

Ueber den Einfluss der Schaufelwinkel auf die Leistung der Ventilatoren

Autor(en): **Karrer, J.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **71/72 (1918)**

Heft 20

PDF erstellt am: **19.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-34845>

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.

INHALT: Ueber den Einfluss der Schaufelwinkel auf die Leistung der Ventilatoren. — Die elektrische Solothurn-Bern-Bahn. — Druckluft für Bahnbetrieb. — Note sur la vitesse critique des arbres et la Formule de Dunkerley. — Konkurrenzen: Verwaltungsgebäude der Aargauischen Kreditanstalt in Aarau. Formschöne

und billige Möbel. Eisenbahnbrücke über die Arsta-Inseln in Stockholm. — Vereinsnachrichten: Gesellschaft ehemaliger Studierender der E. T. H.: Stellenvermittlung. — An unsere Abonnenten.

Band 72.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 20.

Ueber den Einfluss der Schaufelwinkel auf die Leistung der Ventilatoren.

Von Oberingenieur J. Karrer, Zürich.

Die Theorie der Ventilatoren, so einfach sie ist, konnte bis heute auf die praktischen Ausführungen der in ihrer Bauart an sich ebenfalls sehr einfachen Ventilatoren kaum Anwendung finden. Jeder Konstrukteur rechnet seine Maschinen mit den Erfahrungskoeffizienten früherer Ausführungen, und diese Koeffizienten sind, wie die Bauarten selbst, unter sich sehr verschieden. Denn auch für die gleiche Leistung gebaute Ventilatoren unterscheiden sich in der Regel in Umdrehungszahl, Raddurchmesser, Radbreite, Schaufelhöhe, Schaufelwinkel, Gehäusedurchmesser usw.

Die Kennlinien eines Ventilators sind die Druck- und Kraftverbrauchskurven, aufgetragen auf der Fördermenge; durch diese Kurven ist der Verlauf des Wirkungsgrades bestimmt. Der höchste Wirkungsgrad wird bei einer bestimmten Luftmenge erreicht, und es ist Sache des Erbauers, den Ventilator so zu bemessen, dass er im Betriebe bei der verlangten Luftmenge und dem verlangten Druck möglichst mit dem höchsten Wirkungsgrad arbeitet. Durch die Laufradabmessungen ist die theoretische Druckvolumenkurve bestimmt; sie weicht aber von der wirklich zu erwartenden so wesentlich ab, dass sie bei der Festlegung des Ventilators eigentlich nicht in Frage kommt. Es rührt dies daher, dass die Voraussetzungen für die theoretische Druckhöhe, nämlich dass die Luft die Führungskanäle mit den aus der Fördermenge berechneten Geschwindigkeiten unter den angenommenen Winkeln durchströmt,

Punkt gemeinsam. Die theoretische Druckhöhe H beträgt (unter der Annahme, dass Luft gefördert wird) in m Luftsäule:

$$H = \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} + \frac{w_1^2 - w_2^2}{2g} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} \quad (1)$$

worin bezeichnen:

u_1, u_2 die innere bzw. äussere Umfangsgeschwindigkeit des Rades,

w_1, w_2 die relative Ein- bzw. Austrittsgeschwindigkeit der Luft,

c_1, c_2 die absolute Ein- bzw. Austrittsgeschwindigkeit der Luft,

β_1, β_2 die Schaufelwinkel am Ein- bzw. Austritt,

Q die geförderte Luftmenge.

Da ferner:

$$c^2 = u^2 + w^2 - 2uw \cos \beta \quad (\text{Abb. 1}),$$

so ist auch:

$$H = \frac{u_2^2 - u_2 w_2 \cos \beta_2}{g} - \frac{u_1^2 - u_1 w_1 \cos \beta_1}{g} \\ = \frac{u_2^2 - u_1^2}{g} - \frac{u_2 w_2 \cos \beta_2 - u_1 w_1 \cos \beta_1}{g} \quad (2)$$

= Konst. + Konst. $\cdot Q$ für ein gegebenes Ventilatorrad und eine bestimmte Umdrehungszahl.

