

Elementære fysiske Maalemetoder til Brug ved økologiske Undersøgelser.

Af Erik Tetens Nielsen.

Efterhaanden som man ved biologiske Undersøgelser i stedse stigende Grad anvender kvantitative Metoder, bliver det mere og mere paakrævet at analysere de Kaar, hvorunder Organismernes lever, en Udvikling, der har ført til den frugtbare Forening af Økologi og Mikroklimatologi.

I det følgende gennemgaas saadanne elementære Metoder, som jeg selv har fundet det mere eller mindre nødvendigt at sætte mig ind i, i det beskedne Omfang, hvori Økologer i Almindelighed har Brug for det.

Hr. Professor, Dr. phil. A. W. Marke har med stor Venlighed hjulpet mig med Kritik og gode Raad; for denne Hjælp vil jeg gerne her udtrykke min hjerteligste Tak.

I. Almindelig Maaleteknik.

Enhver Maaling bestaar i at angive, hvor ofte den til Maalingen benyttede Enhed gaar op i den Størrelse, der skal maales. Resultatet, der fremkommer, angives med en *Nøjagtighed*, der staar i et vist Forhold til Maaleenheden. Hvor nøjagtigt det er muligt at maale, afhænger af Maaleinstrumentets *Følsomhed*, idet Følsomheden er den mindste Ændring af Maaleapparatet, medens Nøjagtigheden er den mindste Ændring af Maalestørrelsen, som er entydig maalelig. Man maa før Maalingen gøre sig klart, hvor nøjagtig man ønsker den, og saa anvende en tilstrækkelig følsom Teknik. I daglig Tale holdes disse Begreber: Nøjagtighed og Følsomhed ikke skarpt adskilt.

Om Maalingen giver et rigtigt Resultat, er ikke alene et Spørgsmaal om Følsomhed og Nøjagtighed. Lad mig belyse denne tredie Faktor ved Maalingen, *Rigtigheden*, ved et Par Eksempler. Lad os

sige, at vi skal afveje 1 g af et Stof med en Nøjagtighed paa 0,1 mg. Vi anvender derfor en Vægt, hvis Følsomhed er mindre end 0,1 mg, f. Eks. 0,05 mg. Hvis man nu ikke sikrer sig, at Vægten er i Ligevægt med ubelastede Skaale, kan Resultatet let blive galt, skønt Maalingens Nøjagtighed er tilstrækkelig. Jeg har kendt et Termometer, der var inddelt i Tiendedele Grader og let tillod at skønne Hundrededele, — men som ikke desto mindre viste $1,3^\circ$ for højt, og som her kan tjene som Eksempel paa Forskellen mellem Nøjagtighed og Rigtighed. Saadanne Fejl er systematiske, og Resultatet kan, naar de er erkendt, korrigeres for dem og saaledes dog blive rigtigt. Med det ovennævnte Termometer var Temperaturen bestemt ved en Serie Forsøg, der udførtes ved tre Temperaturer, som afveg 5° fra hinanden; disse Forsøg var altsaa ikke som planlagt udført ved 10° , 15° og 20° , men ved $8,7^\circ$, $13,7^\circ$ og $18,7^\circ$.

Man maa i sine Krav til Nøjagtigheden ikke gaa videre end Objektet tillader; det er saaledes umuligt at afveje Æter i en aaben Skaal ved Stuetemperatur med en Nøjagtighed paa 0,1 mg, fordi Æterens Vægt længe, inden man bliver færdig med Vejningen, vil have forandret sig meget mere end 0,1 mg. Sandsynligvis vil man opnaa den størst mulige Nøjagtighed ved at anvende den Vægt, der tillader den hurtigste Vejning; dens Nøjagtighed er iøvrigt underordnet.

Der maa anvendes samme Nøjagtighed ved alle Led i en Maaling. Det kan ikke nytte noget at anvende en følsom og paalidelig Vægt, hvis Vægtlodderne ikke er rigtige. Men omvendt er det ligesaa unyttigt, som omtalt ovenfor, at anvende justerede Lodder paa en upaalidelig Vægt.

Det er ikke altid indlysende, hvad den nødvendige Nøjagtighed er. Skal man f. Eks. fremstille en 1 % NaCl-Opløsning i Vand med en vis Nøjagtighed, afvejer man først 1 g NaCl med 0,2 mg Nøjagtighed og derpaa 100 g Vand med den dertil svarende Nøjagtighed. Hvor stor er den? Ikke 0,2 mg (lykkeligvis, for det vilde frembyde overordentlige Vanskeligheder), men derimod 0,2 % af 100 g, altsaa 20 mg.

Endnu en væsentlig Ting: man maa aldrig angive Resultatet med større Nøjagtighed end den anvendte Teknik berettiger til. Hvis man titrerer 10,00 ml HCl og finder, at hertil svarer 12,11 ml NaOH, er Natriumhydroksydens Normalitet

$$\frac{10,00}{12,11} = 0,8258 \quad \text{og ikke } 0,8257638.$$

Lad mig i denne Forbindelse erindre om Nullernes Betydning ved Maaleangivelser. Der er en meget betydelig Forskel paa, om

en Genstand vejer 1,50 g eller 1,5000 g; den første vejer nemlig mellem 1,495 og 1,504 g, mens den anden Angivelse betyder, at den vejer mellem 1,49995 g og 1,50004 g.

Ved enhver Maaling skal der altsaa være et rimeligt Forhold mellem, hvor vel defineret Objektet er, hvor stor Nøjagtighed der ønskes, og hvor følsom Teknik der anvendes.

I det foregaaende har det været antaget, at en Maaling (efter at forskellige Forsigtighedsregler er truffet) giver det rigtige og tilstrækkeligt nøjagtige Resultat, saaledes at en Gentagelse af Maalingen giver det samme Resultat. I Almindelighed vil man dog finde (hvis man udnytter Maalemidlet tilstrækkeligt), at dette ikke er Tilfældet. Gentages Maalingen med samme Omhu et større Antal Gange efter hinanden, vil man faa en hel Mængde forskellige Resultater, der alle er lige gode; der er ingen Grund til særligt at tro mere paa det ene end paa det andet af dem. Saadanne „tilfældige“ Fejl fordeler sig paa en ganske bestemt Maade omkring det aritmetiske Gennemsnit af Resultaterne, saaledes at Værdier, der ligger nærved Gennemsnitsværdien er de hyppigste, mens Afvigelserne herfra bliver sjældnere, jo større de er. Endvidere finder man, naar man gør tilstrækkeligt mange Iagttagelser, at der er lige mange positive og negative Iagttagelser.

Hvis Fejlene virkelig er tilfældige, vil de fordele sig efter den exponentielle Fejllov, og det er da muligt at danne sig et Skøn over, hvor paalidelige Resultaterne er. Hvis man i et Koordinatsystem indtegner de forskellige Resultater, idet de anvendes som Abscisse og den Hyppighed, hvormed de forekommer, benyttes som Ordinat, fremkommer en Kurve som den punkterede paa Fig. 3 og Fig. 4. Denne Hyppighedskurve ses at gaa fra $+\infty$ til $-\infty$ og der foreligger altsaa den teoretiske Mulighed for, at en Maaling kan give en hvilken som helst Værdi; men Sandsynligheden for at faa en Værdi, der ligger langt fra Gennemsnittet, er naturligvis meget ringe. Desuden er der i Praksis Grænser for, hvor store Fejl kan blive — ligegyldigt, hvor mange Gange man maaler Længden af en Knappenaal, er det dog udelukket, at man nogensinde kan finde dens Længde til 347 m eller til 3,47 Mikron — og Fejlkurven er derfor kun et tilnærmet Udtryk for Fejlens Fordeling.

Til Bedømmelse af Resultatets Paalidelighed benyttes Middelfejlen paa den gennemsnitlige Værdi, Spredningen. Den findes som Middelfejlen paa den enkelte Maaling, som man finder paa følgende Maade.

Vi antager, at der foreligger en Række ens Bestemmelser, som vi kalder $M_1, M_2, M_3, \dots, M_n$ og finder deraf først Gennemsnittet

$$M = \frac{M_1 + M_2 + M_3 + \dots + M_n}{n}$$

hvor n er Antallet af Maalinger. Derpaa beregnes Forskellene mellem Gennemsnittet og de enkelte Maalinger.

$$d_1 = M - M_1$$

$$d_2 = M - M_2$$

$$d_3 = M - M_3$$

⋮

⋮

⋮

$$d_n = M - M_n$$

Gennemsnittet af Kvadraterne paa disse Forskelle er den Størrelse, der kaldes Spredningen

$$S = \frac{d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + \dots + d_n^2}{n - 1} = \frac{\sum d^2}{n - 1}$$

Kvadratrodten af denne Størrelse er Middelfejlen paa den enkelte Maaling

$$E = \sqrt{S} = \sqrt{\frac{\sum d^2}{n - 1}}$$

Et bekvemmere, men mindre kendt Udtryk for Middelfejlen er

$$E = \frac{\sum (d)}{n - 1} \cdot 1,25.$$

Omtrent $\frac{2}{3}$ af alle Fejl er numerisk mindre end Middelfejlen, hvis Fordelingen er tilfældig; og dette undersøges netop ved at prøve, om $\frac{2}{3}$ af Afvigelserne er mindre end E , samt om der (nogenlunde) er lige mange + og - Fejl.

Til nærmere Bedømmelse af, om Fordelingen følger den exponentielle Fejllov, kan Tabel 1 tjene.

Tabel 1.

80,2 %	af Afvigelserne er større end $E/4$
60,7 - -	— - — - $E/2$
30,7 - -	— - — - E
4,5 - -	— - — - $2E$
0,3 - -	— - — - $3E$

Middelfejlen paa Gennemsnittet af Maalingerne er

$$E_M = \frac{E}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum d^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum (d) 1,25}{n(n-1)}}$$

altsaa Middelfejlen paa hver enkelt Maaling divideret med Kvadrat-roden af Maalingerne.

Hvis man vil have E_M saa lille som muligt, kan man forbedre sin Bestemmelse ved at gøre n større, d. v. s. foretage flere Maalinger, men da n indgaar som \sqrt{n} i Udtrykket for E_M kan det ses, at for at formindske Gennemsnittets Middelfejl en vis Størrelse, maa Antallet af Observationer forøges til n gange *Kvadratet* paa denne Størrelse. Foreligger der 10 Maalinger og man ønsker Resultatet med den dobbelte Nøjagtighed, maa der udføres $2^2 \cdot 10 = 40$ Maalinger, og for at opnaa den tidobbelte Nøjagtighed kræves $10^2 \cdot 10 = 1000$ Maalinger. Det er derfor i Almindelighed bedre at forbedre Maalemetoderne, hvis et Resultat er for usikkert, fremfor at forøge Antallet af utilstrækkeligt gode Maalinger. Den bedste Maade til at formindske Gennemsnittets Middelfejl er at formindske Spredningen.

Det hænder meget ofte, at de enkelte Iagttagelser ikke er udført med samme Nøjagtighed og der maa da tages Hensyn hertil ved Beregningen af Gennemsnittet, idet de enkelte Grupper af Maalinger indgaar i Beregningen multipliceret med en Faktor, *Vægten*, der er omvendt proportional med de paagældende Maalingers Middelfejls Kvadrater,

$$p = 1 : E^2$$

Eksempel: Man maaler samtidigt den samme Temperatur med to Termometre; det ene er delt i hele, det andet i halve Grader. Vi antager, at Afstanden mellem Delestregerne er ens. Det maa da antages, at det andet Termometer er dobbelt saa godt som det første, altsaa, hvis E_1 og E_2 er Middelfejlene, og t_1 og t_2 er Aflæsningen paa de to Termometre

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{1 : E_2^2}{1 : E_1^2} = \frac{E_1^2}{E_2^2}$$

$$E_1 : E_2 = 2$$

$$E_1^2 : E_2^2 = 2^2 = 4$$

$$p_2 : p_1 = 4,$$

og den gennemsnitlige Temperatur, der faas ved Aflæsning af de to Termometre er altsaa

$$\text{Temp}_M = (t_1 + 4 t_2) : 5.$$

Det kan undertiden ske, at man ved at gentage en Maaling stadig faar samme Resultat. Det bør altid vække Uro hos Maaleteknikerens. Et Termometer, paa hvilket man let skønner $0,1^\circ$, viser

ved mange Gentagelser i smeltende Sne + $0,7^{\circ}$; heraf bør man slutte at Termometerrøret har en Fejl paa det paagældende Sted, men man maa ikke opgive Resultatet med en Middelfejl paa Nul.

Hvor det drejer sig om Præcisionsmaalinger, skal Resultatet altid angives med en saadan Nøjagtighed, at det sidste Ciffer er usikkert, samt Middelfejlen paa Maalingen.

Foruden den almindelige Middelfejlsberegning er der en Del andre statistiske Fremgangsmaader, man jævnlige har Brug for ved økologiske Arbejder, og i det følgende skal blot nævnes nogle faa af de mest brugte Formler, saaledes som de af Dr. A. H. Henningsen har været samlet sammen til Brug ved Arbejdet paa Nordisk Insulinlaboratorium.

Men først finder jeg det nødvendigt at fremsætte nogle faa Betragtninger over Anvendelse af Statistik ved biologiske Arbejder. I mange Tilfælde er en Bearbejdelse af et indvundet Talmateriale ikke blot en Fordel, men uomgængelig nødvendig. Naar det angives, at Individantallet af en Varietet i Forhold til Hovedarten i Jylland er 17 %, mens den paa Bornholm er 33 %, er denne Opgivelse intet værd, for uden nogen Meddelelse om Antallet af undersøgte Dyr kan man ikke bedømme, om der er nogen Forskel paa de to Forhold; hvis Tallene er fremkommet ved, at et af seks Dyr i Jylland tilhørte Varieteten, mens et af tre Dyr paa Bornholm gjorde det samme, vil Statistikken belære os om, at det er umuligt at drage Slutninger af dette Materiale. Hvis Tallene derimod er fremkommet ved, at der i Jylland er optalt 73 Varieteter af et Materiale paa 438 Dyr, paa Bornholm 162 af 486, vil Statistikerens kunne sige, at der intet er at indvende mod at sige, at der er Forskel paa Hyppigheden af Varieteten i de to Landsdele. Men derfor kan Resultatet alligevel være galt; hvis f. Eks. Varieteten har højere Temperaturpræferens end Hovedarten og Indsamlingen i Jylland er foregaaet i en kølig Regnvejrperiode, mens Indsamlingen paa Bornholm har fundet Sted i straalende Sommervej, kan Forskellen skyldes, at det har været forholdsvis sværere at fange Varieteterne det første Sted. Materialet lider altsaa under en systematisk Fejl, som Statistikken ikke kan gøre Regnskab for. Dens væsentligste Opgave er at forhindre, at man drager Slutninger af et uholdbart Materiale.

Det er dette Statistikerens Yule har udtrykt saaledes: „Man driller ofte Statistikerne ved at sige, at man kan bevise alting ved Statistik. Det modsatte er meget nærmere ved Sandheden — man kan aldrig bevise noget ved Statistik. Statistikerens beskæftiger sig med højst komplicerede Grupper af mangfoldige Aarsager. Han kan

vise, at Kendsgerningerne er i Overensstemmelse med denne eller hin Hypotese. Men det er en hel anden Ting at vise, at alle andre mulige Hypoteser er udelukket, og at Kendsgerningerne ikke tillader nogen anden Forklaring end den særlige, han vil prøve“.

