

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 76 (1958)  
**Heft:** 22

**Artikel:** Beitrag zur Gitterbetrachtung im Lüfterbau  
**Autor:** Vasiljevic, C.S.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-63985>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 03.02.2025

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

## Beitrag zur Gitterbetrachtung im Lüfterbau

DK 621.63

Von Dr.-Ing. C. S. Vasiljevic, Stäfa

Die Aufgabe jeder Strömungsmaschine besteht darin, eine Energieübertragung zwischen einem rotierenden Gitter und einem Medium zu bewirken, wobei die vermittelnde Kraft der Auftrieb des Tragflügels ist. Maschinen, bei denen das strömende Medium seine Energie an das Laufrad überträgt, welche als Drehmoment über eine Welle abgenommen wird, werden Kraftmaschinen genannt. Demgegenüber nehmen die Arbeitsmaschinen das über eine Antriebswelle zugeführte Drehmoment auf und setzen es über das Laufrad in Strömungsenergie um. Die folgende Betrachtung beschränkt sich auf die Arbeitsmaschinen im Strömungsmaschinenbau.

### Gemeinsame Merkmale und spezifische Kennziffer

Um aus der konstruktiven Vielfalt der Strömungsmaschinen die sie kennzeichnenden Merkmale übersichtlich darlegen zu können, seien eingangs einige Bemerkungen über das allgemeine Aehnlichkeitsprinzip der Physik angeführt.

Wenn die Vorgänge in den Vergleichssystemen nicht nur den gleichen analytischen Ansatz haben sollen, sondern auch durch die gleiche mathematische Funktion, also durch das gleiche Gesetz zwischen reinen Zahlen beschrieben werden, können die Vorgänge in geometrisch veränderten (vergrösserten oder verkleinerten) Systemen unter der Wirkung gleicher physikalischer Ursachen ähnlich ablaufen. Das Aehnlichkeitsprinzip, welches in allen Gebieten der phänomenologischen, das ist der auf statischen Erfahrungsgesetzen aufgebauten Physik gültig ist, lehrt uns, wie das reine Zahlengesetz für die Veränderlichen eines Problems aus dem Beiwerk der Dimensionen herausgehoben werden kann und bildet zugleich die Grundlage für die Uebertragung der am Einzelversuch gewonnenen Zahlenergebnisse auf die geometrisch ähnlich gestaltete und physikalisch ähnlich betriebene Hauptausführung [1], [2], [3] \*).

Da die Probleme der hier in Rede stehenden Maschinen-gattungen dem Gebiete der Dynamik angehören, muss nur die geometrische, zeitliche und Kräfteähnlichkeit, jedoch keine thermische, elektrische oder sonstige Aehnlichkeit erfüllt sein. Dabei soll die Schwere als beschleunigende Kraft vernachlässigt werden.

Den obigen Ausführungen aus der allgemeinen Aehnlichkeitsmechanik entsprechend lassen sich auch für die besonderen Belange dieser Maschinengattung Ordnungszahlen bilden, die einen raschen Ueberblick über die zweckmässige Bauweise der zu entwerfenden Arbeitsmaschinen gestatten. Diese Zahlen geben einen Richtwert für die geometrische Gestaltung der Arbeitsmaschinen.

Im allgemeinen hat eine Kennzahl, welche sich aus dem Fördervolumen, dem Förderdruck und der Betriebsdrehzahl berechnen lässt, im Strömungsmaschinenbau unter dem Namen der spezifischen Drehzahl  $n_s$  sehr gute Dienste geleistet.

Ihr schematischer Aufbau ist:

$$(1) \quad n_s = K n V^a \Delta p^b$$

worin  $K$  eine der Maschinengattung entsprechende Konstante,  $n$  die Betriebsdrehzahl,  $V$  das Fördervolumen,  $\Delta p$  den Förderdruck im Betriebspunkt bedeuten. Alle diese Daten beziehen sich auf den Auslegungspunkt des gesuchten Gitters. Die Kennzahl lässt schon nach ihrem Aufbau folgende wertvolle Deutung zu:

Würde man verschiedene Gitter (Laufräder) der gleichen Maschinengattung mit der gleichen Betriebsdrehzahl rotieren lassen, so wäre ihre spezifische Drehzahl um so grösser, je grösser das Fördervolumen und je kleiner der Förderdruck ist.

Nach der Art ihrer Durchströmung unterscheidet man *Axial-* und *Radialgitter*. Bei einem Axialgitter strömt das

Medium in Richtung der Rotationsaxe, auf welcher das Gitter aufgesetzt ist. Beim *Radialgitter* strömt es senkrecht zur Rotationsaxe, d. h. radial von innen nach aussen oder umgekehrt.

Die spezifische Drehzahl der rotierenden Gitter kann für den Betriebszustand oder für andere bestimmte Betriebsverhältnisse als Unterscheidungsmerkmal der verschiedenen Bauarten und als Unterlage für Neukonstruktionen benutzt werden.

