

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

L. inw.

3046

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000297543

26422

Heins

Professor Paul la Cour.

Die Windkraft

und ihre Anwendung zum Antrieb von
Elektrizitäts-Werken.



Mit Genehmigung des Verfassers aus dem
Dänischen übersetzt von Dr. Johs. Kaufmann.

Mit 14 Abbildungen.

F. Nr. 26 422



Leipzig.

Verlag von M. Heinsius Nachfolger.
1905.

26422

Die Windkraft

und

ihre Anwendung zum Antrieb

von

Elektrizitäts-Werken.

Von

Professor Paul la Cour,

Dozent an der Hochschule und Vorsteher der Versuchsmühle
zu **Askov** bei Vejlen.

Aus dem dänischen Original:

„Die Versuchsmühle“

übersetzt von

Dr. Johannes Kaufmann,

Bonn a. Rhein.

— Vom Verfasser genehmigte Ausgabe. —

Mit 14 Abbildungen.

Leipzig.

Verlag von M. Heinsius Nachfolger.

1905.

Die Windkraft

und

die Anwendung zum Antrieb

von

Elektrischen Maschinen

von

Dr. phil. habil. in Bonn

Dr. phil. habil. in Bonn

Alle Rechte vorbehalten.

Die Verlagsrechte

des Verfassers

ist vorbehalten

Dr. phil. habil. in Bonn

Von Verlags- und Druckereibesitzer

A

Dr. phil. habil. in Bonn

Dr. phil. habil. in Bonn

Dr. phil. habil. in Bonn

Dr. phil. habil. in Bonn

Inhalts-Verzeichnis.

	Seite
Vorwort	1
Die staatliche Versuchsmühle zu Askov	3
Die Arbeitsleistung der Windmühlen	10
Frühere Ergebnisse	10
Druck und Druckrichtung	11
Die Arbeitsleistung einer ebenen Fläche	17
Die Arbeitsleistung einer Knickfläche	21
Ein ganzer Flügel	24
Direkte Messungen der Arbeitsleistung	27
Anzahl der Flügel	29
Die ideale Mühle	33
Die Windrose	34
Das Druckzentrum	41
Die Neigung der Mühlenachse	45
Tatsächliche Verhältnisse bei einigen Mühlen	48
Resultate über die Arbeitsleistung der Windmühlen	53
Wind-Elektrizitätswerke	57
Die 4flüglige Mühle	58
Automate	65
Ein Elektrizitätswerk für einen kleinen Ort	73
Umfang des gemeinschaftlichen Betriebes von Elektrizitätswerken	78
Die Bedeutung ländlicher Elektrizitätswerke	80
Bekannschaft mit der Bedienung ländlicher Elektrizitätswerke	86

2

Inhalts-Verzeichnis

Berichtigung.

S. 40, Z. 14 v. u. ist statt: Maschinen zu lesen: Arbeiten.

**BIBLIOTEKA TECHNICZNA
KRAKÓW**

113046

Akc. Nr. 2628/49

In Dänemark hat Prof. Paul la Cour, Dozent an der „Hochschule“ zu Askov, sich seit einer Reihe von Jahren der Aufgabe gewidmet, die Verwendbarkeit der Windkraft im Dienste der landwirtschaftlichen und gewerblichen Tätigkeit zu untersuchen.

Der dänische Staat hat seit 1891 verhältnismässig bedeutende Summen darauf verwandt, Versuche über die Ausnutzung des Windes zu ermöglichen. Zu diesen Versuchen dient die staatliche „Versuchsmühle“ zu Askov, welche unter Leitung von Prof. la Cour steht.

Über die erlangten Resultate hat Prof. la Cour verschiedene Mitteilungen in dänischen Fachzeitschriften veröffentlicht. Vom Jahre 1900 ab gibt derselbe eine Sammelschrift „Die Versuchsmühle“ heraus, wovon bisher zwei Hefte (1900 und 1903) erschienen sind.

Da die Untersuchungen über die beste Form einer Windmühle zu einem Abschluss gelangt sind und es fernerhin Prof. la Cour gelungen ist, eine geeignete Form von Elektrizitätswerken, die durch die billige Windkraft anzutreiben sind, ausfindig zu machen, so werden die Darlegungen des Verfassers, die derselbe über diese beiden Gegenstände in der „Versuchsmühle“ gegeben hat, ohne Zweifel auch in Deutschland ein lebhaftes Interesse finden und manche Landwirte und Gewerbetreibende anregen, die Windkraft zum Antrieb von kleinern oder auch grössern Elektrizitätswerken auszunutzen.

Die staatliche Versuchsmühle zu Askov.

Die Versuchsmühle liegt auf einem Grundstück, welches dem Ministerium des Innern gehört, ungefähr 100 m südlich von dem südlichsten Gebäude (Askovhaus) in Askov (bei Vejen), in der Mitte zwischen Kolding und Ribe. Die Mühle befindet sich auf einem ausgedehnten Höhenzuge, ungefähr 66 m über dem Meere. Sie hat nach allen Seiten einen völlig freien Horizont.

Zu Versuchen mit Windkraft wurden als erste Bewilligung im Jahre 1891 durch das Finanzgesetz 4000 Kronen gewährt. Bis zum Jahre 1897 existierte nur die alte Mühle mit Holzschuppen und Wasserstoff-Sauerstoff-Haus, wie in Abb. 1 rechts zu sehen ist, aber in dem genannten Jahre wurde auf Grund einer ausserordentlichen Bewilligung von 27000 Kr. eine neue Versuchsmühle aufgeführt mit Laboratorien u. s. w. (Abb. 1, links), und seit der Zeit hat die jährliche Bewilligung 12000, von 1901 ab 10000, für 1903 7000 Kr. betragen.

Die alte Mühle, welche auch fernerhin zu verschiedenen Arbeiten benutzt wird, ist auf einem Balkenstativ errichtet. Jede der 4 Flügel derselben hat eine Länge von 5,8 m und eine Breite von 2 m. Die Mühle ist „Selbstzwickler“. Sie ist mit Windbrettern versehen, welche sich mittels Leitstangen schliessen lassen. Die letztern sind mechanisch durch einen „Ladestock“ durch die hohle Achse und sodann durch ein unten im Mühlenhause befindliches Gewicht an ihrer Unterseite so verbunden, dass man durch Vermehrung dieses Gewichts die Neigung der Windbretter, sich zu schliessen und die Windarbeit aufzunehmen, vermehren kann, während anderseits das Gewicht bei Windstössen nachgibt, so dass diese die Windbretter mehr oder weniger öffnen können. Es ist sogar einige Male vorgekommen, dass die Windbretter bei einem heftigen Sturm ganz geöffnet wurden, so dass die Mühle in Stillstand geriet. Bei einem dieser Fälle traf es sich so, dass eine in einer Entfernung von $\frac{3}{4}$ Meilen stehende Mühle mit ihren festen Segeln wild lief und sodann gesprengt wurde, wobei sie einen Balken zerbrach und einen Mann tötete. Aber sonst

fügt sich die „Aufseglung“ der Windstärke, jedoch nicht in der Weise, dass eine eigentliche Regulierung, d. h. eine gleichmässige Geschwindigkeit, hierdurch erreicht wird. — Die Mühle ist fernerhin „Selbstdreher“. Sie ist versehen mit 2 kleinen 4flügligen Windfängen auf einer Achse, welche sich immer winkelrecht zur Windrichtung hält; denn wenn der Wind sich nach der einen oder andern Seite dreht, laufen die Windfänge auch rund den einen oder andern Weg, und eine „Schraube ohne Ende“ auf ihrer Achse bewirkt alsdann, dass die ganze, oben befindliche Eisenhaube mit allem Zubehör sich



Abb. 1. Die Versuchsmühle zu Askov.

auf einer Unterlage nach derjenigen Seite dreht, wohin der Wind sich gedreht hat. Dieses setzt sich fort, bis die genannte Achse wieder winkelrecht zur Windrichtung steht, mithin so lange, bis die Mühlenflügel gerade gegen den Wind gerichtet sind.

Die im Jahre 1897 errichtete Versuchsmühle ist ebenfalls Selbstzwickler und Selbstdreher. Sie hat jetzt einen 4flügligen Windfang von 22,8 m im Durchmesser und $2\frac{1}{2}$ m breite Flügel.

In dem Unterbau befindet sich ausser den Laboratorien ein grosser Maschinenraum; in diesem wird die unregelmässige Bewegung, welche durch einen 12zölligen Lederriemen auf eine Achse übertragen wird, in eine regelmässige Bewegung umgewandelt; diese geht auf 2 Dynamos von je ungefähr 12 Pferdekraften über; der

eine, zu 150 Volt \times 50 Amp., liefert Strom zur Ladung des elektrischen Akkumulators, der andere, zu 30 Volt \times 250 Amp., liefert Strom zur Wasserzerlegung.

Ich schulde den gesetzgebenden Autoritäten Dank für die Bereitwilligkeit, mit der sie auf meine Anträge eingegangen sind und die erforderlichen Mittel für die hier beschriebenen zweckentsprechenden Anlagen bewilligt haben. Es ist wohl eine einzig dastehende Erscheinung, dass ein Land eine solche Versuchsstation zur Anwendung der Windkraft errichtet hat. Es könnte noch weniger erklärlich erscheinen, dass ein kleines Land in dieser Hinsicht vorgeht und nicht unbedeutende Summen für die Aufgabe verwendet, den Wind auszunutzen. Dieses findet aber auf jeden Fall eine natürliche Begründung in dem Umstand, dass die Maschinenkraft in unsern Tagen auf allen Gebieten um sich greift und sich sozusagen in jede Tätigkeit hineindrängt; deshalb muss unser Land, welches fast für alle Maschinenkraft bezahlen muss, da es weder Kohlen noch Wasserfall von Bedeutung besitzt, dafür sorgen, dass es sich in anderer Weise, so weit es möglich ist, hilft und zwar um so mehr, als sowohl die Anwendung der Maschinenkraft wie auch der Preis für dieselbe (Kohlen) im Verlauf der Jahre voraussichtlich immer weiter zunehmen wird.

Die Aufgabe der Versuchsmühle muss deshalb darin bestehen: einerseits eine gründliche Aufklärung über die beste Einrichtung und Wirkungsweise einer Mühle zu beschaffen, andererseits Anwendungen der Energie, die sich durch Wind gewinnen lässt, zu prüfen und anzugeben.

Was den ersten Teil dieser Aufgabe angeht, so ist die Mühlenkonstruktion im letzten Jahrhundert, da fast alle Aufmerksamkeit auf die Dampfmaschine gerichtet war, ziemlich stiefmütterlich oder geradezu gar nicht von den Technikern behandelt worden. Es ist nicht so lohnend gewesen, auf Verbesserungen hin zu arbeiten, die auf diesem Gebiete liegen, als auf solche, die das Gebiet des Dampfes angehen. Allerdings muss man es anerkennen, dass an manchen Orten im Lande sich solide Mühlenbauer finden, welche gewissenhaft und tüchtig nach den Vorschriften arbeiten, welche hundertjährige Erfahrungen dem Menschengeschlecht an die Hand gegeben haben. Gleichfalls finden sich manche betriebsame Maschinenfabrikanten, welche namentlich kleinere Windmotore von dem einen oder andern Typus herstellen, die man jetzt für zweckmässig erachtet, aber in der Regel handelt man doch nur nach dem Überlieferten oder nach

dem besten Dafürhalten oder zum allerhöchsten nach gelegentlicher Erfahrung.

Es liegt also auf diesem Gebiete das Bedürfnis vor nach einer planmässigen Untersuchung und einer daraus sich ergebenden Anweisung, die Arbeitsleistung u. s. w. einer Mühle auf zuverlässige Weise zu berechnen und zu bezeichnen.

An die Frage nach einem guten Bau der Mühle schliesst sich auch die Frage nach Herstellung einer gleichmässigen Bewegung an.

Wenden wir uns nun zu der zweiten und unerschöpflichen Aufgabe der Versuchsmühle, nämlich der Verwertung der Windkraft, welche bisher im wesentlichen auf Kornmahlen, Dreschen, Häckselschneiden, Kuchenquetschen, Pumpen und einige Schreinerarbeit beschränkt gewesen ist, so kann die Versuchsmühle durch die Ratschläge, die man über diese Dinge von ihr einzuholen sich gewöhnt hat, vielleicht etwas zur Verbesserung und grössern Verbreitung solcher Mühlen beitragen. Die Anwendung von Windmühlen in dieser Hinsicht ist ganz bedeutend in gewissen Gegenden des Landes, namentlich im westlichen Jütland. Mancher Gutsbesitzer, der 1000 bis 1400 Kronen auf eine Hausmühle mit Mahlgang, Dreschwerk und Häckselmaschine verwandt hat, ist erfreut, dass diese Geldanlage sich so nutzbar erweist. Allerdings muss man bei diesen Verwendungsweisen die Kraft des Windes benutzen, solange sie da ist; man muss daher darauf achten, dass man eine hinreichende Arbeit beizeiten erledigt, aber hierdurch erspart man bedeutend an Arbeitskraft und zwar solche der schwersten Art, wenn man dieselbe als Menschenarbeit betrachtet.

Zu diesem Gebrauch allein werden sicherlich Hausmühlen in immer grösserer Anzahl überall im Lande errichtet werden, was, ausser dem billigen Betrieb, darin begründet ist, dass eine Hausmühle einer der am leichtesten hantierlichen Motore ist, die es gibt, leicht in Gang zu setzen, fast ohne Wartung und leicht stille zu stellen. Der Motor, der bei landwirtschaftlichen Verhältnissen wohl am ehesten zu solchen Arbeiten benutzt werden könnte, der Petroleummotor, ist nicht allein teurer in der Anschaffung und viel teurer im Betrieb, sondern er stellt auch ganz ungeheuerliche Anforderungen an die Wartung. Er hat in der Tat den Vorteil, dass er zu jeder Zeit in Gang gesetzt werden kann, was beim Windmotor nicht möglich ist (Windstille), aber die Erfahrung lehrt, dass man sehr verschwenderisch mit Zeit und Geduld umgehen muss, um den Petroleummotor in Gang zu setzen, selbst wenn ein geübter Mann die Wartung hat, aber noch mehr, wenn die Wartung — wie es im

Dienste des kleineren landwirtschaftlichen Betriebes der Fall ist — nur ein kleiner Bruchteil der Arbeit sein sollte, die ein Mann auszuführen hat.

Es liegt jedoch gänzlich ausser Frage, dass die Windkraft noch zu vielen anderen Dingen als den genannten auszunutzen ist, welche wesentlich agronomischer Art sind, und zwar muss dieses sowohl von Landwirten als auch von Landbewohnern im allgemeinen geschehen.

Solche Anwendungsweisen lassen sich in zwei Gruppen bringen: Die Energie ist in der Weise zu Hilfe zu nehmen, dass der einzelne Mensch mit dieser Hilfe mehr ausrichten kann als sonst, und sodann: Die Energie ist in der Weise zu benutzen, dass gewisse Dinge wertvoller gestaltet werden.

Zu der ersten Gruppe gehört nun das schon genannte Dreschen, Häckselschneiden, Sägen usw. Solche Anwendungsweisen werden sich sicherlich von selbst noch weiter ausdehnen, aber es werden noch manche andere hinzukommen und zwar solche, welche Arbeiten betreffen, zu denen man mit Vorteil einen Akkumulator anschaffen kann. Bei dem gegenwärtigen Preise eines Akkumulators wird es sich nicht lohnen, einen solchen zur Aufsparung der Energie zu verwenden, die später in einer so groben Weise gebraucht werden soll, wie es z. B. beim Dreschen der Fall ist; es gibt jedoch manche andere Arbeiten, bei denen ein Elektromotor von nur $\frac{1}{4}$ Pferdekraft einem Menschen helfen kann, weit mehr als sonst auszurichten und in mancher Hinsicht auch besser auszurichten als sonst. Zu einer solchen feinern Ausnutzung der aufgesparten Energie ist, wie sehr wohl behauptet werden kann, die Zeit nunmehr reif. Die Erfahrung bei der Versuchsmühle hat gezeigt, dass der elektrische Akkumulator sich ebensogut durch eine Windmühle wie durch eine Dampfmaschine kann laden lassen, und die Möglichkeit, diesen Umstand zu verwerten teils zur Unterstützung bei gewissen schon vorhandenen Arbeiten auf dem Lande, teils zur Gründung einer sich lohnenden häuslichen Gewerbetätigkeit oder einer besonderen Kleinindustrie auf dem Lande, liegt vor. — Mag auch eingeräumt werden müssen, dass eine Mühle und elektrische Anlage mit Akkumulator ein nicht ganz unbedeutendes Kapital darstellen, welches nicht jeder beschaffen kann, so ist doch auf der andern Seite daran zu erinnern, dass unsere Landbewohner sich sehr wohl auf gemeinschaftliche und Genossenschaftsunternehmungen verstehen und sodann, dass das Opfer und die Ausbeute in einem solchen Verhältnis zueinander stehen, dass man sicherlich an manchen Orten diesen Weg einschlagen wird.

Die andere Gruppe von Anwendungen, nämlich die Energie dazu zu benutzen, gewisse billige Dinge wertvoller zu gestalten, ist ein Gebiet, welches erst noch wie ein unbebautes Stück Land urbar gemacht werden muss; die hierher gehörigen Versuche lassen sich aber schwerlich anderswo so gut ausführen, als bei einer vom Staate unterhaltenen Versuchsmühle. Um die Sache deutlicher zu machen, wollen wir ein paar Beispiele herausnehmen.

1 Liter Wasser ist ohne Geldeswert; dieses Wasser aber, in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt, welche in Stahlflaschen komprimiert aufbewahrt werden, hat zurzeit einen Wert von etwa 10 Kronen. Diese Zerlegung und Komprimierung lässt sich mittels Windkraft ausführen; eine Mühle von 5 Pferdekräften kann diese Arbeit in 4 Stunden verrichten. Soll indessen ein hinreichender Absatz dieses Produkts zustande kommen, so muss der Preis noch bedeutend billiger werden; diese Möglichkeit ist aber vorhanden und zwar so, dass der Preis auch die Anlage und die Produktion gut bezahlt macht. Dieses lässt sich aber nicht so leicht erreichen, wenn man die Dampfkraft zur Produktion anwenden wollte; da aber die meisten industriellen Unternehmungen heutzutage diesen Ausgangspunkt nehmen, so ist diese Sache — bei billiger Produktion und grossem Absatz — noch nicht genügend behandelt worden. Man muss notwendigerweise die Arbeiten dort vornehmen, wo billige Triebkraft vorhanden ist, d. h. wo Windkraft angewandt wird, und in dieser Hinsicht hat die Versuchsmühle bisher schon ihr Bestes getan.

Eine andere Aufgabe, die die Versuchsmühle sich gestellt hat, womit sie aber noch nicht so weit gekommen ist, um die Einzelheiten ihrer Versuche mitteilen zu können, ist die, gewisse Stoffe zu veredeln — denn so kann man dieses Verfahren ebenso wie die oben genannte Zerlegung des Wassers wohl nennen, wonach billigere Stoffe wertvoller gemacht werden durch zugeführte Energie. So kann man aus den billigen Stoffen Kochsalz und Kalk die wertvollern Stoffe Natron und Chlorkalk herstellen. Der Elektrochemie stehen zahlreiche Möglichkeiten ähnlicher Art zu Gebote; während nun solche Prozesse bisher wesentlich in der Grossindustrie ausgeführt worden sind, wird es Sache der Versuchsmühle sein, Methoden zu entwickeln, die sich bei kleineren und ländlichen Verhältnissen und zwar bei Windkraft eignen, wobei es darauf ankommt, die Umstände auszunutzen, die sich hier als vorteilhafter erweisen als die, welche in den grossen Industriezentren vorhanden sind, sowie den Mängeln abzuhelpen, die die ländlichen Verhältnisse in anderer Hinsicht bieten.

Gelingen solche Verfahrungsweisen in der einen oder andern

Richtung, so werden sich dadurch neue Erwerbsquellen auf dem Lande eröffnen, was dazu beitragen würde, die starke Einwanderung vom Lande in die Stadt einzuschränken.

Während die Haupttätigkeit der Versuchsmühle ihre eigenen Wege gehen muss, so ist es doch von Wichtigkeit, dass dieselbe in einem lebendigen Verhältnis zu allen denen stehe, die sich für die Tätigkeit derselben interessieren. Ein solches Verhältnis hat sich übrigens ohne Mühe von selbst entwickelt sowohl in der Form des Briefwechsels als auch von Besuchen bei der Versuchsmühle. Man hat diese als eine Stätte betrachtet, wo man Rat erholen könnte nicht nur in Mühlensachen, sondern auch auf sonstigen Gebieten, so z. B. hinsichtlich kleinerer elektrischer Anlagen, selbst wenn diese nicht mit Wind getrieben werden sollten.

Ebenfalls ist es von Wichtigkeit, dass die Versuche bei der Mühle nicht nur als rein theoretische Resultate da stehen dürfen, welche bei einer Versuchsstation wohl erreicht werden können, deren Einführung in das tägliche Leben dem Praktiker aber als zweifelhaft erscheinen würden. Aus diesem Anlass und aus dem Grunde, die Dinge auch ausserhalb der Mühle zur Prüfung zu bringen, habe ich den Nachbarn etwas von dem zukommen lassen, was bei der Mühle in Überfluss vorhanden ist, wofern dieselben nur die erforderlichen Zuschusskosten bestreiten wollten. So hat schon im Jahre 1894 die Hochschule eine Anlage von Bleiröhren, Gasbehältern, Lampen usw. vorgenommen, um Sauerstoff und Wasserstoff zu einer Beleuchtungsanlage erhalten und benutzen zu können. Ferner haben die Bewohner von Askov eine Gesellschaft gegründet, welche eine Wasserversorgungsanlage ausgeführt und einen Reserve-Petroleummotor aufgestellt hat, um Wasser aus dem Bohrbrunnen der Mühle zu erhalten. Endlich strömt der Hochschule und meinem eigenen Hause Elektrizität von dem Akkumulator der Mühle zu.

Die Arbeitsleistung der Windmühlen.

Es wird stets von denen, welche eine Mühle anzulegen beabsichtigen, die Frage aufgeworfen, wie eine Mühle und namentlich die Flügel derselben am besten einzurichten sind. Einige halten sich treu an das Überlieferte, während andere vermeinen, Pläne zu etwas Besserem gefunden zu haben. Durchgehends erhält man den Eindruck, dass die ersteren am besten fahren, obgleich man glauben sollte, dass in unseren Tagen Erfahrungen und Hilfsmittel zu Diensten ständen, welche in frühern Zeiten die Mühlenbauer nicht gekannt oder nicht zur Verfügung gehabt haben. Deshalb hofft mancher, neue Wege auffinden zu können, und zwar um so mehr, als die, welche im Mühlenbau konservativ sind, keine andere Begründung für ihr Verfahren anzugeben vermögen, als die, dass man so zu tun pflegt. Es liegt somit hier eine Frage vor, zu deren Erledigung die Versuchsmühle einen wesentlichen Beitrag leisten oder, wenn möglich, ein entscheidendes Wort sprechen möchte, wodurch dann viele Versuche und Geldverluste erspart würden, so dass man seine Kräfte auf mehr Nutzen bringende Punkte richten könnte.

Frühere Ergebnisse.

In einer Arbeit, welche dem Ingenieurverein vorgelegt wurde („Ingeniøren“ 1897, Nr. 10), ist die Sache in der Weise behandelt worden, dass bestimmte Mühlenmodelle — mit ebenen, gebogenen oder gebrochenen Flügelflächen, mit grösserer oder geringerer Schrägstellung, mit 4, 6, 8, 16 Flügeln, mit grössern oder geringern Belastungen und dementsprechenden Geschwindigkeiten — einem konstanten künstlichen Winde mit bekannter Geschwindigkeit ausgesetzt wurden. Mit einem Bremsdynamometer und einem Zählwerk wurde gemessen, eine wie grosse Arbeit unter den gegebenen Verhältnissen von der Mühlenachse aufgenommen wurde.

Als Hauptresultate dieser Versuche werde Folgendes hervorgehoben:

1. Flügel in grösserer Anzahl — also ein grösseres Flügelareal — erfordern, um die grösste Arbeitsleistung zu liefern, eine grössere Schrägstellung und einen langsamern Gang als wenig Flügel.

2. Die Arbeitsleistung wächst keineswegs in demselben Verhältnis wie die Anzahl der Flügel (oder das Areal), sondern in weit geringerem Grade; ja, das Areal kann so gross werden, dass eine Vermehrung desselben die Arbeitsleistung geradezu vermindert.

3. Gebogene oder gebrochene Flügelflächen liefern mehr Arbeitsleistung als ebene oder geradlinig windschiefe.

4. Die Flügel können sozusagen die Energie des Windes, welcher durch die Zwischenräume der Flügel hindurchgeht, auf sammeln, indem nämlich ein Flügel eine grössere Menge Energie (144 %) aufnehmen kann, als in dem Windstrahl, der den Flügel trifft, vorhanden ist; und

5. es ist teils hierdurch, teils durch einen Versuch, welcher zeigte, dass gebogene Flügel völlig ohne Schrägstellung arbeiten konnten, mochte die Mühle den einen Weg oder den entgegengesetzten laufen, klar geworden, dass die Saugung auf der Leeseite des Objekts, auf welche Voigt aufmerksam gemacht hat und welche von Irminger gemessen worden ist, notwendigerweise mit in Rechnung gezogen werden muss, wenn man die Arbeitsleistung einer Mühle nachweisen will.

Hiermit war indessen die Frage, wie schon damals hervor gehoben wurde, noch lange nicht erschöpft. Jene Versuche konnten nur als eine Umschau auf einem so ausgedehnten Gebiete betrachtet werden. Es waren nur einige, ganz vereinzelte Formen, deren Arbeitsleistung gefunden war, und dieses war noch dazu in völlig empirischer Weise geschehen. Damit war noch nichts über andere Formen gesagt, auch war damit keine Grundlage gegeben, worauf man eine Berechnung hinsichtlich solcher Formen hätte anstellen können; es standen manche Fragen, wie es sich mit ganz anderen Mühlenformen verhalten würde, gänzlich unbeantwortet da.

Druck und Druckrichtung.

Um Material zu beschaffen, welches hierzu als Hilfsmittel dienen könnte, habe ich nun die tiefern Ursachen der Arbeitsleistung untersucht, nämlich die Bedingungen, welche die Arbeitsleistung zustande bringen und somit bestimmend für dieselbe sind, nämlich den Druck, den der Wind auf eine Platte — eben, gebogen oder gebrochen — ausübt, und die Druckrichtung, die er hervorbringt,

und zwar in jedem Falle nach Massgabe der verschiedenen Richtungen, in denen er auf die Platte bläst.

Zu diesen Untersuchungen habe ich einen besonderen Apparat (Abb. 2) konstruiert. Um einen senkrecht stehenden Zapfen, der auf einem Dreifuss angebracht ist, lässt sich eine horizontal stehende Scheibe drehen. Die Drehung ist abzulesen mittels eines auf dem Dreifuss aufsitzen- den Zeigers, welcher auf die Gradeinteilung der Scheibe hin-

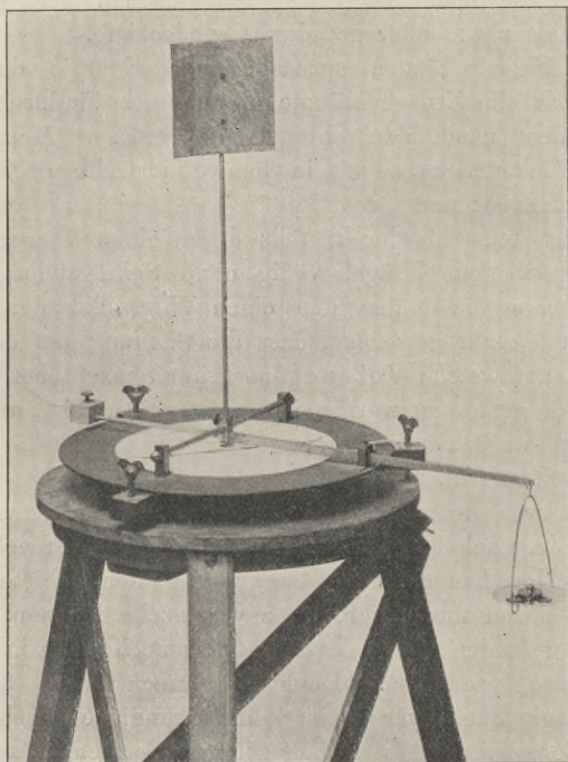


Abb. 2. Winddruckmesser.

weist. Über den diametral gegenüberliegenden Nullpunkten der Scheibe finden sich zwei Erhöhungen mit Stellschrauben, zwischen welchen eine Achse angebracht ist. Diese trägt in ihrer Mitte einen kleinen Block, von welchem horizontal nach der einen Seite ein Wagearm ausgeht, an dem eine Wagschale für Gewichte aufgehängt ist, und nach der andern Seite eine Stange mit einem Schiebegewicht, welches sich auf den Punkt einstellen lässt, bei welchem ein genaues Gleichgewicht gegenüber dem andern Arm mit den Gewichten zustande kommt. Da der Arm nicht weit auszuschlagen braucht, so

ist der Spielraum für die Gewichtstange nach oben und unten durch 2 Hemmschrauben in und unter einem kleinen Messinggestell eingeschränkt. Der Block der Achse trägt endlich eine senkrechte Stange, welche sich nach allen möglichen Richtungen drehen lässt und in einer bestimmten Stellung durch eine Klemmschraube festgestellt wird. An dieser Stange befestigt man mittels 2 kleiner Schrauben die Platte, die man zum Gegenstand der Untersuchung macht, mag dieses eine ebene oder eine gebogene Platte sein. Auf der horizontalen Scheibe liegt ferner ein horizontales Lineal, welches sich um denselben Zapfen drehen lässt, um den die Scheibe gedreht werden kann. Wenn man das Auge ein wenig oberhalb der Versuchsplatte hält, kann man das Lineal so drehen, dass die Linien desselben parallel mit der Platte gehen; man kann auf diese Weise die Stellung desselben und mithin auch die Stellung der Platte, im Verhältnis zur Einteilung der Scheibe leicht ablesen.