Det hænder meget ofte, at man ønsker at undersøge, om der er Forskel paa to Gennemsnit, der hver for sig er behæftet med en vis Usikkerhed; hvis denne Usikkerhed skyldes tilfældige Fejl, altsaa følger Fejlloven, kan man udtale sig om, hvor stor Sandsynligheden er, for at Forskellen er reel. Man benytter sig da af en Formel, der udtrykker, at Middelfejlen paa en Differens ($E_{m_1} \pm m_2$) er lig med Kvadratroden af Summen af Kvadraterne paa de to Leds Middelfejl, altsaa

$$E_{m_1 \pm m_2} = \sqrt{E_{m_1}^2 + E_{m_2}^2}.$$

Man vil f. Eks. undersøge, om der er Forskel paa Antallet af Mider i Jorden paa to Lokalteter; der er hvert Sted taget 10 Berlese Prøver, og det ene Sted fandtes gennemsnitlig 102,7 Individer pr. Prøve, det andet 84,3. Som ovenfor beskrevet finder man derpaa Middelfejlene paa disse Gennemsnit; lad dem være henholdsvis 17,4 og 19,8. Regnestykket bliver da:

$$\begin{array}{r} 102,7 \pm 17,4 \\ \div 84,3 \mp 19,8 \\ \hline 18,4 \pm \sqrt{17,4^2 + 19,8^2} = 18,4 \pm 26,4. \end{array}$$

Forskellen er altsaa ikke mere end $\frac{2}{3}$ af Middelfejlen, og Sandsynligheden for, at der er Forskel, er lige saa stor som Sandsynligheden for det modsatte — man kan altsaa intet slutte af den angivne Forskel.

Hvis der paa den førstnævnte Lokaltet var fundet et Gennemsnit paa 137,1 i Stedet for 102,7, mens det andet Gennemsnit og Middelfejlene var de samme, var Resultatet blevet $52,8 \pm 26,4$ eller Forskellen var dobbelt saa stor som dens Middelfejl, hvilket tillader, at man siger, at der er nogen Grund til at tro, at der er en Forskel, som kun i 1 af 20 Tilfælde vil være forkert. Og hvis endelig Forskellen havde være tre Gange Middelfejlen (hvis Tallene f. Eks. havde været $163,5 \pm 17,4$ og $84 \pm 19,8$) eller derover, ja saa plejer selv meget forsigtige Folk at tro paa Forskellen, som vil være rigtig i 997 af 1000 Tilfælde, — hvis der ikke er systematiske Fejl i Materialet, og det iøvrigt følger Fejlloven.

Middelfejlen paa en Sum er ganske tilsvarende

$$E_{m_1 + m_2} = \sqrt{E_{m_1}^2 + E_{m_2}^2}.$$

En særlig Maade at danne Middelfejl paa anvendes i det Tilfælde, at der foreligger en Række Bestemmelser, der er foretaget med samme Nøjagtighed, men med meget forskellige Resultater, og det er umuligt eller ubekvemt at bestemme hvert Resultat saa mange Gange, at der kan beregnes en Middelfejl. Hvis man blot kan faa to Bestemmelser af hvert Resultat, kan man finde Middelfejlen ved at beregne Forskellene mellem hver saadanne to Bestemmelser (Dobbeltbestemmelser), $d_1 d_2 d_3 \dots d_n$; Middelfejlen er da

$$E = \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + \dots + d_n^2}{2n}} = \sqrt{\frac{d^2}{2n}}$$

Ved en stor Mængde Analyser af Prøver (Luftanalyser, Jordprøver o. s. v.) vil det betale sig at dele Prøven i to Dele og analysere dem hver for sig for saaledes at kunne undersøge Nøjagtigheden paa denne Maade ved Dobbeltbestemmelse.

Hvis man hos et vist Antal Individuer finder en Egenskab, der mangler hos et vist Antal andre Individuer, og angiver, at den paagældende Egenskab findes hos f . Eks. $\frac{3}{5}$ af Individuerne, vil det være rigtigt at angive dette Forhold med en Middelfejl, hvilket kan ske efter Formlen

$$E = \sqrt{\frac{m(n-m)}{n^3}}$$

hvor n er det samlede Antal undersøgte Individuer og m det Antal, der har den paagældende Egenskab. Det forudsættes, at Antallet n er saa stort, at de udtagne Individuer ikke influerer paa Forholdet blandt de resterende Individuer.

Havde vi f. Eks. 270 Individuer, hvoraf de 164 havde Egenskaben, vil det fundne Forhold

$$\frac{164}{270} = 0,607 \text{ (eller ca. } \frac{3}{5} \text{)}$$

være behæftet med en Middelfejl paa

$$\sqrt{\frac{164 \cdot 106}{270^3}} = \sqrt{0,088}$$

altsaa $0,607 \pm 0,088$; der er 95 af 100 Chancer for, at Forholdet ligger mellem 0,4 og 0,8.

I Almindelighed regner man jo den Slags Forhold om til Procent, og Formlen er da analog, hvis $100 \frac{m}{n}$ sættes lig med p , og $100 \div p$ kaldes q

$$E = \sqrt{\frac{p \cdot q}{n}}$$

eller i Eksemplet

$$E = \sqrt{\frac{60,7 \cdot 39,3}{270}} = 8,8$$

Resultatet altsaa 60,7 % \pm 8,8 %.

I denne Forbindelse skal blot nævnes Formlen for tilfældig Prøvetagning: Hvis $1/p$ af et uendeligt stort Antal Genstande har en bestemt Egenskab, vil Chancen for at m af n udtagne Genstande har Egenskaben være

$$\left(\frac{1}{p}\right)^m \cdot \left(\frac{1}{p}\right)^{n-m} \cdot \frac{n!}{m!(n-m)!}$$

Middelfejlen paa en enkelt Iagttagelse er selv behæftet med en vis Fejl, nemlig $m: \sqrt{2n}$ og Middelfejlen paa Gennemsnittets Middelfejl er $m:n \sqrt{2}$.

Naar man undersøger, hvorledes en varierende Faktor paavirker et Fænomen, vil man ofte prøve paa at finde et simpelt matematisk Udtryk for Forholdet. Særligt overskueligt er det, naar Forholdet kan udtrykkes som en ret Linie:

$$y = ax + b$$

hvor a er Tangens til Hældningsvinklen og b det af Ordinataksen afskaarne Stykke. I Almindelighed ligger Punkterne jo ikke nøjagtigt paa en ret Linie (Fig. 1), og Opgaven er da at finde den rette

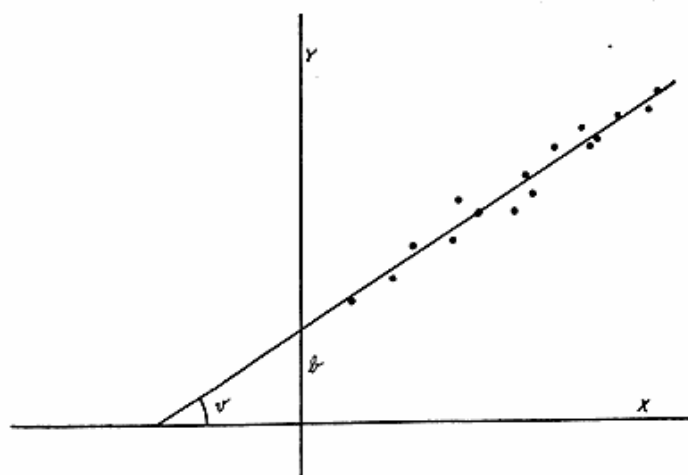


Fig. 1.

Linie, der „passer bedst“, har den mindste Middelfejl, hvilket igen vil sige, at Summen af Kvadraterne paa Punkternes Afstand fra Linien skal være saa lille som muligt. Hvis det viser sig, at Punkternes Afstande fra Linien fordeler sig efter Fejlloven, har man

Formler til Bestemmelse af Konstanterne a og b og Middelfejlen paa disse Konstanter, den saakaldte lineære Udligning efter de mindste Kvadraters Metode.

Vi gaar ud fra, at det drejer sig om en eller anden biologisk Proces og dens Afhængighed af en fysisk Faktor. Det vil matematisk udtrykt sige, at vi betragter den biologiske Proces som en Funktion af den fysiske Faktor, der med andre Ord er den uafhængigt variable og som altsaa efter almindelig Skik og Brug angives som x-Værdierne og paa Figurer afsættes langs Abscisseaksen (den vandrette).

Det vilde være en Behagelighed, om Biologer altid gjorde sig dette til en Regel.

Vi forudsætter altsaa, at Værdierne af x er meget bedre bestemt end y-Værdierne, og Konstanterne kan da beregnes af følgende Formler:

$$a = \frac{n \sum xy \div \sum x \sum y}{n \sum x^2 \div (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{\sum y \sum x^2 \div \sum x \sum xy}{n \sum x^2 \div (\sum x)^2}$$

Punkternes Middelfejl er

$$M = \sqrt{\sum v^2 : (n \div 2)}$$

hvor

$$\sum v^2 = \sum y^2 \div (b \sum y + a \sum xy).$$

Middelfejlen paa a er

$$M_a = \frac{M}{\frac{n \sum x^2 \div (\sum x)^2}{n}}$$

og Middelfejlen paa b er

$$M_b = \frac{M}{\frac{n \sum x^2 \div (\sum x)^2}{\sum x^2}}$$

Man har jævnligt i Økologien at gøre med to Rækker af Fænomener, der varierer samtidigt, og som man har en Formodning om staar i et vist Aarsagsforhold. Lad os sige, at det drejer sig om Nedbørmængden gennem længere Tid og Hyppigheden af et eller andet Dyr. Man plejer da ofte at tegne en Kurve for en hel Række Aar med de forskellige Aar som Abscisse og henholdsvis Regnmængden og Hyppigheden af Dyr som Ordinater (Fig. 2).

Man ser da, at de to Kurver har Maksimer i de samme Aar — mere eller mindre udpræget — og man siger da, at der er positiv Korrelation mellem de to Fænomener, i modsat Fald er der negativ Korrelation. En meget omfattende Del af Statistikken handler

om Analyse af saadanne Korrelationer. Her skal blot anføres den simpleste Maade at undersøge Materialet paa, nemlig ved at afsætte de to samhørende Værdier hver ud af sin Akse i et Koordinatsystem (den uafhængigt variable ud af x-Aksen!) og indtegne de samhørende Værdier. Punkterne findes da at ligge omkring en ret Linie, og af Usikkerheden paa denne Linies Konstanter vil man kunne faa et Udtryk for Korrelationens Paalidelighed.

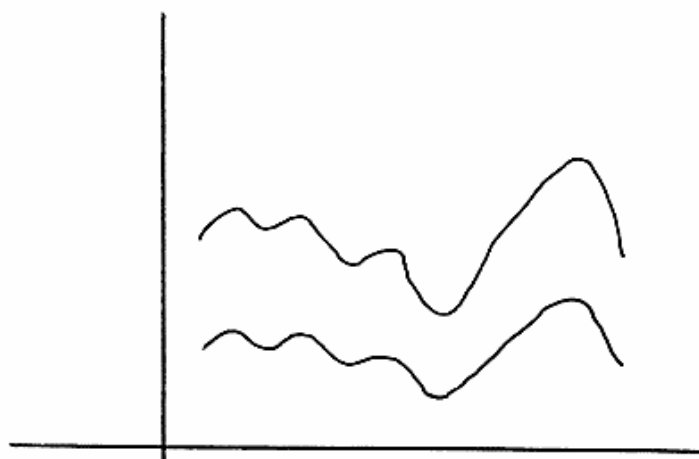


Fig. 2.

Ved biologiske Forhold finder man ofte en meget betydelig Spredning, der aabenbarer en vistnok ved mange Materialer skjult Skævhed (Fig. 3—4), d. v. s. at der er forholdsvis for mange „små“ Observationer, og Gennemsnittet er lavere end ved Fejllovens Fordeling og kan naturligvis ikke behandles efter denne. Imidlertid viser det sig ofte, at man ved at anvende Logaritmerne til de enkelte Observationer i Stedet for Observationerne selv vil faa en mere symmetrisk Fordelingskurve, som viser sig at følge Fejlloven.

Til allersidst blot nogle faa Ord om at kassere Resultater.

Principielt er det altid forkert at kassere Resultater, udelade enkelte Bestemmelser. I Virkeligheden træffer man forbavsende ofte paa Tilfældet. Naar man kasserer Resultater, er det i Almindelighed af en af to Grunde: der kan f. Eks. have indsneget sig en aabenlys Fejl: en Observationsrække indeholder f. Eks. 9 Værdier mellem 1,42 og 1,48, men en tiende er noteret som 14,64; der er i dette Tilfælde Grund til at kassere Bestemmelsen og udregne Gennemsnittet paa Basis af de resterende 9 Maalinger, men man bør hver Gang, man skriver dette Gennemsnit bemærke, at der er kasseret en Værdi paa 14,64.

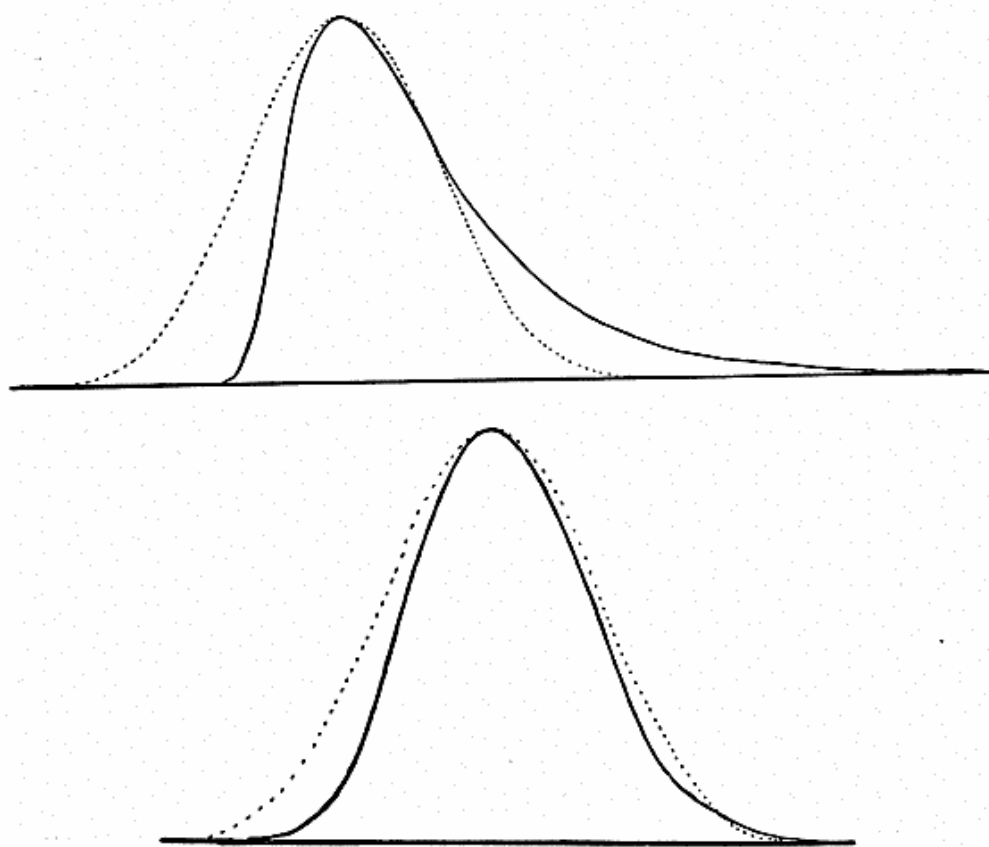


Fig. 3 og 4. Skæve Fordelinger (—), der ved Logaritmering giver normal Hyppighedsfordeling (...). I øverste Figur er Spredningen større end i nederste Figur og Forholdet derfor mere fremtrædende.