Für die genannten beiden Maschinenarten lassen sich auf Grund ihrer gemeinsamen Merkmale mit Hilfe der Aehnlichkeitsmechanik weitere dimensionslose Kenngrössen aufstellen. Um eine übersichtliche Ordnung der Beziehungen zwischen der Betriebsdrehzahl, dem Fördervolumen, dem Förderdruck einerseits sowie dem Durchmesser der Maschine andererseits zu erhalten, werden allgemein zwei dimensionslose Zahlen, nämlich eine Druckziffer und eine Lieferziffer gebildet. Gemeinsam für beide Bauarten ist die Druckziffer

$$(2) \quad \psi = \frac{\Delta p}{\frac{\rho}{2} u^2} = \frac{2 \Delta p}{\rho u^2}$$

für axiale Bauart ist die Lieferziffer

$$(3) \quad \varphi = \frac{c_m}{u}$$

für radiale Bauart wird

$$(4) \quad \varphi' = \varphi (1 - \nu^2)$$

wobei  $\nu$  das Nabenverhältnis darstellt [4].

Der Nenner der Druckziffer  $\psi$  bedeutet den Staudruck der Umfangsgeschwindigkeit. Die Lieferziffer  $\varphi$  stellt nur ein Geschwindigkeitsverhältnis dar; beide Kennzahlen sind abgeleitet und keine physikalischen Grössen.

Bei der axial durchströmten Arbeitsmaschine ist die Druckerhöhung bzw. die Druckziffer  $\psi$  durch die aerodynamische Belastbarkeit des Tragflügelprofils begrenzt. Nach den bisherigen Erfahrungen kann bei Axialrädern als obere Grenze

$$\psi = 0,6 \text{ bis } 1,0$$

zugrunde gelegt werden. Weil die Axialräder die Fördermaschinen für sehr grosse Durchflussmengen bei relativ kleinen Druckerhöhungen darstellen, ist es zweckdienlich, die untere Grenze der Lieferziffer  $\varphi$  anzugeben. Diese ist durch die Drosselgrenze axial durchströmter Arbeitsmaschinen von

$$\sigma = \frac{\varphi^2}{\psi} \approx 0,1$$

gegeben. Zusammenfassend erhält man für die verschiedenen Bauarten die Grenzwerte der dimensionslosen Kennzahlen gemäss Tabelle 1. Auf Grund dieser Erfahrungswerte ist es nunmehr möglich, bei gegebenem Fördervolumen und Förderdruck, für eine bestimmte Drehzahl die spezifische Drehzahl zu berechnen. Diese Erfahrungswerte finden, bezogen auf die spezifische Drehzahl, im folgenden ihren Niederschlag.

Tabelle 1. Grenzwerte für  $\varphi$  und  $\psi$

Bauart	$\varphi$	$\psi$
radial	0,03 — 0,40	0,30 — 2,00
axial	0,04 — 1,30	$9 \cdot 10^{-3}$ — 1,00

Danach hätten die Radialgitter eine kleine Schnellläufigkeit. Werden sie mit schmalen langen Kanälen ausgeführt, so haben sie einen guten Gitterwirkungsgrad und sind unempfindlich. Bei der Auslegung bereiten sie keinerlei Schwierigkeiten.

\*) Siehe Literaturverzeichnis am Schluss des Aufsatzes.

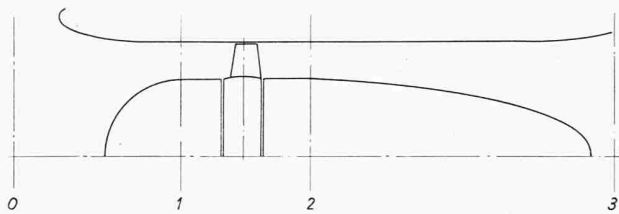


Bild 1. Rotierendes Axialgitter allein. (Hierzu Bild 5)

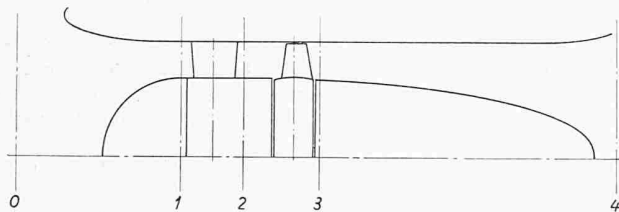
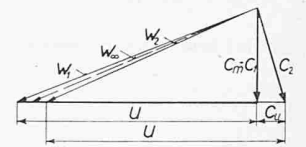
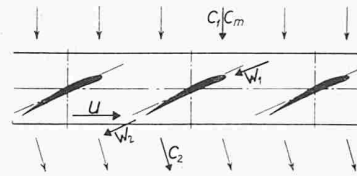


Bild 2. Axialgitter mit vorgeschaltetem Leitrad. (Hierzu Bild 6)

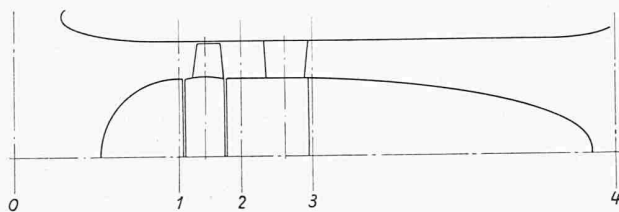
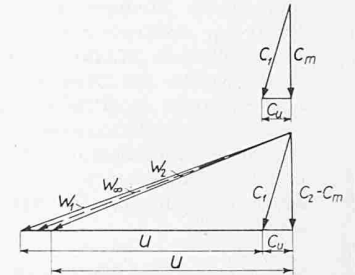
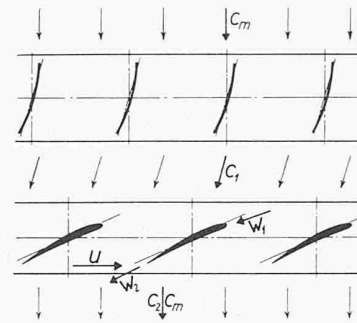


