

# Ein graphisches Hilfsmittel zur Konstruktion von Geschwindigkeitsdreiecken

Autor(en): **Miesch, Hans**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **69 (1951)**

Heft 47

PDF erstellt am: **26.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-58966>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

men. Die «technische Phantasie» macht also keine Kapriolen, sondern arbeitet nach einem zwangsläufigen Gesetz. Damit hat sie wohl verdient, auch vom mathematisch nüchtern urteilenden Techniker anerkannt zu werden.

Welchen Wert haben nun aber die mit Phantasie begabten Techniker für die Wirtschaft? Die Phantasie ist meist Ausfluss eines unruhigen Pioniergeistes, der aus eigener Kraft, losgelöst von Ueberlieferung und Routine, schöpfen möchte und dies wenn nötig auch gegen gute Ratschläge, bessere Einsicht und gegen den Strom schwimmend tun wird. Der Pionier ist daher für seine Umgebung meist unbequem und in der Praxis oft nicht sehr geschätzt. Während der Routinier problemlos seine gelernten Kenntnisse rasch und sicher praktisch anwendet, grübelt der Pionier an neuen Lösungen herum, die, wenn sie — selten genug — zur Ausführung kommen, oft wegen Kinderkrankheiten erst noch Aerger und wirtschaftlichen Verlust verursachen. Trotzdem ist der Pionier für den technischen und damit wirtschaftlichen Fortschritt unerlässlich, und er wird am Ende doch anerkannt, während der Routinier nach relativ kurzer Periode des Erfolges der unmerklich veränderten Entwicklung nicht mehr zu folgen vermag und zuletzt als überlebter Kauz bemitleidet wird.

Zum Glück sind die meisten Menschen keine reinen Pioniere und auch keine reinen Routiniers. Es obliegt der

Selbstkontrolle des Einzelnen, die optimale Synthese anzustreben, so dass er weder als Querulant noch als rückständig zu gelten hat. Zum Glück bedarf unsere Wirtschaft auch beider Typen, wenn sie sowohl auf der Höhe der Entwicklung bleiben als auch rationell arbeiten will. Der Mann am Steuer wird also darauf Bedacht nehmen, dass sein Fahrzeug sowohl über einen leistungsfähigen Motor wie auch über gute Bremsen verfügt.

Die Frage, ob der technische Fortschritt überhaupt erwünscht ist, kann natürlich nur individuell beantwortet werden. Jeder technische Fortschritt bedeutet einerseits Anstrengung, nicht nur für den Pionier, sondern für alle, die seine Idee verwirklichen, und andererseits Unruhe für die Konkurrenten, die vorerst die Neuerung nicht akzeptieren wollen und es schliesslich kraft des Wettbewerbsprinzips doch müssen. Andererseits bringt der technische Fortschritt im Sinne bestmöglicher Leistung bei geringstem Arbeitsaufwand eine allgemeine Hebung des Lebensstandards und die Milderung wirtschaftlicher Sorgen für viele Bevölkerungskreise.

Nicht nur unsere tägliche Anstrengung, sondern auch das Mass an jugendlichem Geist entscheidet, ob der alte Erdteil mit jüngeren Nationen Schritt halten wird oder ob er auf dem heutigen technischen und wirtschaftlichen Stande mehr oder weniger stillsteht und damit auch seine technische Führerrolle verliert.

## Ein graphisches Hilfsmittel zur Konstruktion von Geschwindigkeitsdreiecken

Von Dipl. Ing. HANS MIESCH, Yverdon

DK 621—135

Die Geschwindigkeitsdreiecke sind eine wichtige Unterlage bei der Festlegung der Schaufelungen von Turbinen sowie von Turbo- und Axialkompressoren. Bei der Wahl dieser Dreiecke muss man auf viele Einflüsse und Bedingungen achten, und oft ist es schwer, angesichts der vielen Möglichkeiten die Uebersicht zu wahren. Besonders unübersichtlich werden die Verhältnisse bei verstellbaren Schaufeln. In solchen Fällen leistet die nachfolgend beschriebene  $R$ - $q$ -Tafel gute Dienste. Die beigefügten einfachen Beispiele sollen mit dem Gebrauch der Tafel vertraut machen. Die Zeichnungen und Betrachtungen gelten für Axialkompressoren<sup>1)</sup>; sie lassen sich aber sinngemäss auch auf Turbinen übertragen.