Man bør altid erindre, at de under Forsøget gjorte Optegnelser er hellige, og er det eneste Materiale, der virkeligt er uerstatteligt. Optegnelserne skal altid bestaa af selve Observationerne — man maa ikke foretage selv den ringeste Korrektion før de maalte Værdier er nedskrevet.

Men undertiden kasseres Resultater, ikke blot fordi de er aabenbart fejlagtige, men blot fordi de er usædvanlige. Hertil maa siges, at hvis Materialet følger Fejlloven, skal der omend kun sjældent komme store Varianter, og med mindre de betydeligt overskrider tre Gange Middelfejlen, maa man ikke tage Notits af dem. En enkelt „mistænkelig“ stor Variation kan naturligvis bevirke, at man foretager yderligere en Række Observationer, for at faa at vide om den virkelig kun er tilfældig; kommer der flere meget store Afvigelser til samme Side, følger Materialet ikke Fejlloven, idet Fordelingen er skæv. Men den væsentligste Grund til med stor Opmærksomhed at følge Forekomsten af uforholdsmæssige Afvi-

gelses er den, at de ofte er Udtryk for en systematisk Fejl; og endnu vigtigere end at finde et Gennemsnit kan det være at finde (og paavise Grunden til) en systematisk Fejl. Lad mig erindre om det berømteste Eksempel: det var fordi Leverrier erkendte, at Fejl i Uranus Bane var systematiske og maatte skyldes Eksistensen af et ukendt Himmellegeme, at det lykkedes Galle at finde Planeten Neptun.

II. *Temperaturmaaling.*

Varmen er en Form for Energi, og Temperaturen er et Udtryk for, hvor meget Varmeenergi, der er knyttet til et Legeme. At maale et Legemes Temperatur vil sige, at bestemme dets Varmetilstand. Mens Varmemængden angives i Kalorier, er Enheden ved Temperaturmaaling Grader, en Maaleenhed, der beror paa to Iagttagelser: For det første, at Stoffer udvider sig, naar der tilføres dem Varme, og for det andet, at visse Ændringer i Stoffernes Tilstandsform indtræder ved en ganske bestemt Varmetilstand. Den Varmetilstand, ved hvilken saadanne Ændringer sker, opfattes som Fixpunkter, idet et Legemes Rumfang under iøvrigt lige Betingelser er det samme ved samme Fixpunkt, og at Rumfangsforøgelsen fra det ene Fixpunkt til det andet er proportional med den tilførte Varmemængde.

Maaleinstrumentet ved Temperaturmaaling, Termometeret, angiver den Varmetilstand, det selv er i. Nu er det jo ikke Termometerets Temperatur, man vil kende — undtagen, naar det skal justeres — men et eller andet Objekts. Man benytter sig da af, at to Legemer, der er i Varmeligevægt, har samme Temperatur, idet, der vil gaa Varme fra det varme til det kolde af dem, indtil der er indtraadt Varmeligevægt, d. v. s., til de er i samme Varmetilstand.

Denne Varmetransport sker væsentligt som Varmeledning og som Varmestraaling, og Termometeret skal derfor være haade i Lednings- og i Straalingsligevægt med det Objekt, der skal undersøges. Mens det ikke volder større Besvær at bringe Termometeret i Varmeledningsligevægt med sine Omgivelser, stiller Forholdet sig ganske anderledes ved Straalingsligevægt. Den Straalingsligevægt, et Legeme indstiller sig paa, afhænger nemlig ikke blot af den Straaling, der fra Omgivelserne naar til Legemets Overflade, men af den Mængde af Straalingen, der indsuges i Legemet, hvorimod Varmestraaler, der passerer Legemet eller tilbagekastes fra det, ingen Indflydelse har paa dets Varmetilstand. Straalingsligevægten er derfor, paa en i høj Grad ukontrollabel Maade, afhængig af Legemets Overfladebeskaffenhed, Form og Farve. Da Termometer

og Maaleobjektet i saa Henseende i Almindelighed adskiller sig stærkt fra hinanden, og da Varmestraalingstransporten i mange Tilfælde langt overgaar Varmeledningen i Betydning, vil man forstaa, at Temperaturmaaling kan frembyde ganske overordentlige Vanskeligheder.

For Meteorologer er det først og fremmest Opgaven at maale selve Luftens Temperatur. Da nu Luften næsten fuldstændigt lader alle Varmestraaler passere igennem, blev det Meteorologernes Maal ved Temperaturmaaling saa vidt muligt at udelukke Straalingens Indflydelse paa Termometeret. Bortset fra de tekniske Vanskeligheder, der knytter sig til Maalingen, har Lufttemperaturen i meteorologisk Forstand den Fordel at være entydigt bestemt som den Varmetilstand, der opnaas ved at være i termisk Ledningsligevægt med Luften.

Ogsaa for Økologen har Lufttemperaturen den store Fordel, at den er et vel defineret Led i den Række af Paavirkninger, der betinger en Organismes termiske Kaar. Men for frit levende Organismer er Straalingen paa ingen Maade en Faktor, der kan negligeres, tværtimod, den er af den mest afgørende Betydning.

Man maa her meget nøje gøre sig det klart, hvad det er man vil have at vide. Vil man maale Luftens Temperatur, maa man beskytte Termometeret mod Straaling; vil man derimod maale, hvilken Temperatur en under givne Forhold anbragt Genstand er udsat for, maa man anvende sit Termometer saaledes, at det virkelig paa samme Maade som den paagældende Genstand er i fuldkommen Varmeligevægt med Omgivelserne.

For Økologen er den sidste Temperatur utvivlsomt den mest betydningsfulde. Skal man maale de Temperaturer, som f. Eks. den, Mariehøns er udsat for, kan der kun knytte sig en perifer Interesse til Luftens Temperatur i meteorologisk Forstand.

Det mest rationelle vilde være at maale den Temperatur, en død Mariehøne vilde have under de tilsvarende Forhold, altsaa lade Mariehønen Overflade omslutte den følsomme Del af Termometeret. Denne saakaldte „Versuchskörperthermometrie“ er utvivlsomt korrekt fra et økologisk Synspunkt.

De ældste Instrumenter til Bestemmelse af Temperaturen var Lufttermometere, Galilæi benyttede en Glaskugle, paa hvilken der var tilsmeltet et vandret Glasrør; i dette Glasrør befandt sig en Kviksølvdråbe, der afspærrede Luften i Beholderen. Ved Ændringer i Temperaturen forandredes den afspærrede Lufts Rumfang og herved bevægede Kviksølvet sig og angav paa den Maade Temperaturen. Dette, det ældste Termometer stammer fra 1592,

men allerede i 1611 konstruerede Galilæi et Termometer, der berodde paa en Vædskes (Alkohols) Varmeudvidelse. Den første, der baserede Termometrien paa Fixpunkter, var Ole Rømer, der i Slutningen af det 17. Aarhundrede benyttede Vandets Frysepunkt og Kogepunkt. I 1724 indførte Fahrenheit Kviksølvtermometret i dets nuværende Form og gav det en Skala, inddelt i 100 Grader. Som Fixpunkter benyttede han dels Smeltepunktet for en Blanding af Salmiak og Is, der forekom ham saa kold, at han ikke mente, at der kunde tænkes noget koldere (0°) og dels Menneskets Legemstemperatur, som han satte til 100° . Paa den Maade er den Ejendommelighed opstaaet, at Vandets Frysepunkt ligger ved $\div 32^{\circ}$ Fahrenheit og dets Kogepunkt ved 212° F. I 1730 vendte Insektbiologiens Fader, Réaumur*) tilbage til Rømers Fixpunkter, men delte Skalaen i 80 ækvidistante Grader. Celsius anvendte 100° mellem de samme Fixpunkter, men betegnede Vandets Frysepunkt som 100° og Kogepunktet som 0° . Den nuværende Form for Celsius-Skalaen skyldes Linné.

Denne udviklede Udarbejdelse af en brugbar Termometerskala, har jo desværre bevirket, at der anvendes forskellige Skalaer, i angelsaksiske Lande Fahrenheits Skala (hvor Celsius-Skalaen, naar den bruges, betegnes som Centigrades), mens Réaumurs Skala endnu bruges en Del blandt Folk i Danmark og Tyskland.

Naar man, hvad der ofte hænder ved økologiske Arbejder, har en større Mængde Temperaturer, der ligger lige omkring Frysepunktet, er det praktisk, at addere 100° til alle Aflæsninger for at undgaa Fortegnsfejl; man skriver altsaa 103° i Stedet for $+ 3^{\circ}$, og 93° i Stedet for $\div 7^{\circ}$.

For at faa at vide, om et Termometer viser rigtigt, foretages en Justering, der kan udføres paa to Maader, enten ved at undersøge, hvorledes det viser ved et af de ovenomtalte Fixpunkter eller ved at sammenligne det med et justeret Termometer. Indenfor det Temperaturomraade, der i Almindelighed kommer i Betragtning ved økologiske Undersøgelser ($\div 50^{\circ}$ — $+ 50^{\circ}$) er der tre saadanne Fixpunkter, hvoraf Isens Smeltepunkt er det vigtigste.

Termometeret anbringes med hele den følsomme Del nedsænket i en rigelig Mængde ganske ren Sne eller meget finknust Is, gennemfugtet med destilleret Vand og fast pakket sammen om Termometeret. Da selv et ringe Saltindhold ændrer Frysepunktet stærkt, maa man prøve Smeltevandet for Cl med Sølvnitrat. En Frysepunktsbestemmelse skal udføres med ikke ringe Omhu.

*) Hans Navn var René Antoine Ferchauld de Réaumur, og det er derfor en Utilbørighed, naar Instrumentmagere bogstaverer det Reaumur.

De andre Fixpunkter, der kan komme i Betragtning for Økologer er Kviksølvets Smeltepunkt ved $\div 38,87^\circ$, og den Temperatur, ved hvilken krystallinsk Natriumsulfat omdannes til amorf under Afgivelse af 10 Molekuler Krystalvand, nemlig $32,383^\circ \pm 0,001^\circ$. Mens man ved Smeltepunktbestemmelse som Regel baade bestemmer Smeltepunkt ved Opvarmning og Størkningspunkt ved Afkøling, kan et Omdannelsespunkt som Natriumsulfatens naturligvis kun bestemmes ved Opvarmning.

Den anden Form for Justering, ved Sammenligning med et Normaltermometer, foretages i Vandtermostat med kraftig Omrøring, med omhyggelig Hensyntagen til de i det følgende omtalte Fejlkilder.

Lufttermometre finder kun Anvendelse paa fysiske Institutter, hvor de, som det egentlige Grundlag for al Termometri, tjener til Justering af andre Termometre som Normalinstrumenter. Den Luftart, der anvendes, er Brint.

Kviksølvtermometre. Mens man ved Lufttermometre ikke behøver at tage Hensyn til, at Glassets Rumfang ændrer sig med Temperaturen, fordi Forholdet mellem Udvidelseskoefficienterne for Luft og Glas er som 1:200, saa er det samme Forhold for Kviksølv og Glas 1:10 eller 1:7, hvorfor det er nødvendigt at tage Hensyn til Glassets Udvidelse ved Kviksølvtermometre. Alene paa Grund af Glassets forskellige Udvidelse kan man indenfor det Temperaturinterval, Økologer har Brug for, faa Korrektioner paa Kviksølvtermometret i Forhold til Brinttermometret paa op til en Trediedel Grad.

En ganske særlig ubehagelig Ejendommelighed ved Kviksølvtermometre er den saakaldte termiske Eftervirkning. Det er en forbigaaende Virkning, der viser sig paa følgende Maade: Man bestemmer et Termometers Frysepunkt som ovenfor angivet og opvarmer det derpaa til Vandets Kogepunkt, hvorved Kviksølvet udvider sig først og dernæst Glasset; i Løbet af ret kort Tid staar Kviksølvet stille i en Højde, der svarer til Summen af Glassets og Kviksølvets Udvidelse (Kviksølvets „tilsyneladende“ Udvidelse). Anbringer man nu igen Termometret i smeltende Is, vil man se, at Frysepunktet tilsyneladende har ændret sig noget, hvilket skyldes, at Glasset trækker sig meget langsommere sammen end Kviksølvet.

Termometre, der skal anvendes til nøjagtig Maaling af stærkt varierende Temperatur, bør altid undersøges for saadanne Fejl og helst være af Glassorter, hvor Fejl af denne Art er saa lille som muligt. Ved almindeligt Thüringerglas beløber Fejlen sig til $\frac{1}{2}$ — 1° .

ved Jenaglas 59 III og 16 III er den $0,03^{\circ}$ — $0,04^{\circ}$. Termometre af Jenaglas kendes paa en farvet Stribe i Glasset.

Ogsaa en anden Forandring af Glasset er det nødvendig at kende, den er i Modsætning til den just omtalte Glashysterese irreversibel. Det er en langsom Stigning af Frysepunktet, en Rumfangsforandring af Glasset, der kan tage mange Aar, og som betegnes, som at Termometret ældes. Et Termometer skal være gammelt for at være godt — det kan dog ogsaa ældes kunstigt, ved i længere Tid at være opvarmet til ca. 300° — 500° eller ved hurtigt skiftende Temperaturer. Paa et friskt Termometer kan Frysepunktet i Løbet af de første Par Aar stige flere Grader, og hele Processen kan ændre Frysepunktet fem Grader eller mere.

Ved Brug af Kviksølvtermometre er der mange Forsigtighedsregler at iagttage; de fleste af disse kan dog lades ude af Betragtning, naar man ikke ønsker større Nøjagtighed, end man i Almindelighed har Brug for ved biologiske Arbejder. Jeg skal derfor blot nævne de faa, der udelukker Fejl paa mere end en Tiendedel Grad.

Det drejer sig her først og fremmest om Korrektion for udestaaende Søjle, hvorved forstaas, at man søger at afbøde den Fejl, der fremkommer ved, at noget af Kviksølvet i Termometret ikke findes nedsænket i det Medium, hvis Temperatur skal maales, naar der findes en Temperaturforskel mellem dette Medium og Luften.

Den Korrektion, der skal adderes til den aflæste Temperatur, er

$$k = l \cdot d \cdot (t - t_0)$$

hvor l er Længden af den udestaaende Søjle, maalt i Grader,
 d er Forskellen mellem Kviksølvets og Glassets Udvidelseskoefficienter; for Jenaglas 59 III er $d = 1:6130$
og for Jenaglas 16 III og for verre dur er $d = 1:6370$,
 t er den aflæste Temperatur og
 t_0 er den udestaaende Søjles Gennemsnitstemperatur.

I Tabel 2 er udregnet en Del af de Korrektioner, man hyppigst har Brug for. Til at maale den udestaaende Søjles Gennemsnitstemperatur, er konstrueret særlige Hjælpetermometre, som man til dette Formaal bør betjene sig af.

Tabel 2.
Korrektion for udestaaende Søjle.

