

**MEDEDELINGEN VAN DE LANDBOUWHOGESCHOOL
TE WAGENINGEN • NEDERLAND • 64-3 (1964)**

**MICROKLIMATOLOGISCHE
WAARNEMINGEN IN DE
WASSENAARSE DUINEN**

*MICROCLIMATOLOGICAL OBSERVATIONS
IN THE WASSENAAR DUNES*

(With English summary)

J. H. A. BOERBOOM

*Laboratorium voor Plantensystematiek en -geografie van de
Landbouwhogeschool, Wageningen, Nederland*

Laboratory of Plant Taxonomy and Plant Geography of the Agricultural University,
Wageningen, The Netherlands

(Ontvangen/received 11-XII-1963)

H. VEENMAN & ZONEN N.V. • WAGENINGEN • 1964

De auteur van de Mededelingen van de
Landbouwhogeschool, Wageningen No. 64-3 (1964)

J. H. A. BOERBOOM

studeerde aan de Landbouwhogeschool en is
doctor in de landbouwkunde.

INHOUD

1. Inleiding	1
2. Algemene gegevens	3
2.1. Ligging en gesteldheid der onderzochte objecten	3
2.2. Algemeen meteorologische gegevens omtrent de dagen waarop waarnemingen werden verricht	4
2.3. Instrumenten	5
2.4. Werkwijze	5
3. Resultaten van het onderzoek	6
3.1. Luchttemperatuur boven de vegetatie	6
3.2. Luchttemperatuur in de vegetatie	7
3.3. Bodemtemperatuur	11
3.4. Absolute luchtvochtigheid	13
3.5. Relatieve luchtvochtigheid	14
Summary	18
Literatuur	22

1. INLEIDING

Reeds in 1884 – de microklimatologie kondigde zich als tak van wetenschap nog nauwelijks aan – werden door GILTAY in de duinen bij Katwijk een aantal metingen van microklimatologische aard uitgevoerd (GILTAY 1886). De zo zeer uiteenlopende begroeiingen die hij op noord- en zuidhelling van eenzelfde duin aantrof¹, hadden hem er toe gebracht op enkele warme dagen bodemtemperaturen en de temperatuur en relatieve vochtigheid van de onderste luchtlaag bij beide exposities te bepalen. Hij maakte daarbij gebruik van een kwikthermometer en diverse hygrometers. De gevonden verschillen 'rechtvaardigden' zijns inziens de afwijkende anatomische bouw van een aantal der op de zuidhelling voorkomende plantesoorten.

Na GILTAY hebben zich bij ons te lande nog verscheidene onderzoekers met het microklimaat van duinvegetaties bezig gehouden. De met betrekking hiertoe gepubliceerde gegevens waren echter tot voor kort naar verhouding beperkt en veelal fragmentair.

Vrij uitvoerig materiaal vindt men overigens bij Jeswiet (1913). Hij bepaalde zich in hoofdzaak tot een aantal temperatuurmetingen gedurende voor- en najaar. Het verschil in microklimaat dat bij verschillende expositie heerst, had ook zijn bijzondere aandacht. Echter blijkt uit het geschrift niet, wat precies door JESWIET gemeten werd, noch hoe hij zijn metingen verrichtte. Mede daarom bieden zijn cijfers weinig aanknopingspunten.

VAN DIEREN (1934) bepaalde gedurende negen maanden lucht- en bodemtemperaturen in de duinen van Terschelling. Het traject van 3 cm boven tot 5 cm onder het bodemoppervlak sloot hij bij zijn metingen uit. Deze auteur hield zich evenzeer bezig met de microklimatologische verschillen tussen noord- en zuidhelling en hij geeft ter illustratie enige cijfers. Zijn volledige materiaal had hij voorbestemd tot een afzonderlijke publikatie, welke echter niet tot stand is kunnen komen.

Op Voorne nam ADRIANI (1945) een *Hippophaë*-begroeiing in studie. Hij maakte gebruik van een Assmann-psychrometer. Op een warme zomerdag bepaalde hij op verschillende hoogten in en boven de vegetatie temperatuur en luchtvochtigheid; de gevonden waarden bracht hij in verband met de structuur van de begroeiing. Op zijn waarnemingen zal sub 3.5 nader worden teruggekomen.

WESTHOFF (1947) bepaalt zich tot enkele opmerkingen ten aanzien van het microklimaat van de door hem op de Nederlandse Waddeneilanden onderzochte duingemeenschappen. Cijfers vermeldt hij niet.

Een recente, zeer uitvoerige en fraaie publikatie danken wij aan STOUTJESDIJK (1961). Hij ontleent zijn materiaal aan een lange reeks van waarnemingen aan duinvegetaties van uiteenlopende structuur op Voorne. Mede door zijn grote vindingrijkheid wist deze auteur zich te voorzien van een uiterst doelmatig instrumentarium; vrijwel alle bepalingen kwamen langs thermo-electrische weg

¹ , . . . beim Ueberschreiten des Ruckens, war es mir öfters, als wenn ich ein anderes Land vor mir hatte' (p. 427).

tot stand. Aan zijn resultaten moet een grote mate van betrouwbaarheid worden toegekend. In hetgeen volgt zal herhaalde malen op dit geschrift worden teruggekomen.

Buiten onze grenzen is microklimatologisch werk bekend van de Engelse duinen (SALISBURY 1933, 1952), enkele Deense duingebieden (BÖCHER 1941, 1945) en de duinen van Normandië (TURMEL 1949). SALISBURY (1933) stond mij niet ter beschikking. In SALISBURY (1952) treft men enkele beschouwingen aan omtrent het microklimaat in 'yellow dunes' en 'grey dunes' met voorbeelden van door de auteur waargenomen temperaturen. BÖCHER deed in duingebieden slechts enkele temperatuurmetingen aan een *Elymus-Ammophila*-associaat en een *Corynephorus-Cladina*-begroeiing. Het materiaal van TURMEL is weliswaar omvangrijker, maar slecht gedocumenteerd en derhalve weinig bruikbaar.

Door schrijver dezes werden in het kader van een uitgebreid vegetatiekundig onderzoek van de Wassenaarse duinen (BOERBOOM 1960) op enkele dagen microklimatologische waarnemingen in dat gebied verricht. De metingen waaromtrent hier verslag zal worden uitgebracht hadden plaats op 17 juni en 23 augustus 1957. In aansluiting hierop is de bewerking der gegevens ter hand genomen en kwam een concept-manuscript gereed. In verband met een verandering van werkkring en vertrek naar het buitenland werden afsluiting en persklaar maken van het manuscript zeer vertraagd.

Behalve de reeds geciteerde literatuur over kustduinen zijn met betrekking tot het hier te behandelen onderzoek eveneens enige publikaties over binnenslands gelegen duinen en stuifzanden van belang (o.m. VOLK 1931 en STOUT-JESDIJK 1959).

2. ALGEMENE GEGEVENS

2.1 LIGGING EN GESTELDHEID DER ONDERZOCHE OBJECTEN

Terrein van onderzoek vormde de duinstrook tussen Scheveningen in het zuiden en het Wassenaarse Slag – de zeeweg van Wassenaar naar het strand – in het noorden. De hier te behandelen microklimatologische metingen hadden plaats aan een klein gebied enkele km ten noorden van Scheveningen. Die van 17 juni hebben betrekking op 10 vegetaties, gelegen op een afstand van 25-600 m uit de duinvoet ter hoogte van de strandpalen 94.5-95.0 (objecten 1 t/m 10). Op 23 augustus werden metingen verricht aan 9 vegetaties, alle gelegen in en om dezelfde duinpan: 550 m van de duinvoet ter hoogte van strandpaal 94.9 (zie foto 2).

Beschrijving der objecten

1. Open begroeiing van *Ammophila arenaria* (*Elymus arenarius* – *Ammophila arenaria* – ass.), hoogte 50 cm. Top zeereep. Terrein vlak. Zandsedimentatie. Afstand tot duinvoet 25 m.
2. Als vorige, begroeiing echter nagenoeg gesloten.
3. Onbegroeid terrein. Expositie z., inclinatie 15°. Afstand tot duinvoet 250 m.
4. Gesloten moskussen van *Tortula ruralis* var. *arenicola* (*Erodium glutinosum* – *Phleum arenarium* – ass.). Exp. z., incl. 15°. Grenzend aan 3. Vgl. foto 1.
5. Begroeiing als vorige. Exp. n., incl. 15°. Afstand tot duinvoet 350 m.
6. Begroeiing met (1) open gras- en kruidlaag, hoogte –15 cm, bedekking 50%, voornaamste soorten: *Festuca ovina* subvar. *frisica*, *Koeleria albescens*, *Luzula campestris* ssp. *campestris*, *Hieracium pilosella*; en (2) gesloten cryptogamendek met *Cladonia* sp. div. en *Hypnum cupressiforme* var. *elatum* (*Taraxacum obliquum* – *Galium verum* – ass.). Terrein vlak. Afstand tot duinvoet 460 m.
7. Zeer dichte grasmat van *Festuca ovina* met voorts *Helictotrichon pubescens*, *Plantago lanceolata* var. *sphaerostachya*, *Lotus corniculatus* var. *ciliatus*, *Galium verum* var. *litorale*, *Thymus pulegioides*, *Taraxacum* sp. div. Geringe cryptogamenbedekking, overwegend *Hypnum cupressiforme*. (*Taraxacum obliquum* – *Galium verum* – ass.). Hoogte –15 cm. Zelfde vallei als vorige. Afstand tot duinvoet 450 m.
8. Soortenrijke begroeiing met o.m. *Anthyllis vulneraria* var. *maritima*, *Galium mollugo*, *Picris hieracioides*, *Rhinanthus glaber*, *Ononis repens* var. *mitis*, *Festuca ovina*. Moslaag vrijwel uitsluitend *Hypnum cupressiforme*. Bedekking phanerogamen 80%, cryptogamen 60%. (*Anthyllis vulneraria* – *Silene nutans* – ass.). Hoogte 8 cm (–30 cm). Exp. n., incl. 15°. Afstand tot duinvoet 260 m.
9. Dicht struweel van *Sambucus nigra* op binnenhelling zeereep (*Hippophaë rhamnoides* – *Sambucus nigra* – ass.). Hoogte 2 m. Geen ondergroei.

Bodem onderhevig aan overstuiving met zand. Exp. z.o., incl. 5–15°. Afstand tot duinvoet 35 m.

10. Klein geïsoleerd berkenbosje (*Betula pubescens*) in uitgestrekte duinpan, randen door dicht ligusterstruweel rondom gesloten, van de grond af oplopend tot 3 m aan de landzijde. Door ijl kroondak dringt vrij veel licht door tot goed ontwikkelde vegetatielaag op ca 1.3 m, bestaande uit *Calamagrostis epigeios*, *Melandrium rubrum*, *Ligustrum vulgare*, *Lonicera periclymenum*. Lage kruidlaag (hoogte 0.2 m) met geringe sluiting: *Moehringia trinervia* e.a. (*Crataegus monogyna* – *Betula pubescens* – ass.). Afstand tot duinvoet 600 m.

11. Onbegroeid terrein. Exp. z., incl. 15°.

12. Gesloten mosdek van *Tortula ruralis* met enkele afgestorven therophyten: *Phleum arenarium*, *Cerastium semidecandrum* (*Erodium glutinosum* – *Phleum arenarium* – ass.). Exp. z., incl. 15°. Vgl. foto 1.

13. Gesloten mosdek van *Hypnum cupressiforme*, rijker aan phanerogamen: naast diverse therophyten o.m. *Sedum acre*, *Ononis repens*; bedekking phanerogamen 30%, hoogte 1–5 cm (*Erodium glutinosum* – *Phleum arenarium* – ass.). Exp. z., incl. 15°.

14. Als 12. Terrein vlak. Beschutte ligging.

15. Dichte *Festuca ovina*-mat met voorts *Koeleria albescens*, *Helictotrichon pubescens*, *Thymus pulegioides*, *Lotus corniculatus*, *Galium verum*. Hoogte 8 cm (–15 cm). Moslaag matig ontwikkeld, vnl. *Hypnum cupressiforme*. (*Taraxacum obliquum* – *Galium verum* – ass.). Terrein vlak.

16. Als 13. Exp. n., incl. 15°.

17. Gesloten soortenrijke kruidenvegetatie met o.m. *Lotus corniculatus*, *Thymus pulegioides*, *Silene nutans*, *Hieracium pilosella*, *Euphrasia* sp., *Linum catharticum*, *Festuca rubra* subvar. *arenaria*. Moslaag goed ontwikkeld, vnl. *Hypnum cupressiforme* (*Anthyllis vulneraria* – *Silene nutans* – ass.). Hoogte 8 cm (–20 cm). Exp. n., incl. 20°.

18. Gesloten dwergstruweel van *Salix repens* ssp. *arenaria*. Overige soorten: *Rubus caesius*, *Calamagrostis epigeios*, *Festuca rubra*. Mossen vrijwel afwezig (*Polypodium vulgare* – *Salix repens* – ass.). Hoogte 50 cm. Exp. n., incl. 20°.

19. Begroeiing van *Tortella flavovirens* en *Encalypta streptocarpa*. Moslaag volledig gesloten. Geen phanerogamen (*Didymodon recurvirostris* – *Tortella flavovirens* – ass.). Op loodrecht wandje op noordhelling. Beschutting door omringende vegetatie, behorend tot *Anthyllis vulneraria* – *Silene nutans* – ass.