### 1. Die $R$ - $q$ -Tafel

Wir beziehen alle Geschwindigkeiten auf die Umfangsgeschwindigkeit  $u$  und erhalten nach Bild 1

den Reaktionsgrad  $R = w_{u\infty}/u$

den Koeffizienten der Meridiangeschwindigkeit  $\varphi = c_m/u$

den Wert  $\tau = \Delta w_u/u$  wobei  $\Delta w_u = w_{u1} - w_{u2} = c_{u2} - c_{u1}$

sowie die Grössen  $Kw_\infty = w_{u\infty}/u$  und  $Kc_\infty = c_{u\infty}/u$

Das gestrichelte Dreieck mit den Seiten  $Kw_\infty$ ,  $Kc_\infty$ , 1 stellt das Skelett eines Geschwindigkeitsdreiecks in der dimensionslosen Schreibart dar. Als solches wird es in der Tragflügeltheorie benutzt und ist eindeutig bestimmt durch  $R$  und  $\varphi$ . Mit  $\tau$  lässt es sich zum bekannten Geschwindigkeitsdreieck vervollständigen.

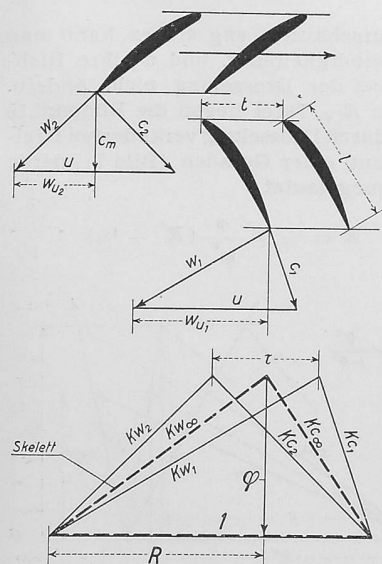


Bild 1. Bezeichnung der Geschwindigkeitsdreiecke

<sup>1)</sup> Vgl. etwa Traupel, Walter: Neue allg. Theorie der mehrstufigen axialen Turbomaschine. Diss. ETH, Zürich 1942.

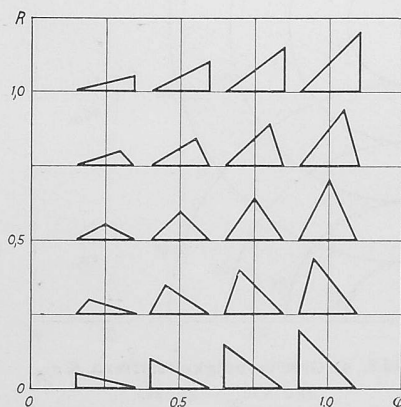


Bild 2. Skelette von Geschwindigkeitsdreiecken in der  $R$ - $q$ -Tafel

In einem rechtwinkligen Koordinatensystem mit  $R$  als Ordinate und  $q$  als Abszisse gehört nun zu jedem Punkt ein ganz bestimmtes Skelett. Man kann sich das nach Bild 2 leicht vorstellen.  $q$  gibt ein Mass für das geförderte Volumen und, falls  $q$  konstant, auch für das Fördergewicht.

### 2. Der Profilwirkungsgrad

Gestützt auf die Tragflügeltheorie, kann man den Profilwirkungsgrad wie folgt anschreiben:

$$(1) \quad \eta = \varphi \left[ \frac{(1-R) - \varphi \varepsilon_1}{\varphi + (1-R) \varepsilon_1} + \frac{R - \varphi \varepsilon_2}{\varphi + R \varepsilon_2} \right]^2$$

worin bedeuten:

$\varepsilon = C_w/C_A$  die Gleitzahl

$C_A$  den Auftriebskoeffizienten

$C_w$  den Widerstandskoeffizienten

Es möge  $\varepsilon$  zu 0,02 für Leit- und Laufschaufeln angenommen werden. Dann kann man in der  $R$ - $q$ -Tafel die Muschelkurven gleichen Wirkungsgrades ziehen (Bild 3) und für jedes Geschwindigkeitsdreieck sofort den Wirkungsgrad ablesen. Die günstigsten Verhältnisse findet man, wie bekannt, beim symmetrischen Dreieck mit  $R = 0,5$  und  $\varphi = 0,5$ .

### 3. Die Schaufelverdrehung

Die Umfangsgeschwindigkeit nimmt vom Schaufelfuss zur Spitze hin zu. Um gleichwohl über die ganze Schaufellänge den selben Energieumsatz zu erhalten, werden die Schaufeln von der Nabe zur Spitze hin verdreht, etwa so, dass das Produkt  $c_u \cdot r = \text{konstant}$  bleibt. Entsprechend an-

<sup>2)</sup> Die Beziehung (1) wird von Prof. H. Quiby in seiner Vorlesung an der ETH Zürich über Turbokompressoren hergeleitet.

