

18.11.1927
Haberhauer

Postverlagsort Leipzig

Bücherei
Elbing

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

HERAUSGEGEBEN VON
ARNOLD BERLINER

UNTER BESONDERER MITWIRKUNG VON HANS SPEMANN IN FREIBURG I. BR.

ORGAN DER GESELLSCHAFT DEUTSCHER NATURFORSCHER UND ÄRZTE
UND
ORGAN DER KAISER WILHELM-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTEN

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN W 9

HEFT 46 (SEITE 905—920)

18. NOVEMBER 1927

FÜNFZEHNTER JAHRGANG

INHALT:

Die Windmühlen im Lichte neuerer Forschung.
Von A. BETZ, Göttingen. (Mit 9 Figuren) . . . 905

BESPRECHUNGEN:

BARCROFT, J., Die Atmungsfunktion des Blutes.
(Ref.: A. Durig, Wien) 914

CLARK, A. I., Comparative Physiology of the
heart. (Ref.: A. Bethe, Frankfurt a. M.) . . . 915

MEYERHOF, OTTO, Chemical Dynamics of life
Phenomena. (Ref.: O. Loewi, Graz) 916

BOTANISCHE MITTEILUNGEN: Pollenanalytische
Untersuchungen in der schwäbischen Alb und

im wärmsten Teile Württembergs. Die Moore
des Riesengebirges. Über Fragen der Geschlechts-
bestimmung bei höheren Pflanzen. Der deutsche
Wald. Abänderung des Zahlenverhältnisses
zwischen männlichen und weiblichen Blüten bei
Begonia Wallichiana. Ein Fall von Merogonie
infolge Artkreuzung bei Compositen. Künst-
liches Austreiben der Zwiebeln von Allium Cepa.
Wachstum und Stärkebildung einiger Konjugaten
auf Kosten organisch gebundenen Kohlenstoffs 916



Tyrosin-Kristalle (nach Plimmer 1920)

Aus dem Kapitel:

„Die Produkte der Eiweißverdauung bei den Säugetieren“ des soeben erschienenen Buches

Übungen aus der Vergleichenden Physiologie

Von **Hermann J. Jordan**, Utrecht, unter Mitwirkung von **G. Chr. Hirsch**, Utrecht

Mit 77 Abbildungen. VIII, 272 Seiten. 1927. RM 18.—, gebunden RM 19.50

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN W 9

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

erscheinen wöchentlich und können im In- und Auslande durch jede Sortimentsbuchhandlung, jede Postanstalt oder den unterzeichneten Verlag bezogen werden. Preis vierteljährlich für das In- und Ausland RM 9.—. Hierzu tritt bei direkter Zustellung durch den Verlag das Porto bzw. beim Bezuge durch die Post die postalische Bestellgebühr. Einzelheft RM 1.— zuzüglich Porto.

Manuskripte, Bücher usw. an

Die Naturwissenschaften, Berlin W 9, Linkstr. 23/24, erbeten.

Preis der Inland-Anzeigen: $\frac{1}{2}$ Seite RM 150.—; Millimeter-Zeile RM 0.35. Zahlbar zum amtlichen Berliner Dollarkurs am Tage des Zahlungseinganges. Für Vorzugsseiten besondere Vereinbarung. — Bei Wiederholungen Nachlaß.

Auslands-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Klischee-Rücksendungen erfolgen zu Lasten des Inserenten.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr. 23/24
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Telegrammadr.: Springerbuch.

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN W 9

Grundlagen der Mechanik Mechanik der Punkte und starren Körper

Bearbeitet von bekannten Fachleuten, redigiert von R. Grammel

Mit 256 Abbildungen. XIV, 623 Seiten. 1927. RM 51.60, gebunden RM 54.—
(Bildet Band V vom Handbuch der Physik, herausgegeben von H. Geiger-Kiel und Karl Scheel-Berlin-Dahlem)

Inhaltsübersicht:

Die Axiome der Mechanik. Von Professor Dr. G. Hamel, Berlin. — Die Prinzipie der Dynamik. — Die Hamilton-Jacobische Theorie der Dynamik. Von Dr. L. Nordheim, Göttingen. — Störungsrechnung. Von Dr. E. Fues, Stuttgart. — Geometrie der Bewegungen. Von Professor Dr. H. Alt, Dresden. — Geometrie der Kräfte und Massen. Von Professor Jr. C. B. Biezeno, Delft. — Kinetik der Massenpunkte. Von Professor Dr. R. Grammel, Stuttgart. — Kinetik der starren Körper. Von Professor Dr. M. Winkelmann, Jena und Professor Dr. R. Grammel, Stuttgart. — Technische Anwendungen der Stereomechanik. Von Professor Dr. Th. Pöschl, Prag. — Relativitätsmechanik. Von Dr. O. Halpern, Wien.

Vorträge aus dem Gebiete der Hydro- und Aerodynamik

(Innsbruck 1922)

Gehalten von

A. G. v. Baumhauer-Amsterdam, V. Bjerknes-Bergen, J. M. Burgers-Delft, B. Caldonazzo-Mailand, U. Cisotti-Mailand, V. W. Ekman-Lund, W. Heisenberg-München, L. Hopf-Aachen, Th. v. Kármán-Aachen, G. Kempf-Hamburg, T. Levi-Civita-Rom, C. W. Oseen-Upsala, M. Panetti-Turin, E. Pistolesi-Rom, L. Prandtl-Göttingen, D. Thoma-München, J. Th. Thysse-Haag, E. Trefftz-Dresden, R. Verduzio-Rom, C. Wieselsberger-Göttingen, E. Witoszynski-Warschau, G. Zerkowitz-München.

Herausgegeben von

Th. v. Kármán und **T. Levi-Civita**
Professor am Aerodyn. Institut der Techn. Hochschule, Aachen Professor an der Universität Rom

Mit 98 Abbildungen im Text. IV, 251 Seiten. 1924

RM 13.—

Vier Abhandlungen zur Hydrodynamik und Aerodynamik

(Flüssigkeit mit kleiner Reibung; Tragflügeltheorie, I. und II. Mitteilung;
Schraubenpropeller mit geringstem Energieverlust)

Von

L. Prandtl und **A. Betz**

Neudruck aus den Verhandlungen des III. Internationalen Mathematikerkongresses zu Heidelberg und aus den Nachrichten der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen

Mit einem Literaturbericht als Anhang

IV, 100 Seiten. 1927. RM 4.—

Die Windmühlen im Lichte neuerer Forschung¹.

Von A. BETZ, Göttingen.

(Aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für Strömungsforschung.)

1. Einleitung.

Den Windmühlen wurde in der Zeit nach dem Kriege eine erheblich gesteigerte Beachtung geschenkt. Im wesentlichen dürften es zwei Gründe sein, auf welche dieses erhöhte Interesse zurückzuführen ist: Einmal das mit der vorübergehenden Kohlennot zusammenhängende Bestreben, nach neuen Energiequellen überhaupt zu suchen, dann aber wohl auch das Empfinden, daß die Erfahrungen, welche man in der Flugtechnik gesammelt hat, die Möglichkeit bieten, die Windmühlen wesentlich zu vervollkommen. Tatsächlich haben natürlich die allgemeinen Fortschritte der Ärodynamik auch auf die Windmühlenkonstruktionen befruchtend eingewirkt; aber leider sind Fortschritte von so einschneidender Bedeutung, daß sie die Wirtschaftlichkeit der Windmühlen wesentlich günstiger gestalten würden, nicht erreicht worden und auch kaum zu erwarten. Es bestätigt sich hier eine häufig beobachtete Erscheinung, daß technische Einrichtungen, welche schon auf eine sehr alte Entwicklung zurückgehen, vielfach rein durch Erfahrung einen so hohen Grad von Vollkommenheit erlangt haben, daß die moderne Wissenschaft nur noch verhältnismäßig geringfügige Verbesserungen bringen kann. Was die neuere Forschung auf dem Gebiete der Windmühlen bietet, ist hauptsächlich eine klarere Erkenntnis der Vorgänge, insbesondere auch der Mittel, welche zur Erzielung bestimmter Wirkungen dienen können, aber auch der prinzipiellen Grenzen, welche der Leistungsfähigkeit gesetzt sind.

Die Aufgabe der Windmühlen besteht darin, dem Winde Energie zu entziehen und diese in eine nützlich verwertbare Form überzuführen. Eine verwandte Aufgabe haben Wasserturbinen, aber es besteht doch ein sehr einschneidender Unterschied. Bei Wasserkraftwerken steht im allgemeinen nur eine beschränkte Energiemenge zur Verfügung, welche durch verhältnismäßig kostspielige Stauanlagen gesammelt wurde. Wenn man nun diese Energie in der Turbine in nutzbare Form umsetzt, so ist es von größter Wichtigkeit, diese Umsetzung mit möglichst hohem Nutzeffekt vorzunehmen, da jeder Verlust bei der Umsetzung ja eine Verschleuderung der kostbaren Energie bedeutet. Daneben spielen natürlich auch die

Anlagekosten und deren Verzinsung eine wichtige Rolle. Bei Windmühlen haben wir in dem ungeheuer großen Luftmeer an sich solch riesige Mengen von Energie zur Verfügung, daß wir sie doch gar nicht alle erfassen können. Es ist daher auch ganz unwesentlich, welche Energieverluste bei der Umformung auftreten. Wesentlich sind nur die Kosten, welche mit der Umformung verbunden sind. Jene Windmühle ist die wirtschaftlichste, bei welcher die gewonnene Kilowattstunde am billigsten kommt. Da aber die Kosten bei der Energiegewinnung durch Windmühlen zum weitaus größten Teile in der Verzinsung und Amortisation der Windmühle bestehen, so läuft das Windmühlenproblem in der Hauptsache darauf hinaus, *mit gegebenen Baukosten möglichst große Leistungen zu erzielen*, bzw. das Verhältnis der Baukosten zur erzielten Jahresleistung möglichst klein zu machen.

Zu diesem Hauptproblem treten bei der Energiegewinnung durch Windmühlen noch andere Aufgaben erschwerend hinzu, welche teils in der Eigentümlichkeit des Windes, teils in der Besonderheit des Zweckes, für den die Windmühlen dienen sollen, begründet sind. Der wichtigste Umstand, welcher die Windausnützung erschwert, ist die *Unregelmäßigkeit des Windes*. Einen großen Teil des Jahres hindurch ist der Wind so schwach, daß er nicht ausreicht, die Windmühle zu drehen, und auch wenn das Windrad leicht genug ginge, so ist die Leistung dann so gering, daß sie einen nennenswerten Bedarf doch nicht decken würde. Zu anderen Zeiten ist der Sturm so stark, daß man Mühe hat, die Anlage vor den zerstörenden Wirkungen dieses Energieüberschusses zu schützen. Es ist kaum möglich, ein Windrad so zu bauen, daß es sowohl die schwachen Winde, wie auch die starken Stürme ausnützen kann. Man muß sich im allgemeinen auf die am häufigsten vorkommenden Windstärken (im Binnenlande etwa zwischen 3 und 10 m/sec., an der Küste etwas mehr) beschränken. Man muß besondere *Reguliereinrichtungen* vorsehen, um bei größeren Windgeschwindigkeiten die Energie ungehindert abfließen zu lassen, so daß sie keinen Schaden anrichtet. Außerdem bringt die Unregelmäßigkeit des Windes den Nachteil mit sich, daß die gewonnene Energie zeitlich sehr schwankt und im allgemeinen nicht dem Bedarf angepaßt ist. Wenn z. B. die Windmühle Strom für elektrische Beleuchtung liefern soll, so wird ihre Leistung abends eine bestimmte Zeit gebraucht. Im allgemeinen wird man nicht damit rechnen können, daß der Wind gerade um diese Zeit mit der erforderlichen Stärke weht. Zu anderen

¹ Eine ausführlichere Darstellung eines Teiles der hier wiedergegebenen Überlegungen findet sich in dem Büchlein des Verfassers: Windenergie und ihre Ausnützung durch Windmühlen. Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht 1926. Vgl. die Besprechung in Heft 14 (S. 338) des laufenden Jahrganges dieser Zeitschrift.

Zeiten, wenn genügend Wind weht, ist wieder keine geeignete Verwendung für die Energie vorhanden. Es ist daher notwendig, entweder die *Energie aufzuspeichern*, oder solche Verwendungszwecke für die gewonnene Energie vorzusehen, welche unabhängig von der Zeit, die jeweils zur Verfügung stehenden Energiemengen zu verwerten gestatten (z. B. Pumpen zur Bewässerung des Bodens). Die Verwendung von Energiespeichern, etwa elektrischer Akkumulatoren, verursacht erhebliche Kosten und verteuert daher die gewonnene Energie.

Eine weitere Schwierigkeit bietet die *geringe Drehzahl* der Windräder. Aus Gründen, auf die weiter unten noch ausführlich eingegangen wird, muß die Umfangsgeschwindigkeit der Flügelspitzen in einem allerdings in gewissen Grenzen veränderlichen Verhältnis zur Windgeschwindigkeit stehen. Da nun, um eine einigermaßen nennenswerte Leistung zu erzielen, der Windraddurchmesser im allgemeinen ziemlich groß ist, so ergeben sich meist Drehzahlen, die im Vergleich mit den sonst bei Maschinen üblichen Umdrehungen außergewöhnlich niedrig sind. Um daher mit dem Windrade eine andere Maschine anzutreiben, muß man fast stets eine Übersetzung ins Schnelle, ein Getriebe, dazwischen schalten, welches ebenfalls unerwünschte Kosten verursacht und dadurch die Energie verteuert. Die Getriebeschwierigkeit wird um so größer, je größer der Windraddurchmesser ist, da hiermit die Drehzahl sinkt und gleichzeitig die zu übertragende Leistung steigt. Man hat daher ein besonderes Interesse daran, die Drehzahl des Windrades unter gleichen äußeren Umständen an sich schon möglichst hoch zu bekommen, d. h. mit einem möglichst großen Verhältnis von Umfangsgeschwindigkeit zu Windgeschwindigkeit zu arbeiten. Leider haben solche Schnellläufer wieder andere schwerwiegende Nachteile, so daß diesem Streben nach Schnellläufigkeit Grenzen gesetzt sind.

Im folgenden soll nun auf zwei dieser Probleme näher eingegangen werden: Zunächst auf das Hauptproblem, welches wir in der Frage ausdrücken können: Wie können wir aus dem Winde Energie gewinnen und welche Leistungen können wir von einem Windrade von gegebener Größe bei gegebener Windgeschwindigkeit erwarten? Und weiterhin auf die Fragen, welche mit der Schnellläufigkeit zusammenhängen.

2. Der Mechanismus der Energiegewinnung.

Fragen wir uns zunächst: wie kann man überhaupt der bewegten Luft ihre kinetische Energie entziehen? Wir können uns etwa folgende Einrichtung denken (Fig. 1): Wir stellen dem Winde einen Körper entgegen, etwa eine ebene Platte von der Fläche F . Der Wind, welcher mit der Geschwindigkeit v gegen diese Platte wehen möge, übt dann auf diese Platte eine Widerstandskraft W aus, welche proportional der Fläche F , dem Quadrat der Geschwindigkeit und der Luftdichte ρ

ist (im technischen m-kg-sec-System ist für Luft von normaler Temperatur und normalem Barometerstand $\rho = \frac{1}{3} \text{ kg sek}^2 \text{ m}^{-4}$). Man pflegt diesen Zusammenhang in folgender Weise auszudrücken:

$$W = c_w \frac{\rho}{2} F v^2. \quad (1)$$

Der Proportionalitätsfaktor c_w wird Widerstandsziffer genannt und hängt von der Form des betreffenden Körpers ab.

