INSTITUUT VOOR LANDBOUWTECHNIEK EN RATIONALISATIE

RAPPORT NO. 47

VERSLAG VAN EEN "DAG VAN ONWERKBAAR WEER"

12 april 1965

1218
24

Dr. S. L. Mansholtlaan 12 - Wageningen tel. 08370-3041

2287605

Niet voor publikatie bestemd

RAPPORT NO. 47

VERSLAG VAN EEN "DAG VAN ONWERKBAAR WEER"

12 april 1965

3287605

INLEIDING

door

Ir. H.G. de Wiljes

Om de kennis te vergroten van de invloed van het weer, grond en gewas op de mogelijkheid veldwerk te kunnen uitvoeren, en ook om het onderzoek onwerkbaar weer - interprovinciale serie 808 - meer bekendheid te geven, werd op 12 april 1965 in samenwerking met de klimatologische afdeling van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut te de Bilt een dag van onwerkbaar weer georganiseerd.

De heren ir. R.F. Fisscher, M. Scharringa en dr. C. Levert hielden korte inleidingen; dr. L.J.L. Dey trad op als discussieleider, dr. H. ten Cate hield een korte verhandeling over het K.N.M.I. en steller dezes kreeg gelegenheid rapport no. 31 - 2° interim verslag over het onderzoek onwerkbaar weer - uit te reiken.

's Middags werd in twee groepen een bezoek gebracht aan de weerkamer en ook werd een wandeling gemaakt over het terrein, waarbij het instrumentarium (waaronder verschillende soorten regenmeters) kon worden bekeken. Doordat het bezoek aan de weerkamer beperkt moest worden tot 15 personen per groep, konden slechts 30 personen aan de middagexcursie deelnemen, hetgeen ook van invloed is geweest op het aantal deelnemers van de ochtendvergadering. Een aantal geinteresseerden moest worden afgewezen en ongeveer een even groot aantal kon om bepaalde redenen niet komen.

Vele waarnemers werden in het geheel niet in kennis gesteld van de dag van onwerkbaar weer, aangezien toch geen plaats voor hen aanwezig was. Reden waarom besloten werd de lezingen van de heren Fisscher, Scharringa en Levert in de vorm van een rapport uit te geven, vooral ook omdat er veel interesse was voor deze inleidingen.

Fisscher (blz. 3 - 10)

De heer Fisscher behandelde het microklimaat voor zover dit betrokken kan worden op maaiveldhoogte, en in enkele akkerbouwgewassen. Het verloop van de temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid in een graangewas werd met behulp van een schets duidelijk uiteengezet. Zeer belangwekkend waren ook de opmerkingen, die werden gemaakt over het afnemen van de windkracht in een tarweveld op aarhoogte.

Stn. 500-350/27-9-'65

Scharringa (blz. 11 - 14)

De inleiding van de heer Scharringa sloot aan op de lezing van de heer Fisscher en behandelde het ontstaan van de nachtvorst en het voorkomen van nachtvorstschade.
De heer Scharringa vestigde de aandacht op het gebruik van herbiciden in het voorjaar. Deze verstoren de warmtegeleiding van de grond niet. De inleiding werd geillustreerd door zeer fraaie kleurendia's, waaruit ondermeer de plaatselijke nachtvorstschade in aardappelen duidelijk naar voren kwam en besproken werd, op welke wijze de schade voorkomen had kunnen worden.

Levert (blz. 15 - 22)

De heer Levert hield een inleiding over regens in het algemeen en regens in verband met de belemmering van bepaalde activiteiten in het bijzonder. Het is in de praktijk bekend, dat de regen een belangrijke factor voor bepaling van de werkbaarheid is. Ook het lopende onderzoek van het Instituut voor Landbouwtechniek en Rationalisatie over de invloed van weer, grond en gewas op de mogelijkheid veldwerk te kunnen uitvoeren heeft uitgewezen, dat de regen een belangrijke klimaatsfactor is. De lezing is zeer belangwekkend, vooral omdat naast algemene vragen over regenval, literatuur wordt genoemd en raad wordt gegeven.

Tenslotte is een woord van bijzondere dank op zijn plaats aan de functionarissen van het K.N.M.I., die de dag van onwerkbaar weer tot zo'n welbestede dag hebben gemaakt.

MICROKLIMATOLOGIE

door

Ir. R.F. Fisscher

Alvorens over het microklimaat iets te vertellen, is het wellicht nuttig een kort inleidend woord te wijden aan het klimaat.

Onder klimaat hebben we te verstaan een complex van meteorologische condities dat, op een langere termijn bezien, karakteristiek is voor een bepaalde streek, voor een bepaald gebied. Globaal uitgedrukt kunnen we zeggen dat het klimaat van een bepaald gebied het gemiddelde weer is dat daar voorkomt.

Toen in de tweede helft van de vorige eeuw een begin werd gemaakt met het regelmatig verrichten van meteorologische waarnemingen, teneinde aldus het klimaat vast te leggen, zag men al spoedig in dat dat niet zo eenvoudig was als men het zich had voorgesteld. Weliswaar had men de beschikking over de daarvoor geschikte meetapparatuur, doch met name ondervond men dat de resultaten van de waarnemingen in hoge mate afhankelijk waren van de wijze en van de hoogte waarop de instrumenten waren opgesteld.

Na uitgebreide experimenten kwam men tot de conclusie dat, wilde men vergelijkbare resultaten krijgen, bij de waarnemingen gebruik moest worden gemaakt van de ons allen thans welbekende meteorologische hut. In deze hut zijn de instrumenten beschut tegen straling en neerslag, maar zijn toch in kontakt met de omringende lucht via de in de wanden aangebrachte jalouzieën.

De hoogte, waarop de instrumenten zich in de hut bevinden, bedraagt ca. 2 meter. Deze hoogte is gekozen teneinde gevrijwaard te zijn van toevallige invloeden van de plaats van waarneming. De soort en de toestand van de grond alsmede de daarop aanwezige begroeiing spelen dan geen wezenlijke rol meer. Deze maatregel betekent in feite niet anders dan dat de luchtlaag nabij de bodem als een storingszone wordt beschouwd, waarvan de invloed dient te worden vermeden.

De hoge opstelling van de instrumenten geeft de waarborg dat de meteorologische gegevens van een bepaalde plaats, van een bepaald "station", representatief geacht kunnen worden voor een groter en wijder gebied. De gegevens van de op verschillende afstanden van elkaar gelegen stations vormen tezamen een beeld van het klimaat van de desbetreffende landstreek, van het desbetreffende land. Dit klimaat wordt ook wel macroklimaat genoemd.

Met het voortschrijden van de wetenschap, in het bijzonder mede in verband met de toepassing daarvan voor land- en tuinbouw praktische doeleinden, kwam men echter meer en meer tot het inzicht dat met macroklimatologische gegevens alléén niet kon worden volstaan, doch dat de kennis omtrent de omstandigheden in de als een storingszone beschouwde luchtlaag nabij de grond van groter belang was. In deze zone komen andere omstandigheden voor. Het hier heersende klimaat- dat zich wezenlijk van het macroklimaat onderscheidt - ontstaat in eerste instantie als gevolg van de onmiddellijke nabijheid van de bodem. Als onderste grenslaag van de atmosfeer speelt het aardoppervlak in de meteorologie dan ook een voorname rol.

