

Natuurkunde in 't vrije veld

KEES FLOOR EN KLAAS VAN DER VEEN, *Sichting Opleiding Leraren, Utrecht.*

'De betekenis van de openluchtwaarnemingen voor het onderwijs in de natuurkunde is nog niet voldoende erkend. Zij helpen ons in het toenemend streven om ons onderwijs te doen aansluiten bij het leven: zij geven ons een natuurlijke aanleiding tot het stellen van duizenden vragen en ze zorgen ervoor, dat hetgeen op school geleerd is later nog telkens ook buiten de schoolmuren wordt teruggevonden'.

M. Minnaert² (1937)

Eén van de kursussen voor natuurkunde-studenten van de Stichting Opleiding Leraren (SOL) wordt gegeven onder de naam: Natuurkunde van 't vrije veld.

In dit artikel wordt de opzet van die cursus beschreven, onder meer aan de hand van voorbeelden van uitgevoerde projecten.

Hieraan vooraf gaat een summiere schets van het cursusprogramma natuurkunde op de SOL.

Tenslotte wordt de vraag gesteld op welke wijze op scholen aan deze onderwerpen aandacht besteed kan worden.

Natuurkunde op de SOL

De Stichting Opleiding Leraren te Utrecht is één van de zeven nieuwe Lerarenopleidingen in Nederland.

Afgestudeerden bezitten een tweede- of derdegraads bevoegdheid.

De opleiding bij de vakgroep natuurkunde van de SOL kent twee studiefasen.

In de eerste fase, die twee jaar duurt en voor alle studenten gelijk is, wordt een vaktechnische, vakdidactische en onderwijskundige basis gelegd.

In de tweede studiefase verdeelt de student zijn tijd over het uitvoeren van experimenten, de onderwijskundige voorbereiding (o.a. schoolpraktikum) en het deelnemen aan natuurkundekursussen. Uit een twaalfstal natuurkundekeuzekursussen kiest de student er zeven. Gedeeltelijk zijn het verdiepingskursussen (fysische structuren, kernfysica, elementaire deeltjes e.d.), of kursussen die de natuurkunde tegen een culturele achtergrond plaatsen (filosofische, historische of maatschappelijke aspecten van de natuurwetenschap). Voor een ander deel betreft het verbredingskursussen (meteorologie, milieu, natuurkunde van 't vrije veld e.d.). Dit laatste type kursussen bestrijkt de randgebieden van de natuurkunde en is vooral bedoeld om het de student later mogelijk te maken zijn lessen met 'omgevings-natuurkunde' te verrijken.

Natuurkunde van 't vrije veld

Met de cursus Natuurkunde van 't vrije veld hopen we te bereiken dat studenten meer gericht raken op de veelheid van natuurkundige verschijnselen die regelmatig om hen heen waarneembaar zijn, zodat ze van de schoonheid ervan kunnen genieten.

Daarnaast vinden we het belangrijk – maar niet belangrijker – dat de fysische achtergronden van

tijdens de cursus waargenomen verschijnselen bestudeerd worden.

De studenten maken tijdens de cursus tevens kennis met de mogelijkheden en begrenzingen van door hen zelf te bouwen eenvoudige meetinstrumentjes voor vrije veld-waarnemingen.

De cursus is projectmatig opgezet vanuit de visie dat de studenten het beste zelf in het vrije veld met de onderwerpen die hen interesseren bezig kunnen zijn. De drie delen 'De Natuurkunde van 't vrije veld' van Minnaert¹ dienen als mogelijk en veel gebruikt uitgangspunt voor de projecten.

De cursus strekt zich uit over een periode van zes weken, waarin ongeveer een derde van de totale tijd voor de cursus beschikbaar is. Centraal staat de ekskursie van een week naar Schiermonnikoog. Dit eiland biedt tal van mogelijkheden metingen te verrichten aan de zee (met z'n golven, branding, stromingen, eb en vloed), het strand (met goed zichtbare zonsop- en ondergangen en met typische verschijnselen als luchtspiegelingen), het eiland zelf (met bos, hei en zandgrond) en de wadkant.