Lassen wir nun den Körper in Richtung dieser Widerstandskraft sich bewegen, so leistet er Arbeit, welche wir nutzbringend verwenden können (z. B. zum Heben eines Gewichtes. Fig. 1). Da aber infolge der Bewegung des Körpers die Relativgeschwindigkeit des Windes ihm gegenüber sich verringert, so vermindert sich auch der Widerstand. Ist die Geschwindigkeit des Körpers v' , so ist die Relativgeschwindigkeit $v - v'$ und die Kraft

$$W = c_w \frac{\rho}{2} F (v - v')^2. \quad (2)$$

Die sekundlich geleistete Arbeit ist

$$L = W \cdot v' = c_w \frac{\rho}{2} F (v - v')^2 v'. \quad (3)$$

Diese Leistung ist bei gegebener Fläche F und Windgeschwindigkeit v dann am größten, wenn $v' = \frac{1}{3} v$ ist, nämlich

$$L_{\text{max}} = \frac{4}{27} c_w \frac{\rho}{2} F v^3. \quad (4)$$

Der Wind selbst gibt bei diesem Vorgange aber sekundlich die Arbeit.

$$L' = W \cdot v \quad (5)$$

ab, da sich ja die Luft mit der Geschwindigkeit v bewegt und dabei eine Kraft W in der Bewegungsrichtung ausübt. Für $v' = \frac{1}{3} v$ gibt also der Wind 3mal so viel Arbeit ab als durch die Einrichtung gewonnen wird. $\frac{2}{3}$ der vom Winde abgegebenen Leistung wird in Wirbel (und schließlich in Wärme) umgesetzt und nur $\frac{1}{3}$ wird gewonnen. Wenn nun auch, wie wir eingangs erläuterten, dieser schlechte Wirkungsgrad nicht maßgebend für die Eignung der Einrichtung ist, so muß er doch zu Bedenken Anlaß geben; denn es ist anzunehmen, daß eine Anordnung, welche mit weniger Verlusten arbeitet, auch mit derselben Fläche, also denselben Baukosten mehr Leistung erzielt.

Bei der eben besprochenen Anordnung war die von der Luft auf den Körper ausgeübte Kraft W prinzipiell mit einer Energievernichtung verbunden, indem sekundlich eine Arbeit $W \cdot (v - v')$ in Wirbelenergie umgesetzt wird. Wir müssen uns fragen, ob überhaupt Kraftwirkungen denkbar sind, ohne daß dieser Energieverlust eintritt.

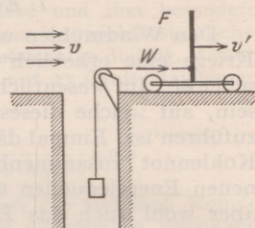


Fig. 1. Energiegewinnung mittels einer bewegten Widerstandsfläche.

Das ist tatsächlich der Fall. Wenn man nämlich geeignet geformte Körper wählt, so liegt die erzeugte Kraft P nicht in der Richtung der relativen Luftströmung, sondern bildet einen spitzen Winkel mit ihr (Fig. 2). Zerlegt man diese Kraft in eine

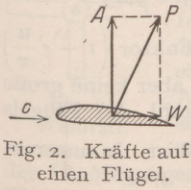


Fig. 2. Kräfte auf einen Flügel.

Komponente W in Richtung der Luftströmung und in eine Komponente A senkrecht dazu, so ist für die zur Erzeugung von Wirbeln verbrauchte Energie nur die Komponente W , der eigentliche „Widerstand“, maßgebend. Die sekundlich vernichtete Energie ist $L_{\text{verl.}} = W \cdot c$, wobei c die Windgeschwindigkeit relativ zum Körper bedeutet. Die andere Komponente, der „Auftrieb“, bedingt keinerlei Energieverbrauch, da sie ja senkrecht zur Bewegungsrichtung steht. Diese Auftriebskraft ist also von ganz ähnlicher Art wie eine Zentripetalkraft, sie lenkt die Luft nur aus ihrer Richtung ab, ändert aber nicht ihre Energie. Um große Kraftwirkungen bei kleinem Energieverlust zu erhalten, muß man demnach Körper von solcher Form verwenden, daß sie einen möglichst großen Auftrieb und möglichst kleinen Widerstand ergeben. Man nennt solche Körper *Flügel* oder *Tragflügel*. Das die Güte eines Flügels kennzeichnende Verhältnis Widerstand: Auftrieb nennt man *Gleitzahl*, weil es die Neigung der Flugbahn angibt, unter der der betreffende Flügel einen Gleitflug ausführen kann bzw. ausführen könnte, wenn er hinreichend stabil wäre. Wir wollen die Gleitzahl mit ε bezeichnen. Es ist also

$$\varepsilon = \frac{W}{A}. \quad (6)$$

Entsprechend wie den Widerstand beim reinen Widerstandskörper können wir Auftrieb und Widerstand beim Flügel in folgender Weise ausdrücken:

$$A = c_a \frac{\rho}{2} F c^2 \quad (7)$$

$$W = c_w \frac{\rho}{2} F c^2, \quad (8)$$

wobei c_a und c_w Proportionalitätsfaktoren sind, welche nur von der Form und Stellung des Flügels abhängen. Als Bezugsfläche F wählt man bei Flügeln in der Regel die größte Projektion des Flügels. Bei einem rechteckigen Flügel von der Spannweite l und der Tiefe t wäre also $F = l \cdot t$.

Wir wollen nun einen solchen Flügel zur Energiegewinnung aus dem Winde benötigen. Der Wind möge mit der Geschwindigkeit v wehen. Wir stellen ihm nun einen Flügel entgegen und bewegen diesen *senkrecht* zur Windrichtung mit der Geschwindigkeit u (Fig. 3). Die Luft strömt dann relativ zum Flügel mit einer Geschwindigkeit c , welche sich aus der Zusammensetzung der Komponenten v und u (Fig. 4) ergibt:

$$c = \sqrt{v^2 + u^2}. \quad (9)$$

Die Richtung der Relativgeschwindigkeit c

bildet mit der Windrichtung v den Winkel β (Fig. 3 und 4), für den, wie man an Fig. 4 ablesen kann, die Beziehung besteht

$$\text{tg } \beta = \frac{u}{v}. \quad (10)$$

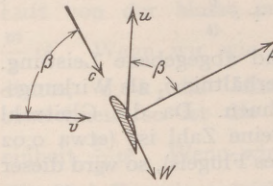


Fig. 3. Auftrieb und Widerstand eines Flügels, der sich senkrecht zur Windrichtung bewegt.

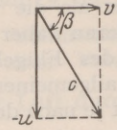


Fig. 4. Resultierende Relativgeschwindigkeit.

Da der Auftrieb A , den der Flügel bei dieser Bewegung erfährt, senkrecht zur Relativgeschwindigkeit c steht, so bildet er mit der Bewegungsrichtung des Flügels u (Fig. 3 und 5) ebenfalls den Winkel β . Für die Nutzleistung kommt von A die in die Richtung von u fallende Komponente

$$T_1 = A \cos \beta$$

in Betracht. Vom Widerstand wirkt die Komponente

$$T_2 = W \sin \beta$$

der Bewegung entgegen. In Richtung der Geschwindigkeit u wirkt demnach insgesamt die Kraft

$$\left. \begin{aligned} T &= T_1 - T_2 = A \cos \beta - W \sin \beta \\ &= A \cos \beta (1 - \varepsilon \text{tg } \beta), \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

wobei $\varepsilon = \frac{W}{A}$ die Gleitzahl des Flügels (s. oben) bedeutet. Die erzielte Nutzleistung ist demnach

$$L_N = T \cdot u = A u \cos \beta (1 - \varepsilon \text{tg } \beta). \quad (12)$$

Die in die Windrichtung v fallenden Kraftkomponenten ergeben den Schub

$$\left. \begin{aligned} S &= S_1 + S_2 = A \sin \beta + W \cos \beta \\ &= A \sin \beta (1 + \varepsilon \text{ctg } \beta). \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Die vom Wind abgegebene Leistung ist

$$L_W = S \cdot v = A v \sin \beta (1 + \varepsilon \text{ctg } \beta). \quad (14)$$

Wenn man beachtet, daß $v \sin \beta = u \cos \beta$ ist, so ergibt sich

$$L_N = L_W \frac{1 - \varepsilon \text{tg } \beta}{1 + \varepsilon \text{ctg } \beta} = L_W \frac{1 - \varepsilon \frac{u}{v}}{1 + \varepsilon \frac{v}{u}}. \quad (15)$$

Wäre der Widerstand des Flügels und damit die Gleitzahl Null, so würde bei dieser Anordnung die gewonnene Leistung L_N gleich der vom Wind abgegebenen Leistung L_W sein, d. h. wir würden eine verlustlose Energieumsetzung haben. In

Wirklichkeit ist stets ein gewisser Widerstand und daher auch ein gewisser Verlust vorhanden. Die Nutzleistung ist im Verhältnis

$$\eta_1 = \frac{1 - \varepsilon \frac{u}{v}}{1 + \varepsilon \frac{u}{v}} \quad (16)$$

kleiner als die vom Wind abgegebene Leistung. Man kann daher dieses Verhältnis η_1 als Wirkungsgrad des Flügels bezeichnen. Da die Gleitzahl ε im allgemeinen eine kleine Zahl ist (etwa 0,02 bis 0,1 je nach der Güte des Flügels), so wird dieser

Wirkungsgrad nur dann schlecht, wenn $\frac{u}{v}$ das Verhältnis der Flügelschwindigkeit zur Windgeschwindigkeit besonders groß oder besonders klein gegen Eins ist. Im ersteren Falle wird $\varepsilon \frac{u}{v}$

(im Zähler), im letzteren $\varepsilon \frac{v}{u}$ (im Nenner) von solcher Größenordnung, daß der Wirkungsgrad merklich darunter leidet. Von Wichtigkeit ist hauptsächlich der erstere Fall $\frac{u}{v} \gg 1$, indem durch die Rücksicht auf den Wirkungsgrad das Verhältnis $\frac{u}{v}$ nach oben hin beschränkt ist. Wir werden hierauf später noch zurückkommen.

Wir wollen uns nun noch klar machen, wie groß die *Flügelfläche* sein muß, um eine bestimmte Leistung zu erzielen. Gemäß Gleichung (7) ist der Auftrieb

$$A = c_a \frac{\rho}{2} F c^2,$$

wobei c_a die Auftriebsziffer bedeutet, welche von der Größenordnung 1 ist, ρ und F sind wie früher die Luftdichte und die Flügelfläche und

$$c = \sqrt{v^2 + u^2} = u \sqrt{1 + \left(\frac{v}{u}\right)^2}$$

die Relativgeschwindigkeit der Luft gegen den Flügel (Fig. 3 und 4). Setzen wir diesen Wert in Gleichung (12) ein und beachten, daß $\cos \beta = \frac{v}{c}$

und $\operatorname{tg} \beta = \frac{u}{v}$ ist, so erhalten wir für die gewonnene Leistung

$$\left. \begin{aligned} L_N &= c_a \frac{\rho}{2} F c^2 u \frac{v}{c} \left(1 - \varepsilon \frac{u}{v}\right) \\ &= c_a \frac{\rho}{2} F v^3 \left(\frac{u}{v}\right)^2 \sqrt{1 + \left(\frac{v}{u}\right)^2} \left(1 - \varepsilon \frac{u}{v}\right). \end{aligned} \right\} (17)$$

Vergleichen wir dieses Ergebnis mit Gleichung (4) und beachten, daß sowohl das dort auftretende c_w wie auch das hier auftretende c_a von der Größenordnung 1 sind, so sehen wir, daß wir jetzt mit der gleichen Fläche F bei gleicher Windgeschwindigkeit v und gleicher Luftdichte ρ eine wesentlich größere Leistung erzielen. Wir vermeiden einerseits den in Gleichung (4) vorkommenden Faktor $\frac{1}{2}$, darüber hinaus können wir aber die Leistung noch weiter

steigern, wenn wir $\frac{u}{v}$ groß machen. Ist z. B. $\frac{u}{v} = 3$, so wird der die Leistung vergrößernde Faktor

$$\left(\frac{u}{v}\right)^2 \sqrt{1 + \left(\frac{v}{u}\right)^2} = 3^2 \cdot 1,05 = 9,45.$$

Allerdings bringt der letzte Faktor $\left(1 - \varepsilon \frac{u}{v}\right)$ wieder eine Verschlechterung, die aber keine große Rolle spielt, solange die Gleitzahl des Flügels klein und $\frac{u}{v}$ nicht übermäßig groß ist. In unserem

Beispiel mit $\frac{u}{v} = 3$ würde sich bei einer Gleitzahl $\varepsilon = 0,05$ z. B. ergeben

$$\left(1 - \varepsilon \frac{u}{v}\right) = (1 - 0,05 \cdot 3) = 0,85.$$

Wir würden demnach unter der Voraussetzung, daß c_a in Gleichung (17) und c_w in Gleichung (4) gerade gleich sind, eine Leistung erhalten, welche um den Faktor $\frac{3^2}{4} \cdot 9,45 \cdot 0,85$, also rund 54mal so groß ist als bei der früheren Anordnung. Bei einem Geschwindigkeitsverhältnis $\frac{u}{v} = 2$ würde diese Faktor rund 27, und bei $\frac{u}{v} = 1$ immer noch rund 9 sein. Dieser ganz enorme Unterschied dürfte die unbedingte Bevorzugung der zweiten Anordnung, der Ausnützung des Flügelauftriebes anstatt des Widerstandes, rechtfertigen, selbst wenn die Herstellung der Flügel etwas teurer sein sollte als die eines Widerstandskörpers.

3. Das Windrad.

Wir müssen uns nun der Frage zuwenden, wie man die für die Energiegewinnung erforderliche Bewegung der Flügel praktisch verwirklicht. Wir hatten bisher einen Flügel, bzw. einen Widerstandskörper betrachtet, welcher sich geradlinig weiterbewegt. Diese Art der Energiegewinnung würde etwa der Windausnützung durch segelnde Schiffe¹ entsprechen. Bei ortsfesten Anlagen, wie es die Windmühlen sind, ist man genötigt, die Flügel bzw. Widerstandskörper auf geschlossenen Bahnen zu bewegen; am einfachsten, indem man sie in geeigneter Weise um eine Achse rotieren läßt. Es hat nicht an Versuchen gefehlt, für die Energieübertragung Widerstandskörper zu verwenden. Sie haben sich aber durchwegs als unwirtschaftlich erwiesen, was nach dem oben auseinandergesetzten auch nicht verwunderlich ist. Wir wollen uns deshalb hier auf die gebräuchliche Form der Verwendung von Flügeln beschränken.

¹ Die Gleitzahl ist hierbei ziemlich schlecht, da man aus Gründen der Stabilität die Segel nicht so hoch bauen kann als es für eine gute Gleitzahl erforderlich wäre (Induzierter Widerstand; vgl. z. B. BETZ, Einführung in die Theorie der Tragflügel. Naturwissenschaften 1918, S. 557).