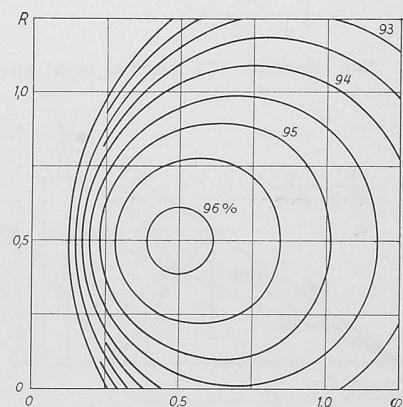


Bild 3. Profilwirkungsgrad für  $\varepsilon = 0,02$





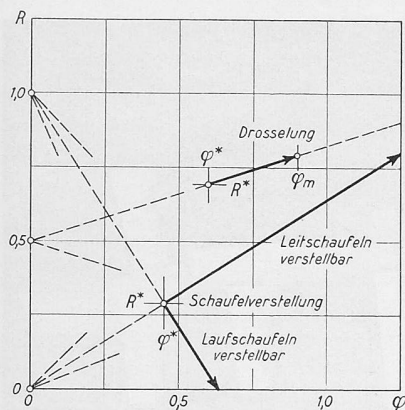


Bild 10. Drosselung und Schaufelverstellung

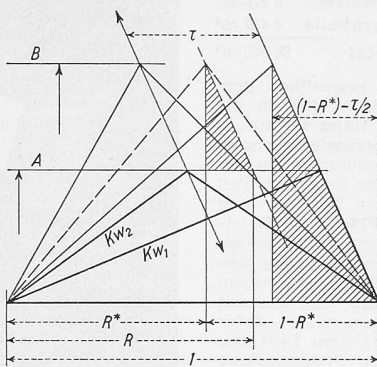


Bild 11. Ableitung zu Gleichung (15)

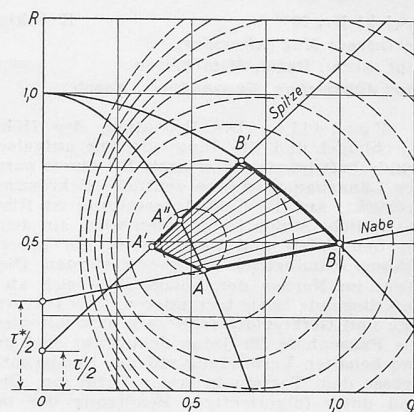


Bild 12. Leitschaufelverstellung und Drosselung auf konstanten Druck bei konstanter Drehzahl

Mit  $R^*$ ,  $\varphi^*$  ist das Ausgangsdreieck bezeichnet. Die Strecke endet in einem Punkt, der bestimmt wird durch:

$$(10) \quad \varphi_m = \varphi^* / (1 - \tau^*)$$

wie man aus Bild 7 leicht ersieht. Das Verfahren lässt sich in ähnlicher Weise auch auf grosse Schaufelteilungen anwenden (Bild 10)<sup>3)</sup>.

### 8. Schaufelverstellung

Wenn man an eine feste Drehzahl gebunden ist, kann man das Fördervolumen durch Verstellen der Schaufeln verändern. Man wird entweder die Laufschaufeln verstellen und die Leitschaufeln festhalten, oder auch umgekehrt. Im ersten Fall und bei enger Teilung der Leitschaufeln bleibt die Richtung von  $c_1$  und  $c_2$  erhalten, wie auf Bild 9 dargestellt ist.

In der  $R$ - $\varphi$ -Tafel liegen die Bildpunkte der Dreiecke eines Meridianschnittes wiederum auf Geraden, deren Gleichung lautet:

$$(11) \quad R = 1 - \frac{\varphi}{\varphi^*} (1 - R^*)$$

falls nur die Laufschaufeln verstellt werden, und

$$(12) \quad R = \frac{\varphi}{\varphi^*} R^*$$

falls nur die Leitschaufeln verstellt werden, und wo  $R^*$ ,  $\varphi^*$  das Ausgangsdreieck kennzeichnen.

Werden bei konstanter Drehzahl die Schaufeln verstellt, so ändert sich allerdings nicht nur das Durchsatzvolumen, sondern auch der Enddruck. Will man den Enddruck konstant halten, so muss man den Einlass- oder Auslassquerschnitt ändern, also zusätzlich drosseln. Für diesen praktisch wichtigen Fall sollen nachfolgend noch kurz die Verhältnisse betrachtet werden.