Udestaaende Søjle i °C.	Forskel mellem de to Mediers Temperatur						
	20	30	40	50	60	70	80
10	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,08	0,10
20	0,11	0,12	0,13	0,15	0,17	0,19	0,22
30	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,31	0,35
40	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,43	0,48
50	—	0,36	0,40	0,44	0,48	0,53	0,61
60	—	0,45	0,51	0,55	0,60	0,66	0,73
70	—	—	—	—	0,69	0,75	0,87
80	—	—	—	—	0,76	0,87	1,00

Dødgang er en Fejl, der især findes hos Termometre med meget snævre Termometerrør, idet Haarrørskraften bevirker, at Termometret ikke viser ens, naar Kviksølvet bevæger sig op eller ned; denne Dødgang afbødes ved, at man banker paa Termometret.

En almindelig Kilde til Fejl ved Termometer aflæsning er Mangel paa Omhu for at undgaa Parallaxse. En omhyggelig Termometer aflæsning bør altid foretages med Aflæselup, idet man dog maa vise stor Forsigtighed med ikke at lade sin Straalevarme influere paa Termometret. Hvor stor Nøjagtighed kræves, maa man benytte Kikkert med Traadkors eller, hvor en saadan fattes, en omhyggeligt opstillet, sammensat Lup, der anbringes i en saadan Afstand fra Termometret, at Skalaen ikke helt er i Fokus; man vil da kunne opnaa en saadan Indstilling, at kun den Delestreg, der er midt i Synsfeltet er lige, mens de ovenfor liggende Streger ses krumme, med Konkaviteten opad, de nedenfor liggende Streger med Konkaviteten nedad.

Af Kviksølvtermometre findes mange forskellige Slags. Efter deres Konstruktion skelner man mellem to Hovedgrupper, Kappetermometre og Stavtermometre. De sidste bestaar af et enkelt tykvægget Glasrør, paa hvilket Skalaen er indridset, mens Kappetermometrene har et fint Kapillarrør, der hviler mod en Skala, der i de tarveligste Termometre af denne Type er af Papir, i de bedre af Mælkeglas; det hele er indbygget i et bredere, med Kviksølvbeholderen sammensmeltet Glasrør, Kappen. Hvilken Type, der er at foretrække, afhænger af den Brug, man vil gøre af Termometret, i Almindelighed kan man sige, at Kappetermometrene er de letteste at aflæse, men at de er temmeligt skøre og oftest ret tykke,

hvorimod Stavtermometrene er de paalideligste og for den øvede Mand i Almindelighed at foretrække.

I det følgende skal nævnes nogle Typer paa Kviksølvtermometre til specielt Brug.

Naar man skal maale Luftens Temperatur varer det meget længe, før et Kviksølvtermometer er kommet i Varmeledningsligevægt med Luften. Dette Forhold kan til dels afhjælpes ved at frembringe en Luftbevægelse omkring Termometerbeholderen, hvilket man kan gøre paa flere Maader. Simplest ved at binde en Snor i Termometret og slynge det rundt i Luften (dette kan dog ogsaa etableres paa anden Vis, f. Eks. ved en særlig Holder, der ligner en gammeldags Skralde). Det maa erindres, at ved denne Form for Maaling af Lufttemperatur er Straalingens Indflydelse ikke udelukket, saaledes, at naar man er nødt til at hjælpe sig med et Slyngetermometer, bør man i hvert Fald ikke anvende det i direkte Solskin. Forsigtighed maa iagttages ved Aflæsningen, da Termometret hurtigt ændrer sig, naar det holdes stille. Man skal i Almindelighed slynge et Termometer i 3—5 Minutter, før det viser konstant Stand.

Langt at foretrække er Aspirationstermometrene, hvor Termometrene er anbragt i et Metalrør med en Rude, saa man kan se Skalaen og omkring Termometerbeholderen er Metalrøret dobbeltvægget. Metallets yderste Side er blankt for at nedsætte Opvarmningen ved Straaling til et Minimum. Gennem Røret suges Luften med en Hastighed, der svarer til en let Brise (2 m i Sekundet) ved Hjælp af en lille Ventilator, der trækkes af et Urværk eller en lille Elektromotor. I Almindelighed sammenbygger man to Termometre, hvoraf det ene holdes fugtigt, saaledes at Apparatet virker som Aspirationspsykrometer, i Egenskab af hvilket det senere skal omtales nøjere.

Maksimumtermometrene har lige over Kviksølvbeholderen en Indsnævring; naar Kviksølvet trækker sig tilbage til Beholderen ved Afkøling, bliver Søjlen afbrudt ved Indsnævringen og viser saaledes den højeste Temperatur, Termometret har været udsat for; ved lette Slag bringes Kviksølvet tilbage til Beholderen.

Vendetermometre bruges især til Maaling af Temperaturen i forskellige Vandlag. Det egentlige Termometer har foroven en stor Beholder og før Maalingen holdes Termometret med denne Beholder, som indeholder Kviksølvet, vendt nedad. Kviksølvet vil da ved

de Temperaturer, det omfatter, staa et Stykke ind i det egentlige Temperaturrør; i Passagen imellem har Røret en Indsnævring, hvor Kviksølvet let skiller. Naar Termometret angtages at have den Temperatur, der skal maales, vendes det ved en særlig Mekanisme, saa den egentlige Termometerbeholder kommer til at vende nedad og fyldes af det Kviksølv, som er afskaaret af Indsnævringen og nu, som i et almindeligt Termometer, staa et Stykke op i Termometer-røret, der er forsynet med en Skala.

Naar man aflæser Termometret ved en anden Temperatur end den maalte, vil dette have Indflydelse paa Termometrets Visning, og der er derfor sammenbygget et Hjælpertermometer med Hovedtermometret. Af de to Termometres Angivelser beregnes derfor en Korrektur, der adderes med Fortegn til den aflæste Temperatur.

Korrektionen beregnes af Formlen

$$k = \frac{d(v_0 + T)(T \div t)}{1 \div d(v_0 + T \div t)}$$

hvor d er Forskellen mellem Kviksølvets og Glassets Udvidelseskoefficienter,

v_0 er Rumfanget af den afbrudte Kviksølv søjle ved Standen $0,0$ i $^{\circ}\text{C}$; denne Størrelse er af Fabrikanten angivet paa Termometret,

T er Aflæsningen paa Hovedtermometret,

t er Aflæsningen paa Hjælpertermometret.

Da Korrektionen kan naa Værdier paa ca. \pm en Grad, er Hjælpertermometret uundværligt.

Til Maaling af Temperaturen i Vandets Overflade er konstrueret Termometre med særligt udformede Beholdere, og til Maaling af Jordbundstemperaturer benytter man Termometre med lang Stilk, d.v.s. at Termometerrøret mellem Beholderen og Skalaen er forlænget.

Til Regulering af Temperaturen i Termostater anvender man Termometre, der ved en bestemt Temperatur automatisk sætter Regulationsmekanismen i Gang. Kviksølvtermometre egner sig fortræffeligt til saadanne Kontakttermometre, idet man i Glasset indsmelter Platintraade, saaledes at Kviksølv ved en bestemt Stand slutter en elektrisk Strøm, som derpaa gennem et Relais udløser de Mekanismer, man ønsker. Der findes baade Kontakttermometre med fast indbyggede Elektroder og saadanne, hvor den ene Elektrode kan flyttes til en ønsket Temperatur. En særlig følsom

Form for et Kontakttermometer er Termoregulatoren, hvis Beholder er meget stor og fyldt med Toluol; Varmeudvidelsen af Toluolen bevæger en Kviksølv søjle i et Kapillarrør op mod en Platinelektrode. Finindstillingen af Kviksølvet sker ved en Mikrometerskrue i et paasmeltet Siderør.

Vædske termometre. I mange Termometre anvender man som Fyldevædske ikke Kviksølv, men et organisk Stof. Det drejer sig her om mange forskellige Vædsker, og man anvender i Almindelighed saadanne, hvis Rumudvidelse ved en bestemt Temperaturforøgelse er stor, indtil 10 Gange Kviksølvets; Glassets Udvidelse kommer naturligvis derved til at spille en tilsvarende mindre Rolle.

Den just omtalte Termoregulator er jo egentlig et Vædske termometer. Endvidere er Frysepunktet for de fleste af disse Vædsker meget lavere end Kviksølvets, der jo allerede fryser ved $\div 39^{\circ}$. Imidlertid er Ulemperne ved Vædske termometrene alligevel mange flere end Fordelene. Først og fremmest er Udvidelseskoefficienten ikke konstant, saaledes, at det er umuligt at ekstrapolere Termometerskalaen, og, hvis der ikke foreligger mange Standardiseringspunkter, er det endog ogsaa umuligt at interpolere. Endvidere har organiske Vædsker en meget større Adhæsion til Glasset, hvorved der let opstaar en Fejl, ligesom ogsaa Søjlen let gaar itu. I adskillige Tilfælde maa der ogsaa tages Hensyn til Vædskens Viskositet; ved en Maaling af lave Temperaturer maa man derfor altid afkøle et Vædske termometer meget langsomt. Mens Kviksølvets Destillation, hvor det ikke drejer sig om meget høje Temperaturer og den yderste Nøjagtighed ved Maalingen, kan lades ude af Betragtning, maa Vædske termometrene i Almindelighed være fyldt med en indifferent Luftart for at forhindre Vædskens Destillation. Imidlertid ændrer Trykket af den indespærrede Luft sig dels direkte med Temperaturen efter Gay-Lussacs Lov, dels vil Rumfangsforandringen af Luften som Følge af Termometervædskens Udvidelse og Sammentrækning give Ændringer i Trykket efter Boyle-Mariottes Lov, der vil gaa i samme Retning, og som tilsammen bevirker yderligere Komplikationer ved Fastlæggelsen af en Skala. Paa den anden Side hænder det ogsaa, at en Del af Luften opløses af Vædsken, især efter at Termometret i længere Tid har været benyttet ved højere Temperatur, hvorved Luftens Modtryk formindskes; ved høj, konstant Temperatur vil Termometret stige.

Hvis Vædsken er farveløs, er det undertiden meget vanskeligt at opdage smaa Lufthløer i den, hvorved Termometret kan komme til at vise meget galt. Dels for lettere at opdage Lufthløer og dels

for at gøre Termometret lettere at aflæse, tilsættes ofte Farvestoffer, men dette har til Gengæld den Fejl, at disse Farvestoffer i Tidens Løb udskilles og derved formindsker Rumfanget; paa denne Maade kan fremkomme Fejl paa flere Grader. Meget ofte er den anvendte Luft ikke fuldstændig indifferent — det er som Regel atmosfærisk Luft, der anvendes — og den kan indeholde forskellige Urenheder, som kan indvirke paa Termometervædsken og i Løbet af kort Tid gøre Termometret aldeles uanvendeligt.

Men selv farveløse Termometervædske under virkelig indifferent Luft vil i Tidens Løb omdannes ved Polymerisering og lignende Processer, der bevirker en Nulpunktsdepression. Det er det, der i Fagsproget hedder, at „Vædsken gemmer sig“.

Man vil forstaa, at man kun bruger Vædske-termometre til ganske specielt Brug, først og fremmest ved lave Temperaturer og især som Minimum-termometre. I disse er der i Vædsken anbragt en Stift, der, naar Vædskeoverfladen trækker sig tilbage, følger med paa Grund af Overfladespændingen, og naar Temperaturen stiger, bliver liggende og viser Termometrets laveste Stand. Ved Hjælp af en Magnet bringes Stiften, der som Regel er et lille hult Glaslegeme, hvori der findes lidt Jernspaaner, tilbage til Vædskeoverfladen; i visse Termometre flyttes Stiften blot ved Hjælp af Tyngdekraften, idet Termometret holdes med Beholderen opad. Minimum-termometret anvendes altid vandret for at undgaa, at Stiften flytter sig af sig selv. Der kræves megen Omhu for at undgaa Fejl af denne Art. En særlig Form for et Ekstrem-termometer er det saakaldte Six-Termometer, et kombineret Maksimum- og Minimum-termometer, der imidlertid maa siges at være ganske uanvendelig til videnskabeligt Brug. Six-Termometrene har en stor Udbredelse som en Slags Vinduespynt, men anvendes desværre ikke sjældent af Folk, der burde vide bedre Besked.

Deformationstermometrene. Som Modsætning til de Termometre, der, som de i det foregaaende beskrevne, beror paa Vædske (og Luftarters) direkte Udvidelse, findes der andre, hvor Rumfangsforandringen viser sig som en Formændring, de saakaldte Deformationstermometre. De anvendes særlig i Termografer. Det drejer sig først og fremmest om Bimetaltermometrene, hvis Følelegeme er en Strimmel af to Metalplader med forskellig Varmeudvidelseskoefficient, der er svejset sammen med Fladerne mod hinanden, og som derfor krummer sig ved Temperaturændringer. Man fikserer den ene Ende af en saadan Strimmel, medens den anden Ende bevæger et Vægtstangssystem; herved overføres Bevægelsen forstørret

til en Viser eller en Anordning, der skriver paa en roterende Tromle. Forskellige Metallegeringer anvendes, men de er af højst ulige Værd.

Det er ikke svært selv at fremstille en Termograf af en Blikdaase, et Urværk (man kan nøjes med et Vækkeurværk) og en Bimetalstrimmel, men man bør lægge Vægt paa, at Bimetallet er saa godt som muligt.

Jævnlig anvendes i Stedet for Bimetallet et vædskefyld Bourdonrør, en krummet Metalkapsel, der er fuldstændig fyldt med en Vædske, som udvider sig ved stigende Temperatur, og som bevirker, at Røret rettes ud.

Undertiden er ved Termografer Følelegemet forbundet med Visersystemet ved et langt, bøjeligt Rør, der er helt fyldt med Vædske; man kan herved blive i Stand til at maale Temperaturen i indtil et halvt Hundrede Meters Afstand; men med Nøjagtigheden er det ikke meget bevendt.

Ogsaa til Termoregulatorer er Bimetal i høj Grad anvendelige. Man lader den frie Spids af en Bimetalstrimmel (overtrukket med en Smule Platinblik) direkte danne Kontakt med en indstillelig Skrue med Platinspids. En grov, men meget billig Termoregulator kan faas af de smaa Sikringer, der bruges i elektriske Strygjern, der netop er bygget efter dette Princip.

Elektriske Termometre. Principielt ganske forskellige fra alle de hidtil omtalte Termometre, der jo alle beroede paa forskellige Stoffers Rumfangsforandringer ved forskellige Temperaturer, er de elektriske Termometre.

Den første af disse Metoder beror paa, at en elektrisk Leders Modstand ændrer sig med Temperaturen (Tabel 3).

I Modstandstermometret er Følelegemet en ganske tynd Metaltraad, oftest en Platintraad, gennem hvilken der gaar en meget svag Strøm. Rent teoretisk kunde man naturligvis direkte maale Strømændringer, men i Praksis er det altid nødvendigt, at anvende en Broopstilling. Broopstillinger med Kompensation tjener til at udligne den Fejl, der opstaar ved Ændring af Temperaturen i Ledningerne, naar Følelegemet er langt fra Maaleapparatet. Ved Hjælp af et Krydsspolegalvanometer med to Spoler, der er viklet saaledes, at Galvanometeret ikke gør noget Udslag, naar den samme Strøm gennemløber begge Spolerne, faas den højeste Følsomhed. Modstandstermometret ligger i den ene Spoles Strømkreds, en kendt variabel Modstand i den anden; faar begge Strømkredse Strøm fra samme Kilde, og anvendes en særlig Opstilling, kan man maale

Tabel 3.