Die übliche Anordnung ist die, daß man eine Anzahl Flügel auf einer Achse befestigt (Fig. 6),

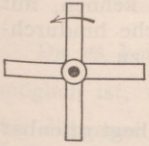


Fig. 6.
Windrad.

die Achse in die Windrichtung stellt und das ganze System, das „Windrad“, um die Achse umlaufen läßt. Ist w die Winkelgeschwindigkeit des Windrades, so hat eine Stelle eines Flügels im Abstand r von der Achse die Geschwindigkeit $u = r\omega$ senkrecht zum Winde. Man möchte nun meinen, daß man auf Grund der Überlegungen im vorigen Kapitel die auf die Flügel wirkenden Kräfte und die erzielbare Nutzleistung ohne weiteres ausrechnen könnte. Daß die Flügelgeschwindigkeit von Punkt zu Punkt verschieden ist, würde nur eine rechnerische Erschwerung, aber kein wesentliches Hindernis bilden. Daß hierbei aber offenbar etwas außer acht gelassen ist, geht schon daraus hervor, daß nach den bisherigen Überlegungen die Leistung proportional der Flügelfläche ist. Man müßte darnach also durch Vermehrung der Flügelzahl oder durch Verbreiterung der Flügel beliebig große Energiemengen mit einem Rad von ganz kleinem Durchmesser gewinnen können, was jeder Erfahrung widerspricht. Offenbar stören sich die Flügel gegenseitig, so daß ihre Wirkung im Windrade anders ist, als wenn sie allein dem Winde ausgesetzt werden. Wir müssen uns daher zunächst noch mit dieser gegenseitigen Störung befassen.

Wir hatten im vorigen Kapitel die Kräfte kennengelernt, welche die Luft auf einen Flügel ausübt. Dieselben Kräfte, nur mit umgekehrtem Vorzeichen, übt der Flügel auf die Luft aus. Insbesondere bewirkt die in die Windrichtung fallende Komponente S eine Verminderung der Windgeschwindigkeit, während die dazu senkrechte Komponente T nur eine Ablenkung des Luftstromes zur Folge hat. Wenn nun die Flügel hintereinander herlaufen, so arbeitet jeder in einem Gebiete, wo die Luftströmung von den vorhergegangenen Flügeln bereits mehr oder weniger gestört ist¹. Eine genaue Verfolgung dieser Störungseinflüsse ist ziemlich umständlich. Für unseren Zweck genügt es aber, die Aufgabe dahin zu vereinfachen, daß wir uns fragen: kann man die gegenseitige Störung der Flügel unter einfachen, aber sicher zu günstigen Annahmen soweit abschätzen, daß man daraus einen *Höchstwert der zu erzielenden Leistung* ermitteln kann. Die wirkliche Leistung des Windrades würde dann je nach der Zweckmäßigkeit der Anordnung mehr oder weniger unter diesem Höchstwert liegen.

¹ Auch bei einem einzelnen Flügel ist die Luftbewegung in der Nähe des Flügels durch den Flügel selbst gestört. Der Einfluß dieser Eigenstörung ist aber in den experimentell gefundenen c_a und c_w -Werten bereits enthalten, da diese Störung ja bei der Bestimmung dieser Werte auch vorhanden ist. Man muß aber dieselbe beachten, wenn man z. B. einen anderen Flügelumriß als bei der Messung verwenden will (Induzierter Widerstand; vgl. Fußnote S. 908).

Zur Beantwortung dieser Frage dient folgende Überlegung:

Die Energie, welche im Winde zur Verfügung steht, ist als kinetische Energie vorhanden. Ist v die Geschwindigkeit der Luft, so hat ein Teil der Luft von der Masse m die kinetische Energie $\frac{m}{2}v^2$. Wenn wir wie bisher mit ρ die Luftdichte, d. i. die Masse der Volumeneinheit bezeichnen, so ist die Energie einer Volumeneinheit $\frac{\rho}{2}v^2$. Wenn wir nun der Luft durch ein

Windrad Energie entziehen, so muß hinter dem Windrad die kinetische Energie, also auch die Geschwindigkeit v , kleiner sein als vor dem Rade. Wenn wir zur Unterscheidung die Geschwindigkeit in großer Entfernung vor dem Rade mit v_1 , die in großer Entfernung hinter dem Rade mit v_2 bezeichnen (Fig. 7), so ist demnach $v_2 < v_1$. Wir

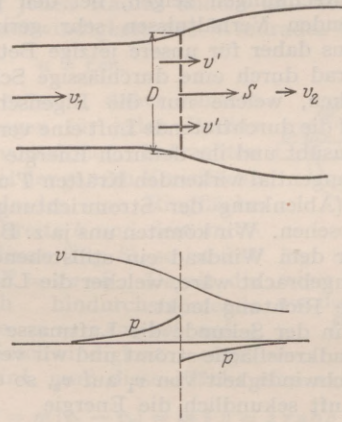


Fig. 7. Oben: Strömung durch ein Windrad; unten: Verlauf der Geschwindigkeit v und des Druckes p der Luft vor und hinter dem Windrad. (Das Windrad ist durch die gestrichelte Linie angedeutet.)

wissen auch, daß die Schaufeln auf die Luft eine Kraft S entgegen der Windrichtung ausüben, und daß dadurch diese Verzögerung der Luft bewirkt wird. Der Übergang von der größeren zur kleineren Geschwindigkeit geht natürlich nicht plötzlich vor sich, da ja die langsamere Luft einen größeren Querschnitt braucht als die schnellere und die Stromlinien für ihre Ausbreitung Zeit brauchen (Fig. 7). Der Vorgang ist so, daß bereits vor dem Windrad die Luft sich etwas staut. Ihre Geschwindigkeit setzt sich dabei in Druck um. Infolgedessen kommt die Luft bereits mit verminderter Geschwindigkeit aber mit erhöhtem Druck am Windrad an. Die Energieentnahme im Windrad bewirkt nun zunächst nur eine Verminderung der Druckenergie, so daß die Luft, welche vor dem Rade mit erhöhtem Druck ankam, hinter dem Rade mit erniedrigtem Druck weiter strömt. Die Geschwindigkeit selbst kann sich innerhalb des unendlich dünn gedachten Rades überhaupt nicht ändern. Erst hinter dem

Rade setzt sich die Geschwindigkeitsverminderung wieder fort, indem sich die Geschwindigkeitsenergie so lange in Druck umsetzt, bis der normale Luftdruck wiederhergestellt ist (vgl. Fig. 7 unten).

Da die Flügel die Windradfläche nicht gleichmäßig ausfüllen, sondern oft recht erhebliche Zwischenräume frei lassen, so möchte man meinen, daß auch die Verzögerung der Luft nur an jenen Stellen stattfindet, wo gerade Flügel sind, während zwischen den Flügeln die Luft ziemlich unbeeinflusst hindurchströmt. Das ist aber nicht der Fall. Da nämlich die Flügel umlaufen, so beeinflussen sie, wenn auch nicht gleichzeitig, so doch in kurzen zeitlichen Zwischenräumen alle Luft, welche durch die von den Flügeln bestrichene Kreisfläche (bzw. Kreisringfläche, wenn die Flügel nicht bis an die Achse reichen) hindurchtritt. Eine gewisse Ungleichmäßigkeit bleibt natürlich auch bei dieser periodischen Beeinflussung bestehen, sie ist aber, wie genauere Rechnungen zeigen, bei den praktisch vorkommenden Verhältnissen sehr gering. Wir können uns daher für unsere jetzige Betrachtung das Windrad durch eine durchlässige Scheibe ersetzt denken, welche nur die Eigenschaft hat, daß sie auf die durchtretende Luft eine verzögernde Kraft S ausübt und ihr dadurch Energie entzieht. Von den tangential wirkenden Kräften T und deren Wirkung (Ablenkung der Stromrichtung) wollen wir hier absehen. Wir könnten uns ja z. B. denken, daß hinter dem Windrad ein stillstehender Leitapparat angebracht wäre, welcher die Luft wieder in die alte Richtung lenkt.

Wenn in der Sekunde die Luftmasse m durch die Windradkreisfläche strömt und wir vermindern deren Geschwindigkeit von v_1 auf v_2 , so entziehen wir der Luft sekundlich die Energie

$$L = \frac{m}{2} (v_1^2 - v_2^2). \quad (18)$$

Diese Energie steht zur Gewinnung zur Verfügung, wobei aber wegen der eintretenden Verluste, insbesondere infolge des weiter oben besprochenen Flügelwirkungsgrades, nur ein Teil davon wirklich gewonnen wird. Man wird natürlich bestrebt sein, dem Winde möglichst viel Energie zu entziehen, um auch möglichst viel gewinnen zu können. Wir müssen uns daher fragen, wie groß kann die Energie L in obiger Gleichung bei gegebenem Windraddurchmesser D bzw. gegebener Windradkreisfläche $F_0 = \frac{D^2\pi}{4}$ und gegebener Windgeschwindigkeit v_1 im besten Falle werden. Bei flüchtiger Betrachtung der letzten Gleichung möchte man meinen, die Leistung L würde ein Maximum, wenn man $v_2 = 0$ macht, d. h. der durchströmenden Luft alle Energie entzieht. Das trifft aber nicht zu, da auch die sekundlich durchströmende Luftmasse m mit abnehmendem v_2 kleiner wird. Je mehr wir nämlich die durchströmende Luft abbremsen, um so weniger strömt durch das Windrad hindurch. Die Luft weicht dem Hindernis aus, ein Teil strömt außen herum,

ohne Energie abzugeben. Um die sekundlich durchströmende Luftmasse m ermitteln zu können, müssen wir die Geschwindigkeit v' kennen, mit der die Luft durch die Windradfläche hindurchtritt. Die Masse ergibt sich daraus zu

$$m = \rho F_0 v'.$$

Die Durchflußgeschwindigkeit v' liegt offenbar zwischen den Geschwindigkeiten v_1 und v_2 vor und hinter dem Windrade. Man kann nun zeigen, daß v' gerade das arithmetische Mittel aus v_1 und v_2 ist:

$$v' = \frac{v_1 + v_2}{2}.$$

Zu dem Zwecke kann folgende Überlegung dienen: Wenn durch das Windrad sekundlich die Luftmasse m strömt und das Windrad die Geschwindigkeit dieser Masse von v_1 auf v_2 herabsetzt, so entzieht es der Luft, wie wir schon festgestellt haben, sekundlich die Energie

$$L = \frac{m}{2} (v_1^2 - v_2^2).$$

Andererseits gibt aber die Luft, wenn sie mit der Geschwindigkeit v' durch das Windrad strömt und dabei einen Widerstand S erfährt, die sekundliche Leistung

$$L = S v' \quad (19)$$

ab. Es muß also sein

$$\frac{m}{2} (v_1^2 - v_2^2) = S v'.$$

Die Kraft S muß aber die Masse m von der Geschwindigkeit v_1 auf die Geschwindigkeit v_2 verzögern. Nach dem Impulssatz ist demnach

$$S = m (v_1 - v_2). \quad (20)$$

Setzen wir diesen Wert in die vorhergehende Gleichung ein und berücksichtigen außerdem, daß $v_1^2 - v_2^2 = (v_1 - v_2) \cdot (v_1 + v_2)$ ist, so erhalten wir

$$\frac{m}{2} (v_1 - v_2) (v_1 + v_2) = m (v_1 - v_2) v'$$

oder

$$\frac{v_1 + v_2}{2} = v'. \quad (21)$$

Damit haben wir nun alles, um die zu jeder Anfangs- und Endgeschwindigkeit v_1 und v_2 gehörige Leistung L zu ermitteln. Es ist nach dem vorstehenden

$$m = \rho F_0 v' = \rho F_0 \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (22)$$

und

$$\left. \begin{aligned} L &= \frac{m}{2} (v_1^2 - v_2^2) = \frac{\rho F_0}{4} (v_1 + v_2) (v_1^2 - v_2^2) \\ &= \frac{\rho F_0 v_1^3}{4} \left(1 + \frac{v_2}{v_1} \right) \left[1 - \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right]. \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

Am größten wird hiernach die Leistung L , wenn wir dafür sorgen, daß

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{3} \quad (24)$$

wird. Sie beträgt dann

$$L_{\max} = \frac{16}{27} \frac{\rho}{2} F_0 v^3. \quad (25)$$

Da es bei einem wirklichen Windrade kaum möglich ist, dieses günstige Verhältnis $\frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{3}$ für die ganze die Windkreisfläche durchströmende Luft zu erreichen, und da außerdem, wie wir schon wissen, an den Flügeln selbst auch noch Verluste auftreten, so bleibt die tatsächliche Leistung der Windräder hinter diesem theoretischen Maximalwert zurück. Das Verhältnis der wirklichen Leistung L zur theoretischen Maximalleistung L_{\max} ist ein Maß für die Güte der Windkonstruktion und hat eine ähnliche Bedeutung, wie bei anderen Maschinen der Wirkungsgrad. Wir wollen dieses Verhältnis als Gütegrad

$$\zeta = \frac{L}{L_{\max}} \quad (26)$$

bezeichnen. Für die Darstellung von Versuchsergebnissen ist vielfach ein etwas anderer Wert, die Leistungsziffer

$$c_l = \frac{L}{\frac{\rho}{2} F v^3} = \frac{16}{27} \zeta \quad (27)$$

gebräuchlich (vgl. Fig. 9). Dabei ist zu beachten, daß der theoretische Grenzwert für c_l nicht 1, sondern $\frac{16}{27}$ ist.

4. Flügelabmessungen und Schnellläufigkeit.

Wir haben jetzt die Grenzen der Leistungsfähigkeit eines Windrades und die Voraussetzung für die Höchstleistung kennengelernt. Nun ist die nächste Frage: Was ist zu tun, um die für die Erzielung der Höchstleistung günstigste Abbremsung $\frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{3}$ zu bewirken. Offenbar liegt hier eine Bedingung für die Größe und die Anzahl der Flügel vor, denn, wenn wir dem Winde ein zu dichtes Flügelwerk entgegensetzen, so bremsen wir ihn zu stark ab; nehmen wir zu wenig Flügel, so geht zuviel Energie ungenutzt durch das Rad. Es ist aber nicht allein die Flügelfläche, welche hierfür maßgebend ist, sondern auch noch die Geschwindigkeit, mit der sie umlaufen. Wir haben im zweiten Kapitel die Leistungsaufnahme eines einzelnen Flügels berechnet (Gleichung 17) und gefunden, daß sie außer von der Flügelfläche auch noch sehr stark von dem Verhältnis $\frac{u}{v}$, also von seiner Eigenbewegung, abhängt. Wir sehen daraus, daß wir, um die gleiche Wirkung zu erzielen, die Flügelfläche um so kleiner machen müssen, je größer die Eigengeschwindigkeit der Flügel ist.

Ohne weiteres können wir allerdings die für den einzelnen Flügel geltende Gleichung 17 nicht auf die Flügel des Windrades übertragen, da ja, wie wir schon wissen, die Flügel sich gegenseitig beeinflussen. Aber wir kennen jetzt diesen Einfluß:

er besteht darin, daß die Windgeschwindigkeit, welche auf die Flügel wirkt, nicht die ungestörte Geschwindigkeit v , sondern die kleinere v' ist, und daß sich dementsprechend die Leistung verringert. Wir können Gleichung 17 auf die Flügel des Windrades anwenden, wenn wir an Stelle der ungestörten Windgeschwindigkeit v die Durchflußgeschwindigkeit v' einsetzen. Wir wissen aus dem vorhergehenden auch, daß wir bemüht sein müssen, $v_2 = \frac{v}{3}$ und damit $v' = \frac{v + v_2}{2} = \frac{2v}{3}$ zu machen. Wir können daher für normale Verhältnisse annehmen, daß auch wirklich angenähert $v' = \frac{2v}{3}$ ist.