Bild 3. Axialgitter mit nachgeschaltetem Leitrad. (Hierzu Bild 7)

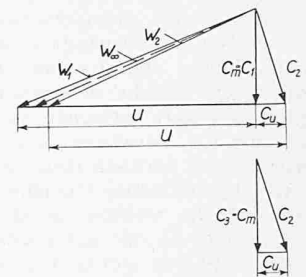
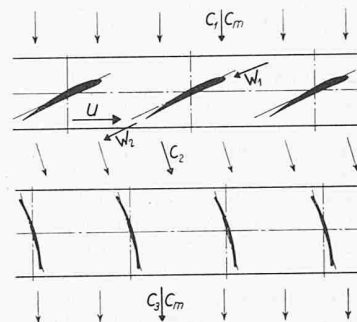
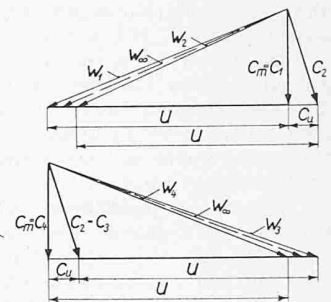
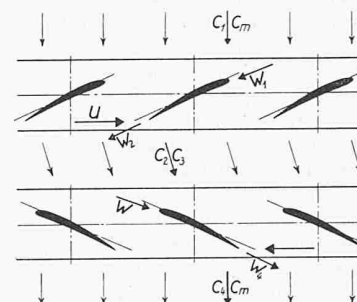


Bild 4. Zwei hintereinander geschaltete, gegenläufige Axialgitter (Hierzu Bild 8)



Im Rahmen dieser Arbeit soll jedoch auf sie nicht näher eingegangen werden. Radialgitter mit breiten und kurzen Kanälen weisen schlechte Wirkungsgrade auf, sind empfindlich und stellen eine überholte Bauart dar. Sie vertreten den Bereich mittlerer Schnellläufigkeit und werden neuerdings von den sogenannten Gleichdruckgittern verdrängt. Für grosse spezifische Drehzahlen eignen sich am besten bekanntlich Axialgitter.

#### Axialgitter im Lüfterbau

Axialgitter müssen sorgfältig ausgelegt werden, wobei man sich entweder der Tragflügeltheorie mit gewissen Modifikationen oder des Singularitätenverfahrens bedienen kann [5]. Solange das Teilungsverhältnis gross ist und die Radialgeschwindigkeit vernachlässigt werden kann, wird man die Tragflügeltheorie vorziehen. Ist das Teilungsverhältnis klein, d. h. kann die Nachbarschaft der Flügel im Verband sowohl durch ihre zirkulatorische, als auch durch ihre Verdrängungsstörung nicht mehr unberücksichtigt bleiben, sucht man das

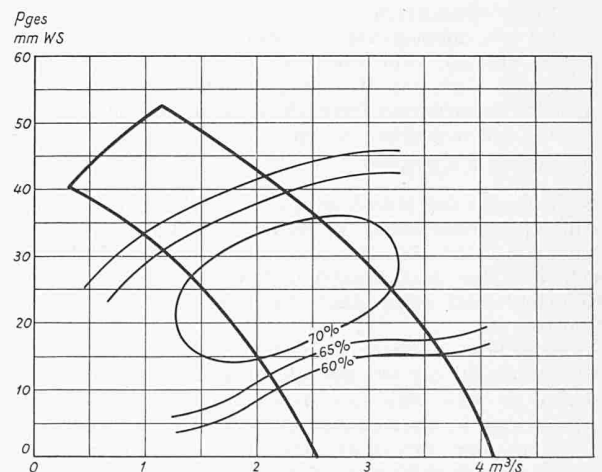


Bild 5. Charakteristik eines Lüfters von 600 mm Aussendurchmesser bei Anordnung nach Bild 1