Materiale	Modstand i Ohm i en Ledning 1 m lang 1 mm ² i Tværsnit ved 18° C.	Temperaturkoefficient
Ag.....	0,016	0,0041
Cu.....	0,017	0,0043
Au.....	0,023	0,0040
Pt.....	0,108	0,0039
Pt teknisk.....	0,14	0,002—0,003
Ni.....	0,08—0,11	0,0067
Fe.....	0,09—0,15	0,0066
Tantal.....	0,15	0,0035
Konstantan.....	0,49	± 0,00003—+ 0,00005
Manganin.....	0,42	0,00003
Nikkelin.....	0,42	0,00023
Nysølv.....	0,16—0,40	0,00023—0,0006
Kromnikkel.....	1,2	0,0001

uden at behøve at tage Hensyn til Ændringer i Ledningerne eller i Strømkilden.

Modstandstermometre bruges meget i Teknikken, hvor man ofte lader flere (3, 6, 12) Termometre have fælles Galvanometer, og man registrerer da ofte Udslaget saaledes, at hvert Termometer paa en fælles Tromle nedskriver sin Gang med en bestemt Farve, idet Termometrene efter Tur indskydes og paavirker det samme Galvanometer.

Platintraaden er ved almindelige tekniske Modstandstermometre viklet paa en Porcellænsstav med korsformet Tværsnit og nedstukket i en Skede af Porcellæn til Beskyttelse. Til mikroklimatisk Brug, vil man utvivlsomt foretrække selv at fremstille sine Følelegemer i saa let og spinkel Udførelse som muligt, hvorved Følsomheden stiger og Trægheden bliver mindre. Indenfor det Temperaturomraade, Økologer arbejder ved, kan man ligesaa godt bruge en Kobbertraad som en Platintraad; kun maa den naturligvis beskyttes med Lak eller lignende mod at irre.

Den anden Form for elektrisk Temperaturmaaling beror paa følgende Forhold: Naar to elektriske Ledere berører hinanden i to Punkter, vil der, hvis Berøringspunkterne har forskellig Temperatur, gaa en elektrisk Strøm gennem Lederne. Strømmen vil i det varmeste Kontaktpunkt gaa fra det Metal, der staar lavest i Spændingsrækken til det, der staar højest. Den elektromotoriske Kraft afhænger af Ledernes Plads i Spændingsrækken og Temperaturforskellen.

Ved de smaa Temperaturforskelle, som Økologer kommer ud for, er Spændingen proportional med Temperaturen.

Kender man Spændingsforskellen, kan man altsaa finde Temperaturforskellen mellem de to Berøringspunkter; kender man desuden Temperaturen af det ene Punkt, kan man beregne det andet Punkts Temperatur.

Termoelektricitet har været kendt meget længe, fra 1821, og paa Ørsteds og Faradays Tid var det den eneste Maade, man havde, til at frembringe Elektricitet af højere Spænding. Man brugte en Stabel Plader af to Metaller, anbragt skiftevis og med Isolering paa passende Steder og varmede den ene Side af alle Pladerne og kølede den anden.

I Tabel 4 er angivet en Række vigtige Metaller Plads i Spændingsrækken.

Tabel 4.

Vismut	0
Konstantan	32
Patentnikkel	38
Kobolt	48
Nikkel	51
Bly	61
10 % Platin-Rhodium...	61
Platin	66
Kviksølv	67
Guld	71
Messing	71
Zink	73
Kobber	74
Sølv	74
Jærn	83
Antimon	100
Tellur	200

Den termoelektriske Kraft udtrykt i Mikrovolt pr. Grad mellem to af disse Metaller, er Forskellen mellem de angivne Tal (der forøvrigt alle er omtrentlige) f. Eks.:

Platin — Platin-Rhodium.....	5	Volt 10^{-6}	pr. Grad
Kobber — Konstantan.....	42	»	»
Jærn — Konstantan.....	51	»	»
Jærn — Vismut.....	83	»	»

Angaaende Valget af Metaller kan nævnes, at Platinelementerne er teknisk mest anvendte, men først kommer i Betragtning ved højere Temperatur. Konstantanelementerne kan anvendes op til 600—700° og helt ned til $\div 185^{\circ}$. Kobber er det letteste, Jærn og Antimon de følsomste Metaller at anvende sammen med Konstantan. For Økologen, der selv skal fremstille sine Elementer, er Kobber-Konstantan den nemmeste Kombination at have at gøre med, selv om Jærn-Konstantan er omtrent 20 % følsommere.

Den almindeligste Opstilling er følgende: Man samler to Traade, en af hvert Metal, i den ene Ende, og faar herved det Kontaktsted, der er Føleorganet. De to andre Ender af Traadene forbindes med Galvanometret, helst med Traade af samme Metal som Galvanometrets Klemskruer. Hyppigst lodder man Kontaktstederne sammen, men man kan forøvrigt ligesaa gerne paa anden Vis tilvejebringe Kontakten mellem Traadene, ved omhyggelig Sammensnoning, Slaglodning eller Svejsning; til meget tynde Ledninger anvendes særlige Metoder. Men da Lodning er den almindeligste Fremgangsmaade, bruges almindeligt den noget uheldige Terminologi: det „varme Loddested“ om Føleorganet, og det „kolde Loddested“ om de andre Kontaktsteder, idet disse skal have samme meget konstante Temperatur og derfor, især tidligere, var anbragt i Isvand.

Med nogen Fordel kan man anvende en simplere Metode (Fig 5).

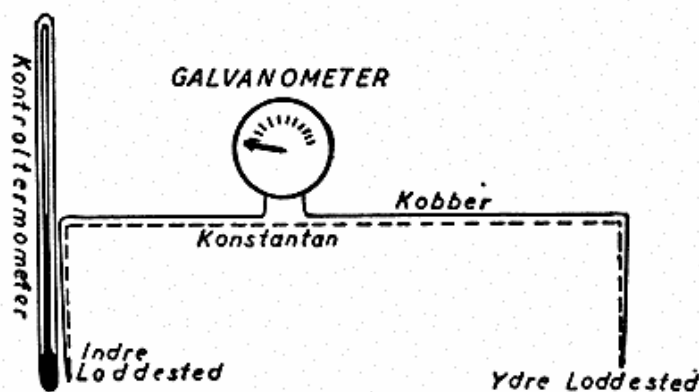


Fig. 5.

De to Ledninger forbindes i begge Ender og den ene af dem over-skæres og føres til Galvanometret. Man har da kun to Kontaktsteder, Føleorganet eller det ydre Kontaktsted og det indre Kontaktsted, hvis Temperatur kontrolleres ved at være fastgjort til Beholderen paa et tilstrækkeligt følsomt Kviksølvtermometer, der holdes nedsænket i en Vandtermostat eller blot et Vandbad, som holdes paa en Temperatur omtrent i Midten af det Temperaturinterval, man venter at skulle maale.

Mens Føleorganet undertiden med Fordel kan fremstilles af meget tynd Traad, bør man iøvrigt ikke bruge for tynde Ledninger; meget anvendelig er Siemens berømte Lakpapiertraad, der er af meget rent Kobber og glimrende isoleret. Den er 0,8 mm i Diameter og Konstantraaden maa helst ikke, hvor der er Tale om nogenlunde lange Ledninger, være meget under 1 mm.

Ligesom ved Modstandsmaaling kan man bruge Kompensationsmetoder og Broopstillinger for at forøge Nøjagtigheden; til økologiske Formaal vil dette dog næsten altid være overflødigt.

Den vanskeligste og kostbareste Del af en termoelektrisk Opstilling er Galvanometret. Det bekvemteste er et Visergalvanometer, der let lader sig transportere, mens Spejlgalvanometrene kræver en særlig Opstilling, men til Gengæld er meget følsommere og billigere. Et saakaldt Skolegalvanometer til et halvt Hundrede Kroner kan give en Nøjagtighed af $0,05^\circ$; men da Udsvinget, der kan anvendes ved Spejlgalvanometre, i Almindelighed kun svarer til 8—10 Grader, maa man indskyde passende Modstande, der nedsætter Følsomheden — men naturligvis ogsaa Nøjagtigheden. Man maa overalt, hvor man indskyder Modstande, Afbrydere eller lignende i et termoelektrisk System, have Opmærksomheden henvendt paa Muligheden af sekundære Termovirkninger ved Kontakterne til saadanne Elementer, dette gælder ikke mindst, naar man ved en flerpolet Omskifter kan bringe flere ydre Kontaktsteder i Forbindelse med samme indre efter Tur.

Lange Ledninger ud i Terrænet kan ikke oplægges som Telefontraade, da det virker forstyrrende paa Maalingerne, hvis Ledningen bevæges af Blæsten i Jordens Magnetfelt, hvorved der induceres Strømme i Ledningerne. Bedst er at trække Ledningerne lavt over Overfladen (10—20 cm) og fastgøre dem med Isolerbaand til korte Tonkinpinde eller lignende.

Hvis man forbinder et større Antal f. Eks. Kobber- og Konstantraade skiftevis, og anvender hverandet Kontaktsted som indre og hvert andet som ydre, vil man faa forøget Termokraften betydeligt, teoretisk proportionalt med Antallet af Kontaktsteder; imidlertid maa man som Regel samtidigt af Pladshensyn gøre Ledningerne tyndere, hvorved Modstanden bliver større, og Effekten langt fra saa store som man kunde vente. Man har til visse Formaal anvendt over hundrede Kontaktpunkter.

Vil man nu tilsidst gøre op hvilken Type Termometer, der er bedst egnet til økologiske Undersøgelser, maa man i hvert enkelt

Tilfælde gøre sig klart, hvad man har Brug for, og Spørgsmaalet lader sig derfor ikke besvare i Almindelighed.

Universalinstrumentet er naturligvis Kviksølvtermometret, hvoraf man bør have et, man selv har sammenlignet med et Normaltermometer. Det maa her bemærkes, at man ikke kan stole paa Fabrikanten og Forhandleres Justeringer og at derfor det Normaltermometer, man justerer efter, skal være justeret af en officiel Institution som f. Eks. Physik.-Techn. Reichsanstalt (P.T.R.) i Charlottenlund.

Foruden de almindelige Laboratoriumtermometre, kan det anbefales, at bruge korte Kviksølvtermometre fra -10 til 60° inddelt i hele Grader; de faas i en ganske billig Udførelse med Papirskala, hvor man i Almindelighed kan stole paa halve Grader, selv om man selvfølgelig bør prøve dem ved nogle Temperaturer, før man tager dem i Brug og ogsaa senere.

Maksimum og Minimumtermometre bør man, saa vidt det er muligt, undlade at bruge, men i Stedet for opstille en Termograf eller, over kortere Perioder, aflæse med den nødvendige Hyppighed.

Kviksølvtermometrenes Følsomhed ligger maximalt omkring $0,01^{\circ}$ — $0,001^{\circ}$, mens Deformationstermometrene næppe kan blive stort bedre end $0,1^{\circ}$. De elektriske Termometre er derimod næsten ubegrænset følsomme, man har anvendt dem til henimod en Milliontedel Grad. For Økologer ligger disse Termometres store Fordel dog paa et andet Omraade, nemlig deri, at de kan dimensioneres ned til aldeles forsvindende Mængder. Dette har mange Fordele: For det første bliver man derved i Stand til at maale Temperaturen netop paa det Sted, hvor man vil kende den; for det andet, er det saa smaa Varmemængder, der er knyttet til en Termonaal, at de i Almindelighed næppe kan paavirke Omgivelserne, saaledes at Varmeudligningen bestaar i, at Termonaalen antager Omgivelsernes Temperatur og ikke, som et Kviksølvtermometer i en daarlig

Instrument	Træghedskoefficienten: Antal Sekunder om 1° Temperaturstigning
Bourdon Termografer.	33—72
Vædske-termometer, ribbet beh.....	30—57
Kviksølvtermometre	17—28
Indkapslede Modstandstermometre	12—17
Bimetaltermograf —	13—15
Modstandstermometre	3—4

Leder, viser en Mellemtid mellem dets egen oprindelige Temperatur, og Omgivelsernes, og endelig for det tredje, at den Tid, Udligningen tager, er saa umaadeligt meget kortere end for nogen anden Termometertype (Tabel 4), hvorved smaa hastige Ændringer af Temperaturen kan observeres, saasom den Temperaturflimren, der findes over en solbeskinnet Overflade.

III. *Straalingsmaaling.*

De forskellige Metoder til Maaling af Straaling kan inddeles efter hvorvidt Maalingen overvejende tager Sigte paa at bestemme de kortbølgede, først og fremmest kemisk virksomme Dele af Spektret, eller de langbølgede Varmestraaler. Af alle de mangfoldige Instrumenter skal her blot et Par af de simpleste omtales.

Den nemmeste Maade at bestemme den kortbølgede Straaling paa er, især hvis man ønsker at kende den samlede Sum af Straaling i Løbet af en vis Tid, at kopiere et Standardnegativ paa et Stykke Dagslyspapir. Negativet kan f. Eks. som ved Eder-Hechts Graakilefotometer, bestaa af en Serie trinvis Sværtningsgrader, hver forsynet med et Nummer; det højeste Nummer, der kan ses paa Kopipapiret, angiver ved Sammenhold med en Justeringstabel et Udtryk for den kemisk virksomme Lysmængde, Apparatet under Eksponeringen har været udsat for. Metoden er ingenlunde fejlfri, men under visse Forhold ganske nyttig, og i hvert Fald nem og billig.

Til Maaling af den øjeblikkelige Lysintensitet er Fotoceller at foretrække; de er dog enten temmeligt kostbare eller som de saakaldte „Spærrelagsceller“ for upaalidelige til videnskabeligt Brug. Spærrelagscellerne; de beror paa, at der opstaar elektromotoriske Kræfter, naar en Lysstraale træffer Grænselaget mellem et Metal og en Ikke-leder, anvendes meget som Hjælpemiddel i Fotografien, hvor deres Upaalidelighed ikke gør videre Fortræd, idet moderne Negativmateriale taaler adskillige hundrede Procents Fejl i Skønnet af Belysningsintensiteten, og de her frembyder Fordele fremfor de endnu mere usikre Metoder, der beror paa en subjektiv Skøn.

Til Maaling af den samlede Straaling findes et Utal af Instrumenter, til Grund for hvilke i Almindelighed ligger det Princip, at man sammenligner Temperaturen maalt dels med Instrumenter, der beskyttes mod Straaling, og dels saadanne, der f. Eks. ved Sværtning indsuger alle Straaler. En simpel Udførelse er Robitzsch Bimetalpyrometer, hvor et System af modsat virkende hvid- og sortmalede Bimetalstrimler ved deres Temperaturforskul bevæger en Viseranordning, der skriver paa en roterende Tromle.

Til kvantitativ Maaling af den direkte Solstraaling tjener Åstrøms Kompensationspyrheliometer, der bestaar af to Manganinplader, hvis Temperaturforskell kontrolleres termoelektrisk. Den ene Plade udsættes for Solskinnet, den anden holdes i Skygge; den sidste opvarmes ved Hjælp af en elektrisk Varmetraad saaledes, at de to Pladers Temperatur stadigt er ens. Den forbrugte Elektricitetsmængde er et direkte Udtryk for Solstraalingens Energi.