Tijdens de voorbereiding tot de ekskursieweek op de SOL stellen projectgroepen van drie à vier studenten een meetprogramma op, maken voor zover mogelijk hun eigen meetinstrumenten en verdiepen zich in de theoretische achtergronden van de te bestuderen verschijnselen.

Een voorwaarde is dat althans een gedeelte van het meetprogramma bij verschillende weersomstandigheden uitvoerbaar moet zijn. Gekozen combinaties van onderwerpen, die aan die voorwaarde voldoen, zijn b.v. wolken (hoogte, snelheid, soorten) – straling (direkt, globaal, diffuus); strand (eb, vloed, golven, luchtspiegelingen) – temperatuur (horizontale en verticale gradiënten, dagelijkse variaties); geluid (hoorbaarheid, snelheid) – atmosferische elektriciteit.

De resultaten zijn vastgelegd in een verslag. Elke projectgroep geeft door middel van een voordracht zijn ervaringen aan de gehele groep door. Op deze wijze hebben wij de cursus driemaal gegeven.

We willen drie onderwerpen wat uitvoeriger behandelen³, te weten: geluid, temperatuur en fotograferen.

We hebben deze onderwerpen uitgekozen omdat ze ook direkt in de omgeving van de school toepasbaar zijn en niet gebonden zijn aan een meerdaags verblijf in de buurt van de kust.

Geluid

Bij geluid in de vrije natuur denken we aan natuurlijke geluiden, zoals die van ritselende bladeren, vogels, branding en aan andere geluiden zoals motorgeronk en knallen. We kunnen ons op verschillende manieren bewust worden van eigenschappen van het geluid, zoals voortplantingssnelheid en hoorbaarheid (geluidsterkte als functie van de afstand tot de bron). Ieder heeft wel eens opgemerkt dat een geluid beter te horen was met de wind mee dan tegen de wind in. Deze hoorbaarheid van het geluid is in het algemeen 's nachts ook beter dan overdag. Bekend is ook dat we de plaats van een onweershaard bij benadering kunnen bepalen uit het tijdsverschil tussen de momenten waarop het lichten van de bliksem en het geluid van de donder ons bereikt. Hierbij maken we dus gebruik van het verschil in voortplantingssnelheid van licht en geluid, dat bekend verondersteld wordt.

Omgekeerd kunnen we dit verschil ook bepalen als de afstand tussen bron en waarnemer bekend is (zie Minnaert⁴). Je zou dat de 'bliksem en donder methode' voor het bepalen van de snelheid van het geluid kunnen noemen. De 'bliksem' is nu een lange slingerende lat en de 'donder' is een klap met twee vlakke latten op elkaar. De slingerende lat dient tevens als ingenieuze tijdmetende. De klap wordt gegeven als de slinger zijn uiterste rechter stand heeft en de waarnemer verwijderd zich zo ver van de bron tot hij de klap *hoort* op het moment dat de slinger z'n uiterste linker stand heeft.

In de tijd dat de slinger van rechts naar links ging heeft het geluid precies de afstand naar de waarnemer van de bron afgelegd. Hieruit volgt dan simpel de geluidssnelheid.

Een duidelijke beperking van deze methode is de geringe afstand waarover een klap met twee latten nog te horen is. Naar onze ervaring is deze afstand niet meer dan 200 à 300 meter, waardoor een enigszins nauwkeurige meting van de geluidssnelheid moeilijk wordt. Daarom hebben onze studenten modifikaties van de 'bliksem en donder'-methode toegepast, waarvan we er één hier kort beschrijven: De bliksem was een flitslicht, de donder het geluid van een autotoeter aangesloten op een accu. Het tijdsmechanisme was een aflopend houten gootje met contactstrippen aan boven- en onderkant. Een metalen kogel rolde in b.v. 1 seconde, instelbaar met de helling van het gootje, van het bovenste naar het

onderste kontakt. Het eerste kontakt stelde de toeter in werking en het tweede de flitser. De proeven werden op het vlakke strand uitgevoerd. Het bleek zelfs mogelijk de invloed van de wind op de geluidssnelheid te bepalen, zoals uit het volgende resultaat blijkt.