Hat man den Apparat zunächst so eingestellt, dass der Radius des Zeigers des Stativs parallel mit dem Windstrahl ist, so kann man zu jeder Zeit ablesen einerseits den Winkel der Achse mit dem Windstrahl, anderseits den Winkel der Platte mit dem Windstrahl. Man kann also den Windstrahl auf die Platte einfallen lassen unter einem Winkel, den man selbst bestimmt; man kann durch Gewichte auf der Wagschale die Druckkomponente messen, welche winkelrecht zur Achse steht, indem wiederum Achse und Platte einen Winkel zueinander einnehmen, den man selbst bestimmt. Voigt und Irminger haben darauf hingewiesen, dass solche Druckwirkungen herrühren teils von Druckausübungen auf der Windseite, teils von Saugungen auf der Leeseite, und dass die letztern oft grösser sind als die erstern. Hier ist zwischen diesen beiden Wirkungen nicht unterschieden worden; man hat vielmehr nur die Gesamtwirkung gemessen, und diese soll hernach „der resultierende Druck“ oder einfach „der Druck“ genannt werden. Während es nun an und für sich von Interesse sein könnte, den Druck an sich und die Saugung an sich zu kennen, ist diese Scheidung jedoch nicht nötig, um die Grössen zu erhalten, welche die Arbeitsleistung bestimmen. Es genügt, die Gesamtwirkung beider Arten zu kennen, aber es genügt nicht, dass man, wie es früher geschah, den Druck als allein von den Luftteilen herrührend betrachtet, welche gegen die Flügelfläche „stossen“, und dann vermeint, den Druck berechnen zu können, der durch den Stoss jener Luftteile entsteht, je nach der Richtung und der Geschwindigkeit, womit dieselben stossen.

Der Luftstrom wird durch einen Elektromotor zuwege gebracht,

welcher von dem Akkumulator der Versuchsmühle getrieben wird. Der Elektromotor kann auf verschiedene Geschwindigkeiten eingestellt werden. Der Motor treibt durch einen Riemen einen Propeller, welcher sich am Ende eines 2,2 m langen zylindrischen Rohres von 0,5 m Durchmesser befindet, aus dessen anderm Ende also ein Windstrahl mit gleichmässiger Geschwindigkeit hervorgeht. Die Geschwindigkeit wird in einem Abstände von 1 m vom Ende des Zylinders, wo der Apparat seinen Platz hat, von Zeit zu Zeit mit einem Anemometer gemessen; übrigens ist ein Tachometer beständig mit der Propellerachse durch einen Riemen verbunden, so dass man stets sehen kann, ob die gleichmässige Geschwindigkeit aufrecht erhalten wird.

Ehe die eigentlichen Messungen, welche für das Berechnen der Arbeitsleistung der Mühlenflügel eine Bedeutung haben sollten, begonnen wurde, fanden erst einige vorbereitende Untersuchungen statt, hauptsächlich um nachzuweisen, dass gewisse, schon bekannte Gesetze zu Geltung kommen.

Während die Plattengrösse, welche sonst bei all diesen Versuchen benutzt wird, 1 Quadratdezimeter (1×1 dm) beträgt, wurde nun auch die Grösse $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$ qdm unter verschiedenen Winkeln angewandt; hierbei fand sich bestätigt, dass der Druck sich verhält wie die Grösse der Platte, wenn sonst alle andern Verhältnisse gleich sind: Form, Einfallswinkel und Windgeschwindigkeit.

Weiter wurden mehrere Versuche mit verschiedenen Windgeschwindigkeiten vorgenommen, wobei es sich bestätigt fand, dass der Druck sich verhält wie die Windgeschwindigkeit in der zweiten Potenz, wenn alles andere gleich ist. Sollte irgend welche Abweichung von diesem Gesetze eintreten, so liegt dieselbe auf jeden Fall ausserhalb der Grenzen, welche ein Interesse bei der Beantwortung der Windmühlenfrage haben.

Im folgenden sollen daher die Zahlen nicht so angegeben werden, wie sie bei der zufällig benutzten Plattengrösse und Windgeschwindigkeit zustande gekommen sind, sondern in Bezug auf eine Plattengrösse von 1 qm und in Bezug auf eine Windgeschwindigkeit von 1 Meter.

Es ist dann leicht, die Zahlen für jeden besonderen Fall anzuwenden, indem man nur den Druck mit den Flügelarealen, in qm ausgedrückt, und mit der zweiten Potenz der Windgeschwindigkeit, in Metern ausgedrückt, zu multiplizieren braucht, jedoch unter der Voraussetzung, dass man dieselben Formen und dieselben Einfallswinkel auf die Platten hat, welche hier angeführt werden.

Normaldruck auf 1 qm einer ebenen Platte bei 1 m Windgeschwindigkeit.

Einfallswinkel des Windstrahls		v	1°	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
Druck in Gramm	d	1.0	2.4	4.0	5.8	7.8	9.6	11.6	13.6	15.8	18.0	20.0	22.0	24.0			
Breite des Strahls	b	.02	.03	.05	.07	.09	.10	.12	.14	.16	.17	.19	.21	.22			
v		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
d		26.2	28.6	31.2	33.8	36.4	39.0	41.4	43.8	46.2	48.6	51.2	53.8	56.2	58.6	61.0	63.2
b		.24	.26	.28	.30	.31	.33	.34	.36	.37	.39	.41	.42	.44	.45	.47	.48
v		30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
d		65.2	66.8	68.0	69.2	70.2	71.0	71.8	72.7	73.4	74.2	75.0	75.4	76.0	76.2	76.4	76.6
b		.50	.51	.53	.54	.56	.57	.59	.60	.62	.63	.64	.66	.67	.68	.69	.71
v		46								84	85	86	87	88	89	90	
d		76.6								76.6	76.4	76.2	76.0	75.6	75.4	75.0	
b		.72								.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	

Man ersieht hieraus, dass der Druck ungefähr gleich gross ist bei Windstrahlen, welche von 40 bis zu 90 Grad gegen die Platte geneigt sind, ja dass der Druck keineswegs bei 90° am grössten ist, sondern vielmehr von 45° bis 84°, obgleich die Platte in diesen Richtungen einen schmalern Windstrahl (von 0,71 bis 0,99) auffängt. Im ganzen gesagt, ist der Druck keineswegs proportional mit der Breite des Windstrahls, den die Platte auffängt.

Fernerhin ist man bei frühern Berechnungen der Mühlenarbeit davon ausgegangen, dass der Druck auf eine ebene Fläche winkelrecht zu der Fläche ist, welche Richtung der Windstrahl auch haben möge. Dies ist indessen keineswegs der Fall, und ehe mir dieses klar wurde, zeigte sich keine Übereinstimmung zwischen Berechnung und Messen. Später fand ich, dass die Resultante nicht winkelrecht zu der Platte ist und dass schon eine geringe Abweichung einen grossen Einfluss auf die Arbeitsleistung einer Mühle ausübt, weswegen es von der grössten Wichtigkeit ist, die Richtung der Druckresultante mit möglichst grosser Genauigkeit zu bestimmen.

Eine solche Bestimmung ist indes eine schwierige Sache. Es ist nicht möglich, einen Luftstrom herzustellen, der völlig frei von Störungen ist; jeder einzelne Luftteil kann nicht so getrieben werden, dass er in absolut gerader Linie und mit absolut gleichmässiger Geschwindigkeit geht. Man hat daher niemals ein ganz ruhiges Gleichgewicht beim Winddruckapparat; die Gewichtstange spielt auf und ab zwischen den Hemmschrauben.

Die genaueste Bestimmung habe ich dadurch erreicht, dass ich den Winddruckapparat in der Weise benutzt habe, wie Abb. 3 es zeigt, in welcher der Apparat von oben gesehen schematisch dargestellt ist; v ist der Windstrahl, a die horizontale Achse des

Apparats, p die Platte, auf die der Wind drückt, r die unbekannte Richtung der Druckresultante und n die Normale der Platte. Ist nun p in der einen oder andern bestimmten Stellung gegenüber a befestigt, so kann man die ganze Scheibe mit Achse und Platte so drehen, dass die Achse a und die Druckresultante r zusammenfallen. Dieses gibt sich darin zu erkennen, dass ohne Gewichte ein Gleichgewicht vorhanden ist. Wird hingegen a nach rechts von r gedreht, so führt die Druckresultante die Platte nach links, und wird a nach

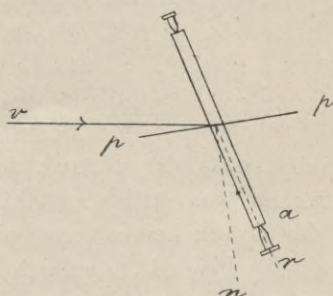


Abb. 3. Die Richtung der Druckresultante wird bestimmt.

links von r gedreht, so führt sie die Platte nach rechts. Nachdem diese Gleichgewichtsstellung aufgesucht ist, geben die Ablesungen sowohl über die Stellung der Scheibe (also der Achse) und der Platte Mittel an die Hand, einesteils den Einfallswinkel des Windstrahls νp , den wir ν nennen wollen, andernteils den Winkel der Druckresultante mit der Normalen der Platte, den Winkel $r n$, den wir r nennen wollen, zu berechnen.

In Bezug auf eine ebene Fläche erhält man:

wenn der Einfallswinkel des Windstrahls beträgt ν	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°								
den Winkel der Druckresultante mit der Normalen r	34°	22°	14°	11°	9°	7° _{40'}	6° _{30'}								
ν	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°	21°	22°
r	5° _{40'}	5° _{10'}	4° _{40'}	4° _{20'}	4° _{0'}	3° _{40'}	3° _{30'}	3° _{20'}	3° _{10'}	3° _{0'}	2° _{50'}	2° _{40'}	2° _{30'}	2° _{20'}	2° _{10'}
ν	23°	24°	25°	26°	27	28	29	30	35	40	46	53	60	90	
r	2° _{0'}	2° _{0'}	1° _{50'}	1° _{50'}	1° _{40'}	1° _{40'}	1° _{30'}	1° _{20'}	1° _{10'}	1° _{0'}	0° _{50'}	0° _{40'}	0° _{30'}	0° _{0'}	

Alle diese Zahlen sind so zu verstehen, dass der Windstrahl und die Druckresultante wie in Abb. 3 auf verschiedenen Seiten der Normalen (n) der Platte liegen. Wie wir hernach sehen werden, gilt dies nicht für alle Flächenformen, ein Umstand, der von grosser praktischer Bedeutung ist.

Die Arbeitsleistung einer ebenen Fläche.

Lediglich mit Hilfe dieser Tabelle und der Tabelle auf Seite 15 ist man nun imstande, zu berechnen, eine wie grosse Arbeit eine ebene Platte von einem Luftstrom her empfängt, wenn die Platte durch den Luftstrom mit einer gewissen Schrägstellung und einer gewissen Geschwindigkeit hindurchheilt.

Nehmen wir eine horizontale Achse an, welche gerade gegen den Wind gerichtet ist, und winkelrecht von der Achse ausgehend eine Stange mit einer Platte. Die Geschwindigkeit des Windes nennen wir 1 und die der Platte, deren Bewegung winkelrecht zu dem Winde ihren Weg nimmt, n . Alsdann wird die Platte von einem resultierenden Windstrahl getroffen, welcher die Hypotenuse in einem rechtwinkligen Dreieck ist mit den Katheten 1 und n . Die Geschwindigkeit des resultierenden Windstrahls ist also $\sqrt{1+n^2}$. Da der Druck sich verhält wie das Quadrat der Windgeschwindigkeit, so ist der Druck proportional zu $(1+n^2)$. Da fernerhin die empfangene Arbeit nicht allein dem Druck, sondern auch der Geschwindigkeit proportional ist, mit der die Platte sich bewegt, so ist die Arbeit proportional zu $(1+n^2)n$.

Sodann aber ist Rücksicht zu nehmen auf die Richtung der Druckresultante; man muss daher zuerst den Winkel berechnen, den der resultierende Windstrahl mit der Ebene bildet, in der die Platte sich bewegt. Da es zweckmässig sein kann, dass man sich ein recht anschauliches Bild von diesen Grössen bei verschiedenen Plattengeschwindigkeiten macht, werden sie im folgenden mit aufgeführt; dabei ist die Geschwindigkeit des Windes gleich 1 gesetzt.

Plattengeschwindigkeit n	Die Grösse $(1+n^2)n$	Der Winkel, den der resultierende Wind mit der Bewegungsebene bildet.
0.2	0.21	78° ₄₁ /
0.4	0.46	68° ₁₃ /
0.6	0.82	59° ₂ /
0.8	1.31	51° ₂₀ /
1.0	2.00	45° ₀ /
1.2	2.98	39° ₄₈ /
1.4	4.14	35° ₃₂ /
1.6	5.70	32° ₀ /
1.8	7.63	29° ₃ /
2.0	10.00	26° ₃₄ /
2.2	12.85	24° ₂₇ /
2.4	16.22	22° ₃₇ /
2.6	20.18	21° ₂ /
2.8	24.75	19° ₃₉ /

Plattengeschwindigkeit n	Die Grösse (1 + n ²) n	Der Winkel, den der resultierende Wind mit der Bewegungsebene bildet.
3.0	30.00	18° 26'
3.2	35.97	17° 21'
3.4	42.70	16° 24'
3.6	50.26	15° 31'
3.8	58.67	14° 45'
4.0	68.00	14° 2'
4.2	78.29	13° 24'
4.4	89.58	12° 48'
4.6	101.94	12° 16'
4.8	115.89	11° 46'
5.0	130.00	11° 19'

In Abb. 4 bezeichnet a die Achse, V den wirklichen Wind,

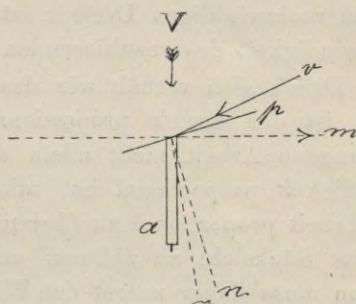


Abb. 4. Die Richtung der Druckresultante ungünstig.

v den resultierenden Wind, p die Platte und m die Bewegungsebene. pm ist also die Schrägstellung; wird dieser Winkel von νm , dem Winkel des resultierenden Windes mit der Bewegungsebene (welcher in der letzten Kolumne der oben stehenden Tabelle angegeben ist), abgezogen, so erhält man νp , oben v genannt, den Winkel zwischen dem resultierenden Winde und der Platte. Hat man erst diesen Winkel, so kann man aus Tabelle Seite 16 die Abweichung der Druckresultante von der Normalen n der Platte, nämlich den Winkel rn, oben r genannt, ersehen. Da gerade die Druckresultante den Flügel in der Richtung m weitreiben soll, so ist es, wie man leicht einsieht, unvorteilhaft, wenn die Richtung der Resultante näher zur Achse a fällt als n, denn dadurch wird die Bewegung vermindert. Wir wollen diese Seite von n die ungünstige Seite nennen; bei ebenen Flügeln fällt nun r immer auf die ungünstige Seite, während wir hernach andere Plattenformen finden werden, bei denen r auf die günstige Seite fällt, nämlich über n hinaus.

Wie wir nun mit Hilfe der Tabelle auf Seite 16 die Richtung

der Druckresultante gefunden haben, finden wir mit Hilfe von Tabelle Seite 15 die Grösse derselben für die Windgeschwindigkeit 1 und mithin durch Multiplikation mit $(1 + n^2) n$ die Grösse derselben für die resultierende Windgeschwindigkeit; aus diesen Grössen lässt sich aber die Arbeitsleistung*) folgern. Die Berechnung ergibt:

Die Arbeitsleistung einer ebenen Fläche von 1 qm bei 1 m Windgeschwindigkeit bei verschiedenen Schrägstellungen und verschiedenen Plattengeschwindigkeiten, und zwar in g.m. (Grammetern) pro Sek.

	2 ¹ / ₂	5°	7 ¹ / ₂ °	10°	12 ¹ / ₂ °	15°	20°	25°	30°	40°	50°	60°	70°
0.2	0.6	1.3	2.0	2.8	3.4	4.0	5.3	6.6	7.8	9.7	9.7	6.7	2.8
0.4	1.3	2.8	4.3	5.8	7.3	8.8	11.7	14.4	16.7	17.7	12.6	5.3	
0.6	2.1	4.7	7.4	10.1	12.6	15.2	19.7	23.1	24.6	19.3	9.1		
0.8	3.0	7.3	11.5	15.6	19.3	22.7	28.3	29.5	27.3	15.9	0.7		
1.0	4.2	10.5	16.4	21.8	26.7	30.8	33.6	31.7	25.7	8.1			
1.2	5.3	13.9	21.8	28.1	32.7	35.4	35.0	30.5	22.0				
1.4	6.3	17.5	25.7	32.4	36.7	38.5	35.9	27.7	13.3				
1.6	6.9	19.4	29.1	35.9	39.5	40.1	34.7	21.1	2.1				
1.8	5.7	20.5	31.5	38.2	40.8	40.2	31.4	11.4					
2.0	4.5	21.6	33.1	39.3	41.5	39.5	27.6						
2.2	3.6	21.7	34.1	40.4	41.8	38.0	15.6						
2.4	0.2	20.8	34.4	40.7	40.6	32.2	2.8						
2.6		20.2	34.4	40.0	39.0	25.0							
2.8		19.1	34.1	38.5	31.3	15.7							
3.0		18.6	32.7	34.8	23.5	5.9							
3.2		15.9	30.5	29.1	15.1								
3.4		12.6	26.7	17.9	5.3								
3.6		8.3	22.0	13.0									
3.8		3.6	15.1	3.8									
4.0			5.5										

Im Anschluss an diese Tabelle wollen wir vorläufig nur bemerken, dass der Grund dafür, dass die grösste Arbeit zu erreichen ist bei grosser Windgeschwindigkeit und ziemlich kleinen Schrägstellungen, darin liegt, dass die grosse Windgeschwindigkeit einen besonders grossen Wert für $(1 + n^2) n$ (siehe Tabelle S. 17) ergibt. Dieses würde noch stärker hervortreten, wenn nicht die Abweichung der Druckresultante von den Normalen der Platte so „ungünstig“ gross wäre, wie sie ist. Wäre, wie man früher annahm, die Druckresultante winkelrecht zur Platte gewesen, so hätte man eine weit

*) Sie ist nämlich $d \cdot (1 + n^2) \cdot n \cdot \sec r n \cdot \sin r a$. Da nämlich d der Normaldruck ist (also in der Richtung nach n), so muss der Resultantendruck (in der Richtung nach r) sein $d \cdot \sec r n$.

grössere Arbeitsleistung bei ganz kleinen Schrägstellungen und ungeheuern Geschwindigkeiten erreicht.

Eine andere Versuchsreihe wurde ausgeführt mit einer Platte von 1 qdm, welche zylindrisch gebogen war zu einem Bogen von 40° . Eine solche Platte ist nicht so stark gekrümmt, wie man von vornherein wohl annehmen möchte. Während die Sehne nicht weniger als 100 mm misst, ist die (Pfeil-)Höhe des Bogens doch kaum 9 mm. Wir wollen diese Platte eine Bogenplatte nennen. In derselben Weise wie bei der ebenen Platte wurde der Normaldruck auf die Platte (d. h. der Druck senkrecht zur Sehne) und die Abweichung der Druckresultante von der Normalen, je nachdem der Windstrahl mehr oder weniger schräg einfällt, bestimmt.

Dass die Druckwirkungen bei der Bogenplatte etwas stärker sind als bei der ebenen Platte, hat wohl einen gewissen Wert, eine weit grössere Bedeutung hat es aber, dass die Abweichung der Druckresultante von der Normalen nur ungünstig ist bei Einfallswinkeln bis zu $17\frac{1}{2}^\circ$, aber bei weitem nicht so ungünstig wie bei der ebenen Platte, ja dass sie bei grössern Einfallswinkeln günstig ist und zwar so, dass die günstige Abweichung bis zu 3° beträgt. Namentlich auf diesem Umstande beruht es, dass die Arbeitsleistung bei einer solchen Platte, wie die Berechnungen ergeben, weit grösser ist als bei einer ebenen Platte.

Es werde hier noch hervorgehoben, dass die Bogenplatte sogar ohne Schrägstellung arbeiten kann, also wenn die Plattennormale parallel zur Mühlenachse ist und sich gerade dem Winde entgegen wendet (Abb. 5). Es rührt das natürlich davon her, dass wir hier eine

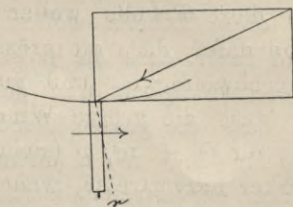


Abb. 5. Bogenplatte ohne Schrägstellung leistet doch Arbeit.

„günstige“ Abweichung der Druckresultante von der Normalen erhalten können, so dass, wenn man die Platte einmal in Bewegung gesetzt hat, die „günstig“ gerichtete Resultante r die Bewegung fortsetzen und beschleunigen wird, ja sogar eine nicht unbedeutende

Arbeit, ungefähr 24 g. m. ergibt, wenn die Platte eine doppelt so grosse Geschwindigkeit wie der Wind erreicht hat.

Wir wollen nun versuchen, ob nicht andere Plattenformen zu finden sind, welche eine noch grössere Arbeitsleistung erwarten lassen. Aus dem Bisherigen ist klar geworden, dass die Aufmerksamkeit ganz besonders auf solche Plattenformen zu richten ist, bei denen die Druckresultante günstige Abweichungen von der Normalen gibt, besonders bei solchen Einfallswinkeln, bei denen der resultierende Wind die allergrössten Arbeitsleistungen zuwege bringt, nämlich wenn die Plattengeschwindigkeit ungefähr $2\frac{1}{2}$ mal so gross ist wie die des Windes und die Schrägstellung etwa 10 Grad beträgt.

Die Arbeitsleistung einer Knickfläche.

Ein besonderer Anlass liegt vor, eine Platte zu betrachten, die einen scharfen Knick (Abb. 6) hat, wie das bei den gewöhnlichen Windmühlen der Fall ist, bei denen die Sturmbretter einen Winkel mit der übrigen Flügelfläche bilden.

Es wird zunächst eine Platte, wiederum von 1 qdm, gewählt, die zu zwei Teilen eingeknickt ist, welche sich verhalten wie $\frac{1}{4}$ zu $\frac{3}{4}$ (wobei $\frac{1}{4}$ das Sturmbrett vorstellt, $\frac{3}{4}$ die übrige

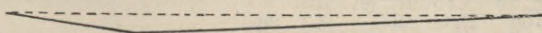


Abb. 6. Ideale Flügelspitze.

Flügelfläche); der Knick wird so stark hergestellt, dass die beiden Ebenen einen Winkel von $165\frac{1}{2}^{\circ}$ bilden. Eine gerade Linie, welche die beiden Ränder der Platte verbindet, bildet alsdann mit dem Sturmbrett einen Winkel von 11° und mit dem übrigen Teil der Platte einen Winkel von $3\frac{1}{2}^{\circ}$; der Abstand der Linie von dem Knick beträgt $4\frac{1}{2}$ mm oder $4\frac{1}{2}^{\circ}/_{0}$. Wenn im folgenden von der Schrägstellung die Rede ist, so ist die Schrägstellung der punktierten Linie gemeint, wie bei der Bogenplatte die Sehne es war, welche die Schrägstellung bestimmte.

Messungen in Bezug auf diese Knickplatte, in ähnlicher Weise ausgeführt wie die frühern, ergeben:

Bei einem Winkel des Windstrahls mit
 der Platte (d. h. der Sehne) . v 1° 2° 3° 4° 5° 10° 12° 13°
 den Druck in Gramm auf 1 qm
 bei 1 m Wind d 8,8 10,9 13,4 16,1 18,7 31,3 36,3 38,3
 den Winkel der Druckresultante
 mit der Normalen r -15°_{0'} -12°_{30'} -10°_{0'} -7°_{30'} -6°_{0'} -1°_{50'} -0°_{40'} -0°_{15'}

v	14°	15°	20°	25°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
d	41,3	43,8	54,7	64,1	73,4	84,4	79,7	73,5	73,5	73,5	73,5
r	0° _{10'}	0° _{25'}	1° _{40'}	2° _{30'}	2° _{45'}	2° _{15'}	1° _{30'}	1° _{0'}	0° _{31'}	0° _{11'}	0° _{0'}

Die Arbeitsleistung einer Knickplatte von 1 qm bei 1 m Windgeschwindigkeit bei verschiedenen Schrägstellungen und verschiedenen Plattengeschwindigkeiten. Die Zahlen sind g. m. pro Sek.

	0°	2½°	5°	7½°	10°	12½°	15°	20°	25°	30°	40°	50°	60°	70°
0,2	0,1	0,7	1,4	2,1	2,7	3,4	4,1	5,4	6,3	8,6	11,4	11,5	9,3	5
0,4	0,4	1,9	3,5	5,0	6,6	8,2	10,0	13,9	17,8	21,1	22,1	18,5	6,3	
0,5	1,1	3,9	6,8	9,9	13,2	16,6	20,0	26,1	29,5	31,6	28,4	17,4		
0,8	2,6	7,5	12,7	18,0	23,2	28,3	32,3	38,3	40,5	39,9	28,5	7,2		
1,0	5,2	13,1	21,3	28,8	35,1	39,7	44,8	49,1	49,1	44,3	21,1			
1,2	9,6	21,4	31,2	40,0	47,3	52,5	56,1	58,5	54,3	42,4				
1,4	15,7	29,4	41,5	51,3	58,6	63,8	67,6	65,5	53,3	34,7				
1,6	20,9	37,3	51,6	62,2	71,2	74,3	75,7	68,4	48,6	19,6				
1,8	25,7	45,7	61,6	72,7	79,9	82,6	72,8	66,6	37,7					
2,0	30,1	53,6	70,5	82,0	89,0	90,8	85,8	61,2	20,4					
2,2	34,7	59,3	78,4	90,6	97,1	95,0	85,0	50,7						
2,4	36,3	65,2	85,5	98,9	102,1	95,6	82,1	32,4						
2,6	38,6	69,2	91,8	104,9	105,3	93,2	76,2	15,9						
2,8	36,1	72,6	96,2	108,2	103,6	89,6	64,7							
3,0	34,2	77,5	102,4	108,3	102,0	83,8	45,3							
3,2	31,1	78,6	104,1	108,0	97,0	73,0	25,3							
3,4	26,9	80,3	104,2	104,6	91,1	56,3	7,3							
3,6	21,7	76,4	99,7	100,2	80,7	30,3								
3,8	15,5	73,0	94,1	92,9	67,4	7,5								
4,0	8,2	66,4	85,3	83,0	49,1									
4,2		57,9	78,1	73,7	19,9									
4,4		43,4	67,3	56,2										
4,6		27,3	52,9	37,0										
4,8		9,9	37,4	13,6										
5,0			21,7											

Die Tabellen Seite 19 und 22 über die Arbeitsleistung einer ebenen Platte und einer Knickplatte sind [im Original] veranschaulicht durch Kurventafeln, in denen sich zunächst Kurven aus den verschiedenen Geschwindigkeiten, welche die Platte im Verhältnis zur Geschwindigkeit des Windes haben kann, und aus den verschiedenen Graden der Schrägstellung der Platte ergeben. Die Arbeitsleistung,

welche die Platte bei jeder Plattengeschwindigkeit und jeder Schrägstellung hat, ist nun ausgedrückt zu denken durch eine Linie, welche an der betreffenden Stelle senkrecht auf dem Papiere steht und durch ihre Länge die Grösse der Arbeitsleistung bezeichnet. Man erhält auf diese Weise eine Art Bergesdarstellung, welche übrigens durch die Horizontalkurven schon angedeutet ist.

Während nun beide Bergesdarstellungen eine ähnliche Form haben, ist diejenige, die der ebenen Platte angehört, nicht so hoch, die Arbeitsleistung bei weitem nicht so gross, wie bei der Bogenplatte und der Knickplatte, sondern kaum halb so gross. Es ist geradezu auffallend, dass hier ein so grosser Unterschied vorhanden sein kann; dieses rührt aber davon her, dass die Richtung der Druckresultante bei der ebenen Platte ziemlich „ungünstig“ ist, während sie bei den andern weniger „ungünstig“ bei einem streifenden Windstrahl und gerade „günstig“ bei etwas steilern Windstrahlen ist.

Wenn man berechnet, eine wie grosse Bewegungsenergie überhaupt in 1 Kubikmeter Luft mit 1 m Geschwindigkeit enthalten ist, so findet man $64\frac{1}{2}$ g. m. Ein Windstrahl mit 1 qm Querschnitt und 1 m Geschwindigkeit ist also Inhaber von $64\frac{1}{2}$ g. m. in der Sekunde. — Man könnte nun versucht sein, anzunehmen, dass nur ein Bruchteil hiervon auf eine Platte von 1 qm übergehen kann, aber, wie aus den Tabellen und Tafeln zu ersehen ist, kann eine Platte (schwach gebrochen), welche quer durch die Windrichtung eilt — entweder dem Winde entgegen oder vor demselben weichend — 108 g. m. aufsammeln.

Dies ist um so auffallender, als eine ebene Platte, welche senkrecht zum Winde mit diesem weiter getrieben wird, nicht mehr als $11\frac{1}{9}$ g. m. aufsammeln kann, wie durch eine besondere Berechnung gefunden worden ist. Die grösstmögliche Arbeit, die eine vor dem Winde weichende Platte aufsammeln kann, wird erreicht, wenn die Platte sich mit $\frac{1}{3}$ der Geschwindigkeit des Windes bewegt. Bei schnellerm oder bei langsamerm Gang sammelt sie weniger auf.

Um so auffallender ist es, dass eine Platte wie die erstgenannte ungefähr 10 mal so viel aufsammeln kann wie diejenige, die am meisten aufsammeln kann, wenn sie vor dem Winde weicht, und dass die genannte Platte überdies nicht im mindesten in der Windrichtung weicht.

