

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 89/90 (1927)  
**Heft:** 24

**Artikel:** Energie-Ausnützung und Wirkungsgrad von Luftfahrzeugen  
**Autor:** Pröll, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-41821>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 22.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Le cas du disque circulaire sollicité par deux forces  $P_1$  et  $P_2$  égales et opposées agissant à l'extrémité d'un même diamètre peut être traité par la Théorie générale de l'élasticité<sup>24)</sup>. Nous avons intentionnellement choisi ce cas afin de pouvoir comparer les résultats de la Méthode purement optique à ceux que donne le calcul rigoureux. La comparaison est indiquée au Tableau II, et la figure 8 donne les diagrammes des tensions  $\sigma_1$  et  $\sigma_2$  obtenus par mesures optiques et par calcul.

Ces résultats sont bons, si l'on songe à la petitesse de notre modèle (diamètre 20 mm). Ils confirment d'ailleurs pleinement les avantages de la Méthode purement optique indiquée au § 4.

Nous appliquerons cette méthode à une série de problèmes pratiquement impossibles à résoudre par la Théorie générale de l'élasticité; leur solution fera l'objet d'une prochaine publication.

M. Augustin Mesnager, Membre de l'Institut, nous a donné à diverses occasions d'intéressantes explications sur ses travaux; qu'il trouve ici l'expression de notre gratitude. Nous désirons surtout remercier, pour l'aide et les conseils qu'ils nous ont donnés, M. le Prof. Dr. A. Rohn, Président du Conseil de l'Ecole Polytechnique Fédérale, qui eut l'initiative de la création du laboratoire optico-statique de Zurich, M. le Prof. Dr. F. Tank, qui dirige ce laboratoire, et M. le Prof. H. Jenny-Dürst. M. le Prof. Dr. J. Franel a bien voulu revoir notre texte, nous l'en remercions vivement.

Nous adressons également nos remerciements à la Société pour le développement de l'Economie nationale suisse, qui subventionne le laboratoire.

### Energie-Ausnützung und Wirkungsgrad von Luftfahrzeugen.

Von Dr. Ing. A. PRÖLL, Hannover.

Die Energieausnützung, die bei allen technischen Anlagen eine mehr oder weniger ausschlaggebende Rolle spielt, ist merkwürdigerweise bei Luftfahrzeugen noch nicht so beachtet worden, vielleicht weil hier zunächst der elementarere Gesichtspunkt der Sicherheit — ja der Möglichkeit des Fliegens überhaupt — sodann aber die Ausnützung höchster Geschwindigkeiten im Vordergrunde des Interesses standen. Wirtschaftliche Fragen sprachen dabei naturgemäß nicht oder nur in geringem Masse mit. Auch ist nicht zu übersehen, dass wegen der geringen Lebensdauer der Luftfahrzeuge, besonders ihrer Motoren, die Abschreibungsquote derart hoch angesetzt wird, dass die Kosten einer Luftreise hierdurch meist stärker beeinflusst werden, als durch den Betriebsmittel-Verbrauch.

Mit dem Anwachsen des Luftverkehrs und dem Bau leistungsfähiger und kräftiger Metallflugzeuge, die eine gegen früher sehr viel längere Lebensdauer haben, ist aber wieder die Wirtschaftlichkeit mehr beachtet worden, und die Luftverkehrsgesellschaften suchen jetzt neben dem Bestreben nach Steigerung der Reisegeschwindigkeit die Flugzeuge zu vergrössern, um die Kosten pro Fluggast und Flugkilometer herabzusetzen.

Es handelt sich also hier vor allem um den Transportfaktor des Luftfahrzeugs. Bisher verstand man darunter eine Grösse von der Formel

$$T = \frac{\text{Nutzlast} \times \text{Geschwindigkeit}}{\text{aufgewandte Leistung}} = \frac{G_n v}{L} \quad \dots \quad (1)$$

Wenn wir alle Einheiten in kg, m und sek, also auch die Leistung nicht in PS, sondern in kgm/sec ausdrücken, ist dieser Transportfaktor ein absoluter Zahlenwert, der

<sup>24)</sup> Voir par exemple: Pigeaud, Résistance des matériaux et Elasticité, 1920, p. 718.

Tableau II. Comparaison des valeurs de  $\sigma_1$  et  $\sigma_2$  calculées et obtenues expérimentalement.