2.2 ALGEMEEN METEOROLOGISCHE GEGEVENS

OMTRENT DE DAGEN WAAROP WAARNEMINGEN WERDEN VERRICHT

17 juni 1957. Zon op 4.13 uur; onder 20.56 uur. Uitermate hete dag tijdens hittegolf, zeer stabiel weer. Min. temperaturen voorafgaande nacht 15.5°¹, max. temp. overdag 30.4°, min. temp. daaropvolgende nacht 17.2°. Windrich-

¹ Temperatuur-, wind- en neerslagmetingen door de Duinwaterleiding van 's-Gravenhage bij het Pompstation, d.i. ca 3 km z. van het terrein van onderzoek.

2. ALGEMENE GEGEVENS

2.1 LIGGING EN GESTELDHEID DER ONDERZOCHE OBJECTEN

Terrein van onderzoek vormde de duinstrook tussen Scheveningen in het zuiden en het Wassenaarse Slag – de zeeweg van Wassenaar naar het strand – in het noorden. De hier te behandelen microklimatologische metingen hadden plaats aan een klein gebied enkele km ten noorden van Scheveningen. Die van 17 juni hebben betrekking op 10 vegetaties, gelegen op een afstand van 25–600 m uit de duinvoet ter hoogte van de strandpalen 94.5–95.0 (objecten 1 t/m 10). Op 23 augustus werden metingen verricht aan 9 vegetaties, alle gelegen in en om dezelfde duinpan: 550 m van de duinvoet ter hoogte van strandpaal 94.9 (zie foto 2).

Beschrijving der objecten

1. Open begroeiing van *Ammophila arenaria* (*Elymus arenarius* – *Ammophila arenaria* – ass.), hoogte 50 cm. Top zeereep. Terrein vlak. Zandsedimentatie. Afstand tot duinvoet 25 m.
2. Als vorige, begroeiing echter nagenoeg gesloten.
3. Onbegroeid terrein. Expositie z., inclinatie 15°. Afstand tot duinvoet 250 m.
4. Gesloten moskussen van *Tortula ruralis* var. *arenicola* (*Erodium glutinosum* – *Phleum arenarium* – ass.). Exp. z., incl. 15°. Grenzend aan 3. Vgl. foto 1.
5. Begroeiing als vorige. Exp. n., incl. 15°. Afstand tot duinvoet 350 m.
6. Begroeiing met (1) open gras- en kruidlaag, hoogte –15 cm, bedekking 50%, voornaamste soorten: *Festuca ovina* subvar. *frisia*, *Koeleria albescens*, *Luzula campestris* ssp. *campestris*, *Hieracium pilosella*; en (2) gesloten cryptogamendek met *Cladonia* sp. div. en *Hypnum cupressiforme* var. *elatum* (*Taraxacum obliquum* – *Galium verum* – ass.). Terrein vlak. Afstand tot duinvoet 460 m.
7. Zeer dichte grasmatt van *Festuca ovina* met voorts *Helictotrichon pubescens*, *Plantago lanceolata* var. *sphaerostachya*, *Lotus corniculatus* var. *ciliatus*, *Galium verum* var. *litorale*, *Thymus pulegioides*, *Taraxacum* sp. div. Geringe cryptogamenbedekking, overwegend *Hypnum cupressiforme*. (*Taraxacum obliquum* – *Galium verum* – ass.). Hoogte –15 cm. Zelfde vallei als vorige. Afstand tot duinvoet 450 m.
8. Soortenrijke begroeiing met o.m. *Anthyllis vulneraria* var. *maritima*, *Galium mollugo*, *Picris hieracioides*, *Rhinanthus glaber*, *Ononis repens* var. *mitis*, *Festuca ovina*. Moslaag vrijwel uitsluitend *Hypnum cupressiforme*. Bedekking phanerogamen 80%, cryptogamen 60%. (*Anthyllis vulneraria* – *Silene nutans* – ass.). Hoogte 8 cm (–30 cm). Exp. n., incl. 15°. Afstand tot duinvoet 260 m.
9. Dicht struweel van *Sambucus nigra* op binnenhelling zeereep (*Hippophaë rhamnoides* – *Sambucus nigra* – ass.). Hoogte 2 m. Geen ondergroei.

Bodem onderhevig aan overstuiving met zand. Exp. z.o., incl. 5–15°. Afstand tot duinvoet 35 m.

10. Klein geïsoleerd berkenbosje (*Betula pubescens*) in uitgestrekte duinpan, randen door dicht ligusterstruweel rondom gesloten, van de grond af oplopend tot 3 m aan de landzijde. Door ijl kroondak dringt vrij veel licht door tot goed ontwikkelde vegetatielaag op ca 1.3 m, bestaande uit *Calamagrostis epigeios*, *Melandrium rubrum*, *Ligustrum vulgare*, *Lonicera periclymenum*. Lage kruidlaag (hoogte 0.2 m) met geringe sluiting: *Moehringia trinervia* e.a. (*Crataegus monogyna* – *Betula pubescens* – ass.). Afstand tot duinvoet 600 m.

11. Onbegroeid terrein. Exp. z., incl. 15°.

12. Gesloten mosdek van *Tortula ruralis* met enkele afgestorven therophyten: *Phleum arenarium*, *Cerastium semidecandrum* (*Erodium glutinosum* – *Phleum arenarium* – ass.). Exp. z., incl. 15°. Vgl. foto 1.

13. Gesloten mosdek van *Hypnum cupressiforme*, rijker aan phanerogamen: naast diverse therophyten o.m. *Sedum acre*, *Ononis repens*; bedekking phanerogamen 30%, hoogte 1–5 cm (*Erodium glutinosum* – *Phleum arenarium* – ass.). Exp. z., incl. 15°.

14. Als 12. Terrein vlak. Beschutte ligging.

15. Dichte *Festuca ovina*-mat met voorts *Koeleria albescens*, *Helictotrichon pubescens*, *Thymus pulegioides*, *Lotus corniculatus*, *Galium verum*. Hoogte 8 cm (–15 cm). Moslaag matig ontwikkeld, vnl. *Hypnum cupressiforme*. (*Taraxacum obliquum* – *Galium verum* – ass.). Terrein vlak.

16. Als 13. Exp. n., incl. 15°.

17. Gesloten soortenrijke kruidenvegetatie met o.m. *Lotus corniculatus*, *Thymus pulegioides*, *Silene nutans*, *Hieracium pilosella*, *Euphrasia* sp., *Linum catharticum*, *Festuca rubra* subvar. *arenaria*. Moslaag goed ontwikkeld, vnl. *Hypnum cupressiforme* (*Anthyllis vulneraria* – *Silene nutans* – ass.). Hoogte 8 cm (–20 cm). Exp. n., incl. 20°.

18. Gesloten dwergstruweel van *Salix repens* ssp. *arenaria*. Overige soorten: *Rubus caesius*, *Calamagrostis epigeios*, *Festuca rubra*. Mossen vrijwel afwezig (*Polypodium vulgare* – *Salix repens* – ass.). Hoogte 50 cm. Exp. n., incl. 20°.

19. Begroeiing van *Tortella flavovirens* en *Encalypta streptocarpa*. Moslaag volledig gesloten. Geen phanerogamen (*Didymodon recurvirostris* – *Tortella flavovirens* – ass.). Op loodrecht wandje op noordhelling. Beschutting door omringende vegetatie, behorend tot *Anthyllis vulneraria* – *Silene nutans* – ass.

2.2 ALGEMEEN METEOROLOGISCHE GEGEVENS

OMTRENT DE DAGEN WAAROP WAARNEMINGEN WERDEN VERRICHT

17 juni 1957. Zon op 4.13 uur; onder 20.56 uur. Uitermate hete dag tijdens hittegolf, zeer stabiel weer. Min. temperaturen voorafgaande nacht 15.5°¹, max. temp. overdag 30.4°, min. temp. daaropvolgende nacht 17.2°. Windrich-

¹ Temperatuur-, wind- en neerslagmetingen door de Duinwaterleiding van 's-Gravenhage bij het Pompstation, d.i. ca 3 km z. van het terrein van onderzoek.

ting 8.40 uur o.z.o., windkracht 3. Gedurende de gehele dag bleef een matige tot vrij krachtige wind tussen o. en z.o. heersen, 's avonds volkomen windstil. Gehele dag onbewolkt. Geen neerslag.

23 augustus 1957. Zon op 5.31 uur; onder 19.42 uur. Vrij warme dag tijdens periode van onstabiel weer. Min. temperatuur voorafgaande nacht 9.8°, max. temp. overdag 21.2°, min. temp. volgende nacht 14.4°. Neerslag 23 aug. afgetapt om 8.00 uur 0.0 mm (dauw), neerslag 24 aug. 8.00 uur 1.1 mm (regen). Windrichting 8.40 uur z.o., windkracht 2. Later op de ochtend een vrij krachtige z.o. wind, in de namiddag draaiend naar z.w. Aanvankelijk onbewolkt. In de loop van de ochtend een enkele wolk; 12.00–15.40 uur overdrijvende wolken; 15.40–18.00 uur onbewolkt. Daarna zon schuil gaand achter wolkenbank. 19.00 uur bewolkt, enige druppels neerslag. 20.00 uur regen.

2.3 INSTRUMENTEN

De luchttemperaturen werden gemeten met behulp van een Assmannspsychrometer, de relatieve vochtigheden uitgerekend aan de hand van de hiervoor bestaande tabellen.

Voor het meten van bodemtemperaturen werd gebruik gemaakt van een aantal bimetaal-bodemthermometers (Rueger). De bimetaal-thermometers waren tevoren onderling geijkt.

2.4 WERKWIJZE

Aangezien geen zelfregistrerende instrumenten ter beschikking stonden, dienden – om temperatuur- en luchtvochtigheidsverloop na te gaan – de aflezingen min of meer frequent en zo mogelijk met ten naaste bij gelijke tussenpozen verricht te worden.

Op 17 juni vonden de metingen plaats tussen 5.20 en 21.40 uur met tussenpozen van ongeveer 4 uur. In enkele gevallen werd een tussentijdse aflezing verricht. Dank zij het zeer stabiele weer kon in de meeste gevallen zonder bezwaar tussen twee opeenvolgende waarnemingen geïnterpoleerd worden.

Op 23 augustus had de eerste meting plaats om 5.30 uur, de laatste om 20.00 uur. Per object werd ca. ieder uur een aflezing gedaan. Het weinig stabiele weer tekende zich af in een vrij grillig verloop der kurven.

3. RESULTATEN VAN HET ONDERZOEK

3.1 LUCHTTEMPERATUUR BOVEN DE VEGETATIE

In het duin treft men, gemeten ca 20 cm boven de vegetatie, hogere maxima en lagere minima aan dan in de meteorologische waarnemingspost bij het Pompstation. De temperatuurverschillen zijn het grootst bij sterke in- resp. uitstraling en treden dus vooral bij helder weer op. Op 17 juni varieerde de maximumtemperatuur boven de vegetatie (afhankelijk van lokale omstandigheden) tussen 31.0° en 36.3° (Pompstation 30.4°), op 23 augustus tussen 21.7° en 24.4° (Pompstation 21.2°). De minimumtemperatuur lag op de laatste dag in het duin tussen 6.6° en 9.2° (Pompstation 9.8°). De verschillen met de waarnemingen in de meteorologische hut nemen in omvang sterk toe wanneer de afstand tot het in- en uitstralend oppervlak kleiner wordt (zie ook de volgende §). Van belang zijn vooral de lage minimumtemperaturen, die tot zeer laat in het jaar nachtvorsten kunnen veroorzaken. Zo werd in de nacht van 23 op 24 juni 1957 (dus enige dagen na de hittegolf) aan het Pompstation een minimum afgelezen van 4.9°, maar traden in het duin zware nachtvorsten op!

Uit de hier gegeven cijfers blijkt dat de in het veld waargenomen maxima een niet onbelangrijke variatie vertonen. Deze blijkt samen te hangen met:

a. Het reliëf. Op 23 augustus was de middagtemperatuur op de z.-helling, gemeten 20 cm boven de vegetatie (*Hypnum*-facies) 1° hoger dan boven eenzelfde vegetatie op de n.-helling (obj. 13 resp. 16). Op 17 juni bedroeg dit verschil 3°–5° (20 cm boven *Tortula*-facies, obj. 4 en 5). In de vroege ochtenduren en laat in de middag doet zich 's zomers echter een tegengesteld verschijnsel voor. Dan is het nl. de n.-helling die van de in het n.o. staande zon de meeste stralen opvangt, waardoor gedurende korte tijd op de n.-helling hogere temperaturen kunnen heersen. Bij toenemende inclinatie van het terrein accentueren de temperatuurverschillen zich.

b. De begroeiingstoestand. Op 23 augustus was van ca 10.30–16.30 uur de temperatuur boven onbegroeid terrein meestal 1°–2° hoger dan boven de *Tortula*-facies met dezelfde expositie en inclinatie (obj. 11 en 12). Dit feit zou erop kunnen wijzen, dat ook de oppervlaktetemperatuur van de onbegroeide bodem hoger is dan de gemiddelde temperatuur van het werkelijk actieve oppervlak bij de *Tortula*-facies. Evenzo wees op dezelfde dag de thermometer op de n.-helling boven de *Hypnum*-facies (obj. 16) 0.5°–1.5° hoger aan dan boven het dwergstruweel van *Salix repens* (obj. 18); het laatste verschil hangt samen met de onderling afwijkende warmte- en vochthuishouding van de beide structureel verschillende vegetaties. Om overeenkomstige redenen was de temperatuur op vlak terrein, gemeten boven de *Tortula*-facies (obj. 14), op 23 augustus van 8–18 uur ca 1° hoger dan boven de dichte grasmat van *Festuca ovina* (obj. 15). In dit geval kan echter nog een andere factor van betekenis geweest zijn. Het is immers begrijpelijk dat ook reliëf en aard der vegetatie van de naaste omgeving van invloed kan zijn, zowel direct op de erover strijkende lucht als door de beschuttende werking, die ervan op de omgeving kan uitgaan.