windsnelheid = 2 à 3 m/s
 geluid met wind mee geluid wind tegen
 339 m/s 334 m/s

Dit zijn slechts de resultaten van één enkele meting waardoor we nog geen konklusies over de nauwkeurigheid mogen trekken.

Het is daarom van belang de meting bij verschillende windsnelheden een aantal malen uit te voeren.

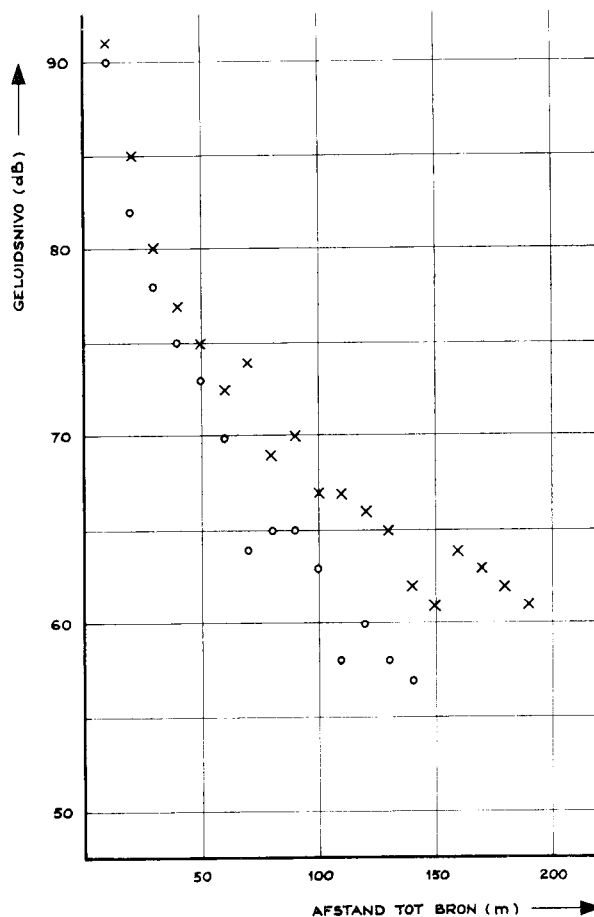
Het verschil in hoorbaarheid van het geluid met de wind mee en met de wind tegen is aan het strand gemeten met een geluids-nivo-meter. Figuur 1 geeft de resultaten van een meting (18 mei 21.00 uur). Er is duidelijk een verschil in hoorbaarheid dat toeneemt met de afstand tot de bron. Minnaert⁵ verklaart dat verschijnsel door er op te wijzen dat de geluidsstralen die van de bron uitgaan (loodrecht op golffronten, denk aan de golftheorie van Huygens) worden gekromd doordat de windsnelheid met de hoogte vanaf het aardoppervlak toeneemt. Hierdoor wordt de geluidsenergie met de wind mee naar het aardoppervlak toegebogen en tegen de wind in er vanaf.

De toeter was om 21.00 uur op een afstand van 1200 m nog net hoorbaar met de wind tegen en op een afstand van 1800 à 1900 m met de wind mee. Deze laatste afstand was om 01.00 uur opgelopen tot 2100 m.

Tegelijkertijd werden op het strand temperatuurmetingen langs een meetmastje op diverse hoogten tot 6 meter hoogte gedaan.

De temperatuur veranderde om 21.00 uur nauwelijks met de hoogte. Om 01.00 uur was de temperatuur aan het aardoppervlak ca. 1° C. lager dan die op 6 meter hoogte.