Am auffallendsten ist es vielleicht jedoch, dass die genannte Platte mehr als $1\frac{1}{2}$ mal so viel Arbeit aufsammeln kann,

als überhaupt in einem Windstrahl vorhanden ist, welcher denselben Querschnitt hat wie die Platte. — Dieses letztere kann fast als ein Paradoxum erscheinen, aber die Erklärung liegt darin, dass nicht allein der Windstrahl, der immerwährend gegen die Platte gerichtet ist, Energie an dieselbe abliefern, sondern auch der Wind, der bei der Bewegung der Platte hinter diese gerät, ohne die Platte getroffen zu haben. Diese Luft bringt nämlich durch ihre Bewegung eine Saugung auf der Rückseite der Platte zustande, wodurch sie die Platte beschleunigt, während sie zugleich zurückgehalten wird, an Bewegung nachlässt und also Energie verliert. Es ist daher verhältnismässig stille hinter einer Mühle, welche geht, und zwar in weit höherm Grade als hinter einer Mühle, die stille steht; denn auch der Wind, der schon durch die Zwischenräume zwischen den Flügeln hindurchgegangen ist, wird sozusagen von den voraneilenden Flügeln angehalten.

Bei einer so reichhaltigen Energieaufsammlung, wie eine mit der Achse dem Winde zugewandte Mühle eine solche zu leisten imstande ist, wird sicherlich für Erfinder neuer Mühlenformen nur geringe Aussicht vorhanden sein, dieses Verhältnis noch überbieten zu können.

Ein ganzer Flügel.

Betrachtet man nun nicht eine kurze Platte, sondern einen ganzen Flügel, so wird man finden, dass jeder Teil desselben seine bestimmte Geschwindigkeit hat, z. B. die Mitte die halbe Geschwindigkeit der Flügelspitze, der unterste Teil Null. Denkt man sich nun auf der Kurventafel für die Knickplatte einen senkrechten Schnitt durch den Punkt gelegt, der durch die Geschwindigkeit 0 und die Schrägstellung 25° bestimmt ist, und den Punkt, der durch die Geschwindigkeit $2,4$ und die Schrägstellung 10° bestimmt ist, so wird man sehen, dass dieser Schnitt ziemlich gerade den Kamm des Berges, wie man sagen könnte, hinangeht. Wenn man die Schnittlinie entlang wandern wollte, so würde man über den höchsten Punkt des Berges gehen und hätte die niedrigeren Punkte zur Rechten und zur Linken. Diese Linie gibt daher an, wie gross die Schrägstellung bei verschiedenen Geschwindigkeiten und demnach bei verschiedenen Abständen von der Achse sein muss. An der Stelle des Flügels, wo die Geschwindigkeit im Verhältnis zu der des Windes

ist	0	$0,8$	$1,6$	$2,4$
muss die Schrägstellung sein	25°	20°	15°	10°

Die Schrägstellung bei den beiden letztern Punkten darf auf keinen Fall eine andere sein. Die beiden ersten könnten vielleicht eine etwas grössere Arbeit geben, wenn die Schrägstellung etwas grösser als 20° und 25° angenommen würde; der Vorteil ist aber so gering, dass kein Grund vorhanden ist, die Konstruktion der Flügel zu erschweren, wenn die Mühle ein Selbstzwickler ist; denn es ist unthunlich, am innersten Ende der Flügel eine zu grosse Schrägstellung zu haben. Man kann sogar ohne besonderen Arbeitsverlust die innerste Schrägstellung noch etwas geringer ansetzen. Bei festen Segeln hingegen kann es aus gewissen besondern Gründen vorteilhaft sein, eine grössere Schrägstellung an dem innersten Teil der Flügel zu wählen.

Nach der Zeichnung auf der Kurventafel sieht es so aus, als ob man mit Vorteil die Flügelspitze 4 mal oder doch wenigstens 3,6 mal so schnell, wie der Wind ist, könnte laufen lassen. Dieses streitet aber wider die Erfahrung, nach welcher es kaum empfehlenswert ist, eine grössere Geschwindigkeit der Flügelspitze anzuwenden als die, welche $2\frac{1}{2}$ mal so gross ist als die Geschwindigkeit des Windes.

Der Grund ist der, dass man es nicht verhindern kann, dem Mühlenflügel einige Flächen zu geben, die gegen den resultierenden Wind angehen und an der Vorderkante und der Hinterkante des Flügels Druck und Saugung hervorrufen. Hierdurch entsteht ein Widerstand, welcher bei grossen Windgeschwindigkeiten ganz bedeutend wird. Um diesen Widerstand ausfindig zu machen, kann man Tabelle Seite 17 benutzen, deren letzte Kolumne für jede Geschwindigkeit des Flügels den Winkel angibt, unter welchem der resultierende Wind gegen die Flügelebene einfällt, und also auch den Winkel, unter welchem derselbe derartige Flächen trifft, welche senkrecht zur Flügelebene stehen (also Ebenen, die durch die Achse gelegt werden), nämlich Komplemente jener Winkel. Sodann gibt die Tabelle auf Seite 15 den Winddruck an, welcher auf je 1 qm einer solchen Fläche bei 1 m Wind kommt; wird nun dieser Druck mit $(1 + n^2)$ multipliziert, so erhält man den Druck des resultierenden Windes auf diese Fläche.

Anstatt diesen Druck auf 1 qm anzugeben, wird hier 1% desselben angeführt, da man dann leicht ausrechnen kann, einen wie grossen Gegendruck man erhält, wenn die Widerstandsflächen 1, 2, 3 . . . % der Flügelfläche ausmachen. In gleicher Weise wird 1% des Arbeitsverlustes, welcher entsteht, angegeben. Also:

Wenn die Geschwindigkeit des Flügels n ist, die des

Windes 1, so ist 1 Prozent des Drucks auf 1 qm als d in Gramm und 1 Prozent des Arbeitsverlustes als b in Grammmetern in folgender Tabelle angegeben:

n	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4
d	0.21	0.53	0.91	1.21	1.53	1.87	2.27	2.73	3.25	3.87	4.47	5.18
b		0.2	0.5	1.0	1.5	2.2	3.2	4.4	5.8	7.7	9.8	12.4
n	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0				
d	5.94	6.77	7.66	8.61	9.62	10.69	11.82	13.02				
b	15.4	19.0	23.0	27.7	32.1	38.5	46.9	52.1				

Dieser Verlust an Arbeitsleistung, welcher von Flächen herrührt, die von den Flügeln in einer Richtung vorangetrieben werden, welche senkrecht zu den Flächen selbst steht, ist oft recht bedeutend, besonders bei selbstwickenden Flügeln, es ist daher durchaus erforderlich, darauf zu achten. Es handelt sich hier sowohl um voraus-eilende Flächen, vor denen Druck vorhanden ist, als auch um weichende Flächen, hinter denen Saugung ist; da aber die oben stehende Tabelle für eine Fläche mit Druck und Saugung gilt, so muss man bei dem Abmessen von Flächen in entsprechender Weise 1% Druckfläche und 1% Saugfläche zusammennehmen, um das zu erhalten, was wir 1% Widerstandsfläche genannt haben.

In der Regel wird man den Flügelbalken selbst nicht mitzurechnen brauchen, da derselbe meistens gegen den resultierenden Windstrahl durch das Sturmbrett gedeckt ist. Dagegen sind ausser der Vorder- und Hinterkante des Flügels die Vorder- und Hinterflächen der hervorspringenden Leisten in Rechnung zu ziehen, wie auch bei den Selbstwicklern Steuerstangen, Winkeleisen und Jalousiekanten, soweit die Jalousien nicht ganz hinter Leisten verdeckt sind, deren Flächen selbst mitgerechnet werden. Eine ganz genaue Berechnung des Widerstandes lässt sich jedoch auf diese Weise nicht vornehmen, da die Tabelle sich auf die Vorder- und Hinterseite einer Platte und nicht eines grössern Gegenstandes bezieht.

Wie bedeutend die Arbeit durch Widerstandsflächen vermindert wird, ist aus Kurven zu ersehen, die auf einer der genannten Tafeln verzeichnet sind und die Grösse der Arbeitsleistung den Höhenzug entlang darstellen. Schon 2% Widerstandsfläche bewirkt, dass die grosse Arbeitsleistung, die noch bei einer Windgeschwindigkeit zu finden war, welche 4mal diejenige des Windes ausmachte, ganz fortfällt; bei einer Geschwindigkeit, die 3mal diejenige des Windes ausmacht, geht die Arbeitsleistung von 108 g. m. auf 62 zurück. Bei 5% ist auch hier die Arbeitsleistung verzehrt; bei 2,4 mal Geschwindigkeit des Windes ist sie von 102 g. m. bis auf 40 geschwunden. — Bei 10% Widerstandsfläche ist ebenfalls die

Arbeitsleistung zu nichte gemacht; bei 1,6 mal Geschwindigkeit des Windes ist sie von 77 g. m. auf 33 gesunken. — Bei 20% Widerstandsfläche ist bei 1,6 mal Windgeschwindigkeit keine Arbeitsleistung mehr vorhanden, und wenn die Geschwindigkeit der Flügelspitze gleich der des Windes ist, so wird hier die Arbeitsleistung von 49 g. m. auf 19 eingeschränkt.

Diese Zahlen zeigen, eine wie ausserordentliche Bedeutung es hat, zu versuchen, die Widerstandsflächen auf das geringstmögliche Mass zu reduzieren, und dass die Geschwindigkeit gering sein muss, wenn die Widerstandsflächen gross sind.

Direkte Messungen der Arbeitsleistung.

Die Richtigkeit der vorhergehenden Untersuchungen wurde nun auf verschiedene Weise geprüft.

Eine Messung des Antriebs bei einer ebenen und einer gebogenen Platte wurde mit dem Apparat Abb. 2 vorgenommen bei einem Windstrahl, welcher gegen die Platte unter dem Winkel einfällt, unter dem der resultierende Wind auf einen Mühlenflügel wirkt, der eine 2,4 mal so grosse Geschwindigkeit hat wie der Wind, und wenn die Platte eine Schrägstellung von 10° besitzt — die Geschwindigkeit und die Schrägstellung, die das grösste Interesse haben, da sie das Maximum an Arbeit liefern. Es zeigte sich bei dem Versuch, dass der Antrieb 2 Gramm betrug, wenn die Platte eben war, und 4 Gramm, wenn sie gebogen war (bei den oben genannten 40°). Sehr genau kann diese Messung nicht ausgeführt werden; denn wir haben hier nicht den gewaltigen Wind, der aus der Bewegung der Flügel resultiert, sondern nur den Wind, den der künstliche Luftstrom hervorbringt; aber es zeigt sich auf jeden Fall, dass der Antrieb bei der letztgenannten Platte ungefähr doppelt so gross ist als bei der ersten und die Arbeitsleistung mithin ebenfalls.

Direkte Messungen hinsichtlich der Grösse der Arbeit wurden sodann mit einem besondern Apparat ausgeführt.

Ein Mühlenflügelmodell befindet sich vor einem grossen Blasezylinder. Vier kurze Flügel sind auf einer Achse befestigt, welche in horizontalen Lagern ruht. An der Achse ist ein Bremsdynamometer angebracht, welches mit einem Zählwerk für die Umdrehungsgeschwindigkeit in Verbindung gesetzt ist. Die Flügel füllen nicht die ganze Öffnung des Zylinders aus. Das Modell wird bei loser

Bremse, aber mit den Stangen, die zur Befestigung der Probeplatten dienen, so in Bewegung gesetzt, dass es mit der Geschwindigkeit läuft, mit der man die Arbeitsleistung der Platten prüfen will. Wenn darauf die Probeplatten mit der Form und der Schrägstellung, die man untersuchen will, aufgesetzt werden und die Bremswaage mit Gewichten in der Weise belastet wird, dass man dieselbe Umdrehungszahl wie vorhin erhält, so geben Gewichte, Dynamometerarm und Umdrehungszahl die Mittel, wonach man die Arbeit berechnen kann, die die Probeplatten leisten.

In Bezug auf ebene Platten wurde gefunden:

Schrägstellung	10°	12 $\frac{1}{2}$ °	15°	20°	30°
Verhältnis zw. Plattengeschw. und Windgeschw.	2 $\frac{1}{2}$	2	1 $\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$
Gemessene Arbeit pro 1 m Wind, 1 qm, in g. m.	43	41	37	34	21
Berechnete Arbeit (S. 19)	41	41	39	34	20

In Bezug auf die Knickplatte wurde gefunden:

Schrägstellung	10°	12 $\frac{1}{2}$ °	15°	17 $\frac{1}{2}$ °	20°	22 $\frac{1}{2}$ °
Verhältnis zw. Plattengeschw. und Windgeschw.	2 $\frac{1}{4}$	2 $\frac{0}{10}$	1 $\frac{6}{10}$	1 $\frac{2}{10}$	0 $\frac{8}{10}$	0 $\frac{4}{10}$
Gemessene Arbeit pro 1 m Wind, 1 qm, in g. m.	97	87	72	51	34	15
Berechnete Arbeit (S. 22)	102	97	76	58	38	16

Es zeigt sich also hier eine so nahe kommende Übereinstimmung zwischen Abmessung und Berechnung, wie man eine solche nur erwarten kann. Nur sind die gemessenen Arbeitsleistungen bei grossen Geschwindigkeiten etwas klein, aber dieses rührt naturgemäss her von dem Widerstand gegen die Vorderkante des Flügels, wenn auch der Flügel aus einer Zinkplatte hergestellt war. Auch bei der Schrägstellung Null erhält man eine bedeutende Arbeit. So wurde bei der Plattengeschwindigkeit gleich 2,4 mal der Windgeschwindigkeit eine Arbeitsleistung von 54 g. m. (pro 1 m Wind und 1 qm Platte) gefunden, was etwas mehr ausmacht als nach Tabelle S. 22, wonach dieselbe 37 g. m. beträgt. — Ebenso wurde diejenige negative Schrägstellung aufgesucht, welche die von den kleinen Flügeln zu wege gebrachte Geschwindigkeit von 2,4 mal der Windgeschwindigkeit nicht veränderte und bei welcher die Platten mithin weder arbeiten noch Widerstand leisten. Diese Schrägstellung war ungefähr bei — 3 $\frac{1}{2}$ Grad. Da der resultierende Windstrahl bei dieser Windgeschwindigkeit einen Winkel von 22 $\frac{1}{2}$ Grad mit der Flügelebene bildet, so bildet er also 26° mit der Flügelfläche; aber dann bildet die Druckresultante, S. 17, einen günstigen Winkel mit der Normalen, nämlich von 2° 35'. Der gemessene Winkel war etwas grösser; aber dieses bestätigt doch wesentlich die Richtigkeit dessen, dass man die Abweichung der Druckresultante von der

Normalen kennen und der Berechnung der Arbeitsleistung zu grunde legen muss, wie solches im Vorhergehenden geschehen ist.

Noch andere Platten, als die auf Seite 21 geschilderte Knickplatte, wurden untersucht. Es scheint kein Grund vorzuliegen, sich von dieser Form weit zu entfernen. Namentlich darf die Sturmbrettfläche nicht mehr als $\frac{1}{4}$ der Breite ausmachen; auch darf die Platte nicht mehr eingeknickt sein, als oben angegeben ist. Dagegen kann man vielleicht an der günstigen Abweichung der Druckresultante von der Normalen etwas gewinnen, wenn man einen etwas kleineren Teil der Flügelfläche umbiegt, sogar nur $\frac{1}{8}$ der Breite, und dann die Umbiegung weniger stark vornimmt.

Als allgemeine Regel für die Einbiegung oder den Knick des Flügels glaube ich auf Grund der vorgenommenen Messungen angeben zu können, dass man $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{4}$ der Breite umbiegen kann; dass der Knick so stark sein muss, dass, wenn eine Schnur über die beiden Ränder gespannt wird, der Abstand von der eingebogenen Stelle der Flügelfläche bis zur Schnur $\frac{1}{40}$ bis $\frac{1}{20}$ der Länge der Schnur ausmacht. Dieser Abstand, welcher hernach die „Knickhöhe“ (der „Pfeil“) genannt werden soll, muss also ungefähr 4% der Flügelbreite betragen. Ist die Einbiegung nicht scharf, so muss man von dem Punkte ab messen, den man erhält, wenn man die beiden Teile der Fläche verlängert, bis sie einander schneiden. Der Abstand von der Einbiegung bis zur Schnur, die Knickhöhe, ist in diesem Fall also weniger als $\frac{1}{4}$ der Flügelbreite.

Es ist auffallend, dass eine so unbedeutende Biegung einen so grossen Einfluss auf die Grösse der Arbeitsleistung ausübt; dies beruht aber, wie schon gesagt, darauf, dass die geringe Biegung die Abweichung der Druckresultante so verändert, dass sie von einer „ungünstigen“ zu einer „günstigen“ umgestaltet wird.

Anzahl der Flügel.

Die Tabellen Seite 19 und 22 zeigen sicherlich, eine wie grosse Arbeit in einer Flächeneinheit der Flügel aufgenommen werden kann; ein wie grosser Teil dieser Arbeit aber wirklich aufgenommen wird, selbst wenn sich keine Widerstandsflächen vorfinden, beruht offenbar darauf, wie dicht die Flügel aufeinander folgen; denn wenn ein Flügel eine Störung, eine Unterbrechung in einem Teile des Luftstroms hervorgebracht hat, wird ein folgender Flügel, welcher

unmittelbar darauf in diese Stelle hineingleitet, nicht den normalen Luftstrom vorfinden; er wird daher eine geringere Arbeit leisten.

Es wurden nun Versuche angestellt, um die Arbeitsleistung bei 2, 4 und 8 Platten bei verschiedenen Geschwindigkeiten der Platten und bei verschiedenen Schrägstellungen zu messen.

Die erlangten Resultate sind folgende:

Verhältnis zw. der Geschw. der Platte und der des Windes		2,4	2,2	2,0	1,6	1,2	0,8	0,4	
Schrägstellung in Graden		10	11 ¹ / ₄	12 ¹ / ₂	15	17 ¹ / ₂	20	22 ¹ / ₂	30 45
Es sollte aufgenommen werden können (S. 22)		102 g. m.	96	91	76	57	38	16	21 20
Es wird aufgenommen von den Platten, welche einen Bruchteil der gan- zen Kreislinie ausfüllen	} ¹ / ₁₂ (2 Fl.)	93	„	85	77	62	49	36	12
		77	„	73	71	62	52	38	14
				46	53	58	52	40	16

Man ersieht hieraus, dass, wenn man durch die Platten ¹/₁₂ der Peripherie ausfüllt (also z. B. 2 Flügel anwendet, von denen jeder ¹/₁₂ so breit ist wie die Länge des Halbkreises) oder wenn man nur ¹/₆ der Peripherie ausfüllt (also z. B. 4 Flügel anwendet, von denen jeder ¹/₆ so breit ist wie die Länge des Viertelbogens), man die grösste Nutzwirkung dadurch erzielt, dass man die Platten mit einer Geschwindigkeit gleich 2,4 derjenigen des Windes und mit einer Schrägstellung von 10° im Laufe erhält. Dabei gibt übrigens ein jeder der 2 Flügel eine bessere Nutzwirkung (nämlich 93 g. m.) als jeder der 4 Flügel (nämlich 77 g. m.), ein Umstand, der den Müllern bekannt ist, indem sie den einen Flügel anwenden, wenn sie den andern (gegenüberstehenden) zur Ausbesserung herabgenommen haben.

Füllt man hingegen ¹/₃ der Peripherie aus (8 Flügel, jeder ¹/₃ der Länge des Achtelbogens) so erhält man die beste Nutzwirkung bei einer Plattengeschwindigkeit, die nur 1,6 mal diejenige des Windes beträgt, und bei einer Schrägstellung von 15°. Aber die Nutzwirkung pro Flächeneinheit ist nun bedeutend geringer (58 g. m.), als wenn man nur ¹/₆ des Kreises mit Flügelflächen ausfüllt und die Flügel schneller laufen lässt.

Wenn man den Flügel gleich breit nach aussen und nach innen herstellt, so wird die Breite desselben, wenn sie am Ende ¹/₆ ausfüllt, in der Mitte offenbar ¹/₃ ausfüllen. Man könnte nun fragen, ob hierdurch nicht ein Verlust an der Nutzwirkung entsteht. Wenn man zunächst bedenkt, dass die Geschwindigkeit in der Mitte nur halb so gross ist wie an der Flügelspitze, so kann man aus

der Tabelle entnehmen, dass, wenn eine 4flügelige Mühle eine Flügelspitzen geschwindigkeit von 2,4 und eine Flügelmittegeschwindigkeit von 1,2 hat, man ohne Verlust den Kreis bis zu $\frac{1}{3}$ ausfüllen kann (denn man hat sowohl für 4 als auch für 8 Flügel die Arbeitsleistung von 52 m. g.). Dies bedeutet, dass man nichts an der Nutzwirkung verliert, wenn man den Flügel seine Länge entlang gleich breit herstellt; denn da die innern Teile eine geringere Geschwindigkeit haben, so kann man hier eine grössere Ausfüllung des Kreises vornehmen.

Etwas anderes ist es, dass jede Flächeneinheit eine geringere Arbeit gibt, je näher sie bei der Achse ist (vgl. Tab. S. 22); aber anderseits gibt eine Flächeneinheit hier auch eine schwächere Windresultante und mithin geringern Druck und geringere Gefahr eines Bruchs am Flügel. Es ist also kein Grund vorhanden, dass man nicht das Areal weiter nach innen hin an den Flügeln ausnutzen sollte; es ist daher zweckdienlich, ihnen dieselbe Breite oder ungefähr dieselbe Breite wie weiter nach aussen hin zu geben, da ihre Nutzwirkung dadurch nicht vermindert wird. — Dagegen ist aber auch kein Grund vorhanden, ganz ins Innere bis zur Achse zu gehen; denn die Flächenteile z. B., die nur eine Geschwindigkeit gleich 0,4 derjenigen des Windes haben, leisten nur sehr wenig ($\frac{1}{6}$ der Teile an der Flügelspitze), während diejenigen, die eine Geschwindigkeit von 0,8 haben, noch wert sind, dass man sie mit heranzieht, indem sie fast die Hälfte der Nutzwirkung, die an der Flügelspitze vorhanden ist, geben. Hat diese eine Geschwindigkeit von 2,4 mal derjenigen des Windes, so könnte es zweckdienlich sein, die Flügelfläche auf — wie wir annehmen wollen — die äussersten 3 Vierteltheile des Flügels anzusetzen.

Es könnte von Interesse sein, das Verhältnis zwischen einer 4flügeligen und einer 8flügeligen Mühle zu untersuchen, wobei die Flügelbreite $\frac{1}{24}$ des Kreisumfanges beträgt. Die 4flügelige, deren Flügelspitze mit einer Geschwindigkeit gleich 2,4 mal derjenigen des Windes laufen muss, gibt zu äusserst eine Arbeit von 77 und in der Mitte eine Arbeit von 52 g. m. Die 8flügelige, deren Spitze $\frac{1}{6}$ mal wie der Wind gehen muss, gibt zu äusserst 58, in der Mitte 40 g. m. pro Flächeneinheit. Die Arbeitsleistung jener verhält sich also zur Arbeitsleistung dieser ungefähr wie 4 zu 3; sind aber die Flügel gleich gross, so hat die 8flügelige ein doppelt so grosses Areal, weshalb sich die Arbeit der 4flügeligen zu derjenigen der 8flügeligen verhält wie 4 zu 6 oder wie 2 zu 3. Wollte man nun die 4flügelige so stark vergrössern, dass sie dieselbe Arbeitsleistung

bekäme wie die 8flüglige, so müsste ihre Flügellänge und ebenfalls ihre Flügelbreite vergrössert werden im Verhältnis $\sqrt{\frac{3}{2}} = 1,22$ und das Flügelareal im Verhältnis 1,5. Hat man z. B. eine 8flüglige Mühle mit Flügeln von 20 Fuss, so wird dieselbe Arbeitsleistung bei einer 4flügligen zu erreichen sein mit Flügeln von 24,4 Fuss und mit einem Areal, welches nur $\frac{1,5}{2,0}$ oder $\frac{3}{4}$ desjenigen der 8flügligen Mühle beträgt; die Achse derselben würde sich, obgleich die Arme länger sind, ungefähr 5mal umdrehen, während diese sich 4mal umdreht. Es sind also verschiedene Momente vorhanden, die für eine 4flüglige Mühle sprechen, abgesehen davon, dass diese die grössere Einfachheit für sich hat.

Es könnte anderseits die Frage aufgeworfen werden, ob man sich nicht eher der 2flügligen Mühle nähern sollte, wenn auch nicht gerade in der Weise, dass man buchstäblich nur 2 Flügel anwendete, was doch seine Ungelegenheiten mit sich führen würde, da der Umstand sich wohl stark geltend machen würde, dass der Wind unten und am Mühlenrumpf schwächer ist als oben, sondern in der Weise, dass man 4 Flügel mit nur halber Breite, nämlich $\frac{1}{12}$ des Viertelkreises, anbrächte. Man würde dann an der Flügelspitze eine Arbeitsleistung von 93 und in der Mitte von 52 erhalten, was ungefähr $\frac{9}{8}$ mal so viel pro Flächeneinheit ausmachen würde, also für die ganzen Flügel $\frac{9}{16}$ Arbeitsleistung. Sollte diese schmalflüglige Mühle eine ebenso grosse Arbeit leisten, so müsste ihre Flügellänge sein $\sqrt{\frac{16}{9}} = \frac{4}{3}$ mal die Länge der breitflügligen; ihr Flügelareal würde dann $\frac{16}{18}$ oder $\frac{8}{9}$ der breitflügligen ausmachen. Die 3 genannten Mühlen mit gleicher Arbeitsleistung würden sich verhalten:

	Flügellänge	Areal	Anzahl Umdrehungen in derselben Zeit
eine 8flüglige	20	1,00	16
eine 4flüglige	24,4	0,75	20
eine 4schmalflüglige	32,6	0,67	15

Die Letztere wird schwerlich vorzuziehen sein. Allerdings ist ihr Areal kleiner, aber ihre Flügel sind nicht unbedeutend länger und die Umdrehungszahl ist wesentlich kleiner als bei der breitflügligen, deren Flügel von 24 Fuss ungefähr 6 Fuss Breite haben. — Die schmalflüglige würde sogar einen verhältnismässig grössern Widerstand erfahren, da ihre Balken, Vorderkanten, Steuerstangen usw. verhältnismässig in höherm Grade hemmend sein werden als die der breitflügligen.

Man kommt somit zu der Erkenntnis, dass der ideale Windfang sich in Übereinstimmung befindet mit der

4flügligen Mühle, zu der man durch hundertjährige Erfahrungen gelangt ist, wenn man auch nur wenig Mühlen antrifft, bei denen sich alle Verhältnisse in gehöriger Ordnung befinden. Auf Grund der oben erörterten Untersuchungen lässt sich die ideale Mühle in folgender Weise beschreiben.

Die ideale Mühle.

a) 4 Flügel mit so wenig Widerstandsflächen wie möglich, namentlich an dem äussern Ende, gegen die Flügelspitze hin.

b) Die Flügelbreite ungefähr $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{5}$ der Flügellänge und überall ungefähr gleich breit.

c) Die Flügelfläche beginnt ungefähr soweit von der Achse entfernt, wie $\frac{1}{4}$ der Flügellänge ausmacht, so dass die Fläche sich über $\frac{3}{4}$ der Flügellänge erstreckt.

d) Das Querprofil der Flügelfläche ist nicht eine gerade Linie, sondern ist eingeknickt oder gebogen an einem Punkte, welcher $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{6}$ der Breite von der Vorderkante entfernt ist; der Knick ist so stark, dass die Brechungskante um 3 bis 4 Prozent von der Sehne des Profils entfernt liegt (oder bei gebogenem Profil liegen würde). Dies gilt für die Flügelspitze; im Innern kann das Profil ganz gerade sein.

e) Die Schrägstellung, welche entweder nach der grossen oder der kleinen Flügelfläche, jedoch nach der Profilhöhe gerechnet wird, beträgt an der Flügelspitze 10 Grad und nimmt regelmässig zu, so dass sie bei $\frac{2}{3}$ Abstand von der Achse 15° , bei $\frac{1}{3}$ Abstand 20° beträgt und an der Achse 25° betragen würde.

f) Die Mühle soll so eingerichtet sein, dass die Flügelspitze mit einer Geschwindigkeit geht, welche 2,4mal diejenige des Windes ausmacht, aus welchem man die grösstmögliche Arbeitsleistung zu erlangen wünscht. (Diese Windgeschwindigkeit wird im allgemeinen nahe an 6 oder vielleicht nur 5 Meter betragen).

g) Die Arbeit, die eine solche Mühle leisten kann, lässt sich daraus berechnen, dass man, wie die oben dargelegten Untersuchungen es ausweisen, ungefähr 60 Grammometer pro Quadratmeter auf eine Windgeschwindigkeit von 1 Meter erhält. Die Arbeit ist nämlich 60 mal das gesamte Flügelareal, ausgedrückt in Quadratmetern, und mal die Windgeschwindigkeit in Metern in der 3. Potenz und ist alsdann in Grammometern ausgedrückt. Teilt man diese Zahl durch 1000 so hat man also Kilogrammometer pro Sekunde; und teilt man

wiederum durch 75, so hat man die Arbeitsleistung in Pferdekraften. Beispiel: Sind die 4 Mühlenflügel je 8 Meter lang, 2 Meter breit, und wird nach der Arbeitsleistung gefragt bei einer Windgeschwindigkeit von 6 m pro Sekunde, so muss die Geschwindigkeit der Flügelspitze sein: $6 \times 2,4 = 14,4$ m; da der Kreisumfang ungefähr 50 m ausmacht, so wird diese Mühle bei genanntem Winde $\frac{14,4 \times 60}{50} = 17,3$ Umdrehungen in der Minute machen. Die Flügelflächen der Mühle sind $4 \times 6 \times 2 = 48$ qm; die Arbeitsleistung der Mühle bei genanntem Winde ist gleich $60 \times 48 \times 6^3 = 622080$ gr m = 622 kg m = 8,3 HP.