Wie aus Gleichung (2) hervorgeht, ist die Druckhöhe von den Schaufelwinkeln stark abhängig, und es wird daher im Folgenden vorerst der theoretische Einfluss der Winkel für die in der Praxis möglichen Fälle eingehender untersucht, und zwar für die Werte $\beta < 90^\circ$, $\beta = 90^\circ$ und $\beta > 90^\circ$, wobei als Vergleichswert für die verschiedenen Fälle der einfache Fall $\beta_1 = \beta_2 = 90^\circ$ dient, für den die theoretische Druckhöhe für alle Fördermengen konstant ist.

Es wird dann

a) Für $\beta_1 = \beta_2 = 90^\circ$

$$H_a = \frac{u_2^2 - u_1^2}{g};$$

b) Für $\beta_1 < 90^\circ$; $\beta_2 = 90^\circ$

$$H_b = \frac{u_2^2 - u_1^2}{g} + \frac{u_1 w_1 \cos \beta_1}{g}$$

$$H_b > H_a;$$

c) Für $\beta_1 > 90^\circ$; $\beta_2 = 90^\circ$, wenn $\beta_1 = 90^\circ + \beta_1'$

$$H_c = \frac{u_2^2 - u_1^2}{g} - \frac{u_1 w_1 \sin \beta_1'}{g}$$

$$H_c < H_a;$$

d) Für $\beta_1 = 90^\circ$; $\beta_2 < 90^\circ$

$$H_d = \frac{u_2^2 - u_1^2}{g} - \frac{u_2 w_2 \cos \beta_2}{g}$$

$$H_d < H_a;$$

e) Für $\beta_1 = 90^\circ$; $\beta_2 > 90^\circ$, wenn $\beta_2 = 90^\circ + \beta_2'$

$$H_e = \frac{u_2^2 - u_1^2}{g} + \frac{u_2 w_2 \sin \beta_2'}{g}$$

$$H_e > H_a;$$

f) Für $\beta_1 < 90^\circ$; $\beta_2 < 90^\circ$

$$H_f = \frac{u_2^2 - u_1^2}{g} - \frac{u_2 w_2 \cos \beta_2 - u_1 w_1 \cos \beta_1}{g}$$

$$H_f >, = \text{oder} < H_a$$

je nachdem $u_1 w_1 \cos \beta_1 >, = \text{oder} < u_2 w_2 \cos \beta_2$;

g) Für $\beta_1 < 90^\circ$; $\beta_2 > 90^\circ$, wenn $\beta_2 = 90^\circ + \beta_2'$

$$H_g = \frac{u_2^2 - u_1^2}{g} + \frac{u_2 w_2 \sin \beta_2' + u_1 w_1 \cos \beta_1}{g}$$

$$H_g > H_a;$$

h) Für $\beta_1 > 90^\circ$; $\beta_2 < 90^\circ$, wenn $\beta_1 = 90^\circ + \beta_1'$

$$H_h = \frac{u_2^2 - u_1^2}{g} - \frac{u_2 w_2 \cos \beta_2 + u_1 w_1 \sin \beta_1'}{g}$$

$$H_h < H_a;$$

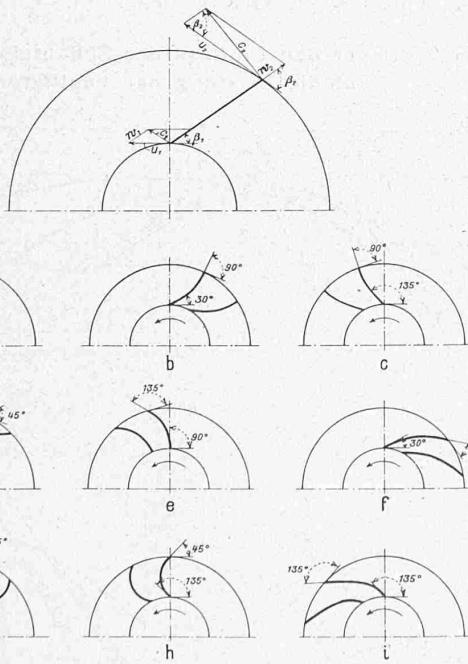


Abb. 1.

in Wirklichkeit nicht zutreffen, oder doch nur annähernd innerhalb eines kleinen Bereiches in der Nähe des höchsten Wirkungsgrades.