Duidelijk treedt dit aan het licht bij onderlinge vergelijking van de *Tortula*-facies op vlak terrein en op de z.-helling (obj. 14 en 12). Hoewel in verband met de sterkere insolutie hogere temperaturen boven de z.-helling verwacht konden worden bleek het omgekeerde het geval. De beschutte ligging (in de vallei achter enige kruipwilgboesjes) speelde op deze windrige dag een grotere rol dan de expositie.

3.2 LUCHTTEMPERATUUR IN DE VEGETATIE

De betrekkelijk geringe verschillen die de luchttemperatuur buiten (boven) de vegetatie bij diverse reliëfvormen vertoont, accentueren zich in sterke mate binnen de vegetatie. Bedroeg het verschil voor z.- en n.-helling boven de vegetatie (*Hypnum*-facies, 23 augustus) slechts 1° (zie § 3.1), in de vegetatie werd een verschil tot 8° à 9° gemeten. Binnen de *Tortula*-facies werden op 17 juni eveneens verschillen tot ongeveer 9° waargenomen¹. In de vegetatie kunnen overeenkomstig het in de vorige § opgemerkte des zomers kort na zonsondergang op de n.-helling hogere temperaturen optreden dan op de z.-helling.

Ook de verschillen in temperatuur bij uiteenlopende vegetatietypen, maar onder dezelfde reliëfomstandigheden, zijn als regel binnen de vegetatie groter dan daarbuiten.

Het is daarbij vaak mogelijk en dan wenselijk onderscheid te maken tussen temperatuurverschillen die op diverse niveau's binnen de vegetatie bestaan². Eén en ander is afhankelijk van de structuur van de vegetatie en zal in hetgeen volgt nader worden toegelicht.

Bij een geringe sluiting van de vegetatie (obj. 1) dringen omstreeks het middaguur de zonnestralen voor een belangrijk deel door tot aan het bodemoppervlak. Er heeft een relatief sterke verwarming van de bodem plaats. Het gevolg is dat het absolute maximum der luchttemperatuur nabij het bodemoppervlak wordt aangetroffen. Op 17 juni bedroeg dit op +2 cm 34°. Met toenemende afstand tot het bodemoppervlak – tevens afnemende beschutting tegen de wind – bereikt het middagmaximum een dienovereenkomstig lagere waarde (tot 32° op 60 cm). Het temperatuurverval in verticale zin geeft hiermede een overeenkomstig beeld te zien als bij een onbegroeide bodem.

Bij een gesloten *Ammophila*-begroeiing (obj. 2) bleek echter een andere temperatuurverdeling te heersen (fig. 1.1). Om 6.00 uur wees de thermometer op 2, 15 en 60 cm – dit laatste dus 10 cm boven de hoogste helmbladen – dezelfde temperatuur aan (17°), doch om 2 uur was op 2 cm een stijging tot 30° ingetreden, op 15 cm tot 32° en op 60 cm tot slechts 27°. Om 13.30–14.00 uur bereikten de temperaturen op 15 cm en 2 cm hun maxima (37° resp. 36°). De maximumtemperatuur van de lucht boven de vegetatie (bereikt om ongeveer 15 uur) bleef

¹ Dat de verschillen op de 17e juni niet groter waren dan op de aanmerkelijk minder warme 23e augustus moet worden toegeschreven aan de hogere zonnestand in juni, waardoor het verschil in stralingsintensiteit voor zuid- en noordhellingen relatief geringer is.

² De hier toegepaste Assmann-psychrometer stelt aan een grote detaillering in dit opzicht beperkingen.

hier ca 5° resp. 4° onder. Om 17.30 uur daalde de temperatuur op 15 cm onder die op 2 cm, maar bleef – althans voorlopig – nog boven die op 60 cm, om – naar alle waarschijnlijkheid – bij zonsondergang ook onder de temperatuur op 60 cm gedaald te zijn.

In dit geval bevindt het absolute temperatuurmaximum zich blijkbaar op enige afstand boven het terreinoppervlak, echter onder de toppen van de begroeiing. Deze verdeling is kenmerkend voor een min of meer gesloten vegetatie met overwegend verticaal gerichte plantedelen. GEIGER (1961) nam eenzelfde resultaat waar in een tot sluiting gekomen winterroggeveld. In een eveneens structureel nauw verwante *Calamagrostis epigeios*-begroeiing vond STOUTJESDIJK (1961) een maximum ter hoogte van de laagste toppen, d.w.z. op twee derde van de hoogte der begroeiing.

Opmerkelijk is het feit dat in de open *Ammophila*-vegetatie minder hoge temperatuurmaxima werden gemeten dan in de gesloten begroeiing. Als regel treft men namelijk onder dergelijke omstandigheden wegens de absorptie der langgolelige straling in overwegend één vlak – nl. het bodemoppervlak – een tegengestelde situatie aan (vgl. het temperatuurverloop bij de *Festuca ovina*-begroeiingen, obj. 6 en 7, p. 9). Men dient echter te bedenken dat in de open *Ammophila*-begroeiing het maximum direct aan het bodemoppervlak aanmerkelijk hoger kan liggen en dat daar geen meting geschiedde. Het lagere maximum in de open begroeiing laat zich in dit geval echter ook verklaren uit de krachtiger luchtcirculatie en de daarmee gepaard gaande afkoeling op deze windiger standplaats (top zeereep).

In § 3.1 bleek, dat op een z.-helling 20 cm boven de *Tortula*- en de *Hypnum*-facies enigszins lagere temperaturen waargenomen werden dan op gelijke hoogte boven onbegroeid terrein. Meet men echter de temperatuur op 1 cm boven het terreinoppervlak (dat wil zeggen in het geval van het begroeide oppervlak in de vegetatie), dan wordt tijdens het grootste deel van de dag een tegengesteld verschil waargenomen (fig. 2.1). Op 23 augustus was de temperatuur bij zonsopgang in de *Tortula*- zowel als de *Hypnum*-facies (obj. 12 en 13) iets lager (namelijk 0.3° resp. 1.4°) dan 1 cm boven het onbegroeide zand (obj. 11). Gedurende de aanvankelijke temperatuurdaling tot ca 1 uur na zonsopgang en de daarop volgende snelle stijging bleef het tot 8.30 uur à 9 uur kouder in beide begroeiingen. Na 9 uur was het tot een uur vóór zonsondergang warmer in de vegetatie, 1°–4° in de *Tortula*-facies, 2°–5° in de *Hypnum*-facies. Op 17 juni werden tussen de *Tortula*-facies en onbegroeid terrein (obj. 4 en 3) op 1 cm boven het bodemoppervlak verschillen geregistreerd tot 9°. Deze verschillen zijn verklaarbaar als men bedenkt dat het actieve oppervlak bij deze begroeiingen gevormd wordt door het vegetatie-, niet door het bodemoppervlak.

Bij het voorgaande kwam tevens aan het licht, dat de temperatuur in de *Tortula*- en de *Hypnum*-facies belangrijk hogere waarden kan bereiken dan die van de erover strijkende lucht. Alleen bij zonsopgang en -ondergang wees de thermometer in de vegetatie enige tienden van graden lager aan dan daarbuiten. Op 23 augustus waren de verschillen op de z.-helling eveneens voor de *Hypnum*-facies het grootst (tot 9°C), voor de *Tortula*-facies maximaal 8°. Bij andere

expositie waren dezelfde dag de afwijkingen van de temperatuur der omringende lucht veel geringer: bij de *Tortula*-facies op vlak terrein (obj. 14) maximaal 6°, bij de *Hypnum*-facies op n.-helling (obj. 16) maximaal 3°.

Op 17 juni steeg de luchttemperatuur binnen de *Tortula*-facies op de z.-helling (obj. 4) tot 44.5° (13.40 uur) en was daarmee op dat tijdstip 10.4° hoger dan 20 cm boven dezelfde vegetatie. De absolute maxima lagen echter minder ver uiteen, aangezien de hoogste temperatuur buiten de vegetatie eerst om ca 15 uur bereikt werd (36.5°), dat wil zeggen 2½ uur na de hoogste zonnestand. Op de n.-helling beliep het verschil tussen de temperaturen in en boven de overeenkomstige vegetatie (obj. 5) gedurende het grootste deel van de 17e juni (8.30–18.00 uur) slechts 3° à 4°. De maximumtemperatuur in de vegetatie bleef 10° onder die in de *Tortula*-facies op de zuidhelling (fig. 1.2)¹.

Uit de metingen op de beide zomerdagen komt een opmerkelijk feit naar voren. Het blijkt namelijk dat door vestiging van een pioniergemeenschap (*Tortula*-facies van de *Erodium-Phleum*-ass.) op onbegroeide bodem en tijdens de hierna volgende successie tot *Hypnum*-facies de temperatuurextremen, gemeten juist boven het bodemoppervlak, toenemen. Heel duidelijk bleek dit het geval tijdens de instraling overdag, maar de waarnemingen omstreeks zonsopgang, wanneer nog een duidelijke uitstraling plaats vindt, maken het zeer waarschijnlijk dat ook 's nachts de meest extreme temperaturen in deze vegetaties voorkomen.

Bij een verdere sluiting van het kruid- en grasdek nemen de temperaturen binnen de vegetatie echter minder hoge waarden aan. Gedurende vrijwel de gehele dag bleef de temperatuur binnen de dichte *Festuca ovina*-begroeiing (obj. 15) 1°–5° lager dan in de *Tortula*-facies op eveneens vlak terrein (obj. 14). Wel was ook in deze grasmat de temperatuur binnen de vegetatie overdag hoger dan daarbuiten.

Dit bleek nog slechts gedurende een deel van de dag het geval bij de op 17 juni onderzochte bijzonder dichte *Festuca*-mat (obj. 7, fig. 1.3). De temperatuurmaxima binnen en buiten de vegetatie bereikten dezelfde waarde (31°), maar op verschillende tijdstippen (ca 14.30 uur resp. ca 15.30 uur). Daardoor was van ongeveer 8–15 uur de temperatuur in de grasmat tot 1° hoger dan daarbuiten, gedurende het overige deel van de dag (en waarschijnlijk de gehele nacht) de temperatuur buiten de vegetatie hoger dan daarbinnen. De aangrenzende open *Festuca*-begroeiing (obj. 6) gaf het volgende beeld te zien. Boven de vegetatie een parallel temperatuurverloop als boven de gesloten grasmat, met dien verstande dat de temperaturen er tussen 8 en 22 uur steeds 0.5°–1.0° hoger waren. In de vegetatie echter tussen 9 en 16 uur een temperatuur meer dan 1° hoger

¹ Over temperaturen, onder extreme omstandigheden waargenomen aan mossen en lichenen zelf, worden wij geïnformeerd door LANGE (1953, 1958). Het blijkt dat deze de oppervlaktetemperatuur van de bodem (zie daarover § 3.3) niet alleen evenaren, maar zelfs enigszins kunnen overschrijden. Ook bepaalde Lange de resistentie van een aantal soorten tegen verhitting. Zijn aan Z.-Frankrijk ontleende monsters van *Tortula ruralis* bleken tot de meest resistente te behoren en (in droge toestand) na verhitting gedurende een half uur tot 95° geen merkbare schade te ondervinden.

dan erbuiten, om 13 uur zelfs 5° hoger. De maximumtemperatuur in de vegetatie werd om 13.30 à 14.00 uur bereikt (ruim 34°).

Ook in de lage kruidenbegroeiing op de noordhelling (obj. 17) was de temperatuur op 23 augustus van 7–18 uur hoger dan 20 cm boven de vegetatie (0.5°–2.5°). Het maximum bleef met 23° duidelijk onder dat wat binnen de *Festuca*-mat op vlak terrein (obj. 15) werd bereikt (27°). Dit laatste bleek niet het geval met de maximumtemperatuur die op 17 juni in de lage kruidenvegetatie (obj. 8) werd gemeten (34° om 13.30 uur). Door de hoge zonnestand omstreeks midzomer (max. 61°) vallen de stralen op een niet te steile n.-helling nog onder een vrij grote hoek in en kan dienovereenkomstig de temperatuur belangrijk oplopen. In de loop van de namiddag wanneer de zon naar het w. en uiteindelijk n.w. draait, daalt de temperatuur slechts zeer weinig. Om 18.20 uur bedroeg deze nog 32° (in de vegetatie). Deze voor grote hitte en droogte gevoelige vegetatie heeft in verband met de intensievere bestraling waarschijnlijk meer te lijden van een hittegolf in juni dan in augustus. Tijdens de droogteperiode en de extreem hoge temperaturen in juni 1957 liep vooral *Gentiana cruciata* – één van de meest kenmerkende soorten voor deze begroeiingen – veel schade op.

Waarnemingen verricht aan de begroeiing van *Encalypta streptocarpa* en *Tortella flavovirens* (obj. 19) lieten zien dat hier de temperatuur, gemeten aan de oppervlakte van de vegetatie (door de zeer geringe hoogte van het mosdek was meting in de vegetatie niet mogelijk), het grootste deel van de dag enige tienden van graden (max. 1.2°) lager was dan ca 20 cm bezijden de begroeiing. De temperatuur bleef daardoor 2°–3° onder die, welke heerste binnen de aangrenzende kruidenvegetatie behorend tot de *Anthyllis-Silene*-ass. (obj. 17); de maximumtemperatuur bedroeg slechts 21.7°. Daarentegen lag het minimum relatief hoog: een uur na zonsopgang was de temperatuur 9.2° en daarmee ruim 2° hoger dan in de kruidenvegetatie.

Een duidelijk lagere temperatuur binnen de vegetatie dan daarboven werd waargenomen op 23 augustus bij het kruipwilgstruweel (obj. 18). Van 8.30–19.30 uur beliep dit verschil meestal ca 1°, om ongeveer 12 uur ruim 2°. Het microklimatologische verschil met de *Anthyllis-Silene*-ass., waar tegelijkertijd de temperatuur binnen de vegetatie immers hoger was dan die van de omringende lucht, is daardoor belangrijk.