For Økologen ligger Opgaven ofte mindre i den kvantitative Bestemmelse af Straalingsintensiteten, end i det simple Spørgsmaal:

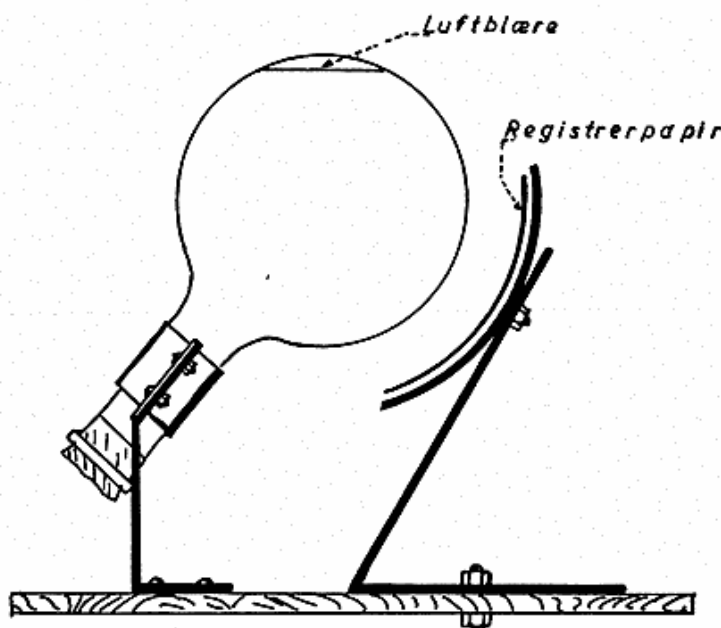


Fig. 6.

er det Solskin eller ej; har Organismerne været udsat for det typiske Indstraalingsklimas voldsomme Indflydelse, eller har det været en Graavejrsdag med praktisk set ens Temperatur overalt?

Til Besvarelse af dette Spørgsmaal har Økologen en fortræffelig Hjælp i Solskinsautografen. Dette yderst simple Apparat bestaar af en Glaskugle, i hvis Brændplan er anbragt en Papirstrimmel, i hvilken Billedet af Solen brænder en Prik, der efterhaanden som Solen bevæger sig over Himlen bliver til en Streg indbrændt i Papiret. Apparatet er temmeligt kostbart, fordi det er vanskeligt at fremstille en fejlfri Glaskugle af passende Dimensioner. Men man kan let selv fremstille en Solskinsautograf ved at anvende en rundbundet Glaskolbe med et Rumfang paa ca. en Liter og fylde den med Vand eller (om Vinteren) Alkohol; man bør lade en lille Luftblære blive tilbage i den fyldte, tilproppede Kolbe, som derpaa anbringes som vist i Fig. 6. Som Registrerpapir kan bruges sort

Glanspapir. Timeudmaalingen foretages med en Skala, indridset paa et Stykke Celluloid efter en empirisk Udmaaling paa Apparatet.

Resultatet angives enten som Antal Solskinstimer, eller som Procent af det mulige Antal Timer Solskin.

IV. Fugtighedsmaaling.

Ved Luftens Fugtighed forstaar man Luftens Indhold af Vanddamp. Den kan angives ligefrem som saa og saa stor en Del af Luften, og dette kan enten udtrykkes som Gram Vanddamp pr. l Luft eller som Partialtrykket, idet man erindrer *Dalton's Lov*: at i en Blanding af flere Luftarter, vil det samlede Tryk være lig med Summen af de enkelte Komponenters Partialtryk, der hver for sig vil virke ganske uafhængigt af de andre. Det maa ogsaa erindres, at naar man lader Mængden af Vanddamp i Luften vokse, vil den blive mættet ved et Partialtryk, der afhænger af Luftens Temperatur; Vanddampens Partialtryk vil da være lige med Mætningstrykket. Man siger, at Luften er mættet med Vanddamp; det er egentligt ukorrekt, Vanddampens Mætningstryk er jo netop uafhængigt af, om der er andre Luftarter til Stede.

Imidlertid udøver Vanddampen i Luften ganske fortrinsvis sin Indflydelse paa biologiske Processer ved at virke regulerende paa Fordampningen.

Fordampningen, den Mængde Vand en Organisme afgiver i Dampform i en bestemt Tid, afhænger bl. a. af Luftens Vanddampindhold. Men det er ikke den før omtalte absolutte Mængde Vanddamp i Luften, der er afgørende; Fordampningen afhænger derimod af, hvor langt Vanddampene i Luften er fra at være mættet, og man opererer derfor ganske overvejende i Biologien med den relative Fugtighed (r. F.), det vil sige Forholdet mellem den Mængde Vanddamp, der er i Luften (e) og den Mængde, der vilde være, hvis Luften var mættet ved Fugtighed (E). Dette kan vi ogsaa udtrykke saaledes, at den r. F. er Forholdet mellem Vanddampenes aktuelle Partialtryk og deres Mætningstryk ved den givne Temperatur

$$100 \frac{e}{E}$$

I Stedet for relativ Fugtighed taler man ikke sjældent om Mætningsdeficit, Forskellen mellem Mætningstrykket og det forhaandenværende Damptryk, altsaa $E - e$. Ved Betragtninger over Luftfugtighedens Indflydelse paa Fordampning er dette Udtryk det korrekte.

For at kunne bestemme den r. F. kræves altsaa Bestemmelse af to Tal: dels Mætningstrykket ved den angivne Temperatur og dels Bestemmelse af Partialtrykket. Fysikerne har for længst maalt Vanddampenes Mætningstryk ved forskellige Temperaturer. Saa snart Mætningspunktet er overskredet, vil den mættede Damp være i Berøring med Vand i fast eller flydende Form. Det viser sig nu at være af Vigtighed, hvorledes denne anden Fases Overflade er, først og fremmest om det er Is eller Vand, men desuden om den er plan eller krum, som f. Eks. Regndraaber. I Almindelighed vil man i de sædvanlige Damptryktabeller kunne finde Mætningstrykket angivet med den tilstrækkelige Nøjagtighed for plane Overflader af Is og Vand.

Ulige vanskeligere er det at bestemme Mængden af Vanddamp i Luften. Fremgangsmaaden her er først og fremmest den, at man afkøler Luften, til den naar den Temperatur, ved hvilken de for Haanden værende Vanddampe i Luften er mættet; naar denne Temperatur er bestemt, kan man i en Damptrykstabel finde det Mætningstryk, der svarer til denne Temperatur. Man har da Vanddampens Partialtryk ved de Forhold, der skal undersøges, og beregner uden videre Mætningsdeficit eller den relative Fugtighed. Vanskeligheden ligger i at bestemme den Temperatur, ved hvilken Vanddampene just er mættet; inden jeg nu gaar over til at gøre Sagen endnu mere uigennemsigtig ved at forklare disse Vanskeligheder, vil vi et Øjeblik betragte vort væsentligste Hjælpemiddel til at bestemme denne Temperatur, nemlig Psykrometrets vaade Termometer. I *August's* Psykrometer findes som bekendt to Termometre, af hvilken det ene angiver Luftens Temperatur, medens det andet holdes fugtigt ved Hjælp af en Væge og angiver en lavere Temperatur, der staar i et vist Forhold til Mætningstemperaturen for de for Haanden værende Vanddampe. Man finder ofte den Forestilling, at det vaade Termometer angiver Mætningstemperaturen; dette er dog ikke Tilfældet. En af de største Vanskeligheder er den, at det vaade Termometer i stillestaaende Luft omgives med en Kappe af fugtig Luft, der nedsætter Fordampningen, hvorved Termometret kommer til at angive en for høj Temperatur; man vil altsaa finde r. F. for høj, Mætningsdeficit for lav. Dette kan man nu forholdsvis let komme ud over, idet man sørger for, at der finder en tilstrækkelig livlig Luftfornyelse Sted omkring Termometerbeholderen, hvilket enten kan ske ved, at man bevæger Termometret eller ved, at man suger Luften forbi det. Dette finder f. Eks. Sted i det *Assmanske* Aspirationspsykrometer, der bestaar af 2 Termometre, anbragt saaledes, at deres Beholdere befinder sig

inden i et dobbeltvægget Metalrør, de to Grene bøjer til Side og forenes til et fælles Rør, ved Siden af hvilket Termometrets Skala- del er synlig, Røret fører op til en lille Ventilator, der drives af et Urværk, som befinder sig øverst i Apparatet. Ventilatoren suger Luften ligelig gennem det λ -formede Rørs Grene, saaledes at Termometrenes Beholdere befinder sig i en Luftstrøm, hvis Hastighed afhænger af Ventilatorens Hastighed, der igen kan iagttages paa Urværket; Lufthastigheden maa ikke være under to m/Sek. Termometrets Beholder er omgivet af en Sok, der før Maalingen fugtes med Vand; Instrumentet regnes for at være særdeles paalideligt.

Vanddampenes Partialtryk bestemmes nu efter Psykrometerformlen, der lyder saaledes:

$$e_L = E_f \div \frac{p}{1560} (T_1 \div T_f)$$

hvor e_L er Vanddampenes Partialtryk og E_f er Vanddampenes Mætningstryk ved det fugtige Termometers Temperatur (T_f); T_1 og Luftens Temperatur, som angives af det tørre Termometer og p er Lufttrykket i mm. Psykrometerkonstanten $\frac{p}{1560}$ gælder for Vand, for Is er den $\frac{p}{1770}$. For Vand og normal Barometerstand kan den uden videre sættes lig med $\frac{1}{2}$, og Formlen for r. F. bliver da:

$$F = \frac{E \div \frac{T_e \div T_f}{2}}{E_L}$$

hvor E_L er Vanddampenes Mætningstryk ved Luftens Temperatur. De Tal, der anvendes, er empirisk fundne og er noget højere end i en Damptryktabel, der jo blot angiver Damptrykket over en plan Vandoverflade. Damptrykforhøjelsen skyldes Sokkens kapilare Kraftvirkning og er derfor afhængig af, hvilket Stof der er anvendt til Sokken.

En Hørlærredssok (Leinen mousseline) giver en Damptryksforhøjelse paa 0,05 mm, Uldstoffer (Woll popelin) en Forhøjelse paa 0,2—0,3 mm. Er det tørre Termometer paa 20° og det fugtige paa 12°, giver de to Stoffer en r. F. paa henholdsvis 37,2 % og 38,9 % (Robitsch 1935).

Foruden det aspirerede Psykrometer anvendes jævnlig almindelige Sammenstillinger af to Termometre, et tørt og et, der holdes fugtigt med en Væge, der dypper ned i en Vandbeholder. Saadanne Instrumenter kan give meget fejlagtige Resultater; dog findes udarbejdede Tabeller, der angiver Fejlene ved for ringe Ventilation. Man har ogsaa Regnestokke, ved hvilke man kan foretage Beregningen af Fugtigheden med de nødvendige Korrektioner.

Psykrometertabellerne er udarbejdet paa Basis af Fugtighedsbestemmelser ved Luftanalyse (Absorptionshygrometri). Der findes her forskellige Metoder, som jeg kort skal omtale:

- 1) Man kan suge en vis Mængde Luft gennem et Absorptionsmiddel f. Eks. H_2SO_4 (bedst anvendelig opsuget i pulveriseret Pimpsten), P_2O_5 , $CaCl_2$, eller H_3PO_4 , og man konstaterer Absorptionsmidlets Vægtforøgelse. Selv om der er en ret betydelig Temperaturforskel mellem Luften og Absorptionsmidlet, vil dette kun influere lidt paa Resultatet, under sædvanlige Forhold ikke over 3 %.
- 2) En vis Luftmængde afspærres i en Beholder af kendt Rumfang; Beholderen er forsynet med et Manometer. Ovenover Beholderen findes en Burette, der er forbunden med Beholderen ved et Glasrør, der er forsynet med en Hane. Man tilsætter nu Svovlsyre fra Buretten, hvorved Vanddampen absorberes, og Luftens Rumfang formindskes; man tilsætter derpaa yderligere Svovlsyre, til Rumfanget igen er det samme som før. Rumfanget af den tilsatte Svovlsyre er da lig med Rumfanget af den forsvundne Vandmængde. Det varer flere Timer, før Systemet er kommet i Ligevægt, og Temperaturvariationer har en stor og meget ubehagelig Indflydelse.
- 3) I Stedet for at maale Rumfangsforandringer ved konstant Tryk, kan man ogsaa bestemme Vanddampindholdet som Trykforandringer ved konstant Rumfang. Man forbinder Beholderen med den Del af Buretten, der befinder sig over Svovlsyren; som Manometervædske anvendes en Petroleumsdraabe.
- 4) Man kan ogsaa mætte Luften med Vanddamp og maale den Vandmængde, der bruges hertil.
- 5) Langt det sikreste Apparat er et, hvor man ganske som i almindelige *Haldane*-Luftanalyseapparater først maaler Rumfanget af en vis Luftmængde i en Burette og derpaa absorberer Fugtigheden i en Absorptionsbeholder med Dehydrit; efter Absorptionen trækker Luften sig tilbage i Buretten, og Rumfanget maales atter under konstant Tryk.

Hygrometre. Det almindeligste Apparat til Bestemmelse af Luftens Fugtighed er Haarhygrometret. Dette Apparat beror paa, at det menneskelige Haar bliver længere ved høj Fugtighed end ved lav, og denne Længdeforøgelse overføres til et Visersystem, der direkte angiver Fugtigheden paa en inddelt Skala. Det siges, at allerede *Leonorda da Vinci* var klar over denne Ejendommelighed ved det menneskelige Haar, men først *Saussere* omkring 1780 konstru-

erede det nu saa yndede Instrument. Netop i de allersidste Aar har dette Instrument vundet Indpas i meget stor Stil, ikke mindst fordi Centralvarmen i de moderne Lejligheder har skabt et Ønske om at kunne kontrollere Fugtigheden i Beboelseslejligheder.

Til videnskabeligt Brug er Haarhygrometre dog ikke anbefalelsesværdigt, med mindre Instrumenterne til Stadighed justeres (mindst en Gang om Maaneden). Jeg skal give et Eksempel paa, hvorledes nogle Hygrometre viste blot nogle faa Maaneder, efter de var blevet justeret.

Tabel 5.

Hygrometerangivelse	Virkelige $\frac{0}{0}$ r. F. bestemt med Psykrometer
70	71,0
68	61,9
61	58,7
48	46,9
69	67,4
78	71,8
65	86,0
66	74,1
60	55,0
62	50,0

Foruden Justeringen bør det maanedlige Eftersyn ogsaa omfatte en kortere Tids Ophold i dampmættet Luft, hvorved Haaret bliver smidigere.

Man maa desuden ved Haarhygrometre tage Hensyn til, at de, naar de er anbragt op ad en Væg, kan komme til at vise meget galt, idet deres Temperatur er Væggens og ikke Luftens; herved kan opstaa Fejl paa 5—10 % r. F. Endvidere kan Hygrometret kun anbringes stationært, pludselig Overførelse til en anden Temperatur

Tabel 6.

	Klokkeslet	Temp.	Relativ Fugtighed	
			Psykrom.	Gennemsnit af 6 Hygrometre
Laboratorium I	15 h 20'	21 ^o ,0	27,9	26,6
Dampfyldt Vaskerum	15 h 40'	21 ^o ,6	99,1	98,7
Laboratorium II	15 h 50'	20 ^o ,2	29,6	35,2
Fri Luft	16 h 00'	3 ^o ,2	57,5	31,1
Laboratorium IIIa	16 h 05'	19 ^o ,9	54,9	90,6
— IIIb	16 h 10'	20 ^o ,2	53,9	78,8

vil faa det til at vise fuldstændigt forkert. Seks justerede Hygrometre blev flyttet rundt til forskellige Steder i Løbet af en Time og viste de i Tabel 6 angivne Værdier.

Over 60° og under -45° kan man ikke anvende et Haarhygrometer.

