

Open Maq INN 29/63

U

N^o 485

waar blijft het water...

485

Landbouwwijet

door prof.dr.ir. R.A. Feddes

ONTVANGEN

08 DEC. 1950

CR-KARDEX

WAAR BLIJFT HET WATER...

door prof.dr.ir. R.A. Feddes



**Inaugurele rede uitgesproken op 13 september 1990
bij de aanvaarding van het ambt van hoogleraar in
de Bodemnatuurkunde en Agrohydrologie aan de
Landbouwniversiteit te Wageningen**

WAAR BLIJFT HET WATER...

Mijnheer de rector, dames en heren

De Romeinse geschiedschrijver Plinius Secundus (23-79) schreef over de bevolking van de terpen in Groningen en Friesland: "Daar dringt de oceaan met twee tussenpozen des daags en des nachts in enorme breedte en met onmetelijke golven het land binnen, zodat men bij deze eeuwige strijd in de gang van de natuur twijfelt of de bodem tot het land of tot de zee behoort. Daar leeft een armzalig volk op heuvels, of liever op hoogten, die zij met eigen hand hebben opgeworpen tot op het uit ervaring bekende hoogste peil van de vloed. Zij lijken op zeevaarders wanneer de zee het land rondom overstroomt en op schipbreukelingen als de wateren teruggeweken zijn."

Meer dan de helft van Nederland ligt niet alleen onder de gemiddelde hoogwaterlijn van de Noordzee maar ook onder de hoogwaterlijn van de grote rivieren¹. Zouden we geen duinen en dijken hebben die ons beschermen tegen de hoge zee- en rivierstanden, en geen systeem van waterlopen, sluizen, stuwen, pompstations en bruggen, dan zou meer dan de helft van ons land niet bestaan.

Op het punt van *beheersing* van het water, dus het opheffen van wateroverlast, heeft Nederland zich dan ook internationale faam verworven.

Aan de andere kant verschijnen er steeds meer berichten dat Nederland verdroogt als gevolg van een steeds verder dalende grondwaterstand². Gezien het voorgaande en het feit dat in ons vochtige klimaat we gemiddeld een neerslagoverschot van 300 mm/jaar hebben, is dit een vreemde zaak. Waar blijft dat water?

Indien men maatregelen neemt om behalve wateroverlast ook watertekorten te bestrijden dan spreekt men van *waterbeheer*. Tegenwoordig neemt men behalve de kwantitatieve aspecten van grond- en oppervlaktewater ook de kwaliteitsaspecten in beschouwing. Bij dit laatste denk ik o.a. aan aspecten van verzilting, en van verontreiniging door meststoffen (nitraat en fosfaat) en bestrijdingsmiddelen. Beschouwt men daarbij de vaak tegengestelde belangen van landbouw, natuur, milieu, drink- en industriewatervoorziening, dan spreekt men al gauw van 'integraal waterbeheer'. Daarbij ligt het accent op de optimalisering van het regionale waterbeheer ten behoeve van deze verschillende belangen. Voor een nadere definiëring verwijs ik graag naar de begin dit jaar gehouden intreerede van collega Bogardi³.

Het taakgebied van de Bodernatuurkunde en de Agrohydrologie richt zich op de kennis van het fysisch bodemmilieu in relatie tot de functies die de bodem heeft. Zo fungeert de bodem als standplaats voor planten, en als medium voor transport en opslag van gassen, water, warmte en opgeloste stoffen. Daarbij richt het onderzoek zich op de analyse en kwantificering van met name de fysische eigenschappen en transportprocessen in het bodem-water-plant-atmosfeer systeem. Belangrijk is het integreren van kennis in voorspellende methoden en modellen. Daarbij wordt gebruik gemaakt van gelijkopgaand veld- en laboratoriumonderzoek en computersimulatie. Met behulp van modellen kunnen effecten van maatregelen en verschillende wijzen van bodem- en waterbeheer worden geëvalueerd. De kringloop van het water staat daarbij centraal. Deze kringloop is afhankelijk van de energie van de zon. Daarom wil ik eerst de

balans van de energie en daarna die van het water met u behandelen.

Energie- en waterbalans

De motor van ons klimaat, is de zon. De zon zendt stralen naar de aarde. Deze straling kan niet door het aardoppervlak heen dringen. Aan dit grensvlak wordt de stralingsenergie dan ook omgezet in andere vormen van energie. Zo wordt energie gebruikt voor de verdamping van het water van plant en bodem, voor de verwarming van de lucht en voor de opwarming van de bodem.

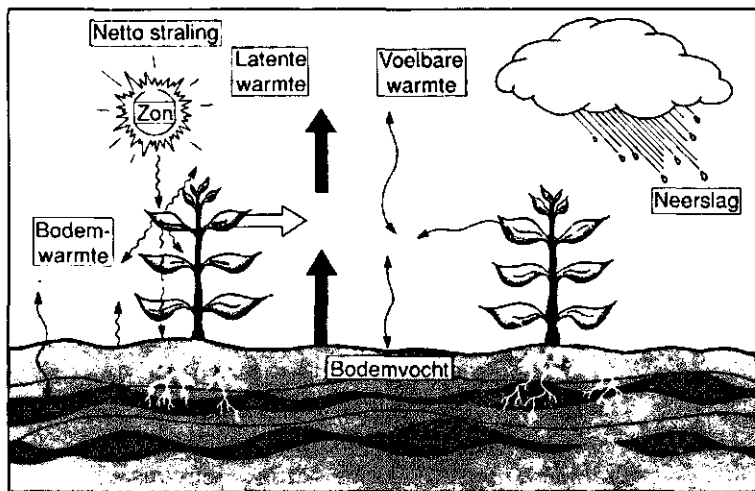


Fig. 1. Schematische weergave van de energiebalans aan het aardoppervlak. De netto stralingsenergie per eenheid van tijd en eenheid van oppervlakte wordt gebruikt voor verdamping, verwarming van de lucht en verwarming van de bodem.

Deze *energiebalans* kan worden geschreven als:

$$\text{Netto straling} = \text{Latente warmte voor verdamping} + \text{Voelbare warmte} + \text{Bodemwarmte} \quad (1)$$

Eigenlijk moet hier ook nog de energie die vastgelegd wordt in de plant ten behoeve van de fotosynthese aan worden toegevoegd. Deze is echter relatief klein, zodat ik deze term maar weglaat. Verdamping van de plant is nodig voor koeling. De huidmondjes worden zo opengehouden en CO_2 kan naar binnendringen voor de fotosynthese. Verdamping eist zowel veel energie als een ruime beschikbaarheid aan water. Zo is in ons klimaat voor een gewas als gras in een groeiseizoen ca 450 mm water nodig, wat voor een oppervlakte van 1 ha overeenkomt met 4.500 m^3 .

De hoeveelheid water die verdampt naar de atmosfeer komt in de vorm van neerslag weer op de aarde terug. De neerslag dringt in de bodem en vult de vochtvoorraad in de wortelzone regelmatig aan, waaruit de plant dan het benodigde water voor verdamping kan onttrekken. Valt er veel neerslag dan vindt afvoer via het grondwater naar de sloten plaats (Fig. 2).

Een en ander kunnen we samen vatten in de *waterbalans* van de bodem: De toename van de vochtinhoud van een bodemprofiel (bergingsverandering) is het verschil van de hoeveelheid water dat in - en uitgaat:

$$\text{Bergingsverandering} = \text{Neerslag} - \text{Verdamping} - \text{Afvoer} \quad (2)$$

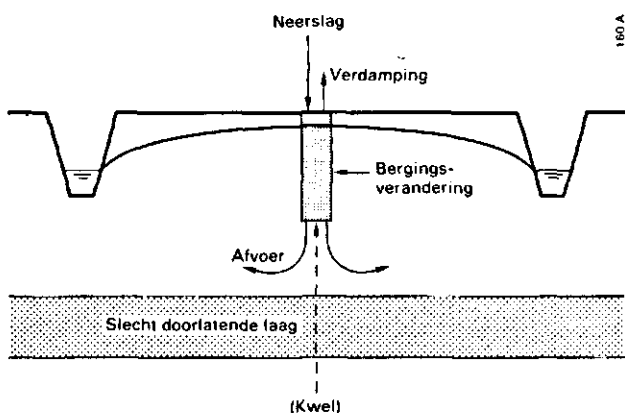


Fig. 2. Schematische weergave van de waterbalans van de bodem per eenheid van oppervlakte over een bepaalde tijdsperiode. De toename van de vochtinhoud van het profiel, de bergingsverandering, is gelijk aan de geïnfilteerde hoeveelheid neerslag verminderd met de verdamping en de afvoer. Kwel kan optreden indien de stijghoogte van het gedeeltelijk afgesloten grondwater onder de slecht doorlatende laag groter is dan de stijghoogte van de grondwaterspiegel.