Dat bij zeer krachtige insolatie (hoge zonnestand, vlak terrein) echter een van het hier gegeven beeld afwijkende situatie kan worden verkregen, bleek uit de waarnemingen van STOUTJESDIJK (1961). Bij een door hem onderzocht kruipwilgstruweel werd tijdens sterke instraling de hoogste temperatuur in de begroeiing op geringe hoogte boven het bodemoppervlak aangetroffen. De door de auteur vermelde lange periode van droogte, die aan de metingen vooraf ging, zal aan deze situatie mede debet zijn.

Omtrent de waarnemingen op 17 juni in het berkenbosje (obj. 10) zij het volgende vermeld. De luchttemperatuur op 5 cm boven het bodemoppervlak ligt om 8 en 18 uur ca 1° lager dan die op 150 cm (dus 20 cm boven de kruidlaag), maar omstreeks 13 uur zijn beide temperaturen ongeveer even hoog. De bereikte

maxima zijn laag (29° à 30°), de laagste van alle maxima der op die dag onderzochte vegetaties; zij zijn zelfs ongeveer 1° lager dan het bij het Pompstation bepaalde maximum. Bovendien wordt het maximum eerst laat in de namiddag bereikt, nl. tussen 15 en 17 uur. Hierdoor is het tot 14 uur binnen het bosje aanmerkelijk koeler dan daarbuiten ($2-4^{\circ}$), maar na 16 uur duidelijk warmer!

3.3 BODEMTEMPERATUUR

De dagelijkse gang van de luchttemperatuur weerspiegelt zich in het temperatuurverloop van de bodem. Echter treedt een vertraging in, die zich sterker doet gevoelen naarmate de afstand tot het bodemoppervlak groter is. De amplitude van de warmtegolf neemt evenwel bij toenemende diepte af en nadert op enige dm reeds tot 0° , zodat hier van een dagelijkse gang niets of nauwelijks meer iets te bespeuren valt.

Het één en ander is duidelijk te zien in fig. 1.4, waar voor de *Tortula*-facies op de z.-helling (obj. 4) het temperatuurverloop op -5 , -10 , -20 en -30 cm tussen 5.40 uur en 21.20 uur is weergegeven, benevens dat op -15 cm en -25 cm vanaf 11.20 uur. Enige waarnemingen op -1 cm (horizontaal ingestoken thermometer) gaven onder het mosdek van *Tortula ruralis* een maximumtemperatuur aan van 63.5° , bereikt om 13.40 uur – het tijdstip, waarop tevens het temperatuurmaximum binnen de vegetatie viel (§ 3.2, fig. 1.2). Aangenomen mag worden (zie o.m. GEIGER 1961, p. 165–166 en STOUTJESDIJK 1961 p. 183) dat het aan de oppervlakte bereikte maximum verscheidene graden – maar ook niet meer – boven deze waarde lag. Voor de onbegroeide bodem (obj. 3) bedroeg de tegelijkertijd waargenomen maximumtemperatuur op -1 cm, 'slechts' 58.4° , dus 5° lager dan onder het mosdek. Dit verschil is toe te schrijven aan de grotere reflectie van het vrijwel witte zand. Zie ook § 3.1.

Het optreden van oppervlaktetemperaturen $30-40^{\circ}$ hoger dan de luchttemperatuur op 1.50 m is ook van elders onder extreme microklimatologische omstandigheden bekend.

STOUTJESDIJK (1961) bepaalde langs thermo-electrische weg de oppervlakte-temperatuur van onbegroeid grijs duinzand (z.-helling) op 65.0° bij een luchttemperatuur van 35° . SALISBURY (1952) meldt eveneens bodemtemperaturen hoger dan 60° . TURMEL (1949) mat op een z.-helling (geen opgave van aard der begroeiing) op -1 cm een maximum van 57° bij een hoogste luchttemperatuur van ca $35^{\circ 1}$.

Deze waarden zijn van eenzelfde grootte-orde als die bekend van enkele in het binnenland gelegen duin- en stuifzandgebieden. Ook ontlopen zij de maxima elders waargenomen bij geringe zeehoogte in Midden- en Zuid-Europa niet of nauwelijks. Zo mat STOUTJESDIJK (1959) op de Veluwe in een mosbegroeiing (*Polytrichum piliferum*) aan de bodem een temperatuur van 59.0° (lucht 30°); onder gunstiger omstandigheden zouden extremer waarden echter bereikbaar zijn. Van de fluviale zanden in de Bovenrijnse laagvlakte zijn metingen bekend

¹ Men krijgt de indruk – zulks mede op grond van het tekstverband – dat de vermelding van 81° , waargenomen op een z.-helling bij Katwijk (GILTAY 1886), op een vergissing berust.

van Volk (1931). In de bovenste bodemlaag (0–1 cm) en in droge moskussens van *Tortula ruralis* en *Racomitrium canescens* kon hij omstreeks het middaguur vaak temperaturen hoger dan 60° waarnemen. Als absoluut maximum geeft hij zelfs 70.6° op (afgeschermd thermometer), dat is 40° boven de luchttemperatuur op 5 m te zelfder tijd. Van de Kaiserstuhl (Z.W.-Duitsland) wordt ons door HEILIG (1931) een bodemtemperatuur van 68.5° gemeld (z-helling, thermometer juist door een dun laagje zand bedekt). Gedurende een lange reeks van thermo-electrische waarnemingen, o.a. in de heetste tijd, vond VAUPEL (1958) op de Monte Pellegrino (Sicilië) geen oppervlaktetemperaturen die 70° overschreden. Verdere cijfers vindt men o.a. bij HUBER (1935)¹.

In fig. 1.5 zijn de maximumtemperaturen voor de verschillende bodemdiepten uitgezet. Het verband blijkt bij diepten van 5–30 cm ongeveer rechtlijnig te zijn, maar deze evenredigheid ontbreekt in de bovenste centimeters van de bodem, waar een veel intensievere verwarming plaats heeft gehad. Het verband tussen bodemdiepte en tijdstip waarop de maximumtemperatuur werd bereikt, vindt men eveneens in fig. 1.5. Ook hier blijkt onder een bepaald niveau (–10 cm) de vertraging ongeveer recht evenredig aan de bodemdiepte te verlopen. In de bovenste bodemhorizont is de vertraging naar verhouding groter, hetgeen op een minder snelle warmte-overdracht wijst (betere isolatie door hoger gehalte aan organische stof, groter poriënvolume en lager vochtgehalte).

In principe vindt men voor de bodemtemperaturen bij de overige objecten een overeenkomstig verloop. De tijdstippen waarop de maxima op de diverse bodemdiepten bereikt worden wijken in het algemeen weinig van die voor de *Tortula*-facies af. De maxima zelf liggen echter meestal lager. Hoge temperaturen in de bovenste bodemhorizont (i.e. op –4 cm) werden eveneens gemeten in de *Ammophila*-begroeiing: in de open begroeiing (obj. 1) tot 39.0°, in de nagenoeg gesloten vegetatie (obj. 2) tot 40.5° (fig. 1.6).

Opmerkelijk zijn de relatief lage bodemtemperaturen die gemeten werden onder de grasmat van *Festuca ovina*. De maxima op –4 cm bedroegen ca 31° (obj. 6) en 29° (obj. 7); zie fig. 1.7. Deze lage bodemtemperaturen zijn in overeenstemming met de eveneens relatief lage luchttemperaturen welke in de betrokken vegetaties werden waargenomen (vgl. § 3.2).

Beschouwen wij tenslotte nog de figuren 1.8 en 1.9, waarin het verloop der bodemtemperaturen in het vlierbosje (obj. 9) en het berkenbosje (obj. 10) aangegeven is. Ondanks de beschaduwing door het dichte vlierlover blijken in het eerste geval de bodemtemperaturen niet uitermate laag (max. op –4 cm 31.8°). Wel is dit het geval in het berkenbosje, waar de maximumtemperatuur op

¹ Hoewel de waarde van sommige cijfers in twijfel moet worden getrokken wegens toepassing van inadequate methoden of althans het ontbreken van een beschrijving der meettechniek (vgl. Huber 1935), schijnen nog duidelijk hogere temperaturen op te treden. Zij worden vermeld van woestijnen, van enkele tropische gebieden en – in enige recente publikaties – van hooggebergtestreken. Zie DANCKELMAN (1878): Chinchoxo (O.-Afrika) 84.6°; SINCLAIR (in BUXTON 1924): Arizona 71.5° op –0.4 cm; VASSILJEV (1931): Karakum meermaals hoger dan 80°; VAGELER (1938): Oost-Afrika 84–86°; TURNER (1958) – zie ook AULITZKY (1961) p. 511 –: Obergurgl (Oostenrijk): 80° en waarschijnlijk gedurende korte perioden nog enige graden hoger (luchttemperatuur 27°).

-4 cm nog ca 28° bedraagt, maar bv. op -20 cm nog slechts ca 14.5°. Ook de temperatuuramplitude is bij dit bosje gering. Op -30 cm werden tussen 8 en 18 uur geen temperatuurverschillen meer waargenomen. Het verschillend gedrag der bodemtemperaturen in de beide bosjes berust op (1) structuurverschillen in de vegetaties: de goed ontwikkelde kruidlaag van het berkenbosje werkt isolerend, en (2) bodemkundige verschillen: de sterk humeuze bovengrond van het berkenbos is een slechte warmtegeleider.

Naar de structuur met dit berkenbosje vergelijkbaar is het wilgenstruweel (*Salix purpurea*, *S. cinerea*, *S. alba*), onderzocht door STOUTJESDIJK (1961). De temperatuuramplitude, die hij op geringe diepte (-10 cm) registreerde, was nog aanmerkelijk bescheidener in omvang. Dit feit laat zich verklaren deels uit het geringer verschil tussen hoogste en laagste luchttemperatuur op de door hem gemeten dag (9.3°), maar vooral uit een vermoedelijk hoger vochtgehalte van de bodem bij het wilgenbos.

3.4 ABSOLUTE LUCHTVOCHTIGHEID

Omstreeks zonsopgang tot 1 à 2 uur daarna bleek op 23 augustus 1957 de absolute luchtvochtigheid in de vegetatie iets lager te zijn dan 20 cm boven het plantendek. Ten gevolge van de nachtelijke uitstraling was de temperatuur van de onderste luchtlaag nl. lager dan die van de lucht boven het plantendek, terwijl gedurende die periode vrijwel algemeen de maximum dampspanning heerste.

Ongeveer één uur na zonsopgang zet een krachtige temperatuurstijging in. Door de planten en de bodem wordt nu waterdamp aan de omringende lucht afgegeven, welke slechts geleidelijk naar de erboven gelegen luchtlagen met geringere dampspanning afgevoerd wordt. Hierdoor neemt de absolute dampspanning van de lucht toe en wel het sterkst in de vegetatie. Reeds spoedig overschrijdt de dampspanning hier de spanning welke boven de vegetatie heerst. Gedurende de rest van de dag is de absolute luchtvochtigheid in de vegetatie hoger dan 20 cm erboven. De schommelingen in de absolute luchtvochtigheid waren op 23 augustus naar verhouding aanzienlijk. Toch treedt in de meeste gevallen het algemene beeld van de dagelijkse gang van deze grootheid (zie GEIGER 1961 p. 110-111) min of meer duidelijk naar voren. Een maximum wordt bereikt ca tussen 8 uur en 11.30 uur. In de vroege namiddag heeft een krachtiger luchtstroming in verticale zin plaats, welke nivellerend werkt op de verschillen in waterdamp tussen de langs bodem en plantenkleed strijkende luchtlagen en de lucht op grotere hoogte. Een tweede maximum neemt men later in de namiddag waar, ongeveer tussen 15 uur en 18.30 uur. Gepaard gaande met daling van de temperatuur neemt daarna de absolute luchtvochtigheid af, totdat een minimum wordt bereikt omstreeks een half à één uur na zonsopgang, samenvallend met het temperatuurminimum. Ter illustratie is in de figuren 2.2-2.4 het verloop van de absolute luchtvochtigheid op 23 augustus voor enkele objecten weergegeven. Hiervan kan fig. 2.2., betrekking hebbend op het kruipwilgenstruweel, wat betreft het algemene beeld, tevens representatief worden geacht

voor de overige begroeiingen op n.-hellingen en die op vlak terrein (obj. 14-19). Bij deze vegetaties valt het diepste minimum kort na zonsopgang. Het in de middaguren gemeten minimum is minder uitgesproken. Bij de z.-helling-vegetaties echter bleek dit niet het geval. Boven de onbegroeide bodem (obj. 11) viel het absolute dagminimum in de middaguren; op 1 cm was het verschil met het in de vroege ochtend bepaalde minimum slechts gering, op 20 cm echter aanzienlijk (fig. 2.3). Ook bij de *Tortula*- en de *Hypnum*-facies (obj. 12 en 13) werden 20 cm boven de begroeiing de laagste waarden gemeten omtrent de middag. In de vegetatie viel hier het voornaamste minimum evenwel tussen 6 en 7 uur in de ochtend (fig. 2.4). Het hier op de z.-helling waargenomen verloop van de absolute luchtvochtigheid, waarbij het krachtigste minimum omstreeks het middaguur valt, staat bekend als het 'continentale' of 'woestijn'-type. Omtrent de variatie van de luchtvochtigheid, gemeten met betrekking tot de negen op 23 augustus onderzochte objecten, geeft tabel 1 een overzicht.