X Cote du point considéré	$\sigma_1$ et $\sigma_2$ calculés par la Théorie de l'élasticité	$\sigma_1$ et $\sigma_2$ déterminés par la Méthode purement optique	$v$ Erreur exacte = différence des deux $\sigma$ ci-contre	$v^2$	Valeur moyenne des erreurs de $\sigma_1$ et $\sigma_2$ calculée d'après les erreurs exactes $v$ = $\sqrt{\frac{\sum v^2}{10}}$ kg/mm <sup>2</sup>	$M_{\sigma_1}^2$ et $M_{\sigma_2}^2$ (voir les valeurs de $M_{\sigma_1}$ et $M_{\sigma_2}$ au Tableau I)	Valeur moyenne des erreurs de $\sigma_1$ et $\sigma_2$ calculée d'après les erreurs moyennes = $\sqrt{\frac{\sum M_{\sigma_i}^2}{10}}$ kg/mm <sup>2</sup>
mm	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>				
+ 9,9	- 0,408	- 0,400	- 0,008	+ 0,000064		+ 0,001024	
+ 7,9	- 0,434	- 0,436	+ 0,002	+ 0,000004		+ 0,000009	
+ 5,9	- 0,518	- 0,551	+ 0,033	+ 0,001089		+ 0,00036	
+ 4,0	- 0,714	- 0,737	+ 0,023	+ 0,000529		+ 0,000784	
+ 2,2	- 1,253	- 1,207	- 0,046	+ 0,002116		+ 0,00064	
	$\sigma_1$	$\sigma_1$			$\pm 0,022$		$\pm 0,019$
+ 9,9	+ 0,136	+ 0,140	- 0,004	+ 0,000016	soit	+ 0,000841	soit
+ 7,9	+ 0,136	+ 0,129	+ 0,007	+ 0,000049	$\pm 1,8\%$ de la plus grande tension envisagée	+ 0,00004	$\pm 1,5\%$ de la plus grande tension envisagée
+ 5,9	+ 0,136	+ 0,116	+ 0,020	+ 0,000400		+ 0,00025	
+ 4,0	+ 0,136	+ 0,117	+ 0,019	+ 0,000361		+ 0,000625	
+ 2,2	+ 0,136	+ 0,146	-- 0,010	+ 0,000100		+ 0,00049	
	$\sigma_2$	$\sigma_2$			+ 0,004728	= $\Sigma v^2$	= $\Sigma M_{\sigma_i}^2$

nur die Tatsache ausdrückt, in welcher Weise eine gewisse Nutzlast bei bestimmter Geschwindigkeit fortbewegt wird, und wozu eine gewisse Leistung verbraucht wird. Er stellt also gewissermassen den Wirkungsgrad des Transportmittels (des Flugzeugs) als Ganzes dar.

Neben dieser Grösse, die nachher noch etwas näher betrachtet werden soll, ist aber bei Luftfahrzeugen noch eine andere von Bedeutung, nämlich das *Tragvermögen*, d. h. die Fähigkeit, eine bestimmte Last in gleicher Höhe schwebend zu erhalten. Theoretisch wäre dazu kein Energie-Aufwand, sondern nur eine konstante Kraft — Stützkraft — erforderlich, d. h. es muss eine gewisse Menge Energie dauernd erzeugt werden, um die potentielle (Lagen-) Energie des Flugzeugs aufrecht zu erhalten.

Als letzte wichtige Grösse kommt der eigentliche *Wirkungsgrad* der Antriebsvorrichtung im Sinne der Maschinentechnik, also das Verhältnis nutzbare Vortriebsleistung zu Gesamtleistung, in Frage. Dieser Ausdruck tritt bei Luftfahrzeugen naturgemäss weniger unmittelbar in Erscheinung, kann aber für die konstruktive Ausgestaltung doch von erheblicher Bedeutung sein.

Wenn wir nunmehr diese drei verschiedenen Grössen nach ihrer Bedeutung bei den verschiedenen Luftfahrzeugen betrachten, so ergeben sich schon beim Transportfaktor allerlei Bedenken. Man kann ihn nämlich in der ursprünglichen Form nur beim Vergleich gleichartiger Verkehrsmittel benutzen. Denn wenn man die Betrachtung auch auf andere Verkehrsmittel ausdehnt, kommt man zu recht eigenartigen Ergebnissen (Tabelle I).

Wenn nach oberflächlicher Betrachtung der Transportfaktor gewissermassen als ein Ausdruck für die Oekonomie des Verkehrsmittels betrachtet würde, so wäre der Kanalkahn

Tabelle I

Verkehrsmittel	Nutzlast <sup>1)</sup> kg	Geschwindigkeit m/sek	Leistung mkg/sek	Transport- faktor
Kanalkahn (von zwei Mann betrieben)	250 000	0,8	40	5000
Radfahrer . . . . .	80	8	20	32
D-Zug . . . . .	100 000	30	90 000 (1200 PS)	33
Schneldampfer . .	5 000 000	10	1 500 000 (20000 PS)	33
Flugzeug . . . . .	500	45	18 000 (240 PS)	1,25
Luftschiff . . . . .	8 000	32	90 000 (1200 PS)	2,83