Uit deze waterbalans wordt duidelijk dat bij veel neerslag en een gebrekkige afvoer uit sloten of drains, de vochtvoorraad in het profiel toeneemt en er wateroverlast kan ontstaan. Hetzelfde kan ook een gevolg zijn van grondwater dat onder invloed van een grotere druk/stijghoogte onder de slecht

doorlatende laag naar boven uittreedt. Dat noemen we dan kwel, een term die we nog aan de rechterzijde van de waterbalansvergelijking moeten toevoegen. Bij weinig neerslag en veel verdamping zal de grondwaterstand gaan dalen. De afvoer vanuit het profiel vermindert, wordt nul en slaat uiteindelijk om in een aanvoer via een opwaartse stroming van de grondwaterspiegel naar de wortelzone. Dit noemen we capillaire opstijging. Indien het waterpeil in de sloten hoger is dan de grondwaterspiegel kan vanuit de sloten infiltratie naar het grondwater plaatsvinden.

Wordt de grondwaterstand te diep, dan stopt de capillaire opstijging en treedt verdroging op.

Wanneer als gevolg van grondwateronttrekking door een pompstation de druk/ stijghoogte onder de slecht doorlatende laag wordt verlaagd, kan een neerwaartse grondwaterstroming plaatsvinden. Dit noemen we wegzijging, wat dus een extra verliespost aan de rechterzijde van de waterbalansvergelijking geeft. Het proces van verdroging wordt daarmee versneld. Hoewel ik in de gegeven voorbeelden me in feite heb beperkt tot (vlakke) poldergebieden kunnen soortgelijke beschouwingen voor (hellende) zandgebieden worden opgezet.

De conclusie die we uit bovenstaande kunnen trekken, is dat we in de hydrologische kringloop te maken hebben met een zeer labiel evenwicht. In de landbouw en natuur zal nagenoeg altijd te veel of te weinig water zijn. Met andere woorden, de optimale situatie zal slechts zelden worden bereikt.

Willen we de effecten van beheersmaatregelen op de waterbalans kunnen evalueren, dan zullen we in staat

moeten zijn de stroming van het water door de bodem te beschrijven. De wetten voor de stroming zijn bekend. Echter een probleem bij de uitwerking is, dat de verticale stroming van het vocht in de bodem een niet-lineair proces is. Zo bestaat er b.v. niet een rechtlijnig verband tussen neerslag en afvoer. Of, zoals van der Molen het plastisch uitdrukt: Als je een kip 2 keer zoveel voer geeft wil dit niet zeggen dat je 2 keer zoveel eieren krijgt.

De oplossing van de niet-lineaire stroming kunnen we het beste aanpakken door deze na te bootsen, te simuleren, met behulp van numerieke modellen op de computer. Bij deze methodiek wordt de bodem in een aantal horizontale compartimenten opgedeeld. Men legt dan randvoorwaarden op aan de bovenkant van het systeem, het maaiveld en aan de onderkant, bijvoorbeeld beneden de diepst voorkomende stand van het grondwater. Door nu met kleine tijdstappen te rekenen kun je voor de verschillende bodemcompartimenten het vochtgehalte en de stroomsnelheid uitrekenen. Een voorbeeld van een dergelijk model waarvan ik zelf mee aan de wieg heb gestaan, is het SWATRE-model^{4,5}, dat ook de wateropname door de plantewortels berekent. Nadat computermodellen zorgvuldig getoetst zijn aan experimenten in het veld wordt het mogelijk om simulaties op de computer uit te voeren. Op deze wijze kun je een deel van de tijdrovende en dure proeven in het veld vervangen door kortdurende experimenten op de computer. Een voordeel daarbij is ook dat je omstandigheden kunt doorrekenen, die je gewoonlijk slechts bij langjarige experimenten tegenkomt.

In het verdere verloop van mijn betoog wil ik nu aan de hand van de geschetste energie- en waterbalans een aantal problemen met u doornemen waar we regelmatig mee geconfronteerd worden. Deze zijn: het probleem van de wateroverlast, de verdroging en van de klimaatsverandering. Tot slot wil ik hierbij het gebruik van remote sensing toelichten.

Wateroverlast

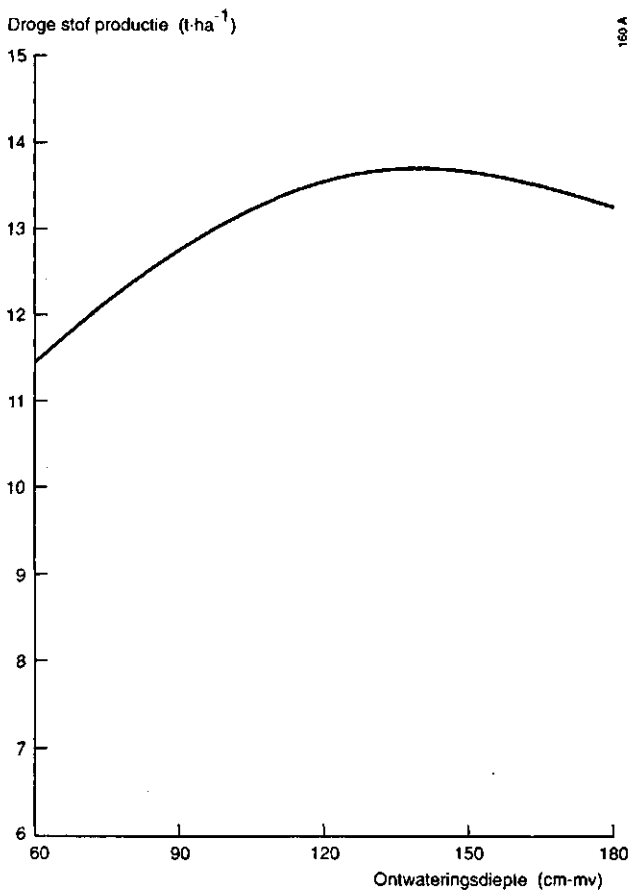
Bij het ontwerpen van ontwateringen in de landbouw door middel van sloten of drains werd in het verleden vaak gebruik gemaakt van wiskundige formules die uitsluitend betrekking hebben op een stationaire toestand. Een stationaire toestand wil zeggen dat er stromingsevenwicht is: de berging, en dus de grondwaterstand, verandert niet. Om dit mogelijk te maken, moeten z.g. criteria of normen worden gesteld ten aanzien van grondwaterstanden en afvoeren.

Voor ontwatering door middel van buizendrainage stelde Hooghoudt* in 1940 één algemeen criterium voor, nl. dat voorschrijft dat bij een grondwaterstand van 50 cm -mv de afvoer 5 mm/d dient te zijn. Hierbij werd geen onderscheid gemaakt naar de grondsoort of het gebruik dat van de bodem werd gemaakt. Sinds de 50-er jaren is er wel steeds meer onderscheid gekomen naar het bodemgebruik, waarbij opvalt dat de eisen hoger gesteld worden bij een intensiever gebruik van de bodem. Zo zijn de eisen die aan sportvelden worden gesteld hoger dan die voor gebruik als grasland. In de 60-er jaren is gaandeweg meer rekening gehouden met verschillen in bodemtype. Daarbij werd uitgegaan van een pseudo-stationaire beschouwing van de stroming. Per bodemtype werd

gebruik gemaakt van een constante coëfficiënt voor berging van het water, hoewel dit strikt genomen slechts bij benadering juist is. Op basis hiervan zijn door Wesseling en Wind drainage criteria geformuleerd, die minder streng zijn dan verkregen met de stationaire beschouwing.

