen ongeacht de daarmede aan andere belangen berokkende schade. Bij diepe grondwaterstanden zal deze schade niet zo groot zijn omdat de grootste schade door droogte reeds bij geringere onttrekking berokkend is en verdere verlaging van de grondwaterstand niet zo veel invloed zal hebben. Verder treedt deze droogte zo zelden op dat de schade op jaarbasis eveneens klein zal zijn.

Het droge jaar als maat voor de waterwinningsstrategie

Bij de hier gehouden beschouwing zijn in werkelijkheid drie watervoorraadssystemen onderscheiden. Het systeem van de grondwaterberging kan op een dag voor dag basis worden gebruikt met dagelijkse

onttrekking door waterwinning, afvoer en verdamping en aanvulling door elke regenbui. De variaties zijn maar klein.

Daarnaast staat de naar twee zijden begrensde berging van een spaarbekken, waarvan men de bovengrens ten aanzien van de wateronttrekking wat elastischer kan maken door het spaarbekken een peil te geven dat zo diep beneden het grondwater komt te liggen, dat het bekken als pompput gaat werken.

Wanneer ook deze waterhoeveelheid in een zeer droog jaar onvoldoende blijkt te zijn en ongeacht de kosten water moet worden geproduceerd, dan wordt de noodberging aangesproken. Daartoe wordt op de plaatsen waar vochthoudend vermogen van de bouwvoor, hoogte van de capillaire opstijging en diepte van het grondwater een kleinste schade van overpompen doen verwachten, de waterhoeveelheid waaraan men behoefte heeft op een beperkt aantal plaatsen opgepompt en de schaden, de landbouw daardoor aangedaan, afzonderlijk geregeld. Deze hoeveelheden aan de noodvoorraad onttrokken water zullen niet groot zijn.

Wel moet men met de onttrekking er op letten, dat deze niet zo groot mag worden, dat men in de volgende zomer nog met een tekort van het vorige jaar rekening moet houden. Men zal de onttrekking moeten beperken tot een jaargemiddelde dat niet groter is dan het jaarafvoergemiddelde, berekend over een periode van 1 tot 3 jaar, dat met een kans van minder dan 1 maal in 10 tot 20 jaar wordt overschreden.

Aangezien de consequenties van het overschrijden van deze kans niet groot zijn, behoeft men de kans niet zeer klein te nemen. Het gaat hier niet om het niet meer kunnen leveren van water maar het trekken van een te grote wissel op de regenrijkheid van de komende jaren.

Het aanpassen van het model aan verschillende doelstellingen

Bij toepassing van het model op praktische projecten is het van het grootste belang, dat men het model voldoende soepel aan de grote verscheidenheid van mogelijke maatregelen en situaties weet aan te passen. Een verstarring van de toe te passen methode zou de moeizaam nagestreefde nauwkeurigheid van de vereffening te niet doen en de oplossing zijn bewijskracht tegenover subjectief ontworpen, niet rekenkundig geoptimaliseerde projecten doen verliezen.

Het zal van belang zijn, van de mogelijke specifieke aspecten die aan het kernmodel moeten worden toegevoegd het principe te ontdekken, dat zoveel mogelijk aanvullingen in een enkel aanvullend model laat samenvatten. Men denke aan B_z met de betekenis is 1) vochtvoorraad in de bouwvoor, 2) plasvorming, 3) oppervlakteafvoer en 4) spaarbekkeninhoud.

Het zal duidelijk zijn, dat velerlei stromingstoestanden tengevolge van de aanwezigheid van afsluitende lagen in het profiel door een goed gekozen onttrekkingsformule voor de pompput worden verantwoord. Verder zal het manipuleren van de beekafvoer en het beekpeil door middel van stuwen worden weergegeven door het beekpeil S in het kernmodel te vervangen door de drukhoogte volgens de formule van Manning, waarbij men zo mogelijk de exponenten $2/3$ en $1/2$ als variabelen opneemt. Het maakt bij de vereffening geen verschil een exponent van $0,67$ of van $0,77$ te bepalen, terwijl bekend is dat met wat hogere exponenten dan de formule van Manning toe te passen, het transport door de beek nauwkeuriger wordt weergegeven.