Het blijkt, dat de minima in het algemeen in de vegetatie iets lager zijn dan daarboven, terwijl de maxima steeds belangrijk hoger zijn. Alleen de onbegroeide z.-helling geeft op 20 cm boven het bodemoppervlak een lager minimum te zien dan op 1 cm erboven.

De metingen op 17 juni brengen een enigszins ander verloop aan het licht. In het algemeen wordt omstreeks 12 uur een maximum bereikt, om 16 uur een minimum. Tegen zonsondergang heerst een hoge absolute vochtigheid. Aangenomen moet worden dat de verdamping door bodem en plantdelen bij het vallen van de avond voortgang vindt, terwijl de afvoer van de waterdamp naar hogere en drogere luchtlagen stagneert wegens de stabielere opbouw van de atmosfeer en de heersende windstilte.

De hoogste absolute luchtvochtigheid werd op 17 juni gemeten in de dichte *Festuca ovina*-grasmat (obj. 7: 19.2 mm Hg om 12.40 uur). Het in het berkenbosje gemeten maximum (13.9 mm Hg op 5 cm boven de bodem om 13.00 uur) ligt hier bijvoorbeeld ver bij ten achter. Blijkbaar is de verdamping in de eerste gemeenschap bijzonder krachtig. Mogelijk staat hiermee in verband de naar verhouding lage temperatuur.

3.5 RELATIEVE LUCHTVOCHTIGHEID

De relatieve luchtvochtigheid is een functie van de absolute luchtvochtigheid en van de temperatuur. Aangezien de verschillen in absolute vochtigheid gedurende de dag gering zijn met betrekking tot de verhoging der maximum dampspanning bij stijgende temperatuur overheerst de laatste factor. In grote lijnen laat de dagelijkse gang van de relatieve vochtigheid dan ook een beeld zien, dat ten nauwste met het temperatuurverloop verband houdt, en wel in deze zin, dat een verhoging van de temperatuur als regel een verlaging van de relatieve luchtvochtigheid medebrengt en omgekeerd. Veel laat zich derhalve verklaren in het licht van hetgeen onder § 3.2 werd opgemerkt.

In fig. 1.1 zijn voor de *Ammophila*-begroeiing (obj. 2) het verloop van de relatieve luchtvochtigheid en de temperatuur weergegeven (17 juni). Beide

TABEL 1. Absolute en relatieve luchtvochtigheid. Minima en maxima waargenomen op 23 augustus met betrekking tot de objecten 11-19
 Table 1. Vapor pressure and relative humidity. Minima and maxima observed on August 23rd with relation to the objects 11-19.

Object	Helling Slope	Absolute luchtvochtigheid in mm Hg Vapor pressure in mm Hg						Rel. luchtvochtigheid in % Rel. humidity in %		
		In vegetatie In vegetation		20 cm boven vegetatie 20 cm above vegetation		verschil difference	in veg.		verschil difference	
		minimum	maximum	minimum	maximum		minimum	20 cm boven veg.		
11. Onbegroeid ¹ <i>Bare surface</i> ¹	S	8.5 ²	11.3	2.8	7.3 ²	10.8	3.5	37	39	-2
12. Tortula-facies	S	8.2	12.1	3.9	8.2 ²	11.3	3.1	29	43	-14
13. Hypnum-facies	S	8.0	13.5	5.5	8.2 ²	10.3	2.1	33	39	-6
14. Tortula-facies	-	8.0	15.7	7.7	8.3	13.8	5.5	39	45	-6
15. Dichte Festuca ovina-mat <i>Dense Festuca ovina turf</i>	-	7.4	14.1	6.7	7.3	11.9	4.6	46	42	+4
16. Hypnum-facies	N	7.1	13.6	6.5	7.6	12.6	5.0	47	45	+2
17. Lage gesloten kruidenvegetatie <i>Low herb vegetation</i>	N	6.5	14.4	7.9	7.7	11.7	4.0	49	47	+2
18. Salix repens-struweel <i>Salix repens scrub</i>	N	7.8	13.1	5.3	7.9	11.2	3.3	56	49	+7
19. Mossenbegroeiing op lood- rechte wand <i>Moss vegetation on sharp edge</i>	N	7.8	13.5	5.7	7.8	11.7	3.9	60	53	+7

¹ Gemeten 1 cm resp. 20 cm boven bodemoppervlak. Measured at 1 cm resp. 20 cm above soil surface.

² Bereikt omstreeks 13 uur (overige minima in abs. luchtvochtigheid bereikt tussen 6 en 7 uur). Reached at about 13 hr (the other minima of vapor pressure were reached between 6 and 7 hr).

grootheden bereiken een extreme waarde in de vroege middaguren. Een sterke toename van de relatieve vochtigheid heeft vooral 's avonds plaats: deze is zowel het gevolg van de toename der absolute luchtvochtigheid als – in hoofdzaak – van de krachtige temperaturedaling.

Overeenkomstig lage minimumwaarden der relatieve luchtvochtigheid als in deze *Ammophila*-begroeiing optraden (22% op +15 cm) werden op 17 juni slecht in de *Tortula*-facies (obj. 4) aangetroffen (19%, zie fig. 1.10). Opvallend is het aanzienlijke verschil met de relatieve luchtvochtigheid welke boven dezelfde mosvegetatie heerst (minimum 29%). Ook is het in de *Tortula*-facies duidelijk droger dan vlak boven de eveneens op het zuiden geëxponeerde onbegroeide bodem (obj. 3, minimum 25%).

De invloed van de expositie bleek duidelijk uit de metingen aan het pendant op de n.-helling (obj. 5, zie zelfde fig.). Omstreeks 8 uur was de relatieve vochtigheid daar in de vegetatie met 38% enige procenten lager dan op de z.-helling; tot ongeveer 14 uur trad echter weinig verandering in, zelfs viel een geringe stijging te constateren, zodat het een uur na de hoogste zonnestand op de z.-helling veel droger was. Eerst laat in de namiddag daalde de relatieve vochtigheid ook op de n.-helling tot onder 30%.

Het verloop van de relatieve vochtigheid bij de op het z. geëxponeerde *Tortula*-facies op 23 augustus (obj. 12) vindt men in fig. 2.5. 's Nachts had dauwvorming plaats gehad. Een uur na zonsopgang (begin temperatuurstijging) zet de daling van de relatieve vochtigheid in. De blaadjes van *Tortula ruralis*, aanvankelijk opengevouwen, beginnen zich bij een vochtigheidsgraad van 90% te sluiten. Bij 80–75% is al het blad samengerold. Het blijft tot 9.20 uur iets vochtiger in de vegetatie, daarna wordt het er droger dan boven de vegetatie. Na 17.30 uur is het opnieuw in de vegetatie vochtiger. De om 12.50 uur bereikte minimumwaarde (29%) is de laagste der op 23 augustus voor de diverse vegetaties geregistreerde minima.

Elders op de z.-helling bedroeg het minimum der relatieve luchtvochtigheid, gemeten juist boven het bodemoppervlak, 33% (object 13: *Hypnum*-facies) resp. 37% (object 11: onbegroeid). Het algemene beeld der curven stemt overeen met dat van fig. 2.5. Hetzelfde geldt voor de *Tortula*-facies op vlak terrein (obj. 14; min. 39%).

Bij alle tot dusver genoemde objecten was de relatieve luchtvochtigheid gedurende het grootste deel van de dag boven de vegetatie hoger dan daarin. Men heeft in deze gevallen te doen met het zgn. droge type: een verdeling van de luchtvochtigheid naar hoogte boven het terrein die kenmerkend is voor een droog milieu. Het in onze klimaatszone meer algemene type is het 'natte', waarbij de relatieve luchtvochtigheid in de onderste, door de vegetatie beroerde luchtlag groter is dan daarboven.

Het natte type treedt op bij de tot de *Taraxacum obliquum* – *Galium verum*-ass. te rekenen grazige vegetatie (obj. 15), duidelijker echter nog bij de typische noordhellingvegetaties (obj. 17/19, zie tab. 1 en fig. 2.6). De metingen op 17 juni gaven ten aanzien van de op 23 augustus onderzochte gemeenschappen in dit verband geheel overeenkomstige resultaten.

Met betrekking tot het vlier- en het berkenbosje in dit verband nog het volgende. Steeds werden vlak boven het bodemoppervlak (+2 cm) enigszins hogere waarden voor de relatieve vochtigheid aangetroffen dan op +100 resp. +150 cm. In het vlierbosje – geen kruidlaag – bedroeg dit verschil slechts 2–3 %, in het berkenbosje 3–7 %. Een gelijk gericht verloop, echter met nog markanter verschillen, deed zich voor in het reeds genoemde door STOUTJESDIJK (1961) onderzochte wilgenbosje.

Vergelijking met het duindoornstruweel opgenomen door ADRIANI (1945) is niet wel mogelijk, aangezien waarnemingen nabij het bodemoppervlak bij deze auteur ontbreken. Men krijgt evenwel de indruk dat in het laatste geval een tegengestelde situatie heerst.

Bij het berkenbosje liet de relatieve vochtigheid een zeer langzame en regelmatige daling zien gedurende het grootste deel van de dag, zodat de minima op een laat tijdstip werden bereikt (ca 15.30 uur).

In fig. 2.7 werd voor de op 23 augustus onderzochte objecten het verloop van de relatieve luchtvochtigheid gezamenlijk weergegeven; de curven werden in deze grafiek vereffend.

DANKBETUIGING

De auteur is dank verschuldigd aan Prof. Dr. H. J. Venema, onder wiens leiding dit onderzoek plaats vond; aan de Directie van de Duinwaterleiding van 's Gravenhage wegens verleende faciliteiten; aan Dr. Ph. Stoutjesdijk voor enkele kritische opmerkingen; en aan Ir. A. T. Vink voor zijn correctie van de Engelse tekst.

SUMMARY

Microclimate of dune vegetations was studied in the Netherlands by GILTAY (1886), JESWIET (1913), VAN DIEREN (1934), ADRIANI (1945), WESTHOFF (1947), and STOUTJESDIJK (1961).

In England it was SALISBURY (1933, 1952), in Denmark BÖCHER (1941, 1945), and in France TURMEL (1949), who were engaged in similar studies.

As part of extensive synoecological investigations of the Wassenaar Dunes near The Hague (Holland) some microclimatological measurements were carried out in that region by the author. The present paper deals with the data collected on June 17th and August 23rd, 1957. Because the author was subsequently transferred to a different position, completion of the manuscript was much delayed.

The sea-dunes north of the Hague form a belt, varying in width between two and three kilometers. On June 17th ten objects were studied (numbers 1–10); they are situated at 25 to 600 m from the shore. The measurements on August 23rd refer to nine objects (11–19), all situated in and around a cup-shaped dune valley 550 m from the shore (photo 2).

A description of the objects follows¹:

1. Open *Ammophila arenaria*-vegetation (*Elymus arenarius*-*Ammophila arenaria*-ass.), height 50 cm. Top coastal ridge, surface level. Distance to shore 25 m.
2. The same, but vegetation nearly closed.
3. Bare surface. S. slope, inclination 15°. Distance to shore 250 m.
4. Closed moss-cushion of *Tortula ruralis* (*Erodium glutinosum*-*Phleum arenarium*-ass.). S. slope, incl. 15°. Next to no. 3. Cf. photo 1.
5. Similar vegetation as no. 4; however, N. slope, incl. 15°, distance to shore 350 m.
6. Vegetation with open grass and herb layer, composed of *Festuca ovina*, *Koeleria albescens*, *Luzula campestris*, *Hieracium pilosella*, etc. (height –15 cm, cover 50%) and closed cryptogam cover principally of *Hypnum cupressiforme* and *Cladonia* sp. div. (*Taraxacum obliquum* – *Galium verum* var. *litorale*-ass.). Dune valley. Distance to shore 460 m.
7. Very dense *Festuca ovina*-vegetation with *Helictotrichon pubescens*, *Plantago lanceolata*, *Lotus corniculatus*, *Galium verum*, *Thymus pulegioides*; height –15 cm. Cryptogam cover small, predominantly *Hypnum cupressiforme* (*Taraxacum obliquum*-*Galium verum*-ass.). Same valley as no. 6. Distance to shore 450 m.
8. Vegetation rich in species: *Festuca ovina*, *Anthyllis vulneraria*, *Galium mollugo*, *Picris hieracioides*, *Rhinanthus glaber*, *Ononis repens*, etc. (height –30 cm, cover 80%). Principal cryptogam *Hypnum cupressiforme* (cover 60%). *Anthyllis vulneraria*-*Silene nutans*-ass. N. slope, incl. 15°. Distance to shore 260 m.

¹ Cf. BOERBOOM (1960) for details about the vegetation types mentioned.