Es ist jedoch hierbei vorauszusetzen, dass die Mühle so gebaut ist, dass die Widerstandsflächen der Flügel sich nur auf ein paar Prozent der Nutzfläche belaufen.

Die Windrose.

Die runden Mühlen oder Windrosen, deren Flügellareal gross ist im Verhältnis zum Kreise, geben eine geringe Arbeit im Verhältnis zum Flügellareal. Wie aus Tabelle S. 30 zu ersehen ist, nimmt die Arbeit schon bedeutend ab, wenn die Flügel $\frac{1}{3}$ des Kreises ausfüllen, und doch muss man sich hier, um eine möglichst grosse Arbeit zu erlangen, mit einer Flügelspitzen-⁹geschwindigkeit von 1,6 mal derjenigen des Windes begnügen. Die Flügel folgen so nahe aufeinander, dass die Unterbrechung des Luftstroms, den der vorhergehende Flügel zu wege gebracht hat, allzu störend auf den Flügel wirkt, welcher schnell hinterher folgt. Will man nun die Flügel noch dichter stellen, so muss man sie noch langsamer gehen lassen und ihnen deshalb eine noch grössere Schrägstellung geben. Man geht hierbei oft so weit, dass man den Flügeln ein ebenso grosses Areal gibt (vielleicht ein noch grösseres) als dasjenige des Kreises ist, und dazu eine Schrägstellung von 45° . Die Tabellen auf Seite 19 und 22 weisen aus, dass das nur eine geringe Arbeit ist, die sich bei einer solchen Schrägstellung und bei der geringen Geschwindigkeit erreichen lässt, nämlich nicht mehr als höchstens 15 g. m. bei ebenen Flügeln und 23 g. m. bei Knickflügeln; ob man dieses aber dadurch erreichen kann, wenn man den Windfang so dicht macht, ist eine andere Frage, welche wesentlich durch folgende Untersuchung beantwortet wird. Zuerst wurden 25 und später 50 kleine quadratische Platten von 5×5 cm in einem Kreisring unter 45° Schrägstellung so angebracht, dass ihre Mittelpunkte 0,382 m von der Achse entfernt waren. Sie haben dann das Gesamtareal, welches annähernd resp. halb so gross und ebenso

gross ist wie das Areal des Kreisringes, in welchem sie sich befinden. Dieser Motor wurde in einen künstlichen Luftstrom gebracht und seine Arbeitsleistung bei verschiedenen Geschwindigkeiten und Belastungen gemessen. Wenn die Arbeitsleistung in g. m. auf je 1 qm bei 1 m Wind angegeben wird, so sind die Resultate, welche gefunden wurden, bei ebenen Flächen:

Verhältnis zwischen der Geschwindigkeit

	der Platten und des Windes	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
Ar- beit	welche aufzunehmen wäre (Seite 19)	8	12	14	15	16	14	10	5
	welche aufgenommen wurde ($\frac{1}{2}$) d. Areal's	0	4	9	12	14	13	9	5
	in Platten, die ausmachen ($\frac{1}{2}$) d. Kreisr.	0	3	6	9	10	10	7	4

und bei Knickflächen, welche die früher angegebene Form haben:

Verhältnis zwischen der Geschwindigkeit der

	Platten und des Windes	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
Ar- beit	welche aufzunehmen wäre (Seite 22)	18	20	23	22	20	16	11	6
	welche aufgenommen wurde ($\frac{1}{2}$) des Areal's	0	2	7	11	14	13	10	5
	in Platten, die ausmachen ($\frac{1}{2}$) des Kreisr.	0	1	6	8	11	10	8	5

Diese beiden Tabellen zeigen zunächst, dass es keinen grossen Unterschied ausmacht, ob man bei diesem langsamen Gang und bei diesen grossen Schrägstellungen ebene Flächen oder Knickflächen anwendet. Schon die Grösse derjenigen Arbeit, die bei grossen Schrägstellungen in den beiden Arten von Platten aufgenommen wird, ist bei weitem nicht so verschieden wie bei kleinen Schrägstellungen, bei denen die „günstige“ Richtung der Druckresultante eine weit grössere Rolle spielt. Zudem aber scheint es, dass die Knickplatten einander mehr stören, wenn sie so dicht aufeinander folgen, offenbar deshalb, weil die Knickplatte den Windstrahl stärker biegt, so dass derselbe nach der Stelle hin geht, wo Saugwirkung bei der folgenden Platte sein sollte, weshalb also diese Saugwirkung vermindert wird. — Man kann also bei der Windrose sich sehr gut an ebene Flächen halten, was sowohl das Einfachste ist als auch sicherlich das allgemein Gebräuchliche.

Wir erhalten hier die grösste Nutzwirkung bei einer Geschwindigkeit gleich 0,4 mal der des Windes. Wir würden 16 g. m. erhalten, wenn die Platten nicht einander durch ihre gegenseitige Nähe störten; wir erhalten aber resp. nur 14 und 10 g. m., wenn das Plattenareal halb so gross oder ebenso gross ist wie das des Kreisringes. Bei grösseren Plattengeschwindigkeiten (0,6 und 0,8) wird weniger Arbeit aufgenommen, als es der Fall sein sollte, weil alsdann die Platten einander noch mehr stören.

Die vielen Kanten der Bretter bewirken sicherlich auch, ob-

schon bei den Versuchen Zinkplatten angewandt wurden, einen gewissen Widerstand bei ihrem Dahineilen durch die Luft.

Wollte man eine Windrose annehmen, deren innere Öffnung einen Durchmesser hat, welcher $\frac{1}{3}$ desjenigen der ganzen Windrose beträgt, so wird die Länge der Platten auch gleich $\frac{1}{3}$ des Durchmessers der Windrose sein. Liesse man nun die Mitte der Platten mit der Geschwindigkeit 0,4 gehen, so würden die Enden derselben die Geschwindigkeit 0,6 und 0,2 haben; man würde alsdann, wenn die Platten ein Gesamtareal gleich dem Kreisring hätten, eine Nutzwirkung von ungefähr 9 g. m. pro qm bei 1 m Wind erlangen.

Sollte nun eine Windrose von dieser Bauart dieselbe Arbeitsleistung aufweisen wie eine 4flügelige Mühle mit 8 m langen und 2 m breiten Flügeln, wie auf Seite 33 angenommen ist, welche also $4 \times 12 \times 60 = 2880$ g. m. ergeben, so müsste der Kreisring ein Areal von $\frac{2880}{9} = 320$ qm haben, was einen Radius von 10,5 m bedingt; ein solcher Radius würde bedeutend grösser sein als die Flügellänge der 4flügeligen Mühle, welche 8 m ausmachte.

Dieses Resultat mag für viele so auffallend sein, dass sie wohl eine direkte Kontrolle zu haben wünschen. Es wurde daher eine kleine 4flügelige Mühle und eine Windrose hergestellt, beide mit 0,8 m im Durchmesser, jene aber mit Flügelflächen von $0,1 \times 0,3$ qm, also einem Gesamtareal von 0,12 qm, diese mit einem Areal gleich dem Kreisring, dessen grösserer Diameter 0,8 m und dessen kleinerer Diameter 0,22 m beträgt, also mit einem Areal von 0,46 qm. Die Flügel der Mühle waren nach der Vorschrift Seite 33 angefertigt; die Flügel der Windrose hatten eine Schrägstellung von 45° .

Jeder Windfang wurde nach und nach in denselben konstanten und beständig kontrollierten Luftstrom von 7,42 m pro Sekunde gebracht und das Arbeitsvermögen, wie gewöhnlich, bei verschiedenen zu stande gebrachten Geschwindigkeiten durch verschiedene Belastungen des Bremsdynamometers gemessen. Es ergaben sich bei folgenden Verhältnissen zwischen der Flügelspitzen geschwindigkeit und der Windgeschwindigkeit folgende Arbeitsleistungen in Gramm- metern auf 1 qm bei 1 m Windgeschwindigkeit:

Bei der 4flügeligen Mühle:

Geschw.:	3. ₈₇	3. ₆₄	3. ₄₄	3. ₁₀	2. ₈₀	2. ₅₁	2. ₄₀	2. ₀₉	1. ₇₈
Arbeit:	5. ₅	22. ₉	37. ₅	48. ₅	56. ₈	63. _c	62. ₄	62. ₂	57. ₂

Bei der Windrose:

Geschw.:	1. ₀₈	1. ₀₃	0. ₉₈	' ₉₃	' ₉₀	' ₈₆	' ₈₃	' ₇₉	' ₇₅	' ₇₁	' ₆₈	' ₆₄	' ₆₀
Arbeit:	0. ₄	1. ₆	2. ₇	3. ₈	4. ₇	5. ₆	6. ₄	7. ₀	7. ₆	8. ₁	8. ₆	8. ₉	9. ₁
	⁵⁷	⁵⁴	⁵⁰	⁴⁷	⁴⁴	⁴¹	³⁷	³³	²⁹	²⁵	²¹	¹⁶	
	9. ₂	9. ₄	9. ₄	9. ₄	9. ₄	9. ₂	8. ₈	8. ₃	7. ₆	6. ₈	5. ₉	4. ₇	

Die absolute Arbeit, welche die beiden Mühlen bei dem angegebenen Wind ausführten, war hinsichtlich der erstern bei einer Geschwindigkeit 2,4mal derjenigen des Windes: 3060 g. m.; hinsichtlich der letztern bei einer Flügelspitzen-geschwindigkeit von 0,46 m, welche einer Geschwindigkeit von 0,4 hinsichtlich eines Punktes entspricht, der 0,35 m von der Achse entfernt liegt, war die Arbeit nur 1791 g. m. Hätte die Windrose eine ebenso grosse Arbeit ausführen sollen wie die 4flügelige Mühle, so hätte der Diameter der Windrose 1,05 m betragen müssen, während der Diameter der 4flügeligen Mühle nur 0,8 m ausmacht. — Hiermit ist jedoch nicht gesagt, dass eine richtig konstruierte 4flügelige Mühle immer ein grösseres Arbeitsvermögen hat als ein mehr windrosenähnlicher Windfang. Dieser könnte eine etwas höhere Arbeitsleistung als die hier erörterte geben, wenn man bei den Platten grössere Zwischenräume anbrächte und ihnen geringere Schrägstellungen, vielleicht von ungefähr 30 Graden, gäbe.

Es ist aber noch ein anderes Verhältnis zwischen den beiden Mühlenformen vorhanden, welches nicht übersehen werden darf und welches ohne Zweifel die Schuld daran trägt, dass so viele Windrosen im Gebrauch sind, wie es der Fall ist.

Bei den beiden letztgenannten Versuchsreihen zeigte es sich, dass die 4flügelige Mühle unsicher ging, wenn sie so stark belastet wurde, dass ihre Geschwindigkeit bis auf eine Geschwindigkeit gleich 1,8mal derjenigen des Windes sank. Wurde sie ein wenig stärker belastet, so geriet sie in Stillstand; sie musste alsdann wieder entlastet werden und zwar ziemlich bedeutend, wenn sie bei demselben Wind wieder in Gang kommen sollte.

Dagegen wurde eine Windrose erst unsicher, wenn sie so stark belastet wurde, dass ihre Geschwindigkeit bis auf 0,16mal diejenige des Windes sank.

Dieser Umstand, welcher manchem Benutzer von Mühlen bekannt sein dürfte, erfordert eine genauere Aufklärung; es soll daher hier der Antrieb unter verschiedenen Verhältnissen betrachtet werden. Die Antrieb muss nämlich den Widerstand überwinden können. Wird er geringer, so muss die Mühle in Stillstand geraten.

Der Antrieb lässt sich für jede Schrägstellung und jede Geschwindigkeit berechnen, da man die Grösse und die Richtung der Druckresultante kennt, wie dieselben auf Seite 15 bis 22 angegeben sind; am leichtesten aber lässt sich der Antrieb finden, indem man die Arbeit durch die Geschwindigkeit teilt; denn die Arbeit ist eben

gleich Antrieb mal Geschwindigkeit. Kann also eine ebene Platte mit der Geschwindigkeit 2,4 (Windgeschwindigkeit = 1 m) eine Arbeit von 40,7 g. m. (S. 19) leisten, so muss sie einen Antrieb von $\frac{40,7}{2,4} = 17$ gr haben.

Berechnungen, die in dieser Hinsicht vorgenommen wurden, haben ergeben:

Antrieb einer ebenen Platte.

	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°
0,0	13,1	25,7	37,7	48,4	56,6	55,6	38,3
·2	13,4	26,6	38,9	48,3	48,5	33,3	14,0
·8	19,5	35,4	34,1	19,8	0,9		
1,0	21,8	33,6	25,7	8,1			
·2	23,5	29,2	18,4				
·4	23,1	25,6	9,4				
·6	22,4	21,7	1,3				
·8	21,2	17,4					
2,0	19,7	13,8					
·2	18,4	7,1					
·4	17,0	1,6					
·6	15,4						
3,0	11,6						
3,8	1,0						

Antrieb einer Knickplatte:

	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°
0,0	13,0	25,7	37,8	52,7	66,6	65,2	51,8
·2	14,0	27,0	43,0	57,0	57,5	46,5	26,5
·8	29,0	47,0	49,9	35,6	9,9		
1,0	35,1	49,1	44,3	21,1			
·2	39,4	48,8	35,3				
·4	41,8	46,8	24,8				
·6	43,7	42,8	12,3				
·8	44,4	37,0					
2,0	44,5	30,6					
·2	44,1	23,0					
·4	42,5	13,5					
·6	40,5	5,3					
·8	37,0						
3,0	34,0						
3,8	17,7						
4,2	4,8						

Aus der zweiten Tabelle ist zu ersehen, dass, wenn der Widerstand gegen eine Knickplatte mit 10° Schrägstellung einmal so gross geworden ist (44,5 g), dass die Geschwindigkeit etwas unter 2 mal diejenige des Windes gesunken ist, die Arbeitsleistung der Platte abgebrochen ist. Sie gerät in Stillstand, und da der Antrieb in

Ruhe nur 13 beträgt, ist eine starke Entlastung oder aber eine recht bedeutende Vermehrung der Windstärke erforderlich, um sie wieder in Gang zu bringen.

Eine ebene Platte mit 10° Schrägstellung kann, wie die erste Tabelle ausweist, bis auf ungefähr 1,2 der Geschwindigkeit des Windes abnehmen, bei welcher der Antrieb 23,5 ist, ehe die Arbeitsleistung abgebrochen wird; aber dieser Umstand bedingt es nicht, einen geradlinigen Flügel einem Knickflügel vorzuziehen; denn der Antrieb der Knickplatte ist auch bei der Geschwindigkeit 1,2 weit grösser, als diejenige der ebenen Platte irgendwie ist, nämlich 39,4.

Anders verhält es sich mit dem Antrieb der Windrose. Halten wir uns an ebene Flächen, also an die erste der beiden Tabellen, so sehen wir, dass die Platte bei über 45° Schrägstellung den grössten Antrieb hat, wenn sie stille steht. Sie verharrt also im Arbeiten, auch wenn sie stille steht, und sie beginnt wieder zu gehen in demselben Augenblick, wo sie entweder so entlastet wird oder der Wind so stark wird, dass sie überhaupt arbeiten kann. Hierzu kommt, dass der Antrieb bei 1 qm Platte hier bei sehr geringer Geschwindigkeit absolut grösser ist als bei 1 qm Knickplatte mit der Geschwindigkeit, bei der diese die grösste Arbeitsleistung hat; wenn man nun fernerhin erwägt, dass das Areal, welches bei einer Windrose benutzt wird, mehrere Male grösser ist als das Areal einer 4flügligen Mühle mit demselben Durchmesser, so ersieht man leicht, dass jene mit einem ausserordentlich grossen Antrieb gegenüber dieser auftritt und dass das Übergewicht in diesem Punkte gross ist besonders bei recht geringen Geschwindigkeiten, nämlich solchen Geschwindigkeiten, welche eintreten nicht nur bei vermehrter Belastung, sondern namentlich oft, wenn der Wind abflaut. Daher ist das Zutrauen zu den Windrosen namentlich gross in Bezug auf „Kleinwind“. Sie vermögen doch etwas auszurichten, wenn auch nur wenig.

Es ist jedoch möglich, dass der Wert dieses Antriebs oft höher gestellt wird, als derselbe es verdient. Da die obengenannte 4flüglige Mühle ziemlich höher arbeitsleistend war als die Windrose, womit sie verglichen wurde, während sie übrigens auch billiger in der Anschaffung ist und den Winddruck besser aushält, so könnte man sich bei schwachem Winde damit begnügen, sie so zu belasten, dass sie eine ebenso grosse Arbeit ausführen würde wie die Windrose mit demselben Durchmesser. Sie wird dann bedeutend mehr Windschwächung vertragen können, ehe sie in Stillstand gerät,

aber ganz gewiss kann ihre Arbeitsleistung abgebrochen werden bei einer Windschwäche, welche einer Windrose noch gestattet, eine, wenn auch wesentlich geringere Arbeit zu leisten. Tritt dieses nun ein, so wird es leicht eine längere Zeit dauern, ehe die 4flüglige Mühle wieder in Gang kommt.

Erwägt man diese Verhältnisse, so wird man leicht einsehen, bei welcherlei Arbeiten Grund vorliegt, eine 4flüglige Mühle anzuwenden, und bei welchen Arbeiten Anlass sein kann, an eine Windrose zu denken.

Es gibt Arbeiten, bei denen der Widerstand von selbst geringer wird, wenn die Geschwindigkeit sich vermindert. Dies gilt z. B. bei der Erzeugung von Elektrizität. Bei dem Antrieb eines Dynamos wird der Widerstand ganz bedeutend geringer, wenn die Geschwindigkeit nachlässt, so dass nie die Rede davon sein wird, dass eine 4flüglige Mühle bei diesem Betrieb in Stillstand gerät, wenn überhaupt ein wenig Wind vorhanden ist.

Bei Mühlen, die unter menschlicher Wartung arbeiten, wird man in der Regel die Belastung oder die Anzahl der Arbeitsmaschinen vermindern können, wenn man merkt, dass die Mühle nachlässt. Zu einer solchen Verwendung ist eine 4flüglige Mühle auch an ihrem Platz. Wo man weder den Arbeitswiderstand noch die Anzahl der Maschinen, vielleicht weil bloss eine Maschine vorhanden ist, vermindern kann, wird dennoch die Frage berechtigt sein, ob man nicht trotzdem eine 4flüglige Mühle benutzen soll; man würde dann die Arbeitsmaschinen abzustellen haben, wenn man merkt, dass die Mühle dieselben nicht anzutreiben vermag.

Bei ^{Arbeiten} Maschinen hingegen, bei denen keine menschliche Wartung vorhanden ist, also bei kleineren Mühlen, z. B. zum Pumpen, ist die Anwendung von Windrosen eher angebracht, besonders wenn man wünscht, dass bei schwachem Wind mit Stössen das Pumpen eingestellt werden soll. In dieser Hinsicht läge noch für die Erbauer von kleinen Mühlen die Lösung der Aufgabe vor: eine 4flüglige Mühle oder auf jeden Fall eine Mühle mit kleinem Flügelareal einzurichten, nämlich in der Weise, dass sie einen grössern Antrieb hätte bei langsamem Gang.

Vielleicht liesse sich dieses dadurch erreichen, dass man den inneren Teilen des Flügels eine recht grosse Schrägstellung gibt. Ein anderes Verfahren könnte darin bestehen, den Flügel so einzurichten, dass er die rechte Form und die rechte Schrägstellung

erst infolge des Winddrucks bekommt, welcher entsteht, wenn der Wind eine gewisse Minimalgeschwindigkeit, z. B. 5 Meter, und die Flügelspitze ebenfalls eine solche, z. B. 10 Meter, erlangt.

Das Druckzentrum.

Bei den Versuchen über die zuletzt erwähnten Einrichtungen ist meine Aufmerksamkeit auf die Frage gelenkt worden, die allerdings sich ohnehin geltend gemacht haben würde: wo ist das Druckzentrum (der Schwerpunkt) einer Platte, wenn der Wind sie unter verschiedenen Einfallswinkeln trifft?

Zur Untersuchung dieses Verhältnisses wurde eine ebene Platte (Abb. 7) an einer leicht beweglichen senkrechten Achse angebracht,

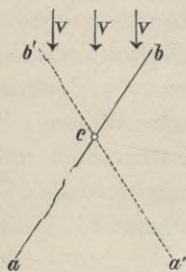


Abb. 7. Das Druckzentrum einer Platte.

welche man nach Belieben an verschiedenen Stellen der Platte zwischen a und b einsetzen kann. Wird die Platte vom Winde getroffen, so nimmt sie von selbst eine bestimmte Stellung ein, deren Schrägheit von der Lage des Umdrehungspunktes c in der Platte abhängt. Sie befindet sich alsdann im Gleichgewicht, welches man ebenfalls herstellen kann, indem man die Platte bis in die Stellung $a' b'$ dreht, die mit der erstern in Bezug auf den Windstrahl symmetrisch ist. In dieser Stellung hält also der Druck auf bc das Gleichgewicht mit dem Druck auf ac . Mit andern Worten: c ist das Druckzentrum bei dem Einfallswinkel, der zwischen v und ab gebildet wird. — Das Gleichgewicht ist stetig: denn, wird die Platte etwas nach rechts gedreht, so wird der Winkel zwischen v und ab grösser; alsdann kann der Druck auf bc dem Druck auf ac nicht das Gleichgewicht halten, weswegen die Platte sich wieder zurück wendet. Wird die Platte etwas nach links gedreht, so wird jener Winkel kleiner; alsdann ist der Druck auf bc grösser als der Druck auf

ac, so dass die ursprüngliche Stellung wiederum eingenommen wird. Bei einer ebenen Platte wurde gefunden:

Der Winkel zwischen Wind und Platte	10°	26°	37°	63°	90°
Das Verhältnis zwischen bc und ab	0 _{.24}	0 _{.30}	0 _{.37}	0 _{.43}	0 _{.50}

Das Druckzentrum liegt also nur dann in der Mitte, wenn der Wind senkrecht auf die Platte einfällt; sonst aber liegt das Druckzentrum näher bei der Vorderkante als bei der Hinterkante, oder mit andern Worten: Der Druck auf jede Flächeneinheit ist beim vordersten Teil der Platte grösser als beim hintersten Teil. Die Ursache hiervon ist hauptsächlich in dem Umstande zu suchen, dass das Saugen auf der Leeseite am grössten ist beim vordersten Teil der Platte.

Dieser Umstand kann keinen Einfluss auf die frühern Berechnungen und Angaben hinsichtlich der Arbeitsleistung oder des Antriebs eines Windfangs haben. Hierzu ist die Grösse und Richtung des Drucks allein massgebend, wie solches oben gezeigt worden ist. Ob der Angriffspunkt näher bei der Vorderkante des Flügels liegt oder entfernter von derselben, ist in dieser Hinsicht gleichgültig. Dagegen kann dieses Verhältnis eine mehrfache Bedeutung haben für die Konstruktion und Haltbarkeit des Mühlenflügels; deswegen wurden gleichfalls Versuche mit der oft besprochenen Knickplatte angestellt. Es ergab sich dabei:

Winkel zw. Wind und Platte	13°	19°	28°	36°	45°	56°	70°	90°
Verhältnis zw. bc und ab	0 _{.28}	0 _{.31}	0 _{.34}	0 _{.37}	0 _{.40}	0 _{.44}	0 _{.48}	0 _{.50}

Hier ist also eine ähnliche Verschiebung des Druckzentrums in Bezug auf die Vorderkante vorhanden, wenn der Wind schräg einfällt, wenn auch nicht in so starkem Masse wie bei der ebenen Platte.

Auch hier erweist es sich, dass die alte Flügelform richtig getroffen worden ist. Man ist ohne Zweifel in der Weise dazu gekommen, dass man zunächst Segel auf dem Gitterwerk angewandt hat, welches auf den Flügelbalken folgt. Darnach hat man die Flügelfläche verlängert, indem man Sturmbretter an die Vorderkante des Balkens anfügte. Man ist hierbei recht glücklich zu Werke gegangen, nicht nur indem man der Flügelfläche den Knick gab, welcher, wie es sich nunmehr zeigt, von so grosser Bedeutung ist, sondern auch, indem die Vorderkante (die Sturmbrettfäche) ganz naturgemäss viel schmaler angelegt wurde als der hintere Teil des Flügels (die Segelfäche), wobei der Flügelbalken so ziemlich in das Druckzentrum kam und hierdurch Drehwirkung und Wucht auf die Flügelfläche auf das geringst mögliche Mass beschränkt wurde.

Als man später zum Selbstwicken mit Jalousien überging, hat

man gleichzeitig geglaubt, diese so anbringen zu müssen, dass sie mit ihrer Mitte auf dem Flügelbalken ruhten, in der Meinung, dass sie so im Gleichgewicht wären und dass also nicht eine sehr merkliche Drehwirkung auf den Flügel ausgeübt würde. Dies erweist sich nun aber als verfehlt, wenn die Mühle geht. Nur wenn der Wind gerade auf den Flügel gerichtet ist und auch dann nur, wenn keine Schrägstellung vorhanden wäre, würde das Gleichgewicht in der Mitte der Jalousien sein; aber wenn die Mühle geht — und in der Regel geht sie ja, wenn sie aufgesegelt ist — muss die Vorderkante schmaler sein als die Hinterkante. Wollte man dieses in Bezug auf die ideale Mühle ganz genau einrichten und werden die Abstände von der Achse als $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$, 1 (d. h. die Flügelspitze) bezeichnet, so würden diese Punkte bei der Maximalarbeit eine Geschwindigkeit haben gleich 0,8, 1,6 und 2,4mal derjenigen des Windes mit Schrägstellungen von 20° , 15° und 10° und mit resultierenden Windwinkeln gegen die Flügelebene (S. 17) von $51\frac{1}{2}^\circ$, 32° und $22\frac{1}{2}^\circ$, also resultierenden Windwinkeln mit den 3 Stellen der Flügelfläche von $31\frac{1}{2}^\circ$, 17° und $12\frac{1}{2}^\circ$. Diesen Verhältnissen entsprechen, wenn die Flügelbreite 1 genannt wird, folgende Abstände von der Vorderkante bis zum Druckzentrum: 0,35, 0,30, 0,28.

Will man das nicht so genau nehmen — und dazu ist kaum Grund vorhanden, zumal der Flügelbalken selbst Breite hat — so kann man die Vorderseite des Flügels zwischen $\frac{1}{4}$ und $\frac{1}{3}$ der ganzen Flügelbreite ansetzen, so dass die Hinterseite 2 bis 3mal so breit ist wie die Vorderseite.

Nehmen wir aufs neue die Aufgabe auf, die 4flüglige Mühle so einzurichten, dass sie ihre Arbeitsleistung bei Normalgang (Geschwindigkeit der Flügelspitze gleich 2,4mal derjenigen des Windes) mit einem grossen Antrieb bei langsamerem Gang oder Stillstand vereinigt, so kann dies bei den kleinern Mühlen — und das sind ja solche, die zuweilen ohne menschliche Wartung sind — sehr einfach dadurch erreicht werden, dass die ganze Flügelfläche sich um Angeln drehen kann, die an der Vorderseite des Flügelbalkens angebracht sind. Die Angeln müssen dann ungefähr 0,3 der Flügelbreite von der vordersten Kante des Flügels ab befestigt sein. Dann wird die Flügelfläche, wenn die Mühle stille steht, sich von selbst mit einer sehr grossen Schrägstellung einstellen und einen starken Antrieb ergeben, während die Flügelfläche sich mit immer geringerer Schrägstellung einstellen wird, je schneller die Mühle geht und je mehr der resultierende Wind gegen die Vorderkante des Flügels hin gelangt. Auf den Flügelbalken müssen einige

Stopper angebracht werden, welche namentlich verhindern, dass die Schrägstellung zu gross wird; die Flügelfläche muss durch ein Gewicht so abbalanciert sein, dass sie sich nicht infolge ihrer Schwere nach einer Seite hin dreht. Man sieht alsdann, dass die Flügel sich je nach der Abschwächung des Windes richten, indem sie sich bei einer solchen mit grösserer Schrägstellung einstellen; die Mühle gerät dann nicht leicht in Stillstand. Geschieht dies dennoch bei sehr schwachem Winde, so wird die Mühle wieder in Gang kommen, ohne dass der Wind eine sonderliche Stärke erhalten zu haben braucht.

Ein kleines Modell einer solchen Mühle ist in den künstlichen Luftstrom gebracht worden; es zeigte sich, dass sie korrekt funktionierte und dass, wenn sie mit einer Schrägstellung von 45° stille steht, sie einen 3mal so grossen Antrieb hat als die Normalmühle, sowie dass, wenn sie geht, sie ungefähr dieselbe Arbeitsleistung wie diese besitzt.

Eine ähnliche grössere Mühle hat im Laufe des Sommers Dienste geleistet beim Wasserpumpen in Skibelund; sie funktionierte in der Weise, wie es nach dem Vorhergehenden zu erwarten war.

Fernerhin ist eine Probe dahin gemacht worden, dass die Sturbretter allein sich um eine Achse (einen Zapfen) parallel mit dem Flügelbalken drehen können und zwar an einer solchen Stelle des Brettes, dass sie sich nach Massgabe des Vorhergehenden zu einer idealen Flügelfläche einstellen, wenn die Mühle ihre richtige Geschwindigkeit hat, während sie sich bei langsamerem Gang oder bei Stillstand mit sehr grosser Schrägstellung einstellen und mithin einen starken Antrieb geben. Eine solche Änderung ist bei der genannten Mühle in Skibelund vorgenommen worden. Sie ist in Abb. 8 in Stillstand zu sehen, wobei die Sturbretter sich mit sehr grosser Schrägstellung eingestellt haben. Die Klappen sind natürlich mit Rücksicht auf ihre Schwere abbalanciert worden.