<sup>1)</sup> ohne Betriebstoffe.

das beste, das Flugzeug aber das schlechteste Transportmittel. Das ist gewiss richtig, wenn nur nach der Billigkeit des Transports mit Rücksicht auf den Energie-Aufwand gefragt wird, aber ohne Rücksicht auf die Zeit und ihren Wert. Durch diese Unterbewertung der Zeit entsteht eben zweifellos ein krasses Missverhältnis. Wenn daher der Transportfaktor auch für ganz verschiedene Beförderungsmittel zu Vergleichszwecken Verwendung finden soll, so müssen wir erst versuchen, für unsere Verkehrsmittel und für die verschiedenen, im praktischen Leben in Betracht kommenden Bedürfnisse, ihn durch eine abgeänderte Formel zu verbessern. Hierzu muss vor allem das *Interesse am Zeitgewinn* in irgend einer Form bewertet werden.

Die oben angeführte Formel lässt den Kanalkahn auch ganz wesentlich günstiger als den Zugverkehr erscheinen. Dies zeigt schon, dass der gewählte Transportfaktor zu allgemein und höchstens für nicht eilige Güter brauchbar ist. Es mag wohl in früheren Jahrzehnten, als der Wert der Zeit noch nicht so gross war, diese Art der Wertung der Geschwindigkeit berechtigt gewesen sein. Heute steht fast bei jeder Ortveränderung die Geschwindigkeitsfrage an erster Stelle. Es ist daher gerechtfertigt, in den Transportfaktor eine Mindestgeschwindigkeit  $v_0$  einzufügen, deren Unterschreitung das Interesse verschwinden lässt und den Faktor zu Null macht. Die Höhe dieser Mindestgeschwindigkeit richtet sich nach den persönlichen Bedürfnissen des Reisenden, sowie auch nach der kürzesten Entfernung des Reiseziels, aber nicht nach der Bahn- oder Schiffsstrecke, die dorthin führt.

Aehnlich ist es auch mit der Nutzlast. Für den Einzelnen spielt sie im Personenverkehr eine geringe Rolle. Es wird zweckmässig sein, auch hier ein Mindestgewicht festzulegen, das etwa  $G_0 = 100 \text{ kg}$  (1 Person mit Handgepäck) betragen müsste, sofern der Verkehr überhaupt möglich sein soll (z. B. Fahrrad, Einsitzer-Flugzeug).

Auf diese Weise ergibt sich zwangslässig eine Formel für den Transportfaktor

$$T = \frac{(G_n - G_0)(v - v_0)}{L} \quad \dots \quad (2)$$

Hierin bedeuten  $v$  die Eigengeschwindigkeit (Reisegeschwindigkeit) des betreffenden Verkehrsmittels,  $v_0$  die erforderliche Mindestgeschwindigkeit, das ist also gewissermassen den Interessenfaktor, der vom Reiseziel-Abstand und der zugebilligten Reisezeit abhängt.

In dieser Form bietet der Transportfaktor in der Tat eine brauchbare Vergleichsbasis, die auch erkennen lässt, welches Verkehrsmittel unter den gegebenen Verhältnissen zur Erreichung des Zwecks am günstigsten ist. Weil dabei der wirkliche Energieverbrauch zugrunde gelegt wird, so bietet trotzdem der Transportfaktor die Möglichkeit zur Abschätzung auch der Oekonomie des Verkehrsmittels innerhalb der durch die Verhältnisse gebotenen Grenzen.

Eine Untersuchung solcher Fälle habe ich in einem Aufsatz in der „Verkehrstechnischen Woche“, Jahrg. 1926, Seite 653 ff., veröffentlicht. Hier sei nur ein Beispiel heraus-

gegriffen. Die mittlere Reisegeschwindigkeit nimmt bekanntlich bei den meisten Verkehrsmitteln mit dem wachsenden Reiseweg ab. Vergleichen wir daher für bestimmte Reisestrecken z. B. 500, 1000 und 2000 km, verschiedene Verkehrsmittel, so ergibt sich die Tabelle II, in der die Reisegeschwindigkeit des betreffenden Verkehrsmittels mit  $v_0$  eingesetzt ist. Wünscht man möglichst rasch zu reisen, so wird man bis etwa 1000 km, lediglich das kleine rasche Verkehrsflugzeug benützen können, weil alle andern Verkehrsmittel einen schlechteren Transportfaktor haben. Hat man aber mehr Zeit und ist eine geringere Reisegeschwindigkeit, etwa 50 km/h zulässig, so ist noch bei 500 km Reiseentfernung die Benützung der Eisenbahn weitaus zweckmässiger. Je grösser die Reiseentfernung, desto günstiger wird der Luftverkehr, und für ganz grosse Strecken über 2000 km wird unter den heutigen Verhältnissen schon das Luftschiff von grossem Aktionsradius an erster Stelle stehen, weil es die Geschwindigkeit durchhalten kann, ohne zur Ergänzung der Betriebsmittelvorräte den Flug unterbrechen zu müssen.<sup>1)</sup> In gleicher Weise werden wohl auch die Grossflugzeuge der Zukunft von etwa 1000 km an die übrigen Verkehrsmittel in Bezug auf den Transportfaktor übertreffen, und es ist nur eine Frage der weiteren Ausgestaltung, welches von den beiden Verkehrsmitteln dann den Vorrang erhalten wird.