Die theoretische Druckvolumen-Kurve ist wie bekannt eine Gerade; die wirkliche hat dagegen parabelähnlichen Verlauf und mit der theoretischen keinen oder nur einen

i) Für $\beta_1 > 90^\circ$; $\beta_2 > 90^\circ$,

wenn $\beta_1 = 90^\circ + \beta_1'$; $\beta_2 = 90^\circ + \beta_2'$

$$H_i = \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} + \frac{u_2 w_2 \sin \beta_2' - u_1 w_1 \sin \beta_1'}{g}$$

je nachdem $u_2 w_2 \sin \beta_2' >, = \text{oder} < u_1 w_1 \sin \beta_1'$.

Unter die Fälle a bis i fallen alle möglichen Ausführungen; die Praxis hat aber mit Recht nicht von allen Gebrauch gemacht. Zum bessern Verständnis mögen

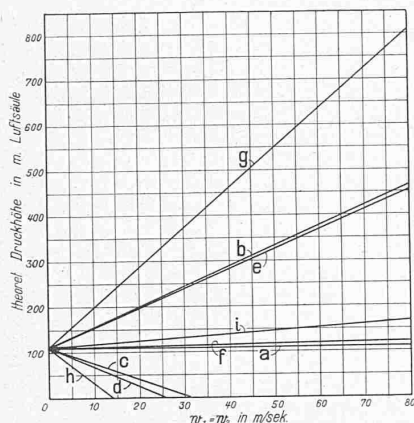


Abb. 2.

für die Fälle a bis i ausgerechnet und in Abb. 2 graphisch in Funktion der Geschwindigkeit $w_1 = w_2$, also auch in Funktion der Fördermenge aufgetragen.

Fall	β_1	β_2	H in m Luftsäule
a	90°	90°	112
b	30°	90°	$112 + 4,41 w_1$
c	135°	90°	$112 - 3,6 w_1$
d	90°	45°	$112 - 4,32 w_2$
e	90°	135°	$112 + 4,32 w_2$
f	30°	45°	$112 + 0,09 w_1$
g	30°	135°	$112 + 8,73 w_1$
h	135°	45°	$112 - 7,93 w_2$
i	135°	135°	$112 + 0,72 w_2$

In Abbildung 2 wurde nicht darauf Rücksicht genommen, ob in den einzelnen Fällen überhaupt soviel Luft gefördert werden kann, und mit welchem Wirkungsgrad; es geht aber deutlich der Einfluss der Schaufelwinkel auf die Druckhöhe hervor. Bei der Luftmenge Null würde bei allen Winkeln dieselbe theoretische Druckhöhe, nämlich 112 m erzeugt. Für den Fall a bleibt die Druckhöhe konstant für alle Fördermengen; in den Fällen c, d und h nimmt die Druckhöhe mit zunehmender Luftmenge ab und erreicht schon bei kleinen Werten von w den Wert Null. In Wirklichkeit dürften diese Werte von w überhaupt nicht erreicht werden. Die Fälle f, i, e, b und g verlaufen oberhalb a und die Druckhöhe nimmt mit zunehmender Fördermenge zu.

Am meisten Interesse bieten die letzten Fälle, insbesondere der Fall g, mit dem die grösste Druckhöhe erzielt wird; für eine vorgeschriebene Druckhöhe erhalten solche Ventilatoren die kleinsten Abmessungen. Diese Bauart wird aus diesem Grunde auch von mehreren Firmen gepflegt. Für grosse Luftmengen und niedere Drücke bedingt aber dieser Fall g sehr niedere Umdrehungszahlen, was für die heutigen Antriebsmaschinen nicht gerade günstig ist. Sehr häufig begegnet man in der Praxis dem Fall a, bei Ventilatoren zur Kühlung elektrischer Maschinen, die unmittelbar auf diese aufgebaut