Die Erfahrung mit diesen ihre Schräge verändernden Flügeln ist jedoch noch von so kurzer Dauer, dass sich noch nichts Sicheres über ihre Zweckmässigkeit sagen lässt; hier liegt aber offenbar eine Aufgabe für die Erbauer von kleinen Mühlen vor, nämlich die, die Flügel so zu bauen, dass die Mühle die grosse Arbeitsleistung einer idealen Mühle mit dem starken Antrieb der Windrose bei geringem Winde verbindet. Es lässt sich annehmen, dass die Aufgabe zu lösen ist entweder durch eine liegende, unmittelbare Selbsteinstellung der Platten, wie vorhin angegeben ist, oder durch eine Modifikation jenes selbstwirkenden Mechanismus, den mehrere Erbauer anwenden, um radial gestellte Klappen zu öffnen, d. h. ihnen grössere Schräg-

stellung zu geben, wenn der Windfang zu schnell geht. Die Modifikation müsste alsdann darauf hinausgehen, dass die Klappen nicht allein eine grössere Schrägstellung erhalten, wenn sie zu schnell gehen, was recht vorteilhaft ist, da sie alsdann Rückwind erhalten und gehemmt werden, sondern auch, dass sie grössere Schrägstellung erhalten, wenn sie zu langsam gehen, denn dadurch wird ein grösserer Antrieb zu stande gebracht. Aber bei richtigem Gange müssten

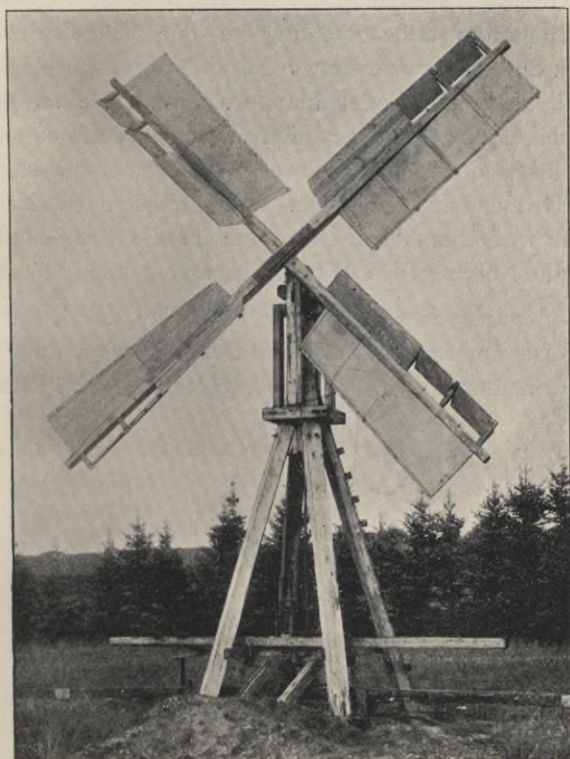


Abb. 8. Eine Mühle mit selbsteingestellter Schrägstellung.

die Platten ihre geringste Schrägstellung haben, und dies müsste möglichst die ideale sein, so dass die ideale Geschwindigkeit die normale wird.

Die Neigung der Mühlenachse.

Wie bekannt, ist die Mühlenachse in der Regel nicht wagrecht, sondern sie ist so geneigt, dass die abwärts gewandten Flügel frei vor dem Mühlenrumpf vorbeigehen können, welcher immer unten

bedeutend umfangreicher ist als oben. Es wird oft die Frage erhoben, ob die Mühle nicht bei dieser Schrägstellung der Achse etwas an ihrer Arbeitsleistung verliert. Bei der Untersuchung dieser Frage muss man natürlich den Umstand ausser Betracht lassen, dass zum Teil eine Windstille vor jedem festen Körper gebildet wird und dass der Mühlenrumpf deshalb die Wirkung des freien Windes auf die abwärts gewandten Flügel beeinträchtigt. Dieser Umstand ist ja so stark hervortretend, dass man oft den Lappensegelflügeln keine oder sogar eine negative Schrägstellung an der Flügelspitze gibt, was, wie oben (S. 28) nachgewiesen wurde, zulässig ist, weil dadurch verhindert wird, dass die Segel klappern, wenn sie an dem Mühlenrumpf vorbeigehen. — Über den Verlust, den diese Windstille verursacht, lässt sich schwerlich etwas Allgemeines sagen, da das in hohem Grade auf der Form und Grösse des Mühlenrumpfes beruht. Wir wollen uns hier also nur an die Frage halten, welche Bedeutung die Neigung des Windfangs und seiner Achse hat.

Die Bedeutung dieser Neigung lässt sich durch Berechnung auf ähnliche Weise untersuchen, wie die Berechnungen über die Arbeitsleistung vorgenommen worden sind (Seite 19—22). In Abbild. 9

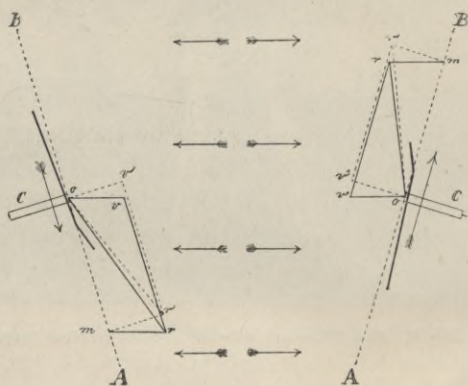


Abb. 9. Neigung der Mühlenachse.

stellt AB links die Flügelebene dar, von derjenigen Seite aus betrachtet, auf der die Flügel abwärts gehen, während AB rechts in der Figur die Flügelebene darstellt, von der Seite aus betrachtet, wo die Flügel hinauf gehen. C ist die schräg liegende Achse. Der Flügel o ragt nun wagerecht nach der Seite hinaus (er wird von seinem Ende aus gesehen). Er erfährt die Einwirkung des Windes v.

Ist die Flügelspitzen geschwindigkeit um nun $2,4 \times v_0$, so erfährt der Flügel einen Gegenwind gleich m_0 , und der resultierende Wind ist r_0 . Wenn hingegen der Wind parallel mit der Achse, also v'_0 , wäre, so würde der resultierende Wind r'_0 (punktiert) sein. Man ersieht nun aus der Figur, dass bei dem abwärtsgehenden Flügel (links) der resultierende Wind r_0 länger (d. h. stärker) ist, als der resultierende Wind r'_0 sein würde, wenn derselbe Wind parallel mit der Achse wäre, aber der Erstere bildet einen kleinern (also weniger günstigen) Winkel mit der Achse. Bei dem aufwärtsgehenden Flügel (rechts) ist zu ersehen, dass der resultierende Wind r_0 schwächer ist, als er sein würde (r'_0), aber seine Richtung ist günstiger. Berechnet man zu einer gegebenen Neigung der Achse, zuerst von 10^0 und hernach von 20^0 , die Arbeitsleistung, so zeigt es sich, dass jene beiden Umstände (nämlich dass der resultierende Wind stärker ist, aber eine ungünstigere Richtung hat, und umgekehrt), einander aufheben. Jedoch verhält sich die Sache so, dass die Vermehrung der Stärke des resultierenden Windes mehr nützt, als die Ungunst der Richtung desselben schadet, so dass der abwärts gehende Flügel sogar eine etwas grössere Arbeit leistet, als er sonst leisten würde, während der aufwärtsgehende eine etwas geringere Arbeit gibt; die Durchschnittszahl ist aber bei einer Achsenneigung von 10^0 dieselbe wie ohne Neigung, nämlich 102 g. m. (vgl. S. 22), während sie bei 20^0 Achsenneigung 100 g. m. ist.

Da es bei Versuchen mit dem Bremsdynamometer nicht gut angeht, eine geneigte Achse anzuwenden, da aber dasselbe Resultat zu erreichen ist, wenn man den Wind 10^0 und 20^0 schräg von der einen Seite blasen lässt, so sind Versuche in letzterer Weise angestellt worden. Diese bestätigen im wesentlichen die Berechnung, indem sie zeigen, dass die erwähnte Schrägstellung nicht in nennenswertem Masse schadet. Bei diesen direkten Messungen fand man jedoch bei einer Neigung von 10^0 einen Verlust von 4% und bei 20^0 Neigung von 8% , was ein etwas grösserer Verlust ist, als die Rechnung ergeben hat. Dieses kann aber davon herrühren, dass der stärkere resultierende Wind auf der einen Seite nicht allein die Platte fortbewegt, sondern auch die Flügelbalken hemmt. — Eine sonderliche Bedeutung kann dieses indessen in der Praxis nicht haben, wofern nur der Windfang nicht sehr grosse Widerstandsflächen hat. — Ebenfalls ist es hinsichtlich der Arbeitsleistung nicht sehr wichtig, dass die Mühle ganz genau dem Winde zugewandt ist — unter derselben Voraussetzung.

Tatsächliche Verhältnisse bei einigen Mühlen.

Da ich die im Vorhergehenden gefundenen Resultate mit Messungen bei grössern Mühlen vergleichen wollte, so habe ich ein Bremsdynamometer konstruiert, welches sich an der Bremsscheibe jeder Mühle anbringen lässt. Es besteht wesentlich aus einem Stahldrahtseil, welches um die ganze Bremsscheibe mit einigen Eisenbändern als Unterlage gelegt wird, damit durch das Stahltau kein Schleissen stattfindet. Die beiden Enden dieses Taus lassen sich durch eine Schraube und Mutter nach Belieben fest um die Scheibe spannen und durch ein starkes Federdynamometer mit dem Scherenbalken verbinden, so dass, wenn die Mühle geht, das Dynamometer die Zugkraft angibt und zwar in einem Abstand von der Achse, welcher etwas grösser ist als der Radius der Bremsscheibe.

Eine Bremsmessung einer Mühle ist indessen mit grossen Schwierigkeiten und einer nicht geringen Störung beim Betrieb der Mühle verbunden, da das Messen leicht ein paar Tage in Anspruch nimmt. Während des Messens muss nämlich die eigene Bremse der Mühle entfernt werden, ferner auch möglichst die Mahlvorrichtung; die Mühlenflügel sind bei diesen Ausführungen festzubinden und verschiedene Vorsichtsmassnahmen gegen Unfälle zu treffen, für den Fall, dass der Wind sich verstärken sollte. — Wenn endlich die Veränderungen abgeschlossen sind und der Wind unterdessen nicht zu stark oder zu schwach geworden ist, muss man eine Reihe oder mehrere Reihen von Messungen vornehmen, bei denen die Grösse der Zugkraft am Dynamometer, die Zeit nach der Uhr und die Mittelwindgeschwindigkeit am Anemometer zu beobachten ist. Dieses letztere ist an der Spitze einer Flaggenstange angebracht, welche sich zum Zweck der Ablesung durch Stangen heben und senken lässt. Man muss dann zwischen den Beobachtungsreihen die Belastung feststellen und die Geschwindigkeit, welche das Maximum an Arbeit gibt.

Die vorgenommenen Messungen haben erwiesen, dass man in Dänemark sich bei den kleinen Mühlen (Hausmühlen) mehr der Windroseneinrichtung als der idealen 4flügligen Mühlenform nähert. Selbst wenn diese Mühlen 4-, 5- oder 6flüglig sind, haben sie dennoch eine viel grössere Segelfläche, eine grössere Schrägstellung und einen langsameren Gang als die ideale Mühle — alles dieses natürlich, um einen grösseren Antrieb bei Kleinwind zu erlangen, so dass sie nicht leicht in Stillstand geraten, wenn der Wind abflaut.

Es geht dies hervor aus den Untersuchungen bei 5 verschiedenen Hofmühlen, die ich in Westjütland gemessen habe. Sie sind

über der First der Häuser angebracht und dienen zum Dreschen, Mahlen, Häckselschneiden, Kuchenbrechen und Brandschneiden. Die Mühlen sind:

Nr. 1. Besitzer Kristen Pedersen, Dejbjerg. Dünner, aber dichter Rumpf, 4 Flügel, dicht über der First, der Wind während des Messens ungünstig (nämlich vom Gehöft statt von der Feldmark her), die Mühle wird im Wind durch einen Sterz gehalten, welcher nicht ganz sicher zu wirken scheint. Die Segelfläche besteht aus flachen Klappen, die Schrägstellung ist gleichmässig nach aussen und innen; Radius 4 m.

Nr. 2. Besitzer Anton Hindhede, Lem. Kegelmotor, offenes Eisenstativ, ziemlich hoch über der First, 6 Flügel, die Segelfläche aus gebogenen Klappen, die Knickhöhe (der Pfeil) 3% der Breite. Ein Mühlenbaumsterz, welcher gut wirkt. Die Schräge nimmt nach innen ab. Radius 4 m. Der Wind ungünstig.

Nr. 3. Besitzer Jakob Hindhede, Lem. Offnes Stativ; 5 Flügel; die Segelfläche aus gebogenen Klappen; der Pfeil 3%; die Schrägstellung gleichmässig von aussen und innen. Drehrose. Gut über die First hinausragend. Radius 4 m.

Nr. 4. Besitzer Knud Bonde, Velling. Windrose mit 32 flachen Brettern; die Schrägstellung daher gleichmässig nach aussen und innen; Drehflügel; nur wenig über der First. Radius 2,9 m.

Nr. 5. Besitzer Kristen Jepsen, Lambaek. 4flüglige Lappenmühle; der Pfeil 6½%; die Schräge ist an der Spitze nur 5°; sie nimmt aber nach innen schnell zu; dichtes, aber dünnes Stativ; gerade über der First; wird mit der Hand vom Innern aus gedreht; Radius 3,15 m. Der Wind ungünstig.

	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 5
Schräge an der Flügelspitze in Graden	17½	16¼	17¾	21	5
Verh. des Pfeils zur Breite in %	0	3	3	0	6½
Verh. der Widerstandsflächen z. Br. in %	4	2	3	12	1½
Beste Flügelspitzen-geschw. (Windgeschw. = 1).	0,9	1,0	1,2	0,7	1,6
Arbeit bei 1 qm 1 m Wind in g. m.	7	15	17	13	15

Wahrscheinlich müssen die letzten Zahlen (Arbeit) etwas erhöht werden, teils wegen der 2 Paar konischer Zahnräder, welche die Übertragung von der Hauptachse auf die abgebremste Achse bilden, und teils weil die Windrichtung in den erwähnten Fällen ungünstig war. Diese Erhöhung kann jedoch nur nach Veranschlagung geschehen, welche immer etwas unsicheres ist. Man kann vielleicht folgende Zahlen für die Arbeit der 5 Mühlen ansetzen:

Arbeit	10	19	19	15	20
------------------	----	----	----	----	----

Selbst bei dieser Erhöhung ist die Arbeit bei diesen Mühlen ziemlich gering. Sie nähert sich offenbar mehr derjenigen der Windrose (Seite 36), als derjenigen der idealen Mühle. Dasselbe gilt für die Geschwindigkeiten und die Schrägstellungen. Nur die Lappenmühle Nr. 5 hat geringe Schräge an der Flügelspitze und recht grosse Geschwindigkeit; die Arbeitsleistung ist sicher nicht zu hoch veranschlagt, da die Windrichtung sehr ungünstig war und die Mühle sich unmittelbar über der First befindet.

Es kann keinem Zweifel unterliegen, dass man auf diese Formen mit verhältnismässig geringer Arbeitsleistung gekommen ist, um durch diese Formen einen grossen Antrieb zu erlangen, so dass die Mühle bei Kleinwind nicht leicht in Stillstand gerät; denn an und für sich liegt nichts im Wege, eine weit grössere Arbeitsleistung zu beschaffen.

So gab die Abbremsung einer sogar 6flügligen Mühle bei der Versuchsmühle mit 4 m Durchmesser, 4⁰/₁₀ Pfeil, 10⁰ Schräge an der Flügelspitze und grösseren Schrägstellungen nach innen, als Mittelzahl aus einer Reihe von Messungen eine Flügelspitzen-geschwindigkeit 2,3 mal die des Windes und eine Arbeit von 49 g. m. auf 1 qm bei 1 m Windgeschwindigkeit.

Bei der alten Versuchsmühle (Durchmesser 11,6 m), deren Flügelflächen einen Pfeil von 4⁰/₁₀ der Breite und eine Schräge von 15⁰, nach innen zunehmend, sowie Widerstandsflächen (namentlich bei der Steuerstange) zu knapp 2⁰/₁₀ (der Balken nicht mitgerechnet) haben, hat sich bei einer Abbremsung gezeigt, dass sie die grösste Arbeit bei einer Flügelgeschwindigkeit von 1,3 mal der des Windes gibt und dass sie dann eine Arbeit von ungefähr 37 g. m. auf 1 qm bei 1 m Windgeschwindigkeit leistet.

Die Flügel der neuen Versuchsmühle (Durchmesser 22,8 m), sind nach Massgabe der meisten hier dargestellten Untersuchungen eingerichtet worden. Sie haben einen Pfeil von 4⁰/₁₀ und eine Schrägstellung von 10⁰, welche nach innen so zunimmt, dass sie nahe an der Achse 25⁰ beträgt. Nur ist das Selbstzwicken so eingerichtet, dass dieses vor der Hand grössere Widerstandsflächen bietet, als vorhanden sein sollten, nämlich 7¹/₂ % der Flügelbreite (abgesehen vom Flügelbalken, welcher nicht mitgerechnet ist). Diese grossen Widerstandsflächen sind durch den Umstand veranlasst, dass an jedem Flügel eine gabelförmige Steuerstange mit einer Widerstandsfläche zu äusserst von $2 \times 4 = 8$ cm, ausser den Steuerwinkel-eisen, angebracht ist, und sodann, weil nichts geschehen ist, um die Widerstandsflächen der Leisten zu vermindern, welche die Vorder-

kante des ganzen Flügels und namentlich die grosse Hinterkante bilden. Infolgedessen läuft der Flügel nicht so schnell, wie er laufen müsste, sondern bis auf weiteres nur mit einer Geschwindigkeit gleich 1,9 mal der des Windes; seine Arbeitsleistung ist dann 34 g. m. auf jedes qm bei 1 m Windgeschwindigkeit. Ein näherer Vergleich mit den auf S. 26 erwähnten Kurven für 5 und 10% Widerstandsfläche zeigt, dass die gefundenen Zahlen im wesentlichen mit der Theorie übereinstimmen und dass also eine Verminderung der Widerstandsflächen den Windfang dem idealen Zustande näher bringen würde.

Eine 4flügelige Mühle in Askov, welche dem Mühlenerbauer Kristensen gehört, hat 10 m im Durchmesser, 1,25 m breite Flügel mit Lappensegeln und Sturmbrettern nach gewöhnlicher Weise. Das Sturmbrett 0,42 m, Balken und Segel 0,83 m, der Pfeil $6\frac{1}{2}\%$ der Flügelbreite. Die Widerstandsflächen betragen nur 3%, wenn der Balken nicht mitgerechnet wird. Die Schrägstellung an der Flügelspitze 12 Grad. Die Abbremsung dieser Mühle zeigte, dass sie bei einer Flügelspitzengeschwindigkeit von 2,1 mal der des Windes ungefähr 33 g. m. auf je 1 qm bei 1 m Wind leistete. Bei völlig freiem Lauf ohne Arbeit erlangte sie nur eine Flügelspitzengeschwindigkeit von 2,7 mal der des Windes. Dieses ist leicht erklärlich, da das Sturmbrett 11° mit der der Sehne bildet, diese wiederum einen Winkel von 12° mit der Flügelebene bildet, gegen welche das Sturmbrett also einen Winkel von 23° ausmacht. Aber bei einer Geschwindigkeit von 2,3 Malen der des Windes fällt der resultierende Wind unter einem Winkel von 23° ein (siehe Seite 17). Derselbe stösst dann gerade gegen den Flügelbalken; es ist daher erklärlich, dass die beste Arbeit bei einer geringeren Geschwindigkeit als 2,3 abnimmt und ein freier Lauf diese Geschwindigkeit nicht sonderlich übertrifft.

Endlich habe ich eine 4flügelige Segelmühle mit 20,4 m Durchmesser abgebremst, welche dem Müller Jensen in Holsted gehört. Die Widerstandsflächen sind knapp 2%, aber der Pfeil ist fast 10%, und da die Schräge an der Flügelspitze 8° beträgt, so hat das Sturmbrett eine Schrägstellung von 30° . Hieraus folgt, dass, wenn die Flügelspitze über 1,7 mal die Geschwindigkeit des Windes hinauskommt, der resultierende Windstrahl parallel mit dem Sturmbrett ist und den Flügelbalken trifft, so dass derselbe bei dieser Geschwindigkeit als Widerstandsfläche von 6 bis 7% der Flügelbreite auftritt. Es ist daher zu erwarten, dass die Flügelspitzengeschwindigkeit notwendigerweise grösser sein muss als die genannte Ge-

schwindigkeit. Die Messung zeigte denn auch, dass die Mühle, wenn auch eine Segelmühle, die grösste Arbeit bei einer Flügel-spitzengeschwindigkeit gleich 2 mal der des Windes ergab und dass die Arbeit dann 43 g. m. auf jedes qm bei 1 m Windgeschwindigkeit betrug.

Während keine der hier beschriebenen Mühlen — vielleicht mit Ausnahme der kleinen 4 m-Mühle Seite 50, welche jedoch 6 Flügel hat — mit derjenigen Geschwindigkeit lief, die sie haben sollte, und dieses nur ausnahmsweise bei den Mühlen hier zu Lande der Fall ist, glaubte ich doch auf einer Reise in Holland bemerkt zu haben, dass die Mühlen dort eine grössere Geschwindigkeit hätten. Ich habe daher einige Beobachtungen über die Geschwindigkeit der Mühlen in Holland zugleich mit Ablesungen an einem Windmesser angestellt. Eine Abbremsung konnte ich dort nicht leicht ausführen; die erwähnten Beobachtungen fanden statt, während die Mühlen mit derselben Belastung (Sägearbeit oder Wasserhebung) gingen, die man diesen Mühlen bei der betreffenden Windstärke zu geben pflegte. Es erwies sich, dass die Geschwindigkeit dieser Mühlen reichlich so gross war wie die Geschwindigkeit der idealen Mühle.

So ergab eine Herr Carstens, Ijlst in Friesland, gehörige Sägemühle eine Flügelspitzen-geschwindigkeit, die zwischen 2,6 und 3 mal so gross war als die des Windes. Die Mühle ist 4flügelig mit einem Durchmesser von 22 m; sie hat Sturmbretter und Lappensegel. Der Pfeil beträgt $6\frac{1}{2}$ 0/0 der Breite; aber diese grosse Knickhöhe bedeutet nicht, dass die Sturmbretter stark nach aussen gerichtet seien, sie bilden nur einen Winkel von knapp 20^0 gegen die Flügelebene. Wenn dennoch die Knickhöhe so gross ist — wohl zu merken, an der Flügelspitze — so liegt das daran, dass die hintersten äussersten Ecken des Gitterwerks und der Segel so stark nach aussen, von der Mühle ab, gebogen sind, dass die Schrägstellung an der Flügelspitze sogar etwas negativ ist (nämlich $-1\frac{1}{2}^0$). Diese negative Schräge ist, wie oben nachgewiesen wurde, sehr dienlich; sie wird bekanntlich angewandt, um zu verhindern, dass die Lappensegel Rückwind erhalten und klappern, wenn der Flügel am Mühlenrumpf vorbeigeht. Dagegen nimmt die Schrägstellung nach dem Innern den Flügel entlang schnell zu, so dass sie bei einem Abstand von der Flügelspitze, welcher etwas weniger als eine Flügelbreite ausmacht, schon bis zu 10^0 gewachsen ist. Die Widerstandsflächen beliefen sich nur auf ungefähr 1 0/0, da der Balken ausser Betracht bleiben kann, weil das Sturmbrett gegen den resul-

tierenden Windstrahl gedeckt ist. Der Flügel ist also vortrefflich geeignet, die Luft zu durchschneiden.

Eine andere 4flügelige Mühle bei Ijlst, welche eine Wasserschnecke treibt und die nur 11 m im Durchmesser hatte, war nach ähnlichem Prinzip eingerichtet und daher nicht wesentlich von der grossen Mühle verschieden, wie solches jedoch in Dänemark bei den kleinen Mühlen meistens der Fall ist. Die Knickhöhe betrug auch hier $6\frac{1}{2}^{\circ}$; die äussersten Ecken des Gitterwerks sind auch hier so stark nach aussen gebogen, dass die Schrägstellung etwas negativ wird (ungefähr -4°); sie nimmt aber schnell zu, so dass sie 1 m von der Flügelspitze 10° beträgt. Die Widerstandsflächen machen knapp 2° aus. Die Mühle ging mit einer Flügelgeschwindigkeit, die 2—3 mal so gross war als die des Windes. Es ist übrigens noch zu bemerken, dass keine Wartung stattfand und dass die Mühle deshalb durch die Wasserschnecke permanent belastet wurde; die genannte Belastung fand bei nur 5 m Wind statt. Hieraus folgt, dass bei stärkerem Winde die Mühle im Verhältnis zum Winde noch schneller läuft, dass man also bei dieser Mühle die Verhältnisse so gewählt hat, dass sie mit ungefähr der idealen Geschwindigkeit bei ungefähr dem schwächsten Winde läuft, bei dem sie überhaupt arbeiten kann, während sie schneller als ideal bei stärkerem Winde läuft.

Resultate über die Arbeitsleistung der Windmühlen.

1. Auf Grund von Messungen, die in Bezug auf den Druck (mit Einschluss der Saugwirkung) eines Luftstroms auf eine ebene oder gebogene Platte, sowie in bezug auf die genaue Richtung der Druckresultante angestellt werden, ist es möglich, die Arbeitsleistung jedes Windfanges zu berechnen. Die Messungen der Arbeitsleistung zahlreicher Windfänge haben die Berechnungen bestätigt.

2. Bei der Aufstellung von Vorschlägen zu neuen Formen von Windfängen wird eine solche Berechnung Auskunft darüber geben können, ob Grund vorhanden ist, den Vorschlag zur Ausführung zu bringen; daher lassen sich auch viele Projekte ziemlich schnell abweisen.

3. Die Form, welche die grösste Arbeitsleistung darbietet, ist ähnlich derjenigen, zu welcher das Menschengeschlecht durch hundertjährige Erfahrungen gelangt ist, ohne dass man jedoch ein eigentliches

Verständnis des Zusammenhangs gehabt hat; deshalb sind die Berechnungen, die man früher vorzunehmen sich getraute, nicht so sehr deswegen mit der Wirklichkeit in Übereinstimmung gewesen, weil das Verständnis ein richtiges war, als vielmehr deswegen, weil man die Konstanten und dgl. so ansetzte, dass die Berechnungsergebnisse mit den bei den Mühlen gemachten Erfahrungen in Einklang kamen.

4. Die ideale Mühlenform lässt sich in der Weise beschreiben, wie es S. 33, Punkt a—g, geschehen ist. Aber die dabei angegebenen 60 g. m. pro qm Flügelfläche auf 1 m Windgeschwindigkeit lassen sich nur erreichen, wenn alle früher erwähnten Bedingungen aufs vollständigste erfüllt sind, wenn die Widerstandsflächen an der Flügelspitze nicht über 1 oder höchstens $1\frac{1}{2}\%$ der Flügelbreite betragen und endlich, wenn man Segelflächen hat, die so breit sind oder sich so nahe bis an die Achse erstrecken, dass sie verhältnismässig zu wenig zur Arbeitsleistung beitragen.

5. Die Bedingung hinsichtlich kleiner Widerstandsflächen wird am besten erfüllt durch Flügel mit Lappensegeln. Wenn man aber der Herstellung von kleinen Widerstandsflächen die hinreichende Aufmerksamkeit widmet, kann den Bedingungen auch durch Selbstzwickelflügel genügt werden.

6. Bei Lappensegeln ist man indessen genötigt, die Form der Flügelspitze zu modifizieren, um das Klappern beim Vorbeigehen der Flügel vor dem Mühlenkörper zu verhüten, und zwar ist dann eine Modifikation nach der Einrichtung der holländischen Mühlen am ehesten anzuempfehlen, nämlich mit einer Knickhöhe von 6% der Flügelbreite und einer solchen Balkenfläche und Gitterwerkfläche, dass diese zusammen 3—4 mal so breit sind wie das Sturmbrett. Die Schrägstellung muss sein 0 oder schwach negativ an der Flügelspitze, aber stark zunehmend, so dass sie knapp so weit nach innen, wie die Flügelbreite beträgt, schon bis zu 10° zugenommen hat. Dieser Punkt muss also eine Geschwindigkeit haben, welche 2,4 mal die des Windes beträgt; der innere Teil des Flügels gelangt also dazu, ideal zu arbeiten, während der aussen befindliche Teil nur recht leidlich arbeitet, wohl zu verstehen, wenn die Mühle ihren normierten Lauf hat, wogegen diese Partie keine weiteren Dienste leistet, die Mühle in Gang zu setzen, während sie sich doch an einer Stelle befindet, wo sie in dieser Richtung Dienste leisten könnte.

7. Beim Selbstzwickler hingegen kann die ideale Schrägstellung von 10° an der Flügelspitze beibehalten werden, wodurch einerseits eine Vermehrung der Arbeitsleistung zustande kommt, andererseits

ein Vorteil bei der Ingangsetzung und beim langsamen Gang erreicht wird. Es kommt jedoch hierbei darauf an, die Aufmerksamkeit auf die erforderliche Kleinheit der Widerstandsflächen zu richten.

8. Das Sichwinden der Flügel um den Flügelbalken wird am besten vermieden, wenn die Gitterwerkseite doppelt so breit ist wie die Sturmbrettseite. Diese Vorschrift, welche auf jeden Fall mit der Arbeitsleistung nichts zu tun hat, braucht nicht gerade aufs Peinlichste inne gehalten zu werden, da der Balken einem geringen Windungsbestreben naturgemäss Widerstand leistet; sie musste aber hervorgehoben werden, weil viele Mülenerbauer, wenn sie Klappen quer über dem Balken anbringen, das Gleichgewicht dadurch am besten zu erzielen glauben, wenn sie die Klappen so anbringen, dass sie mit ihrer Mitte sich auf den Balken stützen. Es ist dann nur zur Not das Gleichgewicht vorhanden, wenn die Mühle stille steht, aber durchaus nicht, wenn sie geht; das ist aber nicht normal, dass sie in aufgesegeltm Zustande stille steht.