De straling van zon en hemel die het aardoppervlak bereikt, wordt, voor zover zij niet wordt gereflecteerd, voor een deel geabsorbeerd en in warmte omgezet, welke zich over een stroom in de bodem en een stroom in de atmosfeer verdeelt. Het aardoppervlak verliest voortdurend warmte tengevolge van eigen uitstraling, welke overdag door de invallende straling meestal overgecompenseerd wordt, doch des nachts niet. Dienovereenkomstig fungeert het oppervlak nu eens als een warmtebron, dan weer als een koudebron voor de aangrenzende lucht. Het andere deel van de invallende straling wordt gebruikt voor de verdamping van het in de bodem aanwezige water; de waterdamp wordt aan de lucht afgestaan en keert als bv. regen of sneeuw weer terug. De door drukverschillen veroorzaakte luchtbeweging, de wind, wordt aan het aardoppervlak tengevolge van wrijving afgeremd, zodat hier minder luchtmenging plaats heeft.

Behalve verticale verschillen die zo door de aanwezigheid van de bodem bij alle meteorologische elementen ontstaan, kunnen in de luchtlaag nabij de bodem ook horizontale verschillen optreden. Deze zijn het gevolg van verschillen in de soort en de vochtigheidstoestand van de bodem en in de terreingesteldheid, verschillen in de soort en de hoogte van de begroeiing, in de bezonning of beschaduwing en tenslotte verschillen m.b.t. de windbeschutting. Deze verschillen doen in een klein bestek een klimaat ontstaan, dat afwijkt van dat op een andere plaats op betrekkelijk geringe afstand daar vandaan. Onder dergelijke omstandigheden spreken we van een <u>microklimaat</u>, ter onderscheiding van het macroklimaat dat, zoals reeds gezegd, betrekking heeft op grotere gebieden.

In de microklimatologie hebben we dus te maken met karakteristieke eigenschappen van het klimaat, welke door de plaatselijke gesteldheid worden veroorzaakt. Een heuvel bv. geeft typische klimaatverschillen te zien tussen de noord- en de zuidhelling. De zuidhelling is gemiddeld warmer, hetgeen o.a. duidelijk tot uiting komt in de plantegroei, evenals in het tijdstip

waarop de verschillende fenologische stadia worden bereikt. Verschillen worden ook aangetroffen tussen de noordwest- en de zuidoostzijde van een boom (bloei bij fruitbomen), aan de oever van een meer, zelfs aan een slootkant of aan een muur. Deze klimaatverschillen kunnen groot zijn. De oorzaken daarvan zijn echter objecten van zulke geringe afmetingen, dat op enige afstand boven het aardoppervlak hun invloed niet meer merkbaar is.

De studie van de meteorologische omstandigheden aan het bodemoppervlak en in de onmiddellijk daaraan grenzende luchtlaag tot op enkele meters hoogte wordt tot de microklimatologie gerekend.

Het is deze luchtlaag waarin zich verreweg het meeste leven op aarde afspeelt. Ik denk hierbij in het bijzonder aan de land- en tuinbouwgewassen en aan de vele dieren, die zo niet hun gehele leven, dan toch een groot deel daarvan in deze laag doorbrengen, welke beneden de normale waarnemingshoogte ligt.

De omstandigheden te leren kennen, waaronder dit leven zich voltrekt, is een van de doelstellingen van de microklimatologie en voor het landbouwkundig onderzoek wellicht zelfs de belangrijkste.

Laten wij thans het microklimaat nader in beschouwing nemen en daarbij eerst uitgaan van een kale, onbegroeide grond.

In de vrije atmosfeer treedt gewoonlijk een negatieve temperatuurgradiënt op, d.w.z. met toenemende hoogte daalt de temperatuur met 0,4 - 0,8^{o} C per 100 meter. Bij de zgn. droog-adiabetische temperatuurgradiënt bedraagt de temperatuurafname 1° C per 100 meter. Grote temperatuurgradiënten komen in de vrije atmosfeer niet of zelden voor. Nabij de grond echter neemt de negatieve temperatuurgradiënt een grotere waarde aan, terwijl vaak ook grote positieve gradiënten worden aangetroffen. Het verschijnsel dat in de luchtlaag vlak bij de grond de gradiënten zeer groot kunnen worden, is een van de karakteristieken van deze laag. De temperatuuromstandigheden hierin zijn afhankelijk van de hoeveelheid energie, welke aan de bodem wordt toegevoerd of door deze wordt afgestaan.

Bij een onbegroeide grond vindt, zoals reeds gezegd, de absorptie van de straling aan het oppervlak plaats en in het algemeen de warmte-uitwisseling van de bodem met de atmosfeer. Daarom kan het aardoppervlak overdag bij felle instraling zulke hoge temperaturen aannemen, veel hoger dan er boven en er onder. Zo is bijv. een temperatuur van omstreeks 80° C in een woestijn of droge steppe volstrekt geen uitzondering; enkele centimeters onder het oppervlak kan de temperatuur echter reeds tot ongeveer 40° C gezakt zijn.

In de lucht neemt de temperatuur niet zo snel af, doch daalt ook hier naarmate men zich verder van het oppervlak verwijdert. Het een en ander resulteert in een temperatuurprofiel dat gekarakteriseerd wordt door een relatief hoge temperatuur aan het oppervlak en een aanvankelijk snelle, doch vervolgens toenemend langzamere daling van de temperatuur met de hoogte boven en de diepte beneden het oppervlak. Een dergelijk type van een verticale temperatuurverdeling wordt (in de literatuur) het "instralingstype" genoemd (fig. 1).

Des nachts gebeurt het omgekeerde en dienovereenkomstig vertoont de temperatuurdistributie een ander type. Het grondoppervlak verliest dan nl. warmte door uitstraling, welke niet door instraling gecompenseerd wordt en wordt - vooral in een zgn. stralingsnacht met weinig of geen wind - kouder tot veel kouder dan de lucht er boven en dan de grondlaag eronder. Het tamperatuurprofiel dat nu ontstaat, wordt gekarakteriseerd door een relatief lage temperatuur aan het oppervlak en een aanvankelijk snelle, doch daarna toenemend langzamere stijging van de temperatuur met de hoogte boven en de diepte beneden het oppervlak. Dit is het "uitstralingstype" (fig. 1).

Wanneer we beide temperatuurprofielen bekijken, dan merken we duidelijk op dat in het algemeen de temperatuurvariatie aan het aardoppervlak het grootst is. Met toenemende afstand daarvan neemt de amplitude af. Onder bepaalde omstandigheden kan echter isothermie optreden. Dit komt vaak in de zomer voor, met name 's avonds bij de overgang van het instralingstype naar het uitstralingstype en in de ochtend bij de overgang in omgekeerde richting. Isothermie kan ook voorkomen wanneer er veel wind of veel bewolking is.

Is de grond vochtig, dan zijn de temperatuurschommelingen veel minder extreem. De overdag aan het grondoppervlak ontwikkelde warmte wordt nu gemakkelijker naar beneden afgevoerd, zodat het oppervlak niet zo warm wordt. Bovendien wordt een deel van de warmte vastgelegd in verdamping, welke zoals bekend temperatuurverlagend werkt. Des nachts stroomt de warmte uit de diepere grondlagen gemakkelijker naar het oppervlak terug en daardoor koelt dit minder sterk af. Onder deze omstandigheden kan de dagelijkse gang van de temperatuur aan het oppervlak soms 10 - 20° C kleiner worden dan bij dezelfde grond in droge toestand.