9. Very dense *Sambucus nigra*-shrub on landward slope coastal ridge; height 2 m. Undergrowth absent. Subject to sand deposition. S.E. slope, incl. 5–15°. Distance to shore 35 m.
10. Small isolated birchwood (*Betula verrucosa*), height –3.5 m; closed to all sides by dense *Ligustrum vulgare*-scrub. Second layer well developed, –1.3 m: *Calamagrostis epigeios*, *Melandrium rubrum*, *Ligustrum vulgare*, *Lonicera periclymenum*. Third layer moderately closed, –0.2 m: *Moehringia trinervia*. Large dune valley. Distance to shore 600 m.
11. Bare surface. S. slope. Incl. 15°.
12. Closed moss cover of *Tortula ruralis* with died off therophytes: *Phleum arenarium*, *Cerastium semidecandrum* (*Erodium glutinosum*-*Phleum arenarium*-ass.). S. slope, incl. 15°. Cf. photo 1.
13. Closed moss cover of *Hypnum cupressiforme*. Richer in phanerogamae than no. 12. *Phleum arenarium*, *Cerastium semidecandrum*, *Erodium glutinosum*, *Sedum acre*, *Ononis repens*; height –5 cm (*Erodium glutinosum*-*Phleum arenarium*-ass.). S. slope, incl. 15°.
14. Similar to 12. Surface level.
15. Dense *Festuca ovina*-turf, with *Koeleria albescens*, *Helictotrichon pubescens*, *Thymus pulegioides*, *Lotus corniculatus*, *Galium verum*. Height –15 cm. Moss layer moderately developed: *Hypnum cupressiforme* (*Taraxacum obliquum* *Galium verum*-ass.). Surface level.
16. Similar to 13, N. slope, incl. 15°.
17. Closed vegetation, rich in species: *Lotus corniculatus*, *Thymus pulegioides*, *Silene nutans*, *Hieracium pilosella*, *Linum catharticum*, *Euphrasia* sp., *Festuca rubra*, etc. Height –20 cm. Moss layer well developed: *Hypnum cupressiforme* (*Anthyllis vulneraria*-*Silene nutans*-ass.). N. slope, incl. 20°.
18. Low scrub of *Salix repens* ssp. *arenaria* with *Rubus caesius*, *Calamagrostis epigeios*, *Festuca rubra*. Height 50 cm. Cryptogamae nearly absent. N. slope, incl. 20°.
19. Moss vegetation of *Tortella flavovirens* and *Encalypta streptocarpa* on sharp edge at N. slope (*Didymodon recurvirostris*-*Tortella flavovirens*-ass.). Sheltered by surrounding *Salix repens*-scrub.

Meteorological data:

June 17th. Sunrise 4 hr 13, sunset 20 hr 56. Very hot day, stable type of weather. T min. previous night 15.5°, T max. during the day 30.4°, T min. following night 17.2°. Wind E.S.E., moderate, in the evening absolutely calm. No precipitation.

August 23rd. Sunrise 5 hr 31, sunset 19 hr 42. Rather warm day during a period of unstable weather. T min. previous night 9.8°, T max. during the day 21.2°, T min. following night 14.4°. Precipitation Aug. 23rd 8 hr 00 < 0.05 mm (dew), Aug. 24th 8 hr 00 1.1 mm (rain). Windy weather; wind S.E., shifting to S.W. in the afternoon. Some clouds. At 20 hr 00 rain.

The author's principal object was to draw a comparison between temperature and humidity relations prevailing in and above various dune vegetations,

especially under extreme weather conditions. For this purpose use was made of an Assmann-psychrometer. For measuring soil temperatures at different depths a set of bimetal soil thermometers (Rueger) was used. Measurements were made at intervals of about four hours (June 17th) and about hourly on August 23rd.

Remarkable differences in temperature were registered simultaneously on both days. They depend on local relief and vegetation. On June 17th e.g. the maximum temperature in the *Tortula* facies was ca. 9° higher on S slope than on N slope (obj. 4 and 5, fig. 1.2). The influence of vegetation is demonstrated in figures 1.3 and 2.1. In a sheltered position higher temperature extremes are measured than on a windy place. Heavy night frosts occurred in the 'slacks' some days after the heat wave of the middle of June, 1957, while the minimum temperature at the meteorological post fell to 4.9° only. In higher vegetations surface measurements were taken at different levels. In the open *Ammophila* vegetation (object 1) the highest temperature is reached near the surface. In this respect the microclimate is still identical to that of a bare soil. In a dense vegetation (object 2), on the contrary, a maximum is found at some distance above the soil (fig. 1.1.).

Figure 2.1 shows that in the *Tortula* and the *Hypnum* facies (obj. 12 and 13) higher temperatures occur than just above a bare soil (fig. 2.2) during the period from three hours after sunrise to one hour before sunset (obj. 11). On June 17th this difference amounted to 9° (obj. 3 and 4). Moreover, it seems likely from the graphs that during the night the lowest temperatures will appear in the moss vegetation. Since the *Tortula* and the *Hypnum* facies represent the pioneer vegetations under these conditions, this means that the installation of a vegetation on bare soil causes a more extreme microclimate. During the further succession – resulting in a dense *Festuca* turf as demonstrated by objects 7 and 15 – temperature extremes are mitigated, however; cf. fig. 1.3. Attention should be drawn to the relatively high maximum (34°) measured on June 17th in the closed herb vegetation on N slope (object 8, *Anthyllis-Silene*-ass.). The sheltering effect a slope offers against strong insolation is less effective during the season when the sun reaches its highest elevation. The heat wave in June 1957 proved to be fatal for some species in this vegetation. Especially *Gentiana cruciata* suffered badly. The lowest temperatures on June 17th were found within the birch wood (obj. 10). The maxima on +5 and +150 cm (29 and 30° resp.) were even lower than the maximum measured at the meteorological post. Moreover the maxima were reached late in the afternoon: between 15 and 17 hr. Up till 14 hr the air is considerably cooler within the wood than in the open, but after 16 hr the opposite holds true.

Daily march of the air temperature is reflected in the course of the soil temperature. Two regularities appear: lag of extreme values and decreased fluctuation of temperature with increasing depth, the latter approximating zero at some decimeters beneath the soil surface (fig. 1.4, 6–10). The greatest fluctuations were met with in the *Tortula* facies on S slope (fig. 1.4). At –1 cm a maximum temperature of 63.5° was found. As fig. 1.5 shows the maximum temperature proves to be nearly proportional to depth from 5 to 30 cm beneath the soil

surface. In a thin top layer heating is much more intensive. The lag of the warmth wave under a certain level (approx. -10 cm) seems to be proportional to depth as well (fig. 1.5). The relatively great lag in the top layer is due to the higher organic material content and better insulating ability of the top soil.

Vapor pressure generally shows two minima as demonstrated in figures 2.2-4. As the saturation point of the air near the surface is reached about sunrise the first minimum coincides with the temperature minimum, i.e. about 3/4 hour after sunrise. The second minimum, occurring at about 13 hr, indicates the vigorous midday convection, interchanging the moist air of the ground layer with the drier air of higher layers. On N aspects and level surface (obj. 14-19) the first minimum is the principal one (fig. 2.2), on S slope the second one may be the more important ('desert-type'; obj. 11-13, fig. 2.3-4). On June 17th the measurements were not sufficiently frequent to trace accurately the course of vapor pressure. There are indications, though, that in general a maximum occurred between 12 and 14 hr. Highest vapor pressure was found in the dense *Festuca* turf (obj. 7: 19.2 mm Hg at 12 hr 40).

Relative humidity is a function of vapor pressure and temperature. It is positively correlated with the former, negatively with the latter. However, the influence of temperature on relative humidity is so compelling that the daily course of relative humidity is nearly the converse of that of temperature (fig. 1.1). The most extreme values were met with on June 17th in the dense *Ammophila* vegetation (obj. 2: 22% at +15 cm) and in the *Tortula* facies on S slope (obj. 4: 19% at +1 cm). On the bare S slope (obj. 3) the minimum fell to 25%. In the early morning, when the vegetation is wet with dew, the leaflets of *Tortula ruralis* are spread out. As soon as the relative humidity drops under 90%, however, the leaves begin to close. At 80-75% the moss is quite twisted together. As is shown by the measurements on both days the relative humidity on S slopes is lower in the vegetation than above it during the greater part of the day (obj. 3, 4, 11-13). This is demonstrated in fig. 2.3. This type of vertical humidity distribution has been described as the 'dry type'. On N slopes the opposite proves to be the case. Here the 'wet type' - higher relative humidity in the vegetation than above - is found during the whole day (fig. 2.6). On a level surface it is the dry type that predominates in the *Erodium-Phleum*-ass. (obj. 14), the wet type in the *Taraxacum-Galium*-ass. (obj. 6, 7 and 15). Cf. table 1 last column.

In the *Sambucus* shrub and in the birch wood relative humidity just above the soil surface (+2 cm) always was some percents higher than at +100 resp. +150 cm. No measurements above these vegetations were made. In fig. 2.7 the march of the relative humidity in the objects investigated on August 23rd is given.

LITERATUUR

- ADRIANI, M. J. 1945. Sur la phytosociologie, la synécologie et le bilan d'eau de halophytes.
- AULITZKY, H. 1961. Die Bodentemperaturverhältnisse an einer zentral-alpinen Hanglage beiderseits der Waldgrenze. Arch. f. Meteor. Geogr. u. Biokl. 10, 445-532.
- BÖCHER, T. W. 1941, 1945. Beiträge zur Pflanzengeographie und Oekologie dänischer Vegetation. I, II. Dan. Biol. Skrifter II (1), IV (1).
- BOERBOOM, J. H. A. 1960. De plantengemeenschappen van de Wassenaarse duinen. Meded. Landbouwhogeschool Wageningen 60 (10).
- BUXTON, P. A. 1924. The temperature of the surface of deserts. Journ. Ecol. 12, 127-134.
- DANCKELMAN, A. VON 1878. Die meteorologischen Beobachtungen der Güssfeldtschen Loango-Expedition.
- DIEREN, J. W. VAN 1934. Organogene Dünenbildung.
- GEIGER, R. 1961. Das Klima der bodennahen Luftschicht. 4. Aufl.
- GILTAY, E. 1886. Anatomische Eigentümlichkeiten in Beziehung auf klimatische Umstände. Ned. Kruidk. Arch. II. 4, 413-440.
- HEILIG, H. 1931. Untersuchungen über Klima, Boden und Pflanzenleben des Zentralkaiserstuhls. Ztschr. f. Bot. 24, 225-279.
- HUBER, B. 1935. Der Wärmehaushalt der Pflanzen. Naturwiss. u. Landwirtsch. 17.
- JESWIET, J. 1913. Die Entwicklungsgeschichte der Flora der holländischen Dünen.
- LANGE, O. L. 1953. Hitze- und Trockenresistenz der Flechten in Beziehung zu ihrer Verbreitung. Flora 140, 39-97.
- 1953. Einige Messungen zum Wärmehaushalt poikilohydrer Flechten und Moose. Arch. f. Meteor. Geoph. u. Biokl. 5, 182-190.
- 1955. Untersuchungen über die Hitzeresistenz der Moose in Beziehung zu ihrer Verbreitung. Flora 142, 381-399.
- SALISBURY, E. J. 1933. On the day temperatures of sand dunes. Trans. Norfolk a. Norwich Nat. Soc. 13, 333-355.
- 1952. Downs and dunes.
- STOUTJESDIJK, Ph. 1959. Heaths and inland dunes of the Veluwe. Wentia 2.
- 1961. Micrometeorological measurements in vegetations of various structure. Kon. Ned. Akad. Wetensch. Proc. C 64, 2, 171-207.
- TURMEL, J.-M. 1949. Végétation de la côte ouest du Cotentin. Mém. Mus. nat. Hist. nat. 28, 1-72.
- TURNER, H. 1958. Maximaltemperaturen oberflächennaher Bodenschichten an der alpinen Waldgrenze. Wetter u. Leben 10, 1-12.
- VAGELER, P. 1938. Grundriss der tropischen und subtropischen Bodenkunde.
- VASSILJEV, I. M. 1931. Ueber den Wasserhaushalt von Pflanzen der Sandwüste im südöstlichen Kara-Kum. Planta 14, 225-309.
- VAUPEL, A. 1958. Mikroklima und Pflanzentemperaturen auf trockenheissen Standorten. Flora 145, 497-541.
- VOLK, O. H. 1931. Beiträge zur Oekologie der Sandvegetation der oberrheinischen Tiefebene. Ztschr. f. Bot. 24, 81-185.
- WESTHOFF, V. 1947. The vegetation of dunes and salt marshes of the Dutch islands of Texel, Vlieland and Texel.

FIG. 1.
 Waarnemingen verricht op 17 juni 1957.
 Measurements on June 17th 1957.

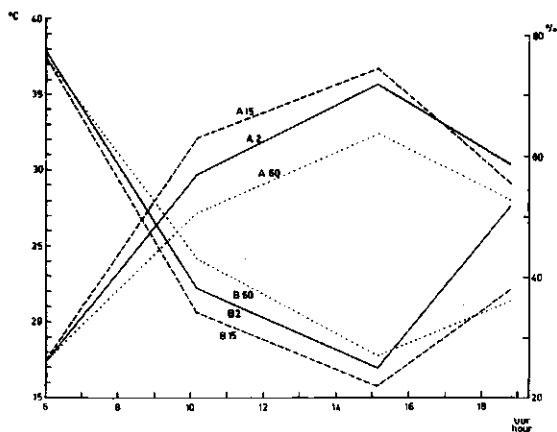


FIG. 1.1.
 Verloop der luchttempe-
 raatuur (A) en relatieve lucht-
 vochtigheid (B) bij een *Ammophila arenaria*-begroeiing
 (hoogte 50 cm) op 2, 15 en
 60 cm boven het bodemop-
 pervlak (obj. 2).
 Course of air temperature
 (A) and relative humidity (B)
 for *Ammophila arenaria* ve-
 getation (height 50 cm) at 2,
 15, and 60 cm above soil sur-
 face (obj. 2).

FIG. 1.2
 Verloop van de luchttempe-
 raatuur in (a) en 20 cm boven
 (b) een *Tortula*-facies op z.-
 (obj. 4) en op n.-helling
 (obj. 5).
 Course of air temperature in
 (a) and 20 cm above (b) a
Tortula facies; no 4: S. slope,
 no 5: N. slope.