Hvad det egentlig er, der sker med Haaret, ved man meget lidt om. Det synes, som om kun Menneskehaar kan anvendes: at blondt, kruset Haar skulde være særlig velegnet, er derimod ikke rigtigt. *Gay-Lussac* bestemte i sin Tid Haarets Udvidelse ved forskellige Fugtigheder. Jeg skal gengive nogle Tal, hvor Haarets Længde er angivet i % af Længden ved 100% r. F. (Tabel 7).

Tabel 7.

% r. Fugtighed	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Længde af Menneskehaar i % af total Ændring	0	20,9	38,8	52,8	63,7	72,82	79,2	85,2	90,5	95,4	100

Fugtighedsudvidelseskoefficienten er af Størrelsesorden 25 Gange 10^{-5} pr. % r. F.; Varmeudvidelseskoefficienten er kun en Femtededel heraf, nemlig $15 \cdot 10^{-6}$.

Da det ikke er svært selv at fremstille et Hygrometer eller eventuelt en Hygrograf, hvor man lader Viseren skrive paa en roterende Tromle, skal jeg kort angive, hvorledes man renser Haaret eller rettere Haar, da man staar sig ved at anvende et Bundt Haar; naar det skal være meget fint anbringes de enkelte Haar ved Siden af hinanden fastgjort til meget smaa Tværpinde, en i hver Ende, den saakaldte Haarharpe. Før Benyttelsen er det nødvendigt at foretage en meget grundig Affedtning, hvilket bedst gøres ved Behandling med varm, svag Kaliumhydroxyd; ved denne Behandling udvider Haaret sig og ruller sig op. Behandlingen maa foretages med megen Forsigtighed, idet lidt for stærk eller lidt for varm Kaliumhydroxyd eller lidt for langvarig Affedtning gør Haaret skørt eller forandrer det til nogle smaa graasorte Fnug. Umiddelbart efter Affedtningen udvaskes Haaret med mange Hold destilleret Vand, først 60° varmt, senere Stuetemperatur. Endelig tørres Haaret med Varsomhed ved Stuetemperatur og vil efter nogle Dages Forløb være anvendeligt.

Støv og Damp af forskellige Stoffer kan i høj Grad skade Hygrometret, men man kan beskytte det ved et Cellofanhylster, hvad der er uden Indflydelse paa Instrumentets Følsomhed, men forøger Trægheden til omtrent det dobbelte. De paalideligste Hygrometre

er de, hvor Haaret ligger mest frit. Det anbefales at anvende Agartraade i Stedet for Haar.

Man har ogsaa forsøgt at lægge en hygroskopisk Substans paa den ene Side af en blød Bronzestrimmel og rullet den til en Spiral; efter at det er lykkedes at fremstille en holdbar Betægning, frembyder denne Type (Hygrodan) væsentlige Fordele fremfor Haarhygrometre.

Hvis man lader Viseren paa et Hygrometer bevæge sig over en Modstandstraad, der indgaar i en Broopstilling, vil man kunne overføre dens Bevægelser til et Galvanometer og saaledes maale Luftfugtigheden i stor Afstand fra Maalestedet.

Endnu mere raffineret er dog den elektriske Hygrometeropstilling, hvor et vaadt og et tørt Modstandstermometer indgaar i en Broopstilling; for at gøre Galvanometret i Maalebroen strømløst forskyder denne Strøm selv en saadan Modstand, at Galvanometret igen bliver strømløst, og denne Bevægelse af Modstanden overføres til en Kymograf. Man har ogsaa beskrevet Apparater, der beror paa, at Vanddampens Vægtfylde er $\frac{5}{8}$ af tør Lufts; Vægtfyldeforskellen mellem fugtig og tør Luft benyttes da til at fremkalde en Luftbevægelse, som derpaa maales.

Til sidst skal jeg nævne en Bestemmelsesmetode, som efter i lang Tid vistnok kun at have figureret i Skolebøgerne, nu vender tilbage til videnskabelig Brug i Mikroklimatologien, idet den er særlig velegnet til at bestemme Fugtigheder med i smaa Luftmængder. Det er den saakaldte Dugpunktsbestemmelse, ved hvilken man afkøler et blankt Metallegeme, idet man til Stadighed kontrollerer dets Temperatur; i det Øjeblik, Temperaturen naar ned til Mætningstemperaturen for de for Haanden værende Vanddampe, vil der sætte sig Dug paa Metallegemet. I *Regnault's* Instrument suges Luften igennem Æter i en cylindrisk Beholder, mens der i *Daniell's* er to indbyrdes forbundne Beholdere med Æter; ved at afkøle den ene fremkaldes en Destillation i den anden Beholder, hvorved den afkøles under Dugpunktet. Dugpunktbestemmelsernes største Vanskelighed er, at der kræves en betydelig Rutine til at bestemme det Øjeblik, hvor Duggen just slaar sig ned paa den blanke Overflade.

Til mikroklimatisk Brug kan man anvende smaa Haarrør fyldt med forskellige Svovlsyreblandinger. De Svovlsyreblandinger, der svarer til højere Luftfugtigheder end den, der findes i Luften, vil afgive Vand til Atmosfæren; omvendt vil de Blandinger, der svarer til lavere Luftfugtigheder, optage Vand. De herved opstaaede Rumfangsforandringer kan let ses. I Rør med den Fortynding, der just svarer til Luftens Fugtighed, sker ingen Ændring.

Som en allersidste Metode skal omtales en, der dog kun kan betegnes som en Nødhjælp: Afvejede, tørre Papirstykker udlægges paa det Sted, hvor Fugtigheden skal maales, og vejes igen efter en passende Tids Forløb. Saa store Fejl der end maa hæfte ved denne Metode, vil den dog til visse Formaal være af Værdi.

Hygrostater. I Tilknytning til Bestemmelse af Luftfugtigheden vil det være naturligt at omtale, hvorledes den holdes konstant. Den ideelle Maade er den i Teknikken anvendte „air conditioning“, der bestaar i, at Ventilationsluften til det paagældende Rum først mættes med Vanddamp ved en konstant Temperatur og derpaa opvarmes til en passende Temperatur og Fugtighed. Ved Beregning af Forholdet mellem Temperaturerne og de af Temperaturændringerne bevirkede Fugtighedsændringer tjener det saakaldte Mollier-Diagram (se Tavlen).

I lukkede Beholdere bruger man forskellige Stoffer, der har en vis Dampspænding, til at regulere Luftfugtigheden. Disse Dampspændinger maales ved en meget omhyggelig Undersøgelse ved Dugpunktmetoden, og ved denne Teknik opnaaedes det at korrigere en Del af de ældre Angivelser, som det er vist i Tabel 8.

Tabel 8.

	Bestemt	Angivet
H ₂ O	96	100
K ₂ SO ₄	92	95
ZnSO ₄	83	90
KBr.	79	84
NaKl	75	76
NaNO ₂	64	65
NaHSO ₄	63	51
KNO ₂	63	42
CaCl ₂	32	32
KI ₂ H ₃ O ₂	25	20
LiCl	12	14

Almindeligt bruges forskellige Fortyndinger af Svovlsyre; bestemmer man med et Aræometer Vægtfylden af en fortyndet Svovlsyre, vil man af Tabel 9 kunne finde den tilsvarende Dampspænding. For andre anvendelige Stoffer findes Dampspændingerne angivet i Tabel 10.

Der foreligger en Undersøgelse over Vandfordampningen ved forskellige r. F. udført paa den Maade, at man i en lukket Beholder,

Tabel 9.

H ₂ SO ₄ %	0°		20°		25°		30°		Vægtfylde ved 18°
	e	F	e	F	e	F	e	F	
0	4,58	100	17,54	100	23,76	100	31,82	100	0,99986
10	4,40	96	16,95	97	22,75	96	30,75	97	1,0669
20	4,05	88	15,30	87	20,90	88	27,85	88	1,1406
30	3,40	74	13,10	75	17,85	75	23,65	74	1,2199
40	2,55	56	9,70	55	13,45	57	18,30	58	1,3043
50	1,50	33	6,05	34	8,50	36	12,00	38	1,397
60	0,65	14	2,80	16	4,00	17	5,65	18	1,500
70	0,10	2	0,75	4	0,95	4	1,75	5	1,612
75	—	—	—	—	0,40	2	—	—	1,676
80	—	—	—	—	0,15	1	—	—	1,729
85	—	—	—	—	0,05	0	—	—	1,781

Tabel 10.

CaCl ₂ %	0°		5,2°		18°		20°		Vægtfylde ved 18°
	e	F	e	F	e	F	e	F	
0	4,58	100	6,64	100	15,48	100	17,54	100	0,999
10	4,30	94	6,25	94	14,40	93	16,55	94	1,085
20	3,75	81	5,45	82	12,50	81	14,4	82	1,179
30	2,85	62	4,2	63	9,70	63	11,3	64	1,284
40	—	—	—	—	6,15	40	7,4	42	1,400
Mættet	1,8	39	2,5	38	5,45	35	6,15	35	—
KCl %									
0	4,58	100	6,64	100	—	—	17,54	100	0,9986
5	4,50	98	6,55	99	—	—	17,15	98	1,0308
10	4,35	95	6,35	96	—	—	16,65	95	1,0638
15	4,2	92	6,1	92	—	—	16,1	92	1,0978
20	4,05	88	5,9	89	—	—	15,6	89	1,1335
NaCl %									
0	4,58	100	6,64	100	15,48	100	17,54	100	0,999
5	4,4	96	6,5	97	15,0	97	17,0	97	1,035
10	4,3	94	6,2	93	14,4	93	16,3	93	1,071
15	4,2	90	5,9	89	13,7	89	15,5	89	1,109
20	3,8	84	5,6	84	12,9	83	14,5	83	1,149
25	3,5	76	5,1	77	12,0	77	13,4	76	—

Ca(NO ₃) ₂ %	0°		10°		20°		30°		Vægtfylde ved 18°
	e	F	e	F	e	F	e	F	
0	4,58	100	9,21	100	17,54	100	31,83	100	0,999
10	4,45	97	9,05	98	17,25	98	31,15	98	1,075
20	4,35	95	8,75	95	16,60	95	30,00	94	1,163
30	4,15	91	8,25	90	15,45	88	28,15	88	1,265
40	3,70	81	7,30	79	13,60	78	24,70	78	1,370
50	—	—	5,60	61	11,30	64	20,35	64	1,485
60	—	—	—	—	—	—	15,4	48	1,610

der er fyldt med det paagældende Kemikalie, maaler Fordampningen fra en fri Overflade; man fandt en retlinet Funktion mellem Fordampningen og den r. F. Temperaturafhængigheden fremgaar af Tabel 11.

Tabel 11.

	°C								
	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %	35 %	40 %
K ₂ SO ₄	—	—	98	100	99	100	97	—	96
KNO ₃	—	—	96	96	93	93	92	90	89
KCl.....	—	—	88	87	86	85	84	—	82
NaCl.....	—	—	76	77	76	76	76	—	76
NaNO ₃	—	—	—	—	76	76	73	—	70
NH ₄ NO ₃	—	—	75	70	67	63	60	—	53
Ca(NO ₃) + 4aq.	—	—	—	56	56	51	47	42	36
CaCl ₂ + 6aq ...	—	40	38	36	34	31	—	—	—
P ₂ O ₅	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Jordens Fugtighed. Den Fugtighed i Jorden, det drejer sig om for Dyrene, er vistnok den, der bestemmer Luftfugtigheden i den Luft, der findes i Porerne. Hvis man tager en Klump Jord og bestemmer dens Vandindhold ved at tørre den, vil man faa meget forskellige Resultater efter de forskellige Fremgangsmaader; det synes, som om Vandet dels kan være ganske mekanisk blandet med Jorden og dels være bundet til Partiklerne som en Vandhinde, og endelig kan der være større eller mindre Mængder af kolloidbundet Vand, afhængigt af den paagældende Jordart. Ved forskellige Tørremetoder frigøres vekslende Mængder af det kolloidbundne Vand, hvad der er Grunden til Bestemmelsernes Vanskelighed. Hvor meget det kolloidbundne Vand betyder for Dyrene, ved vi intet om, og i hvert Fald kan man ikke slutte fra

Jordens Vandindhold til den Dampspænding, der findes i Porerne. Man naar næppe længere frem uden at gribe til helt andre Metoder end Tørring og Vejning; jeg skal i denne Forbindelse nævne, at Bryggeriteknikere, der i gamle Dage havde omtrent de samme Kvaler ved Bestemmelse af Fugtighed i Maltten, nu bestemmer Fugtigheden som værende proportional med Dielektricitetskonstanten. Endvidere findes en hygroskopisk Metode og en Metode til at bestemme Modstand i det hygroskopisk bundne Vands Overflade. Vel anvendelig er ogsaa den ovenfor omtalte Haarrørs-metode. Endelig kan man anvende en porøs, lukket Lercylinder anbragt i Jorden og forbundet med et Manometer for at maale Jordbundens Kapillarkraft.

Nedbøren. Luftens Fugtighed bestemmes af Forholdet mellem Nedbøren og Fordampningen. Nedbøren maales ved Regnmaalere, der jo principielt ikke er andet end et Maaleglas, hvori opsamles den Regn, der falder paa et kendt Areal, i Almindelighed Overkanten af en Tragt. Nedbøren angives i mm, og dette skal forstaas paa den Maade, at en mm Regn er den Mængde Nedbør, der paa en plan Overflade, fra hvilken der ikke kan finde Afløbning eller Fordampning Sted, vil danne et Vandlag paa en mm Tykkelse; Regnmængden angives altsaa ikke pr. Arealenhed. Regnmængden varierer meget efter lokale Forhold, og man har søgt at faa Oplysninger om dette Forhold ved at opstille et større Antal Regnmaalere paa et begrænset Areal; 47 Regnmaalere opstillede i et Kors, hvis Akse hver var en mile lang, viste Forskelle paa 20—30 %. Fra Ørkenlaboratoriet i Arizona foreligger Undersøgelser over 24 Regnmaalere. Ved de enkelte Byger var der stor Forskel, men et Aars Gennemsnit gav ikke sikre Variationer. Det paagældende Klima har to Regntider, henholdsvis i Februar og August.

Den Del af Nedbøren, der falder som Dug, og som i mange Tilfælde er af meget stor Betydning for Dyrene, har man indtil de seneste Aar ikke haft noget Middel til at undersøge; man anvender nu de saakaldte *Leick'ske* Plader, det er Plader af Kiselgur og Gips. Pladernes Størrelse er 10×10×1 cm. De tørrede Plader udlægges ved Solnedgang og indtages igen ved Solopgang og deres Vægtforøgelse konstateres. Paa Steder, der ligger tæt ved hinanden, kan Vægtforøgelsen i samme Nat være saa forskellig som 2 gr paa en Plæne til 2 mg under Birketræer. Dugmængden syntes at have Minimum i den vertikale Fordeling i en Højde af 50—90 cm over Jorden.

Fordampning. Medens Maaling af Nedbør altsaa ikke volder nogen Vanskelighed — Regnmaalere kan ogsaa let gøres registrerende — er der store Vanskeligheder ved at maale Fordampningen. Et Instrument, der har fundet Indpas i de senere Aar, er det saakaldte Evaporimeter, der principielt bestaar af en porøs Kugle fyldt med Vand, hvis Fordampning derpaa maales. Da Fordampningen i høj Grad afhænger af den fordampende Flades Beskaffenhed, vil man kun kunne faa relative Værdier ved at anvende det samme Instrument under forskellige Forhold eller om muligt omhyggeligt sammenjusterede. Men da Porerne efterhaanden tilstoppes, ændrer Fordampningsforholdene sig i Tidens Løb ogsaa for det enkelte Instrument.

