

# KLIMAAT EN MIKROKLIMAAT

REDE

UITGESPROKEN IN DE OPENBARE  
VERGADERING VAN DE SENAAT  
DER LANDBOUWHOGESCHOOL  
TER GELEGENHEID VAN DE 42<sup>e</sup> HER-  
DENKING VAN DE DIES NATALIS  
OP 9 MAART 1960

DOOR

DE SECRETARIS VAN DE SENAAT  
PROF. DR. W. R. VAN WIJK



H. VEENMAN & ZONEN N.V. - WAGENINGEN

*Dames en Heren, zeer gewaardeerde toehoorders,*

Ter gelegenheid van de plechtige herdenking van de dag waarop de Rijks Hogere Land-, Tuin- en Bosbouwschool te Wageningen tot Landbouwhogeschool werd, mag, volgens gewoonte, de hoogleraar die de Diëstrede zal uitspreken voor het onderwerp een keus doen uit het gebied van de wetenschappen waarin hij zelf werkzaam is. Ik heb gekozen het klimaat en de zijtak daarvan die voor de landbouw en veeteelt zo belangrijk is, het mikroklimaat. Bij de bespreking zal ik ook op het terrein van de natuurkunde komen aangezien de moderne ontwikkeling van de mikroklimatologie geheel in natuurkundige richting gaat. De reden hiervan is niet alleen dat zo het inzicht in het mikroklimaat zelf wordt verdiept, maar ook dat de invloed daarvan op hogere planten en dieren beter wordt begrepen en dikwijls kan worden berekend. Hierdoor worden de toepassingsmogelijkheden vergroot.

*Het Klimaat.* — Ons woord klimaat betekent een complex van atmosferische condities dat op een langere termijn bezien karakteristiek is voor een bepaalde landstreek. Men kan, wanneer men zich enigszins globaal uitdrukt, zeggen dat het klimaat van een landstreek, het gemiddelde weer is dat daar voorkomt. Zo heeft b.v. Singapore een heet- en regenrijk klimaat, Amsterdam een gematigd- en nat- en Bagdad een droog klimaat.

De oorsprong van het woord klimaat ligt in het Griekse „klima”. Hiervoor geeft het woordenboek de volgende betekenissen: „neiging d.i. hoek van een bepaalde streek ten opzichte van de aardas; hemelstreek, landstreek, geografische ligging”. Klima is verwant aan het werkwoord klinein dat o.a. hellen of leunen betekent en waarvan de stam nog in het Nederlandse leunen voorkomt.

In de Griekse oudheid kende Pythagoras van Samos reeds omstreets het jaar 550 voor het begin van onze jaartelling de bolvorm van de aarde<sup>1)</sup>. Ook hadden de Grieken opgemerkt dat in de richting oost-west de gemiddelde temperatuur van de landstreken weinig en niet systematisch verandert, terwijl men een sterke temperatuursstijging in de noord-zuid richting gaande, waarneemt. Zij begrepen dat dit verschijnsel veroorzaakt wordt door het feit dat de zonnestrallen gemiddeld steiler op het aardoppervlak komen in te vallen.

Wanneer n.l. een bundel zonnestrallen loodrecht invalt op een vlak, wordt het getroffen gedeelte van dit vlak intens verlicht. Alle

<sup>1)</sup> Prof. Dr. Ir. R. J. Forbes en Dr. J. C. B. EYCKMAN ben ik erkentelijk voor inlichtingen over de aardrijkskunde der oude Grieken.

warmte die ontwikkeld wordt door absorptie van de zonnestraling komt op een zo klein mogelijk oppervlak vrij. Maar wanneer dezelfde bundel het vlak scheef snijdt wordt een groter oppervlak minder intens verlicht. Nu verspreidt zich dezelfde hoeveelheid warmte over dit grotere oppervlak. Dit wordt dus tot een minder hoge temperatuur verwarmd dan in het eerste geval bij de loodrechte stand. Het eerste vlak heeft daardoor een heter „klimaat” dan het tweede.

Op deze wijze zou het woord klima gediend hebben om het meer of minder warm zijn van een landstreek aan te geven en tenslotte heeft zich hieruit de betekenis ontwikkeld die ons woord klimaat inhoudt.

Inderdaad is de temperatuur zeer belangrijk voor het weer en het klimaat. De Grieken onderscheidden een hete klimaatzone rond de equator, ter weerszijden daarvan een gematigde zone en rond elk der polen een koude zone. In totaal waren er dus vijf klimaatzones. De grenzen der verschillende zones werden gevormd door geografische breedtecirkels.

Het Middellandse Zee gebied lag in de gematigde zone op het noordelijk halfrond. Ten noorden daarvan in de koude zone was het klimaat zo bar dat er geen beschaafde mensen, maar hoogstens woeste wilden en dieren konden leven. De hete zone zou in het zuiden zo heet worden dat het onmogelijk moest zijn deze door te trekken, zodat menselijke wezens niet in staat zouden zijn ooit de gematigde zone op het zuidelijk halfrond te bereiken.

Omstreeks 130 na Christus verrichtte PTOLEMAEUS van Alexandrië zijn beroemde geografische graadmeting van de aarde, waaruit bleek dat de aarde meer moest omvatten dan de bekende „oude wereld” alleen, en bijna vier eeuwen eerder had reeds ERATOSTHENES een redelijk exacte berekening van de omtrek der aarde gegeven. Hierdoor was aangetoond dat voor het gematigde zuidland en de koude zone op het zuidelijk halfrond plaats was.

Hoewel de oude Grieken zelf al een aanmerkelijke verfijning hadden aangebracht, heeft de indeling van het klimaat op aarde in de vijf genoemde zones heel lang stand gehouden. In de schoolatlassen van omstreeks 40 jaar geleden kon men deze nog aantreffen. De geografen gebruikten toen reeds lang andere klimaatindelingen.