$$p_1 = p_0 - \frac{\rho}{2} c_m^2$$

$$p_2 = p_1 + \frac{\rho}{2} [u^2 - (u - c_u)^2]$$

Gittertheorie

$$p_3 = p_2 + \frac{\rho}{2} c_m^2$$


---


$$p_3 - p_0 = \Delta p_{ges} = \frac{\rho}{2} [2u c_u - c_u^2]$$

$$\Delta p_{ges} = \rho c_u \left( u - \frac{c_u}{2} \right) \quad (5)$$

$$p_1 = p_0 - \frac{\rho}{2} c_m^2$$

$$p_2 = p_1 - \frac{\rho}{2} c_u^2$$

$$p_3 = p_2 + \frac{\rho}{2} [(u + c_u)^2 - u^2]$$

Gittertheorie

$$p_4 = p_3 + \frac{\rho}{2} c_m^2$$


---


$$p_4 - p_0 = \Delta p_{ges}$$

$$\Delta p_{ges} = \rho u c_u \quad (6)$$

$$p_1 = p_0 - \frac{\rho}{2} c_m^2$$

$$p_2 = p_1 + \frac{\rho}{2} [u^2 - (u - c_u)^2]$$

Gittertheorie

$$p_3 = p_2 + \frac{\rho}{2} c_u^2$$

$$p_4 = p_3 + \frac{\rho}{2} c_m^2$$


---


$$p_4 - p_0 = \Delta p_{ges}$$

$$\Delta p_{ges} = \rho u c_u \quad (7)$$

$$p_1 = p_0 - \frac{\rho}{2} c_m^2$$

$$p_2 = p_1 + \frac{\rho}{2} [u^2 - (u - c_u)^2]$$

$$p_3 = p_2 + \frac{\rho}{2} [(u + c_u)^2 - u^2]$$


---


$$p_3 - p_1 = \Delta p_{ges}$$

$$\Delta p_{ges} = 2 \rho u c_u \quad (8)$$

Gitter durch das geeignete Analogon mittels des Singularitätenverfahrens zu ersetzen. Diese Analogie beruht im wesentlichen darauf, dass es sich um Belegung der Skelettlinien mit Wirbelschichten handelt, welche auf iterativem Wege die durch die Nachbarschaft notwendig gewordene Korrektur der Belegung möglich macht [6].

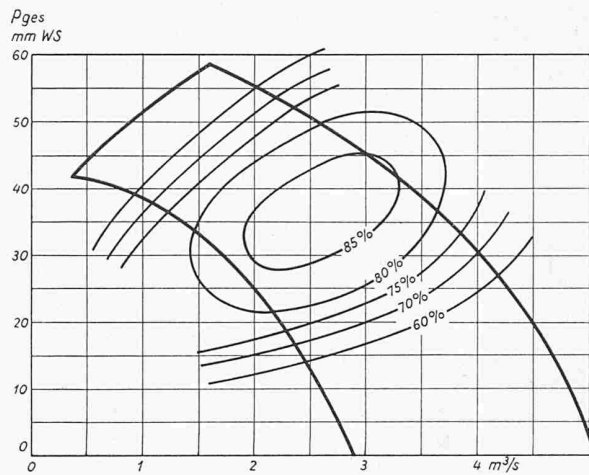


Bild 6. Charakteristik eines Lüfters von 600 mm Aussendurchmesser bei Anordnung nach Bild 2

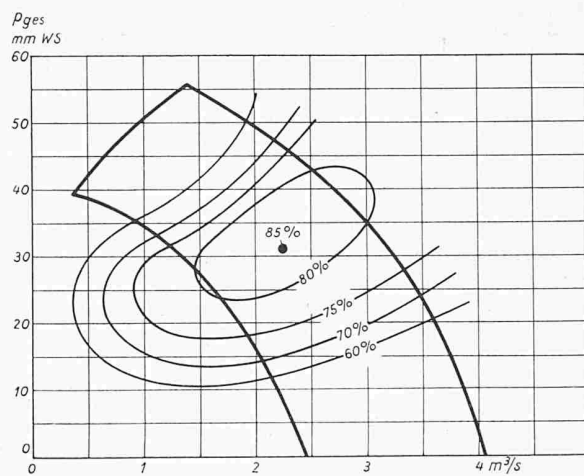


Bild 7. Charakteristik eines Lüfters von 600 mm Aussendurchmesser bei Anordnung nach Bild 3

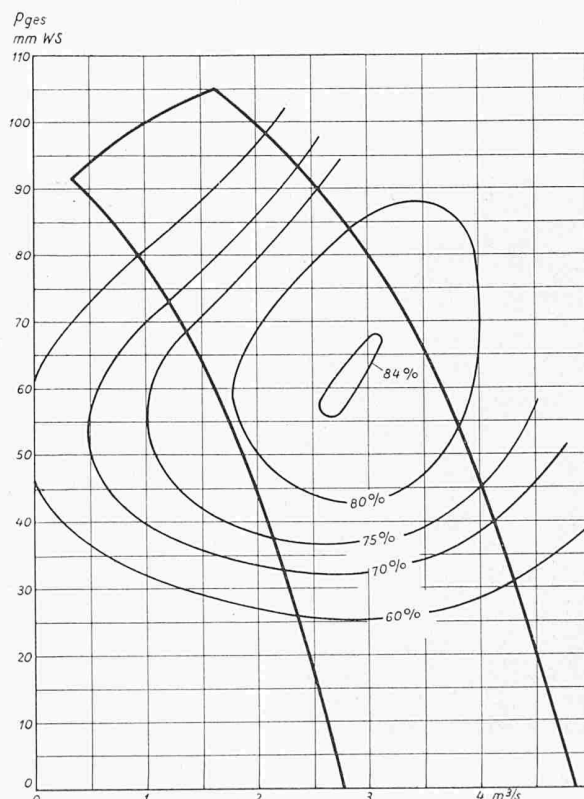


Bild 8. Charakteristik eines gegenläufigen Lüfters von 600 mm Aussendurchmesser bei Anordnung nach Bild 4