Deze verandering van het temperatuurverloop geeft althans kwalitatief een verklaring voor de betere hoorbaarheid om 01.00 uur. Aangezien de geluidsstralen zich sneller voortplanten in warmere lucht dan in koudere lucht, zullen ze bij een temperatuurafname met de hoogte naar boven afbuigen. In ons geval nam de temperatuur toe met de hoogte hetgeen een afbuiging van de geluidsstralen naar het



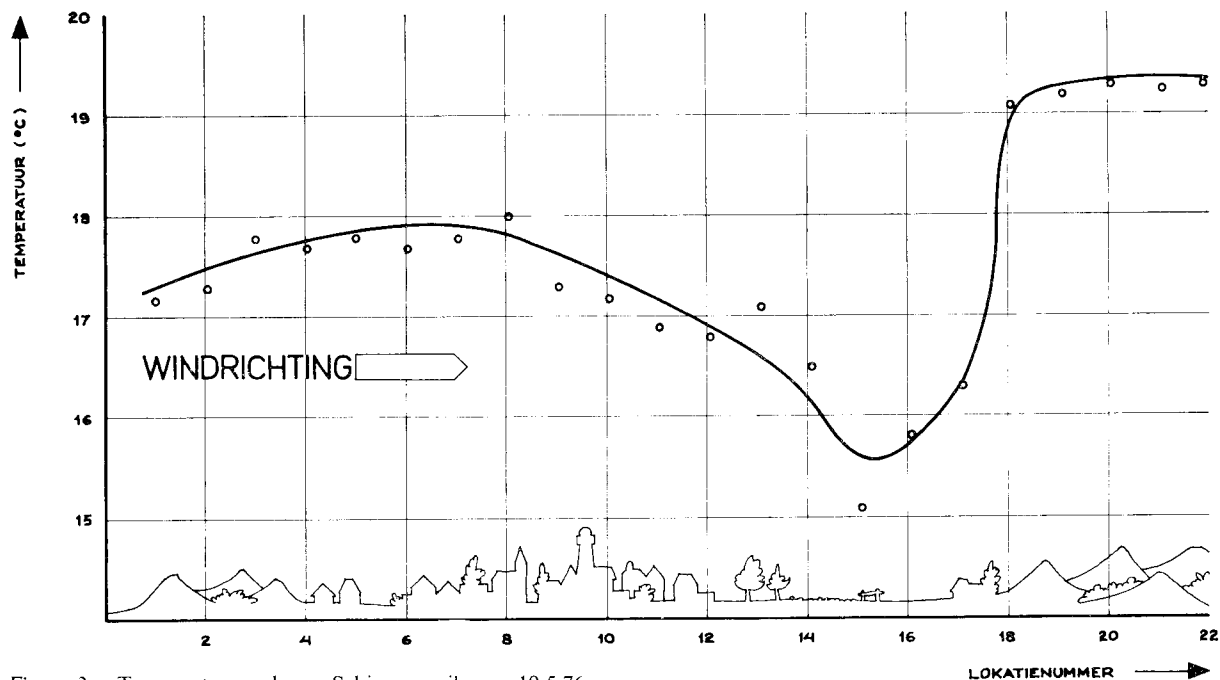
Figuur 1 Hoorbaarheid van een geluid met de wind mee en met de wind tegen. Hoorbaarheidsmeting met dB-meter. Met de wind mee (x) en met de wind tegen (o). Geluidsbron: autotoeter.

aardoppervlak veroorzaakte.

Met deze metingen vinden we dus niet alleen een bevestiging van het verschil in hoorbaarheid met de wind mee of tegen de wind in, maar ook van het verschijnsel dat de hoorbaarheid overdag minder is dan 's nachts.