Met de komst van dynamische computermodellen is het mogelijk geworden om dag voor dag de effecten van ontwatering op bodemgebruiksomstandigheden en gewasproductie uit te rekenen. Een dergelijke modelbenadering is door van Wijk, Feddes, Wesseling en Buitendijk⁷ ontwikkeld en toegepast om de invloed van drainage op de opbrengst van aardappelen door te rekenen. Uit hun onderzoek wordt duidelijk dat iedere dag vertraging in opkomst, als gevolg van slechte drainage, een opbrengstverlies van 0.7% oplevert. Fig. 3 geeft het verband weer tussen de droge stofopbrengst van aardappelen op een matig lichte zavelgrond en de ontwateringsdiepte.

De optimale ontwateringsdiepte bedraagt zo'n 130 cm. Verder blijkt dat effecten van te nat (linkerhelft curve) groter zijn dan effecten van te droog (rechterhelft curve). Dit wil zeggen dat de opbrengstverlaging als gevolg van verlate bewerkbaarheid en opkomst in het voorjaar groter is dan de verlaging door vochttekort in de zomer. De curve in Fig. 3 komt ongeveer overeen met het tot nu toe in de praktijk gehanteerde stationaire drainage criterium, wat vrij zwaar is. Maken we de drainage minder intensief door de drainbuizen 2 keer zo ver uit elkaar te leggen dan het geval is bij de curve in Fig. 3, dan vermindert de opbrengst met niet meer dan 6%.



160 A

Fig. 3. Droge stof opbrengst van aardappelen op een matig lichte zavelgrond in afhankelijkheid van de ontwateringsdiepte. Resultaat is gebaseerd op simulaties over 1952 t/m 1981.⁷

Behalve in een vochtig klimaat als in ons land, kunnen problemen van wateroverlast ook optreden in droge streken. Deze wateroverlast gaat vaak direct gepaard met problemen van verzouting. In gebieden waar wordt geïrrigeerd zorgt de wegzijging uit irrigatiekanalen en het overbevloeien van de velden dikwijls voor een stijging van het grondwaterpeil. De overbevloeiing is ten dele een noodzaak om het zout uit te spoelen. Aangezien irrigatiewater van goede kwaliteit altijd nog een zoutgehalte heeft van ca. 200 mg/l, wordt bij een jaarlijks gebruik van 1000 mm irrigatiewater 2 ton zout per ha per jaar aan de bodem toegevoegd. Deze hoeveelheid zout moet regelmatig uit de wortelzone worden weggespoeld en het percolatiewater leidt tot een verhoging van de grondwaterstand. Indien de natuurlijke drainage van een gebied dan onvoldoende is om de grondwaterstand laag te houden, is de aanleg van drainage vereist. Irrigatie is dus niet mogelijk zonder natuurlijke of kunstmatige drainage. Terwijl drainage in vochtige streken bedoeld is om de zuurstofvoorziening, de bodemtemperatuur en de bewerkbaarheid te verbeteren, is de voornaamste doelstelling van drainage van geïrrigeerd land in droge streken om de verzouting van de bodem tegen te gaan.

Begin dit jaar ben ik in het kader van het United Nations Development Program op een missie naar Pakistan geweest. Hier vindt irrigatie vooral plaats in de Indus vlakte. Vóór de introductie van irrigatie was het grondwater diep. Als gevolg van de lekverliezen uit de irrigatiekanalen en de percolatieverliezen op de geïrrigeerde velden, is de grondwaterstand fors omhoog gekomen. Gebaseerd

op stationaire drainage criteria zijn nu een 3-tal proefprojecten verspreid over het land aangelegd. Uit een vergelijkende studie blijkt dat het drainageontwerp van deze objecten niet veel verschilt. De klimatologische, bodemkundige en hydrologische omstandigheden voor de 3 proefprojecten zijn echter dermate verschillend, dat het onwaarschijnlijk is dat één waterstandsregime optimaal zou zijn voor alle 3 projecten. Daarom zal nu een niet-stationaire benadering worden gevolgd met een zout-versie van het SWATRE model.

Het gedrag van het bodem-water-zout-gewas systeem wordt daarom gesimuleerd voor een aantal jaren voor verschillende drainageontwerpen. Gebaseerd op een statistische analyse wordt dan de meest effectieve draindiepte en -afstand verkregen in termen van gewasopbrengst. Dit leidt direct tot het gewenste drainagecriterium.

Wereldwijd gezien wordt 270 miljoen ha geïrrigeerd. Daarvan zijn 20-30 miljoen ha ernstig door verzouting aangetast en 60-80 miljoen ha in zekere mate. Ontwikkelingslanden hebben een groeisnelheid van de bevolking van 2.1%/jaar. Om in de stijgende voedselbehoefte te voorzien, zal de opbrengst van de geïrrigeerde landbouw met 3%/jaar moeten toenemen. De leidraad zal daarbij zijn het verbeteren van de irrigatie efficiency. De prioriteiten in het irrigatie en drainage onderzoek zoals die onlangs zijn vastgesteld⁸ zullen zich daarbij richten op 1) het moderniseren van bestaande irrigatie- en drainagesystemen, 2) het verzekeren van ecologisch verantwoord land- en watergebruik ('sustainable agriculture') en 3) het verbeteren van de technologie van het onderhoud van de irrigatie- en drainagesystemen.

Vanouds heeft Nederland zich een wereldnaam verworven op het gebied van drainage. Op het ogenblik is het echter zo dat de meeste specialisten vanwege pensioen of VUT uitgetreden zijn. Het belang van drainage in met name de ontwikkelingslanden is groot. Daartoe wordt regelmatig een beroep gedaan op Nederlanders werkzaam bij ingenieursbureaus en de overheid. Daarom denk ik dat het belangrijk is dat de studenten een goede opleiding in drainage blijven krijgen in Wageningen. In het bijzonder voor buitenlandse studenten is er de 3-maandelijkse International Course on Land Drainage. Het programma van deze cursus gaat steeds meer verschuiven in de richting van het modelonderzoek zoals ik dat eerder heb geschetst.

Verdroging

In het begin van deze eeuw was er in Nederland in de poldergebieden regelmatig sprake van wateroverlast door een te lage afvoercapaciteit. In de hoger gelegen (en daarmee drogere) zandgebieden waren overstromingen, ook in de zomer, schering en inslag. Daarom werden in deze gebieden op grote schaal beekverbeteringen, gericht op het tegengaan van zomeroverstromingen, uitgevoerd*. Vervolgens doen zich rondom 1940 verdrogingsverschijnselen voor in de verbeterde gebieden. Dit heeft tot gevolg dat men compenserende maatregelen gaat toepassen. De waterschappen gaan de verdroging tegen door stuwen voor regulering van de afvoer aan te leggen. Ook probeert men zo rondom het droge jaar 1947 verdroging op te heffen door infiltratie vanuit open waterlopen toe te passen. Uit een inventarisatie van de water-huishoudkundige toestand van Nederland in 1958 blijkt

dat 60% van het landbouwgebied opbrengstverlaging had als gevolg van wateroverlast, en 40% verlaging als gevolg van droogte. Sinds dit onderzoek zijn veel werken ter verbetering van zowel de ontwatering als de afwatering uitgevoerd.

Uit een onderzoek van Rolf¹⁰ blijkt dat over het algemeen in de hoge gebieden van Nederland sinds 1950 een daling van de grondwaterstand is opgetreden. Deze daling zou gemiddeld 35 cm bedragen in ruilverkavelingsgebieden waar verbeteringswerken zijn uitgevoerd. De daling is voor het grootste gedeelte al opgetreden in de eind 50-er, begin 60-er jaren, waarna de situatie zich heeft gestabiliseerd.