9. In Dänemark stehen die grossen Mühlen der idealen Form am nächsten. Und dennoch ist bei denselben irgend ein Mangel vorhanden, bald in der einen, bald in der andern Hinsicht, so dass man nach einem vereinzeltm Falle, wo alles in Ordnung wäre, erst suchen muss. Man möchte gerne die 60 g. m. auf je 1 qm bei 1 m Wind erreichen, aber ein einziger Fehler auf dem einen der besprochenen Gebiete, welches sich vielleicht als ein untergeordnetes ausnimmt, ist hinreichend, um die Arbeit von 60 auf 40, 30, ja noch weiter hinabzusetzen. Bei einigen der jetzt vorhandenen Mühlen mag es nicht mühsam sein, dem Fehler abzuhelfen; bei einer neuen Mühle muss ein solcher aber künftig vermieden werden, indem man nämlich die hier angegebenen Grössen für die Knickhöhe und die Schrägstellung an der Flügelspitze, für die geringe Ausdehnung der Widerstandsflächen und die richtigen Übertragungen zu den Arbeitsmaschinen anzuwenden hat; die letztern müssen eine Geschwindigkeit haben, welche in einem richtigen Verhältnis zu der Geschwindigkeit steht, die für die Mühlenflügel die richtige ist.

10. Die kleinen Mühlen in Dänemark haben sich dem Prinzip nach sehr den Windrosen genähert, indem sie durchgehends eine zu grosse Schrägstellung, ein zu grosses Areal, zu geringe Geschwindigkeit und zuweilen keine Knickhöhe haben. Wo diese Mühlen entweder von Menschen bedient werden oder Arbeitsmaschinen treiben, bei denen der Widerstand mit der Geschwindigkeit zunimmt, ist es durchaus anzuempfehlen, dass man sich der idealen 4flügligen Mühle soweit wie möglich nähere. Wenn sich 40 bis 60 g. m. auf je 1 qm

bei 1 m Wind erreichen lassen, ist kein Grund vorhanden, sich mit 20 g. m. zu begnügen wie auf S. 49.

11. Nur wenn die kleinen Mühlen ohne Wartung Arbeitsmaschinen treiben sollen, bei denen der Widerstand ungefähr gleich gross ist, mag die Mühle schnell oder langsam gehen oder stille stehen, kann Grund vorhanden sein, sich dem Prinzip der Windrose zu nähern, da dieses einen stärkern Antrieb gibt, wenn die Mühle langsam geht oder stille steht. Dieser Antrieb darf jedoch nicht zu hoch geschätzt werden, da der langsame Gang eine stärkere Übertragung auf die Arbeitsmaschinen erfordert; zudem ist das noch eine Frage, ob man nicht diese Unbequemlichkeit bei geringem Winde dadurch beseitigen kann, dass man eine ideale Mühle mit einer derartigen Übertragung auf die Arbeitsmaschinen einrichtet, dass die Flügelspitze mit ungefähr der 3maligen Geschwindigkeit des Windes bei dem schwächsten Winde läuft, von dem man Arbeit erwartet, z. B. 5 m. Falls der Wind noch weiter abflaut, wird die Mühle wohl langsamer gehen, sie wird jedoch nicht leicht bis unter 1,8mal der Geschwindigkeit des Windes hinabkommen, wobei erst der Antrieb der idealen Mühle abgebrochen wird, S. 38. Sollte dieses dennoch geschehen, so muss der Wind so schwach sein, dass die Arbeit, die eine immerfort noch anziehende Windrose unter solchen Windverhältnissen zuwege bringen würde, sozusagen wertlos ist.

12. Endlich ist noch eine Aufgabe vorhanden, die die Erbauer von kleinen Mühlen zu lösen hätten; dieselbe geht nämlich darauf hinaus, dass der Windfang die ideale Form bekommt, wenn er die richtige Geschwindigkeit hat, dass aber die Form sich ändert, wenn der Windfang zu langsam geht, nämlich in der Weise, dass die Flügel sich von selbst zu einer grössern Schräge einstellen. Hierzu kann der auf S. 41 hervorgehobene Umstand benutzt werden, dass eine Platte, welche sich frei um eine Achse bewegen kann, sich unter einem bestimmten Winkel mit einem (eventuell resultierenden) Windstrahl einstellt; man wird aber auch etwas Entsprechendes dadurch erreichen können, dass man die Geschwindigkeit der Mühle, z. B. durch Zentrifugalkraft, hinsichtlich der Schrägstellung des Flügels bestimmend wirken lässt (S. 44).

Wind-Elektrizitätswerke.

Die Elektrizität ist bekanntlich die nutzbarste Form der Naturkräfte (eine Energie). Durch eine geringfügige Handbewegung kann man die Elektrizität veranlassen, zur Geltung zu kommen und zwar in irgend einer Form, die man wünscht, als Licht, als bewegende Kraft, als Wärme, als chemische Energie; zudem führt sie die gewünschte Arbeit völlig gleichmässig und gut aus.

Schon seit ziemlicher Zeit steht die Elektrizität den Bewohnern der Städte zur Verfügung, und ihre Verwendung nimmt von Jahr zu Jahr zu.

Hingegen ist sie im grossen Ganzen der Landbevölkerung fast unzugänglich geblieben, selbst da, wo diese auf sonstigen Gebieten bereit ist, Verbesserungen und Neueinrichtungen vorzunehmen. Die Landbevölkerung wird aber, wie zu erwarten steht, die Elektrizität in ausgedehntem Masse in Anspruch nehmen, sobald die Möglichkeit vorliegt, dass sie dieselbe mit Nutzen verwenden kann. Nun lässt sich aber schon jetzt ein derartiges Verhältnis zwischen Ausgabe und Nutzen herstellen, dass es sich empfiehlt, die Elektrizität zum Antrieb landwirtschaftlicher Maschinen zu benutzen.

Das Bedürfnis hierzu ist bei der Landbevölkerung schon lange rege gewesen. In den letzten Jahren sind mir viele Anfragen zugegangen, welche bekunden, dass der Wunsch, ein kleines Elektrizitätswerk anzulegen, von vielen Landbewohnern gehegt wird. Ich habe jedoch den Leuten immer den Rat gegeben, von einem solchen Unternehmen — vorläufig abzusehen.

Die Möglichkeit, welche sich aber gegenwärtig zur Vornahme solcher Anlagen eröffnet, besteht in der Anwendung der Windkraft.

Man wird vielleicht von vornherein annehmen, dass der Hauptnutzen bei Anwendung der Windkraft in der Ersparnis der Betriebskosten besteht, und in der Tat spielt diese Ersparnis eine grosse Rolle; es ist hingegen noch eine andere Seite bei der Sache, die eine ebenso grosse Rolle spielt, nämlich die, dass keine andere Triebkraft (mit Ausnahme der Wasserkraft, welche aber auf dem ebenen Lande nicht so leicht zur Verfügung steht) so geringe

Anforderungen an die Wartung des Triebwerkes stellt, wie die Windkraft. Dieses ist für ein kleines Werk, welches sich z. B. auf einem einzeln gelegenen Wirtschaftshof befindet, von grosser Wichtigkeit, da hier die Zeit eines einzelnen Mannes einen verhältnismässig höhern Wert hat als bei einer grossen Anlage.

Die an sich recht auffällige Tatsache, dass man die unregelmässige Windkraft weit eher dazu veranlassen kann, automatisch (sich selbst regelnd) zu arbeiten, als z. B. die Dampfkraft oder einen Petroleumbetrieb, wird aus dem Verlaufe der Darstellung hervorgehen.

Es mag praktisch erscheinen, zunächst eine gedrängte Übersicht über die Form, die Geschwindigkeit und die Eigenschaften einer „richtig gebildeten“*) 4flügligen Mühle zu bieten. Zu beachten ist noch besonders, dass die einzige missliche Eigenschaft, die sie gegenüber andern Konstruktionen zu eigen hat, vollständig fortfällt, wenn es sich um elektrischen Betrieb handelt, während gewisse andere Vorzüge, die sie bereits früher vor andern Konstruktionen hatte, bei elektrischem Betrieb noch bedeutender zur Geltung kommen

Die 4flüglige Mühle. Wenn die Flügel breit hergestellt werden, nähert sich die 4flüglige Mühle in ihren Eigenschaften den Windrosen. Hier sollen daher nur die Eigenschaften in Betracht kommen, die sich an die 4flüglige Mühle knüpfen, deren Flügelbreite höchstens $\frac{1}{4}$ der ganzen Länge der Flügel, von der Achse nach aussen hin gerechnet, ausmacht.

Um eine möglichst grosse Arbeitsleistung zu erlangen, muss

*) Anstatt des Ausdrucks „richtig gebildete“ hatte ich in der vorhergehenden Darstellung das Wort „ideale“ angewandt; da dieses Wort aber von dem einen und andern als etwas anspruchsvoll gedeutet worden ist, so bin ich gerne bereit, jenen Austausch vorzunehmen.

Überhaupt haben einige meiner Landsleute meine Angaben in Bezug auf die richtig gebildete 4flüglige Mühle unrichtig aufgefasst, indem sie diese Form zu meiner „Erfindung“ haben machen wollen, die ich daher ganz besonders anempfohlen hätte, während andere meine Tätigkeit darauf hin zu reduzieren gesucht haben, dass dieselbe in dem Nachweis bestanden hätte, dass die alten 4flügligen Mühlen unsers Landes die besten seien. Die Wahrheit ist die, dass ich nachgewiesen habe, dass die seit langer Zeit in Gebrauch befindliche 4flüglige Mühle den Vorzug verdient, aber wohl zu verstehen unter der Voraussetzung, dass die Flügel richtig gebildet sind, was ich hier zu Lande bei nur sehr wenigen Mühlen und bei diesen auch nur annäherungsweise vorgefunden habe. — Nunmehr ist die richtige Form festgestellt und zwar so, dass eine gute Übereinstimmung zwischen Berechnung und Erfahrung vorliegt.

man alsdann dem Flügel folgende Form geben, welche immer dieselbe sein muss, welche Grösse die Mühle auch haben möge. Ich brauche daher als Beispiel nur die Zahlen in Bezug auf eine Mühle anzugeben, deren Arme 4 m lang sind. Man hat alle Linienmasse, die sich auf eine grössere Mühle beziehen, nur in demselben Verhältnis zu vervielfachen, wie die Arme länger sind.

Die Flügelfläche der erwähnten Mühle ist überall 1 m breit; sie braucht sich aber nicht weiter nach innen zu erstrecken als bis auf 1 m von der Achse. Die Flügelfläche selbst ist mithin 3 m lang und hat ein Areal von 3 qm. Der ganze Windfang hat ein Areal von 12 qm.

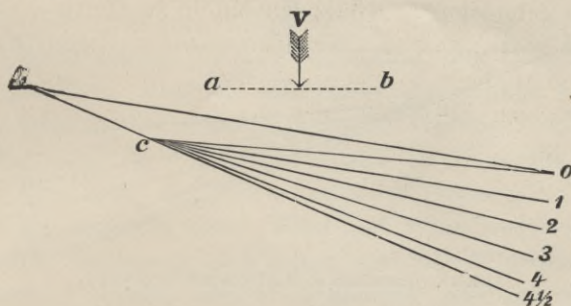


Abb. 10. Querschnitt eines Mühlenflügels.

Die Abbildung 10 stellt den Querschnitt eines Mühlenflügels dar, insofern derselbe von seiner Spitze aus betrachtet wird. Die Flügelfläche ist an der Flügelspitze eingeknickt (oder ziemlich gleichmässig eingebogen) und zwar $\frac{1}{4}$ m von der Vorderkante ab, wie solches aus dem Querprofil A c O in der Abb. zu ersehen ist; wenn man über die Vorderkante und Hinterkante eine Schnur spannt, so soll der Abstand derselben von dem Knick c 0,04 m (4 cm) betragen. Alle diese Zahlen sind bei grössern Mühlen verhältnismässig zu erhöhen.

Ausserdem soll die erwähnte Schnur AO eine Schrägstellung von 10° haben (einen Winkel von 10° mit der Flügelebene ab bilden, welche winkelrecht zur Windrichtung V steht). Dadurch erhält das vordere Viertel der Flügelfläche (das Sturmbrett) eine Schrägstellung von 22° , die hintere $\frac{3}{4}$ Flügelfläche eine Schrägstellung von 6° . Diese Winkelmasse sind dieselben bei grossen und kleinen Mühlen.

Nach innen, auf die Achse zu, nimmt der Knick gleichmässig ab, wobei das Sturmbrett dieselbe Schrägstellung, 22° , wie an der Flügelspitze, beibehält, während die Schrägstellung der Segelfläche immer grösser wird, so dass die Fläche zu innerst (Ac $4\frac{1}{2}$) geradlinig ist und mithin auch eine Schrägstellung von 22° hat.

Diese Form, welche für die Flügel einer 4ftflügligen Mühle die richtige ist, muss jedoch etwas modifiziert werden, wenn man Lappensegel anwendet und die Mühle einen Rumpf hat. Um nämlich zu verhindern, dass es in den Segeln klappert, jedesmal wenn sie an dem Rumpf vorbeigehen, muss der äusserste, hinterste Zipfel des Segels, O in Abb. 11, so weit nach aussen hin von dem Rumpfe abgebogen sein, dass die Schnur AO über den äussersten Zipfel und die äusserste Kante des Sturbretts keine Schrägstellung hat. Hierdurch wird allerdings die Arbeitsleistung an der Flügelspitze vermindert, aber sie wird keineswegs aufgehoben; denn eine konkave

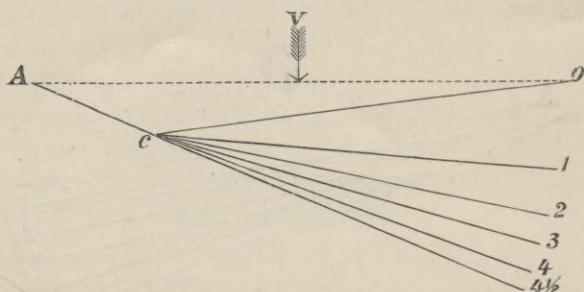


Abb. 11. Querschnitt eines Flügels mit Lappensegel.

Fläche ohne Schrägstellung hat zwar keinen Antrieb, wenn sie stille steht, sie hat aber einen nicht unbedeutenden Antrieb, wenn sie einmal in Gang gesetzt ist. — Diese Abweichung von der korrekten Form verliert sich nach innen, den Flügel entlang, so dass dieser so weithin, wie eine Flügelbreite ausmacht, also bei dem genannten Beispiel 1 Meter nach innen, ungefähr die richtige Form hat.

Teilt man die ganze Flügellänge in 6 gleiche Teile und bezeichnet man die Teilpunkte an der Flügelspitze nach dem Zentrum mit den Zahlen von 0 bis 6, so erhält man hiernach folgende Winkel

bei einer selbstzwickenden Mühle:

	0	1	2	3	4	4 1/2	6
Schrägstellung des Windbretts	22°	22°	22°	22°	22°	22°	Zentrum
Schrägstellung des Segels	6°	9 1/2	13	16 1/2	20	22	
Schrägstellung des ganzen Flügels (d. h. einer Schnur über Vorder- und Hinterkante)	10°	12 1/2	15	17 1/2	20	22	

bei einer Segelmühle mit Rumpf:

	0	1	2	3	4	4 1/2	6
Schrägstellung des Windbretts	22°	22°	22°	22°	22°	22°	Zentrum
Schrägstellung des Segels	-6°	+6	12	16	20	22	
Schrägstellung des ganzen Flügels (d. h. einer Schnur über Vorder- und Hinterkante)	0°	10	14	17 1/2	20	22	

Die Abbildungen 10 und 11 veranschaulichen diese Querprofile.

Die Geschwindigkeit, mit der die Mühle geht, ist nicht minder wie die Flügelform von der grössten Wichtigkeit hinsichtlich der Arbeitsleistung der Mühle. Bei der richtig gebildeten 4flügeligen Mühle ist die Geschwindigkeit am grössten, wenn die Flügelspitze ungefähr $2\frac{1}{2}$ mal so schnell geht als der Wind. Hiernach müssen die Übertragungen für die zu treibenden Maschinen abgepasst werden, so dass die Maschinen die für sie passende Geschwindigkeit erhalten.

Da indessen die Übertragungen je nach der Geschwindigkeit des Windes nicht gut abgeändert werden können und die Arbeitsleistung der sich drehenden Flügel in der Regel bei starken Winden hinreichend gross ist, so tut man am besten, die Übertragung dermassen einzurichten, dass die Maschinen die richtige Geschwindigkeit haben, wenn die Geschwindigkeit des Windes 6 m in der Sekunde beträgt und die Flügelspitzen also 15 m zurücklegen, wobei die grösste Arbeit, die die Mühle und zwar gerade mit diesem Winde ausführen kann, erreicht wird. Wird der Wind nun schwächer, so geht die Mühle langsamer, aber dabei wird der Widerstand, den die Dynamomaschine bietet, alsbald bedeutend geringer, so dass die Geschwindigkeit der Mühle nicht sehr vermindert wird, weswegen man eine nutzbare Arbeit noch bei 4—5 m Wind erhält.

Die grosse Geschwindigkeit, die die richtig gebildete 4flügelige Mühle hat, ist bei elektrischem Betrieb ein grosser Vorteil, den sie vor anderen Mühlenkonstruktionen besitzt. Der Dynamo soll am besten 1000 bis 2000 Umdrehungen in der Minute machen. Es muss also eine sehr starke Übertragung zwischen der Hauptachse der Mühle und dem Dynamo stattfinden; aber bei der 4flügeligen Mühle ist die Übertragung nicht halb so gross, wie sie bei 6flügeligen und bei runden Windmotoren sein muss, denn die Peripherie dieser Motore hat oft nur dieselbe Geschwindigkeit wie der Wind oder eine noch geringere.

Auf die grosse Geschwindigkeit ist aber nicht nur bei der Wahl der richtigen Übertragung, sondern auch bei der Konstruktion der Flügel Rücksicht zu nehmen. Es ist nämlich ausserordentlich wichtig, dass die Widerstandsflächen der Flügel, sowohl bei den Vorderkanten als auch bei den Hinterkanten, so klein wie möglich sind. Die Flügelspitze begegnet nämlich, da sie $2\frac{1}{2}$ mal so schnell dahineilt wie der Wind, geradezu einem Sturm; es entsteht daher an den Vorderkanten eine starke Verdichtung der Luft, bei den

Hinterkanten eine starke Verdünnung, und beides wirkt hemmend auf den Flug der Flügel ein.

Man kann die Grösse der Widerstandsflächen in Prozenten der Flügelbreite ausdrücken. Bei dem oben beschriebenen Flügel von 1 m Breite wird z. B. eine Vorderkante von 2 cm und eine Hinterkante von 2 cm eine Widerstandsfläche von 2% ergeben. Kommt hierzu eine Schussstange von 3 cm Dicke, also 3%, so macht die Widerstandsfläche des Flügels 5% aus. Welchen bedeutenden Einfluss die Widerstandsflächen auf die Arbeitsleistung haben, geht daraus hervor, dass bei einer Geschwindigkeit der Flügelspitzen welche $2\frac{1}{2}$ mal so gross ist als die des Windes, 2% Widerstandsfläche die Arbeitsleistung auf 86%, 5% Widerstandsfläche auf 67% und 10% Widerstandsfläche auf 25% der Arbeitsleistung hinabdrücken, die ein Flügel ohne merkliche Widerstandsflächen hervorbringt.

Bei Berechnung der Grösse der Widerstandsflächen braucht man den Flügelbalken selbst nicht mitzurechnen, wenn die Flügelfläche so auf demselben angebracht ist, dass der Balken auf seiner Aussenseite mit der Flügelfläche dieselbe Flucht hat und dass eine Linie von der Vorderkante des Sturmbretts unter einem Winkel von 23° mit der Flügelebene den Balken nicht trifft.

Die Arbeitsleistung einer richtig gebildeten 4flügeligen Mühle bei der richtigen Geschwindigkeit, aber ohne Widerstandsflächen, lässt sich in folgender Weise berechnen.

Man nimmt das Areal der Flügelflächen in Quadratmetern. In dem oben genannten Beispiel hat jeder Flügel 3 qm; im ganzen sind also 12 qm vorhanden. Man multipliziert diese Zahl mit der Zahl für die Windgeschwindigkeit, in Metern ausgedrückt; diese letztere Zahl ist aber in der 3. Potenz zu nehmen. Ist z. B. der Wind 6 m, so erhält man $12 \times 6 \times 6 \times 6 = 2592$. Wird diese gefundene Zahl durch 1250 dividiert, so erhält man die Anzahl Pferdekräfte; diese ist in dem genannten Beispiel ungefähr 2 HP.

Da die Windgeschwindigkeit sich in der 3. Potenz geltend macht, so gestaltet sich die Arbeitsleistung sehr verschieden, wenn sich die Windgeschwindigkeit nur ein wenig verändert.

So gibt dieselbe Berechnung bei 4, bei 8 und bei 10 m Wind:

Bei 4 Metern	$12 \times 4 \times 4 \times 4$: 1250,	ungefähr $\frac{5}{8}$ HP.
„ 6 „	$12 \times 6 \times 6 \times 6$: 1250,	„ 2 „
„ 8 „	$12 \times 8 \times 8 \times 8$: 1250,	„ 5 „
„ 10 „	$12 \times 10 \times 10 \times 10$: 1250,	„ 10 „

Eine richtig gebildete Mühle von einer andern Grösse ergibt in demselben Verhältnis mehr Arbeitsleistung, wie das Areal der

Flügelflächen grösser ist, also wie die Flügelänge in der zweiten Potenz grösser ist.

Man ersieht hieraus, dass es keinen Sinn hat, anzugeben, wieviel Pferdekraft ein Windmotor leistet, wenn nicht eine sehr genaue Angabe über die Windgeschwindigkeit hinzugefügt ist.

Bei der oben vorgenommenen Berechnung wird vorausgesetzt, dass man es mit einer richtig gebildeten 4flügeligen Mühle zu tun hat, und sodann, dass sich keine Widerstandsflächen vorfinden; aber da dieses letztere fast niemals völlig zu erreichen ist, so ist die gefundene Arbeitsleistung zu reduzieren nach der prozentischen Grösse der Widerstandsflächen im Verhältnis der oben angegebenen Prozentzahlen. Hat z. B. die mehrmals erwähnte Mühle 2% Widerstandsflächen, so ist die Arbeitsleistung derselben auf 86% herabzusetzen; sie beträgt also bei 4, 6, 8, 10 m Wind resp. ungefähr $\frac{1}{2}$, $1\frac{3}{4}$, $4\frac{1}{4}$ und $8\frac{1}{2}$ HP.

Da bei der Erzeugung von Elektrizität durch die Mühle alles automatisch gehen wird, wie wir sehen werden, so muss die Mühle selbst auch automatisch sein gegenüber der Richtung und Stärke des Windes, das bedeutet, sie muss ein Selbstdreher und Selbstzwickler sein.

Beim Selbstzwicken ist nicht zu verlangen, dass die Mühle sich auf eine bestimmte Geschwindigkeit einstellen soll, sondern nur, dass ein starker Wind die Klappen öffnen kann, so dass die Geschwindigkeit der Mühle geringer wird, als sie sonst bei starkem Wind sein würde; hierdurch erreicht man zugleich, dass der Wind nicht leicht an den Flügeln und dem Gangzeug Schaden anrichtet.

Bei der Wahl der Form und Grösse der Mühle hat man (in Dänemark) eine höchst unbequeme Bestimmung in der Brandversicherung zu beachten, wonach man an einer Hausmühle nur gegen erhöhte Abgaben Flügel von mehr als 12 Fuss, ungefähr 4 m, anbringen kann. Da man aber doch die Mühle so kräftig wie möglich bauen will, so ist man sehr oft zu mehr als 4 Flügeln, ja zu ganz runden Windrosen übergegangen, in der Meinung, dass das entsprechende grössere Areal eine entsprechend grössere Arbeitsleistung geben würde.

Damit begeht man indessen, wie in dem vorhergehenden Teil dieser Schrift nachgewiesen ist, einen grossen Fehlgriff. Die Arbeitsleistung wird nicht besonders grösser, zuweilen sogar noch geringer als bei 4 Flügeln. Dazu kommt noch, dass man mit Sicherheit gewisse Unbequemlichkeiten zuwege bringt, wenn man zu den grossen Arealen übergeht.

Zunächst ist eine solche Mühle selbstverständlich teurer, sodann ist sie unter sonst gleichen Verhältnissen weniger haltbar, weil sie einem grössern Winddruck ausgesetzt ist, weil sie langsamer geht und der Windfang deshalb das Gangzeug stärker anziehen muss, wenn dieses eine ebenso grosse Arbeit ausführen soll, und bei grössern Mühlen endlich, weil die Arme nicht wie bei der 4flügeligen Mühle durch den Achsenkopf gehen können, da ein zu grosses Übertreten stattfinden würde, wenn mehr als zwei Balken übereinander liegen.

Da nun hierzu noch der früher erwähnte Umstand kommt, dass die Uebertragung bei der 4flügeligen Mühle geringer sein kann, weil sie schneller geht, so ist es sehr misslich, dass jene Bestimmung über die Flügel von 12 Fuss den Besitzer veranlasst, die grösseren Areale anzuwenden, anstatt dass er die Flügel etwas länger macht.

Bei der Erzeugung von Elektrizität kann man indessen leicht über diese Schwierigkeit hinwegkommen; denn man braucht durchaus nicht die Mühle oben auf einem Hause anzubringen, was übrigens an und für sich eine ungünstige Anlage ist. Sie ist ungünstig zunächst für die Mühle, sodann für das Haus, da dieses unter dem Schütteln und dem Druck der Mühle leidet, und drittens hinsichtlich des Windes, da dieser über einer Dachfirst sehr oft unvorteilhaft wirkt. Soll eine Mühle dennoch dort angebracht werden, so muss sie wegen des Windes auf jeden Fall so hoch sein, dass die abwärts gewandten Flügelspitzen sich mehrere Fuss über dem Hause halten. Aber selbst in diesem Fall kann der Wind sehr schlecht sein, besonders wenn er von dem Hofe her kommt. Es kann in einem solchen Fall bei gutem Winde dennoch auf der Dachfirst Windstille herrschen, ja sogar Kontrawind, welcher also auf die untern Flügel wirkt, während richtiger Wind die obern Flügel trifft.

Aus diesen Gründen muss man zur Erzeugung von Elektrizität seine Mühle am besten auf einem frei stehenden Stativ anbringen, etwas von dem Wirtschaftshof entfernt (100 oder 200 Fuss). Schon durch die Anlage an einer solchen Stelle wird man eine bedeutend grössere Arbeit von derselben Mühle erlangen, bloss weil der Wind hier viel besser ist.

Bei der richtig konstruierten 4flügeligen Mühle ist nun ein Mangel vorhanden, nämlich der, dass sie notwendigerweise die Möglichkeit haben muss, mit grosser Geschwindigkeit zu gehen, und dass, wenn sie darin gehindert wird, entweder weil der Wind flaut oder weil sie zu stark belastet wird, oder wegen beider Umstände,

sie stille steht, was nicht so leicht bei Mühlen mit einem grössern Windareal eintritt. — Dieser Missstand fällt indessen gänzlich fort, wenn es sich um Erzeugung von Elektrizität handelt; denn, wenn die Mühle langsamer geht, weil der Wind flaut, so entlastet sie sich selbst dadurch, dass der Dynamo bei der geringern Geschwindigkeit gar keine Arbeit verrichtet und daher auch keinen Widerstand leistet. Die Mühle läuft leer und gerät deshalb nicht in Stillstand, es müsste denn sein, dass der Wind so schwach wird, dass keine Arbeit weder von der einen noch von der andern Mühle geleistet wird.

Automate. Wir wenden uns nunmehr zu dem Verfahren und den dazu gehörigen Einrichtungen, wovon man wohl sagen kann, dass sie die Windkraft als Erzeugerin von Elektrizität von einer schwierigen, ja zweifelhaften Triebkraft zu einer leicht anwendbaren und hauptsächlich automatischen gemacht haben.

Dies Verfahren setzt jedoch voraus, dass das Elektrizitätswerk mit einem Akkumulator, mag er ein grösserer oder ein kleinerer sein, versehen ist, wie ein solcher sich übrigens heutzutage fast bei jedem Elektrizitätswerk vorfindet. Die Meinung ist nun nicht die, dass der Akkumulator notwendigerweise zu einer gewissen Zeit geladen und zu einer andern entladen werden soll. Er kann sehr wohl gleichzeitig geladen und entladen werden, und das Licht ist trotz der Unbeständigkeit des Windes dennoch so ruhig, wie es überhaupt von irgend einem regelmässig wirkenden Motor erzeugt werden kann, wofern nur der Wind stark genug ist.

Wenn ein mit Windkraft getriebener Dynamo einen Akkumulator laden soll, sind zwei Bedingungen erforderlich.

Zunächst muss die Verbindung zwischen Dynamo und Akkumulator eine solche sein, die sich selbst in dem Augenblicke herstellt, in welchem die Spannung des Dynamos grösser wird als die des Akkumulators, denn alsdann wird der letztere geladen werden; die Verbindung soll sich aber von selbst abbrechen, wenn der Strom beginnt, den umgekehrten Weg zu gehen, vom Akkumulator zum Dynamo. Hierdurch erreicht man, dass alle die Arbeit angesammelt wird, die angesammelt werden kann, und zwar zu Zeiten, wenn der Wind einige Arbeit zu liefern vermag, und ferner, dass keine Arbeit verloren geht zu Zeiten, wo der Wind zu schwach ist. Zu den Zeitpunkten, wenn der

Wind bald noch etwas leistet, bald nichts leistet, sieht man, wie der Zapfen des Automaten in das Quecksilber niedergeht, so oft nur einige Energie aufzusammeln ist, und sich hebt, sobald keine mehr zuströmt.