*Doel van een klimaatindeling.* — Zodra men n.l. de geschetste klimaatindeling praktisch wil gebruiken stuit men op moeilijkheden. Hoogteverschillen en de vorm en ligging van de continenten beïnvloeden de gemiddelde jaartemperatuur en daardoor wijken de zonegrenzen merkbaar af van de breedtecirkels.

Gaat men het begrip klimaat uitbreiden tot de huidige betekenis die, het is reeds gezegd, neerkomt op het weer zoals dit, over een langere periode bezien, zich voordoet, dan verwacht men uiteraard

dat een klimaatsindeling ook min of meer samenvalt met een karakteristieke indeling van de een of andere grootheid die in sterke mate van het weer afhankelijk is zoals de bodemgesteldheid of de plantengroei. Maar voor beiden is niet alleen de temperatuur maar in hoge mate ook water belangrijk. Men moet dus de faktor beschikbaar water in de klimaatsindeling betrekken. Vele klimatologen hebben dit gedaan. Ik wil hier allcen de namen KÖPPEN en THORNTSWAITE noemen.

Beide maken een onderscheid tussen natte en droge klimaten. In het steppeklimaat en in het woestijnklimaat wordt de plantengroei niet door een te hoge of te lage temperatuur gelimiteerd, maar door een gebrek aan water.

In het steppeklimaat worden de voor de plant zo belangrijke oplosbare zouten niet door overvloedige regen weggespoeld, daarom vindt men daar juist de vruchtbare zwarte aarde. In grote lijnen vindt men bij KÖPPEN's klimaatsindeling overeenstemming tussen klimaat en bodemgesteldheid.

THORNTSWAITE merkt op dat lang niet alle regen en sneeuw die in een bepaald gebied valt aan de planten- en dierenwereld ten goede behoeft te komen. Dikwijls wordt veel water direct naar rivieren of de zee afgevoerd. Hij betreft daarom de faktor beschikbaar water voor de planten in zijn klimaatsindeling die hij vergelijkt met de hoeveelheid die de planten nodig hebben om goed te gedijen. Nu wordt het meeste water dat planten en dieren gebruiken als waterdamp weer afgegeven. In THORNTSWAITE's klimaatsindeling wordt derhalve de verdamping betrokken. Ongetwijfeld heeft THORNTSWAITE's manier van klimaatsindeling interessante bijzonderheden te zien gegeven die in andere klimaatsindelingen ontbreken, maar helaas verliest zij aan eenvoud, terwijl bovendien de wijze van berekening der verdamping niet juist is. Daarom wordt door vele klimatologen aan KÖPPEN's indeling de voorkeur gegeven.

Ook de Russische onderzoekers gebruiken in hoofdzaak KÖPPEN's indeling. Wel hadden zij reeds eerder systematisch conclusies getrokken voor de toepassingen van de klimaatgegevens op de landbouw, waarbij de naam WOJEIKOV genoemd moet worden. In 1900 voerde DOKUTSCHAJEV een vochtigheidsindex in. Deze was de jaarlijkse neerslag gedeeld door de verdamping van een bepaald wateroppervlak. Later werd inplaats van de verdamping van een wateroppervlak, die van een goed groeiend gezond gewas genomen dat rijkelijk van water is voorzien. Dit is wat nu de potentiële evaporatie wordt genoemd. Andere onderzoekers hebben relaties gebruikt tussen neerslag en hetzij stralingsenergie of berekende verdamping of soms ook het vochtgehalte van de lucht genomen als maat voor de waterbehoefte van planten. Allen hebben hun diverse indexen gebruikt als maatstaf van de hoeveelheid water die extra aan een groeiend gewas moest worden verschaft. De samenhang tus-

sen misoogst en een droog jaar die in de vorige eeuw en in het begin van deze eeuw zeer duidelijk aanwezig was is volkomen verdwenen in de geïrrigeerde gebieden. In noordelijker streken zoals in Nederland waar de bewolking een ongewenste vermindering van lichtintensiteit te weeg brengt kan men zelfs de grootste oogsten in droge jaren verwachten, mits het water maar wordt aangevoerd. De benodigde waterhoeveelheden hangen enigermate van de gewassoort af en vooral van de wijze van beplanting. In grote trekken lopen de lijnen die waterbehoefte aangeven ongeveer parallel aan de klimaatgrenzen.

Het zal uit het voorgaande wel duidelijk zijn dat het steeds verder detailleren van een klimaatindeling niet alleen het bezwaar met zich medebrengt dat de overzichtelijkheid meer en meer verloren gaat, maar bovendien wordt het gebied van toepassing steeds kleiner. Immers bij het detailleren kan men aansluiten b.v. aan kleine verschillen in vegetatie, maar dan zal zo'n onderverdeling niet behoeven te kloppen met verschillen in bodemgesteldheid of in het algemeen met kleine verschillen van een andere grootheid die ook van het klimaat afhankelijk is, maar die niet tot in detail op dezelfde wijze op klimaatsfactoren reageert als het gewas dat voor het vastleggen van de grenzen van de onderverdelingen is gebruikt. Conclusies over de invloed van het klimaat op planten, op dieren, op de mens, op de bestendigheid van constructiematerialen of wat dan ook in het algemeen kunnen daarom slechts van kwalitatieve aard zijn. Men kan correlatieformules opstellen tussen klimaatsfactoren, temperatuur, straling, wind en andere enerzijds en b.v. verdamping van planten of corrosiebestendigheid van constructiematerialen anderzijds, maar men moet er dan altijd op verdacht zijn dat de formules ons in de steek laten zodra men onder omstandigheden komt te verkeren die sterk afwijken van die waaronder de proeven welke tot de correlatieformule gevoerd hebben, werden genomen. Dit blijkt in de praktijk ook herhaaldelijk het geval te zijn.