Temperatuur

De temperatuur van de lucht varieert van plaats tot plaats op een gebied ter grootte van Schiermonnikoog. Terrein- en weersomstandigheden zijn hierop van invloed. De temperatuur van de bodem of van het water in een meertje is afhankelijk van de



Figuur 2 Temperatuurverloop Schiermonnikoog 19.5.76.

diepte. Ook de temperatuur van het zeewater heeft verschillende waarden indien gemeten op verschillende afstanden van het strand. Dergelijke veranderingen van de temperatuur met de plaats vormen het meetobject van de groep 'temperatuur'.

Door de metingen op verschillende tijdstippen van de dag uit te voeren, kon tevens de afhankelijkheid van het tijdstip van de dag (of het weer van dat moment) worden bestudeerd. Op twee meetprogramma's gaan we verder in: het maken van een temperatuurprofiel van het eiland en het meten van de temperatuur van water op verschillende dieptes.

Het bepalen van de juiste temperatuur van de lucht is niet eenvoudig.

Onder invloed van straling kan het kwik snel te hoog aanwijzen. Verder moet de thermometer goed geventileerd of rondgeslingerd worden zodat het kwikreservoir in contact komt met de lucht, waarvan het de temperatuur moet gaan aannemen.

De groep 'temperatuur' maakte voor het bepalen van temperatuurprofielen van het eiland gebruik van een thermometer die in een buis van isolerend materiaal was opgehangen. De buis werd wit geschilderd of met aluminiumfolie bekleed waardoor de invloed van de straling belangrijk werd teruggebracht. Het geheel werd gemonteerd op de fiets, waarmee men zich van meetpunt tot meetpunt verplaatste. Tijdens

het fietsen werd de thermometer tevens voldoende geventileerd om betrouwbare metingen te verkrijgen.

Een voorbeeld van een uitgewerkte meting geeft figuur 2.

Ook het bepalen van de watertemperatuur op een bepaalde diepte vraagt om een aantal voorzorgen. Je kunt nl. niet zo maar een thermometer naar een bepaalde diepte laten zakken en weer omhoogtrekken, om vervolgens boven water de temperatuur af te lezen.

De temperatuur bij het omhoog trekken kan veranderen, doordat het kwikreservoir met bovenliggende waterlagen van een andere temperatuur in contact is gekomen. In ieder geval zal het kwik dalen zodra de thermometer uit het water wordt getrokken doordat de waterdruppels, die aan de thermometer blijven hangen, verdampen en de daarvoor benodigde verdampingswarmte aan de thermometer wordt onttrokken.

Hoewel de groep 'temperatuur' over de 'officiële' waterthermometers, zoals die door de verschillende leveranciers van schoolapparatuur geleverd kunnen worden, had kunnen beschikken, gaven zij er de voorkeur aan gebruik te maken van een gewone thermometer. Volgens de suggestie van Minnaert⁶ werd de onderkant van de thermometer omwikkeld met een laagje watten van ongeveer 3 cm dik en 4 cm

hoog. De thermometer wordt hierdoor trager, zodat hij nog ongeveer een minuut nadat hij wordt opgetrokken de temperatuur aanwijst van de waterlaag, waarin hij een 5 tot 10-tal minuten heeft gehangen.

Fotograferen in het vrije veld

Tijdens de cursussen wordt steeds een dankbaar gebruik gemaakt van het fototoestel. De foto's dienen ter verduidelijking van de gekozen meetmethode (zie figuur 3), om het waargenomen objekt of verschijnsel vast te leggen of om de metingen zelf uit te voeren.

Een voorbeeld van het laatste is het bepalen van het kleurspectrum van de zon. Hierbij wordt een tralie gemonteerd op een (tele)lens, die op enige afstand van de zon naar de hemel is gericht. Op de foto of dia verschijnen dan één of meer strepen ter dikte van de zon, waarop alle kleuren van het zonlicht voorkomen. Behalve midden op de dag is dat ook interessant bij ondergaande zon omdat naarmate de zon lager staat het zonlicht roder gekleurd is. Dit is zeer duidelijk te zien aan de roodverschuiving van het afgebeelde spectrum.