Nun sind alle Voraussetzungen gegeben, um die erforderliche Flügelgröße zu berechnen. Eine kleine Erschwerung liegt allerdings noch darin, daß die Eigengeschwindigkeit u der Windmühlflügel für jeden Radius anders ist. Wenn ω die Winkelgeschwindigkeit des Windrades ist, so ist

$$u = r\omega.$$

Wir müssen daher unsere Überlegungen für jeden Radius getrennt vornehmen. Betrachten wir anstatt der ganzen Kreisfläche des Windrades eine Ringfläche von der Breite b und dem mittleren Radius r (Fig. 8), so ist ihre Fläche $\Delta F = 2r\pi b$. Damit die sekundlich hindurchströmende Luftmasse $m = 2r\pi\rho b v'$ auf $\frac{1}{3}$ ihrer Geschwindigkeit abgebremst wird, muß diese Fläche eine axiale Kraft

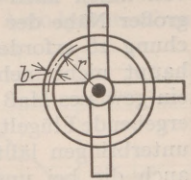


Fig. 8. Ringförmiger Ausschnitt aus der Windradfläche.

$$\Delta S = m(v_1 - v_2) = m \frac{2}{3} v = 2r\pi\rho b \frac{2}{3} v^2$$

ausüben¹. Hat das Rad n -Flügel von der Tiefe t , und beträgt die Winkelgeschwindigkeit des Rades ω , so ist für den betreffenden Ringquerschnitt $u = r\omega$ und $c = r\omega \sqrt{1 + \left(\frac{v'}{r\omega}\right)^2}$. Gemäß Gleichung 17 erhalten wir nach einer kleinen Umformung, indem wir beachten, daß $\Delta L = \Delta S \cdot v'$ ist:

$$\begin{aligned} \Delta S &= c_a \frac{\rho}{2} n t b v^2 \left(\frac{r\omega}{v'}\right)^2 \sqrt{1 + \left(\frac{v'}{r\omega}\right)^2} \left(1 - \varepsilon \frac{r\omega}{v'}\right) \\ &= c_a \frac{\rho}{2} n t b v^2 \left(\frac{r\omega}{v}\right)^2 \sqrt{1 + \frac{4}{9} \left(\frac{v}{r\omega}\right)^2} \left(1 - \frac{3}{2} \varepsilon \frac{r\omega}{v}\right). \end{aligned}$$

Durch Vergleich mit der vorhergehenden Gleichung ergibt sich hieraus

$$c_a \frac{n t}{2 r \pi} = \frac{16}{9} \left(\frac{v}{r\omega}\right)^2 \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{4}{9} \left(\frac{v}{r\omega}\right)^2} \left(1 - \frac{3}{2} \varepsilon \left(\frac{r\omega}{v}\right)\right)} \quad (28)$$

¹ Dies trifft nicht genau zu, da während der Ausgleichströmung vor und hinter dem Windrade die Luftteilchen auch untereinander geringe axiale Kräfte aufeinander ausüben. (Vgl. D. ТОМА, Grundsätzliches zur einfachen Strahltheorie der Schraube. Zeitschr. f. Flugtechn. u. Motorl. 1925; S. 206.)

Der Ausdruck $\frac{nt}{2r\pi}$ stellt das Verhältnis der Flügelbreite t zum Flügelabstand $\frac{2r\pi}{n}$, also, wenn man sich so ausdrücken will, die Flügel-dichte dar. Die Ausdrücke unter dem Bruchstriche rechts sind im allgemeinen nicht sehr von 1 verschieden, so daß als wesentlicher Einflußfaktor $\left(\frac{v}{r\omega}\right)^2$ erscheint, d. i. das Quadrat des Verhältnisses der Windgeschwindigkeit zur Flügelgeschwindigkeit an dem betreffenden Radius. Und zwar wird die Flügel-dichte um so kleiner, je größer die Flügelgeschwindigkeit ist. Durch die in gewissen Grenzen freistehende Wahl der Auftriebsziffer c_a hat man die Möglichkeit, die Flügeltiefe den konstruktiven Wünschen noch etwas anzupassen. Bei konstantem c_a müßte z. B. die Flügeltiefe t nach der Nabe zu größer werden. Gewöhnlich ist es aber bequemer, die Flügeltiefe annähernd konstant zu lassen und dafür die Auftriebsziffer von innen nach außen abnehmen zu lassen. In großer Nähe der Achse lassen sich die nach Gleichung 28 erforderlichen Abmessungen aber überhaupt nicht mehr erfüllen, da sich c_a nicht über ein gewisses Maß hinaus steigern läßt und die sich ergebende Flügeltiefe sich räumlich nicht recht mehr unterbringen läßt. Dazu kommt noch, daß dort auch die bei unseren Betrachtungen außer acht gelassenen tangentialen Ablenkungsgeschwindigkeiten sich in merklichem Maße ungünstig geltend machen. Man verzichtet daher gewöhnlich auf die Ausnützung des mittleren Teiles des Windrades, der doch nur unter ungünstigen Bedingungen arbeiten würde.

Da die Flügelgeschwindigkeit $r\omega$ an irgendeinem Radius r proportional der Geschwindigkeit $u_0 = R\omega$ der Flügelspitzen ist ($R = \frac{D}{2} =$ Radius des Windrades), so ist die Flügel-dichte im wesentlichen durch das Verhältnis $\frac{u_0}{v} = \frac{R\omega}{v}$, der Umfangsgeschwindigkeit des Rades zur Windgeschwindigkeit gegeben. Dieses Verhältnis drückt die Schnellläufigkeit des Rades aus. Wir kommen demnach zu dem Ergebnis:

Je schnellläufiger ein Windrad sein soll, um so kleiner muß seine Flügeldichte sein.

Eine große Schnellläufigkeit ist in doppelter Hinsicht erwünscht: Einmal brauchen wir weniger Flügel-fläche, das Rad wird also einfacher. Dann ist aber auch, worauf schon in der Einleitung hingewiesen wurde, die Energieübertragung auf die anzutreibenden Maschinen erleichtert. Die meisten Maschinen brauchen nämlich eine erheblich größere Drehzahl, als sie das Windrad hat, so daß fast immer eine Übersetzung ins Schnelle nötig ist. Diese Übersetzung wird nun wesentlich vereinfacht, wenn man durch Erhöhung der Schnellläufigkeit die Drehzahl des Windrades vergrößern kann. Einer weitgehenden Erhöhung der Schnell-

läufigkeit stehen aber erhebliche konstruktive Schwierigkeiten entgegen:

1. Die Gleitzahl. Der die Leistung verringernde Faktor $\left(1 - \varepsilon \frac{r\omega}{v'}\right)$ macht sich wesentlich geltend,

sobald $\frac{r\omega}{v'}$, von der Größenordnung $\frac{1}{\varepsilon}$ wird. Man muß daher bei Rädern für hohe Schnellläufigkeit auf sehr sorgfältig gearbeitete Profile achten, deren Gleitzahl hinreichend niedrig ist. Dadurch wird natürlich das Rad verteuert und der Vorteil der größeren Einfachheit wieder ausgeglichen.

2. Das Anlaufmoment. Beim Schnellläufer wird die zum Antrieb erforderliche Kraft auf die Flügel bei kleiner Flügel-fläche durch die große Eigengeschwindigkeit der Flügel erzielt. Diese Wirkung tritt aber nur ein, wenn der Flügel auch wirklich die große Eigengeschwindigkeit hat. So lange das Windrad stillsteht, sind aber die Kräfte auf die kleinen Flügel der Schnellläufer wesentlich kleiner als auf die großen der Langsam-läufer. Infolgedessen wird sich bei gleichen Reibungsverhältnissen, der Langsam-läufer schon bei schwächeren Winden in Bewegung setzen als der Schnellläufer. Da nun bei der Unregelmäßigkeit des Windes die Windräder häufig zum Stillstand kommen und wieder anlaufen müssen, so nützt der schwerer anlaufende Schnellläufer viele Winde mit geringer Geschwindigkeit nicht aus, die der Langsam-läufer noch verwertet.

3. Die Zentrifugalkräfte, die das Windrad bei seiner Drehung infolge unvermeidbarer Schwerpunktsfehler auf sein Befestigungsgerüst ausübt, sind natürlich bei der höheren Drehzahl größer als bei einer geringeren. Man muß daher entweder das Gerüst und seine Fundamente stärker halten, oder das Rad besser ausbalanzieren. Beides bedeutet aber eine Verteuierung der Konstruktion.

Alle diese Schwierigkeiten dürften der Grund sein, warum bis heute extreme Schnellläufer sich nicht eingebürgert haben. Wohl aber kann man eine langsame Entwicklung nach größerer Schnellläufigkeit hin feststellen. Es sind etwa folgende

Werte von $\frac{u_0}{v}$ gebräuchlich:

$\frac{u_0}{v} = 1$ bis 2, Langsam-läufer mit vielen Flügeln (Windturbinen),

$\frac{u_0}{v} = 2$ bis 3, Übergang zu Schnellläufern (etwa auch die alten vierflügeligen Windmühlen),

$\frac{u_0}{v} = 3$ bis 4 Schnellläufer.

Über $\frac{u_0}{v} = 4$ sind kaum Räder in Betrieb, wenn auch vereinzelt welche hergestellt wurden.

5. Versuchsergebnisse.

In den vorhergehenden Kapiteln haben wir den Vorgang der Energiegewinnung und die Grenzen derselben kennengelernt. Dadurch sind

wir in den Stand gesetzt, wenn wir von einem wirklichen Windrade die Leistung kennen, uns ein Urteil über seine Güte zu bilden. Leider liegen über die wahren Leistungen der Windräder noch sehr wenig zuverlässige Angaben vor. Es gibt zwei Verfahren, um diese Leistung zu ermitteln:

1. durch Untersuchungen ausgeführter für praktische Zwecke bestimmter Windmühlen,
2. durch Modellversuche im künstlichen Luftstrom.

Beide Verfahren haben ihre großen Nachteile. Bei dem ersten ist wohl die Ermittlung der Nutzleistung mit der in der Technik üblichen Genauigkeit ohne große Schwierigkeit möglich. Dagegen bietet die Bestimmung der Windgeschwindigkeit, von der ja die *erreichbare* Nutzleistung wesentlich abhängt, sehr erhebliche Schwierigkeiten. Einmal sind die Fehlermöglichkeiten bei der Messung von Windgeschwindigkeiten an sich sehr groß, und es ist schon erhebliche Sachkenntnis und Übung erforderlich, um einigermaßen richtige Werte zu erhalten. Da die Leistung aber mit der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit geht (Gleichung 25), so macht sich ein Fehler in der Windgeschwindigkeitsmessung ganz besonders stark bemerkbar. Wenn z. B. die Windgeschwindigkeit nur um 10% zu niedrig gemessen wurde, so ergibt sich eine um ca. 37% zu hohe Leistungsziffer. Ist aber die Geschwindigkeit in Wirklichkeit doppelt so groß wie gemessen, was bei unsachgemäßer Handhabung der Meßinstrumente immerhin vorkommen kann, so wird die Leistungsziffer 8mal so groß erscheinen als sie wirklich ist. Erschwerend wirkt dabei noch die große Unregelmäßigkeit des Windes: Die meisten Instrumente geben z. B. angenähert den Mittelwert der Geschwindigkeit an, während für die Windradleistung der Mittelwert der dritten Potenz der Geschwindigkeit maßgebend ist. Wenn z. B. der Wind abwechselnd gleich lange Zeit 4 m/sek und 8 m/sek-Geschwindigkeit hat, so würde das Meßinstrument etwa 6 m/sek im Durchschnitt angeben. Daraus würde man $v_m^3 = 6^3 = 216 \text{ m}^3/\text{sek}^3$ errechnen. In Wirklichkeit war aber für die Leistung maßgebend $v_m'^3 = \frac{1}{2}(4^3 + 8^3) = 288 \text{ m}^3/\text{sek}^3$. Da die Herstellerfirmen natürlich ein Interesse daran haben, ihre Windmühlen möglichst leistungsfähig erscheinen zu lassen, so werden sie bei verschiedenen Meßergebnissen die günstigsten für ihre Propagande verwerten, und so kommt es, daß in sehr viel Katalogen ganz erheblich zu hohe Leistungen angegeben sind. Verhältnismäßig gute Messungen an neueren Windrädern unter den natürlichen Verhältnissen sind in letzter Zeit vom landwirtschaftlichen Institute der Universität in Oxford durchgeführt worden¹.

Das zweite Verfahren der Windmühlenuntersuchung, der Modellversuch, vermeidet die großen

Schwierigkeiten, welche der natürliche Wind bietet, indem dabei ein künstlich erzeugter Luftstrom verwandt wird, dessen Geschwindigkeit sich wesentlich bequemer und genauer bestimmen läßt. Man muß dabei aber die Ungenauigkeiten mit in Kauf nehmen, welche durch die Verwendung eines Windradmodells von verhältnismäßig kleinen Abmessungen anstatt des wirklichen Windrades bedingt sind. Es ist meist nicht möglich, das Windrad mit allen seinen Kleinigkeiten, wie Schrauben, Nietköpfen u. dgl. im Modell genau nachzubilden. Und auch, wenn dies möglich wäre, so würden die am Modell gemessenen Kräfte nicht genau denen des großen Windrades entsprechen, da infolge des Einflusses der Luftzähigkeit, das zur Umrechnung vom Modell auf das große Rad dienende Ähnlichkeitsgesetz, besonders für kleine Bauteile, nicht ganz erfüllt ist. Immerhin sind die hierdurch entstehenden Fehler im allgemeinen nicht sonderlich groß, wenn bei der Modellherstellung durch Weglassen schlecht übertragbarer Teile auf diese Schwierigkeiten Rücksicht genommen wird. In Fig. 9 sind einige in der Aerodynamischen

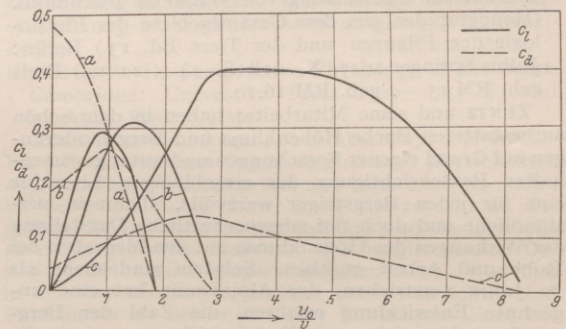


Fig. 9. Versuchsergebnisse an Windradmodellen:
a) Langsamläufer; b) mittlerer Typ;
c) Schnelläufer.

Versuchsanstalt zu Göttingen gewonnene Versuchsergebnisse¹ an Windradmodellen wiedergegeben, und zwar für einen ausgesprochenen Langsamläufer (a), einen extremen Schnelläufer (c) und einen der modernen Entwicklung näherkommenden mittleren Typ (b).

Als Abszisse ist das Verhältnis $\frac{u_0}{v}$ der Umfangsgeschwindigkeit zur Windgeschwindigkeit aufgetragen und abhängig davon als Ordinate die oben erwähnte Leistungsziffer

$$c_2 = \frac{L}{\frac{\rho}{2} v^3 \frac{D^2 \pi}{4}}$$

Von dieser Leistungsziffer wissen wir aus dem vorhergehenden, daß ihr theoretischer Grenzwert $\frac{1}{2}$ ist. Um die Verhältnisse beim Anlauf besser

¹ A Report on the use of Windmills for the generation of electricity. Oxford: Clarendon Press 1926.