Het klimaat hangt globaal samen met de levensmogelijkheden voor planten en dieren en zelfs de mens. Maar wanneer men de processen die zich in de levende- en ook in de dode natuur afspelen onder invloed van het klimaat op de keper beschouwt, blijkt het dat het nodig is dieper tot de kern van de zaak door te dringen. Een eenvoudige klimaatsbeschrijving blijkt maar een zeer onvoldoende verklaring te geven.

*Het behaaglijkheidsdiagram.* — Laat mij dit met u nader bezien en toelichten aan een object dat gemeenlijk onze belangstelling nogal heeft n.l. onszelf, de mens. In de laatste decennien is een zeer grote en sterk groeiende belangstelling waar te nemen in de reacties van de mens op het klimaat en het weer. Men doet onderzoekingen

aan gezonde en aan zieke mensen. In het laatste geval is het doel direct duidelijk. Men wil een oorzaak vinden voor het optreden van bepaalde ziekten in het klimaat om, zo er een verband blijkt te bestaan, de ziekte beter te kunnen bestrijden. De medische klimatologie of wat algemener gesteld de bioklimatologie vindt een snel groeiend aantal beoefenaren.

Bij het onderzoek aan de gezonde mens gaat het meestal om zijn prestaties onder verschillende omstandigheden te leren kennen, en door doelmatige kleding het verblijf in extreme klimaten mogelijk te maken. In fabrieks- en kantoorruimten wordt reeds op ruime schaal klimaatregeling toegepast, waardoor de arbeidsprestatie omhoog is gegaan en het ziekteverzuim verminderd. Het onderzoek over doelmatige kleding bij grote koude, waarvoor o.a. aluminium isolatie en electrisch verhitte kleding is ontwikkeld of bij extreme hitte heeft meestal een militaire achtergrond, maar levert als bijprodukt toch ook allerlei gegevens op die de civiele maatschappij ten goede komen. Een zeer modern gebied is het aardsatellieten klimaat.

Om aan te geven welke temperaturen en welke vochtigheden als het meest gunstig worden ondervonden gebruikt men vaak het z.g. „behaaglijkheidsdiagram”, een grafiek waarin de luchttemperatuur en de luchtvochtigheid voorkomen. Te grote koude en te grote warmte zijn, het spreekt vanzelf, onverdraaglijk. Ook hoge vochtigheid vooral in combinatie met een hoge maar op zichzelf niet onverdragelijke temperatuur houdt men op de duur niet uit. Een bijzonder lage luchtvochtigheid werkt op de duur irriterend. Zo komt men tot een betrekkelijk nauw gebied van temperaturen en vochtigheden waarin men zich behaaglijk voelt. Dit behaaglijke gebied ligt voor een gezond licht gekleed rustend persoon zo ongeveer tussen de temperaturen 20 tot 27° C afhankelijk van de luchtvochtigheid. Om deze oase van welbehagen in het land van temperatuur en luchtvochtigheid liggen gebieden die met warm, heet, drukkend, onverdraaglijk heet, schraal, kil en onverdraaglijk koud worden aangeduid. En dit geheel vormt dan het behaaglijkheidsdiagram.

Helaas, wanneer de beeldspraak niet te gevaarlijk zou zijn zou ik zeggen, er schuilt een addertje onder het gras. Toen ik daarnet getallen noemde moest ik erbij zeggen dat deze betrekking hebben op een licht gekleed rustend persoon. Voor anders geklede en voor werkende mensen verschuiven de grenzen afhankelijk van de aard van het werk en de kleding. Bovendien blijken leeftijdsverschillen en individuele verschillen in de gezondheidstoestand grote invloed te hebben. Voorts golden de genoemde grenzen voor een kamer met de wanden, de vloer en de zolder ongeveer op de luchttemperatuur en zonder dat een grote stralingsbron aanwezig is. Dit alles is ook van invloed. U weet uit ervaring welk een verschil het maakt wanneer u op een hete zomerse dag u in de schaduw of in de felle

zon bevindt. Maar wanneer u de luchttemperatuur en de luchtvochtigheid zoudt meten zoudt u vinden dat deze gelijk zijn in de volle zon en in de schaduw. Wij zien hieruit dat wij niet met een behaaglijkheidsdiagram kunnen volstaan, maar een heel archief zouden moeten aanleggen om de invloed van al de genoemde factoren in een kaartsysteem of in diagrammen vast te leggen. En dit is het geval zelfs als wij van individuele verschillen afzien en ons dus tot een enkele proefpersoon beperken. En zo komen wij ook hier tot de conclusie dat de grenzen van een behaaglijkheidsgebied net als de klimaatsgrenzen alleen een globale betekenis hebben zo b.v. voor de gemiddelde mens gemiddeld gekleed en met gemiddelde ijver aan het werk. Wil men verder gaan dan moet men zich afvragen waarom een bepaald temperatuurinterval als behaaglijk wordt onderzonden en een ander niet.

Zodra men zich eenmaal die vraag heeft gesteld ligt het antwoord voor de hand. Het zijn de lichaamstemperatuur en het watergehalte in het lichaam die van belang zijn en niet de omgevingstemperatuur en het watergehalte in de omringende lucht.

De omgevingstemperatuur en de omgevingsvochtigheid kunnen wel door middel van de huidzintuigen het organisme tot reguleren van de warmteproductie en de warmteafvoer aanzetten. De huidzintuigen zijn te vergelijken met de gevoelige elementen van een regelapparaat die het eigenlijke regelmechanisme in werking stellen om lichaamstemperatuur en watergehalte binnen de toelaatbare grenzen te houden.