Ook de grondwaterwinning door waterleidingbedrijven is een oorzaak van verdroging: binnen de lokale invloedzones kunnen verlagingen van de waterstand van 10 cm tot meer dan 100 cm optreden. In het algemeen kan men stellen dat zo'n 10% van Nederland onder invloed van grondwaterwinning door waterleidingbedrijven staat.

Buiten de invloeden van ruilverkaveling en waterwinning blijkt er nog sprake te zijn van een geleidelijke, extra grondwaterstands daling van 20 cm. De verdroging die als gevolg hiervan optreedt wordt wel 'achtergrondsverdroging' genoemd. Deze verdroging heeft een diffuus karakter en strekt zich over grote gebieden uit.

Eén van de verklaringen zou kunnen zijn de in de loop der jaren toegenomen gebiedsverdamping. In de landbouw zijn de gewasopbrengsten in de laatste 25 jaren met ca. 30% toegenomen. Dit wil zeggen dat het waterverbruik ruwweg ook in dezelfde orde van grootte moet zijn gestegen. Verandering in het grondgebruik

kan ook een rol spelen. Het areaal aan loof- en naaldbos is sinds de 50-er jaren nogal toegenomen. Dit leidt, in vergelijking met landbouwgewassen tot een geschatte extra verdamping in de orde van 100-200 mm/jaar. Dit is een aspect dat men niet uit het oog moet verliezen, indien men probeert om boeren bos in plaats van graan te laten telen. Als je in plaats van bos aan te planten de grond braak zou laten liggen dan kun je een hoeveelheid water van zo'n 400 à 500 mm/jaar besparen. Dit onder de aanname dat er geen groenbemester wordt geteeld.

De drinkwaterleidingbedrijven zullen wanneer ze water onttrekken aan de Rijn- of de Maas al gauw $f1,-/m^3$ aan zuiveringskosten moeten betalen. De voorkeur blijft vanwege kwaliteitsoverwegingen echter uitgaan naar het gebruik van grondwater als grondstof. Indien een boer het regenwater dat op zijn land valt ten goede laat komen aan het grondwater, dan zou hij hiervoor van de drinkwaterleidingbedrijven in principe een bedrag van $f4000,-$ à $f5000,-/ha$ moeten kunnen krijgen. Dat dit niet zo'n gekke veronderstelling is, blijkt wel uit het feit dat in de USA boeren hun water al aan nabijgelegen steden verkopen. Dat is economisch veel voordeliger dan het water voor hun gewassen te gebruiken. In China is uitgerekend dat een gegeven hoeveelheid water meer dan 60 keer zoveel economische waarde kan hebben dan bij gebruik voor de landbouw^{1 1}.

Terug naar de oorzaken van achtergrondsverdroging in Nederland. Beregening van gewassen uit grondwater zou ook een oorzaak van verdroging kunnen zijn. Hoewel beregening van grasland bedrijfseconomisch niet rendabel schijnt te zijn, heeft sinds het droge jaar 1976 een aanzienlijke uitbreiding van de berege-

ningscapaciteit plaatsgevonden. Per groeiseizoen wordt een hoeveelheid grondwater overeenkomend met 0–32 mm of meer voor beregening onttrokken. In Noord-Brabant overweegt men daarom voor bepaalde perioden in het jaar een beregeningsverbod in te stellen. Tevens bestaat er de tendens om steeds meer uit het oppervlaktewater te gaan beregenen wanneer dit maar mogelijk is.

De laatste oorzaak van achtergrondsverdroging ten slotte kan gelegen zijn in een mogelijke permanente verlaging van de waterpeilen in de beken. Hierdoor verandert de ontwateringsbasis van de hoge gronden en dus de grondwaterstand.

In nauw overleg met Van Bakel doen studenten van onze vakgroep nu onderzoek naar de verschillende invloeden van verdroging. De aanpak berust hier op berekeningen met het waterbalans-model SWATRE alsmede tijdreeksanalyses van de afvoeren van verschillende gebieden.

Om watertekorten in droge perioden tegen te gaan, voeren waterschappen een peilbeheer dat is gericht op waterconservering en wateraanvoer. In het voorjaar wordt het oppervlaktewaterpeil opgezet om het in het gebied aanwezig water vast te houden, in de zomer wordt via wateraanvoer een aanvullende watervoorziening gecreëerd. Onlangs zijn in een studie de onderzoeksbehoeften van de waterschappen vastgesteld^{1 2}. Daaruit blijkt dat kennis van effecten van veranderend grondgebruik zoals braaklegging, uitbreiding van het bosareaal en aanleg van kassen, op het aan- en vooral het afvoerregime van waterlopen belangrijk wordt geacht. Direct daaraan gekoppeld bestaat er de wens naar meer onderzoek op het gebied van vorm, afmetingen en onderhoud van waterlopen.

Hierbij vormt het handhaven van een goede ecologische kwaliteit, dus het handhaven van het voorkomen van bepaalde organismen in het water en de soortenrijkdom, een belangrijk gegeven.

De verdroging doet ongetwijfeld veel schade aan de natuur. De verlaging van de grondwaterstand en het afnemen of verdwijnen van kwelstromen hebben ertoe geleid dat het areaal aan levensgemeenschappen dat afhankelijk is van voedselarme, voedselrijke en/of natte veldomstandigheden sterk is achteruitgegaan¹³. Daarbij dient men te bedenken dat deze verandering van de kwelstroming ook nog een indirect effect kan hebben, doordat de kwaliteit van het ondiepe grondwater in nadelige zin kan veranderen. Ook de verspreiding van reeds verontreinigd grondwater kan daardoor worden beïnvloed. Het inlaten van gebiedsvreemd water kan eveneens een nadelige invloed hebben op de grondwaterkwaliteit.

In het Natuurbeleidsplan¹⁴ wordt als hoofddoel voor het natuurbeleid geformuleerd: "duurzame instandhouding, herstel en ontwikkeling van natuurlijke en landschappelijke waarden."

Voor herstel van verdroogde natuurterreinen geldt dat de grondwaterstand weer dient te worden verhoogd met water van goede kwaliteit. Daartoe is aanpassing van het waterbeheer noodzakelijk. In het kader van de provinciale waterhuishoudingsplannen zullen de provincies aangeven wat de gewenste grondwatersituatie is en hoe de verdrogingsproblemen regionaal kunnen worden opgelost. In het Natuurbeleidsplan is ervoor gekozen om de verdrogingsproblematiek op te lossen via gebiedsgerichte projecten die moeten

liggen binnen de z.g. ecologische hoofdstructuur. De ruimtelijke structuur van de natuur in ons land is te verbrokkeld voor een duurzame instandhouding van de voor ons land kenmerkende ecosystemen. Daarom zal in de komende 30 jaar een ecologische hoofdstructuur tot stand worden gebracht. Deze structuur wordt gedacht als een samenhangend netwerk van bestaande en nog te ontwikkelen natuurgebieden die met elkaar verbonden zijn door verbindingszones. De instandhouding van natuurgebieden wordt ondersteund door een z.g. bufferbeleid dat gericht is op het weren van externe negatieve invloeden.

In het Natuurbeleidsplan is een kaart opgenomen met zo'n 40 gebieden die als verdrogingsproject in aanmerking komen. Als eerste aanzet zal bij voorkeur worden gekozen voor gebieden waar zich behalve verdroging, niet te veel andere milieuproblemen van betekenis voordoen. Naar het zich laat aanzien zullen de eerste natuurontwikkelingsprojecten zich richten op een drietal landschapstypen, nl. beekdalsystemen, laagveenlandschappen en het rivierengebied. Deze landschapstypen zijn op te vatten als representanten van wetlands, met mogelijkheden tot ontwikkeling voor natte of vochtige schraallanden, moerassen, broekbossen en een aantal aquatische ecosystemen. Het onderzoek zal zich met name richten op aspecten van de regionale ecohydrologie en de nutriëntenhuishouding. Centraal hierbij staan de mogelijkheden om regeneratieprocessen op gang te brengen. Noodzakelijk daarbij is de koppeling van de ecologische modellen aan hydrologische en chemische modellen, waarmee effecten van waterhuishoudkundige veranderingen op de chemische samenstelling van grondwater en bodemvocht en op de natuurlijke vegetatie kunnen worden beschreven.