Bei der Luftführung bedient man sich allgemein sowohl der Begrenzungsflächen als auch der Bauelemente, welche verschiedene gewollte Formen aufweisen. Die konstruktive Gestaltung der die Strömung bestimmenden Oberflächen hat so zu geschehen, dass die partielle Ableitung der Geschwindigkeit in der Richtung der Normalen Null wird. Hierbei handelt es sich demnach um eine konstruktive Koordinierung zwischen der Strömung und der Oberfläche. Die aerodynamischen Probleme dieser Art sind insofern umkehrbar, als sowohl eine gegebene Begrenzung (eine feste Wand) oder ein gegebenes Bauelement (etwa ein stationäres Gitter) vorliegen kann und die Strömung derart beeinflusst werden soll, dass sie diese hineingebrachte Oberfläche respektiert oder aber auch für eine gegebene oder gewünschte Strömung diese Oberflächen gesucht werden.

Im vorliegenden Falle handelt es sich um einen mit einem Drall behafteten Luftstrahl, welcher durch das Phänomen der Umlenkung, als Merkmal eines rotierenden Axialgitters, zum Zwecke der Druckerzeugung notwendigerweise entsteht. Die folgende Betrachtung behandelt nun verschiedene Anordnungen der rotierenden und stationären Axialgitter mit dem Ziele, dem abgehenden Luftstrahl bestimmte physikalische Eigenschaften zu verleihen.

Im Rahmen dieser Betrachtung sind die den Strahl kennzeichnenden physikalischen Größen die folgenden:

- Durchtrittsgeschwindigkeit  $c_m$
- Geschwindigkeitsumlenkung  $c_u$
- Gitterumlaufgeschwindigkeit  $u$
- Drucksprung  $\Delta p$

Da die Geometrie der Geschwindigkeitsdreiecke ihre vektorielle Zuordnung zueinander darstellt, wurden in den Bildern 1 bis 4 die relativen, die absoluten und die Umfangsgeschwindigkeiten vor und hinter dem Gitter aufgezeichnet. Es wird dabei in allen Fällen angenommen, dass man für die Anströmung eines jeden Flügels die mittlere Relativgeschwindigkeit  $w_\infty$  einsetzen darf. Als weitere Vereinfachung soll die Energieum-

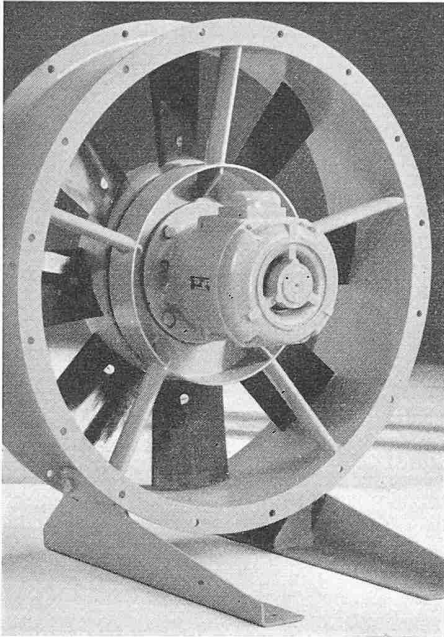


Bild 9. Einfacher Lüfter ohne Leitrad gemäss Bild 1 (Werkphoto Ventilator AG., Stäfa)

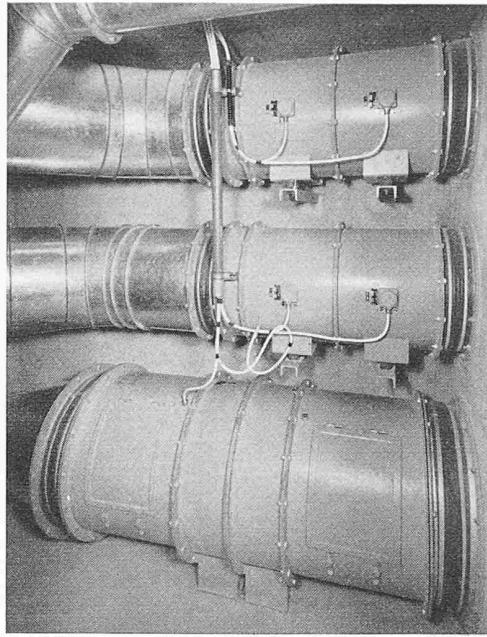


Bild 12. In horizontale Rohrstücke eingebaute Lüfter nach Bild 4 (Werkphoto Ventilator AG., Stäfa)

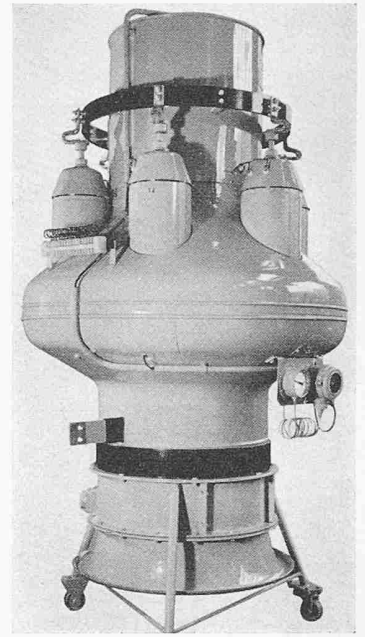


Bild 13. Luftgekühlter Mutator von Brown, Boveri & Cie. Der Axiallüfter der Ventilator AG. ist unten eingebaut

setzung verlustlos geschehen. Die Bernoullische Gleichung wie auch die Kontinuitätsgleichung erfahren in der folgenden Betrachtung ihre volle Gültigkeit. Auf Grund dieser vereinfachten Vorstellungen erhält man übersichtliche Zusammenhänge zwischen dem durch das Gitter erzeugten Drucksprung einerseits und der Umfangsgeschwindigkeit bzw. Geschwindigkeitsumlenkung andererseits.