Wat men dus eigenlijk moet bepalen is niet het klimaat van de omgeving maar de warmtebalans en de waterbalans van de proefpersoon, want deze bepalen de warmteproductie en de toe- of afvoer van warmte die nodig zijn om plaatselijk de lichaamstemperatuur te handhaven. Men moet derhalve van plaats tot plaats op de huid de warmte en waterdampstromen kennen. Natuurlijk hangen deze ongeveer met het klimaat samen maar niet streng. In ieder geval wordt de beschrijving eenvoudiger en exacter wanneer men de balansen beschouwt. Daar de mens voortdurend warmte produceert moet deze warmte afgevoerd worden door geleiding naar de lucht, door uitstraling en door afkoeling die optreedt bij de verdamping van water uit het lichaam. Rekening houdend met de verandering van de warmteproductie bij verschillende mate van spierarbeid kan men nu voor ieder geval een warmtebalans opstellen. De kleding wordt als isolatie in rekening gebracht. Wanneer de kamerwanden koud zijn treedt een extra warmteverlies door uitstraling op, loopt men in de felle zon dan vormt de geabsorbeerde zonnestraling een extra warmtebron waarvan de warmte eveneens moet worden afgevoerd. Nu heeft men althans, voor zover het fysische gedeelte betreft, inderdaad de kern van het vraagstuk bereikt. Men dient dus feitelijk niet in termen van temperatuur en vochtigheid te denken, maar

in warmtestromen, in verdamping van water en afvoer van de gevormde waterdamp.

In plaats van het behaaglijkeheidsdiagram waarin alleen grootheden voorkomen die op de omgeving betrekking hebben komen nu vergelijkingen. Om deze gemakkelijker hanteerbaar te maken worden zij vaak vereenvoudigd en samengevat. Zo voert LEE een grootheid in, de inspanning die het kost om het lichaam normaal te laten functioneren. In het Engels heet deze functie „strain”. Voor de inspanning voert hij een uitdrukking in, waarin de omgevings-temperatuur en de luchtvochtigheid voorkomen maar ook de warmteproductie in het lichaam en de arbeid die een persoon verricht, verder de bestraling en bovendien de weerstanden tegen warmte- en vochttransport die in de kleding en in de omringende lucht gelegen zijn. Nu kunnen in een diagram waarin de temperatuur en de luchtvochtigheid zijn uitgezet, lijnen worden getrokken van constante inspanning. Hierdoor is het mogelijk geworden om kwantitatief voor verschillende omstandigheden uit het diagram af te lezen welke klimaten verdragen kunnen worden. Individuele verschillen blijven natuurlijk bestaan.

Als voorbeeld van het gebruik van deze inspanningsfunctie laat ik nu enige getallen volgen die LEE opgeeft. Zij gelden voor de door hem gebruikte eenheden onder gespecificeerde omstandigheden. Niemand voelt zich behaaglijk bij een waarde van de inspanning beneden 1.5, de meeste mensen bevinden zich wel bij een waarde 4 tot 4.5 en niemand boven 8.5. Maximaal toelaatbaar voor het verrichten van lichamelijke arbeid is 10 in de winter en 20 in de zomer. Bij 22 wordt geestelijke arbeid moeilijk, collaps treedt na 5 uur op bij de waarde 30 en na 1 uur bij de waarde 75. Door in de formule voor de inspanning de klimaatsgrootheden in te vullen kan men nu nagaan tot welke lichamelijke prestaties de mens gemiddeld in dat klimaat in staat is.

*Warmtebalans, Waterbalans, Bevloeiing.* — Om de verschillende waargenomen klimaten te verklaren moet men eveneens tot de fysische basisverschijnselen teruggaan. De zonnestraling is meestal de belangrijkste bron van warmte, maar de temperatuur die bereikt wordt hangt ook af van hoeveel warmte er aan de lucht wordt afgegeven, die met de wind naar andere landstreken wordt getransporteerd. Eveneens moet, wanneer er water aanwezig is, de verdamping mede in rekening worden gebracht, alsmede de warmte die zomers in de bodem dringt om in de winter weer naar het aardoppervlak terug te stromen en wanneer men zich boven zee bevindt de warmte die in zeestromingen wordt afgevoerd. De invloed van deze processen is groot. Zou geen warmte door de lucht en door verdamping worden afgevoerd dan zou de zone rond de equator inderdaad voor onbeschermde mensen ondoordringbaar zijn. De gemiddelde tem-



peratuur zou omstreeks  $100^{\circ}$  C zijn en op het heetst van de dag aanmerkelijk meer. Hoeveel meer hangt af van de grondsoort n.l. of deze de warmte goed geleidt dan wel een slechte warmtegeleider is. De warmte die met de lucht en in zeestromingen wordt weggevoerd komt aan koudere landstreken ten goede. Zonder deze circulaties zouden de klimaten op aarde veel sterker uiteenlopen dan nu het geval is. De studie van de warmtebalans aan het aardoppervlak, waarin het belang van al deze processen tot uiting komt, neemt in de moderne klimatologie een belangrijke plaats in. Kortgeleden is hierover een boek verschenen van de Rus БУДЬКО, dat enerzijds veel belangrijke gegevens bevat, maar waarin anderzijds ook duidelijk tot uiting komt hoe in het bijzonder de wetten van de afvoer van warmte naar de lucht nog zeer onvolledig bekend zijn.

Van zeer groot belang is ook de kringloop van het water die in de waterbalans wordt uitgedrukt. Op de waterbalans komt men direct wanneer plannen worden uitgewerkt voor het in cultuur brengen van droge gebieden zoals in de Verenigde Staten en in Rusland op grote schaal is geschied en in andere landen, Egypte, Irak, wordt voorbereid. Men begint dan in de regel met uit de waterbalans na te gaan hoeveel water men zou kunnen opslaan in een stuwmeer om het vandaar uit langs irrigatiekanalen naar de landbouwgebieden te brengen. Daarna volgt of behoort te volgen een berekening van de hoeveelheid water die door verdamping verloren gaat in het meer zelf, alsmede van de hoeveelheid die uit het meer weglekt. Tenslotte zou men nog moeten nagaan op welke verschillende manier het water over het beschikbare bouwland verdeeld zou moeten worden om — gezien de gekozen gewassen — een zo hoog mogelijk rendement op te leveren.