Een van de 40 gebieden die in aanmerking komen voor projecten gericht op het tegengaan of voorkomen van verdroging is het Binnenveld bij Wageningen. De vakgroep in de persoon van Van der Schaaf en medewerkers verricht in het Binnenveld en aangrenzend gebied al een aantal jaren een studie naar de regionale grondwaterstroming. Onderzoek wordt uitgevoerd onder gecontroleerde waterhuishoudkundige omstandigheden in de Veenkampen. Het gebied is nu ingericht voor een studie naar de mogelijkheden van waterhuishoudkundige regeneratie van halfnatuurlijke vochtige graslanden.

Een ander onderzoek waar de vakgroep bij betrokken is, is het herstel van de hoogveenvegetaties met zeldzame plantensoorten, zoals veenmos. Op basis van veld- en modelonderzoek in de Engbertsdijkvenen in Overijssel van Schouwenaars^{1 5} kunnen de volgende conclusies worden getrokken. Het meest kenmerkende verschil tussen hoogveenrestanten (zwartveen) en oorspronkelijk hoogveen (jong mosveen) is gelegen in de mogelijkheden voor waterberging. Deze is voor zwartveen slechts de helft van jong mosveen (bergingscoëfficiënt is 0.15 resp. 0.30). Door het opzetten van waterpeilen binnen het gebied kan men het veen in principe weer laten herstellen. De zwartveenrestanten moeten dan wel tenminste een veendikte hebben van 0,5 à 1 m. In dat geval is de wegzijging beperkt. Bedraagt de dikte van het zwartveen minder dan een 0,5 m dan zijgt er te veel water weg. Om deze wegzijging te beperken kan het dan wenselijk zijn om hydrologische bufferzones in het buitengebied in te stellen.

Klimaatverandering

Verschuiven als wateroverlast en verdroging hebben direct te maken met het klimaat en de veranderingen daarin. De toename van de verontreiniging van de atmosfeer met koolstofdioxide en andere gassen en de mogelijke gevolgen hiervan voor het klimaat staan nu in het middelpunt van de belangstelling. Daarbij is het goed te bedenken dat klimaat niet een statisch verschijnsel is. Klimaat vertoont een dynamisch karakter als gevolg van zowel natuurlijke variaties als menselijke invloeden.

In Fig. 4 is het verloop van de luchttemperatuur en het koolstofdioxidegehalte van de atmosfeer boven de zuidpool weergegeven over de afgelopen 150.000 jaar.

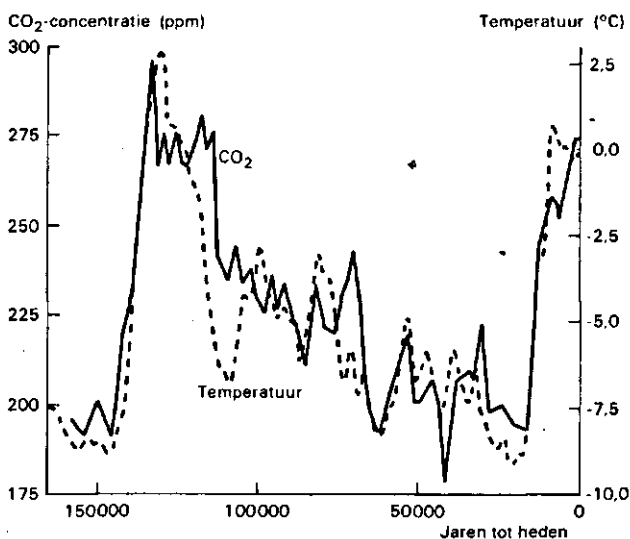


Fig. 4. Het verloop van het CO₂-gehalte van de atmosfeer en de luchttemperatuur boven de zuidpool gedurende de laatste ijstijd.¹⁶

De luchttemperatuur is bepaald aan de hand van de isotopensamenstelling van een 2000 m diepe boring in het ijs. Op basis van het CO₂-gehalte van de in het ijs ingesloten luchtbellen, is de CO₂-concentratie bepaald. Het blijkt dat de luchttemperatuur en het CO₂-gehalte op dezelfde wijze fluktuëren. Aan het einde van de ijstijd was de luchttemperatuur zo'n 10°C lager en de CO₂-concentratie 100 ppm minder dan voor de aanvang van het industriële tijdperk het geval was.

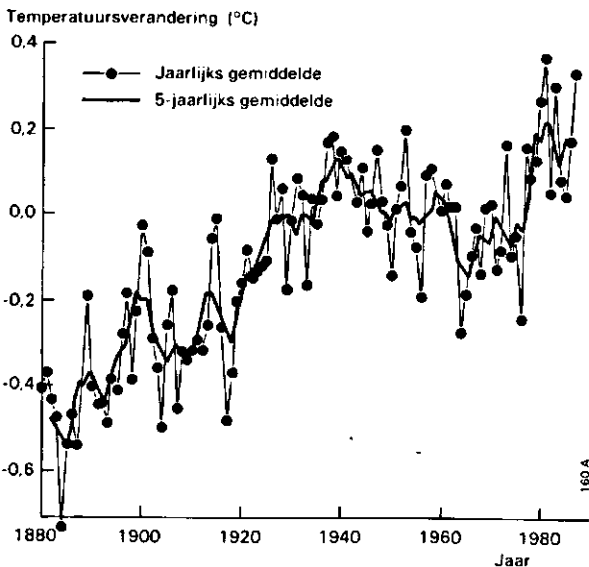


Fig. 5. Verloop van de verandering van de jaarlijkse en de 5-jaarlijkse luchttemperatuur aan het aardoppervlak gedurende de laatste eeuw.¹⁷

Het klimaat vertoont ook significante variatie op tijdschalen van jaren tot eeuwen. Fig. 5 laat een duidelijke opwarming van het aardoppervlak zien gedurende de laatste 100 jaren: het 5-jarig gemiddelde is met ongeveer 0.5°C gestegen. Er zijn echter ook duidelijke fluctuaties te zien met een vergelijkbare amplitude. Deze fluctuaties vormen geen langdurige trend en moeten worden toegeschreven aan de natuurlijke variatie van het klimaatsysteem. Deze natuurlijke variaties zul je eerst moeten begrijpen voordat je de invloed van de mens op toekomstige klimaatsveranderingen kunt voorspellen. Wel is het zo dat de afgelopen 150 jaar de CO_2 -concentratie met ca. 20% toegenomen (Fig. 6).

Het effect van CO_2 en andere gassen als zwavel-dioxyde, methaan e.d. is dat ze de warmte die door de aarde wordt uitgestraald absorberen. Daarom worden ze broeikas-gassen genoemd. De atmosfeer en het aardoppervlak worden door dit broeikas effect opgewarmd. Overigens zou bij totale afwezigheid van deze gassen de gemiddelde oppervlakte temperatuur -18°C zijn i.p.v. de huidige $+15^{\circ}\text{C}$. De vrees bestaat echter, dat de temperaturen steeds verder zullen stijgen als gevolg van een continue toename in uitstoot van de diverse broeikas-gassen. Een veel gehanteerd scenario is dat medio volgende eeuw de CO_2 -concentratie verdubbeld zal zijn. Verdubbeling van het CO_2 -gehalte zal wel groeibevorderend voor gewassen werken. Berekeningen^{19,20} tonen aan dat opbrengsten van gewassen tot zo'n 40% kunnen stijgen. Planten die groeien in met CO_2 verrijkte lucht sluiten hun huidmondjes gedeeltelijk. Daardoor kan water efficiënter worden gebruikt. De transpiratie per eenheid van bladoppervlak neemt af, dus het

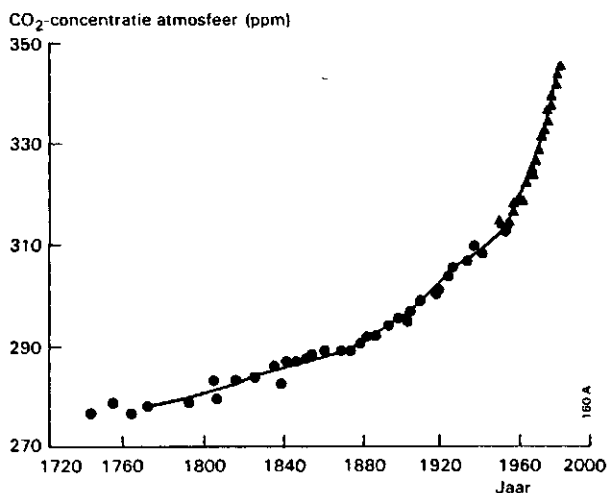


Fig. 6. Verloop van CO₂-concentratie van de atmosfeer. De punten betreffen de samenstelling van ingesloten luchtbelllen in het ijs van de Zuidpool. De driehoekjes zijn metingen verricht op het Mauna Loa Observatorium.¹⁸

watergebruiksrendement neemt toe. Per kg geproduceerde droge stof is ruwweg 50% minder water nodig voor verdamping.