Evenals de temperatuur wordt ook de vochtigheid in de luchtlaag nabij de grond in eerste instantie door het oppervlak bepaald. Met name wordt zij hierbij direct beïnvloed door de verdamping van de grond.

Terwijl echter de warmte door de grond zowel wordt opgenomen als afgestaan, wordt de vochtigheid (in hoofdzaak) slechts afgestaan, nl. in de vorm van waterdamp. In tegenstelling dus met de warmtestroom, die vanaf het aardoppervlak naar boven zowel als naar beneden is gericht, hebben wij m.b.t. de vochtigheid slechts met een opwaartse stroom te maken. De terugkeer van water naar de bodem vindt plaats als neerslag, in vloeibare of vaste vorm.

Wel is er in de nacht een neerwaartse waterdampstroom, bijv. bij de vorming van dauw of rijp, doch dit verschijnsel is in het algemeen slechts tot enkele uren beperkt, zodat over het geheel genomen, gemiddeld over de gehele dag, de waterdampstroom van het aardoppervlak naar boven is gericht, waarbij dus de waterdamphoeveelheid met de hoogte afneemt. Dit profiel komt overeen met het instralingstype, dat we bij de temperatuurverdeling hebben leren kennen. Een dergelijke vertikale vochtigheidsverdeling wordt genoemd een verdeling van het "natte type", dat in het bijzonder overdag voorkomt.
Des nachts kan, zoals gezegd, een inversie optreden, waarbij de hoeveelheid waterdamp met de hoogte toeneemt. Dit is dan het "droge type" van de vochtigheidsverdeling.

Hoe is het nu gesteld met de verdeling van de relatieve vochtigheid, waarmede zo vaak gewerkt wordt ? Zoals bekend is de relatieve vochtigheid een grootheid, welke niet alleen door het waterdampgehalte, maar ook in hoge mate door de temperatuur wordt bepaald. In het algemeen kunnen we zeggen dat de relatieve vochtigheid bij gelijkblijvend waterdampgehalte hoger is naarmate de temperatuur daalt en omgekeerd. Daarom is de dagelijkse gang van de relatieve vochtigheid het spiegelbeeld van die van de temperatuur en daarom ook treedt overdag het droge type van de verdeling van de r.v. op en 's nachts het natte type. Uitzonderingen hierop vinden we enerzijds in noordelijke en vochtige klimaten, zoals bijv. in Finland, waar het natte type ook overdag kan worden aangetroffen en anderzijds in tropische gebieden zoals bijv. in India, waar boven zeer droge gronden ook 's nachts het droge type wordt waargenomen.

Beschouwen we nu de omstandigheden in het geval van een begroeide grond. Zoals reeds gezegd vindt de warmte-uitwisseling bij een onbegroeide grond aan het oppervlak plaats. Dit verandert echter wanneer het oppervlak met een of ander gewas bedekt is. Een temperatuurverdeling van een geheel andere aard dan die boven onbegroeide grond treedt dan op, afhankelijk van de hoogte, de dichtheid en de structuur van de begroeiing.

In een nog jong en open gewas kunnen de zonnestralen nog ongehinderd tot aan het grondoppervlak doordringen. De vertikale temperatuurverdeling overdag komt dan nog in grote trekken overeen met die boven een onbegroeide grond, waarbij dus het temperatuurmaximum aan het grondoppervlak voorkomt. Ook de temperatuurverdeling in de nacht wordt nog niet merkbaar beïnvloed, zodat het temperatuurminimum eveneens aan de grond wordt aangetroffen.

Naarmate het gewas zich echter verder ontwikkelt en zich daarbij meer en meer gaat sluiten, wordt de zonnestraling in toenemende mate door het bladerdek onderschept, zodat het grondoppervlak hoe langer hoe meer in de schaduw komt te verkeren. Dientengevolge treden de grootste temperatuurschommelingen nu niet meer aan het grondoppervlak op, maar hoger tussen de bladeren in de laag waar in hoofdzaak de straling wordt geabsorbeerd. Het is alsof het grondoppervlak nu omhoog is geschoven en in het bladerdek is terecht gekomen. Dit is in fig. 1 schematisch weergegeven.
Vergelijken we nu eens het microklimaat in een gewas met een zgn. vertikale structuur (een graangewas) met dat in een gewas met een zgn. horizontale structuur (een aardappelgewas).

A. Het temperatuurmaximum, dat in een graangewas aanvankelijk aan de grond wordt aangetroffen, blijft daar nog een tijdlang liggen, ook al heeft het gewas een hoogte van ca. 50 cm bereikt. Dit hangt samen met de structuur van het gewas, die het mogelijk maakt dat de zonne- (en hemel-) straling nog gemakkelijk in het gewas kan doordringen. Eerst bij toenemende hoogtegroei verplaatst de zone van het temperatuurmaximum zich naar omhoog, maar blijft toch steeds belangrijk onder de oppervlakte van het gewas liggen. Na de rijping en met het weer dunner worden van het gewas gaat het niveau van de minimumtemperatuur langzamerhand weer zakken, totdat het na de snit opnieuw aan de grond komt te liggen. In de nacht koelen de bovenste plantedelen het sterkst af, omdat zij vrij tegen de nachtelijke hemel kunnen uitstralen. De koude lucht zakt echter tot op zekere hoogte, zodat het temperatuurminimum in het algemeen niet aan de oppervlakte van het gewas ligt, doch een weinig er onder (fig. 2).

B. Evenals in een graangewas ligt in een gewas met een horizontale structuur, althans zolang het nog jong en ijl is, het temperatuurmaximum overdag aan de grond. Bij verdere groei en ontwikkeling zijn de min of meer horizontaal gerichte bladeren echter in staat om veel meer straling te onderscheppen dan de bladeren van een graangewas. De zone van het temperatuurmaximum gaat eerder omhoog en ligt relatief hoger dan in een graangewas. De minimumtemperatuur in de nacht wordt in het algemeen nabij de oppervlakte van het gewas aangetroffen (fig. 2).

Wanneer we de luchtvochtigheid in een gewas vergelijken met die daarbuiten, dan valt het op dat het in een gewas als regel vochtiger is. De oorzaak is tweeërlei. Dit komt eensdeels omdat de planten transpireren en daarbij voortdurend waterdamp afstaan, anderdeels omdat het plantendek de afvoer van de gevormde waterdamp bemoeilijkt of verhindert. Het is duidelijk dat de waterdamp beter en gemakkelijker door het gewas wordt vastgehouden, naarmate dit dichter is. Vandaar dan ook dat de relatieve vochtigheid als regel met de dichtheid van het gewas toeneemt. Met betrekking tot de vertikale gelaagheid van de r.v. in het gewas kan in het algemeen worden gesteld dat de r.v. van onder naar boven afneemt, behalve gedurende enkele uren in de nacht.

Tenslotte nog een enkel woord over de faktor wind.