In Bild 1 wird ein rotierendes Axialgitter allein dargestellt. Es werden in den Kontrollebenen 0 bis 3 bzw. 4 die Bernoullischen Gleichungen aufgestellt. Die Indizes der Drücke beziehen sich auf die Kontrollebenen und jene der Geschwindigkeiten auf die entsprechenden Geschwindigkeitsdreiecke. Eine einfache Addition der drei Bernoullischen Gleichungen ergibt die erwähnte funktionale Abhängigkeit der betrachteten physikalischen Grössen. Das zweite Glied der Gl. 5 stellt den energetischen Verlust dar, welcher dem abgehenden Luftstrahl als Drall anhaftet.

Einmal der Wunsch, dem abgehenden Luftstrahl den zu den Verlusten zählenden Drall zurückzugewinnen, und zum

anderen das Bestreben nach einer Steigerung der Druckziffer bei gleichzeitiger Wirkungsgradverbesserung, führten im Lüfterbau zu einer Verbindung des rotierenden mit einem stationären Axialgitter. In der Luftrichtung gesehen kann das stationäre Gitter vor oder nach dem Laufrad angebracht werden.

Im Bild 2 wird eine Lüfterkonstruktion mit vorgeschaltetem Leitrad dargestellt. Auch hier wird, da die Strömung axensymmetrisch ist, ein beliebiger Zylinderschnitt auf eine Ebene abgewickelt. Leitrad und Laufrad erscheinen als Flügelgitter von unendlicher Länge. Auf die konstruktive Gestalt dieser beiden Axialgitter wird hier nicht näher eingegangen.

Wie aus den Geschwindigkeitsdreiecken ersichtlich, erfährt der Luftstrahl mittels des vorgeschalteten Leitrades einen Vordrall, welcher dem Betrage nach der im Laufrad stattfindenden Umlenkung entspricht und dadurch einen drallfreien Abgang des Strahles gewährleistet. Auch bei dieser Anordnung werden für die angegebenen Kontrollebenen die Bernoullischen Gleichungen aufgestellt. Ihre einfache Ad-

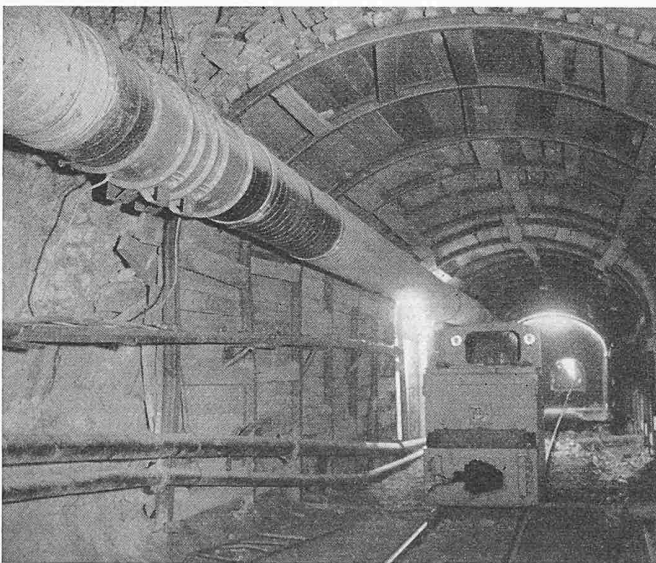
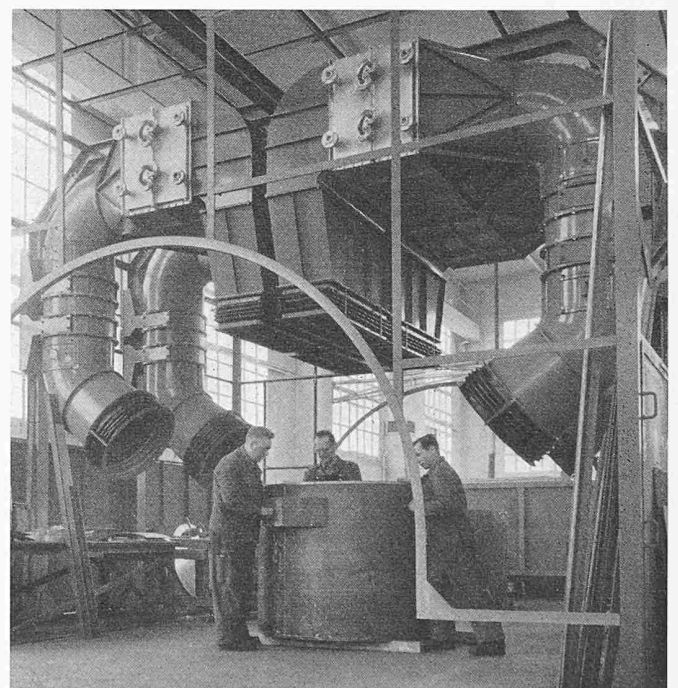