Het klimaat wordt in het algemeen bepaald door een snel en een langzaam systeem. Bij het snelle systeem kunnen we denken aan de energiebalans (verg. 1), waarbij meer netto straling zal zorgen voor een temperatuurstijging. Deze stijging zal leiden tot

regionale klimaatsveranderingen. Door smelten van het poolijs en thermische uitzetting van het zeewater zal de zeespiegel stijgen. De snelle component komt tot een toestand van klimatologisch evenwicht na zo'n 5 jaar^{2 1}. Het langzame systeem wordt gevormd door de oceanen en de ijscontinenten. De oceanen hebben een forse invloed op ons klimaat. Door de enorme thermische massa reageren ze als een thermische spons, werken vertragend op de temperatuurstijging, terwijl ze zelf opwarmen. Deze langzame component van het klimaatsysteem geeft een vertraging in de respons van het snelle systeem met zo'n 10 tot 100 jaar^{2 1}. Dus de eventuele opwarming die verdubbeling van de CO₂ in de atmosfeer veroorzaakt, wordt daarmee ruwweg met zo'n 50 jaar vertraagd. (Overigens vormt de oceaan ook een goede spons voor CO₂).

Teneinde het weer en de veranderingen daarin op korte termijn te kunnen voorspellen werden circulatoriemodellen van de atmosfeer ontwikkeld. In deze modellen wordt de atmosfeer gerepresenteerd door 3-dimensionale cellen van 100-300 km in het horizontale vlak en enige kilometers in het verticale vlak. De tijdschaal waarop de modellen werken is in de orde van 10 minuten. Met zo'n circulatoriemodel kun je grootheden als windsnelheid, temperatuur, vochtigheid en druk uitrekenen. Gaandeweg ging men de atmosferische circulatoriemodellen ook gebruiken voor het voorspellen van het weer op langere termijn, dus het klimaat. Deze modellen voorspellen nu bij een verdubbeling van het CO₂-gehalte een wereldwijde toename van de temperatuur van 4°C en een toename van de neerslag met 10%. De verdamping zou toenemen en er zou een droger klimaat ontstaan op gematigde

breedten. Echter de circulatiemodellen zijn op dit moment nog zo onvolkomen dat een temperatuurstijging wetenschappelijk gezien beslist niet vaststaat.

Mijn eerste kennismaking met circulatiemodellen dateert van 1981 toen NASA een groep meteorologen, bodemnatuurkundigen en hydrologen uitnodigde om de gevolge vereenvoudigingen, dat is de parameterisatie van de uitwisselingsprocessen aan het landoppervlak, te bespreken. Toen werd mijn gevoel nog eens bevestigd dat meteorologen nooit onder het aardoppervlak kijken. Het bleek dat men pas in de 70-er jaren was begonnen de hydrologische kringloop enigszins in de circulatiemodellen te incorporeren. En pas in de 80-er jaren ging men vegetatie onderscheiden van grond. En zelfs dan beschouwt men het blad uniform verdeeld en gaat men uit van één bodemtype. De berging van het vocht in de grond wordt ook simpel gedacht als een bak met beperkte capaciteit. Regen vult de bak totdat 150 mm is opgeslagen. Alles wat er meer valt verdwijnt als oppervlakkige afstroming. Verdamping is maximaal totdat een bepaalde hoeveelheid water verdwenen is en neemt dan verder lineair af met de vochtinhoud. Op een dergelijke manier laat je nooit water op het veld staan en je verwaarloost compleet het niet-lineaire verband tussen vochtstroming en -inhoud.

Een model als SWATRE beschrijft de waterbalans veel beter, zoals onlangs door Droogers, van Dam en Stricker^{2 2} nog weer eens is aangetoond. Dit model is waarschijnlijk te ingewikkeld om rechtstreeks in circulatiemodellen te gebruiken, maar kan ook dienen als een basis voor een betere parameterisatie. Het blijkt dat de verdamping het meest gevoelige

In het kader van Internationale programma's worden ten behoeve van de parameterisatie van de uitwisselingsprocessen aan het aardoppervlak een aantal veldexperimenten uitgevoerd in verschillende gebieden op aarde. Daartoe behoren o.a. het tropisch regenbos project in het Amazone gebied, een prairie gebied in Kansas en gebieden in Zuid-Frankrijk, Spanje en de Sahelzone in Niger. In het bijzonder worden door Wageningse onderzoekers aan de experimenten in Spanje en Niger, die gedeeltelijk door EG-fondsen worden gefinancierd, forse bijdragen geleverd.

Opschaling van de processen in deze experimenten vindt plaats van lokale schaal van 100x100 m tot 1x1 km (homogene eenheden) via een schaal van 10x10 km (topografisch redelijk uniforme gebieden met een paar vegetatiesoorten) tot uiteindelijk de mesoschaal van 100x100 km. Daarbij wordt gebruik gemaakt van een complex van meteorologische, bodemfysische en hydrologische metingen, en remote sensing met behulp van vliegtuigen en satellieten. Remote sensing is de techniek bij uitstek voor enerzijds interpolatie binnen de studiegebieden en anderzijds extrapolatie naar andere gebieden. Daarmee ben ik gekomen aan het laatste deel van mijn betoog.

Remote sensing

Remote sensing betekent letterlijk vertaald 'voelen op afstand'. Vanuit vliegtuigen of satellieten, vangt gevoelige apparatuur allerlei soorten straling vanaf de aarde op: zichtbaar licht, warmtestraling en microgolven. De atmosfeer rondom de aarde absorbeert wel de meeste straling, maar is voor een aantal gebieden van het elektromagnetische spectrum

doorlatend. De remote sensing maakt juist gebruik van deze 'vensters'.

Satellieten voorzien in een herhaalde en continue waarneming van de aarde op zowel lokale als wereldschaal. Daarbij kun je onderscheid maken in twee soorten satellieten. De polaire satellieten, zoals de Amerikaanse Landsat en Franse Spot, beschrijven per dag op een hoogte van zo'n 800 km een aantal banen over de polen. Doordat de aarde intussen doordraait wordt met elke baan een ander gedeelte van de aarde geobserveerd. Deze satellieten doen er zo'n 3 weken over om weer naar hun uitgangspositie terug te keren. Ze hebben een ruimtelijk scheidend vermogen van ca. 20-30 m. Daarnaast zijn er ook nog de geo-stationaire satellieten die een gefixeerde positie hebben ten opzichte van het aardoppervlak. Een voorbeeld hiervan is de Meteosat, die op een hoogte van 36000 km in het vlak van de evenaar, de rotatie van de aarde volgt. Ieder half uur wordt een kwart van de aarde waargenomen met een scheidend vermogen van 1x1 km.