Das *Tragvermögen* kann stets durch den Aufwand an Energie in Rechnung gestellt werden, die notwendig ist, um das Luftfahrzeug schwebend zu erhalten. Man kann es für ein Flugzeug als das Produkt aus seinem Gewicht und der „Sinkgeschwindigkeit“  $v_s$  darstellen, die das Flugzeug im gleichförmige Gleiten erreichen würde. Diese letzte Grösse ist aber gleich  $v_\epsilon$ , worin  $\epsilon$  den Gleitwinkel W/G und  $v$  die Vorwärtsgeschwindigkeit bedeutet. Somit ist das Tragvermögen

$$Q = G v_s = W v \quad \dots \quad (3)$$

also gleichbedeutend mit der gesamten Widerstandsleistung für den Vorwärtsgflug. Beim Flugzeug ist also die Tragleistung schon in der Flugleistung einbegrieffen, wird also gewissermassen von der durch die grosse Geschwindigkeit bedingten erheblichen Flugleistung gratis mitgeliefert, braucht somit nicht besonders in Rechnung gestellt zu werden.

Im Gegensatz dazu wird bei *Hubschrauben* (Schraubenfliegern), wie sie bisher freilich nur in wenigen Ausführungen Erfolg hatten, die ganze zugeführte Motorleistung lediglich zur Tragwirkung, bezw. zum langsamem Aufsteigen verwendet. Nur durch eine zusätzliche Vortriebschraube mit eigenem Motor ist eine geringe Vorwärtbewegung möglich. Hier sind die erforderliche Hubleistung  $N$ , das energetische Tragvermögen  $Q$  und das getragene Gesamtgewicht  $G$  durch die folgenden Beziehungen gegeben:  
 $N = C_1 n^3 D^5$ ,  $Q = G v_s$ ,  $G = C_2 n^2 D^4$ ,  $N = C_3 G^{3/2}/D$   
also in Abhängigkeit von der Drehzahl  $n$  und dem Durchmesser  $D$  der Hubschrauben.  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  sind Apparat-Konstanten, und die an sich sehr grosse Sinkgeschwindigkeit im Beharrungszustand (bei nicht drehenden Schrauben) ist hier von der Flächenbelastung  $G/F$  und der aerodynamischen Widerstandsform  $C_4$  des Hubschraubers abhängig:

$$v_s = C_4 \sqrt{G/F / 2g/\gamma} \quad \dots \quad (4)^2)$$

Die Schrauben erzeugen wegen ihrer grossen Kreisfläche einen abwärts gerichteten Luftstrom von viel klei-

<sup>1)</sup> Diese Gesichtspunkte gewinnen neuerdings bei der Frage des *Ozeanluftverkehrs* erhöhte Bedeutung. Es ist doch nicht zu leugnen, dass wir eine wichtige Entwicklungstufe im Weltverkehr, das *Luftschiff*, zu über-springen im Begriff stehen, anstatt die durch dieses gebotenen grossen Möglichkeiten erst einmal auszunützen! Durch mehrjährige Erfahrung mit dem heute schon vorhandenen betriebssicheren Grossluftschiff wäre dann der Boden für den Ozean-Flugzeugverkehr in jeder Beziehung viel besser vorbereitet. Auf die hervorragende Eignung des Luftschiffes weist auch der für etwas geringere Reisegeschwindigkeiten  $v_0$  sehr hohe Transportfaktor hin, wie aus graphischen Darstellungen übersichtlich hervorgeht. Dazu kommt noch der hier besonders wichtige enorme Betriebstoffvorrat, der aber in den obigen Vergleichen ausdrücklich ausser Ansatz geblieben ist. Eine entsprechende Erweiterung der Formel (2) wäre unschwer durchzuführen.

<sup>2)</sup>  $\gamma$  = spezifisches Gewicht der Luft.

Tabelle II. Reisegeschwindigkeit  $v_0$ .

	Nutzlast	Bei einem Reiseweg von		
		500 km	1000 km	2000 km
D-Zug . . . . .	kg	km/h	km/h	km/h
Kleineres Verkehrsflugzeug .	100 000	70	40	25
Grosses mehrmotor. Flugzeug .	500	145	120	90
Luftschiff . . . . .	1600	120	110	95
	8 000	100	100	100

Tabelle III. Transportfaktoren nach Gleichung 2.