Bild 11. Frischluftleitung in Bergwerkstollen mit eingebautem Lüfter nach Bild 4 (Photo Elenio Kraftwerke AG., Locarno)

Bild 10 (rechts). Kühlanlage für Kurzschluss-Generator mit vertikalem Lüfter nach Bild 4 für Brown, Boveri & Cie. (Werkphoto Ventilator AG., Stäfa)



dition ergibt die funktionale Abhängigkeit gleicher physikalischen Grössen mit Gl. 6.

Im Bild 3 ist die Lüfterkonstruktion dargestellt mit nachgeschaltetem Leitrad. Wenn sie auch im Lüfterbau nicht die Vorteile der im Bild 2 geschilderten Konstruktion aufweist, wird sie hier vollständig halber erwähnt.

Weil sich die Bewegung in den sich erweiternden Leitradkanälen in der verzögerten Phase befindet, ist die Strömung verlustreich. Eine quantitative Erfassung des Vorganges ist leider wegen der Idealisierung dieser Anordnung nicht möglich. Die Einbusse an Druckleistung ist aus den Geschwindigkeitsdreiecken insofern ersichtlich, als eine Verkleinerung der relativen Anströmgeschwindigkeit  $w_\infty$  eintritt und diese wiederum wegen ihrer linearen Abhängigkeit die Zirkulation um den Flügel herabmindert. Darüber hinaus ist diese Anordnung gegenüber jener nach Bild 2 insofern empfindlicher, als die geringsten Schwankungen des Betriebspunktes unvermeidlich Stossverluste zur Folge haben.

Auch hier wurde die funktionale Abhängigkeit der gleichen physikalischen Grössen mittels der Bernoullischen Gleichungen in den Kontrollebenen erhalten. Eine einfache Addition ergibt die Gl. 7.

Um eine weitere Drucksteigerung im Lüfterbau erreichen zu können, bedient man sich auch einer Anordnung, wie sie im Bild 4 dargestellt ist. Es handelt sich hier um zwei sich gegeneinanderdrehende Axialgitter. Sie stellt eine bauliche Ueberlagerung der beiden mittleren Anordnungen und infolge des Wegfalles der beiden stationären Gitter eine wesentliche konstruktive Vereinfachung dar.

Durch einfache Addition der in den Kontrollebenen aufgestellten Bernoullischen Gleichungen erhält man die Gleichung 8. Sie ergibt, wie ersichtlich, bei sonst gleichen Verhältnissen die doppelte Drucksteigerung.

Die oben geschilderten vier Anordnungen, wie sie heute im Lüfterbau möglich sind, werden im folgenden an Hand eines Beispiels qualitativ und quantitativ analysiert. Dazu wurde ein Lüftertyp mit einem Aussendurchmesser von 600 mm und einem Nabenverhältnis von 0,6 gewählt. Es handelt sich um eine normale Serienausführung der Ventilator AG., Stäfa. Die Laufradnaben sind mit im Stillstand verstellbaren Flügeln ausgerüstet. Das Ergebnis dieser experimentellen Untersuchung ist in den Bildern 5 bis 8 wiedergegeben.

Als Ordinate wurde jeweils der Gesamtdruck aufgetragen, als Abszisse die Luftmenge in  $m^3/s$ . Die Luftleistung wurde als geschlossenes Feld ohne Angabe des Gitteranstellwinkels aufgenommen. Die Bilder weisen noch die Wirkungsgradkurven auf, wobei die Luftleistung auf den Gesamtdruck bezogen wurde. Ein Vergleich der in den Bildern 5 bis 8 dargestellten Ergebnisse mit der Berechnung nach den Gleichungen 5 bis 8 ergibt eine gute Uebereinstimmung der erzielten Gesamtdrucke. Auffallend ist die bedeutend höhere Luftmenge in der Anordnung Leitrad-Laufrad und derjenigen mit zwei gegenläufigen Laufrädern, als bei den beiden andern Anordnungen. Wenn auch der abgehende Luftstrahl der

Anordnung Leitrad-Laufrad nicht immer drallfrei sein kann, bedingt durch die Verstellbarkeit des Laufgitters allein, so ist der Wirkungsgrad bei dieser Anordnung wegen der grösseren Unempfindlichkeit in bezug auf die Stossverluste auf der Saugseite gegenüber der Anordnung Laufrad-Leitrad bedeutend besser. Die Anordnung Laufrad-Leitrad hat hingegen in jedem beliebigen Betriebspunkt und für alle Anstellwinkel des Laufrades stets einen axialen Abgang des Luftstrahles.