V. *Vindmaaling.*

Det almindelige Instrument til Maaling af Luftbevægelsen er Anemometret, der er en lille Mølle, som trækker et Tællværk. Møllen har enten Vinger som en Mølle med vandret Akse eller bestaar af en lodret Akse med halvkugleformere Skaale. I Modsætning til det første („Vingehjulsanemometer“) er det sidste („Skaalkorsanemometer“) uafhængigt af Vindretning.

Mens disse Instrumenter er beregnet til Maaling af Vindstyrken i den frie Atmosfære, bruger man til mikroklimatisk Brug det saakaldte Glødetraadsanemometer, der bestaar af en fin Platintraad, som af en elektrisk Strøm holdes opvarmet til en meget høj Temperatur. Holdes den elektriske Strøm konstant, vil Traadens Temperatur variere proportionalt med Luftbevægelsen, og herved ligesom i et Modstandstermometer ændre Modstanden i Traaden. Apparatet er i høj Grad anvendeligt ved økologiske Undersøgelser.

HAANDBØGER:

von Angerer, Ernst: Technische Kunstgriffe bei physikalischen Untersuchungen. Braunschweig, 1936.

Bongards, H.: Feuchtigkeitsmessungen. Berlin 1926.

Haskell, A. C.: Graphic Charts in Business. New York 1928.

Handbuch der meteorologischen Instrumente und ihrer Auswertung. Bearbeitet von F. Albrecht, P. Duckert, W. Grundmann, J. Grunow, Chr. Jensen, K. Kähler, E. Kleinschmidt, W. Kopp, W. Kühl, J. Reger, M. Robitsch, R. Süring. Herausgegeben von E. Kleinschmidt. Berlin 1935.

Marke, A. W.: Meteorologi og Klimatologi. København 1934.

Michaelis, Leonor: Einführung in die Mathematik für Biologen und Chemiker. Berlin 1927.

Möller, Erik Essen: Kompendium i Statistik. Lund 1929.

Petersen, Helge: Vejrets Fysik. København 1926.

Prytz, P. K.: Fysiske Maalemetoder. København 1914.

MOLLIERDIAGRAMMET

Hvert Punkt af Mollierdiagrammet svarer til en bestemt Tilstand af fugtig Luft, bestemt ved tre Systemer af rette Linier, som hver repræsenterer Konstans med Hensyn til en af følgende Faktorer:

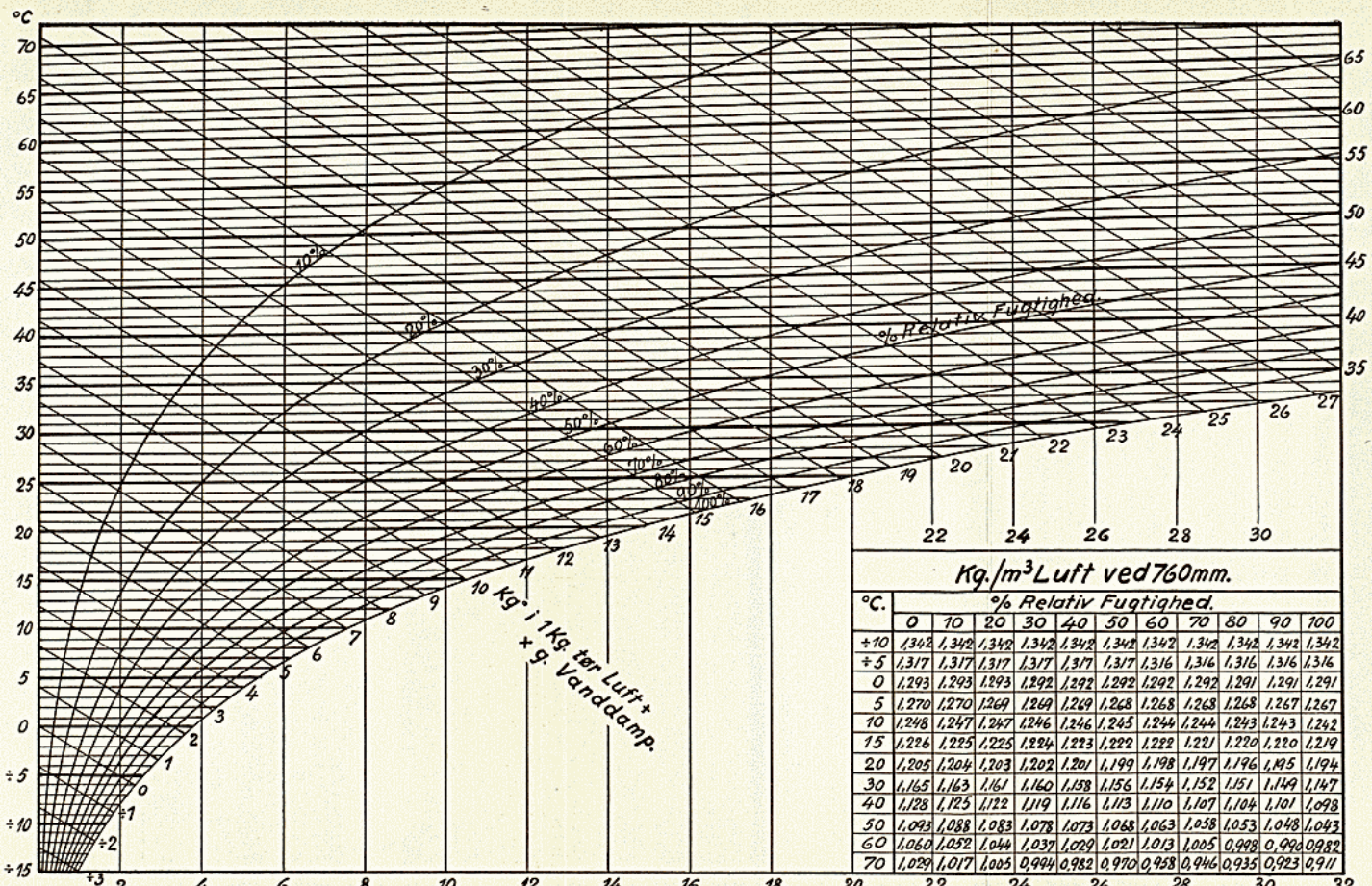
De lodrette Linier angiver Tilstande med samme absolutte Vanddampindhold udtrykt i g pr. kg tør Luft (x). De næsten vandrette Linier forbinder Punkter med samme Temperatur (t), og de skraa rette Linier fra venstre øverst til højre nederst repræsenterer Tilstande med samme Varmeindhold i kgecal pr. kg Luft (i). Efter Betegnelserne kaldes Diagrammet undertiden for $i-x$ Diagrammet. De krumme Linier angiver de til de forskellige Tilstande svarende relative Fugtigheder.

Diagrammet er til stor Hjælp, naar man skal afgøre, hvorledes disse Faktorer ændres, naar en eller flere af de andre Faktorer varierer.

Eks. 1. En Sommereftermiddag maales en Lufttemperatur paa 25° og en rel. Luftfugtighed paa 50 %; om Aftenen er de tilsvarende Tal 16° og 90%. Ved at finde de tilsvarende Punkter i Diagrammet ses det, at den absolutte Fugtighed er den samme i begge Tilfælde (10,1 g/kg), og at Ændringen i den relative Fugtighed udelukkende skyldes Temperaturfaldet.

Eks. 2. I en Termohygrostat paa 125 l³ skal holdes 30° og 60 % rel. Fugtighed, og Luften skal fornyes 8 Gange i Timen. I Diagrammet ses, at 30° og 60 % har samme abs. Fugt. som 22° og 100 %; hvis Luftstrømmen altsaa mættes med Vanddamp ved 22° , opnaas de ønskede Forhold, naar denne Luftstrøm derpaa opvarmes til 30° . Benyttes til Luftstrømmen Stueluft med 20° og 50 % r. F., ses det af Diagrammet, at Varmeindholdet skal forøges fra 9,3 til 17,3, altsaa 8 kgecal pr. kg Luft. Da Luftfornyelsen akkurat svarer til 1 m³, og denne ifølge Tabellen i Diagrammets Hjørne findes at veje 1,154 kg, skal der til Opvarmningen bruges $8 \times 1,154$ kgecal. Da 1 kgecal svarer til 1,16 Watt, vil Strømforbruget ved elektrisk Opvarmning (uden Hensyn til Varmetab til Omgivelserne) altsaa være ca. 11 Watt i Timen.

Klicheen til Diagrammet har Ingeniørfirmaet J. Krüger været saa venlig at stille til Raadighed.



Kg./m³ Luft ved 760mm.

°C.	% Relativ Fugtighed.										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
+10	1,342	1,342	1,342	1,342	1,342	1,342	1,342	1,342	1,342	1,342	1,342
+5	1,317	1,317	1,317	1,317	1,317	1,317	1,316	1,316	1,316	1,316	1,316
0	1,293	1,293	1,293	1,292	1,292	1,292	1,292	1,292	1,291	1,291	1,291
5	1,270	1,270	1,269	1,269	1,269	1,268	1,268	1,268	1,268	1,267	1,267
10	1,248	1,247	1,247	1,246	1,246	1,245	1,244	1,244	1,243	1,243	1,242
15	1,226	1,225	1,225	1,224	1,223	1,222	1,222	1,221	1,220	1,220	1,219
20	1,205	1,204	1,203	1,202	1,201	1,199	1,198	1,197	1,196	1,195	1,194
30	1,165	1,163	1,161	1,160	1,158	1,156	1,154	1,152	1,151	1,149	1,147
40	1,128	1,125	1,122	1,119	1,116	1,113	1,110	1,107	1,104	1,101	1,098
50	1,093	1,088	1,083	1,078	1,073	1,068	1,063	1,058	1,053	1,048	1,043
60	1,060	1,052	1,044	1,037	1,029	1,021	1,013	1,005	0,998	0,990	0,982
70	1,029	1,017	1,005	0,994	0,982	0,970	0,958	0,946	0,935	0,923	0,911

g. Vand pr kg. tør Luft.

MOLLIERDIAGRAM (Forklaring: Se Side 201).

Fordampning. Medens Maaling af Nedbør altsaa ikke volder nogen Vanskelighed — Regnmaalere kan ogsaa let gøres registrerende — er der store Vanskeligheder ved at maale Fordampningen. Et Instrument, der har fundet Indpas i de senere Aar, er det saakaldte Evaporimeter, der principielt bestaar af en porøs Kugle fyldt med Vand, hvis Fordampning derpaa maales. Da Fordampningen i høj Grad afhænger af den fordampende Flades Beskaffenhed, vil man kun kunne faa relative Værdier ved at anvende det samme Instrument under forskellige Forhold eller om muligt omhyggeligt sammenjusterede. Men da Porerne efterhaanden tilstoppes, ændrer Fordampningsforholdene sig i Tidens Løb ogsaa for det enkelte Instrument.

V. *Vindmaaling.*

Det almindelige Instrument til Maaling af Luftbevægelsen er Anemometret, der er en lille Mølle, som trækker et Tællværk. Møllen har enten Vinger som en Mølle med vandret Akse eller bestaar af en lodret Akse med halvkugleformere Skaale. I Modsætning til det første („Vingehjulsanemometer“) er det sidste („Skaalkorsanemometer“) uafhængigt af Vindretning.

Mens disse Instrumenter er beregnet til Maaling af Vindstyrken i den frie Atmosfære, bruger man til mikroklimatisk Brug det saakaldte Glødetraadsanemometer, der bestaar af en fin Platintraad, som af en elektrisk Strøm holdes opvarmet til en meget høj Temperatur. Holdes den elektriske Strøm konstant, vil Traadens Temperatur variere proportionalt med Luftbevægelsen, og herved ligesom i et Modstandstermometer ændre Modstanden i Traaden. Apparatet er i høj Grad anvendeligt ved økologiske Undersøgelser.

HAANDBØGER:

von Angerer, Ernst: Technische Kunstgriffe bei physikalischen Untersuchungen. Braunschweig, 1936.

Bongards, H.: Feuchtigkeitsmessungen. Berlin 1926.

Haskell, A. C.: Graphic Charts in Business. New York 1928.

Handbuch der meteorologischen Instrumente und ihrer Auswertung. Bearbeitet von F. Albrecht, P. Duckert, W. Grundmann, J. Grunow, Chr. Jensen, K. Kähler, E. Kleinschmidt, W. Kopp, W. Kühl, J. Reger, M. Robitsch, R. Süring. Herausgegeben von E. Kleinschmidt. Berlin 1935.

Marke, A. W.: Meteorologi og Klimatologi. København 1934.

Michaelis, Leonor: Einführung in die Mathematik für Biologen und Chemiker. Berlin 1927.

Möller, Erik Essen: Kompendium i Statistik. Lund 1929.

Petersen, Helge: Vejrets Fysik. København 1926.

Prytz, P. K.: Fysiske Maalemetoder. København 1914.

MOLLIERDIAGRAMMET

Hvert Punkt af Mollierdiagrammet svarer til en bestemt Tilstand af fugtig Luft, bestemt ved tre Systemer af rette Linier, som hver repræsenterer Konstans med Hensyn til en af følgende Faktorer:

De lodrette Linier angiver Tilstande med samme absolutte Vanddampindhold udtrykt i g pr. kg tør Luft (x). De næsten vandrette Linier forbinder Punkter med samme Temperatur (t), og de skraa rette Linier fra venstre øverst til højre nederst repræsenterer Tilstande med samme Varmeindhold i kgecal pr. kg Luft (i). Efter Betegnelserne kaldes Diagrammet undertiden for $i-x$ Diagrammet. De krumme Linier angiver de til de forskellige Tilstande svarende relative Fugtigheder.

Diagrammet er til stor Hjælp, naar man skal afgøre, hvorledes disse Faktorer ændres, naar en eller flere af de andre Faktorer varierer.

Eks. 1. En Sommereftermiddag maales en Lufttemperatur paa 25° og en rel. Luftfugtighed paa 50 %; om Aftenen er de tilsvarende Tal 16° og 90% . Ved at finde de tilsvarende Punkter i Diagrammet ses det, at den absolutte Fugtighed er den samme i begge Tilfælde (10,1 g/kg), og at Ændringen i den relative Fugtighed udelukkende skyldes Temperaturfaldet.

Eks. 2. I en Termohygrostat paa 125 l³ skal holdes 30° og 60 % rel. Fugtighed, og Luften skal fornyes 8 Gange i Timen. I Diagrammet ses, at 30° og 60 % har samme abs. Fugt. som 22° og 100 %; hvis Luftstrømmen altsaa mættes med Vanddamp ved 22° , opnaas de ønskede Forhold, naar denne Luftstrøm derpaa opvarmes til 30° . Benyttes til Luftstrømmen Stueluft med 20° og 50 % r. F., ses det af Diagrammet, at Varmeindholdet skal forøges fra 9,3 til 17,3, altsaa 8 kgecal pr. kg Luft. Da Luftfornyelsen akkurat svarer til 1 m³, og denne ifølge Tabellen i Diagrammets Hjørne findes at veje 1,154 kg, skal der til Opvarmningen bruges $8 \times 1,154$ kgecal. Da 1 kgecal svarer til 1,16 Watt, vil Strømforbruget ved elektrisk Opvarmning (uden Hensyn til Varmetab til Omgivelserne) altsaa være ca. 11 Watt i Timen.

Klicheen til Diagrammet har Ingeniørfirmaet J. Krüger været saa venlig at stille til Raadighed.