¹ Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen. 3. Liefg. München: R. Oldenbourg 1927.

zu übersehen, ist außer der Leistungsziffer c_1 auch noch die Drehmomentziffer

$$c_d = \frac{M}{\frac{\rho}{2} v^2 \frac{D^2 \pi}{4} \cdot \frac{D}{2}} = c_1 \cdot \frac{v}{u_0}$$

aufgetragen ($M =$ Drehmoment des Windrades $= \frac{L}{\omega}$). Man erkennt, daß das eine Rad seine größte Leistung bei etwa $\frac{u_0}{v} = 0,9$ (Langsamläufer), das andere bei etwa $\frac{u_0}{v} = 1,5$, das dritte bei etwa $\frac{u_0}{v} = 3$ bis 5 (Schnellläufer) hat. Andererseits sieht man aber auch, daß das Anlaufdrehmoment (bei $\frac{u_0}{v} = 0$) des Schnellläufers wesentlich kleiner ist als das des Langsamläufers.

Zusammenfassung.

Nach einem Hinweis auf die besonderen bei Windmühlen auftretenden Fragestellungen wird der Vorgang der Energiegewinnung aus bewegter Luft behandelt. Dabei ergibt sich als hierzu besonders geeigneter Maschinenteil der *Flügel*. Weiterhin wird gezeigt, daß sich die Leistung eines Windrades von gegebenem Durchmesser nicht beliebig durch Vergrößerung der Flügelfläche erhöhen läßt, daß vielmehr mit dem Durchmesser eine obere Grenze der Leistung festgelegt ist. Für die Flügelfläche (Flügeldichte) gibt es günstigste Werte, und zwar muß die Flügeldichte um so kleiner sein, je schnellläufiger das Windrad sein soll. Für die an sich erwünschte Schnellläufigkeit bestehen Grenzen, welche hauptsächlich durch die mit zunehmender Schnellläufigkeit wachsenden Energieverluste bedingt sind. Zum Schlusse werden einige Versuchsergebnisse mitgeteilt.

Besprechungen.

BARCROFT, J., *Die Atmungsfunktion des Blutes*. I. Deutsche Übersetzung von WILHELM FELDBERG. (Monographien aus dem Gesamtgebiete der Physiologie der Pflanzen und der Tiere Bd. 13.) Berlin: Julius Springer 1927. X, 218 S. 14 × 22 cm. Preis geh. RM 15.—, geb. RM 16.20.

ZUNTZ und seine Mitarbeiter haben in dem schön ausgestatteten Buche Höhenklima und Bergwanderungen auf Grund eigener Forschungen und unter gewissenhafter Berücksichtigung der einschlägigen Literatur eine für jeden Bergsteiger wertvolle, allgemein verständliche und doch tief wissenschaftliche Darstellung der Wirkungen des Höhenklimas auf den Menschen bei Ruhe und Arbeit gegeben. Seitdem sind mehr als 20 Jahre verstrichen, der Alpinismus hat eine ungeahnte Entwicklung erfahren, die Zahl der Bergwanderer hat sich vervielfacht, „Viertausender“ die früher selten bestiegen wurden weisen heute einen Massenbesuch auf, Bergbahnen befördern Tausende von Menschen in kurzer Zeit ins Hochgebirge und ermöglichen selbst wenig gesunden Menschen, Kindern und Greisen die Gletscherregion zu erreichen ohne daß sie sich vorher irgendwie an die Wirkungen der geänderten klimatischen Faktoren anpassen konnten, ja auch mit dem Flugzeug kann heute jedermann in wenigen Minuten Höhen von 3000 und 4000 Metern erreichen und schließlich hat sich der Mensch auch an das höchste Problem, die Bezwingung des Himalaya, gewagt, und dieses in nationalem Ehrgeiz zu lösen getrachtet. Eine Fülle neuer Tatsachen wurde im Gebirge und im Laboratoriumsexperiment gefunden, und auch die Forschungsmethoden sind in vielen Belangen vollkommen neue Wege gegangen.

Waren es zuerst die Italiener die unter ihrem unvergeßlichen Meister Mosso die Führung in der physiologischen Hochgebirgsforschung inne hatten, traten später ZUNTZ, seine Mitarbeiter und Schüler wie überhaupt die deutschen Forscher an die Spitze; in den letzten einundeinhalb Dezennien haben sich diese aber unbestreitbar die englischen Forscher erobert. HALDANE und insbesondere BARCROFT haben neue Methoden geschaffen und in vortrefflich vorbereiteten Expeditionen eine Summe neuer Ergebnisse gewonnen, die sich auf das Verhalten der Atmung und der Blutgase bezieht und die einen außerordentlich wertvollen Fortschritt

der Höhenklimaforschung bedeuten. Insbesondere sind es die Ergebnisse der Untersuchungen BARCROFTS und seiner Mitarbeiter in *Hochperu*, die nun auch durch die Übertragung des englischen Originals dem deutschen Leser leichter zugänglich geworden sind und ihn noch mehr verpflichten, es mit der englischen einschlägigen Literatur genauer zu nehmen als dies im vorliegenden Buche mit der deutschen, französischen und italienischen Literatur geschehen ist. Das Buch ist darum von etwas subjektiver Färbung, was an vielen Stellen und sogar bei der Beschreibung der mit deutschen Forschern gemeinsam ausgeführten Teneriffa-Expedition zum Ausdruck kommt oder aus der Verkehrung der schon von A. LOEWY so einwandfrei nachgewiesenen fehlenden Wirkung der Kälte auf den Grundumsatz ins Gegenteil hervorgeht. Darf man also auf Vollständigkeit der Literatur wohl nicht rechnen, so ist doch die reiche Fülle neuen Materiales, die geistreiche Art der durchgeführten Versuche und die kritische Diskussion über die erhaltenen Ergebnisse geradezu klassisch zu nennen. Ungemein sympathisch berührt die anregende, leicht faßlich klare Art der Darstellung, die vielfach von einem feinen Humor getragen ist, der auch in der vortrefflichen Übersetzung gut zum Ausdruck kommt. Nicht nur dem Wissenschaftler sondern auch jedem gebildeten Bergsteiger wird das Buch viel Wertvolles, viel Anregung und Aufschluß bringen und insbesondere jenen als Ergänzung willkommen sein, die schon Freunde der „Bergwanderungen“ von ZUNTZ oder des Hochalpenbuches von Mosso geworden sind.

BARCROFT bespricht zuerst die Ursachen der Bergkrankheit und die Bedeutung des erniedrigten Sauerstoffdruckes für diese; die Ursache dafür, daß die Bergkrankheit in ganz verschiedenen Höhen auftreten kann, sieht er in Verschiedenheiten der Blutversorgung des verlängerten Markes, und in individuellen Momenten. Er beschreibt dann die Erscheinungen der Bergkrankheit und insbesondere das Verhalten der in Hochperu einheimischen Bevölkerung, deren Wohnstätten dort bis in eine Meereshöhe von 4900 m, also fast 400 m höher als die Capanna Margherita auf dem Monte Rosa hinaufreichen. An sich selbst und auch an seinen Begleitern beobachtete BARCROFT ausgesprochene Symptome der Bergkrankheit. Sie waren mit der Bergbahn von der Küste in geheizten Waggons, die zum Labora-

torium umgestaltet waren, behaglich emporgefahren, und arbeiteten an ihren Untersuchungen in Cerro de Pasco in 4330 m, in Oroya in 3360 m und in Casapalca in 4147 m. Die Verwaltung der Minen war ihnen in ganz außerordentlicher Weise entgegengekommen und förderte ihre Arbeiten nach Kräften, so daß sie unter ungleich günstigeren Versuchsbedingungen arbeiten konnten als alle bisherigen Höhenklimaforscher.

Die Arbeiter in den Bergwerken Hochperu ermöglichen sich ihre Leistungen unter dem verminderten Luftdruck durch das Kauen von Cocablättern. Bemerkenswert ist, daß sehr viel getanzt wird, ja daß Frauen bis zu fünf Stunden dem Tanze huldigen. Die Finger der Eingeborenen zeigen Trommelschlägelform, der Brustkorb ist besonders weit, tief und faßförmig, die Zwischenrippenräume sind weit, die Neigung der Rippen gegen den Stamm ist eine geringere als bei Europäern. Dadurch wird der Brustumfang um etwa 15% größer als bei gleich großen Flachländern. Dies ist um so auffälliger als die Eingeborenen in Hochtibet keine größeren Brustkörbe aufweisen sollen. Alle länger in Hochperu lebenden Personen zeigen eine pflaumenfarbige Haut, die etwa jener Polyglobuliekranker ähnelt. Die Farbe schlägt sofort in das Rosige um, wenn Sauerstoff geatmet wird oder wenn die Leute mit der Bahn in tiefere Regionen hinabfahren. Die Ursache hierfür ist die, daß das Hämoglobin nur mehr zu 85% mit Sauerstoff gesättigt ist und infolge der Sauerstoffzehrung in den Geweben wesentlich sauerstoffärmer in die Venen abströmt. BARCROFT konnte keinen Anhaltspunkt für eine Sauerstoffsekretion finden. Es spricht nichts dafür, daß eine solche Sekretion einen größeren Durchtritt von Sauerstoff durch die Lunge herbeiführen würde als dem Spannungsausgleich zwischen Blut und Lungenluft entspricht. Auch eine Anpassung der Weite der Lungencapillaren findet nicht statt doch dürfte durch irgendwelche Bedingungen eine größere Diffusionsgeschwindigkeit zustande kommen, da es sonst bei der gegebenen Länge der Lungencapillaren und der Strömungsgeschwindigkeit des Blutes insbesondere bei Arbeit nicht möglich wäre, daß die tatsächlich übertretende Menge von Sauerstoff in das Blut gelangen könnte. Natürlich sinkt bei größerer Arbeit die Sauerstoffsättigung des arteriellen Blutes stark und fällt dementsprechend auch der Sauerstoffgehalt des venösen Blutes noch mehr ab. Hierbei wird der Blutsauerstoff wesentlich besser ausgenützt. Sehr interessant sind die Erörterungen BARCROFTS über die Verbrennung der Milchsäure. Die *Akapnielehre* MOSSOS lehnt BARCROFT gleichfalls ab, aber auch eine Zunahme der Wasserstoffionenkonzentration im Blute in Ruhe konnte in Hochperu nicht nachgewiesen werden, ebensowenig eine Alkalose durch Austreibung der Kohlensäure im Sinne HENDERSONS. Bei der Arbeit steigt die Wasserstoffionenkonzentration und zwar um so mehr je größer die Arbeit ist. Es kommt zur Dyspnoe, da gleichzeitig auch die Erregbarkeit des Atemzentrums gesteigert wird. Überraschend ist die Feststellung, daß in Höhen über 4000 m bei fast unveränderter Reaktion des Blutplasmas die Reaktion der Blutkörperchen sich nach der alkalischen Seite verschiebt, was ein größeres Bindungsvermögen des Hämoglobins für Sauerstoff im Sinne einer wertvollen Anpassung bedeutet. Es wurden Pulsfrequenz, Blutdruck und Schlagvolum untersucht. Letzteres zeigte keine Änderung im Sinne einer Anpassung. Die Blutkörperchenzahl vermehrte sich von 5 auf etwa 7 Millionen, es vermehrten sich die Jugendformen der roten Blutkörperchen. Das Knochenmark befindet sich in solcher Höhe in lebhafter Tätigkeit und muß, um für

die neuzubildenden Blutkörperchen Platz zu schaffen, mehr an Jugendformen in die Blutbahn werfen als dem Zugrundegehen entspricht.

Aber nicht nur die Zahl der Blutkörperchen steigt absolut, sondern auch der Gehalt der Blutkörperchen an Hämoglobin, so daß eine beträchtliche Vermehrung des Gesamthämoglobins im Sinne einer Anpassung zustande kommt. Als Anpassungserscheinung bildet sich bei der Akklimatisation auch eine Erhöhung der Alkalireserve aus. Die Pufferung des Blutes verbessert sich.

Die geistige Leistungsfähigkeit für konzeptive Arbeit erwies sich als vermindert. Auch dauernd in Hochperu Wohnende sind an Ort und Stelle nur zu einfacheren geistigen Arbeiten fähig, zur Ausarbeitung von Entwürfen oder zur Erledigung schwierigerer finanzieller Entscheidungen fahren die Ingenieure und Beamten immer in niederere Regionen hinab. Ein eigenes Kapitel ist der Anpassung an das Klima so großer Höhen gewidmet. Den Schluß bilden sehr interessante Ausführungen über die physiologischen Schwierigkeiten bei der Besteigung des *Mount Everest*, von dem Arzt der Expedition 1924 R. HINGSTON verfaßt, die unter anderem zu der Feststellung kommen, daß die Wirkung der Sauerstoffatmung sicherlich weit überschätzt wird, und daß es sicher möglich sein werde, den Mount Everest-Gipfel auch ohne Sauerstoffatmung zu ersteigen. Viel wichtiger als die Sauerstoffatmung ist nach HINGSTON ausgiebige Akklimatisation.

A. DURIG, Wien.

CLARK, A. I., *Comparative Physiology of the heart*. Cambridge: University Press 1927. 157 S. und 15 Abb. Preis 8/6 sh.

Man kann wohl fragen, ob es überhaupt sehr fruchtbar ist, ein einzelnes Organ vergleichend physiologisch zu behandeln. Wenn das hier und auch sonst geschieht, so klebt man dabei immer noch viel zu sehr an Begriffen, die den Morphologen entlehnt sind, die ihrerseits zuerst in größerem Maßstabe den vergleichenden Gesichtspunkt in die Biologie eingeführt haben. Was man in der Physiologie vergleichend behandeln sollte, sind Funktionen an sich, nicht aber Funktionen eines bestimmten anatomischen Gebildes. Beim Herzen liegt noch der Mißstand vor, daß das, was so genannt wird, sich von sehr verschiedener morphologischer Herkunft erweist, sowie man über den Kreis der Wirbeltiere hinausgeht. Sinnvoller würde es daher dem Referenten erscheinen, die gesamte Blutbewegung vergleichend zu behandeln, vielleicht auch das Herz im Zusammenhang mit anderen rhythmisch arbeitenden Hohlorganen, oder als Teil einer vergleichenden Muskelphysiologie; so aber, herausgerissen aus den großen funktionellen Zusammenhängen, muß eine vergleichende Physiologie des Herzens als ein morphologisch-physiologischer Torso wirken. Der Referent richtet sich, wenn er dies sagt, nicht gegen das vorliegende Werk an sich, sondern gegen eine immer noch sehr verbreitete und nach seiner Ansicht falsche Auffassung von dem, was die Aufgabe einer vergleichenden Physiologie sein sollte. Morphologische Gesichtspunkte als Einteilungsprinzip in der vergleichenden Physiologie heranzuziehen, liegt zwar sehr nahe und ist sehr bequem, aber es entspricht nicht dem selbständig gewordenen Inhalt unserer Wissenschaft und, wo dies vermieden werden kann, da sollte es auch geschehen.