Als wij op verschillende hoogten boven de grond windmetingen doen, dan zullen we merken dat de windsnelheid van boven naar beneden afneemt. Dit is een gevolg van de remmende werking van het bodemoppervlak op de luchtbeweging, een werking welke met de hoogte afneemt. Daarom kan het gebeuren dat bij een slechts geringe windsnelheid op normale waarnemingshoogte de lucht nabij de grond nagenoeg in rust is. Een toename van de windsnelheid met de hoogte brengt een toename van de verdamping met zich mee.

Hoe meer wind, hoe meer luchtmenging er plaats vindt, wat weer een vermindering van de temperatuurgradiënt tot gevolg heeft. Dit betekent dat de temperatuur aan de grond overdag niet zo hoog oploopt en 's nachts niet zo sterk daalt. Dit laatste vooral is van grote praktische betekenis voor de land- en tuinbouw. Is er 's nachts nl. veel wind, dan behoeft geen nachtvorst te worden gevreesd; in een windstille nacht (met een heldere hemel) daarentegen moet met een optreden van nachtvorst rekening worden gehouden.

Dat het windveld door het plantendek wordt beïnvloed, is begrijpelijk. De hoge temperatuur en luchtvochtigheid, die in het gewas als regel worden aangetroffen, zijn daaraan toe te schrijven dat de wind er niet gemakkelijk in kan doordringen. Het gewas vormt als het ware een barrière, vandaar dat de lucht althans binnen in een gesloten gewas vrijwel in rust is. Evenals aan het aardoppervlak wordt de windsnelheid ook aan de oppervlakte van het gewas tengevolge van de wrijving geremd, al is deze wrijving in verband met de beweeglijkheid van de planten een andere dan die welke de vaste bodem uitoefent.

De mate van remming die de wind in en door het gewas ondervindt, hangt af van de soort van het gewas. Vergelijkende windmetingen van KREUTZ op een hoogte van 30 cm in een aardappel- zowel als in een tarwegewas hebben aangetoond dat de wind in het eerstgenoemde gewas meer wordt afgeremd dan in het laatstgenoemde.

Fig. 3, ontleend aan een onderzoek op het proefterrein van het K.N.M.I., geeft een indruk van het verschil in windsnelheid op gewashoogte (60 cm), gemeten in een perceel zomertarwe op twee punten, welke in de richting van de wind op een afstand van ca. 25 meter van elkaar verwijderd zijn. In de figuur is tevens de windsnelheid op dezelfde hoogte boven onbegroeide grond weergegeven.

Fig. 1 Temperatuurprofiel boven onbegroeide (—) en begroeide grond (- -)

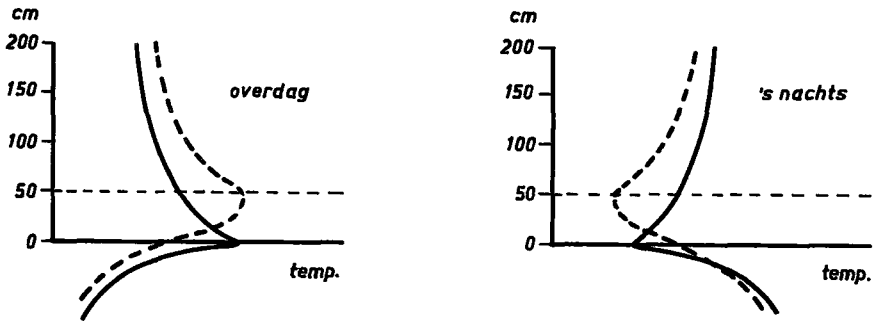


Fig. 2 Temperatuurprofiel in en boven een graangewas (—) resp. aardappelgewas (- -)

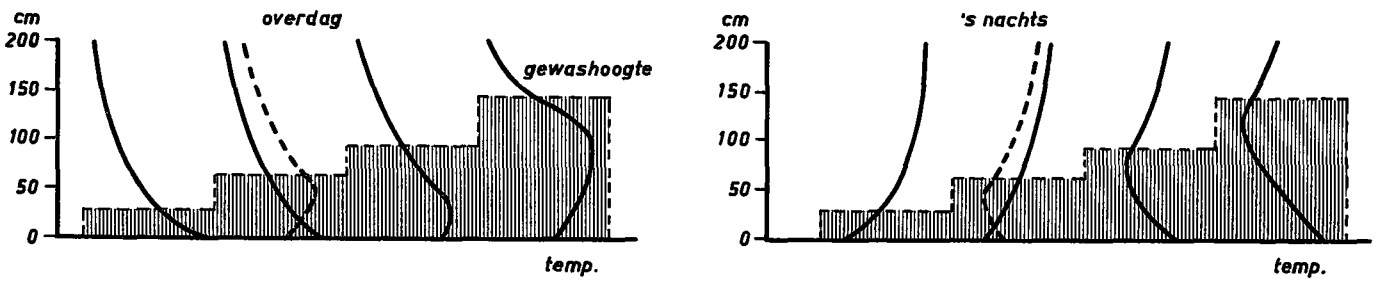
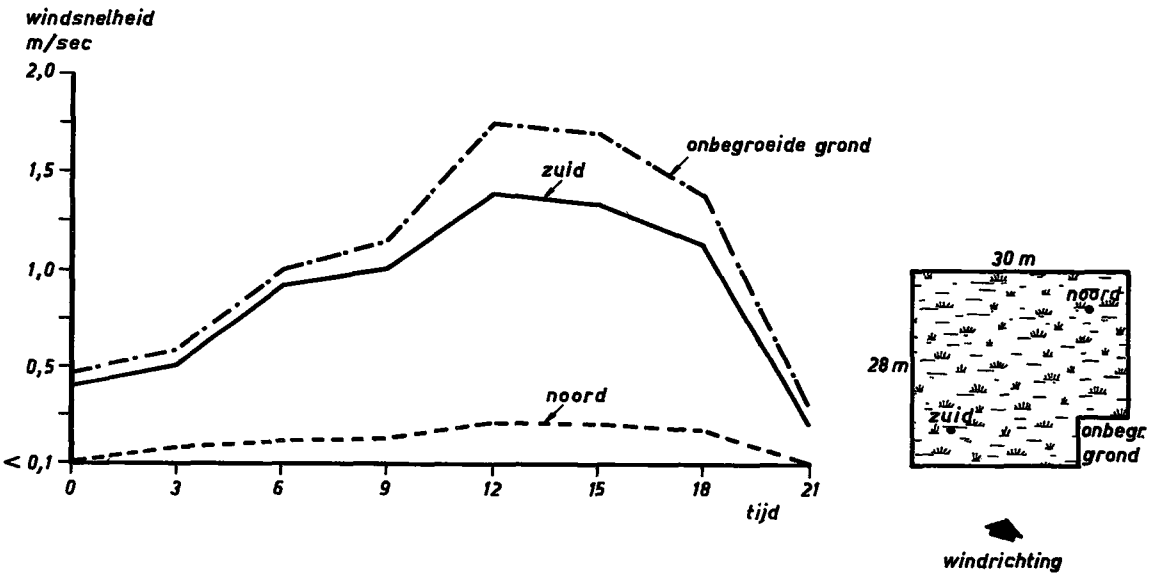


Fig. 3 Windsnelheid op gewashoogte op twee plaatsen in een tarweperceel en boven onbegroeide grond



NACHTVORST EN TOESTAND VAN DE GROND

door

M. Scharringa

Definitie van het verschijnsel nachtvorst

Als tijdens het groeiseizoen de temperatuur van het aardoppervlak en van uitstekende voorwerpen in de nabijheid van dit oppervlak tot onder het vriespunt daalt, spreekt men van nachtvorst.