In de Verenigde Staten heeft een zeer bekend onderzoek plaatsgevonden over de verdamping uit het Hefner meer in Oklahoma, waarvan het doel is geweest nauwkeurig na te gaan of de bestaande berekeningsmethoden om de verdamping van een meer te bepalen voldoende nauwkeurig zijn. Het inkomende en uit het meer afvloeiende water kon nauwkeurig bepaald worden en ook de watermassa die in het meer aanwezig is. Veranderingen daarvan komen tot uiting in een verandering van het niveau van de waterspiegel. Het bleek dat de warmtebalans zeer geschikt is om de verdamping te berekenen. Het onderzoek aan het Hefner meer is daarom zo bekend omdat het een voorbeeld is van een gecoördineerde samenwerking van verschillende diensten en specialisten die tot voortreffelijke resultaten heeft geleid. Hydrologen, fysici, meteorologen, elektronische ingenieurs, geologen hebben aan het onderzoek medegedaan en er werd van de modernste hulpmiddelen o.a. radar gebruik gemaakt.

Het Hefner meer was slechts een proefobject, het eigenlijke stuwmeer dat naderhand is aangelegd is het Mead meer op de grens

van Arizona en Nevada, waarin het water van de Colorado rivier wordt opgezameld. De grootste lengte van het meer dat gevorkt is, is ongeveer 70 km, de totale oppervlakte niet veel minder dan 40.000 ha.

Bij zijn berekeningen over een aan te leggen stuwmeer in centraal Irak heeft WARTENA eveneens in ruime mate gebruik gemaakt van de in het rapport over het Hefner meer neergelegde gegevens. Natuurlijk kan men zulke gegevens nooit zo maar in een ander klimaatgebied toepassen, maar moet men deze onder gebruikmaking van natuurkundige wetten aan de gewijzigde warmtebalans en de andere stralingscondities aanpassen. WARTENA is zo ver gegaan om de temperatuur in het toekomstige meer op verschillende diepten te schatten hetgeen in dit geval voor een bepaalde mogelijke toepassing was gevraagd.

Over de klimaatsverschillen die het gevolg zijn van de grote oasen die ontstaan door het toepassen van irrigatie in steppen en woestijnen hebben vooral Russische onderzoekers bericht. Het blijkt dat deze praktisch beperkt blijven tot de geïrrigeerde oppervlakte. In de grote oases in centraal Azië b.v. is wel de gemiddelde maandtemperatuur in juli op 2 m hoogte ca 3° C lager dan in de omringende woestijn, maar reeds op minder dan een kilometer afstand is het verschil nauwelijks meer merkbaar. Iets dergelijks geldt ook voor de luchtvochtigheid. De neerslag is door de 1.3 miljoen bevoeide ha in Turkmenie niet merkbaar veranderd. Voor de bevoeiingen in Europees zuid Rusland door de Dnjepr (1.5 miljoen ha) en door de Wolga (2.5 miljoen ha) wordt opgegeven, dat „misschien” de neerslag met 1 tot 2 cm per jaar is toegenomen. Het aanleggen van stroken bos in de bevoeide gebieden zou deze waarden „wellicht” iets kunnen verhogen.

Al met al blijkt het klimaat buiten de bevoeide gebieden niet of nauwelijks te veranderen. De oppervlakten in kwestie, hoe groot ook volgens onze technische maatstaven gemeten, zijn te klein om als brongebied te kunnen fungeren voor een klimaatsverandering van de omgeving. In de kunstmatige oasen zijn echter de temperaturen nabij de grond en is ook de luchtvochtigheid sterk verschillend van dezelfde grootheden in de omringende steppe of woestijn. SKVORZOV geeft b.v. voor de luchttemperatuur vlak boven de grond 42° C om 13 hr. op een bepaalde dag omstreeks midden juli voor de steppe en 31° C voor een met rijst beplante bevoeide oppervlakte. Op 50 cm hoogte heeft men 37° C en 33° C op 2 meter 36° C en 35° C. De luchtvochtigheid vlak boven de grond is 22 en resp. 56 percent en op twee meter hoogte 24 en 34 percent. Ook blijkt dat de warmtebalans aan het aardoppervlak belangrijk is veranderd. Hier is dus het klimaat waarin de rijstplanten groeien in hoge mate verschillend geworden van dat van de omliggende steppe. Wanneer men de groei van deze planten kwantitatief wil volgen

dient men niet de klimaatsfactoren van de steppe maar die van het bevoeide gebied zelf te beschouwen. In het grote klimaatgebied van de steppe heeft nu een relatief klein stuk een ander klimaat gekregen dat door de plaatselijke veranderingen in het aardoppervlak, in dit geval bevoeiing en plantengroei, wordt veroorzaakt. Men spreekt dan van een mikroklimaat. Aan het mikroklimaat zullen wij nu de aandacht geven die het wegens zijn belang voor mens, dier en plant verdient.