Voor de karakterisering van de aard en toestand van vegetaties wordt vaak gebruik gemaakt van het groene, rode en het niet-zichtbare nabij-infrarood van het spectrum. Op basis hiervan is met behulp van veld- en satelliet waarnemingen (Landsat-TM) door Thunnissen en Beck^{2*} een grondgebruiksclassificatiesysteem voor Nederland ontwikkeld. Hierbij is voor ieder element van 25x25 m het grondgebruik bepaald. Omdat de remote sensing gegevens in de vorm van getallen beschikbaar zijn, kunnen ze gemakkelijk gekoppeld worden met andere geautomatiseerde geografische informatie, zoals bodemkaarten en topografische kaarten. Het resultaat is een landelijke grondgebruiksdatabank

die voor bestemming, inrichting en beheer van het landelijk gebied van groot belang is. Doordat een satelliet met regelmatige tussenpozen overkomt zijn veranderingen in grondgebruik goed te volgen.

De temperatuur van vegetatie en bodem is een goede maat voor de vochttoestand. Wanneer gewassen te weinig water in de wortelzone ter beschikking hebben, zullen de huidmondjes zich gaan sluiten om verder waterverlies door verdamping tegen te gaan. Daardoor zal de stralingstemperatuur op gaan lopen. Op deze manier 'kijk' je indirect in de wortelzone en 'ziet' wat daar gebeurt. Met thermisch infraroodbeelden kun je zo de verdamping en verdroging van gewassen ruimtelijk vaststellen. Dit soort verdrogingsbeelden kunnen dienen als een toets en verificatie voor hydrologische modelberekeningen op zowel lokale als regionale schaal. Daarmee voegt remote sensing een extra dimensie toe aan de wel bekende klassieke veld- en berekeningstechnieken. Een dergelijke hydrologische beschrijving^{2 5} wordt nu toegepast op provinciale schaal ten behoeve van het grondwater-huishoudingsplan Drente door Nieuwenhuis. Door Bastiaanssen en Menenti^{2 6} is een alternatieve methodiek ontwikkeld om grondwaterverliezen door verdamping in de westelijke woestijn van Egypte vast te stellen. Dit in relatie tot een verantwoord gebruik van grondwater ten behoeve van op te zetten irrigatieprojecten. In een groot bestaand irrigatieproject in Mendoza in Argentinië zijn satelliet reflectiebeelden aangewend om via de aanwezigheid van gewassen de actuele verspreiding van het irrigatiewater vast te stellen. Door vervolgens de waterbehoefte van de gewassen vast te stellen, kan

via een optimaliseringsmodel de watertoevoer worden aangepast en zo een meer efficiënte irrigatie worden verkregen^{2 7}

Een probleem met het verkrijgen van goede reflectie- en warmtebeelden is het weer. Reflectie van zonnestraling kun je alleen overdag meten bij een heldere lucht. Warmtestraling van het aardoppervlak kun je zowel overdag als 's nachts meten, maar alleen wanneer er geen bewolking is. Voor de weersomstandigheden in Nederland betekent dit dat je slechts een paar keer per jaar goede beelden kunt verkrijgen.

Daarom neemt men tegenwoordig steeds meer zijn toevlucht tot de microgolf techniek die onafhankelijk is van weer en bewolking: de radar. De fysische interactie van microgolfstraling met de bodem en vegetatie vormt een belangrijk object van studie voor de vakgroep. Dit vooral in relatie tot de water- en energiebalans. Het is bewezen dat met behulp van radar landbouwgewassen kunnen worden geclassificeerd. Ook wordt gepoogd radar data te koppelen aan gewasgroeimodellen^{2 8} om gewasopbrengsten te kunnen voorspellen.

Voor ontwikkelingslanden in tropische gebieden is het verkrijgen van regelmatige, betrouwbare informatie over ontbossing en herbebossing van groot belang. Radar is daarvoor de techniek bij uitstek. De vakgroep is in de persoon van Hoekman sterk betrokken bij onderzoek naar ondersteuning van het beheer van het tropisch regenbos op verschillende lokaties in Zuid-Amerika. In 1991 zal de eerste Europese radarsatelliet (ERS-1) die een ruimtelijk scheidend vermogen heeft van 30x30 m worden gelanceerd. De

Flevopolder is daarbij geselecteerd als testgebied om samen met Franse onderzoekers achtergrondstudies uit te kunnen voeren. De waarnemingen van deze satelliet zijn binnen 3 uren beschikbaar voor de gebruikers.

Voor de toekomst wordt gedacht aan het steeds meer gecombineerde gebruik van optische en radarsensoren, die geplaatst zullen worden in Europese en Amerikaanse polaire platforms. In dat kader heeft NASA het onderzoeksprogramma 'Mission to Planet Earth' gestart welke gebruik maakt van allerlei data, die door de verschillende satellieten worden verzameld: Earth Observing System. Het doel daarvan is fysische uitwisselingsprocessen aan het aardoppervlak, en daarmee de hydrologische kringloop, beter te leren begrijpen.

Geachte toehoorders

Sinds Plinius zijn onze problemen met het water wel veranderd, maar niet verminderd. De hydrologische kringloop zorgt er voor dat het water steeds opnieuw naar ons toekomt. Het menselijk handelen bepaalt echter in toenemende mate waar dat water blijft. We zullen daarom zeer zorgvuldig en efficiënt met ons water om moeten gaan om de aarde en haar bewoners een duurzaam gebruik van dat water te kunnen garanderen.

Hiermee ben ik gekomen aan het einde van mijn speurtocht naar het water. Tot slot wil ik bij deze officiële aanvaarding van het ambt van hoogleraar nog een apart woord richten tot enige direct betrokkenen.

Mijnheer de Rector Magnificus, leden van het College van Bestuur, leden van de Benoemingsadviescommissie

Vorig jaar ontmoette ik op een workshop in Duitsland een nestor uit de bodem- water wereld, Prof. Don Kirkham. We maakten kennis en hij zei dat hij het nodige van mijn werk gelezen had. Toen ik hem mededeelde dat ik naar de universiteit zou overstappen, wenste hij me van harte geluk, maar zei meteen: "dat is jammer". "Hoezo", vroeg ik? Daarop antwoordde hij: "als iemand in Holland eenmaal hoogleraar geworden is, heeft hij het bereikt, en daarna hoort de buitenwereld niets meer van hem ...". Ik kan u verzekeren dat het zeker niet mijn bedoeling is aan deze beeldvorming bij te dragen. Ik dank u voor het vertrouwen dat u in mij gesteld hebt bij deze eervolle benoeming.

Hooggeleerde Bolt

Van u heb ik de grondbeginselen van de Bodem- natuurkunde op zeer systematische wijze geleerd. Daarbij was er een intensieve interactie tussen docent en student, en werd de zelfwerkzaamheid sterk bevorderd. De naam "Gerry Bolt" wordt in het buitenland met respect uitgesproken, en ik beschouw het als een eer het Bodemnatuurkunde-gedeelte van uw vroegere leerstoel Bodemscheikunde en Bodem- natuurkunde te gaan verzorgen.

Hooggeleerde van der Molen

Ik herinner me nog met zeer veel genoegen de intensieve en stimulerende discussies die ik met u en prof. Schenk als promotoren, al weer lang geleden, heb gevoerd. U weet theorie en toepassing op

bijzonder harmonieuze wijze met elkaar te combineren. Het helder overdragen van kennis aan anderen schijnt u als vanzelf af te gaan. Dit kwam ook tot uiting in het redacteurschap van het Journal of Hydrology, dat u jarenlang bekleed hebt. U bent erin geslaagd de Agrohydrologie als vakgebied een duidelijk eigen gezicht te geven, en ik prijs me dan ook gelukkig de scepter van u over te mogen nemen.

Hooggeleerde Bogardi, beste Janos

Wij zijn beiden nog relatief nieuw op een vakgroep in opbouw. We vullen elkaar goed aan op de onderscheiden vakgebieden en spreken elkaar soms toe in allerlei vreemde talen, waarbij jij blijk geeft van een sprankelende humor. Ook ik verwacht en hoop, net zoals jij dit aan het begin van het jaar op deze plaats hebt uitgesproken, op een goede samenwerking voor de toekomst.