Eigenschappen van straling

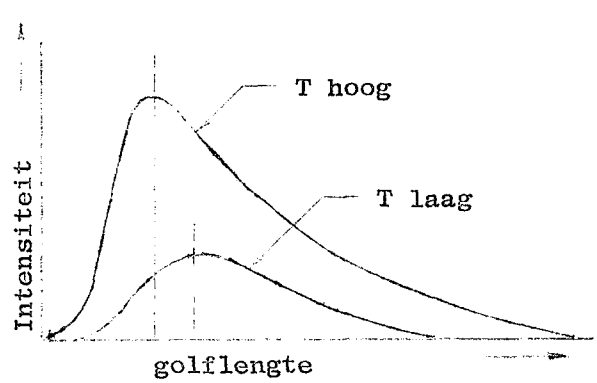
1e straling vertegenwoordigt energie;

2e straling plant zich rechtlijnig voort met een snelheid die gelijk is aan die van het licht (300.000 km/sec);

3e straling is een golfverschijnsel en we kunnen daarom het begrip golflengte invoeren.

soorten van straling	golflengtegebied
röntgenstraling	0.000.01 μ - 0,001 μ
ultraviolette straling	0,01 μ - 0,36 μ
zichtbare straling (licht)	0,36 μ - 0,76 μ
infrarode straling	0,76 μ - 100 μ
radargolven	1 mm - 10 cm
radiogolven	100 m - 10 km

Zichtbare en/of infrarode straling wordt voortdurend door alle voorwerpen uitgezonden, maar het golflengtegebied waarover de straling zich uitstrekt hangt o.a. af van de temperatuur van het stralend oppervlak.
De zon met een oppervlaktetemperatuur van bijna 6000° K zendt straling uit die bij een golflengte van 0,5 μ haar maximumintensiteit heeft, dus midden in het gebied van de zichtbare straling. Het aardoppervlak met een gemiddelde temperatuur van ongeveer 300° K zendt straling uit die bij een golflengte van 10 μ haar maximumintensiteit heeft, dus ver in het infrarood. Door deze oorzaak geeft de zon wel en de aarde geen licht. Boven en beneden het maximum valt de intensiteit snel af zoals in de grafiek is te zien.



In een formule uitgedrukt, is de betrekking tussen de temperatuur van het stralend oppervlak en de golflengte waarbij de straling haar maximale intensiteit heeft: $\lambda = \frac{2880}{T}$

Men vindt de golflengte λ in μ als T in ^{o} K wordt uitgedrukt.

Het bovenstaande heeft betrekking op een ideaal, zogenaamd zwart oppervlak, zoals kan worden benaderd door een met roet zwartgemaakt voorwerp.

Er zijn ook stoffen waarbij de kromme allerlei onregelmatigheden vertoont, bijvoorbeeld het ontbreken van straling in bepaalde golflengtegebieden ofwel ze vertonen in bepaalde gebieden een geringere intensiteit dan met de kromme overeenkomt.

Zo stralen de gassen stikstof en zuurstof, die de voornaamste bestanddelen van de lucht vormen, niet bij temperaturen zoals die in de atmosfeer voorkomen. Daarentegen stralen koolzuurgas, ozon en waterdamp wel bij die temperaturen, zij het niet in alle golflengtegebieden.

Straling die een voorwerp treft kan worden teruggekaatst, geabsorbeerd, doorgelaten of verstrooid.

Reflectie treedt o.a. op bij gepolijste metaaloppervlakken, zowel voor de zichtbare straling als voor de infrarode straling.

Volledige absorptie vinden we bij de ideale zwarte oppervlakken zowel voor de zichtbare straling als voor het infrarood; alle opvallende straling wordt volledig geabsorbeerd.

Glas en water absorberen de infrarode straling, maar laten de zichtbare straling door. Waterdamp, koolzuurgas en ozon absorberen een deel van de infrarode straling.

Verstrooiing treedt o.a. op aan gasmoleculen. Dit verschijnsel kennen we van de zonnestraling waaruit het blauw aan de luchtmoleculen wordt verstrooid, zodat de hemel blauw lijkt. Ruimtevaarders, die zich in het "luchtledig" bevinden zien dan ook het uitspansel zwart, er is geen lucht waaraan het zonlicht kan worden verstrooid.

De stralingseigenschappen van het aardoppervlak, al of niet begroeid, zijn nagenoeg gelijk aan die van een absoluut zwart oppervlak, voorzover het de infrarode straling betreft.

De hoeveelheid stralingsenergie die het aardoppervlak verliest is daardoor te berekenen als we de oppervlaktetemperatuur kennen. Deze hoeveelheid bedraagt nl. $8{,}1237 \times 10^{-11} \times T^{4}$ in cal/cm^{2} min.

De uitkomsten zijn bij enkele oppervlakte temperaturen als volgt:

temperatuur	straling
- 20° C (253° K)	0,333 cal/cm^{2}min
0° C (273° K)	0,451 "
10° C (283° K)	0,521 "
20° C (293° K)	0,599 "

Bij temperaturen in de buurt van het vriespunt bedraagt de uitstraling van het aardoppervlak dus ca. 0,45 cal/cm^{2}min. Per hectare en per uur betekent dit: 2.700.000.000 caloriën.
Overdag als de oppervlaktetemperaturen veel hoger zijn, bijvoorbeeld 50° C (323° K), bedraagt het verlies zelfs 5.200.000.000 cal. per hectare en per uur, een bedrag dat ruimschoots voldoende is om een flinke woning gedurende onze winter te verwarmen. Het is nl. de verbrandingswarmte van ongeveer 3500 kg kolen.
Daar tegenover staan dan de door het aardoppervlak geabsorbeerde zonnestraling en de door de atmosfeer naar de aarde gerichte straling die samen midden op een zomerdag bij heldere hemel tenminste 7.500.000.000 cal. per hectare en per uur bedragen.
Tegenover het nachtelijke stralingsverlies staat weliswaar geen zonnestraling maar wel de straling van de atmosfeer voorzover die naar het aardoppervlak is gericht.

Zoals reeds werd opgemerkt doen de zuurstof en de stikstof niet mee, maar wel de waterdamp, de ozon en het koolzuurgas. Deze stoffen stralen niet in alle golflengtegebieden zoals de kromme die bij hun temperatuur behoort zou doen verwachten. Zij absorberen evenmin alle straling die door het aardoppervlak wordt uitgezonden. Er is een wet die zegt dat stoffen die in bepaalde golflengtegebieden niet uitstralen, in deze gebieden ook niet absorberen.
Het gevolg is dat de straling van het aardoppervlak gedeeltelijk ongehinderd door een niet bewolkte hemel wordt doorgelaten.