Es werden zum Schluss noch einige Bilder der verschiedenen Lüfterbauarten wiedergegeben. Im Bild 9 ist ein Lüfter der Anordnung gemäss Bild 1 dargestellt. Für einen Generator-Umluftkühler von Brown, Boveri & Cie. werden vier gegenläufige Lüfter der Anordnung gemäss Bild 4 verwendet. Sie sind in Bild 10 als vertikale Rohrstücke ersichtlich. Ihrer hohen Druckziffer wegen werden diese Apparate oft im Stollenbau angewandt, wie es im Bild 11 gezeigt wird. Ihres geringen Platzbedarfes wegen eignen sich die Axiallüfter besonders bei gedregenen Bauverhältnissen, wie aus Bild 12 ersichtlich, wo drei Ventilatoren übereinander angeordnet sind. Das Bild 13 zeigt die Anwendung des Axiallüfters im elektrischen Apparatebau. Es handelt sich hierbei um einen Mutator von Brown, Boveri & Cie. Der sehr geringe Raumbedarf dieses Axiallüfters gestattet eine gedregene Bauweise des Mutators.

#### Zusammenfassung

Es wurde ein Versuch unternommen, das Axialgitter als Bauelement im Lüfterbau in bezug auf seine bauliche Anordnung zu untersuchen. Nach der Darstellung ihrer gemeinsamen Merkmale durch die bekannten spezifischen Kennzahlen wurden im Anschluss vier verschiedene Anordnungen im Lüfterbau besprochen. Die Untersuchung erstreckte sich auf das rotierende Gitter allein, ferner auf solche in Zusammenarbeit mit vor- und nachgeschaltetem Leitrad sowie schliesslich in der Anordnung zweier gegenläufig rotierendes Gitter. Auf eine quantitative Betrachtung wurde im Rahmen dieser Arbeit verzichtet. Ein Lüftertyp wurde in allen vier Anordnungen gemessen und seine Leistungsdaten graphisch dargestellt. Der Vorteil der zweiten Anordnung Leitrad-Laufrad (in der Luftrichtung gesehen) wird gedeutet. An Hand einiger Anwendungsbeispiele wird auf verschiedene Verwendungsmöglichkeiten der Axiallüfter verwiesen.

Adresse des Verfassers: D.-Ing. C. S. Vasiljevic, in Ventilator AG., Stäfa.

#### Literaturverzeichnis

- [1] R. C. Tolmann: Principle of similitude. «Phys. Rev.» (2) Bd. 3, S. 244, 1914. Ferner Bd. 6, S. 219, 1915 und Bd. 8, S. 8, 1916.
- [2] E. Buckingham: On physically similar systems. «Phys. Rev.» (2) Bd. 4, S. 345, 1914.
- [3] F. Eisner: Ueber Aehnlichkeitsmechanik und ihre Anwendung auf Modellversuche. «Z. Schiffbau» (26), 1925.
- [4] B. Eck: Ventilatoren, Dritte Auflage 1957.
- [5] Dr. C. Keller: Axialgebläse vom Standpunkt der Tragflügeltheorie, Zch. 1934, Gebr. Lehmann.
- [6] W. Birnbaum: «Zeitschrift für angew. Math. und Mech.» 1923.

## Berechnung von doppelt gekrümmten Schalen und Versuche an solchen aus Tonhohlsteinen

Von Dr. Oskar Gmür, dipl. Bauingenieur S. I. A., St. Gallen

DK 624.074.4

Translationsschalen, die sich besonders gut zur Bedeckung rechteckiger Grundrisse eignen und der Einfachheit ihrer Ausführung wegen immer mehr Anwendung finden, entstehen durch Translation einer Kurve, die in einer vertikalen Ebene liegt, auf einer andern festen Leitkurve in einer vertikalen Ebene (Bild 1). Die senkrechten Schnitte durch eine Translationsschale parallel zu einer dieser Ebenen sind deshalb alle gleich, was zur Einfachheit der Ausführung beiträgt. Als feste und bewegliche Kurven werden aus leicht ersichtlichen Gründen mit Vorteil Kreisbögen verwendet.

Aus der allgemeinen Theorie von Ing. Dr. A. Pucher [1, 2]<sup>1)</sup> ist nachfolgend behandelte Analyse zur Ermittlung des Membranspannungszustandes in solchen Translationsschalen, die seitlich auf bogenartige Scheiben aufgelagert sind, entwickelt worden. Die Membranspannungen können bis zur gewünschten Genauigkeit mit der Differenzenrech-

nung ermittelt werden. Damit lässt sich der Spannungs-zustand für die ganze Schale, ausgenommen für die Randzonen, darstellen.

Die Ergebnisse der im 2. Teil dieses Berichtes beschriebenen Versuche zeigen, dass sich die Unregelmässigkeiten nur auf geringe Randzonen ausdehnen. Der rechnerische Arbeitsgang für annehmbare und genügend genaue Lösungen der Spannungswerte ist einfach und der Zeitaufwand verhältnismässig gering.

#### Grundlagen der Berechnung

Die Mittelfläche der Schale folge der Gleichung  $z = z(x, y)$ . Diese bezieht sich auf ein orthogonales kartesisches Koordinatensystem mit dem Nullpunkt im Scheitel,  $z$ -Axe positiv nach unten und die Axen  $x$  und  $y$  parallel zu den Seiten  $L$  und  $l$  des von der Schale gedeckten Rechteckes gerichtet (Bild 2). Das Flächenelement mit den Seiten  $ds_1$  und

<sup>1)</sup> Siehe Literaturverzeichnis am Schluss.