Dadurch also, daß das Herz nicht als Teil des ganzen Zirkulationsapparates sondern für sich betrachtet wird, ergibt es sich von selbst, daß die ökologische Seite, die in der vergleichenden Physiologie Berücksichtigung verlangen kann, überhaupt nicht behandelt ist. Der Vergleich mit anderen Hohlorganen, der schon lange

nach einer eingehenden Behandlung schreit, ist zwar an einigen Stellen angedeutet, kommt aber nicht zur Durchführung. Eingehend, wenn auch vielleicht noch nicht in ausreichendem Maße, ist der Vergleich zwischen den Eigenschaften des Herzmuskels verschiedener Tiere unter sich und mit denen anderer Muskeln durchgeführt. Hier bewegt sich der Autor auf einem Gebiet, das ihm liegt und wo er einen ausgesprochenen, manchmal wohl auch anfechtbaren Standpunkt vertritt (so in bezug auf die Automatie und auf das „Alles- oder Nichtsgesetz“).

Zweck des kleinen Buches soll es offenbar sein, das wesentliche und einigermaßen feststehende Tatsachenmaterial über die Physiologie der Blutmotoren unter vergleichenden Gesichtspunkten zusammenzufassen, und zwar im wesentlichen mit Hinblick auf diejenigen, welche sich mit dem Wirbeltierherzen beschäftigen oder beschäftigen wollen. *Dieser Zweck ist durchaus erreicht.* Auch derjenige, der sich viel mit Herzsuntersuchungen abgegeben hat, wird noch mancherlei aus dem Buch lernen oder in neuem Licht erblicken. Das Herz der wirbellosen Tiere ist dabei etwas stiefmütterlich behandelt, wohl nicht allein deswegen, weil, wie der Autor mit Recht sagt, vieles noch so unklar ist, sondern auch aus dem Grunde, daß sein Interesse und das der meisten Leser mehr den Wirbeltieren zugewandt ist, denn eine ganze Menge von Beobachtungen an den „Herzen“ von niederen Tieren, die wohl Beachtung verdienen und als Schlüssel zur Aufklärung von Eigenschaften vollkommenerer Herzen dienen könnten, findet keine Erwähnung.

Der Schwerpunkt des ganzen Buches liegt in den Kapiteln, welche die Eigenschaften des Herzmuskels, die Reizleitung, den Einfluß der Temperatur und die Beziehungen zwischen Herzgewicht und Schlagvolum bzw. Herzarbeit behandeln, Kapitel, die sich naturgemäß vorzugsweise auf Wirbeltierherzen beziehen. Hier ist das Tatsachenmaterial in sehr klarer und anregender Weise zusammengestellt. Dem letzten Kapitel über den Einfluß des Ionenmilieus auf die Herzaktion würde ein näheres Eingehen auf die zugrunde liegenden physikalisch-chemischen Probleme nützlich sein. Sehr begrüßenswert sind die angehängten Tabellen über Puls-

frequenz, über die Beziehungen zwischen Körpergewicht, Herzgewicht und Aortenquerschnitt usw.

A. BETHE, Frankfurt a. M.
MEYERHOF, OTTO, *Chemical Dynamics of life Phenomena.* London: T. B. Lippincott Co. 1924. 109 S. 13 × 20 cm. Preis 12/6 sh.

Die Monographie enthält fünf in England bzw. Amerika gehaltene Vorträge des Verfassers. Die Titel sind folgende: I. On the physico-chemical mechanism of cell respiration; II. Autoxidations in the cell; III. Chemical relations between respiration and fermentation; IV. The transformation of energy in muscle; V. The energetics of cell processes.

Jeder Vortrag für sich und die Zusammenfassung aller bildet ein geschlossenes Ganzes. Der Versuch über den sachlichen Inhalt der Vorträge, der in den Titeln schlagwortartig umrissen ist, im einzelnen zu berichten, würde auch nicht annähernd einen Begriff von dem Reichtum des Buches geben: nicht nur, daß zahlreiches Tatsachenmaterial beigebracht ist, das jedem, der nach dem letzten noch eben ergründbaren Mechanismus der Energieumwandlung und des Stoffwechselfgeschehens fragt, geläufig sein sollte aber kaum geläufig sein dürfte, vor allem ist die in einem Bericht nicht wiederzugebende Verknüpfung der Tatsachen von bestimmten Gesichtspunkten aus, bei schärfster Heraushebung des Hypothesischen, in besonderem Maße lehrreich und anregend. Der Bericht kann auch keinen Begriff geben von dem Wert der Vorträge, der, mindestens für den Ref., in ihrer Gestalt liegt: wir haben den seltenen Genuß einen einheitlichen Bau vor uns zu sehen. Plan und Durchführung zeigen die gleiche eiserne Folgerichtigkeit und die gleiche harmonische Verkettung von Intuition und Logik, wie sie für das wissenschaftliche Sonderwerk MEYERHOFS charakteristisch ist.

Eine Zusammenfassung sollte immer mehr und etwas anderes sein als die bloße Summe der Einzel Tatsachen; hier ist sie es. Vor allem lehrt sie uns das Ziel kennen, in dessen Dienst MEYERHOFS Sonderwerk geschaffen wurde. Und nachdem dies Ziel eines der höchst zu steckenden in der Biologie schlechthin ist, kann schon aus diesem Grund das Buch nicht genug empfohlen werden.
O. LOEWI, Graz.

Botanische Mitteilungen.

Pollenanalytische Untersuchungen in der schwäbischen Alb und im wärmsten Teile Württembergs. Anschließend an seine Moorstudien in Oberschwaben dehnt BERTSCH das Beobachtungsnetz über weitere Areale Württembergs aus und gelangt zu einer recht erfreulichen Erweiterung unserer Kenntnisse (Veröffentl. d. staatl. Stelle f. Natursch. b. württ. Landesamt f. Naturdenkmalpfl. 1926, H. 3). Eines der analysierten Moore liegt im Bereiche der schwäbischen Alb, bei Hanfental in der Nähe von Sigmaringen, unmitttelbar an der Grenze der letzten Vereisung. Über 9 m Riedtorf sind hier aufgeschichtet worden, der sich im wesentlichen aus Seggen zusammensetzt, aber auch mannigfache Reste von Algen und Moosen birgt. Unter den Algen geben die Desmidiaceen, vorab Cosmarien den Ton an, und zwar sind es dieselben *nordisch-montanen* Formen, die auch STARK für das Bodenseegebiet nachweisen konnte und von denen er auf ehemals kühle Temperaturlagen schloß (Cosmarium pachydermum, C. pseudopyramidatum, C. subtumidum u. a.). Beachtenswert ist aber vor allem — und auch darin besteht eine Parallele — daß in den basaleren Regionen 2 Moose eine hervorragende Stellung einnehmen, die *subarktischen* Charakter tragen: Meesea triquetra und

Hypnum trifarium. Wie STARK für Baden, so konnte BERTSCH für Württemberg dartun, daß hier eine ganz allgemeine Erscheinung vorliegt, und daß es sich bei den gegenwärtig so zerstreuten Fundpunkten offenbar nur um die letzten Relikte aus der Eiszeit handelt. Die pollenanalytische Untersuchung ergab eine schrittweise Ablösung folgender Waldperioden: 1. Kiefer, 2. Hasel, 3. Eichenmischwald (Eiche + Ulme + Linde) und 4. Buche. Das entspricht dem allgemeinen, für die Ebenenlagen Südwestdeutschlands gültigen Bild, nur daß die letzte Entwicklungsetappe, der Fichtenanstieg, fehlt. Zwischen die Eichenmischwald- und die Buchenphase schiebt sich ein pollenarmer Verwitterungshorizont ein, der der subborealen Trockenperiode entspricht und eine Einfügung der Waldfolge in das BLYTT-SERNANDERSche Entwicklungsschema¹ gestattet, dergleichen eine Parallelisierung zu den prähistorischen Entwicklungsetappen. Die subboreale Zeit liegt an der Wende des Neolithikums und der Bronzezeit. Der Eichenmischwald fällt in das Neolithikum und ent-

¹ Boreale Phase → atlantische Phase → subboreale Phase → subatlantische Phase; 1 und 3 trocken, 2 und 4 feucht.

spricht zum mindesten in seinem letzten Abschnitt der atlantischen Phase, während die Buche in der jüngsten, der subatlantischen Periode ihre führende Stellung erobert. Sie beginnt ihren Entwicklungsgang in der subborealen Zeit, rund 1000 Jahre v. Chr. Bezeichnend ist, daß die atlantischen Bäume, Tanne und Buche, zuletzt auf dem Felde erscheinen, eine Tatsache, die damit im Zusammenhang steht, daß sie die weitesten Einwanderungswege zurückzulegen hatten. Im Beginne des Postglazials herrschte ein trockenes Klima, und so sind es die kontinental getönten Gehölze, die zuerst auftreten, Kiefer und Hasel, und dann der Eichenmischwald, der in dieser Beziehung eine mittlere Stellung einhält. Verfolgt man die Pollenspektren zeitlich zurück, dann fällt die stetige Verarmung des Waldbildes auf. In dem tiefsten Spektrum treffen wir neben Birke und Kiefer in stärkerer Vertretung nur noch die Hasel; Eiche, Ulme, Linde und Erle sind nur in Spuren eingestreut. Etwas weiter zurück noch reicht das Profil, das aus den wärmsten Teilen Württembergs, einem untergegangenen Moor bei Großgartach in der Nähe von Heilbronn, gewonnen ist. Hier treffen wir in der untersten Probe nur noch Birke und Kiefer. Diese Zone entspricht etwa dem 6. bis 7. Jahrtausend v. Chr. Man darf aus dem Befund schließen, daß selbst in dieser klimatisch begünstigten Lage Württembergs während der Eiszeit alle wärmelebenden Bäume das Feld geräumt haben. Zu demselben Ergebnis gelangt man von ganz anderer Seite aus. Aus der Lage des Eisrandes während des Maximums der letzten Eiszeit berechnet BERTSCH als oberste Grenze für das Auftreten von *Pinus montana* (Bergkiefer) 500 m. Die entsprechenden Werte sind für die Fichte 200 m, für die Waldkiefer 140 m und für die Weißbirke 90 m. Da alle anderen Bäume höhere Wärmeansprüche stellen, müssen sie während der Vereisung gefehlt haben. Das entspricht, wie BERTSCH betont, der Tatsache, daß STARK in der Schieferkohle von Steinbach bei Oos neben der alpinen Weide *Salix myrtilloides* nur Birke, Kiefer und Fichte beobachtet hat und daß bei den in größerer Eisnähe gelegenen Mammuttonen von Rümplingen in Südbaden überhaupt nur alpine Gletscherweiden als einziges Gehölz festgestellt werden konnten.

Die Moore des Riesengebirges. Ihre schönen Studien über das Erzgebirge ergänzend, berichten neuerdings RUDOLPH und FIRBAS über das *Riesengebirge* (Beih. z. bot. Zentralbl. 2. Abt. 1927). Die im Erzgebirge gewonnenen Erfahrungen haben sich im wesentlichen bestätigt. Nach den pollenanalytischen Zählungen läßt sich als Einwanderungsfolge der verschiedenen Waldbäume folgende Serie von Waldperioden aufstellen: 1. *Kieferzeit* (präboreal), 2. *Kiefer-Haselzeit* (boreal), 3. *Eichenmischwaldzeit* (boreal-atlantisch), 4. *Fichtenzeit* (atlantisch), 5. *Buchen-Tannenzeit* (subboreal bis subatlantisch) und *rezente Zeit* (Fichten- und Kiefernanstieg). In der ersten Etappe der Kieferzeit waren bloß Birke und Weide vorhanden, es folgen in der Einwanderung erst die Hasel, dann Eichenmischwald, dann Erle und Fichte und erst daran schließen sich die atlantischen Bäume, Buche und Tanne, an. Die kontinentalen Gehölze eilen also in der Entwicklung voraus. In der Hasel- und Eichenmischwaldzeit, aber auch noch in der Buchen-Tannenzeit muß die Temperatur *wesentlich höher* gewesen sein als in der Gegenwart. Denn die maßgebenden Bäume übersteigen ihre derzeitige Gebirgsgrenze zum Teil *über 400 m*, und selbst auf dem *Riesengebirgskamm* müssen zeitweise Haselwälder gestockt haben, also *über* der gegenwärtigen absoluten Baumgrenze. Vergleicht man die in ver-

schiedenen Höhenlagen gewonnenen Ergebnisse, so gibt sich eine deutliche *regionale Staffelung* zu erkennen, vor allem im Verhalten des Eichenmischwaldes, der über die Fichte um so mehr dominiert (absolutes Eichenmischwaldmaximum!), je tiefer die Moore liegen. Wie in der Arbeit über das Erzgebirge, so wurde auch hier die Beweiskraft der pollenstatistischen Untersuchungen durch *Oberflächenproben* kontrolliert, die in verschiedenen Höhenlagen entnommen wurden. Es sollte auf diese Weise ein Urteil darüber gewonnen werden, inwieweit sich aus den Pollenspektren verlässliche Schlüsse auf die Zusammensetzung des Waldes ableiten lassen. Die Verfasser gelangen zu der Feststellung, daß solche Schlüsse tatsächlich zulässig sind. Die Oberflächenproben ergeben in der tieferen Gebirgslage gute Vertretung der Buche, in der Fichtenregion Vorherrschen der Fichte und in der Knieholzzone mit *Pinus montana* stärkste Beteiligung der Kiefer an den Pollenspektren. Dieser letzte Zug bleibt auch bei den Pollenspektren oberhalb der Gehölzzone bestehen. Wichtig ist, daß auch hier noch *alle* Gehölze in der Zusammensetzung der Pollenspektren wiederkehren, freilich mit nur geringen Prozenten. Natürlich kann es sich hier nur um *Fertransport* handeln. Im einzelnen ergibt sich, daß Pollen zum mindesten über 10 km verschleppt wird und von der Tiefe kommend in der Luft Höhendifferenzen von 1000 m überwinden kann. Die Tatsache, daß am Schlusse der Entwicklung die Fichte wieder hochkommt und ihrerseits dann durch die Kiefer abgelöst wird, steht mit dem Rückgang der Temperatur nach der postglazialen Wärmezeit und mit dem Herabwandern der Waldgürtel im Zusammenhang. Die Pollenspektren zeigen eine fortschreitende Annäherung an die gegenwärtigen. Dies gilt freilich nicht allgemein. Vielfach bricht die Entwicklung vorzeitig ab, und zwar in der höheren Gebirgslage. Offenbar sind hier — und darin spiegelt sich wieder ein Temperatureinfluß — die Bedingungen für die Ablagerung von Torf nicht günstig gewesen. Es ist bekannt, daß hierzu ein gewisses Temperaturminimum erforderlich ist, dem das Klima in den letzten Etappen der subatlantischen Zeit nicht mehr genügte. Diese Verhältnisse finden noch ihren Widerhall in der Zusammensetzung des Torfes. Gegenwärtig kann als die bezeichnendste Formation diejenige von *Scirpus caespitosus* (Rasenbinse) namhaft gemacht werden, zu der sich als Schlußglied diejenige von *Pinus pumilio* (Krummholz) hinzugesellt: die Moore der Gegenwart tragen *subalpin-subarktischen* Charakter. Im Torfe selbst gelangt aber *Scirpus caespitosus* nirgends zu einer führenden Stellung: im Gegensatz zu den rezenten Verhältnissen tragen die Moore in der Wärmezeit *montan-mitteeuropäischen* Charakter. Erwähnt sei schließlich noch, daß sich auch in der Zusammensetzung des Torfes eine deutliche Staffelung nach der Höhenlage der Moore zu erkennen gibt. In den subalpinen Mooren treffen wir als maßgebende Form *Sphagnum Lindbergii*, die an den Norden gemahnt, in mittleren Lagen *Scheuchzeria*, am Fuße des Hanges beteiligen sich aber an der Zusammensetzung des Torfes im stärkeren Ausmaße *Phragmites* (Schilf), *Equisetum limosum* u. a., die ein *höheres Wärmebedürfnis* aufweisen.