Objekten of verschijnselen die fotografisch kunnen worden vastgelegd zijn er in overvloed. Een bescheiden greep: wolken, onweer, hagelstenen, regenbogen, kringen om de zon en andere haloverschijnselen, enz. enz.

Met een 'gewoon' toestel en een (gewone) diafilm kunnen aardige resultaten worden verkregen. Bij gebruik van zwart-wit film zijn meestal filters noodzakelijk⁷. Onweer kan alleen 's nachts worden ge-

fotografeerd. Men richt de lens op de bui, zet de sluiters open en wacht tot er een bliksemontlading in beeld is geweest.

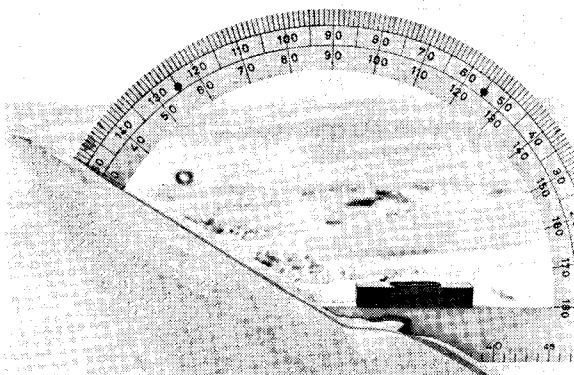
Om een nat pak of — erger nog — een nat fototoestel te voorkomen moet vanuit een gebouw of vanonder een afdakje gefotografeerd worden.

Ook kan een bui op redelijk grote afstand worden uitgekozen⁸.

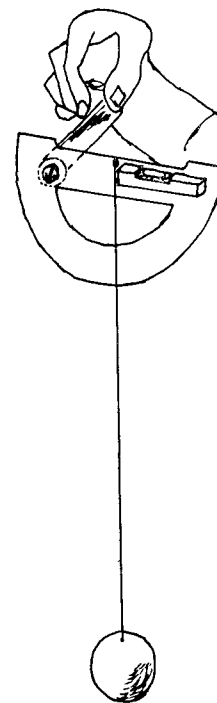
Haloverschijnselen zijn eveneens een dankbaar objekt voor een foto. Belangrijk is om de zon af te schermen door een boom, een puntdak van een huis, een lantaarnpaal o.i.d. en bovendien te onderbelichten⁹.

Vrije veld op school

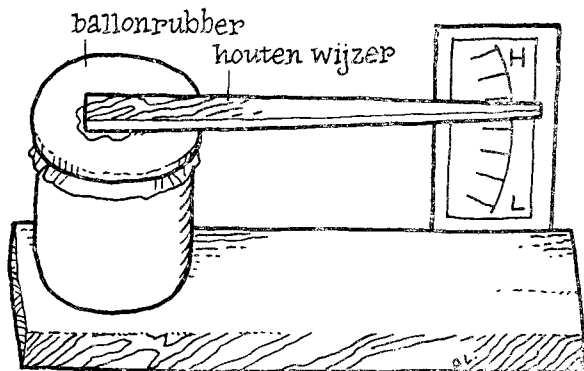
In het voorgaande zijn wij uitgegaan van de situatie zoals die nu op de SOL is gerealiseerd: een ekskursie van een week naar Schiermonnikoog met derdejaars en vierdejaars natuurkundestudenten. Dit betekent niet dat wij van mening zouden zijn dat het werken aan 'vrije veld'-onderwerpen gebonden is aan die situatie. Bij leerlingen van MAVO of onderbouw HAVO-klassen kan ons inziens eveneens belangstelling worden opgewekt voor de fysische



Figuur 3 Het meten van de hellingshoek van zand. (Foto Anton Nab).



Figuur 4 Windsnelheidsmeter DBK-na.



Figuur 5 Barometer PLON

verschijnselen in de vrije natuur, of kan de bij hen daarvoor aanwezige belangstelling benut worden om die voor de natuurkunde in het algemeen te vergroten.