*Mikroklimatologie.* — In de mikroklimatologie wordt de aandacht gericht op karakteristieke eigenschappen van het klimaat die door de plaatselijke gesteldheid worden veroorzaakt. Een heuvel b.v. geeft typische klimaatsverschillen te zien tussen noord en zuid helling. Op het noordelijk halfrond is de zuidhelling gemiddeld warmer hetgeen o.a. in de plantengroei tot uiting komt. Zo vindt men dan ook aan de oever van een meer, zelfs aan een slootkant, aan een muur of tussen de noord-west en de zuid-oost kant van een boom verschillen in klimaat die tot uiting komen in de plantengroei; men lette b.v. op de algen- en korstmossengroei aan boomstammen. De klimaatsverschillen kunnen groot zijn. Het aantal uren zonneshijn kan zeer sterk uiteenlopen. De oorzaken van deze klimaatsverschillen zijn echter objecten van zulke kleine afmetingen dat op enige hoogte boven het aardoppervlak hun invloed niet meer merkbaar is. De bewolking en de neerslag worden niet beïnvloed. Zodra de objecten zo groot worden dat dit wel het geval is krijgt men overganggevallen tussen mikroklimaat en het algemene klimaat waarin over plaatselijke verschillen wordt gemiddeld. Men spreekt wel van makroklimaat inplaats van klimaat wanneer men het verschil met het mikroklimaat wil accentueren. Het mikroklimaat wordt ook wel topoklimaat d.i. plaatselijk klimaat genoemd om aan te duiden dat de plaatselijke gesteldheid daarin zo overwegend tot uiting komt. Om dezelfde reden hoort men eveneens de term lokaal klimaat, terwijl bioklimaat wordt gebruikt wanneer de belangstelling uitgaat naar de samenhang tussen het klimaat en de ontwikkeling of reactie van de levende natuur. Weer andere termen zijn stadsklimaat, bosklimaat, weideklimaat enz., termen die voor zichzelf spreken. Als overgang tussen het makroklimaat en het mikroklimaat wordt wel eens de benaming mesoklimaat gebruikt. Ik zal hier volstaan met makroklimaat tegenover mikroklimaat te stellen.

Het invoeren van zoveel verschillende termen heeft n.l. weinig nut. Evenmin heeft het nut tijd te besteden om scherpe grenzen te trekken tussen wat men wel en wat men niet tot de makro- resp. de mikroklimatologie zal rekenen. Wel kan men gemakkelijk globale grenzen aangeven. De methoden van onderzoek en de gebruikte apparatuur voeren op een geheel natuurlijke wijze daartoe. Luchtstromingen op grote hoogte, stratosfeeronderzoek,

wolkvorming en het optreden van neerslag horen typisch tot de makroklimatologie. Anderzijds zijn de uiterst kleine thermo-elementen en de speciale windmeters voor lage snelheden waarin men vlak bij het aardoppervlak de temperatuur en de geringe windsnelheden meet, karakteristiek voor het mikroklimatologisch onderzoek.

*Variaties nabij het aardoppervlak.* — De studie van het klimaat van de bodem nabij het aardoppervlak en van de luchtlaag tot op enkele meters hoogte wordt tot de mikroklimatologie gerekend en het is in deze laag dat zich verreweg het meeste leven op aarde afspeelt. De planten en vele dieren brengen hun gehele leven of een groot deel hun leven in deze laag door die beneden de normale meteorologische waarnemingshoogte ligt. De omstandigheden te leren kennen waaronder dit leven zich voltrekt is één van de doelstellingen van de mikroklimatologie en voor het landbouwkundig onderzoek zelfs de belangrijkste.

Een groot aantal onderzoekers heeft in het verleden reeds metingen verricht over het klimaat nabij het aardoppervlak, maar het is vooral GEIGER geweest die met zijn boek: „Das Klima der bodennahen Luftschicht” veel heeft bijgedragen tot een krachtige ontplooiing van de mikroklimatologie in West-Europa en Amerika. In Rusland werd ook reeds op grote schaal mikroklimatologisch onderzoek gedaan. GEIGERS boek is belangrijk als samenvatting van de mikroklimatologische waarnemingen. Verklaren doet het nauwelijks en de waarnemingen die beschreven worden zijn meestal klassieke klimatologische waarnemingen met thermometers of thermo-elementen waarmede lucht en bodentemperaturen worden geregistreerd, vochtigheidsmetingen, windmetingen etc. Kortom het boek geeft feiten maar treedt niet in een bespreking van de oorzaken noch in de samenhang van de verschillende grootheden. De mikroklimatologie die in GEIGERS boek beschreven wordt heb ik daarom niet bedoeld toen ik aan het begin van mijn rede de woorden moderne ontwikkeling van de mikroklimatologie heb gebruikt. Ik hoop u nog later duidelijk te mogen maken dat nu heel wat meer verlangd wordt van de mikroklimatologie dan ooit met metingen, zoals in GEIGERS boek zijn beschreven, valt te bereiken.

Maar laat ik direct hieraan toevoegen dat dit geenszins wil zeggen dat dit oudere klimatologische werk geen waarde zou hebben; integendeel GEIGERS boek is en zal nog lang blijven een standaardwerk, een encyclopaedie vol gegevens en feiten over het mikroklimaat. De Engelsen zeggen terecht dat men nu eenmaal de laatste stap niet het eerst kan zetten en zo ook hier. Eerst moet men een overzicht hebben van de verschijnselen die zich voordoen alvorens men tot een verklaring en vooral tot toepassing van de opgedane kennis kan komen. Laat ik nu een paar voorbeelden geven van mikroklimatologische verschijnselen.

Bij een onbegroeide kale droge grond wordt in de bovenste heel dunne laag het zonlicht geabsorbeerd voor zover het niet wordt teruggekaatst. De hier ontwikkelde warmte wordt gedeeltelijk naar de lucht, gedeeltelijk naar de diepere grondlagen afgevoerd en ten slotte wordt ook een fractie als warmtestraling uitgezonden. Men moet dus aan het aardoppervlak bij felle bestraling een hogere temperatuur verwachten dan daarboven of daaronder. Deze verwachting blijkt juist te zijn, maar voor velen zal het toch wel een verrassing zijn te vernemen dat een temperatuur van omstreeks  $80^{\circ}$  C in een woestijn of een droge steppe volstrekt geen uitzondering vormt. Een paar centimeter onder het aardoppervlak kan dan reeds de temperatuur tot op ongeveer  $40^{\circ}$  C gezakt zijn. In de lucht neemt de temperatuur niet zo snel af maar daalt ook daar naarmate men zich verder van het aardoppervlak verwijderd. In de regel treden grote verschillen in temperatuur op tussen dicht bijeen gelegen plaatsen. Onder extreme condities van bestraling vormen zich kolommen warme lucht die opstijgt temidden van de minder warme dalende lucht die naar de plaatsen toestroomt vanwaar de hete lucht opstijgt.