Dit is oorzaak dat in een heldere nacht het aardoppervlak per tijdseenheid meer warmte verliest door straling dan het van de atmosfeer terugontvangt. Het verliest per tijdseenheid ook meer warmte dan de atmosfeer en daardoor daalt de temperatuur van het aardoppervlak onder die van de aangrenzende lucht. Deze lucht staat dus warmte af aan het koudere oppervlak en des te meer naarmate zij zich dichter bij dit oppervlak bevindt. Het gevolg is een temperatuursverloop met de hoogte dat juist andersom is als normaal. Het verschijnsel heet inversie. In de inversielaag neemt de temperatuur toe naarmate men hoger komt. Deze toename is, zoals begrijpelijk, het sterkst in de onderste lagen. Zo kwam het voor (okt. 1959 De Bilt) dat de temperatuur op 1,50 m hoogte + 5° C was en op 10 cm hoogte - 4° C.

Dit is een extreem verschil; meestal ligt het temperatuursverschil tussen genoemde niveaus in gevaarlijke nachten tussen 4 en 6° C.

In gevallen waarbij het niet windstil is, kan de inversie niet optreden omdat dan steeds de warmere en koudere lucht worden gemengd.

In gevallen waarin de hemel met wolken is bedekt, is de tegenstraling van de atmosfeer veel groter omdat hat nu niet alleen de waterdamp enz. is die straalt, doch in het bijzonder zijn het de waterdruppeltjes van de wolken. Deze hebben andere stralingseigenschappen met als gevolg dat in dergelijke gevallen het warmteverlies van het aardoppervlak nagenoeg geheel wordt gecompenseerd. Terecht heeft men dan ook in nachten met wind of met bewolking geen angst voor nachtvorst.

De invloed van de bodem

Het warmteverlies van het oppervlak in een heldere windstille nacht wordt nog gedeeltelijk gecompenseerd door de warmtestroom vanuit de grond. Als het oppervlaktelaagje kouder is geworden dan de onderliggende laagjes, zal een vertikaal naar boven gerichte warmtestroom in de bodem ontstaan. De omvang hiervan hangt af van het vertikale temperatuursverloop in de bodem en van het warmtegeleidingsvermogen van de grond.
Deze eigenschap varieert zeer sterk. In het algemeen is het warmtegeleidingsvermogen het grootst bij gronden die nat zijn en vast in elkaar zijn gedrukt. Het vermogen is het kleinst bij droge losse grond. Dit is gemakkelijk in te zien omdat lucht een slechte warmtegeleider is. De vaste bodembestanddelen geleiden de warmte aanzienlijk beter en het best wordt de warmte door water geleid.

Er kunnen als gevolg van de toestand van de grond aanzienlijke verschillen in de omvang van de warmtestroom optreden en als gevolg daarvan verschillen in temperatuur en in kans op nachtvorst.
Bij dit proces is het dunne bovenlaagje het belangrijkst omdat alle warmte daardoor moet passeren. Dit is belangrijk met het oog op het losmaken van het bovenlaagje door een oppervlakkige grondbewerking. Er is immers een oude ervaring die leert dat men niet moet schoffelen in aardappelen of bonen als nachtvorst dreigt.
De voorbeelden waarbij het ene perceel wel en het andere niet bevriest en zelfs die waarbij bepaalde gedeelten van een perceel wel en andere niet bevriezen, zijn talrijk.

Een goedkope nachtvorstbestrijding is dan ook mogelijk door middel van verstandige grondbewerkingsmethoden. Soms schijnt de methode in strijd te zijn met de eisen die de cultuur stelt, doch het aantal gevallen waarin dit werkelijk zo is, is gering. Geheel nieuwe perspectieven worden geopend door de chemische onkruidbestrijding bij aardappelen, waarbij éénmaal wordt gespoten en waarbij de grond verder volledig met rust wordt gelaten.

ONWERKBAAR WEER DOOR REGEN

door

Dr. C. Levert

Ik zou U iets willen vertellen van onwerkbaar weer in het algemeen en daarbij in het bijzonder de neerslag beschouwen. Ik wil met theoretische, abstracte, qualitatieve beschouwingen beginnen en met practische, concrete, quantitatieve voorbeelden eindigen. Daar dit alles binnen 40 minuten gebeuren moet, zal ik op sommige punten kort zijn.

Er rijzen direct 3 vragen. Zij zijn:

1. Wat betekent "onwerkbaar weer" precies ?
2. Zullen wij het begrip "onwerkbaar" in de ruimste zin des woords nemen ?
3. Hoe plaatsen wij de studie van het "onwerkbaar weer" in het kader van de toegepaste klimatologie ?

A. Bij de voorbereiding van deze voordracht heb ik direct gedacht aan het fraaie overzichtswerk "Compendium of Meteorology", gepubliceerd door de American Meteorological Society (1350 pg; 1951). Een der 24 hoofdstukken is gewijd aan de Klimatologie. Een der 6 secties van dat hoofdstuk behandelt de "Toegepaste Klimatologie". Wij bevinden ons heden op dit gebied.

Ik wil trachten de beschouwingen van de auteurs Landsberg en Jacobs te volgen. De toegepaste klimatologie is gedefinieerd als de wetenschappelijke analyse van de verzameling individuele weerstoestanden ten behoeve van een nuttige toepassing voor een "operationeel doel" (operational purpose). De term "operational" moet daarbij opgevat worden in de zin van elk streven, dat erop gericht is landbouwkundige, industrieële, technologische en andere doeleinden te dienen. Landsberg en Jacobs merken op - en dat vinden wij in de nederlandse praktijk inderdaad bij herhaling bevestigd -, dat men niet mag aannemen, dat de gebruikelijke klimatologische waarnemingen, verzameld op de hedendaagse wijze, op bijna alle weerinstituten, onmiddellijk op de actuele praktijkproblemen toegepast kunnen worden. Een verkeerd gebruik van de direct aanwezige klimatologische gegevens leidde reeds menigmaal tot bedriegelijke conclusies, waardoor dikwijls de klimatologie als wetenschap in diskrediet geraakte.

Allereerst moeten de klimatologische gegevens door de expert-klimatoloog geïnterpreteerd of geduid worden. Landsberg en Jacobs zien - en misschien klinkt dit wat overdreven - de positie van de expert-klimatoloog als die van de arts of de advocaat tegenover zijn cliënt.

Het is namelijk noodzakelijk, dat de klimatoloog niet alleen over de feitelijke gegevens beschikt, maar ook, dat hij de diagnose stelt met betrekking tot de situatie, waarop de gegevens toegepast moeten worden.
De volgende twee vragen moeten beantwoord worden:

1. Welke klimatologische elementen hebben invloed op de "operatie"?
2. Hoe kan het beschikbare klimatologische materiaal geïnterpreteerd worden voor het bijzondere doel in kwestie ?

Het is nuttig bij ieder probleem op de vragen van twee vragenlijsten te antwoorden. Men zou kunnen spreken van de klimatologische anamnese en de klimatologische diagnose. De eerste betreft de analyse van de operatie, de tweede die der klimatologische gegevens. Ik citeer hier kortheidshalve slechts enkele vragen:

Anammese

1. Tot welke klasse behoren de te ondernemen activiteiten ? Handel, industrie, landbouw, etc.?
2. Hoe formuleert de toekomstige gebruiker van de weergegevens zijn weerkundig- en hoe zijn operationeel-probleem ?
3. Zullen de klimatologische gegevens, waarom de gebruiker vraagt, inderdaad zijn probleem oplossen ?
4. Werden vroeger reeds oplossingen gevonden voor analoge problemen ?
5. Zijn er kritieke klimatologische grenzen ten aanzien van het probleem ?
6. Bestaan er al "operationele cijfers" ten behoeve van correlatie doeleinden ?