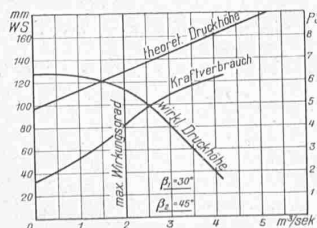


Abb. 3. Rad f.

und für beide Drehrichtungen verwendbar sind, ferner bei Ventilatoren zum Absaugen von Staub, Sägemehl und festen Bestandteilen. Der Fall b scheint noch wenig Berücksichtigung gefunden zu haben, obwohl er dieselbe Druckhöhe liefert wie der Fall e, der das von verschiedenen führenden Firmen angewendete System darstellt. Ausführungen entsprechend den Fällen c, h und i sind dem Verfasser unbekannt und dürften kaum in Frage kommen. Den Fall d trifft man hier und da bei Grubenventilatoren und der Fall f ist die übliche Ausführungsform bei Gebläsen und Kompressoren.

Bis in die neueste Zeit haben die meisten Firmen eine bestimmte Schaufelform der Fälle a bis i angenommen und diese Schaufelform wurde mit einem passenden Gehäuse zum System und sozusagen ausschliesslich angewendet. Dieses Vorgehen hat für die Fabrikation grosse Vorteile und ist gut durchführbar für Riemenantrieb, wo jede erforderliche Umdrehungszahl gewählt werden kann. Neuestens kommt aber mehr und mehr der direkte elektrische Antrieb in Frage, für den möglichst hohe Umdrehungszahlen gewählt werden sollten und wo man sich der Periodenzahl anpassen muss. Da nun durch die Fördermenge die Saugöffnung des Ventilators mehr oder weniger bestimmt ist, also auch der Innendurchmesser des Rades, und die Konstruktion eine minimale Schaufelabmessung in radialer Richtung bedingt, so befriedigt für eine bestimmte Druckhöhe und eine gewünschte Umdrehungszahl nur eine bestimmte Schaufelform. So dürften für hohe Drücke die Fälle b, e und g in Frage kommen, für niedere Drücke dagegen die Fälle a, d oder f.

Den Konstrukteur wird es nun in erster Linie interessieren, wie sich die Wirkungsgrade der verschiedenen Schaufelformen zueinander verhalten. Aus der Literatur ist sehr wenig zu entnehmen; man trifft zwar für gleiche Lieferungsverhältnisse sehr verschiedene Ausführungsformen mit erheblichen Unterschieden im Wirkungsgrad, es sind dann aber nicht nur die Schaufelwinkel voneinander verschieden, sondern auch die übrigen Radabmessungen und die Gehäuse, sodass nicht einwandfrei auf den Einfluss der Winkel geschlossen werden kann.

Ueber den Einfluss der Schaufelwinkel auf die Leistung der Ventilatoren.

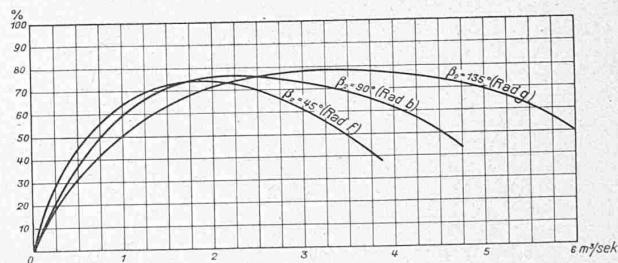


Abb. 6.

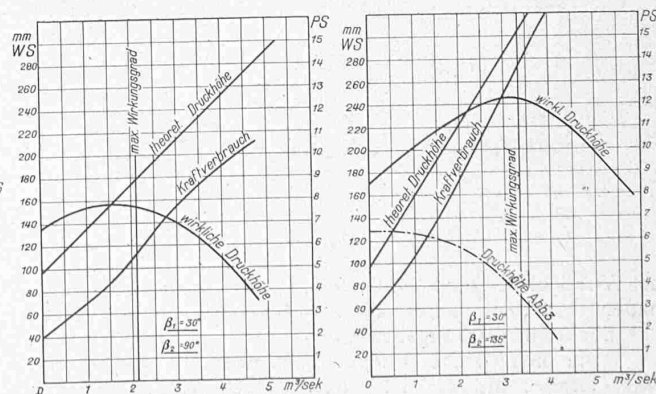


Abb. 4. Rad b.