Zweitens hat man dafür zu sorgen, dass, wenn der Wind stärker ist, als Dynamo und Akkumulator ertragen können, der Dynamo nur eine gewisse bestimmte Stromstärke liefern darf, nicht allein unabhängig davon, wie stark der Wind weht, sondern auch unabhängig von der Spannung des Akkumulators, also davon, wieviel Zellen unter Ladung sind, und davon, wie stark sie geladen sind.

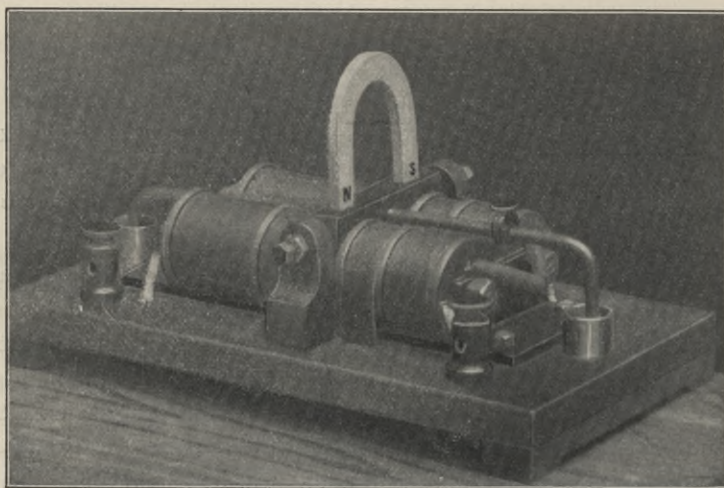


Abb. 12. Automatischer Stromregulator, „Selbstschliesser und Selbstabbrecher“.

Um das Erstere zu erreichen, habe ich einen Automat konstruiert, welcher „Selbstschliesser“ und „Selbstabbrecher“ ist.*) Dieser automatische Stromregulator ist in Abbildung 12 dargestellt; seine Leitungsverbindung wird in Abbildung 13 schematisch veranschaulicht.

Ein hufeisenförmiger Magnet MN ist auf einem Balken gelagert, welcher sich um eine Achse O drehen kann. Bei einer solchen

*) Das von Herrn Professor la Cour erfundene System, die Windkraft zur Erzeugung von elektrischer Kraft und elektrischem Licht auszunutzen, wird also namentlich durch die oben beschriebenen Automate charakterisiert. Herr Prof. la Cour hat das alleinige Recht, diese Apparate in Deutschland herzustellen und zu vertreiben, der Firma [Carl Reinsch in Dresden kontraktlich übertragen. Diese Firma ist bereit, jede weitere Auskunft zu erteilen und derartige Anlagen auszuführen. (Der Übersetzer.)

Drehung nähern sich die Pole N des Magneten den Polen des einen von zwei Elektromagneten und entfernen sich von den Polen des andern, oder umgekehrt. Jeder der beiden Elektromagnete ist mit einem dünnen Draht *ss* und einem sehr dicken Draht *SS* umwickelt. — Durch den Balken ist fernerhin ein Kupferstab gesteckt, wovon das eine Ende sich beständig in der mit Quecksilber gefüllten Eisen- schale *K*₁ eingetaucht befindet, während das andere Ende nur dann in *K*₂ eingetaucht ist, wenn die Magnetpole N nach links angezogen sind, dagegen aus dem Quecksilber herausgehoben wird, wenn die Magnetpole nach rechts gezogen werden. — Der Strom geht von der Klemmschraube *A* nach der Klemmschraube *B* in der Weise, wie Abbildung 13 es zeigt. *A* und *B* haben immer Verbindung miteinander durch den dünnen Draht *ss*, durch den dicken Draht *SS* hingegen nur dann, wenn die Kupferklaue rechts in das Queck- silber eingetaucht ist.

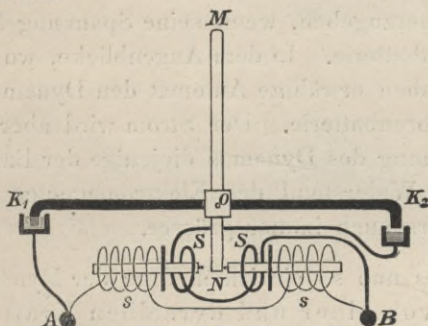


Abb. 13. Der Stromlauf im Automaten.

Die Wirkung ist nun folgende: so lange die Spannung des Akkumulators grösser ist als die des Dynamos, geht der Strom in einer solchen Richtung durch den dünnen Draht, dass dabei die Magnetpole rechts angedrückt sind und mithin *K*₂ aus dem Queck- silber herausgehoben ist. Wenn hingegen die Spannung des Dynamos grösser ist als die des Akkumulators, werden die Magnetpole nach links gezogen und es taucht *K*₂ in das Quecksilber nieder, so dass eine Ladung stattfindet; der Ladestrom geht wesentlich durch *AK*₁ *K*₂*SSB*, wobei die Magnetpole immerfort nach links festgehalten werden und die Klaue so lange eingetaucht bleibt, als der Strom in derselben Richtung verharret. Wenn hingegen der Wind zu schwach wird, so dass der Strom den Anfang macht, in der entgegengesetzten Richtung zu gehen, werden die Elektromagnete anders magnetisiert, so dass die Magnetpole nach rechts gezogen werden, die Klaue sich aus dem Quecksilber emporhebt und die Verbindung zwischen Akku-

mulator und Dynamo abgebrochen ist bis auf die Verbindung AssB, durch welche stetig ein sehr schwacher Strom geht, der aber wegen der vielen Windungen stark genug ist, um die Verbindung K₂ zu schliessen, sobald die Spannung des Dynamos diejenige des Akkumulators wiederum übertrifft.

Die zweite Einrichtung, durch welche nämlich dafür gesorgt wird, dass bei stärkerem Winde nur ein Strom von einer ganz bestimmten Stärke zustande kommt, ist auf folgendem begründet.

Wenn ein Dynamo angetrieben wird und Strom hervorbringt, so leistet der Elektromagnet desselben Widerstand gegen die Umdrehung des Ankers, und dieser Widerstand ist desto stärker, einen um so stärkern Strom der Dynamo hervorbringt. Wenn nun ein Dynamo in Verbindung mit einer Akkumulatorenbatterie ist, beginnt er erst dann, Strom herzugeben, wenn seine Spannung höher ist als die der Akkumulatorenbatterie. In dem Augenblicke, wo dieses zustande kommt, setzt der oben erwähnte Automat den Dynamo in Verbindung mit der Akkumulatorenbatterie. Der Strom wird aber immer stärker, je mehr die Spannung des Dynamos diejenige der Batterie übersteigt; zugleich wird der Widerstand des Elektromagneten gegen die Umdrehung des Ankers auch immer grösser.

Wenn man es nun so einrichtet, dass der Dynamo oder dessen Vorgelege immer von einer und derselben Kraft getrieben wird, mag die Bewegung schnell oder langsam sein, so wird der Dynamo von selbst eine derartige Geschwindigkeit annehmen, dass der Strom so stark ist, dass der Widerstand des Ankers gerade gleich der treibenden Kraft ist. Da die Stromstärke indessen darauf beruht, um wieviel die Spannung des Dynamos die der Batterie übertrifft, so wird sich die Geschwindigkeit des Dynamos von selbst nach der Spannung der Batterie einstellen. Wird diese Spannung durch die Ladung oder mit dem Zellenwechsler geändert, so verändert der Dynamo augenblicklich seine Geschwindigkeit, so dass seine Spannung gerade um so viel höher ist als diejenige der Batterie, dass der Strom die bestimmte Stärke hat, welche bewirkt, dass der Widerstand des Ankers das Gleichgewicht hält mit der treibenden Kraft.

Dieses lässt sich leicht durch eine besondere Einrichtung erreichen. Diese Einrichtung, welche einen Automaten zur Herstellung eines konstanten elektrischen Stromes darstellt und in einem Vorgelege mit einer Wippe besteht, wird durch Abb. 14

veranschaulicht*). Der Riemen R_1, R_2 , welcher das Vorgelege treibt, ist ungefähr senkrecht gerichtet, der Riemen rr , welcher den Dynamo treibt, senkrecht hierzu, also ungefähr wagerecht. Die Achse des Vorgeleges ist auf einer Wippe angebracht, welche sich um den Bolzen D dreht und mit einem Gewichte L belastet ist. Wenn das Vorgelege an sich zu schwer ist, kann man das Gewicht auch hebend auf das Vorgelege wirken lassen und zwar mittels einer Schnur, die über eine in der Höhe angebrachte Rolle geht.

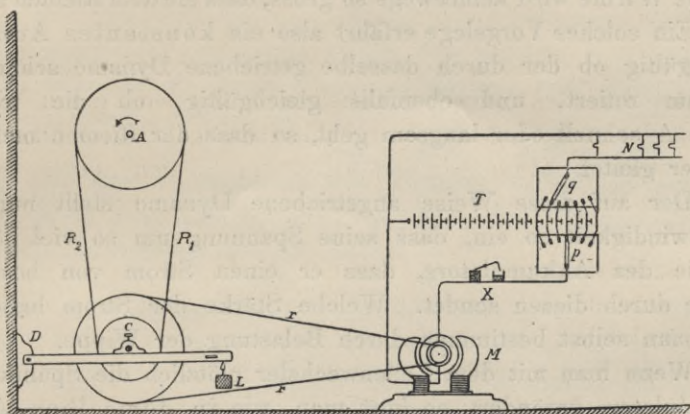


Abb. 14. Automat zur Herstellung eines konstanten elektrischen Stroms, Vorgelege mit Wippe.

Aus dem Gewicht und der Belastung des Vorgeleges ergibt sich die Spannung des Riemens R_1, R_2 , und hieraus wiederum ergibt sich — je nach der Breite und Beschaffenheit des Riemens —, ein wie grosses Überanziehen bei R_1 gegenüber R_2 stattfinden kann, bis der Riemen gleitet, oder in kurzen Worten, die Grösse der treibenden Kraft. Hat der Widerstand diese Grösse erreicht, so beginnt der Riemen zu gleiten; dabei zeigt es sich aber, dass das Überanziehen, also die treibende Kraft, fortwährend ungefähr dieselbe ist, wie stark auch der Riemen gleitet. Es scheint fast, als ob das Überanziehen sich etwas vermindert, wenn das Gleiten sehr stark wird.

Hier sind ein paar praktische Bemerkungen zu machen.

Damit der Riemen nicht während des Gleitens von den Riemenscheiben abglitscht, müssen diese zylindrisch abgedreht (nicht gewölbt) sein; auf jeden Fall muss die untere, welche zugleich die kleinste

*) Das Alleinrecht, diesen Automaten in Deutschland herzustellen und zu vertreiben, hat Herr Prof. la Cour der Firma Carl Reinsch in Dresden übertragen. (Der Übersetzer).

ist, so dass das Gleiten auf dieser vor sich geht, jene Form haben; der Riemen muss durch eine Gabel oder ein paar Eisenstifte gesteuert werden.

Zwischen dem Riemen, welcher die Scheibe treibt, und der Scheibe ist keine Reibung vorhanden und darf auch nicht vorhanden sein, da der Riemen sonst schleissen würde. Man muss deshalb eine glatte Eisenscheibe und einen Lederriemen wählen, die man ab und zu mit etwas Öl versieht. Der Riemen schleisst dann nicht, und die Wärme wird keineswegs so gross, dass sie dem Riemen schadet.

Ein solches Vorgelege erfährt also ein konstantes Anziehen, gleichgültig ob der durch dasselbe getriebene Dynamo schnell oder langsam rotiert, und ebenfalls gleichgültig, ob die treibende Achse A schnell oder langsam geht, so dass der Riemen mehr oder weniger gleitet.

Der auf diese Weise angetriebene Dynamo stellt nun seine Geschwindigkeit so ein, dass seine Spannung um so viel höher ist als die des Akkumulators, dass er einen Strom von bestimmter Stärke durch diesen sendet. Welche Stärke der Strom haben soll, kann man selbst bestimmen durch Belastung der Wippe.

Wenn man mit dem Zellenwechsler plötzlich die Spannung des Akkumulators verändert, so hört man, wie in demselben Augenblick der Dynamo den Ton ändert; das heisst, er vermindert augenblicklich seine Geschwindigkeit in der Weise, dass seine Überspannung gegenüber der Spannung des Akkumulators dieselbe ist wie vorher und die Stromstärke also auch dieselbe wie vorher.

Dieses Letztere mag vielleicht dem einen und andern etwas auffallend erscheinen, da man an die Wahrnehmung gewöhnt ist, dass die Einschaltung mehrerer Zellen ohne Veränderung des Dynamos und Regulierwiderstandes eine Schwächung des Stroms zur Folge hat; jene Erscheinung erklärt sich aber aus dem Umstande, dass bei der oben beschriebenen Einrichtung die Geschwindigkeit des Dynamos sich selbst so anpasst, dass das Überanziehen des Riemens beständig dasselbe ist. Bei der grössern Geschwindigkeit, welche der höhern elektrischen Spannung entspricht, wird der Dynamo nämlich bei demselben Überanziehen eine grössere Arbeit verrichten; er kann daher bei einer höhern Spannung dieselbe Stromstärke unterhalten.

Als Beispiel möge eine Ablesung der Apparate der Versuchsmühle am 17. Dez. 1902 angeführt werden. Bei den 4 Versuchen Nr. 1, 2, 3, 4 fand bei der übrigens unregelmässigen Windkraft durchaus keine andere Veränderung statt, als dass der Arm des

Zellenwechslers eine verschiedene Anzahl Zellen einschaltete, wodurch die Spannung sich änderte und damit augenblicklich die Geschwindigkeit, was am Tone zu hören war und was im vorliegenden Fall zugleich an einem Zählapparat abgelesen wurde, welcher die Umdrehungszahl des Dynamos anzeigte.

	Versuch Nr.	1	2	3	4
Elektrische Spannung (Volt)		110	133	139	160
Stromstärke (Ampère)		41	40	41	40
Umdrehungszahl des Dynamos		837	950	992	1060

Da nun einerseits die mechanische Arbeit gemessen wird durch die Umdrehungszahl mal Überanziehen des Riemens und andererseits die elektrische Arbeit durch Volt mal Ampère oder Watt, welche dem Obenstehenden zufolge ist

	resp.	4510	5320	5699	6400
--	-------	------	------	------	------

so lässt sich das Überanziehen des Riemens verhältnismässig ausdrücken durch diese Zahlen, geteilt durch die Umdrehungszahlen des Dynamos. Es ergeben sich die Zahlen

	5_4	5_6	5_7	6_0
--	-------	-------	-------	-------

Dass das Überanziehen des Riemens sich nicht als völlig dasselbe bei den 4 Versuchen erweist, könnte daran liegen, dass die Nutzwirkung des Dynamos bei der niedrigeren Spannung geringer ist, so dass man weniger Watt und damit ein geringeres berechnetes Riemenanziehen erhält; aber der Hauptsache nach liegt es doch annehmbarer Weise darin, dass, wenn der Riemen starkt gleitet, was bei den geringern Geschwindigkeiten des Dynamos der Fall ist, derselbe weniger stark anzieht, als wenn er nur schwach gleitet. Dasselbe ist der Fall, wenn die treibende Achse A beginnt, schnell zu laufen (z. B. bei einem Windstoss), ohne dass sonst irgend eine Veränderung eintritt. Man sieht alsdann nämlich am Ampèremeter, dass der Strom sich ein wenig schwächt, was nur bedeuten kann, dass das Überanziehen des Riemens während des starken Gleitens weniger stark ist.

Durch diese Einrichtungen ist eine völlig automatische Erzeugung von Elektrizität durch Windkraft erreicht, und da noch der Umstand hinzukommt, dass das Ingangsetzen und Abstellen einer Mühle eine Augenblickssache ist, so ist die Wartung fast auf nichts beschränkt. Wird der Strom sehr stark, so tritt kein anderer Übelstand ein, als dass der Gleitriemen etwas stark gleitet, wodurch die Stromstärke um ein Weniges vermindert wird. Wird der Wind unzuverlässig, so sorgt der elektrische Automat dafür, dass angesammelt wird, was anzusammeln ist, und dass der Strom daran gehindert wird, zurückzugehen. Legt der Wind sich, so bleibt die

Verbindung abgebrochen, und es geht nicht mehr an Strom verloren, als was an Strom durch die feinen und langen Windungen des Automaten geht, ein geringer Bruchteil eines Ampère.

Fast zwei Jahre hindurch ist dieser Betrieb bei der Versuchsmühle ungestört vor sich gegangen und hat die Genauigkeit und Haltbarkeit des Verfahrens bestätigt.

Was die Anschaffung angeht, so ist zu bemerken, dass man ja ein Vorgelege haben muss; hierbei kommt es aber nicht weiter darauf an, ob dasselbe festgemacht oder als Wippevorgelege angebracht wird. Der elektrische Automat ist zum Windbetrieb völlig unentbehrlich, aber andererseits erspart man den Regulierwiderstand, da ein auf die erwähnte Weise getriebener Dynamo selbstverständlich eines solchen nicht bedarf.

Die einzige Schwierigkeit bei Anwendung der Windkraft zum Antrieb kleiner Elektrizitätswerke ist Windstille. Die einfachste Weise, diesem Missstande abzuhelfen, ist die Anwendung von Akkumulatoren. Wenn diese aber gross genug sein sollen, um während einer langdauernden Windstille vorzuhalten, stellen sie sich als zu gross und teuer dar. Allerdings tritt eine langwierige Windstille hier zu Lande selten ein; eine solche kann aber eintreten und ein Elektrizitätswerk darf niemals versagen.

Man muss daher bei Windelektrizitätswerken immer eine Reservekraft haben. In dieser Hinsicht ist bei den grössern Werken ein Petroleummotor geeignet, bei den kleinern ein Pferdegöpel. — Dampfkraft wird als Reservekraft kaum zu empfehlen sein, da man nur selten veranlasst würde, die Maschine in Gang zu setzen, und Dampf eignet sich überhaupt am besten zu einem regelrechten Betrieb. Die Anschaffung einer solchen Reservemaschine (Petroleummotor oder Pferdegöpel) ist nur gering im Vergleich zur Anschaffung eines Akkumulators, der so gross sein sollte, dass er während jeder möglichen Windstille vorhalten könnte; zudem sind, wie weiter unten erörtert werden wird, die Betriebskosten bei jener Hilfskraft ziemlich gering, da man nur selten zu derselben seine Zuflucht zu nehmen hat.

Es kann daher kaum einigem Zweifel unterliegen, dass ein Werk in einem Kleinstädtchen oder auf einem grossen Gut zu basieren ist auf Wind, mit Petroleum auf Hilfskraft, und ein Werk auf einem vereinzelt kleinern Gut auf Wind, mit einem Pferdegöpel in Reserve.

Ein Elektrizitätswerk für einen kleinen Ort ist seit Oktober 1902 in Askov in Betrieb, wobei jedoch der Anschluss in den einzelnen Häusern erst etwas später, im Winter, zustande gekommen ist und noch nicht eine völlige Durchführung erlangt hat. Die Errichtung dieses Werkes ist sicherlich dem aussergewöhnlichen Umstande zu verdanken, dass die Versuchsmühle daselbst vorhanden war, weshalb nicht so viele Neuanschaffungen erforderlich waren, wie es der Fall gewesen wäre, wenn die Anlage auf nacktem Boden hätte errichtet werden müssen. Dieser Umstand ist aber selbstverständlich ohne irgend welche Bedeutung für den Betrieb des Werkes, weshalb eine nähere Beschreibung desselben ohne Zweifel ein allgemeineres Interesse haben wird. Was die Rechenschaft angeht, so ist die Einnahmeseite durchaus vergleichbar mit der eines Privatwerkes; die notwendigen Anlagekosten lassen sich aber mit grosser Leichtigkeit und Genauigkeit veranschlagen, so dass man sich ein zuverlässiges Bild von der Rentabilität eines solchen Werkes machen kann.

Nachdem man Erkundigungen darüber angestellt hatte, bis zu welchem Umfange die Bewohner von Askov die Elektrizität voraussichtlich benutzen würden, gelangte man zu der Ansicht, dass die Mühle selbst sich mit ihrem bisherigen Akkumulator von 60 Zellen zu 390 Ampèrestunden begnügen könne; es wurde daher ein neuer mit 60 Zellen zu 270 Ampèrestunden angeschafft.

Da fernerhin die Versuchsmühle ca. 500 Meter von dem Orte entfernt liegt und die umständliche Herrichtung eines Spannungsregulators möglichst vermieden werden sollte, so entschloss ich mich, ein Dreileitersystem anzulegen mit 2 Drähten von 70 qmm Querschnitt und dem Nulldrahte von 20 qmm, wodurch der Spannungsverlust bei dem hier in Betracht kommenden Verbrauch zu einem unbedeutenden gestaltet wird.

Die Leitungen wurden selbstverständlich als Luftleitungen aufgehängt.

Da die Versuchsmühle bis dahin 2 Dynamos, zu je 110—155 Volt \times 50 Amp., besass, so blieb der eine an seinem Platz, getrieben von der Mühle mit Wippe und Automat, wie oben beschrieben. Der andere Dynamo wurde bei einem neu angeschafften Petroleummotor zu 12 HP. angebracht und zwar in einem eigens aufgeführten kleinen Haus mit Grundmauern; zudem wurde eine Tafel so eingerichtet, dass der Mühlendynamo jede einzelne der beiden Akkumulatorenbatterien laden kann und der Petroleumdynamo eben-

falls. Wird ein solches Werk auf nacktem Boden angelegt, so wird man die Mühle und den Petroleummotor so anbringen können, dass sie denselben Dynamo treiben.

Das System hat sich als zweckmässig erwiesen; es ist kein Missstand eingetreten, und es hat nichts richtig gestellt werden müssen.

Bis zum 1. April 1903 waren 450 Glühlampen installiert, sowie zwei Bogenlampen und zwei Elektromotore.

Was die Produktion angeht, so möge bemerkt werden, dass der Winter in bezug auf die Windverhältnisse ein günstiger Winter war; man musste aber darauf bedacht sein, dass man in andern Wintern mehr zum Petroleummotor sein Zuflucht würde zu nehmen haben. Die Akkumulierung bei dem Werk ist nur so gross, dass dieselbe in der dunkelsten Zeit nur 2 Tage und Nächte vorhalten kann; nichtsdestoweniger ist der Petroleummotor im Winter 1902/03 nur 14mal benutzt worden und zwar nur bis zum 23. Januar. Die Produktion dieses Motors hat in dem Winterhalbjahr 8% der ganzen Produktion ausgemacht; hierzu sind ungefähr 900 Pfund Petroleum, also für ca. 90 Kr. = 108 Mk. verbraucht worden. — Wenn der Akkumulator so gross gewesen wäre, dass er für 3 Nächte hingereicht hätte, so hätte, wie das Journal es ausweist, der Petroleummotor nur 3mal zu arbeiten brauchen; er würde dann nur 3% der ganzen Produktion des Winters zu liefern gehabt haben.

Was den Verbrauch angeht, so ist dieser noch nicht ein ganz normaler gewesen, namentlich nicht im ersten Teil des Winters; zudem wird, wie schon gesagt, immer noch installiert; der Verbrauch im Winter 1902/03 stellt sich folgendermassen:

Nov. 6224 Hektowattstunden	Febr. 6776 H W St.
Dez. 8274 " "	März 4672 " "
Jan. 8427 " "	April 3729 " "

Wenn man berücksichtigt, dass der Herbst und der Beginn des Winters in den oben angeführten Zahlen kaum repräsentiert sind, wird man annehmen können, dass der jährliche Verbrauch sich auf mindestens 50000 Hundert-Watt-Stunden, zu einem Betrage von 2500 Kr. = 2800 Mk., stellen wird.

Wenn man nun fragen wollte, ob es sich hätte bezahlt machen können, eine solche Anlage einzurichten, wenn die Versuchsmühle nicht die Basis derselben gebildet hätte, so müsste man zuerst einen Überschlag machen über das, was zur Herrichtung derselben Anlage nötig gewesen wäre. Man würde dann das Werk näher bei

dem Orte angelegt haben, so dass die Hauptleitungen kürzer gewesen wären; die Unkosten hätten sich alsdann folgendermassen gestellt:

Mühle	Kr. 3000 = M.	3360
Petroleummotor	3000	3360
Akkumulator	5000	5600
Dynamomaschine	1000	1120
Vorgelege, Automat	350	392
Stromtafel u. Zellenwechsler	350	392
Hausraum u. Bodenfläche	2000	2240
Hauptleitungen	1300	1456
	<hr/>	
	Kr. 16000 = M.	17920

Hinsichtlich der Aufrechnung der Betriebsunkosten ist zu bemerken, dass der Petroleumverbrauch wohl nicht sonderlich mehr erfordern wird als die schon verbrauchten 90 Kr. = 108 Mk., da der Akkumulator in dem übrigen Teil des Jahres mehrere Nächte lang vorhalten kann. Da aber der Winter 1902/03 sich als besonders günstig in Bezug auf den Wind erwiesen hat, so kann man den normalen Petroleumverbrauch vielleicht zu jährlich 200 Kr. = 225 Mk. veranschlagen.

Die Wartung einer zu diesem Zweck eingerichteten Mühle beschränkt sich auf Schmieren, Ingangsetzen und Abstellen; diese Verrichtungen können sehr wohl für 50 Öre = 56 Pfg. täglich oder ungefähr 200 Kr. = 225 Mk. jährlich besorgt werden.

An den Tagen hingegen, an denen der Petroleummotor arbeiten muss, kann man die Wartung schwerlich billiger haben als zu 4 Kr. = 4,50 Mk. täglich; werden hierzu 30 Tage veranschlagt (gegen 14 im verflossenen Jahr), so kommen auf die Wartung 120 Kr. = 130 Mk.

Fügt man noch für Schmiermaterial 90 Mk. hinzu, so belaufen sich die Betriebsunkosten auf 675 Mk.

Der Einnahmeüberschuss gestaltet sich also zu mindestens (2800—675) 2125 Mk., was ungefähr 12% des Anlagekapitals von 17920 Mk. ausmacht; dieses kann aber als hinreichend zur Verzinsung und Instandhaltung angesehen werden.

Stellt man hingegen die Frage, ob eine solche Anlage sich bezahlt machen könnte, ohne auf Benutzung des Windes basiert zu sein, so wird man bald sehen, dass diese Möglichkeit ausgeschlossen ist.

Sollte die Anlage auf Petroleum allein basiert werden, so könnten an Anlagekosten nicht mehr erspart werden als höchstens 6720 Mk., nämlich an der Mühle 3360 Mk., am Akkumulator vielleicht 3000 Mk. und am Vorgelege und Automat vielleicht 340 Mk.

Aber statt 675 Mk. jährlich an Betriebskosten würde man in diesem Falle über 1120 Mk. für Petroleum und Schmiermaterial und 1350 Mk. (300 Tage zu 4,50 Mk.) für Wartung zu verrechnen haben, und es würden dann (2800—2470 Mk.) kaum 330 Mk. zur Verzinsung und Abtragung der 11 200 Mk. für die Anlage bleiben.

Günstiger würde es sich jedoch stellen, wenn man denselben Akkumulator, der oben bei der Windanlage erwähnt worden ist, beibehielte und es so einrichten könnte, dass der Wärter 15mal monatlich in den 4 dunkelsten Monaten, 12mal in den beiden Nachbarmonaten, 8mal in den beiden nächsten und 5mal in den 4 hellsten Monaten, im ganzen 120mal die Ladung vornähme. Dies würde 540 Mk. ausmachen, so dass die reguläre Wartung mit täglicher Kontrollierung der Spannung usw. vielleicht für 675 Mk. zu haben wäre. Der Petroleumverbrauch würde derselbe sein wie bei täglichem Petroleumbetrieb, so dass der Einnahmeüberschuss in diesem Falle $(2800 - [1120 + 675]) = 1005$ Mk. ausmachen würde; jedoch bei einem Anlagekapital von 14560 Mk. würde dieser weit zurückstehen gegenüber einem Einnahmeüberschuss von 2125 Mk. bei einem Anlagekapital von 17920 Mk., wie es der Fall ist, wenn die Anlage auf Wind mit Petroleum in Reserve basiert wird.

Wenn man beabsichtigen wollte, die Anlage auf Dampfkraft zu basieren, so würde dies noch unzweckmässiger sein. Die Dampfmaschine eignet sich nämlich noch weniger dazu, nur jeden zweiten, dritten Tag gebraucht zu werden, und die Wartung würde sich noch schwieriger gestalten.

Etwas anderes ist es, wenn sich schon ohnehin eine Dampfmaschine oder eine andere Triebkraft vorfindet, die zu einer anderen Verrichtung bestimmt ist, aber ausserdem noch die für das Elektrizitätswerk erforderliche Energie zu leisten vermag.

Dagegen verdient noch die Frage eine Erwägung, wo die Grenze liegt für die Grösse der Elektrizitätswerke, welche ebenso billig mit Petroleum oder Dampf wie mit Wind betrieben werden.

Es ist leicht einzusehen, dass eine solche Grenze sich finden lässt; denn je grösser die Anlage ist, desto billiger ist sowohl der Betrieb als auch die Wartung. Eine grosse Dampfmaschine liefert jede Pferdekraft weit billiger als eine kleine, und ein Mann kann eine grosse Anlage ebenso leicht bedienen wie eine kleine.

Die Beantwortung dieser Frage hängt jedoch ^{nicht} von einer andern Frage ab, die in der Mühlentechnik übrigens ebenfalls vorliegt; es ist dies die Frage: bis zu welcher Grösse kann eine Mühle gebaut werden, so dass der Bau sich lohnt?

Mit der Mühle verhält es sich nämlich umgekehrt wie mit der Dampfmaschine und vielen anderen Maschinen: sie wird nicht verhältnismässig billiger dadurch, dass sie grösser wird; auf jeden Fall aber wird sie, wenn eine gewisse Grösse erreicht ist, verhältnismässig teurer, je mehr sie äusserlich wächst.