	Reiseweg 500 km bei $v_0 = 60 \text{ km/h}$	Reiseweg 1000 km bei $v_0 = 96 \text{ km/h}$
D-Zug . . . . .	3,08	—
Kleines Verkehrsflugzeug . .	0,53	0,15
Grosses Verkehrsflugzeug . .	0,52	0,12
Luftschiff . . . . .	0,98	0,10

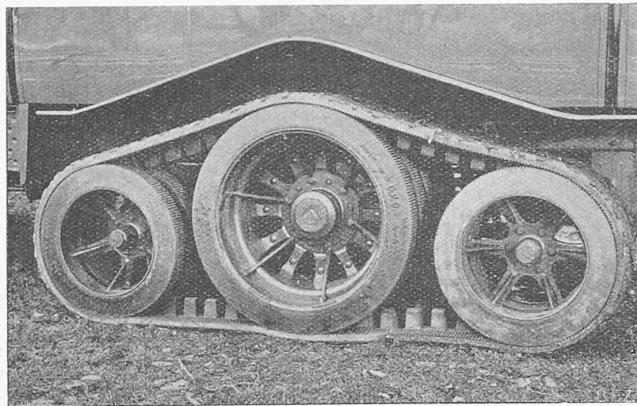


Abb. 1. Raupenantrieb mit Gummiband nach Nyberg.

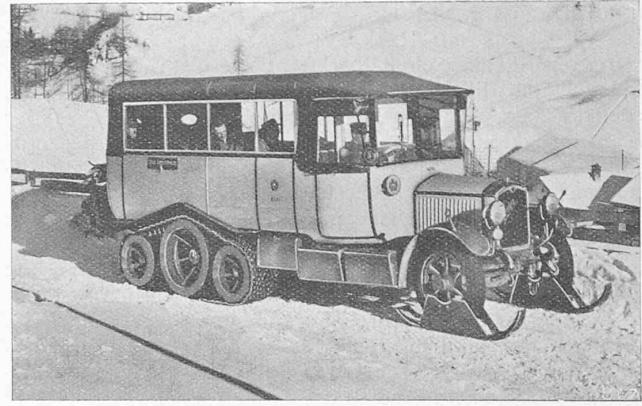


Abb. 3. Schweiz. Autopost mit Gummiband-Raupenantrieb.

nerer Geschwindigkeit, dessen „Impuls“ aber zur Erhaltung der Schwebefähigkeit des Apparates genügt. Je grösser der Schraubendurchmesser ist, desto kleiner ist bei gegebenem Gesamtgewicht  $G$  die erforderliche Hubleistung  $N$  (wobei allerdings das mit  $D$  anwachsende Schraubengewicht sehr bald der Vergrösserung von  $D$  ein Ziel setzt).

Der Vorteil des Hubschraubers, senkrecht ansteigen und landen zu können, wird daher durch einen erheblichen Aufwand an Tragenergie erkauft. So hatte beispielsweise das von der österreichischen Heeresverwaltung 1917 erbaute Fesselschraubenflugzeug (System v. Kármán-Zurovetz) bei einem Gesamtgewicht von 1400 kg und einer Nutzlast von 250 kg den Antrieb durch drei Le-Rhône-Motoren von je 120 PS nötig. Es ist tatsächlich wiederholt mit Besatzung bis 50 m hoch gestiegen. Jedenfalls kann aber ein solcher Hubschrauber wegen der sehr schlechten Oekonomie für die Vorwärtsbewegung und wegen seiner schwierigen Stabilitätsverhältnisse nur in besondern Fällen von Nutzen sein.

Da ist es nun von hohem Interesse, dass neuerdings in dem *Windmühlenflugzeug* (Autogiro) von *La Cierva* ein Apparat entstanden ist, der gewissermassen die Vorteile beider Flugzeuggarten in sich vereinigt (siehe Abbildung). Von besonderem Interesse bei diesem Flugzeug ist die Energie-Ausnutzung. Es wird durch einen gewöhnlichen Motor und Propeller getrieben, aber die sich drehenden Flügel erzeugen dabei einen ungewöhnlich grossen Auftrieb, der ein sehr steiles Landen mit ungewöhnlich kleiner Geschwindigkeit gestattet. Die Flügel werden durch den Tragwind gedreht, wirken also nicht wie nur motorisch angetriebene Hubschrauben. Wie ist es möglich, dass der grosse Auftrieb ohne weitern Energieaufwand zustande kommt? Wir müssen uns vorstellen, wir hätten hier ein Flugzeug mit sehr grossem Auftriebs-Koeffizienten (z. B. ein Schlitzflügelflugzeug) und entsprechendem Widerstand, wie dies ja auch die Polarkurve des rotierenden Flügelsystems aufweist, oder dann mit entsprechend vergrösserter Fläche. In diesem Falle ist aber die geringe Fluggeschwindigkeit ohne weiteres erklärlich, denn die Grundformel des Auftriebs:

$$G = c_a \frac{\gamma}{2g} v^2 F \text{ führt auf } v = \sqrt{G/F} \sqrt{2g/\gamma} \sqrt{1/c_a}$$