Abb. 5. Rad g.

Versuche und Ausführungen der Maschinenfabrik Oerlikon.

Um über den wirklichen Einfluss der Winkel Klarheit zu erhalten, hat die Maschinenfabrik Oerlikon gemäss dem Vorschlag des Verfassers eingehende Versuche durchgeführt, und es soll hier auf Grund derselben der Einfluss des Austrittswinkels β_2 bei gleichbleibendem Eintrittswinkel β_1 näher besprochen werden. Es wurden drei Räder mit gleichen Abmessungen in ein und demselben Gehäuse ausprobiert. Der

Rad, und es dürfte daraus geschlossen werden, dass bei grösseren Leistungen, wo die Leerlaufarbeit prozentual kleiner ist, sowie wenn die Luftgeschwindigkeiten noch grösser sind, die Fälle b und f, besonders letztgenannter, überlegen sein werden. Die Praxis bedient sich tatsächlich auch bei grösseren Geschwindigkeiten, also höheren Drücken (Gebläse und Kompressoren), im allgemeinen des Falles f.

Für niedere Drücke und grosse Luftmengen, wie dies bei den Ventilatoren der Fall ist, zeigen aber die vorliegenden Versuche, dass vorwärts gekrümmte Schaufeln ebenso günstig arbeiten, wie rückwärts stehende, und es ist daher ganz berechtigt, wenn viele Firmen diese Bauart angenommen haben.

Aus den in den Abbildungen 3 bis 5 ebenfalls eingetragenen Kraftverbrauchkurven ersieht man, dass diese einen Wendepunkt in der Nähe des maximalen Wirkungs-

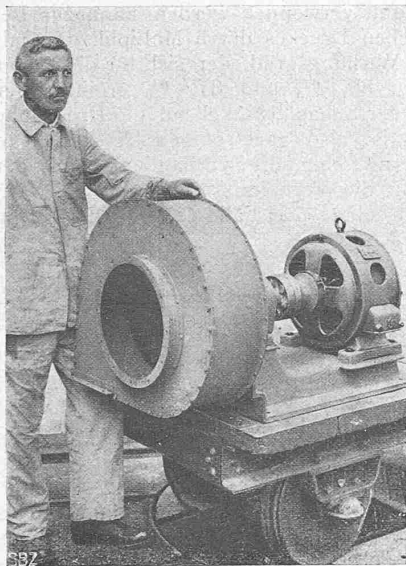


Abb. 9. Ventilator mit 1,06 PS Kraftbedarf.

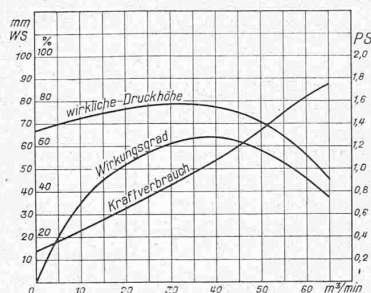


Abb. 7. Kurven zum Ventilator Abb. 9.

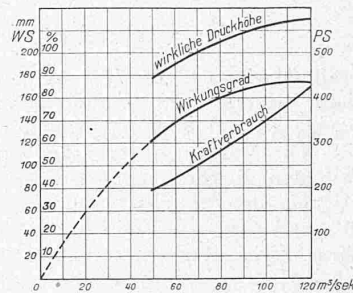


Abb. 8. Kurven zum Ventilator Abb. 10.