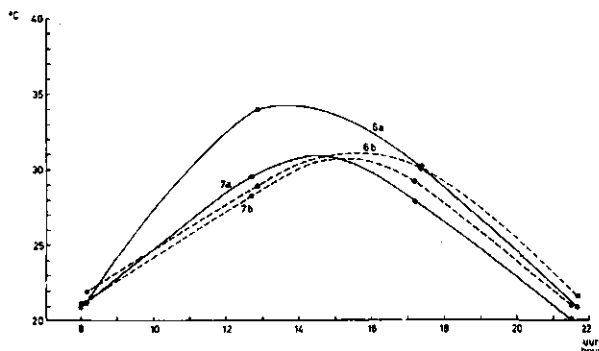
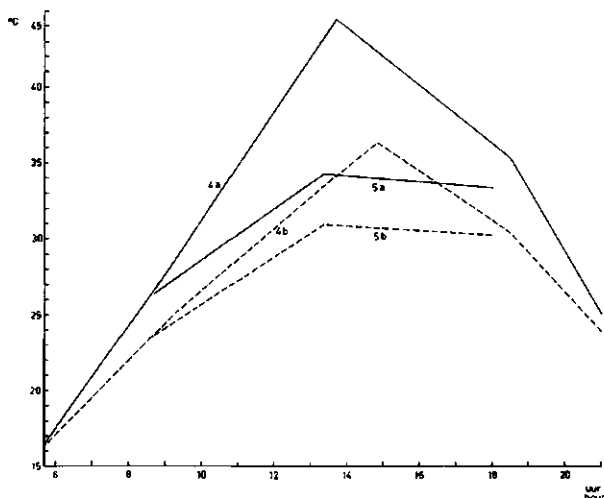


FIG. 1.3
 Verloop van de luchttempe-
 raatuur in (a) en 20 cm boven
 (b) een open en een gesloten
Festuca ovina-begroeiing, bei-
 de op vlak terrein (obj. 6 en
 7).
 Course of air temperature in
 (a) and 20 cm above (b) open
 and dense *Festuca ovina*
 vegetation (obj. 6 and 7),
 both on level surface.

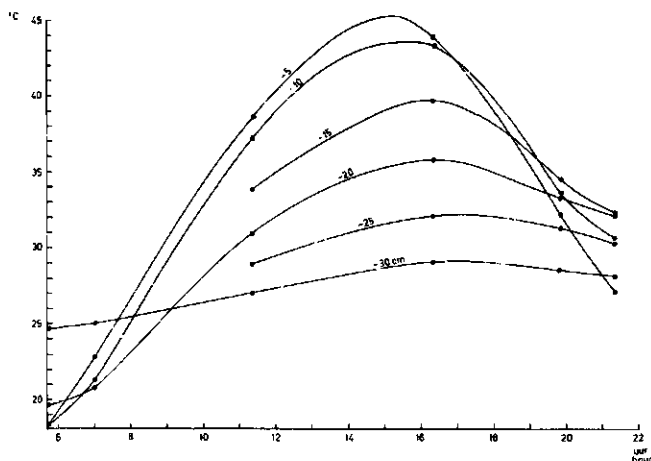


FIG. 1.4
Verloop van de bodemtemperatuur op verschillende diepten onder een *Tortula*-facies op z.-helling (obj. 4).
Course of soil temperature at different depths under Tortula facies, S. slope (obj. 4).

FIG. 1.5
Maximumtemperaturen (A) op verschillende diepten onder een *Tortula*-facies op z.-helling (obj. 4) en tijdstippen waarop deze bereikt werden (B, vgl. fig. 1.4).
Maximum temperatures (A) at different depths under Tortula facies on S. slope (obj. 4) and time when reached (B, cf. fig. 1.4).

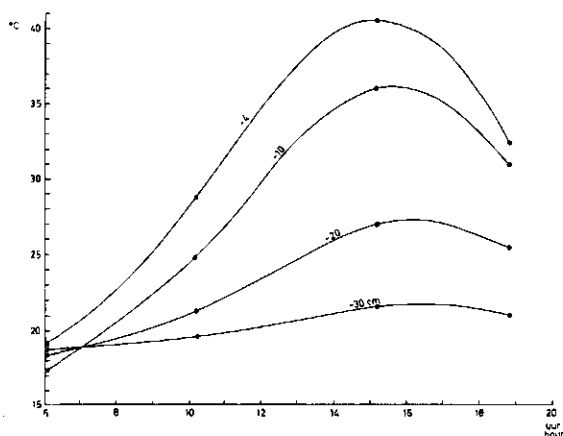
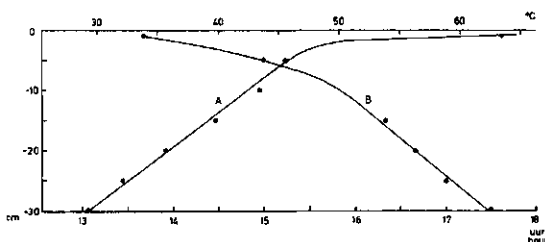


FIG. 1.6
Verloop van de bodemtemperatuur onder een dichte *Ammophila*-begroeiing (obj. 2).
Course of soil temperature under dense Ammophila vegetation (obj. 2).

FIG. 1.7

Verloop van de bodemtemperatuur onder een dichte grasmat van *Festuca ovina* (obj. 7).

Course of soil temperature under *Festuca ovina* turf (obj. 7).

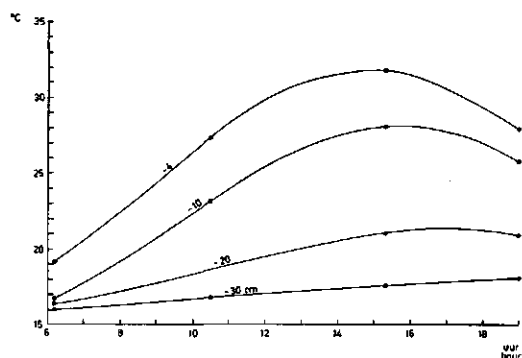
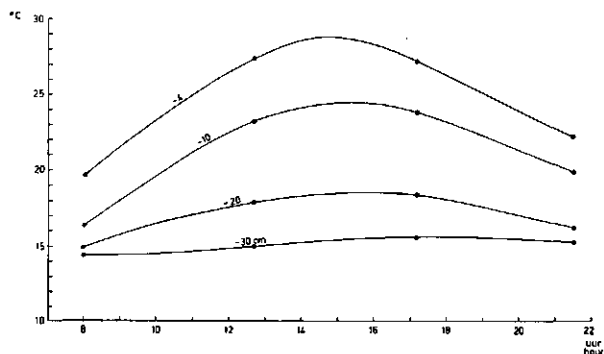


FIG. 1.8

Verloop van de bodemtemperatuur onder een vlierstruweel (obj. 9).

Course of soil temperature under *Sambucus shrub* (obj. 9).

FIG. 1.9

Verloop van de bodemtemperatuur in een berkenbosje (obj. 10).

Course of soil temperature under birch wood (obj. 10).

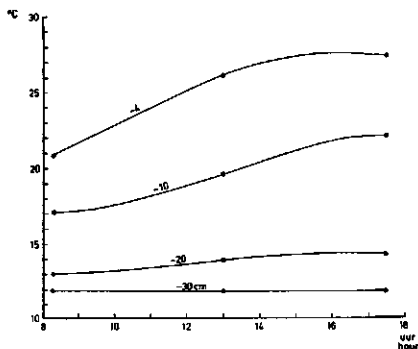
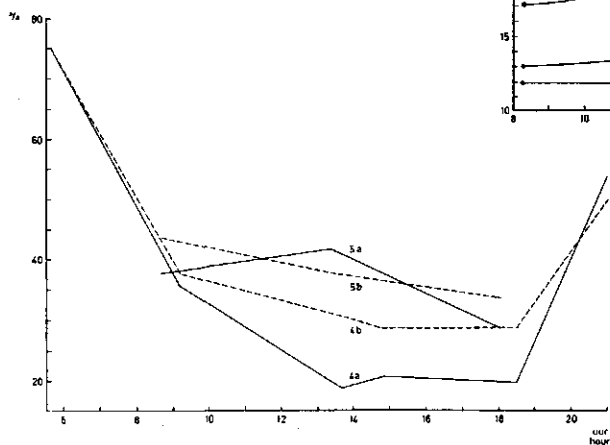


FIG. 1.10

Verloop van de relatieve luchtvochtigheid in (a) en boven (b) de *Tortula*-facies; obj. 4: z.-helling, obj. 5: n.-helling.

Course of relative humidity in (a) and above (b) *Tortula* facies; no 4: S. slope, no 5: N. slope.

FIG. 2.
Waarnemingen verricht op 23 augustus 1957.
Measurements on August 23rd 1957.

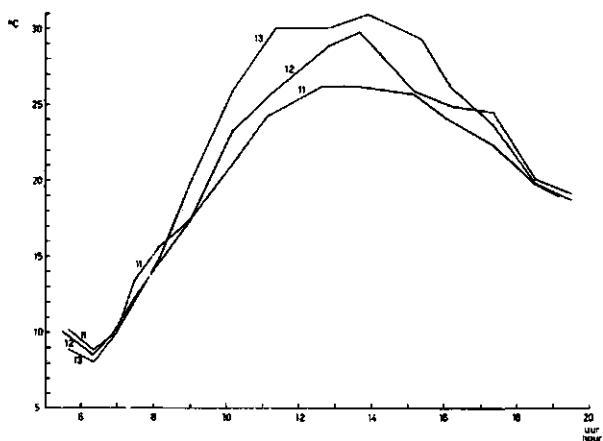


FIG. 2.1
Temperatuurverloop op z.-
helling 1 cm boven het ter-
reinoppervlak resp. bij on-
begroeide bodem (obj. 11),
Tortula-facies (obj. 12) en
Hypnum-facies (obj. 13).
Course of air temperature on
S. slope at 1 cm above soil
surface; no 11: bare surface,
no 12 *Tortula* facies, no 13:
Hypnum facies.

FIG. 2.2
Verloop van de absolute
luchtvochtigheid in (a) en 20
cm boven (b) het kruipwilg-
struweel op n.-helling (obj.
18).
Course of vapor pressure in
(a) and 20 cm above (b)
Salix repens scrub on N. slope
(obj. 18).

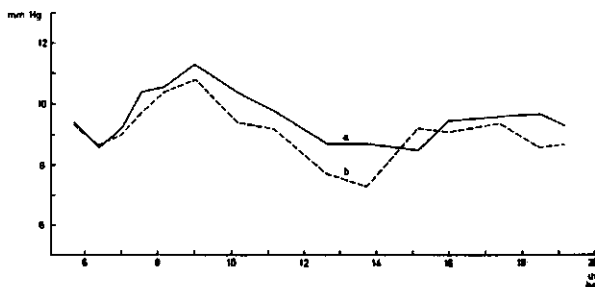
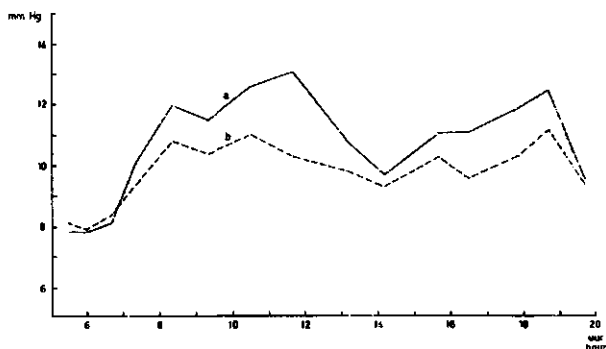


FIG. 2.3
Verloop van de absolute
luchtvochtigheid op 1 cm
(a) en 20 cm (b) boven onbe-
groeid terrein op z.-helling
(obj. 11).
Course of vapor pressure at
1 cm (a) and 20 cm above
bare surface on S. slope (obj.
11).

FIG. 2.4

Verloop van de absolute luchtvochtigheid in (a) en 20 cm boven (b) een *Hypnum*-facies op z.-helling (obj. 13).
Course of vapor pressure in (a) and 20 cm above (b) *Hypnum* facies on S. slope (obj. 13).

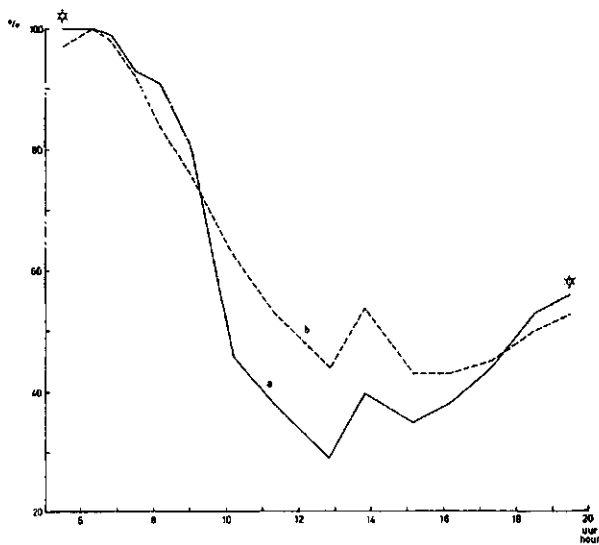
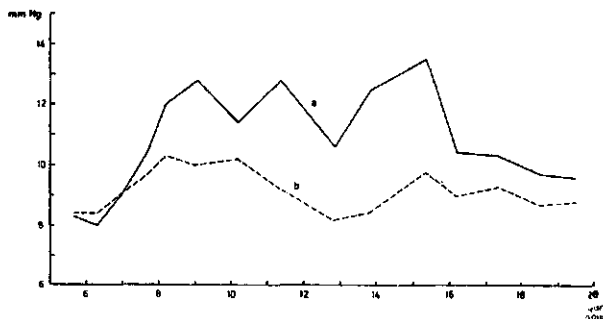
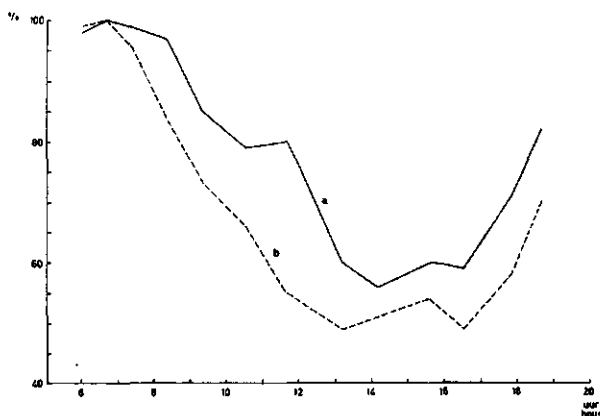


FIG. 2.5

Verloop van de relatieve luchtvochtigheid in (a) en boven (b) de *Tortula*-facies op z.-helling (obj. 12).
Course of relative humidity in (a) and above (b) *Tortula* facies on S. slope (obj. 12).