Dames en heren medewerkers van de vakgroep Hydrologie, Bodemnatuurkunde en Hydraulica

U hebt me direct als één van de uwen opgenomen in de vakgroep. In het begin was het even wennen: een universiteit is toch net iets anders dan een onderzoeksorganisatie. Ook kostte het enige tijd om in de LUW-terminologie van begrippen als "fte", "geoormerkte AIO" en in de capaciteitsberekeningen van het personeel thuis te raken.

Ik hoop, dat we de fase van samenvoeging van 2 secties en 1 vakgroep tot wat nu de vakgroep Hydrologie, Bodemnatuurkunde en Hydraulica is, en de optredende personeelwijzigingen, spoedig achter de rug zullen hebben. De goede sfeer en de

werklust in de vakgroep staan er borg voor dat we een soepel draaiend en slagvaardig geheel zullen gaan vormen.

Dames en heren studenten

Uit mijn voorgaande betoog zal u duidelijk zijn dat mijn leeropdracht tweeledig is. De bodemnatuurkunde is het fundamentele, basis leggende gedeelte van de leerstoel. De agrohydrologie heeft in aanvulling daarop een integrerende functie op het gebied van de processen die zich afspelen in het bodem-water-plant-atmosfeersysteem. Het onderwijs heeft dus een sterk disciplinair karakter en wordt gegeven ten behoeve van een aantal studierichtingen, in het bijzonder de richting "Bodem, water en atmosfeer".

Nu heeft een aantal van u er moeilijkheden mee wat je hier in kunt "worden". Vóór de herstructurering van de universiteit en de studierichtingen lag dit net andersom. Toen wist niemand je de preciese definitie van Cultuurtechniek te geven, maar men had wel een voorstelling van de soort banen die hier bij hoorden. Voor "Bodem, water en atmosfeer" zou ik zeggen: in principe komen al die functies in aanmerking die te maken hebben met het beheren van bodem, water en lucht. Zowel inzicht als fundamentele kennis zullen daarbij noodzakelijk zijn en tijdens uw studie verworven moeten worden.

Daarnaast zou ik als oud-student, vrij naar Einstein, willen zeggen: beschouw je studie niet als een plicht, maar als een goede gelegenheid om je mogelijkheden te leren kennen, en beleef er plezier aan. Ik zal u graag daarbij helpen.

Mijnheer de Rector, dames en heren

Ik heb gezegd.

Gerefereerde literatuur

- 1 Unie van Waterschappen, 1982. The Dutch water-board.
- 2 Verkeer en Waterstaat, ministerie van, 1984. De waterhuishouding van Nederland. Staatsuitgeverij, 's Gravenhage.
- 3 Bogardi, J.J., 1990. Op weg naar integraal waterbeheer. Inaugurele rede, Landbouw-universiteit, 37 pp.
- 4 Feddes, R.A., P.J. Kowalik, and H. Zaradny, 1978. Simulation of field water use and crop yield. Pudoc, Wageningen, 189 pp.
- 5 Belmans, C., J.G. Wesseling, and R.A. Feddes, 1983. Simulation model of the water balance of a cropped soil: SWATRE. *J. Hydrol.* 63: 271-286.
- 6 Hooghoudt, S.B., 1940. Bijdrage tot de betekenis van enige natuurkundige grootheden van den grond. Deel 7. Versl. Landbk. Onderz. 46 (14): 515-707.
- 7 Wijk, A.L.M. van, R.A. Feddes, J.G. Wesseling en J. Buitendijk, 1988. Effekten van grondsoort en ontwatering op de opbrengst van akkerbouwgewassen. Rapp. ICW 31, 130 pp.
- 8 World Bank/UNDP/ICID, 1990. Irrigation and drainage research. (A proposal for an internationally supported program to enhance research in irrigation and drainage technology in developing countries). Vol. 1. Main report, 53 pp.
- 9 Wesseling, J. 1987. Water in de landbouw: altijd te veel of te weinig. *Cult. Techn. Tijdschr.* 26, nr. 5: 353-361.
- 10 Rolf, H.L.M., 1989. Verlaging van de grondwaterstanden in Nederland: Analyse periode 1950-1986.

- Min. van Verkeer en Waterstaat, 46 pp. Zie ook Projectteam Verdroging, 1989. Verdroging van natuur en landschap in Nederland: het technisch rapport.
- 1 1 Brown, L.R. et al. 1990. Hoe is de wereld er aan toe? Worldwatch Institute – Keerbergen: Pauli Publishing, 320 p.
- 1 2 Pruissen, F.G.M. van, J.H.A.M. van Steenvoorden en P.J.T. van Bakel, 1990. Onderzoeksbehoefte van waterschappen met betrekking tot het waterkwantiteitsbeheer. 92 p. Rapport 77, Staring Centrum.
- 1 3 Projectteam Verdroging, 1989. Verdroging van natuur en landschap in Nederland. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Ministerie van Landbouw en Visserij en Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. 's-Gravenhage, 68 p.
- 1 4 Ministerie van Landbouw en Visserij, 1989. Natuurbeleidsplan, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage, 179 p.
- 1 5 Schouwenaars, J.M., 1990. Problem oriented studies on plant-soil-water-relations. Proefschrift landbouwuniversiteit Wageningen, 175 p.
- 1 6 Barnola, J.M., D. Raynand, Y.S. Korotkevich and C. Lorius, 1987. Vostok ice core provides a 160,000 year record of atmospheric CO₂. Nature, vol. 32: 408-414.
- 1 7 Hansen, J. and S. Lebedeff, 1987. Global trends of measured surface air temperature. Journ. Geophys. Res. vol. 92: 13345-13372.
- 1 8 Siegenthaler, U. and H. Oeschger, 1987. Biospheric CO₂ emissions during the last

- 200 years reconstructed by the deconvolution of ice core data, *Tellus*, vol. 398: 140-154
- 1 0 Goudriaan, J. and M.H. Unsworth, 1988. Implications of increasing carbon dioxide and climate change for agricultural productivity and water resources. Annual ASA Meeting, Los Angeles.
- 2 0 Adams, R.M., C. Rosenzweig, R.M. Peart, J.T. Ritchie, B.A. McCarl, J.D. Glyder, R.B. Curry, J.W. Jones, K.J. Boote and L.H. Allen, 1990. Global climate change and US agriculture. *Nature*, 345: 219-224.
- 2 1 Morel, P. Global Change, 1990. World Meteorological Organization and International Council of Scientific Unions, 35 p.
- 2 2 Droogers, P., J. van Dam and H. Stricker, 1990. Soil physical characterization of a sandy soil in the HAPEX-Mobilhy region and it's meaning for modeling the soil moisture regime at different scales. Presentation at the EGS-meeting, Copenhagen.
- 2 3 Feddes, R.A., M. Menenti and P. Kabat, 1990. Inverse use of hydrological and energy balance point models versus partial area hydrology: the vantage point of satellites. Submitted to *Journ. of Hydrology*.
- 2 4 Thunnissen, H.A.M. en R. Beck, 1989. Databank voor het grondgebruik van Nederland. Produktiefolder no. 1. Bel.Cie Rem. Sens.
- 2 5 Nieuwenhuis, G.J.A. and H.A.M. Thunnissen, 1990. Application of remote sensing in water management: development of a hydrological information system. In: *Water management and remote sensing* (ed. J.C. Hooghart). Proc. and Inf. TNO Committee on Hydrological Research, no 42: 113-136.

- 26 Bastiaanssen, W.G.M. and M. Menenti, 1990. Mapping groundwater losses in the western desert of Egypt with satellite measurements of surface reflectance and surface temperature. In: Water management and remote sensing (ed. J.C. Hooghart). Proc. and Inf./TNO Committee on Hydrological Research, no 42: 61-89.
- 27 Menenti, M., T. Visser, J.A. Morabito and A. Drovandi, 1989. Appraisal of irrigation performance with satellite data and geo-referenced information. In: J.R. Rydzewsky and K. Ward (eds.) Irrigation: Theory and Practice, Pentech Press, London: 785-801.
- 28 Bouman, B.A.M. and J. Goudriaan, 1989. Estimation of crop growth from optical and microwave soil cover. Int. J. Rem. Sens. vol. 10, no. 12: 1843-1855.