Beim La Cierva-Flugzeug ist<sup>1)</sup>  $G = 800 \text{ kg}$  und  $F = 95 \text{ m}^2$ . Die Versuche haben für die Polare die Luft-Koeffizienten

$c_{a \max} = 0,73$ ,  $c_w = 0,51$  und  $c_r = \sqrt{c_a^2 + c_w^2} = 0,89$  ergeben. Der sehr hohe Wert von  $F$  erklärt sich dadurch, dass die Koeffizienten  $c_a$  und  $c_w$  auf die ganze überstrichene Kreisfläche von 11 m Durchmesser bezogen worden sind. Demgemäß ist aber der Widerstands-Koeffizient des sogenannten schädlichen Widerstandes der nicht tragenden Teile sehr klein  $\sim 0,007$  und kann für diese Betrachtung vernachlässigt werden. Bei Einführung der vorstehenden Koeffizienten ergibt sich nun im Horizontalflug

$$v_{\min} = 13,6 \text{ m/sec.}$$

Dagegen ist die kleinste Gleitgeschwindigkeit bei abgestelltem Motor

$$v_{ge} = \sqrt{G/F} \sqrt{2g/\gamma} \sqrt{1/c_r} = 12,3 \text{ m/sec,}$$

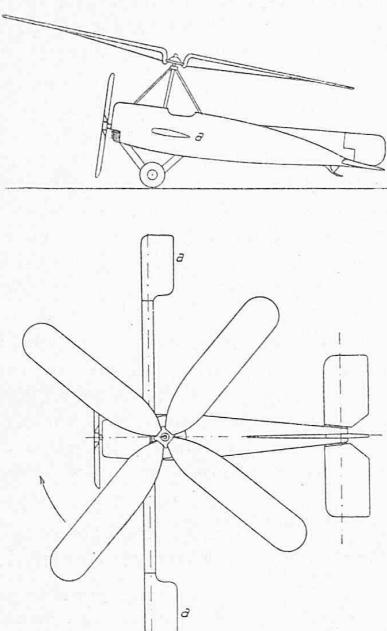
die Sinkgeschwindigkeit mit

$$v_s = \sqrt{G/F} \sqrt{2g/\gamma} \sqrt{\frac{c_w^2}{c_r^3}} = 7,4 \text{ m/sec}$$

verhältnismässig sehr hoch, daher die Landung sehr steil, d. h. „fahrstuhlgartig“. Das „Tragvermögen“ ist sodann  $800 \times 7,4 = 5900 \text{ mkg/sec}$ . Die Schraubenleistung (120PS, Propeller- $\eta \sim 0,65$ ) beträgt ebenfalls 5900 mkg/sec, wird somit auch hier restlos in Tragvermögen (gleichbedeutend mit der Flugleistung) umgesetzt. Die Energie, die zum Drehen der Flügel erforderlich ist, kommt aber in dem erheblich erhöhten Widerstand (Widerstandsleistung) und der dadurch bedingten kleinern Geschwindigkeit zum Ausdruck. Sicherlich würde das Flugzeug bei festgehaltenen Flächen mit grösserer Geschwindigkeit fliegen müssen, um sich schwebend zu halten, es würde aber auch diese grössere Geschwindigkeit mit der gleichen Motorleistung erreichen können, weil die Drehleistung der Flügel fortfällt.

Das Windmühlen-Flugzeug ist ein schönes Beispiel dafür, wie die Vortriebsenergie, die gewöhnlich wegen des erforderlichen Tragvermögens zu oft unerwünscht hohen Fluggeschwindigkeiten Veranlassung gibt, umgewandelt werden kann in Hubleistung, und damit gleichzeitig zu der erwünschten Ermässigung der Fluggeschwindigkeit führt.

Ein solcher Vorgang würde auch für den Start von Flugzeugen von grossem Werte sein, um die Startstrecke abzukürzen und dadurch Schwierigkeiten zu umgehen, die sich vielfach bei kleinen Flugplätzen zeigen. Weil nun die Windmühlenflügel des genannten Flugzeuges erst längere Zeit brauchen, um die erforderliche Drehzahl und den Hub durch den Fahrtwind zu bekommen, wirft man sie vorher an, durch Abziehen eines Seiles wie beim Kreisel. Man bringt also zusätzliche Energie von aussen her in das Flug-



Autogiro-Flugzeug von La Cierva.