Eintrittswinkel ist für alle drei Räder $\beta_1 = 30^\circ$; bezeichnen wir noch die Räder mit den Buchstaben der entsprechenden allgemeinen Fälle, so sind die Austrittswinkel β_2 für Rad f: $\beta_2 = 45^\circ$ Rad b: $\beta_2 = 90^\circ$ Rad g: $\beta_2 = 135^\circ$

Die Umlaufzahl bei den Proben war $n = 1400$ in der Minute; die theoretischen Druckhöhen in m Luftsäule ergeben sich für diese Umdrehungszahl zu:

$$\begin{aligned} H_f &= 86 + 13,95 Q \\ H_b &= 86 + 34,60 Q \\ H_g &= 86 + 54,80 Q \end{aligned}$$

und da bei den Versuchen das mittlere spezifische Gewicht der Luft $\gamma = 1,13 \text{ kg/m}^3$ betrug, so sind die theoretischen Drücke, in kg/m^2 oder mm W.S.

$$\begin{aligned} P_f &= 97,18 + 15,76 Q \\ P_b &= 97,18 + 39,10 Q \\ P_g &= 97,18 + 61,92 Q \end{aligned}$$

Die bei den Versuchen gemessenen Drücke sind mit den theoretischen in den Abbildungen 3 bis 5 aufgetragen. Die wirkliche Druckhöhe ist bei kleiner Luftmenge grösser als die theoretische, eine Eigenschaft, die nicht für alle Ventilatoren zutrifft, sondern abhängig ist vom Einbau des Rades im Gehäuse. Der maximale Wirkungsgrad liegt bei allen drei Rädern rechts vom Schnittpunkt der beiden Druckkurven, und es entspricht bei der betreffenden Luftmenge das Verhältnis $\frac{\text{wirkliche Druckhöhe}}{\text{theoretische Druckhöhe}}$ nahezu dem maximalen Wirkungsgrad; es ist in allen drei Fällen grösser und bedeutet eigentlich nichts anderes als den „manometrischen Wirkungsgrad“ des Ventilators.

In Abbildung 6 sind die Wirkungsgrade aller drei Räder übereinander aufgetragen. Mit Rad g, $\beta_2 = 135^\circ$, wurde der höchste Wirkungsgrad erreicht, allerdings auch beim grössten Kraftverbrauch. Die Wirkungsgrade sind übrigens nur wenige Prozente voneinander verschieden, und es dürfte das Abfallen der Wirkungsgrade bei den Rädern b und f der kleineren Leistung, bzw. der prozentual grösseren Leerlaufarbeit zuzuschreiben sein. Da das Rad g mit den grössten Luftgeschwindigkeiten arbeitet, zufolge Vorwärts-Krümmung der Schaufeln, sollte man vorerst erwarten, dass der Wirkungsgrad kleiner ausfallen sollte, als bei den Rädern b und f; tatsächlich ist der manometrische Wirkungsgrad auch der kleinste für dieses

grades besitzen. Ferner ist die aus der in Abbildung 5 strichpunktiert eingezeichnete Druckhöhe, die hohe Mehrleistung des Rades g gegenüber Rad f zu erkennen.

Den Einfluss der Leistungszunahme auf den Wirkungsgrad zeigen in ausgesprochener Weise die Abbildungen 7 und 8; sie zeigen die Versuchsergebnisse mit einem kleinen und einem grossen Oerlikon-Ventilator (Abbildungen 9 und 10), die beide ähnlich gebaut sind und dem Fall g entsprechende Räder besitzen. Beim kleinen Ventilator wird ein maximaler Wirkungsgrad von 64 % erreicht bei einem

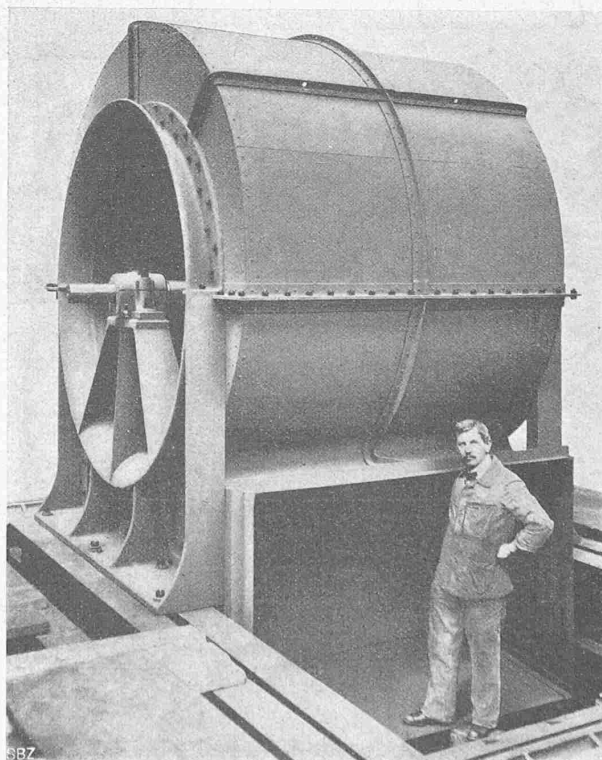


Abb. 10. Oerlikon-Ventilator mit 378 PS Kraftbedarf.