### 9. Schaufelverstellung und Drosselung auf konstanten Druck bei konstanter Drehzahl

Wir nehmen zunächst an, dass nur die Leitschaufeln verstellt werden; weiter mögen die Laufschaufeln so eng stehen, dass die Austrittsgeschwindigkeit ihre Richtung beibehält, auch wenn die Leitschaufeln ihre Stellung ändern. Nun ist der Drucksprung in einer Stufe gegeben durch:

$$(13) \quad \Delta p = \rho/2 \tau u^2$$

Wird druckseitig gedrosselt, dann bleibt  $\rho$  konstant. Konstanter Druck bedeutet dann konstantes  $\tau$ . Damit ist aber die Geometrie der Dreiecke eines Meridianschnittes bei der Schaufelverstellung festgelegt. Bild 11 diene als Beispiel für die Laufschaufelverstellung. In der  $R$ - $\varphi$ -Tafel liegen die Dreiecke auf einer Geraden, die durch folgende Gleichungen gegeben ist:

$$(14) \quad R = \frac{\tau}{2} + \frac{\varphi}{\varphi^*} \left( R^* - \frac{\tau}{2} \right)$$

für Leitschaufelverstellung, und

<sup>3)</sup> Bezüglich der Geometrie solcher Dreiecke vergleiche Wislicenus, George: Fluid Mechanics of Turbomachinery. McGraw-Hill, New York 1947. S. 247.

$$(15) \quad R = \left( 1 - \frac{\tau}{2} \right) + \frac{\varphi}{\varphi^*} \left[ R^* + \left( \frac{\tau}{2} - 1 \right) \right]$$

für Laufschaufelverstellung.  $R^*$ ,  $\varphi^*$  kennzeichnen wiederum das Ausgangsdreieck.

In Bild 12 bezeichnen A und B die Endpunkte, zwischen denen gearbeitet werden soll. Die zugehörigen Werte  $\varphi$  sind ein Mass für die in beiden Endpunkten geförderten Volumina. Mit der Strecke A-B sind alle Dreiecke erfasst, die beim Verstellen am Schaufelfuss auftreten.

Jetzt wollen wir uns die bisherigen Erkenntnisse zunutze machen.

Die Schaufel sei — gestützt auf das Nabendreieck im Punkt B — von der Nabe zur Spitze hin gemäss  $cu \cdot r = \text{konstant}$  verdreht worden. Die zugehörigen Dreiecke längs der Schaufel liegen, wie wir bereits gesehen haben, auf dem Parabelstück BB' (Bild 12), wobei sich die Radien Nabe/Spitze wie 2/3 verhalten mögen. Um unser Beispiel anschaulicher zu machen, werde zudem das  $\tau$  an der Nabe zu 0,6 angenommen. Das  $\tau$  an der Spitze folgt aus Gleichung 1a. Nun sind wir mittels der Beziehung (14) in der Lage, die Arbeitsgerade auch für die Spitze zu zeichnen. Wird so mit jedem Punkt zwischen BB' verfahren, so überdeckt schliesslich die schraffierte Fläche AA'BB' sämtliche auftretenden Dreiecke.

Legt man diese Fläche über die Muschelkurven der Profilverwirkungsgrade, so hat man eine vollkommene Uebersicht über die Wirkungsgrade für jede Arbeitsstellung der Schaufeln und für jeden Meridianschnitt einer Stufe. Entsprechend könnte man diese Fläche AA'BB' über die Geschwindigkeitskurven (Bild 8) legen und hätte ein gutes Bild von der Geschwindigkeitsverteilung.

Man sieht ferner, dass die Verdrehung der Schaufel längs des Radius nur längs der Strecke BB' korrekt ist. Im Arbeitspunkt A ergäbe die korrekte Verdrehung Dreiecke längs AA'', während sie tatsächlich auf AA' liegen. Dort ist also das Produkt  $cu \cdot r$  nicht mehr konstant, wie ursprünglich verlangt wurde. Man kann aber gerade mit dieser Darstellungsart Gebiete ausfindig machen, wo die Abweichung minimal wird. Gleichzeitig hat man es in der Hand, auf einfachste Weise zu überprüfen, ob nicht etwa in irgend einer Stellung andere Bedingungen verletzt werden, z.B. ob die Schallgeschwindigkeit überschritten wird oder das Verhältnis  $w_2/w_1$  nicht mehr befriedigt. Gerade wo die Verhältnisse wenig übersichtlich sind, zeigen sich die Vorteile einer Darstellung in der  $R$ - $\varphi$ -Tafel.

Der Weg bleibt immer der gleiche: man sucht die geometrische Veränderung der Geschwindigkeitsdreiecke analytisch in  $R$  und  $\varphi$  auszudrücken und stellt die gefundene Beziehung in der  $R$ - $\varphi$ -Tafel dar.

## Wettbewerb für ein Primar- und Realschulhaus in Gelterkinden

Aus dem Programm

DK 727.1 (494.23)

Auf dem erhöht über der Ortschaft gelegenen Areal sollen die Neubauten in sinnvoller Gruppierung mit den nötigen Freiflächen so projektiert werden, dass bei etappenweiser Erstellung der Schulbetrieb nicht erheblich gestört wird. Der