<sup>1)</sup> Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt, 1926, S. 72.

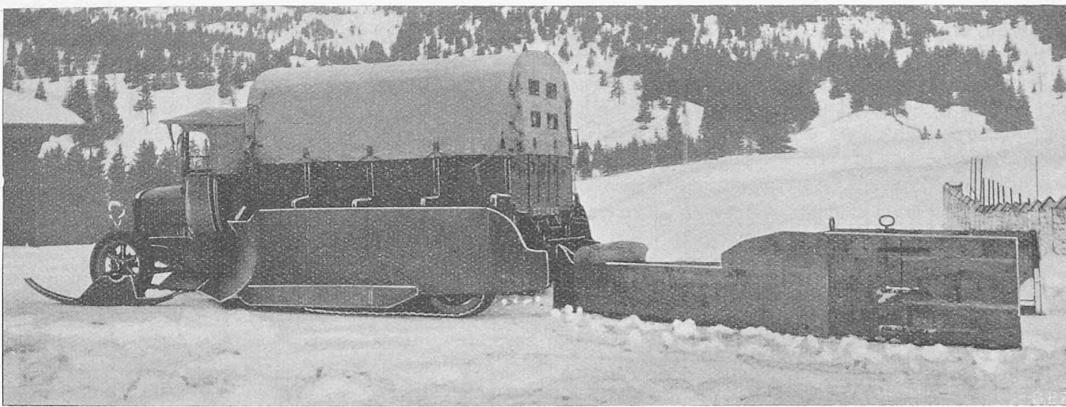


Abb. 2. Raupenbandwagen mit Schnepfplug der Schweizerischen Postverwaltung auf der Strecke Chur-Lenzerheide.

zeug, um den Start zu beschleunigen. Der Gedanke liegt nahe, auch bei andern Flugzeugen nach Verfahren Umschau zu halten, die den Start durch äussere Energiezufuhr erleichtern. Besonders wertvoll wäre es, wenn dies in einer handlichen Einrichtung ausführbar wäre, die an Flugplätzen und Notlandeplätzen in Benützung genommen werden könnte. Bisher sind in dieser Beziehung nur die *Katapult-Startmethode* der Gebr. Wright und der Druckluft-Katapult amerikanischer Marineflugzeuge bekannt geworden; auch das Starten von Segelflugzeugen mittels Gummiseil fällt in dieses Gebiet. Hier wird tatsächlich von aussen Energie zugeführt, um den Start zu ermöglichen.

Aber diese Vorrichtungen sind an einen bestimmten Ort für den Start gebunden und erfüllen daher die Bedingung nicht, überall anwendbar zu sein. Man könnte vielleicht daran denken, diejenige Energie aufzuspeichern, die vor dem Start beim „Abbremsen“ des Motors nutzlos verbraucht wird und diese während des Startvorgangs in zusätzliche Zuleistung umzuwandeln, wozu sich wohl Einrichtungen erdenken liessen.

Der *Wirkungsgrad* =  $\frac{\text{Nutzleistung}}{\text{Gesamtleistung}} = \frac{Wv}{N} = \eta$  beurteilt im wesentlichen die Güte des Vortriebsmechanismus (Propeller). Er ist beim üblichen Schraubenpropeller bekanntlich von vielen Faktoren abhängig, die einerseits mit der Form, Grösse, Belastung und Drehzahl der Schraube in Verbindung stehen, dann aber auch von Flugzeugeigenschaften (wie Geschwindigkeit, Rumpfform, auch gegenseitige Störung bei mehreren Schrauben, die zum Teil sehr erheblich sein kann) abhängen. Im allgemeinen kann man mit Schraubenwirkungsgraden von höchstens 60 bis 70% rechnen, und daher ist jede Verbesserung dieser Zahl als wertvoll zu begrüssen; nur darf man nicht in den Fehler verfallen, diese Verbesserung allein bei der Schraube zu versuchen. Denn ähnlich wie im Schiffbau die Ueberzeugung sich immer mehr durchsetzt, dass nur das System (Schiff + Schraube) als Ganzes betrachtet werden darf (wegen der gegenseitigen Beeinflussung, „Sog und Vorstrom“), ist es auch beim Luftfahrzeug. Daher gewinnen auch die *Modellversuche im Windkanal* mit laufender Schraube (die allerdings den Modellgesetzen entsprechend sehr hohe Drehzahlen, bis 30 000, ausführen muss) wachsende Bedeutung. Ebenso sind die Bestrebungen wertvoll, den Propeller den jeweiligen Verhältnissen anzupassen (Verstell-Propeller für veränderliche Steigung, insbesondere für Höhenflüge).