Diagnose

1. Welk soort gegevens wordt verlangd ? Regen, wind, vochtigheid, enz. Combinaties ? Kent men al relaties ? Hoe lang moet de reeks gegevens zijn voor een adequate, d.i. niet noodzakelijk exacte oplossing ?
2. Hebben de beschikbare gegevens betrekking op één plaats, op één gebied ?
3. Zijn er fysische danwel statistische grenzen opgelegd aan de gegevens zelf of aan de interpretatie van deze gegevens ?
4. Hoe moeten de conclusies gepresenteerd worden ? In grafieken of nomogrammen ? In tabellen ? In formules ?

Op het eerste gezicht lijken zulke vragen gezocht. Toch zal men ze, ook bij problemen van onwerkbaar weer, moeten stellen en beantwoorden, wil men volkomen correct en verantwoord te werk gaan.

Landsberg en Jacobs achten het zeer essentieel, dat beide partijen, betrokken bij de klimatologische analyse van de operatie (d.i. de klimatoloog en de "operator") nauw samenwerken, niet slechts als het onderzoek al gaande is, maar nog vóór het onderzoek begint. Mijn indruk is, dat hieraan vaak veel mankeert, ook in Nederland.

Na nog uitvoerig ingegaan te zijn op de representativiteit der waarnemingen, het schatten van ontbrekende waarnemingen, de stabiliteit van een frequentie-verdeling, de onafhankelijkheid der in de tijd successieve metingen, enz., welke kwesties wij hier om der wille van de tijd voorbijgaan, komen Landsberg en Jacobs tot een indeling der problemen in 4 hoofdcategorieën.

1. Ontwerpen van constructies en uitvoering van handelingen;
2. Keuze van de plaats voor het in gang houden van een werk met de daarvoor bestemde uitrusting;
3. Opstelling van werkplannen;
4. Relaties tussen klimaat en biologische processen.

Naar mijn mening bevinden wij ons met het onderwerp van heden in de categorieën 1 en 3. In de eerste klasse worden wij meestal geconfronteerd met de vragen van meest frequente en extreme condities. De derde klasse impliceert het probleem der klimatologische risico's.

Vervolgens besteden Landsberg en Jacobs aandacht aan de techniek van de oplossing van het probleem van toegepaste klimatologie, welke variëren zal met de graad van ingewikkeldheid. Er zijn 3 hoofdparameters in ieder probleem.

1. het klimaat; meestal samengesteld uit meer dan één element.
2. de ruimte ; gaat het om één plaats, om een provincie, om het hele land ?
3. de tijd ; gaat het om één bepaalde dag, één bepaalde week, een seizoen, het gehele jaar ?

B. Ik stap nu af van al deze theoretische en abstracte beschouwingen om meer practisch en concreet te worden. Dan is het niet moeilijk bijv. 10 voorbeelden van "onwerkbaar weer" te noemen. De (foeilelijke) woorden met het achtervoegsel "baar" heb ik gemakshalve toegevoegd.

1. de werkzaamheden in het bouwbedrijf;	onwerkbaar weer (regenverlet)
2. het laden en lossen van schepen, treinen e.d.;	onlosbaar weer
3. het binnenhalen van de oogst;	onoogstbaar weer
4. het maaidorsen;	onmaaibaar en ondorsbaar weer
5. het bespuiten van velden tegen bijv. insecten;	onsproeibaar weer
6. het vollopen van riolen vanwege stortbuien en het zich openen daardoor van nooduitlaten of het overstorten van rioolwater in openbaar water;	onbergbaar weer
7. het uitzenden door P.T.T.-straalzenders;	onzendbaar weer
8. Samenkomsten in de openlucht of toneel in een openluchttheater;	onvergaderbaar weer onspeelbaar weer
9. het rijden van de Ronde van Helmond of de T.T.T. te Assen;	onrijdbaar weer
10. het spelen van de finale voetbal om de Europa beker voor landskampioenen op Hemelvaartsdag 26 mei te Milaan. Welke kans is er dat deze door regen niet doorgaat ?	onspeelbaar weer

Al deze gevallen hebben het volgende gemeen. Het weer belemmert bepaalde activiteiten. Deze belemmeringen impliceren moeilijkheden, kosten enz.
Men kan maatregelen nemen, die deze activiteiten minder weergevoelig maken; deze kosten geld. Als dat te duur wordt kan men zich verzekeren tegen de financiële gevolgen der belemmeringen; maar ook deze verzekeringen kosten geld. Problemen: welke maatregelen ? Welke verzekeringspremies ?

Om U een idee te geven van de verscheidenheid van vragen, die aan het K.N.M.I., in verband met bovengenoemde punten, in de loop der jaren, in het bijzonder na 1945, gesteld werden en worden, helaas meestal in een vage formulering, noem ik er hier enkele.

1. Gedurende gemiddeld hoevele uren regent het overdag tussen 7 en 17 h te Apeldoorn ? En gemiddeld over het land ?
2. Hoe is het antwoord op de vorige vraag als alleen die regen beschouwd behoeft te worden, die een momentane intensiteit van tenminste 0,1 mm/min (d.i. 6 mm/h) heeft ?
3. Hoe "onderbroken" is de regen ? Volgen regens en droogteperioden elkaar in snelle successie ? In dit verband wordt wel geoordeeld, dat men een regen vóór en achteraan met een kwartier moet verlengen, doch waar men voor het ene soort werk voor een kwartier gevoeld, is dit voor een ander werk een uur, of zelfs een halve dag.
4. Gedurende gemiddeld hoeveel minuten regent het 's avonds tussen een bepaalde straalzender en een bepaalde ontvanger, op een afstand van bijv. 50 km, met een momentane intensiteit van ½ mm/min of meer, zodat de ontvangst gestoord wordt ? In welke frequentie komen de individuele storingsperioden voor ?
5. Hoe frequent en hoelang in de afzonderlijke gevallen, zal het gebeuren, dat het zodanig hard en veel regent, dat het riolenstelsel te Den Haag het water niet meer bergen kan, nooduitlaten in werking treden en overstorten in het openbare water plaatsvinden ?
6. Hoe vaak komt het voor, dat er te De Bilt tussen 8 en 10 uur 's morgens tenminste 10 mm regen valt ? Dit zijn de uren, waartussen zich de stroom medewerkers naar het Instituut spoedt!
7. Welke kans is er te De Bilt overdag op meer dan 1 mm regen binnen 2 uren, maar dan niet van stortregens ?