's Nachts gebeurt het omgekeerde; het warmte uitstralende grondoppervlak wordt vooral bij geringe roering in de lucht in een z.g. stralingsnacht, kouder dan de lucht er boven en dan de onderliggende bodem. Een nachtelijke minimumtemperatuur van  $10^{\circ}$  C in het zojuist genoemde geval van een woestijn is geen uitzondering. Men ziet hieruit welke enorme dagelijkse temperatuurverschillen kunnen optreden en hoe streng het klimaat aan het bodemoppervlak in dit geval is.

Is de grond vochtig dan zijn de temperatuurschommelingen veel minder extreem. De warmte wordt gemakkelijker naar beneden afgevoerd en daardoor stijgt overdag onder intense bestraling van de zon het oppervlak niet zo sterk in temperatuur, terwijl bovendien de warmte voor een deel in verdamping wordt vastgelegd. 's Nachts stroomt de warmte uit de diepere bodemlagen makkelijker naar het oppervlak terug en daardoor koelt dit minder sterk af. Het verschil tussen de maximum en de minimum temperatuur kan wel twintig tot dertig graden minder worden dan bij dezelfde grond in droge toestand.

Bij een begroeide grond, wanneer een grasmat aanwezig is of hoger opschietende planten een aaneengesloten dek vormen, wordt de zonnestraling door het bladerdek onderschept en het grondoppervlak verkeert doorlopend in de schaduw. Nu treden de grootste temperatuurverschillen niet meer aan het aardoppervlak op, maar hoger, tussen de bladeren in de laag waar in hoofdzaak de straling wordt geabsorbeerd. Het is alsof het aardoppervlak nu omhoog is geschoven en in het bladerdek terecht is gekomen. Denkt men aan de extreem hoge temperatuur die bij droge grond is waargenomen

dan wordt het duidelijk hoe belangrijk het is dat de plant water ter beschikking heeft dat uit de bladeren verdampt en daarbij de bladoppervlakte afkoelt, zodat ernstige schade door te hoge temperatuur wordt vermeden.

Zoals in de temperatuur grote variaties optreden nabij het aardoppervlak zo veranderen ook de vochtigheid in de lucht en het vochtgehalte in de bodem dikwijls sterk, terwijl de straling bijzonder sterk verandert. Onder een goed staand aardappelgewas in juli is de lichtintensiteit op de bodem nog maar enkele procenten van die bij onbegroeide grond. De windsterkte loopt van de waarde die deze boven het gewas heeft tot praktisch nul terug en vertoont dus eveneens een zeer sterke variatie met de hoogte.

*Mikroklimaat en Plantenziekten.* — In de plantenziektenkunde ligt een belangrijk gebied voor toepassing van de mikroklimatologie. Schimmels, nematoden en ook vele insecten wanneer deze in een stadium verkeren dat zij zich moeilijk over grote afstanden kunnen verplaatsen zijn voor hun ontwikkeling in hoge mate afhankelijk van het mikroklimaat.

Kent men de omstandigheden die gunstig zijn voor hun vermenigvuldiging of waaronder de infectiekans bijzonder groot is dan leert een studie van het mikroklimaat wanneer en waar men moet ingrijpen om de schadelijke organismen te bestrijden.

De grote variabiliteit vooral in de temperatuur in een plantendek en ook in de bovenste bodemlaag heeft tot gevolg dat veelal de gevaarlijke combinatie van mikroklimaatsfactoren in een betrekkelijk dunne laag in het gewas of in de grond gelokaliseerd kan worden. Daar kan men dan ingrijpen om de schadelijke organismen te bestrijden. De samenhang die er bestaat tussen makroklimaat en mikroklimaat maakt het mogelijk verdacht te zijn op gevaarlijke perioden.

Een enkel insect of nematode is een klein object vergeleken met de planten, bodemoneffenheden of conglomeraties van de dieren zelve. Daarom verstoren zij het mikroklimaat slechts weinig. Hier heeft men nu een geval waarbij veelal de luchtvochtigheid en de lucht- of bodemtemperatuur en in het algemeen het mikroklimaat van de omgeving van het insect als bepalend mag worden beschouwd voor de levensvoorwaarden van dit insect. Wel moet men rekening houden met het feit dat een grote populatie een ander mikroklimaat te weeg kan brengen dan zonder deze dieren zou heersen. Een enkel insect of nematode heeft echter zo weinig invloed dat het slechts bij uitzondering nodig zal zijn tot het berekenen van warmte- of vochtbalansen over te gaan. Grotere objecten, planten of grotere dieren verstoren vaak het mikroklimaat in hun omgeving zodanig dat men wel deze balansen moet berekenen.

Eveneens moet men deze balansen in aanmerking nemen wan-

neer men wil nagaan hoe het mikroklimaat verandert door één of andere ingreep. Daarom gaat de moderne ontwikkeling van de mikroklimatologie via de behandeling van de warmte- en de water- en de stralingsbalans eveneens in een sterk natuurkundige richting.

*Verandering van Mikroklimaat.* — Wij hebben tevoren gezien dat zelfs de bevloeiing van 2.5 miljoen ha steppegrond nauwelijks enige invloed had op het klimaat van de omringende steppe. Het mikroklimaat van de bevoeide grond is echter wel sterk veranderd. De temperaturen en luchtvochtigheden volgen uit de warmte en vochtbalans en men kan in principe uitrekenen hoeveel water moet worden toegevoerd om de verdamping te compenseren. Ik zei met opzet in principe omdat een grote praktische moeilijkheid zich voordoet bij deze berekening. De toevoer van warmte door de wind de z.g. advectieve warmte is slecht bekend. Toch geeft zelfs een globale berekening al een goed inzicht in de orde van grootte van de veranderingen die zullen optreden. Onderzoek over de warmtebeweging in atmosferische lucht, dat op vele plaatsen geschiedt, zal hier klaarheid brengen en op de duur een exacte berekening mogelijk maken. Het water, n.l. bij bevloeiing of in het tegengestelde geval bij drainage heeft een zeer grote verandering in het mikroklimaat van een streek ten gevolge. Maar er zijn ook andere mogelijkheden om het mikroklimaat te wijzigen.