In geval de stuwen versteld worden, moet men een strategie voor de verstelling van de stuw ontwikkelen. Bij voorkeur zal men voor het verstellen van de stuw het wezen van het verschijnsel gebruiken. Men zal het verstellen van de stuw niet afhankelijk stellen van bijvoorbeeld de omvang van een regenbui, maar men zal de gemiddeld na een dergelijke bui gedurende de volgende dagen te verwachten regen in de beschouwing betrekken en verder rekening houden met berging, verdamping en afvoer. In werkelijkheid komt dit neer op het doorrekenen van de waterbalans voor een paar dagen, volgende op de heftige regenbui met voor de nog niet bekende dagen een paar dagen met een gemiddelde regenrijkheid. Deze berekening levert dan de grootte, die men maatgevend acht, hetzij de grondwaterstand, de plasvorming of het luchtgehalte van de grond.

Een verweer tegen een te droge toestand moet men anders berekenen, omdat droogte veelal pas na lange tijd met gebrek aan regen ontstaat. Men kiest de hoogste waterstand of het laagste luchtgehalte uit, welke men toelaatbaar acht en stelt de stuwen zo, dat men een minimum aan water verliest. Droogte wordt dus in het model behandeld als de regeling van een afvoerprobleem.

Het toepassen van spaarbekkens wordt in het model als een bijzonder geval van zakwaterberging en plasvorming behandeld. De eigenschappen van het spaarbekken blijken uit de wijze waarop men de vulling van het spaarbekken en de waterontlening daaruit in het model inbouwt. Bij het opvullen van het bergend vermogen van een hoog terrein, heuvelrug of duingebied zal dit bijvoorbeeld een aanpassing van de ondergrondse afvoer vergen, die weergeeft, welk deel van het opgespaarde water men door ondergrondse afstromingsverliezen, die door hogere waterstanden zullen toenemen, kwijt zal raken en hoeveel water er nuttig over zal blijven. Dit kan een extrapolatie zijn van de bij de vereffening verkregen beschrijving van de waterbalans van de heuvelrug, voor grotere wateraanvoer dan de regen alleen. Wel moet men hierbij bedenken, dat bij diepe grondwaterstanden de grondwaterdiepte veel van zijn toepasbaarheid verliest en men vermoedelijk beter met vochtbepalingen en grondwaterdiepten tezamen de waterbalans van een dergelijk gebied kan analyseren.

De toekomstige toepassing van modellen

Wat in het voorgaande in essentie is aanbevolen is, dat wanneer alle hydrologische relaties die voor landbouw en waterwinning van belang zijn in een kernmodel plus aanvullingsmodellen worden samengevat, men voor alle toekomstige projecten met een dergelijk model de meest optimale oplossing voor een project kan verkrijgen, zonder dat de opdrachtgever van de berekening, de hydrologie en hydraulica die hierbij toegepast wordt behoeft te beheersen. Voor de juiste hydrologische relaties zorgt het model en de rekenautomaat wel.

Voor de onderzoekers zal het vooral de taak worden, de verschillende aspecten van de waterbalans, welke men in onderzoek heeft genomen, in een vorm te gieten die in het model kan worden opgenomen. Bij proefberekeningen die op deze wijze gemakkelijk zijn uit te voeren met gebruik van grondwaterstanden of beekafvoeren kan men zowel vaststellen of de studie tot een betere formule heeft geleid, die de fout duidelijk verkleint maar evenzeer of de berekening wat rekentijd en kosten betreft voldoende geslaagd is.

Bij eenvoudige modellen zijn reeds fouten in de voorspelling van de grondwaterstand van 4 cm bereikt en is er aanleiding voor de gedachte

dat de kennis reeds zo gedetailleerd is, dat er voor verkleining van de fout met betere formules niet veel ruimte over is. Het is echter waarschijnlijk dat naast gevallen met kleine eindfout gevallen met grote eindfout zich zullen voordoen, die zich speciaal voor een nadere studie en toepassing van nieuwe inzichten lenen. Dit zou de modernste ontwikkelingen aan de hydrologische praktijk, zowel ten behoeve van de landbouw, de waterschapstaken als de waterwinning, aan toekomstige gebruikers ter beschikking stellen. Tot dusverre was een onderzoek een activiteit die telkens geheel van het begin af een probleem opbouwde en analyseerde. Het onderzoek met modellen is daarom zo waardevol, omdat elk nieuw onderzoek begint op het niveau waarop het vorige onderzoek eindigde. Is er geen gelegenheid om de analyse nog eens aandachtig te onderzoeken, dan heeft men in elk geval de zekerheid dat het onderzoek een aanvaardbaar niveau van nauwkeurigheid, volledigheid en doelgerichtheid heeft. Ook voor de onderzoeker heeft het model het voordeel dat de nieuwe inzichten direct ingebouwd kunnen worden. Het onderzoek met behulp van rekenmodellen is een nieuwe en zeer belangrijke aanwinst in het arsenaal van onderzoekstechnieken.