Dikwijls gaan zulke vragen vergezeld van verzoeken om inlichtingen van statistische aard, met betrekking tot kansen, correlaties, regressies, significanties e.d. Weer om U een idee te geven noem ik U twee vragen, de eerste betrekkelijk simpel, de tweede moeilijker:

1. Hoe groot is met 95 % kans het totale aantal werkbare dagen in de bouwvakken in het westen des lands in de komende 5 jaren tenminste ?
2. Een aannemersbedrijf moet een flink werk uitvoeren. Als het niet regent (regenen nader te definiëren) kan het klaar komen, als achter elkaar doorgewerkt kan worden, in 3 weken. Iedere dag met tenminste zoveel regen is een verloren dag, bovendien kan na een dag met regen het werk niet onmiddellijk hervat worden. Om bepaalde redenen <u>móét</u> men, zo dit kan, op 1 juni beginnen en wil men uiterlijk 15 juli klaar zijn (in 1½ maand dus).

Welke kans is er dat dit toch niet gelukt ? Ik geloof, dat sommige der door het Instituut voor Landbouwtechniek en Rationalisatie bestudeerde problemen van onwerkbaar weer in dit vlak gelegen zijn.

C. Ik wil nu eindigen met het noemen van enkele, lang niet alle, op het K.N.M.I. verrichte studies. Er zijn natuurlijk in de loop der jaren, vooral nà 1945, in vele brieven weerkundige inlichtingen verschaft ten behoeve van studies over onwerkbaar weer, in welke studies het K.N.M.I. niet een rol van wezenlijk belang speelde. Het was aanvankelijk mijn plan deze brieven te achterhalen en te analyseren, maar ik moest daar van afzien, toen dit een enorme tijd bleek te gaan kosten. Dus volsta ik nu met te refereren aan een zestal K.N.M.I.-studies. Ik geloof deze studies het best te kunnen karakteriseren door willekeurig gekozen kwantitatieve voorbeelden van uitspraken met behulp van deze studies te geven. Men kan dan zelf gemakkelijk analogiseren en generaliseren. Deze 6 studies zijn:

A. K.N.M.I. Med. en Verk. no. 62 "Regens, een statistische studie"; 1954; Levert;
B. K.N.M.I.-rapport "Het voorkomen van voor het bouwbedrijf belangrijke weersomstandigheden"; 1956; Studiecommissie weersinvloeden;
C. K.N.M.I. W.R. 61-2 "Een analyse van de pluviogrammen van De Bilt (1926-1950) naar grove kenmerken der regens"; 1962; Levert;
D. K.N.M.I.-rapport R III-279-1963 "Kansbeschouwingen bij door regen belemmerde openluchtwerkzaamheden"; 1963; Levert;
E. K.N.M.I.-publikatie Uurvakanalyse 1965 ? Levert;
F. K.N.M.I. Med. en Verk. No. ? Fijne Analyse Regens; 1966 ? Levert;

Voorbeelden van zulke kwantitatieve uitspraken zijn:

met A

1. Het regent te De Bilt tussen 7 en 8 h 's avonds gemiddeld 1 keer in mei 30 à 40 min.
2. Te De Bilt begint gemiddeld 1 keer in oktober een regen tussen 7 en 8 h 's morgens, om meer dan 30 minuten te duren.
3. Als een werk niet bij iedere regen gestopt behoeft te worden, doch alleen zolang de momentane intensiteit tenminste 0,02 mm/min (d.i. 1,2 mm/h) is, dan zal dit werk te De Bilt gedurende 1/3 deel van alle tijd, dat het regent, stil liggen.

4. Gemiddeld 1 keer per jaar zal er te De Bilt in het voorjaar 's morgens tenminste één klokuur liggen, waarin tenminste 3 mm neerslag valt.

met B

Te De Bilt is in 9 van de 10 gevallen op de hele uren 's winters overdag (tussen 7 en 17 h) de windkracht 5° B. In een kwart van deze gevallen regent het bovendien.

met C en F

Hoewel de gemiddelde totale aantallen regens, die er te De Bilt in maart en augustus vallen, weinig verschillen (nl. 31 en 29, d.i. gemiddeld 1 regen per dag), verschillen de kansen op dagen met 0, 1, 2, 3 regens wel opvallend. Om een voorbeeld te noemen: in augustus is de kans op een dag met 5 of meer regens ongeveer 3 keer zo groot als in maart, want augustus heeft gemiddeld 3 zulke dagen en maart heeft er maar 1. Hoe meer regens er vallen (d.i. hoe vaker het regent), hoe eerder bepaalde werkzaamheden belemmerd zullen worden. Heeft men interesse niet voor regens, van welke gemiddelde intensiteit ook, doch voor bijv. zware regens, (0,2 mm/min), dan is er weer een andere tabel, die de kansen op 0, 1, 2 zware regens per dag levert.
Ook kan het zijn, dat twee regens, gescheiden slechts door een half uur of minder, voor bepaalde activiteiten als één regenperiode gelden. Welaan, als men dat wil, kan men de regens aldus samennemen en opnieuw de duur van het onwerkbare weer berekenen. Genoemde publikatie stelt U daartoe niet in staat, doch met de op ponskaarten staande grondgegevens is ook zulk een vraag te beantwoorden en het kan zeker met publicatie F.

Als men tenslotte alleen die regens beschouwen wil, waarin moment voor moment de intensiteit een bepaalde waarde overtreffen moet (in tegenstelling tot de gemiddelde intensiteit), dan zullen de gegevens in de in bewerking zijnde publikatie F uitkomst bieden.

met D

Zeker werk, dat bij voldoende droog weer in 5 dagen voltooid kan worden, moet iedere keer, dat er tenminste $1\frac{1}{2}$ mm regen per dag valt, voor 1 dag onderbroken worden. De streef-startdag is 1 juli. Men kan berekenen dat dit werk op gemiddeld 12 juli klaar zal zijn, terwijl er 5 % kans is, dat de voltooiingsdatum na 2 augustus ligt. Als de aannemer zodanige maatregelen nemen wil en kan, dat de kritieke neerslaghoeveelheid niet $1\frac{1}{2}$ doch $3\frac{1}{2}$ mm wordt, dan wordt de gemiddelde voltooiingsdatum van 12 naar 7 juli en de 5 % voltooiingsdatum van 2 augustus naar 18 juli vervroegd.

Bij deze uitspraak is niet gerekend met de omstandigheid, dat de dagen met tenminste $1\frac{1}{2}$ mm, evenmin die met $3\frac{1}{2}$ mm, niet regelloos in de tijd liggen. Dagen met zeer grote hoeveelheden, zegge 10 of meer mm, doen dit wel in goede benadering. Wanneer ook deze afhankelijkheid der hoeveelheden op successieve dagen in rekening gebracht wordt, dan is het gestelde probleem in principe op te lossen, maar de berekeningen met de hand worden uiterst tijdrovend. Een computer moet ingeschakeld worden, vooral als men aan elk der vele parameters, die dit probleem telt, vele waarden wil geven en de uitkomsten in tabellen of grafieken wenst.

met E

Het komt 1 keer in gemiddeld j jaren voor, dat het te De Bilt in het seizoen S in een gesloten tijdvak van n uren, dat eindigt met uur U, meer dan h mm of langer dan d minuten regent. Daarbij neemt n de waarden 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12, 16, 24, 36 aan; S kan zijn de lente, zomer, herfst, winter; het uur U kan zijn 1, 2, .. 24. Ik geef hier liever nog geen getallen.

De publikatie is in een ver stadium van voorbereiding. De tabellen en de tekst zijn bijna gereed. Wij hopen, dat de publikatie dit jaar verschijnen zal.

-o-o-o-o-