Het mikroklimaat van de bodem wordt sterk beïnvloed door het aanbrengen van een laag van een ander materiaal op de grond. Een z.g. mulch van plantenresten wordt in de tropen en ook in niet tropische gebieden vaak toegepast. Hierdoor verandert de bodemtemperatuur en wel worden de temperatuurschommelingen kleiner en ten gevolge van de grotere reflectie van de mulch daalt ook de gemiddelde grondtemperatuur meestal enigszins. Het effect dat een mulch op de bodemtemperatuur heeft, kan berekend worden en dit geschiedt wederom door een warmtebalans op te stellen. Een interessante toepassing vond een paar jaar geleden in de Verenigde Staten van Amerika plaats waar in verschillende staten een laag maisstro op het veld werd achtergelaten om een betere opbrengst van het volgend maisgewas te krijgen, terwijl in andere staten zo'n mulch juist opbrengst verlagend werkte. Bovendien bleken de resultaten nog van de dikte van de aangebrachte laag af te hangen en ook traden van jaar tot jaar verschillen op.

Door een eenvoudige berekening kon worden aangetoond dat in de zuidelijke staten, waar de mulch steeds voordelig was, de bodemtemperatuur dicht onder het oppervlak bij de onbedekte grond zo hoog opliep dat deze boven de optimale temperatuur voor het goed functioneren van de wortels uitkwam. De mulch verlaagde de temperatuurmaxima en had daar dus een gunstig effect. Anderzijds bleek dat in de noordelijke staten de bodemtemperatuur reeds be-

neden het optimum lag en door het aanbrengen van de mulch nog verder van het optimum af kwam te liggen. Ook de invloed van de dikte van de bodembedekker kon worden verklaard.

Het aanbrengen van een zand- of een kleilaag op de droge veengrond om het nachtvorstgevaar te verminderen is eveneens een voorbeeld van de beïnvloeding van het mikroklimaat door bodembedekking.

Grondbewerking is een derde voorbeeld. Dit is door VAN DUIN in zijn dissertatie behandeld. Hier is de bodembedekker niets anders dan de losgewerkte aarde. Bij het bereiden van een zaadbed wordt de bovenlaag zeer fijn verdeeld, waardoor hij een slechtere warmtegeleider wordt dan de ondergrond en overdag daardoor warmer. Berekening leert dat een gunstig mikroklimaat in het zaadbed in het voorjaar tot stand komt.

Nog een mogelijkheid om praktisch in het mikroklimaat in te grijpen geven de windschermen of windheggen. Hierdoor wordt de wind nabij het aardoppervlak verzwakt en dit heeft tengevolge dat de warmteafvoer door de lucht geringer wordt. Berekening leert dat men de windschermen niet verder dan ongeveer 10 x de hoogte uit elkander moet zetten om een zodanige verandering van mikroklimaat te bewerkstelligen dat dit in de opbrengst tot uiting komt. Daarneven en veelal is dit zelfs de hoofdrede voor het aanbrengen van een windscherm dient het om winderosie te bestrijden of zoals in de Russische steppen om in de winter het wegwaaien van sneeuw over grote afstanden tegen te gaan. Voor de laatstgenoemde toepassingen kunnen de windschermen verder uiteen staan.

Behalve de hier genoemde methoden zijn er nog andere om het mikroklimaat te beïnvloeden. Zij zijn echter meest van belang voor speciale cultures. Het planten van schaduwbomen is een voorbeeld.

Bij alle theoretische beschouwingen en bij alle praktische berekeningen over de beïnvloeding van het mikroklimaat blijkt de warmte- en de waterdampafvoer door de lucht een belangrijke grootheid te zijn welke men nog onvoldoende beheerst.

De verbreiding van de warmte in lucht geschiedt doordat warme luchtbellens, luchtpakketten zegt men wel, opstijgen. Aan het aardoppervlak wordt hun plaats dan ingenomen door koudere lucht die van boven naar beneden is gezakt. Deze koudere lucht wordt op zijn beurt ook weer verwarmd en zal na enige tijd zelf als een bel opstijgen. Door allerlei min of meer toevallige oorzaken geschiedt de verwarming van de bodem niet homogeen maar zijn er warmere naast koelere plaatsen. Ook de opstijging van de bellen geschiedt niet regelmatig. De lucht is n.l. in turbulente beweging. Met deze uitdrukking bedoelt men dat luchtpakketjes onregelmatige bewegingen uitvoeren die het grillige karakter vertonen dat men aan



rook kan waarnemen uit een schoorsteen. Een rookpakket beweegt zich niet in een rechte lijn maar volgt een kronkelende weg en wordt daarbij sterk vervormd en zelfs uiteengereten.

Het zou te ver voeren op de methoden in te gaan waarop de verbreiding van de warmte in de lucht wordt gemeten. Vooral in Australië wordt op dit gebied veel onderzoek verricht; in Amerika en in Nederland wordt eveneens hieraan fundamenteel onderzoek verricht.

*Mijne Dames en Heren*, Ik hoop u in mijn rede te hebben laten zien dat de klimatologie en de nieuwe spruit de mikroklimatologie niet meer alleen beschrijvende wetenschappen zijn. Op verschillende punten zijn zij thans toegankelijk voor een rigoureuze wiskundig-natuurkundige behandeling. Daardoor kunnen zij in steeds ruimere mate gebruikt worden om gunstiger levensvoorwaarden van mens, dier en plant te verwezenlijken.

Ik heb gezegd.