Beachtet man nämlich, dass die Anschaffung einer Mühle ebenso wie die einer Dampfmaschine die Beschaffung von Material und Arbeit umfasst, so ersieht man leicht, dass, während die Letztere, die Arbeit, bei der Mühle wie bei der Dampfmaschine vielleicht nach einer ähnlichen Skala wächst, das Material bei der Mühle nach einer weit stärkern Skala zunimmt als das Material bei einer Dampfmaschine. Um nur in grossen Zügen diese Sache klar zu legen, könnte man sich zwei Dampfmaschinen denken mit dem linearen Verhältnis 1 zu 2, im übrigen aber mit gleicher Einrichtung, also mit dem Materialverhältnis 1 zu 8; es würde sich die Länge der Kolbenschläge verhalten wie 1 zu 2, das Areal des Kolbens wie 1 zu 4, also die Arbeit wie 1 zu 8. Beim Kessel, bei welchem u. a. das Areal der Feuerungsfläche in Frage kommt, würde das Verhältnis sich allerdings etwas anders gestalten, aber alsdann bietet die grosse Anlage andere Vorteile (Kondensator, überhitzter Dampf usw.), auf die wir uns übrigens hier nicht einzulassen brauchen. Aber bei zwei in der Art ihres Baues übereinstimmenden Windmühlen mit dem linearen Verhältnis 1 zu 2, welche also das Materialverhältnis 1 zu 8 haben, findet bei einem und demselben Wind nur ein Arbeitsverhältnis statt, wie die Areale der Flügel es aufweisen, also wie 1 zu 4. — Übrigens sind sowohl bei der Dampfmaschine als der Mühle noch verschiedene andere Verhältnisse zu beachten, wenn eine genaue Abschätzung stattfinden soll; dieselben fallen aber nicht zum Vorteil der grossen Mühle aus. Das bereits Angeführte zeigt hinlänglich, dass, wenn das Material durch sein Anwachsen bis zum 8fachen die Arbeitsleistung der Dampfmaschine in demselben Verhältnis erhöht, nämlich von 1 bis zu 8, abgesehen davon, dass es noch sonstige Vorteile verschafft, wenn es dagegen die Arbeitsleistung der Mühle nur halb so stark fördert, nämlich von 1 bis zu 4, abgesehen davon, dass es sonstige Unannehmlichkeiten verursacht, im allgemeinen kein Vorteil darin besteht, die Mühlen über eine gewisse Grenze hinaus zunehmen zu lassen.

Dennoch überschreiten viele Mühlen diese Grenze, und zwar baut man solche Mühlen so gross u. a. aus dem Grunde, weil man eine grosse Arbeitskraft an einer Stelle angesammelt haben muss, und die Erzeugung derselben nicht auf mehrere kleine Mühlen ver-

teilen kann. Dieser Grund fällt hingegen weg, wenn es sich um die Erzeugung von Elektrizität handelt, denn man kann sehr bequem die Arbeit von 2 oder mehreren Mühlen zusammenfliessen lassen, selbst wenn diese in einiger Entfernung von einander stehen, ja sie müssen am besten von einander entfernt sein, damit sie einander den Wind nicht schwächen. Die Mühlen können sehr wohl in der Grösse verschieden sein, wie dieses bei der alten und der neuen Versuchsmühle der Fall ist, von denen jede, wie es sich erwiesen hat, sehr gut ihren Anteil an die gemeinsame Leitung abgeben kann; ja es lässt sich so einrichten, dass die Mühlen völlig unabhängig von einander arbeiten (oder ruhen), während sie dennoch zu jeder Zeit den Beitrag leisten, den die Tätigkeit einer jeden und die zufällige Windstärke zu wege bringen.

Jede Mühle ist nur mit ihrem eignen Dynamo mit Wippe und Automat versehen, wie diese oben beschrieben sind. Die beiden Leitungen jedes Dynamos führen zu dem Akkumulator, welcher seinerseits an einer andern Stelle stehen kann. Jeder Dynamo schaltet sich von selbst ein, wenn seine Spannung diejenige des Akkumulators übersteigt, und gibt seine konstante Stromstärke, wofern der Wind die erforderliche Stärke hat. Andernfalls liefert er einen Strom, der der Windstärke entspricht, und sollte die Windstärke für den betreffenden Dynamo zu gering sein, so bricht jeder einzelne Automat die Verbindung jedes einzelnen Dynamos ab, bis die Windstärke wieder gross genug ist.

Es unterliegt keinem Zweifel, dass eine Einrichtung wie diese an verschiedenen Stellen das Richtige sein wird, aber wo die Grenze liegt, bei der man besser zu zwei Mühlen übergeht, als dass man die eine vergrössert, kann schwerlich eher genau angegeben werden, als bis manche Erfahrungen hinsichtlich des Preises, der Haltbarkeit usw. der Mühlen vorliegen, die aber erst gesammelt werden können, wenn man zu regelrechten Konstruktionen von Mühlen zu elektrischem Betrieb übergegangen ist.

Umfang des gemeinschaftlichen Betriebes von Elektrizitätswerken. — Die meisten Leute hegen die Auffassung, dass die Elektrizität sich leicht über grosse Ausdehnungen verteilen liesse. Man kennt ja die Wirkung des Telegraphen, die sich auf Hunderte von Meilen erstreckt, und man hat von der meilenweiten Kraftübertragung am Niagara und sonstwo gelesen. Und dennoch liegt

gerade in diesem Punkte die Schwierigkeit, weswegen das Land nicht die Vorteile der Städte auf dem Gebiete der Elektrizität hat erlangen können. — Wäre es eine einfache Sache, die Elektrizität durch eine oder zwei Leitungen nach dem Lande oder von einer Kraftstation auf dem Lande nach verschiedenen Richtungen zu befördern, so wäre sie schon längst dort vorhanden gewesen. Aber bei der elektrischen Spannung, die in dänischen Landstädten angewandt wird und die vielleicht allein die dänischen Landwege*) entlang zugelassen ist, würde schon eine Weiterleitung auf einige Tausend Meter nach einem einzelnen Hof unpraktisch sein, oder sie würde auf jeden Fall ein ausserordentlich teures Leitungsnetz erfordern.

Nimmt man z. B. einen Hof an, welcher nur 1000 Meter von einer Zentralstation entfernt liegt, von wo aus der Hof mit Elektrizität mit einer Spannung von 110 Volt versehen werden soll, so müsste, wenn man z. B. eine Dreschmaschine von 3 HP. durch den Strom treiben wollte, eine Linie mit 2 Kabeln von 50 qmm Querschnitt angelegt werden; dieses würde über 2250 Mk. kosten (abgesehen von dem Motor selbst und dem Leitungsnetz auf dem Hof). Dabei würde man dennoch einen Spannungsverlust von 20—30 Volt, einen Energieverlust von über 20% haben. Eine gleichzeitige Verwendung von Elektrizität zur Beleuchtung wäre aber unmöglich, da das Licht völlig ungenügend sein würde, und selbst wenn kein Dreschen stattfindet, wird man keine 10 Lampen anzünden können, da der Spannungsverlust die Lichtstärke beeinträchtigt.

Will man von einer Spannung von 220 Volt ausgehen, so kann man sich mit zwei Leitungsdrähten von 20 qmm begnügen; eine solche Leitung wird aber dennoch über 1200 Mk. kosten, und bei dem erwähnten Dreschen wird man einen Spannungsverlust von mehr als 22 Volt erleiden, was hier übrigens nur einen Energieverlust von 10% ausmacht; aber auch in diesem Fall kann man kein befriedigendes Licht neben jener Arbeit haben.

Das Verfahren, welches man beim Niagara und sonstwo befolgt, um so grosse und noch grössere Entfernungen zu bewältigen, besteht darin, dass man Elektrizität von sehr hoher Spannung anwendet. Abgesehen nun davon, dass eine solche Elektrizität Gefahr für das Leben verursachen kann, müsste sie erst transformiert werden, ehe man sie auf dem Hofe gebrauchen könnte. Dieses würde indessen, selbst wenn die Behörden eine so hohe Spannung

*) Bei der Anlage zu Askov hat demgemäss der Gemeinderat nach Weisung vom Wegeinspektor des Amtes als obere Grenze für die Elektrizitätsspannung an den Gemeindewegen ungefähr 110 Volt festgesetzt.

zuliessen, bei der verstreuten Bevölkerung in Dänemark zu umständlich sein, und man könnte kaum eher daran denken, eine solche Elektrizität anzuwenden, als die Bevölkerung des Landes sich bedeutend vervielfacht hätte, so dass die transformierte Elektrizität sich an Viele auf einer Stelle verteilen liesse, wobei dann nicht sehr lange Leitungen erforderlich wären.

Es bleibt daher hier zu Lande bis auf Weiteres kaum ein anderes Verfahren übrig, als dieses, dass man kleine gemeinschaftliche Werke an Stellen anlegt, wo mehrere Leute nahe zusammen wohnen, und dass man Gutswerke auf vereinzelt liegenden Gehöften einrichtet.

Bei dem oben beschriebenen Werk hat es sich gezeigt, dass ein gemeinschaftliches Werk sowohl praktisch als auch rentabel sein kann.

Zur Zeit wird ein Mittelding zwischen einem gemeinschaftlichen Werk und einem Privatwerk zu Vallekilde errichtet, wo die Besitzer der „Hochschule“ (landw. Volkshochschule) Paul und Niels Hansen ein Werk, ähnlich dem in Askov, anlegen lassen; es ist basiert auf Windkraft mit Petroleum zur Reserve, jedoch mit einem Zweileitersystem zu 110 Volt, und ist bestimmt, einerseits die Hochschule und die Zuchtstation mit Licht und mit Arbeitskraft für Elektromotore zu versehen und andererseits, Elektrizität zu liefern, die an einige Nachbarn käuflich überlassen werden soll.

Endlich wird, wesentlich auf Anregung der Versuchsmühle, ein Gutswerk angelegt bei Gutsbesitzer Boesen in Askov. Mit diesem Werk soll namentlich untersucht werden, wie weit man mit der Grösse hinabgehen kann, so dass sich solche Werke noch als lohnend erweisen.

Die Bedeutung ländlicher Elektrizitätswerke. Abgesehen von der Bequemlichkeit und dem Nutzen, die beide mit dem elektrischen Licht verbunden sind und die einen nicht geringen Wert für Stall und Scheune haben, kann man den Nutzen, der von ländlichen Elektrizitätswerken zu erwarten ist, nach zwei Hauptgruppen gliedern:

- 1) insofern die Elektrizitätswerke zum Antrieb von landwirtschaftlichen Maschinen und
- 2) insofern sie zur Förderung des ländlichen Handwerks und der häuslichen Gewerbtätigkeit dienen.

Ob es sich in nächster Zukunft lohnen wird, die Elektrizität zu eigentlichen Feldarbeiten zu verwenden, ist in der Tat zweifel-

haft. Solche Einrichtungen finden sich allerdings auf einigen deutschen Gütern und an andern Stellen, wo man mit grossen Kosten Werke und Leitungen mit hoher Spannung und Transformatoren unter Aufsichtigung von Ingenieuren oder sonstigen Persönlichkeiten angelegt hat. Ob solche — man kann wohl sagen — grossindustrielle Anlagen auf landwirtschaftlichem Gebiete sich bezahlt machen, mag dahingestellt sein; auf jeden Fall eignen sich solche nicht bei kleinem landwirtschaftlichen Betriebe.

Auf diesem Gebiete liegt es am nächsten, an die Arbeiten zu denken, die auf dem Hofe selbst auszuführen sind: Dreschen, Kornreinigen, Häckselschneiden, Kuchenquetschen, Rübenschneiden, Pumpen usw. Solche Arbeiten lassen sich durch Elektromotore mit weit grösserer Bequemlichkeit und Gleichmässigkeit ausführen als durch die in der Landwirtschaft allgemein benutzten Triebkräfte, und es kann keinem Zweifel unterliegen, dass man nach und nach die Elektromotore immer mehr anwenden wird, besonders, da dieselben sich so leicht anbringen lassen, ohne ausgedehnte Transmissionen erforderlich zu machen, wie solche unzertrennlich mit mechanischen Triebkräften verbunden sind.

Was die Industrie in den Städten angeht, so kann man das Streben wahrnehmen, von den mechanischen Transmissionen zu einer elektrischen Anlage überzugehen, bei welcher von einem Dynamo Strom an verschiedene Elektromotore verteilt wird, von denen jeder seine Arbeitsmaschine zu treiben hat, und doch finden sich diese Maschinen auf dem Werkplatze verhältnismässig viel näher beieinander aufgestellt als die Arbeitsmaschinen auf einem Hofe.

Dazu kommt, dass die beiden gebräuchlichsten Kraftquellen im kleinen Landwirtschaftswesen, der Windmotor und der Pferdegöpel, eine ausserordentlich langsame Bewegung haben, der Erstere etwa 10 Umdrehungen in der Minute, der Letztere sogar nur 3. Da die Arbeitsmaschinen oft eine grosse Umdrehungsgeschwindigkeit erfordern, z. B. eine Dreschmaschine 1200 Umdrehungen, so würden die Transmissionen von den langsamen Kraftmaschinen aus sehr umständlich und teuer werden.

Kann man hingegen Elektrizität von einem gemeinschaftlichen Werk erhalten, so beschränkt sich die Anlage für den Hof auf ein kaum in die Augen fallendes Leitungsnetz mit Lampen und ein paar Elektromotore, die nur wenig Raum einnehmen. Der eine ist feststehend und ist dazu bestimmt, eine Dreschmaschine zu treiben. Ein zweiter, kleinerer, den man leicht hier und da aufstellen kann.

wofern man nicht lieber 2 oder 3 anschaffen will, soll dazu dienen, leichtere Arbeitsmotore zu treiben.

Hat man hingegen keine Gelegenheit, Elektrizität zu bekommen, weil z. B. der Hof zu abgelegen ist, so entsteht die Frage, ob es sich nicht lohnt, ein kleines Elektrizitätswerk für den Hof allein anzulegen.

Auf Grund der oben dargelegten Erfahrungen kann man mit ziemlicher Sicherheit die Einrichtung eines solchen Hofwerkes angeben und die Anlagekosten desselben berechnen.

Es ist eine 4flüglige Mühle auf einem schlanken Stativ etwas vom Hofe entfernt anzulegen (vgl. S. 64). In einem Raum unten im Stativ befinden sich Wippevorgelege, Dynamo und Selbstabbrecher (S. 66), und hiervon gehen ein paar Leitungen nach dem Hof hinein. Hier befinden sich ein Akkumulator für 45 oder 60 Volt Spannung, ein Leitungsnetz mit Lampen im Wohnhause und in den Wirtschaftsgebäuden, ein grösserer Elektromotor für die grössern Arbeiten und ein oder zwei kleinere für die kleinern Arbeiten. Der Akkumulator ist so gross, dass er für Licht und Kleinarbeiten 4—5 Tage und Nächte vorhält; jedoch für den Fall, dass längere Windstillen eintreten, findet sich neben der Mühle ein Pferdegöpel, der den Dynamo treiben kann. Unter gewöhnlichen Verhältnissen hat man jedoch nur selten zu dem Göpelwerk seine Zuflucht zu nehmen. Dagegen müssen die schwerern Arbeiten in der Regel nur bei Wind ausgeführt werden, jedenfalls nicht viele Stunden lang, da sonst der Akkumulator erschöpft wird. Es kommen aber bei diesem Betriebe bedeutend geringere Anforderungen an die Stärke des Windes zu Geltung als dort, wo eine Mühle die Maschinen direkt anzutreiben hat. Zunächst wird starker Wind oder Sturm nicht in höherm Masse Elektrizität liefern als normaler Wind (vgl. S. 68—72); sodann läuft der Elektromotor mit derselben Geschwindigkeit zu jeder Zeit — selbst wenn der Wind gänzlich versagt, da in diesem Fall der Strom vom Akkumulator kommt, welcher überhaupt entweder den Überschuss aufnimmt, den der Wind liefert, oder den Unterschuss leistet, den man bei unsicherm Wind nötig hat. In kurzen Worten, eine Windmühle kann bei elektrischem Betrieb sowohl stärkere als auch schwächere Winde ausnutzen, als sie solche bei mechanischem Antrieb brauchen kann. Noch ein wichtiger Vorteil sowohl für Dreschmaschinen als auch für andere Maschinen kommt in Betracht, nämlich der, dass das Antreiben der Maschinen völlig gleichmässig erfolgt.

Ebenfalls lassen sich die Unkosten bei einer solchen Anlage

ziemlich sicher berechnen. Für einen Bauernhof von gewöhnlicher Ausdehnung können dieselben folgendermassen veranschlagt werden:

Mühle und Pferdegepöpel	ca. 1300 Kr. = 1456 M.
Dynamomaschine	500 „ 560 „
Automat, Stromtafel, Leitungsnetz	500 „ 560 „
Akkumulator	500 „ 560 „
2 Elektromotore	700 „ 784 „

Im ganzen 3500 Kr. = 3920 M.

Weit schwieriger ist es, den Nutzen zu beurteilen, den man von solch einem Werk erzielen kann.

Was das Licht angeht, so wird man wohl den Wert des Petroleums angeben können, welches erspart wird. Schwieriger ist es, die sonstige Bequemlichkeit und die Feuersicherheit abzuschätzen, die man erreicht. Auch weiss man noch nicht, wie lange es dauern wird, bis die Feuerversicherungs-Gesellschaften hinlänglich darauf Rücksicht nehmen, dass kein Petroleum auf dem Hofe vorhanden ist. Vielleicht hat der in den Zeitungen so oft erwähnte Kurzschluss bei manchem die Vorstellung erweckt, dass Elektrizität ziemlich gefährlich sei; wer aber etwas von der Sache kennt, wird wissen, wie schwierig es ist, sogar mit dem besten Willen die Elektrizität so zu behandeln, dass man mit derselben ein Feuer anzünden kann.

Am schwierigsten jedoch ist es, den Wert derjenigen Arbeiten zu veranschlagen, die ein solches Hofwerk etwa auszuführen haben wird. Die Meinungen darüber sind geteilt. Man wird den Einen antreffen, welcher sagt, dass man sich mit dem alten Pferdegepöpel begnügen kann und dass die Pferde im Winter ohnehin nicht viel auszurichten haben. Ein anderer sagt: das weiss ich wohl zu schätzen, wenn ich meine Pferde schonen kann, besonders bei schlechtem Wetter, und auch den Mann, der sie anzutreiben hat. Ausserdem geht bei dem gleichmässigen und ungestörten elektrischen Betrieb die Arbeit viel genauer und sorgfältiger von statten.

Wie die Leute von vornherein sehr verschieden dazu aufgelegt sind, Maschinen anzuwenden, so wird es ohne Zweifel auch hier gehen; man wird in verschiedener Weise imstande sein, einen Nutzen aus solchen Anlagen im Dienste der eigentlichen Landwirtschaft zu ziehen, und erst die Zukunft wird lehren, wie schnell sich solche Anlagen verbreiten werden.

Was das ländliche Handwerk und die häusliche Gewerbtätigkeit angeht, so werden diese Tätigkeitszweige eine weit grössere Förderung erfahren, wenn die Landbevölkerung in den Dörfern und

an sonstigen Stellen Gelegenheit bekommt, die Elektrizität anzuwenden; hieraus ist aber ein nicht unbedeutender sozialer Vorteil zu erwarten.

Eine Gegend mag zu dünn bevölkert sein, eine andere zu dicht. In jener kann man einander nicht durch derartige gemeinschaftliche Unternehmungen unterstützen, von denen man sonst einen grossen Nutzen haben würde — einfach aus dem Grunde, weil die Leute zu weit voneinander wohnen, um eine gemeinschaftliche Anlage benutzen zu können. Man muss sich mit unzulänglichen Verkehrsmitteln begnügen; man muss sich mit allem zu behelfen verstehen, was irgendwie zur Verfügung steht, wodurch denn die Arbeit weniger nutzenbringend wird als dort, wo eine Teilung der Arbeit stattfindet. — Aber eine Gegend kann auch zu stark bevölkert sein; man kann der andern wegen nicht zu einer Arbeit gelangen, weswegen der Lohn für die Arbeit sinkt, und man konkurriert miteinander um die Lebensbedürfnisse, weswegen der Preis für diese steigt.

Nichtsdestoweniger geht fortwährend ein starker Zuzug vom Lande nach der Stadt vor sich. Die Städte bieten manche Vorteile, welche namentlich von den mannigfaltigen Beschäftigungen herrühren, die durch die Fortschritte der Naturerforschung möglich gemacht worden sind. Viele Leute haben sich daher vom Lande nach der Stadt locken lassen durch die Aussicht auf bessern Verdienst und bequemere Lebensweise; jedoch ist, wie allgemein zugegeben wird, im grossen Ganzen diese Wanderung von wenig Nutzen sowohl für Stadt als für Land gewesen; jene ist zu stark bevölkert, dieses zu sehr entvölkert worden. Was aber die Einwanderer selbst angeht, so mag es ganz sicher manchem einzelnen gut ergangen sein; wenn aber die augenblickliche Erhöhung des Lohnes mit Arbeitslosigkeit wechselt — wie es oft geschieht — so ist der Umzug für die meisten ein mehr als zweifelhafter Vorteil. Die ländlichen Arbeitsverhältnisse, mögen sie durchgehends sogar dürftiger sein, sind doch weniger schwankend und bieten daher eine grössere Sicherheit, und eine eigentliche Not kennt man auf dem Lande in weit geringerem Grade als in den Städten.

Jedoch haben die Leute auf dem Lande in jedem Jahre eine Periode schlechtern Durchkommens durchzumachen. Im Sommer kann jeder Arbeit erhalten; es könnte alsdann sogar noch mehr Arbeitskraft, als vorhanden ist, Verwendung finden, im Winter hingegen mangelt es an Arbeit, und da der Arbeitstag kurz ist, ist der Lohn gering.

Hier liegt ein Punkt vor, wo viel zu erreichen wäre, wenn

eine Besserung stattfände; dazu ist aber einige Aussicht vorhanden durch die Errichtung ländlicher Elektrizitätswerke.

In der Tat treibt man hier und da einige häusliche Gewerbtätigkeit. Der eine oder andere sieht ein, dass selbst bei geringem Verdienst es doch besser ist, an den langen Winterabenden etwas Nützliches vorzunehmen, als dieselben zu verträumen. Könnte nun ein kleiner Elektromotor bewirken, dass jemand an seinem Winterabend etwas verrichtete, was ihm einen guten Verdienst einbrächte, so würde hier ein besonderer Antrieb zu einer richtigen Ausnutzung der Winterzeit vorliegen.

Was für verschiedene Arten der häuslichen Gewerbtätigkeit sich nach diesem Gesichtspunkt etwa entwickeln werden, ist nicht leicht vorauszusehen. Die Zeit wird es ausweisen, wenn erst die Bedingungen (die Elektrizität) vorhanden sind; nehmen wir aber ein Beispiel. Wenn ein Weber zwei Maschinenstühle besorgen kann, die von einem Elektromotor getrieben werden, und damit ungefähr 6mal so viel ausrichtet als ein Weber durch seine Person allein, so wird er auch etwas verdienen können, was seinen Tagelohn in merklicher Weise ergänzt; ja es kann geschehen, dass er im Winter ganz zu dieser neuen Tätigkeit übergeht und die Tagelöhnerarbeit andern überlässt, welche dadurch mehr Gelegenheit zur Arbeit in der schlimmern Jahreszeit erhalten.

Die Arbeitsverhältnisse auf dem Lande sind zum Glück für die Landbewohner von vornherein stabiler als in den Städten; könnten sie aber dadurch noch stabiler werden, dass die Arbeit in der erwähnten Weise reguliert würde, so würde damit viel gewonnen sein.

Auch das gewöhnliche Handwerk und die Kleinindustrie, welche in den Städten immer mehr durch die Grossindustrie verschlungen worden sind, haben sich im ganzen auf dem Lande mehr gehalten, weil dieses vielfach darauf angewiesen ist, die Handwerker sofort zur Hand zu haben, und weil die Lebensverhältnisse auf dem Lande geringere Anforderungen an das Auskommen stellen; es bedarf aber keiner Frage, dass eine billige Hilfskraft, welche nur in dem Augenblick etwas kostet, wo sie arbeitet, von unschätzbarem Werte für manchen Handwerker sein wird.

Es ist dies schon an einzelnen Stellen wahrzunehmen, wo eine ländliche Maschinenwerkstätte sich selbst und sodann ihre Umgebungen mit Elektrizität versieht, die durch die Dampfmaschine der Werkstätte erzeugt wird; wenn es sich aber erwiesen haben wird, dass Elektrizitätswerke, die auf Windkraft basieren, an jeder Stelle rentabel sind, wo nur hinreichende Verwendung für dieselben vor-

handen ist, wird eine Zunahme solcher Werke auch aus diesem Grunde stattfinden.

Bekannschaft mit der Bedienung ländlicher Elektrizitätswerke. Wenn der Betrieb eines Windelektrizitätswerkes auch ganz automatisch vor sich geht, so dass die Wartung sich wesentlich auf das Schmieren und einige Aufsicht beschränkt, so ist es dennoch notwendig, dass die Person, welche die Wartung auszuüben hat, sich einige Vertraulichkeit mit dem Werke aneigne. Es ist das eine Forderung, wie solche in so mancher Hinsicht an die Landbewohner gegenüber den Leuten in den Kleinstädten herantreten. — Während die letztern einfach hingehen, um Gartengewächse, Eier u. s. w. einzukaufen, und nach einem Handwerker schicken, wenn das eine oder andere im Hause herzustellen ist u. s. w., muss der Landbewohner nicht nur seinen Garten besorgen, sondern auch selbst etwas von der Herstellung mancher Dinge verstehen und Reparaturen vorzunehmen wissen, wenn es auch nicht zu seinem Fach gehört, solche Arbeiten auszuführen — eine Sache übrigens, die dazu beiträgt, das Leben auf dem Lande zu einem inhaltvollern zu machen.

Mit der Elektrizität im Hausbedarf bekannt zu werden, ist durchaus nicht schwieriger als es sich mit sonstigen Dingen verhält. Es zeigt sich im Gegenteil, dass die erforderliche Vertrautheit sich leicht aneignen lässt, ja dass derjenige, welcher diese erlangt hat, ein gewisses Behagen darin findet. Es liegt nämlich so sehr fern, dass man es bei der Anwendung der Elektrizität mit Heimlichkeiten zu tun habe, dass man vielmehr behaupten kann, auf keinem andern Gebiete seien die Gesetze so einfach wie hier. Nirgend sonstwo trifft alles nach Zahl und Mass so sehr zu, wie auf diesem Gebiete.

Diese Sache ist aber bisher fast allen Leuten, die nicht gerade zu den Kreisen der Fachleute gehören, gänzlich fremd geblieben; man hat daher ganz naturgemäss nach Anleitung verlangt und die Errichtung von kleinen Kursen gefordert für Leute, die sich für Elektrizität interessieren und mit derselben zu tun haben würden.

Aus diesem Anlass habe ich bei der Versuchsmühle einige Kurse, jedesmal von ungefähr 1 Woche, abgehalten. Ein jeder Kursus war darauf berechnet, das erforderliche Verständnis und die nötige Anleitung zur Behandlung kleiner Elektrizitätswerke zu geben, was sich übrigens in der so kurzen Zeit als wohl ausführbar erwiesen hat.

Wenn die Teilnehmer in der Mehrzahl Meiereiverwalter waren, so hängt dies naturgemäss mit der Tatsache zusammen, dass schon verschiedene elektrische Lichtanlagen auf Meiereien eingerichtet sind. Die Meiereien haben aus mancherlei Gründen das Vorrecht, auf diesem Gebiete an der Spitze zu gehen. Triebkraft zur Ladung von Akkumulatoren ist dort täglich vorhanden, weswegen der Akkumulator nicht gross zu sein braucht; dieselbe steht sozusagen gratis zur Verfügung, da der Überschussdampf zum Pasteurisieren fast ebensogut verwendbar ist wie der Kraftdampf.

Es könnte nun der Gedanke nahe liegen und ist in der Tat von verschiedenen Persönlichkeiten auch geäussert worden, dass die zahlreichen Meiereien des Landes mit ihren Dampfmaschinen die natürlichen Ausgangspunkte zur Anlegung kleiner ländlicher Elektrizitätswerke sein müssten. Jedoch, wie jene Herren es auch stets im Sinne gehabt haben, muss die Elektrizitätsanlage vorab der Meierei selbst zugute kommen wegen der Reinlichkeit, der guten Beleuchtung und der Ökonomie, welche eine solche Anlage mit sich bringt; es würde eine schlimme Störung im Betrieb der Meierei bedeuten, wenn dieselbe sich mit der Nebenaufgabe befassen wollte, auch die Lieferantin von Elektrizität zu sein. Ausserdem ist die Dampfmaschine der Meierei in der Regel zu klein. So wird denn bald neben dem Heer von Schornsteinen, welche von den Meiereien überall auf dem Lande errichtet worden sind, hoffentlich ein entsprechendes Heer von Windmühlen auftreten, welche zum Antrieb der zugehörigen Elektrizitätswerke dienen.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

Reinsch's Windmotoren

D. R. Patent
K. K. öster.
Patent

zur

Elektrischen Beleuchtung u. Wasserversorgung

von

Schlössern, Villen,
Landhäusern, Sanatorien,
Hotels, Badeanstalten
etc. etc.



Angenehmer,
bequemer Betrieb,
Keine Betriebskosten,
Keine Explosionsgefahr,
Kein störender Lärm,
Kein übler Geruch.

Elektrische Anlagen

nach System

Professor La Cour.

(Alleiniges Ausführungsrecht
für Deutschland.)

Wasserförderungen

auf jede Höhe und Entfernung
für ganze Gemeinden
als auch Privatbesitzungen.

Illustrierte Kataloge, Broschüren etc. an Interessenten kostenfrei
direkt von

Carl Reinsch, Herzogl. Sächs.
Koflieferant

Dresden A. 4.

Erste, grösste u. leistungsfähigste Windmotorenfabrik des Kontinents
Gegründet 1859.

49 höchste Auszeichnungen. * Tausende Referenzen.

3 Staatsmedaillen. * Ueber 4500 Anlagen ausgeführt.

8-96

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000297543