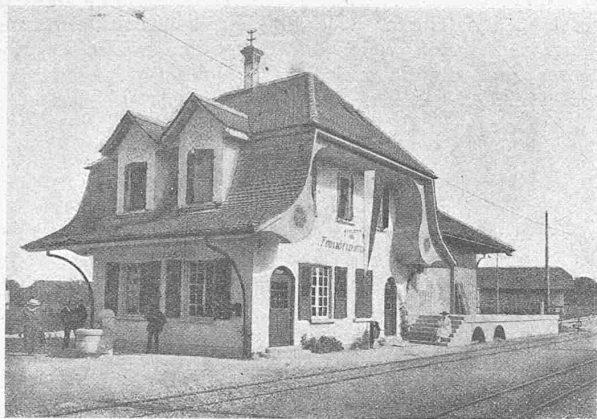


Abb. 32. Stations-Gebäude Fraubrunnen der E. S. B.

Kraftbedarf von 1,06 PS (Abbildung 7); der grosse Ventilator benötigt 378 PS und arbeitet mit dem hohen Wirkungsgrad von 86,8 % (Abbildung 8).

Die Messungen bei sämtlichen Ventilatoren wurden nach den gleichen, neuesten wissenschaftlichen Verfahren durchgeführt, und zwar wurde die Luftmenge am Eintritt und am Austritt des Ventilators bestimmt; die Abweichungen lagen in der Regel innerhalb 2 %.

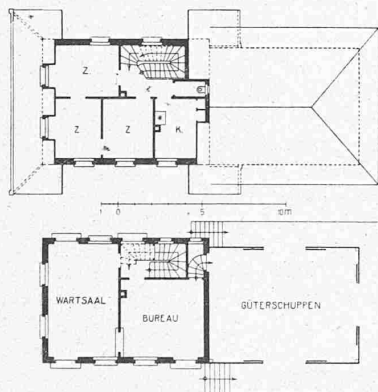


Abb. 33. Stationsgebäude Fraubrunnen, 1:400.

Stations-Bauten der E. S. B. von Arch. B. S. A. K. Indermühle in Bern.



Abb. 34. Haltestelle Bleichenberg.

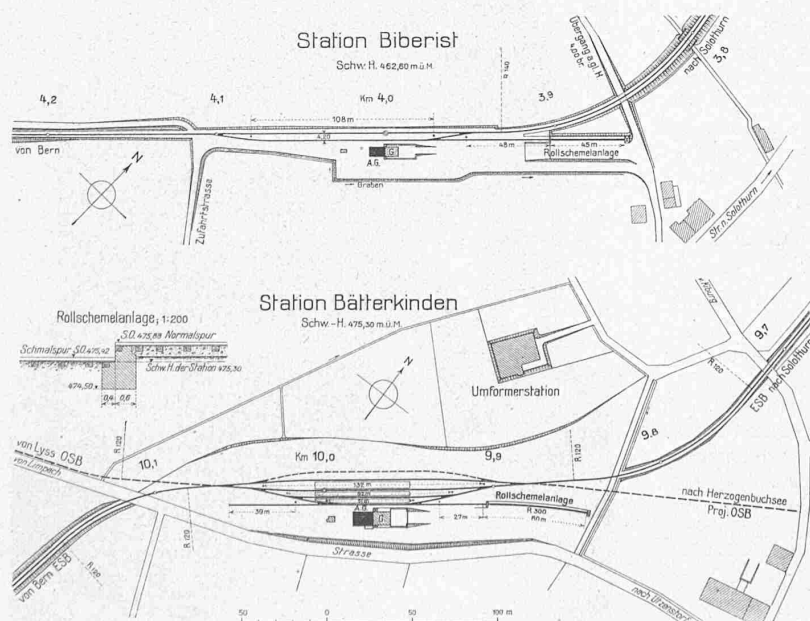


Abb. 27. Stationen Biberist und Bätterkinden der E. S. B. — Masstab 1:4000.