Auch die stets wiederkehrenden Versuche, Flugzeuge durch *Schwingenpropeller* anzutreiben, müssen von ähnlichen Gesichtspunkten aus gewertet werden. Eine solche Vorrichtung kann nur organisch mit dem Flugzeug verbunden werden und erfordert einen besonders gearteten Antriebsmotor, der die langsame Schwingbewegung ohne schwere und energieverzehrende Uebersetzungsgetriebe betätigt. Wenn auch für normalen Flugverkehr etwas dergartiges zur Zeit jedenfalls nicht in Frage kommt, so ist der Gedanke doch nicht abzuweisen, eine solche Vorrich-

tung als Hülfsantrieb für Segelflugzeuge zu versuchen, zur vorübergehenden Ueberwindung von Flauten, Abwindzonen und dergleichen. Ein solcher Antrieb würde sich auch voraussichtlich dem Segelflugzeug organisch besser anpassen lassen als ein Schraubenpropeller, der die Segel-eigenschaften des Flugzeugs doch immer sehr stört. Versuche in dieser Rich-

tung sind schon oft, freilich bisher stets mit negativem Erfolg, gemacht worden. Die Ursache lag meistens in unsachgemässer Ausführung und in Material-Schwierigkeiten, da die Massenwirkungen bei einem bewegten Schwingen-antrieb sehr schwierig zu meistern sind. Es ist aber doch nicht ausgeschlossen, dass in Zukunft einmal auch auf diesem Gebiet eine brauchbare Konstruktion gefunden wird.

### Vom schweizerischen Postautobetrieb im Winter.

Nach einer kurzen aber glänzenden Entwicklungszeit ist der Postautomobilien bald auf dem Punkte angelangt, wo auch das letzte Pferdepöstlein im abgelegenen Bergtale verschwinden wird. Nur eine Naturgewalt vermochte bisher dieser Entwicklung Einhalt zu gebieten — der Schnee. Wenn also die Postverwaltung nicht darauf verzichten wollte, das Verkehrsleben im Winter durch rasche und bequeme Transportmöglichkeiten zu heben, so musste sie Mittel und Wege finden, um mit Automobilen über oder durch den Schnee zu kommen.

Die Versuche in dieser Richtung gehen schon auf mehrere Jahre zurück. Einige Aussicht auf Erfolg hatten sie allerdings erst, nachdem der schwedische Postwerkmeister Nyberg ein Raupenband-Aggregat erfunden hatte, bei dem die vorher bei den Raupenband-Antrieben auftretenden Mängel teilweise vermieden werden konnten. Wohl hatten die französischen und italienischen Militärbehörden schon kurz nach dem Kriege versucht, die sogenannten Tanks mit ihren Stahlraupen als Winter-Transportmittel zu verwenden: der Versuch scheiterte aber am Umstand, dass sich zwischen den eisernen Teilen der Raupe und des Antriebs der Schnee zusammenballte, sofort gefror und dann auch die stärksten Stahlbänder zerriss. Proben mit Einrichtungen, bei denen Stahl auf Gummi arbeitete, hatten ebensowenig Erfolg. Nyberg erkannte diese Mängel und ging zum Prinzip über, den Antrieb der Gummiraupe durch Gummiräder vorzunehmen. Der damit erfolgte Fortschritt war ganz erheblich, da zwischen den Gummischichten des Antriebs und des Bandes der Schnee fortwährend weggeschafft, und dadurch ein vorzeitiges Zerstören des Gummibandes und der Antriebsteile vermieden wurde.

Als Antrieborgan verwendete Nyberg die normalen Triebräder des Wagens, die zu diesem Zweck mit drei profilierten Vollgummireifen versehen wurden. Mit Ausgleichhebeln und Federn ist mit den Treibrädern vorn und hinten je ein weiteres Räderpaar verbunden. Während das vordere Räderpaar durch eine Kette ebenfalls angetrieben wird, dient das hintere lediglich zur Bandführung und zur Erhöhung der Bodenadhäsion der Bänder. Diese sind mit zwei Reihen Gummistollen ausgerüstet, die zwischen den Vollgummireifen laufen. Da die dadurch entstehende Reibung für die Mitnahme der Bänder bei starker Beanspruchung nicht genügt, sind in den Umfang der Gummireifen und der Gummibänder Rillen von gleicher Grösse geschnitten.

Das Aggregat arbeitet in der Weise, dass die vordern, mittlern und hinteren Räderpaare frei beweglich sind und sich den Strassen-Unebenheiten anpassen können. Da es leicht vom Chassisrahmen weggenommen werden kann, sind die Fahrzeuge ohne Änderung der Karosserie im Sommer ebenfalls verwendbar. Darin und im Umstand, dass apere Strassenstellen mit dem Raupenband ohne