Vergleicht man die im Riesengebirge (wie auch im Erzgebirge) gewonnenen Ergebnisse mit jenen, die für *Südwestdeutschland* ermittelt worden sind, so ergibt sich bei weitgehendster sonstiger Übereinstimmung der wesentliche Unterschied, daß im Osten die Fichte in der Ausbreitung der Buche und der Tanne vorangeilt ist, so daß sich die maßgebenden Teilphasen gegeneinander verschieben.

Über Fragen der Geschlechtsbestimmung bei höheren Pflanzen. In einem zusammenfassenden Aufsatz behandelt CORRENS einige Fragen der Geschlechtsbestimmung bei den höheren Pflanzen, ein Problem, das neuerdings sehr stark in den Vordergrund getreten ist (Zeitschr. f. indukt. Abstammungs- u. Vererbungslehre 41. 1926). CORRENS unterscheidet da vier Stufen, die in der phylogenetischen Entwicklung aufeinander gefolgt sind, ohne daß sie dabei immer unmittelbar auseinander hervorgegangen zu sein brauchen. Die *erste Stufe* umfaßt die gemischtgeschlechtigen Laub- und Lebermoose. Bei ihnen ist die Geschlechtsbestimmung rein phänotypisch, wie auch bei den entsprechenden Farnpflanzen. Bei der als Beispiel herangezogenen *Funaria* liegen die Dinge derart, daß die männlichen Blüten endständig sind, die weiblichen an Seitenachsen stehen. Die Determinierung, ob männliche oder weibliche Geschlechtszellen entstehen, erfolgt sehr spät, denn die Regenerationsprodukte, die man selbst aus den Schwesterzellen der Eizelle gewinnt, zeigen noch gemischtgeschlechtigen Charakter. Äußere Faktoren können die Entwicklung sehr leicht nach der einen oder der anderen Richtung, d. h. im Sinne einer Produktion männlicher bzw. weiblicher Geschlechtsorgane verschieben. Die *zweite Stufe* nehmen die getrenntgeschlechtigen Laub- und Lebermoose ein. Hier ist die Geschlechtstrennung genotypisch geworden, und zwar erfolgt sie bei der Reduktionsteilung während der Sporenbildung. Von den 4 Sporen einer Tetrade entwickeln sich 2 zu einem weiblichen, 2 zu einem männlichen Gametophyten (grüne Moospflanze bzw. Farnprothallium). Im Geschlechtsakt fließen die männlichen und die weiblichen Tendenzen wieder zusammen und es entsteht der geschlechtlich neutrale Sporophyt. Für das Lebermoos *Sphaerocarpus* konnte erstmals bei Pflanzen das Vorhandensein von Geschlechtschromosomen nachgewiesen werden. Der weibliche Gametophyt ist hier mit einem X-, der männliche mit einem Y-Chromosom ausgestattet. Daß aber die männlichen und die weiblichen Pflanzen auch die Anlagen des anderen Geschlechts tragen, ist aus bestimmten teratologischen Erscheinungen mit Sicherheit zu ersehen. Deshalb ist die Annahme berechtigt, daß es von dem Eingreifen ganz bestimmter Gene, der sog. Realisatoren (WERTSTEIN) abhängt, welches Geschlecht zum Durchbruch gelangt. Die *dritte Stufe* wird durch die gemischtgeschlechtlichen Blütenpflanzen eingenommen, denen sich schon die heterosporen Farne anschließen. Für die Blütenpflanzen ist bezeichnend, daß unter Umkehrung der Verhältnisse bei den Moosen der Gametophyt auf den Sporophyten übergegangen ist, wobei der männliche Gametophyt aus der Mikrospore (Pollenkorn) der weibliche aus der Makrospore (Embryosack) hervorgeht. Schon das Vorhandensein von Makro- und Mikrosporen bringt die Tatsache zum Ausdruck, daß hier die Geschlechtstrennung auf den Sporophyten übergreifen hat. Die männlichen und die weiblichen Sexualorgane (Andröceum und Gynöceum) entstehen auf dem Sporophyten. Während auf dieser Stufe aber die Geschlechtstrennung innerhalb des Sporophyten noch rein phänotypisch ist, ist die auf der letzten, der *vierten* von CORRENS unterschiedenen *Stufe* genotypisch geworden. Hierher gehören die diöceischen Blütenpflanzen, die deutlich in männliche und weibliche *Sporophytenpflanzen* gegliedert sind. Die männlichen bilden bloß männliche, die weiblichen bloß weibliche Blüten. Die Entscheidung über den Geschlechtscharakter der Sporophytenpflanze fällt hier in den Sexualakt und zwar liegen die Verhältnisse in allen sicher analysierten Fällen derart, daß die weiblichen

Gameten alle unter sich gleichartig sind, während die männlichen zu gleichen Teilen in Männchen- und Weibchenbestimmer zerfallen. Das *männliche* Geschlecht ist hier also heterogametisch. Diese Tatsache ist aus den verschiedensten Beobachtungen erschlossen worden: 1. aus dem Verhalten der reziproken Kreuzungen zwischen getrennt- und gemischtgeschlechtigen Arten, 2. aus geschlechtsbegrenzter Vererbung, 3. aus Zertationsversuchen (Konkurrenz zwischen männchen- und weibchenbestimmenden Pollenkörnern) und 4. aus der Cytologie (Geschlechtschromosomen). Gerade die Frage nach dem Vorkommen der Geschlechtschromosomen ist jetzt in den Blickpunkt der Betrachtung gerückt, und nach der neuesten zusammenfassenden Darstellung von MEURMAN liegen bereits 20 gesicherte Fälle vor, die einen schönen Anschluß an zoologische Feststellungen liefern. Die meisten Pflanzen folgen dem Lygaeustypus (großes X- kleines Y-Chromosom). Aber auch der Protenortypus ist verwickelt (nur X- und fehlendes Y-Chromosom). Eine Sonderstellung nimmt *Rumex acetosa* ein, wo einem X- *zwei* Y-Chromosomen entsprechen. Für *Fragaria* besteht die Möglichkeit, daß das *weibliche* Geschlecht heterogametisch ist. Im einzelnen wirken sich die Geschlechtschromosomen genau so aus, wie im Tierreich. Bleiben wir beim Lygaeustypus, so besitzen alle weiblichen Gameten einen haploiden Chromosomensatz mit einem X-Chromosom, die männlichen einen haploiden Satz, der hälftig ein X-, hälftig ein Y-Chromosom enthält, und $X \times X$ gibt ♀♀ , $Y \times X$ gibt ♂♂ , so daß sich weibliche und männliche Pflanzen nach ihrer Chromosomenführung unterscheiden.

Bei den höheren Pflanzen ist der Zustand der Geschlechtstrennung zweifellos abgeleitet, und so ist es verständlich, daß es zahlreiche Beobachtungen gibt, die auf ein fließendes Ineinanderübergehen der beiden zuletzt genannten Stufen hindeuten. Offenbar sind es stufenweise Verschiebungen in der *Valenz* der männlichen und weiblichen Anlagen, die von dem Hermaproditismus zur Diöcie hinüberführen, und viele Zwischenetappen, die sich in keines der beiden Schemata einfügen lassen und zumeist experimentell noch wenig geklärt sind, bedürfen einer dringenden weiteren Analyse. Hier ist von CORRENS selbst schon eine Menge von Vorarbeit geleistet worden.

Der deutsche Wald. Berlin: (Ullstein 1927, 133 S.) In einem der Sammlung „Wege zum Wissen“ angehörigen Bändchen behandelt MAX WOLFF in knapper, leicht faßlicher Form den deutschen Wald. Die Darstellung beginnt mit einer Aufzählung der wichtigsten deutschen Holzarten (8 Nadel- und 30 Laubbölzer), die durch gute Strichzeichnungen charakterisiert und in ihrer morphologischen Ausgestaltung, sowie in ihren Lebensansprüchen und ihrem standörtlichen Auftreten dem Leser nahegerückt werden. Auch der wichtigsten Einführungen (Douglastanne, Weymuthskiefer, kanadische Pappel, Roteiche und Robinie) wird gedacht. Es schließt sich ein Abschnitt über die verschiedenen Waldformen an. Das Wesen des Kahlschlags, Schirmschlags, Femelschlags usw. wird näher erläutert und begründet, so daß sich auch der Laie mit diesen für die forstliche Praxis so wichtigen Begriffen vertraut machen kann. Weiterhin bespricht der Verf. die Verteilung des Waldes innerhalb des behandelten Areals und tut auch der Verschiebungen Erwähnung, die hinsichtlich der Zusammensetzung in historischer Zeit eingetreten sind und die vielfach in den Ortsnamen ihre Spuren hinterlassen haben. Ein besonderer Abschnitt ist der Bedeutung des Waldes für Klima und Boden geweiht. Beachtenswert ist die Tatsache, daß innerhalb

des Waldes die Temperaturextreme gemildert werden. So finden wir im Sommer eine Herabsetzung, im Winter ein Emporrücken der mittleren Wärmemenge. Diese Differenzen sind sowohl bei den Luft- wie auch bei den Bodentemperaturen bemerkbar, überschreiten aber nur in Ausnahmefällen in den heißesten Monaten 4° . Die relative Luftfeuchtigkeit ist im Walde höher als im Freien, die Differenzen bewegen sich zwischen 3 und 10%. Im Gebirge kommt der Wald als Erhalter der Bodenfeuchtigkeit und der Quellen in Betracht. Das sind nur einige der angeschnittenen Fragen, die eine schöne Abrundung erfahren durch die in dem Anhang beigegebenen Tabellen. Wir finden hier Florenlisten der ersten Frühlingsboten im noch unbelaubten Wald, der Frühlingsflora des frisch ergrünnten Laubwaldes, der Sommerflora nasser Waldstellen, sowie der Waldränder und des Baumschlages, eine Liste der Bodenweiser (Kalkpflanzen, Kieselpflanzen usw.). Es folgen statistische Angaben über die Nährstoffansprüche der einzelnen Waldformen, über ihre Holzproduktion, über die Waldverteilung in Europa und verschiedenes andere. Interessant sind vor allem die vergleichenden Daten über den Waldbesitz, denen Tabellen von ILVESSALO, WEBER und HAUSRATH zugrundeliegen. Ausgedrückt in Millionen Hektar beträgt der Waldbesitz von Sowjetrußland (einschließlich Ostkaralien, Ukraine und Kaukasien) 153,3, von Schweden 23,2, von Finnland 21,4 und von Deutschland 12,4. Es folgen in absteigender Reihenfolge Frankreich, Polen, Rumänien usw. und am Schlusse rangiert Griechenland mit 0,6—0,8. Hinsichtlich des prozentualen Anteils des Waldes an der gesamten Landfläche ist zu bemerken, daß hier Finnland mit 57% an der Spitze steht. Schweden weist 47,7%, Österreich 32,6%, Deutschland 26,3%, Frankreich 18,2%, Italien 14%, Spanien 9,9% und Großbritannien mit Irland nur 4,0% auf. In Deutschland findet eine recht starke Schwankung innerhalb der einzelnen Bundesstaaten statt. So betragen — um nur ein paar Beispiele herauszugreifen — die Werte für Schwarzburg-Rudolstadt 44,4% (Maximum!), für Bayern 33,3%, für Württemberg 31%, für Baden 30%, für Sachsen 25,3% und für Preußen (vor dem Kriege) 24,2%. Mit Rücksicht auf die Beteiligung der einzelnen Waldbäume an der Zusammensetzung des Waldes ist zu bemerken, daß die Kiefer allein schon 44,6% ausmacht. Die Fichte folgt mit 20,1% und daran schließen sich in absteigender Reihe die Buche, die Eiche und die Tanne an. Die Lärche erreicht nur 0,1%. Insgesamt betrachtet liefert das Bändchen einen sehr schönen Überblick vor allem für den Nichtforstmann und tritt neben die gleichnamige Darstellung von HAUSRATH in der Sammlung „Aus Natur und Geisteswelt“, die entsprechende Ziele verfolgt.

Abänderung des Zahlenverhältnisses zwischen männlichen und weiblichen Blüten bei *Begonia Wallichiana*. Über recht interessante Abweichungen von der normalen Verteilung männlicher und weiblicher Blüten über die Inflorescenz von *Begonia Wallichiana* (Schiefblatt) berichtet E. IRMSCHER (Mitt. a. d. Inst. f. allg. Bot. in Hamburg 6. 1924). Die Blütenstände bestehen hier aus nur vierzähligen Wickeln, deren 3 obere Blüten männlichen Charakter tragen, während die basale Blüte weiblich ist. Normalerweise stehen also die männlichen Blüten zu den weiblichen in dem Verhältnis 3 : 1. Dabei verdient Beachtung, daß sich die beiden Blütentypen nicht nur hinsichtlich der Ausbildung der Sexualorgane unterscheiden, sondern daß auch die Blütenhülle verschieden ist. IRMSCHER konnte nun Fälle konstatieren, wo die dritte Blüte von oben, also die der weiblichen Grundblüte benachbarte, ebenfalls

weiblichen Charakter trug, so daß nunmehr das Sexualverhältnis 2 : 2 hergestellt war. Besonders auffällig ist dabei nun die Tatsache, daß diese Umschaltung nur die eigentlichen Geschlechtsorgane betraf, daß also an Stelle der Staubblätter Fruchtblätter getreten sind, während die Blütenhülle den Typus der männlichen Blüte bewahrt hat. Man kann das auch so ausdrücken, daß nur die primären, nicht aber die sekundären Geschlechtsmerkmale umgeschlagen sind, und daß also in diesem Falle zwischen den primären und den sekundären keine absolute Koppelung besteht. Offenbar liegen demnach den primären und den sekundären Geschlechtscharakteren selbständige Anlagekomplexe zugrunde. Nun liegen aber bei den monözischen Pflanzen, zu denen unsere *Begonia* gehört, die Dinge so, daß alle Individuen sowohl die männlichen und die weiblichen Gene besitzen, die Geschlechtstrennung ist rein phänotypisch, und man kann sich die Blüten-differenz so verständlich machen, daß man annimmt, daß bestimmte *Verteilungsanlagen* dahin wirken, daß in einer gewissen Region die männlichen, in einer anderen die weiblichen Charaktere zum Durchbruch gelangen. Wie alle Anlagen, so sind auch diese Geschlechtsverteilungsanlagen von den Außenfaktoren abhängig, und IRMSCHER spricht die Vermutung aus, daß es ungünstige Ernährung ist, die, wie so oft, das Gleichgewicht zugunsten der weiblichen Charaktere verschiebt, wobei sich freilich der bezeichnende Unterschied hinsichtlich der primären und der sekundären Merkmale ergibt. „Dies führt zu der Auffassung, daß bei *Begonia Wallichiana* der Geschlechtsverteilungsfaktor nur die primären Geschlechtscharaktere in der Gewalt hat, daß aber ein sekundäres Geschlechtsmerkmal wie die morphologische Struktur der Blütenhülle anderweitig bedingt und festgelegt ist. Es liegt daher nahe, hierfür einen besonderen Verteilungsfaktor anzunehmen, der das Auftreten der beiden Perianthanlagen selbständig regelt und keineswegs so labil ist wie jener für die Geschlechtsmerkmale.“