FIG. 2.6

Verloop van de relatieve luchtvochtigheid in (a) en 20 cm boven (b) het kruipwilgstruweel op n.-helling (obj. 18).
Course of relative humidity in (a) and 20 cm above (b) *Salix repens* shrub on N. slope (obj. 18).



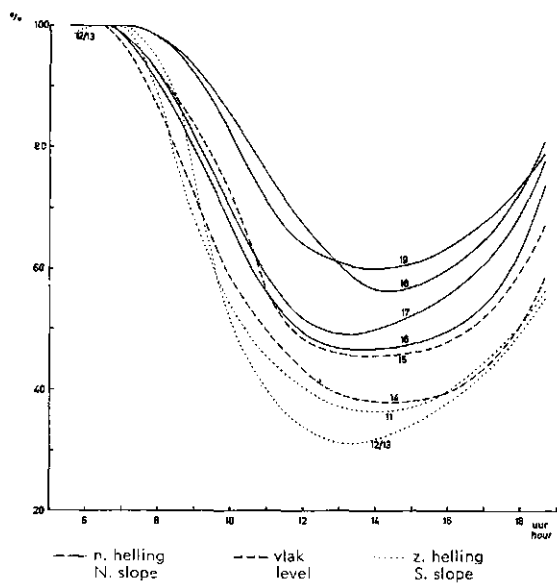


FIG. 2.7

Verloop van de relatieve luchtvochtigheid op 1 cm boven het bodemoppervlak c.q. in de vegetatie van de op 23 aug. onderzochte objecten (5.30–18.40 uur).

Course of relative humidity just above soil surface at the objects investigated on 23/VIII (5 hr 30–18 hr 40).

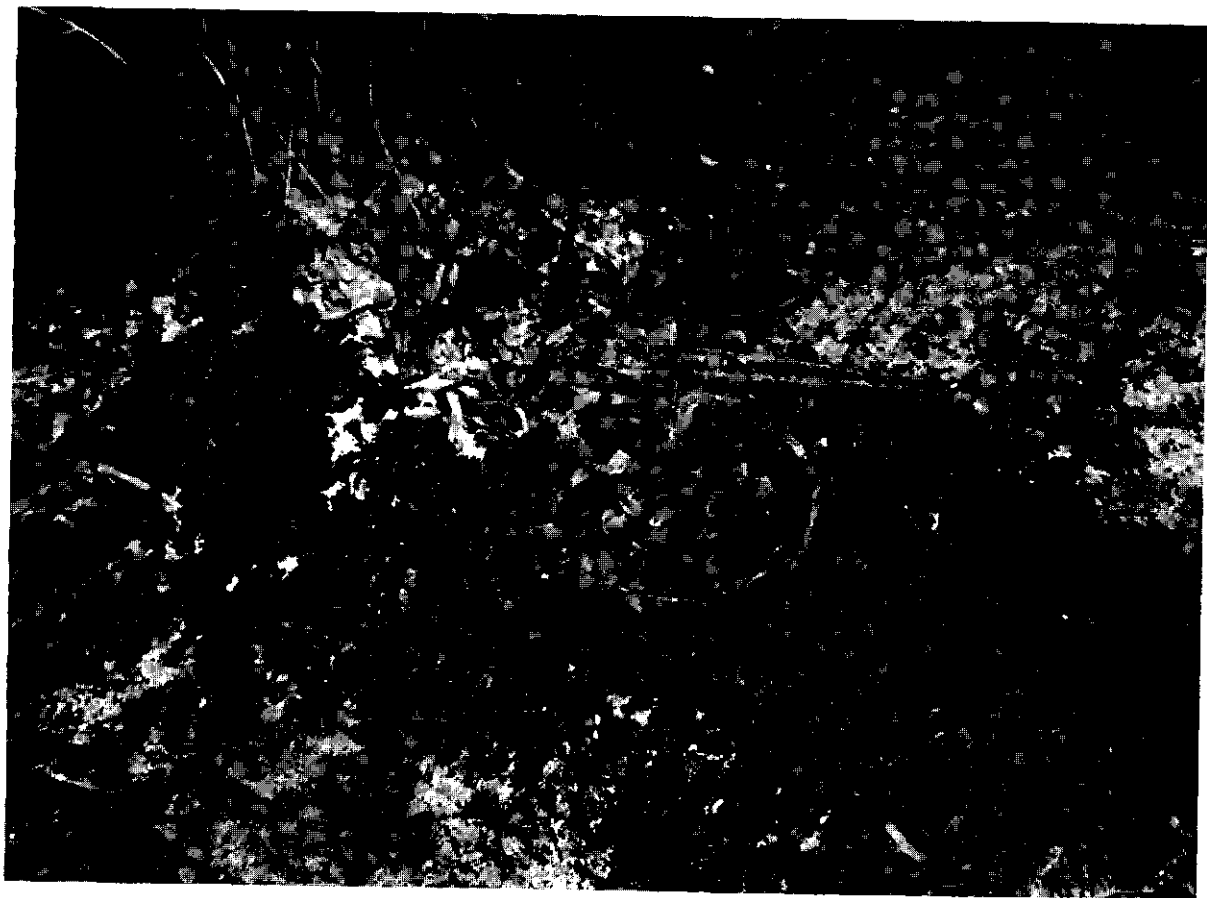


FOTO 1. *Erodium-Phleum*-associatie (voorjaarsaspect) met *Tortula ruralis* (ineengerold wegens droogte), *Phleum arenarium*, *Erodium glutinosum* en *Cerastium semidecandrum* (vgl. obj. 4, 5 en 12).

PHOTO 1. *Erodium-Phleum*-ass. (*spring aspect*) with *Tortula ruralis* (*twisted by draught*), *Phleum arenarium*, *Erodium glutinosum*, and *Cerastium semidecandrum* (*cf. objects 4, 5 and 12*).

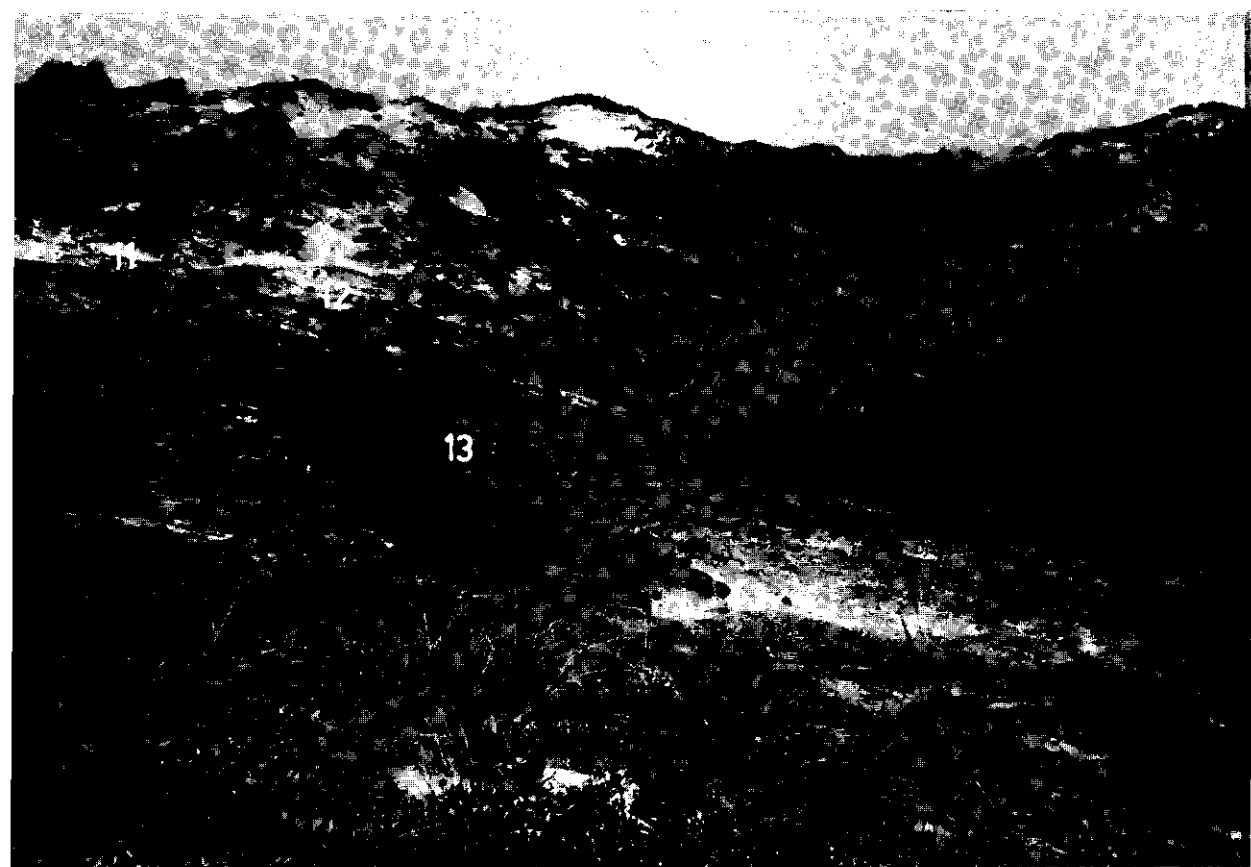
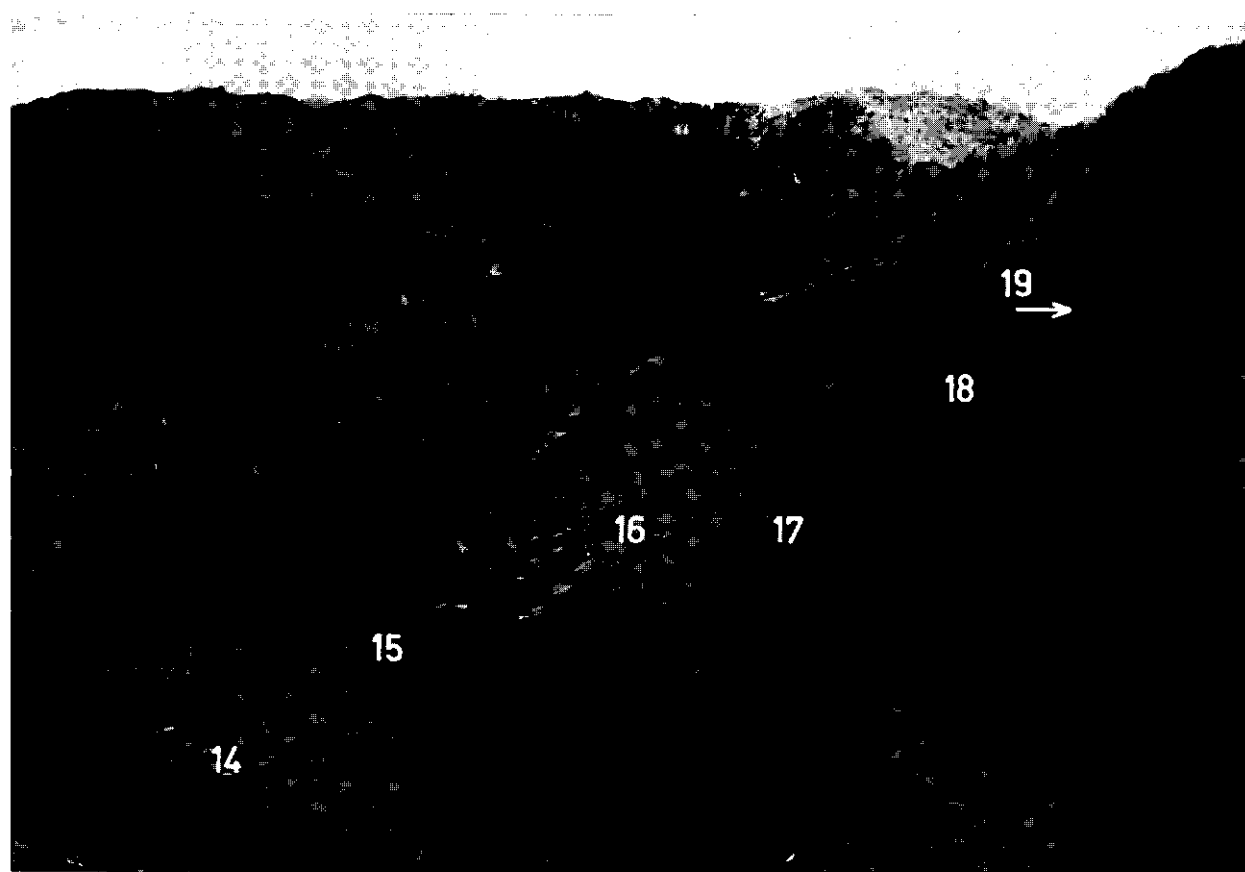


FOTO 2. Duinpan waarin de metingen van 23 aug. werden verricht. Links de zuidhelling
PHOTO 2. Dune valley in which measurements on Aug. 23rd were carried out. S. slope left side



chts de noordhelling. De nummers hebben betrekking op de onderzochte objecten.
slope right side. The numbers refer to the investigated objects.