Wenn auch, wie bereits am Anfang erwähnt, die theoretische Druckhöhe einen grundverschiedenen Verlauf hat gegenüber der wirklichen Druckhöhe und für die Vorausbestimmung der wirklichen Druckvolumenkurve in der Regel nicht gebraucht wird, so zeigen doch die vorliegenden Versuche, dass für den maximalen Wirkungsgrad die theoretische Druckhöhe gut verwendet werden kann zur Bestimmung des wirklichen Druckes durch Multiplikation mit dem manometrischen Wirkungsgrad, der sich für die Räder f, b und g zu 87 %, 86,4 % und 81,3 % ergibt. Der theoretische Einfluss der Schaufelwinkel auf die Druckhöhe (siehe Abbildung 2), ist also nach obigen Versuchen in Wirklichkeit annähernd ebenfalls vorhanden, und der Wirkungsgrad ist für die Verhältnisse, wie sie bei Ventilatoren vorliegen, für obige drei Fälle nahezu unabhängig vom Austrittswinkel β_2 .

Die elektrische Solothurn-Bern-Bahn.

Von Oberingenieur Werner Luder, Solothurn.

(Fortsetzung von Seite 182.)

Stationsanlagen und Hochbauten.

Zwischen der Endstation Solothurn-Hbf. und Zollikofen sind acht Zwischenstationen mit Kreuzungsgeleisen und im weiteren noch sechs Haltestellen zu verzeichnen. Die für die 27 km lange Strecke grosse Zahl von 14 Stationen entspricht dem Bedürfnis, alle Ortschaften nach Möglichkeit zu bedienen, belastet aber selbstverständlich im übrigen die Bahn mit Bau- und Betriebs-Kosten. Die Kreuzungslänge zwischen den Polzeipfählen liegt zwischen 70 m Minimallänge bei kleinen Stationen, bis zu 120 m bei grösseren, im allgemeinen ist sie 100 bis 120 m (vergl. Abbildungen 27 und 28). Diese Bemessung, die über das, was man bei Schmalspurbahnen gewohnt ist, hinausgeht, hat anfänglich da und dort den Eindruck erweckt, dass zu grossartig gebaut werde, indem beim elektrischen Betrieb, wo die Zugfolge leicht vermehrt werden können, die Züge kürzer gehalten werden können. Es hat sich aber bald gezeigt, dass die vorgesehenen Kreuzungslängen durchaus richtig bemessen waren. Ein vierachsiger Personen-Motorwagen wiegt max. 34 t; das max. Gewicht für Personenzüge ist 95 t, für Güterzüge das doppelte, bei halber Geschwindigkeit. Da die Bahn dem Verkehr einer grossen Stadt dient und auch am nördlichen Ende ein bedeutendes Verkehrszentrum liegt, kommen, besonders an Sonn- und Festtagen, stossweise grosse Personenbeförderungen vor. Es werden Züge aus allen möglichen Fahrzeugen formiert, so z. B. auch aus leichten Sommerwagen, die aus offenen Güterwagen zurecht gerichtet werden. Auf diese Weise kommen unter Ausnützung der gesamten Zugkraft Zugslängen zustande, die die volle Kreuzungslänge in Anspruch nehmen (Abb. 29, S. 206). Im Jahre 1917 hat bei dem gutbesetzten Fahrplan das mittlere Zugsgewicht 66,6 t betragen.

Alle Stationen sind mit Rollschemelanlagen ausgerüstet und zwar meistens mit eingeleisigen. Die Erfahrung lehrt, dass da, wo einigermaßen lebhafter Verkehr zu erwarten ist, Doppelanschluss oder Auswechslungsmöglichkeit vorhanden sein sollte, dass aber in allen andern Fällen besser direkt vom Rollschemel ausgeladen