Ein Fall von Merogonie infolge Artkreuzung bei *Compositen*. Um die Bedeutung des Protoplasmas für die Vererbung zu ermitteln, hat BOVERI seinerzeit entkernte Seeigelleier mit den Spermatozoen einer anderen Gattung befruchtet. Es bestand dabei die Aussicht, auf diese Weise Individuen zu erhalten, deren Plasma von dem einen, deren Kernbestand von dem anderen Elter stammte. Kommt dem Plasma eine Bedeutung für die Übertragung erblicher Gattungsmerkmale zu, dann mußte es sich in solchen „Merogonieversuchen“ zeigen. Leider führten die Versuche zu keinem eindeutigen Ergebnis. Es zeigten sich zwar Beispiele, wo der jugendliche Embryo rein mütterliche Anlagen entfaltete, man hat demgegenüber aber eingewendet, daß ja der Eikern erst nachträglich extirpiert worden ist und deshalb die Möglichkeit nicht von der Hand zu weisen ist, daß schon zuvor dirigierende Einflüsse von ihm ausgegangen sind. Deshalb versucht NAWASCHIN das Problem von einer neuen Seite anzugreifen und diese Fehlerquelle auszuschalten (Ber. d. dtsh. botan. Ges. 65. 1927). Er geht dabei von folgender Idee aus: Kreuzt man 2 verschiedene Arten, so entsteht eine F_1 -Pflanze, die in ihren Kernen je einen väterlichen und einen mütterlichen Chromosomensatz enthält; bei der Gametenbildung dieser Bastarde treten in der Reduktionsteilung die Chromosomenpaare wieder einzeln auseinander, und nach den Zufallsgesetzen muß es dabei zu einer bunten Durcheinanderwürfelung väterlicher und mütterlicher Chromosomen kommen. Dabei kann auch je und je einmal wieder die ursprüngliche Kombination herausspringen, d. h. es treten, wenn auch

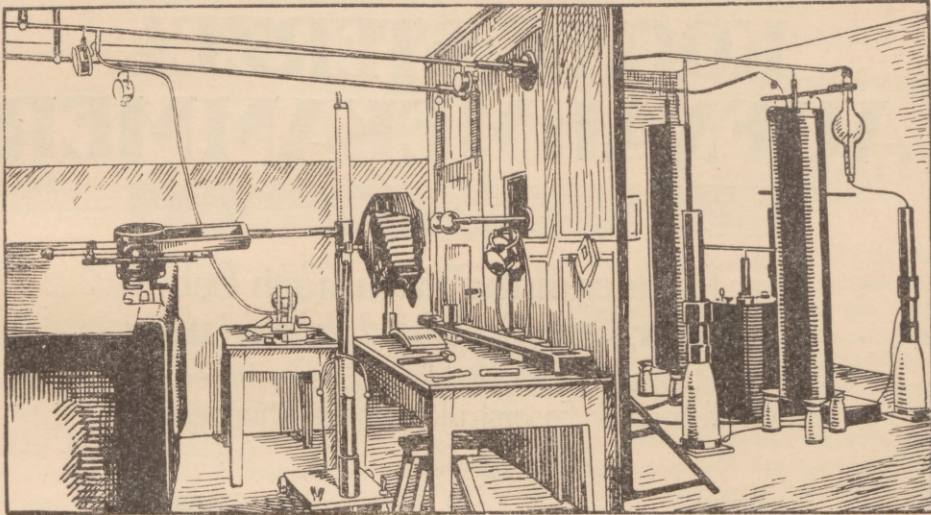
in sehr geringer Anzahl, Gameten mit dem väterlichen bzw. mütterlichen Chromosomenbestand auf. Ist es der väterliche Satz, dann sind eben die gesuchten Bedingungen hergestellt, denn die Eizelle besitzt ja ein Plasma, das sich von der Mutter herleitet, und das Gegeneinanderspielen von Kern und Plasma kommt zum Austrag. Dieser Zustand wird nach den Regeln der Wahrscheinlichkeit um so eher eintreten, je geringer die Anzahl der Chromosomen ist, denn hier ist die Chance, daß die ursprüngliche Konstellation herauspendelt, am größten. Ein derartiges Objekt stellt nun die Gattung *Crepis* (*Pippau*) mit ihren 6—8 Chromosomen dar. Sie besitzt auch den großen Vorzug, daß die Chromosomen recht groß und so charakteristisch gestaltet sind, daß man allein nach ihrer Form eine Artzuweisung vornehmen kann. NAWASCHIN stellte die Kreuzung *Crepis tectorum* ♀ × *C. alpina* ♂ her, kombinierte also 2 Arten, die so verschieden sind, daß sie zum Teil als selbständige Gattungen beschrieben worden sind. „Bei der Aufspaltung eines solchen Bastards bekam ich eine Pflanze, welche in ihren Zellen einen normalen Chromosomensatz der väterlichen Art enthält und deren Plasma von einer anderen (mütterlichen) Art unmittelbar ererbt wurde. Diese Pflanze entwickelte sich vollständig und war vollkommen fertil.“ Ein Vergleich mit den beiden Ausgangsformen zeigte, daß es sich morphologisch um eine ganz reine *Alpina*-Form handelte, daß also die Gestalt durchaus dem väterlichen Chromosomensatz entsprach. Irgendwelcher Einfluß des mütterlichen Plasmas war nicht zu erkennen. „Durch diesen ersten Fall der vollständigen Entwicklung eines Organismus, dessen Protoplasma und Kern von verschiedenen Arten stammen, wird der Beweis gegeben, daß keine Spezifität des Protoplasmas bei verschiedenen Arten einer und derselben Gattung (mindestens bei verschiedenen Arten der reichen Gattung *Crepis*) vorhanden ist.“ Daraus leitet NAWASCHIN den Schluß ab, daß die Artunterschiede lediglich durch die Eigenschaften des Kernes bestimmt werden. Dagegen können auch nach diesen Versuchen die Merkmale für die höheren systematischen Einheiten (Familie, Ordnung usw.) sehr wohl ihren Sitz in dem Plasma haben. Ob die hier gegebenen Folgerungen mit solcher Allgemeingültigkeit gezogen werden können, muß erst noch die Zukunft entscheiden.

Künstliches Austreiben der Zwiebeln von *Allium Cepa*. Über ein einfaches Mittel, die Zwiebeln unserer Küchenzwiebel (*Allium Cepa*) während ihrer winterlichen Ruheperiode (Oktober-Februar) zum Austreiben zu bringen, berichtet REINHOLD SCHAEDE (Beitr. z. Biol. d. Pflanzen 1927). Stellt man solche Zwiebeln in dem kritischen Zeitabschnitt in Gläser, und zwar derart, daß sie mit ihrer Basis in Wasser eintauchen, so können oft Wochen vergehen, ehe die ersten Wurzeln zum Durchbruch gelangen. Entfernt man aber den basalen Teil des Zwiebelkuchens durch einen flachen Schnitt, dann brechen schon nach einem Tag die ersten Wurzeln durch, und in einer Spanne von 5 Tagen folgen ihnen die Sprosse nach. Denselben Erfolg kann man erreichen, wenn man mit einer Nadel von unten in den Zwiebelkuchen einsticht. Man könnte bei diesen Befunden an die Erfahrungen über das Fröhrtreiben bei Sprossen denken, und zwar speziell an die Quetschversuche, denen sich andere Verwundungsmethoden anschließen. Hier ist es zweifellos der traumatische Eingriff als solcher, der das Fröhrtreiben auslöst — wie man sich jetzt vorstellt — durch die Produktion von Wundhormonen, deren maßgebende Bedeutung für die Auslösung von Entwicklungsvorgängen durch die Versuche von HABERLANDT genugsam bekannt ist. Indessen hat sich diese naheliegende Deutung hier nicht

als zulässig erwiesen. Das geht aus folgenden Ergänzungsversuchen hervor: Schneidet man in der geschil- derten Weise den basalen Teil des Zwiebelkuchens ab, verbringt aber die Zwiebel nicht in Wasser, sondern in den dampfgesättigten Raum, dann bleibt die Ent- wicklungsförderung aus, obwohl der Produktion der Wundhormone kein Eintrag getan ist. Dagegen tritt die Förderung bei der Anordnung des ersten Versuchs uneingeschränkt ein, wenn man die künstliche Schnitt- fläche sorgfältig abspült. Wären Wundstoffe die maß- gebenden Substanzen, so müßte der Erfolg zum min- desten gedämpft erscheinen. Umgekehrt erwies sich ein Beschmieren der Schnittfläche der im dampf- gesättigten Raum stehenden Zwiebeln mit Organbrei als völlig wirkungslos, obwohl hier doch reichliche Ge- legenheit zum Eintritt von Wundstoffen gegeben wäre. Schließlich bleibt ein Erfolg auch aus, wenn die mit der intakten Basis im Wasser stehenden Zwiebeln von oben her eingestochen werden. Offenbar hängt das Glücken des Versuches davon ab, daß durch das Abtragen der Basis des Zwiebelkuchens dem Wasser die Möglichkeit geboten wird, in das Innere einzudringen, eine Deutung, die auch deshalb naheliegt, weil nach den Beobach- tungen von SCHAEDE die untersten Schichten des Zwiebelkuchens verkorkt sind und somit der Wasser- durchtritt erschwert ist.

Wachstum und Stärkebildung einiger Konjugaten auf Kosten organisch gebundenen Kohlenstoffs. Die Tatsache, daß chlorophyllführende höhere Pflanzen, die unter normalen Umständen ihre Stärke auf photo- synthetischem Weg von der Luftkohlenensäure ausgehend aufbauen, auch organische Kohlenstoffverbindungen, vor allem Kohlenhydrate zur Stärkebildung heranziehen können, wurde erstmals von BÖHM ermittelt und dann mehrfach bestätigt. Späterhin sind dann diese Angaben auf verschiedene Grünalgen, und zwar speziell Zygnameen ausgedehnt worden. Zwei Wege wurden zur Beweisführung beschritten. Entweder wurden die Algen in kohlenstofffreier Luft am Lichte kultiviert, oder aber sie wurden im Dunkeln gehalten, so daß auf diese Weise die Photosynthese ausgeschaltet war. Wie nun PRINGSHEIM (Planta, II. 1926) zeigt, fehlt den beiden Versuchsreihen die Beweiskraft, weil Fehlerquellen vorhanden waren, die geeignet sind, eine Photosynthese vorzutäuschen. Die eine Fehler- quelle liegt darin, daß vielfach die Entstärkung, die natürlich zuvor herbeigeführt werden muß, um zu bündigen Schlüssen zu gelangen, nur scheinbar ist, die andere beruht darauf, daß nicht mit Reinkulturen gearbeitet wurde, so daß die Möglichkeit vorliegt, daß Organismen vorhanden waren, die von sich aus Kohlenensäure produzierten, so daß der CO₂-Entzug nur scheinbar war. Bei der Wichtigkeit der Frage ist es deshalb von Bedeutung, daß PRINGSHEIM unter Ver-meidung der angeführten Fehlerquellen die Frage er- neut aufgriff. Es wurde zu diesem Zwecke eine größere Anzahl von Arten aus den Gattungen *Spirogyra*, *Mesotaenium* und *Cosmarium* herangezogen. Einzig für *Mesotaenium caldarium* konnte ein positiver Erfolg nachgewiesen werden. Diese Art ist tatsächlich in- stande, organische Kohlenstoffquellen (Glycerin, Man- nit, Dulzitol, Glucose, Mannose, Galaktose, Saccharose, Maltose und Lactose) zu Wachstum und Stärkebildung zu verwerten. Das Optimum für die Stärkebildung liegt dabei bei Lösungen, die etwa der plasmolytischen Grenzkonzentration entsprechen, jenes für das Wachs- tum liegt deutlich tiefer. Die Versuchsergebnisse von PRINGSHEIM machen es wahrscheinlich, daß bei den Zygnameen der Stärkebildung aus organischen Kohlen- stoffquellen nicht die allgemeine Bedeutung zukommt, die man ihr verschiedentlich zugeschrieben hat. STARK.

Material-Prüfungen durch Röntgenstrahlen



Eresco-Großeinrichtung in einem technischen Betriebe

Rich. Seifert & Co., Hamburg 13
Spezialfabrik für Röntgenapparate

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN W 9

In 7. Auflage erschien:

Quantitative Analyse durch Elektrolyse

Begründet von

Alexander Classen

Siebente Auflage umgearbeitet von

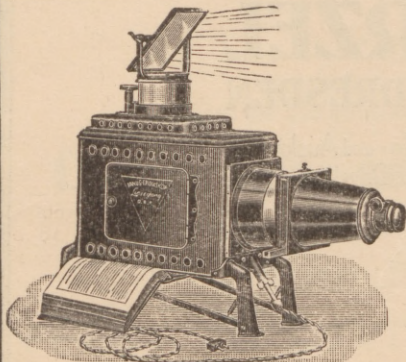
Alexander Classen und **Heinrich Danneel**

Aachen

Münster i. W.

78 Textabbildungen, 2 Tafeln, zahlreiche Tabellen. IX, 599 Seiten. 1927

RM 22.50; gebunden RM 24.—



Listen frei!

Janus-Epidiaskop

(D. R. Patent Nr. 366044 und Ausland-Patente)

Der führende Glühlampen-Bildwerfer zur Projektion von

Papier- und Glasbildern

Verwendbar für alle Projektionsarten!

Qualitäts-Optik

höchster Korrektion und Lichtstärke für Entfernungen bis zu 10 Meter! Auch als „Tra-Janus“ mit 2. Lampe bei um 80% gesteigerter Bildhelligkeit lieferbar!

Ed. Liesegang, Düsseldorf

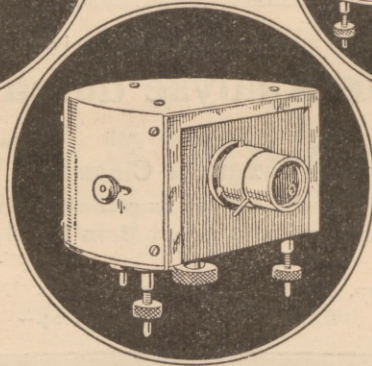
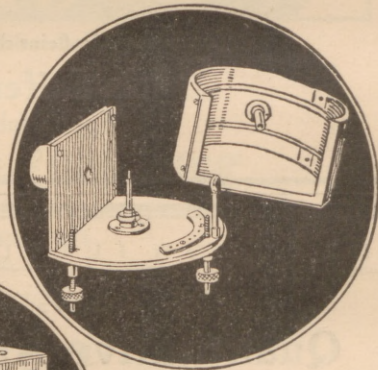
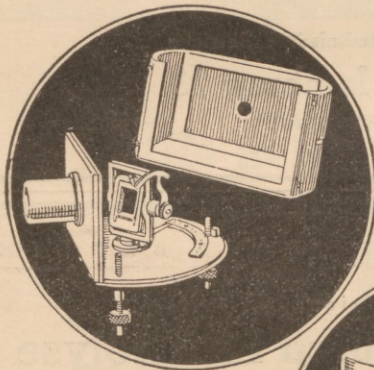
Postfach 124

KOCH & STERZEL AUFNAHMEKAMMER

für Röntgenaufnahmen nach Debye-
Scherrer, Laue, Schiebold, Polanyi u. s. w.
mit Einsätzen für Drehkristallaufnahmen,
Walz- oder Faserstrukturuntersuchungen



Preis:
360.-RM.



KOCH & STERZEL AKTIENGESELLSCHAFT DRESDEN

Vertretungen an allen größeren Plätzen des In- und Auslandes.
Verlangen Sie unverbindlich unsere neuesten Druckschriften.

A2-155