Een aantal studenten heeft dit na de cursus zelf al ondervonden. Zij waren in de gelegenheid deel te nemen aan een projectweek of een werkweek van een van de scholen waar zij schoolstage gevolgd hadden door leerlingen te begeleiden bij dezelfde onderwerpen als er tijdens de cursus aan de orde komen.

Recent ontwikkeld lesmateriaal voor MAVO en onderbouw HAVO & VWO kent eveneens aanknopingspunten voor 'vrije veld'-achtige onderwerpen, vooral gekoppeld aan de meteorologie. We denken hierbij aan het PLON-materiaal (thema: Leven in lucht) en de 'ekstra stof', die onder de naam weerkunde is ontwikkeld door het DBK-VU-project¹⁰.

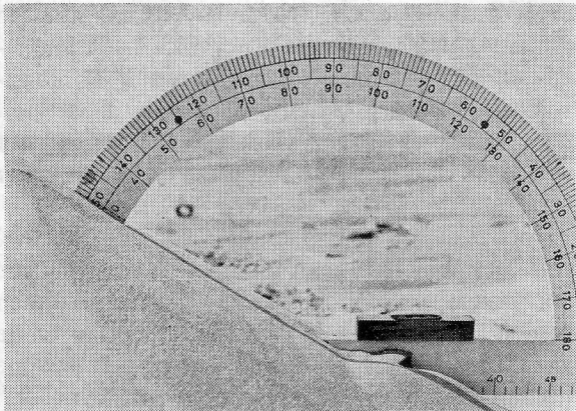
Bij beide vinden we òn het vrije veld-onderwerp òn

het zelf knutselen aan buiten bruikbare instrumentjes terug, zoals uit de voorbeelden van de figuren 4 en 5 blijkt.

Hopelijk is een en ander een aanwijzing voor een groeiende actieve belangstelling voor onderwerpen die Minnaert in zijn boeken bijeen bracht, zodat het in het begin van dit artikel aangehaalde citaat binnenkort achterhaald is.

Literatuur

1. Minnaert, *De Natuurkunde van 't vrije veld*. deel 1: licht en kleur in het landschap, Zutphen 1968⁵ deel 2: geluid, warmte, elektriciteit, Zutphen 1970³ deel 3: rust en beweging, Zutphen 1972³
2. Uit het voorwoord van de eerste druk van noot 1 dl I (1937).
3. Uitgewerkte suggesties beschrijft ook C. A. Watkins, *A physics field course in the Lake District, Physics Education* **12** p. 296, (juli 1977).
4. Minnaert, dl. 2 pag. 13, 14.
5. L.c. dl. 2 p. 25; zie ook E. G. Richardson, *Sound & the Weather* *Weather* **2**, p. 169 en 205 (1947); W. J. Humphreys *Physics of the Air*, Dover, New York, 1964 en D. W. van Wulfflen Palthe, Geluidsvoortplanting in het vrije veld *Ned. Tijdschr. Nat.* **39**, 10 (mei 1973).
6. L.c. dl. 2 p. 100.
7. Zie b.v.:
A. T. Aalders, Enige wenken voor de wolkenfotografie. *Hemel en Dampkring* **39**, nr. 6 pag. 15 (1941)
P. de Bruijn: Merkwaardige cirrusbewolking, *Hemel en Dampkring* **66**, pag. 222 (1968).
8. Feteris, Het fotograferen van nachtelijke onweders op grote afstand. *Hemel en Dampkring* **58**, nr. 4 (1960),
9. Zie verder C. Floor, Halo's *Natuur en Techniek*, juni 1977.
10. PLON, Sorbonnelaan 4, Utrecht.
DBK-VU; nat. lab. VU, De Boelelaan 1081, Amsterdam.



Figuur 3 Het meten van de hellingshoek van zand. (Foto Anton Nab).