

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 21 (1930)
Heft: 17

Artikel: Bewertung von Staubsaugeapparaten durch Bestimmung der Saugleistungsmaxima
Autor: Velisek, Adolf
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061329>

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: 17.05.2025

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

Bewertung von Staubsaugeapparaten durch Bestimmung der Saugleistungsmaxima.

Von Dr. Ing. Adolf Velisek, Wien.

648.525.C0.14

Die Leistungsfähigkeit eines Staubsaugers ist dem Produkt aus Druck und Volumen der geförderten Luft (Förderhöhe und Fördermenge) proportionl; ein Staubsauger kann somit geprüft werden, indem man bei verschiedenen Betriebsstadien die aufgenommene elektrische Leistung, Förderhöhe und Fördermenge misst (konstante Spannung vorausgesetzt) und daraus die abgegebene Ventilatorleistung und den Gesamtwirkungsgrad errechnet. Dieses Verfahren ist jedoch zeitraubend. Der Autor entwickelt ein abgekürztes Verfahren und gibt die aus den vereinfachenden Annahmen resultierenden kleinen Fehler an, die, je nach der Charakteristik des Saugers, wenige bis max. 10 % betragen. Anhand von Prüfungsergebnissen wird auf einige prinzipielle, einen guten Sauger charakterisierende Punkte hingewiesen.

La capacité de travail d'un aspirateur de poussière est proportionnelle au produit de la pression par le volume de la quantité d'air mise en mouvement; on peut par conséquent essayer un aspirateur de poussière en mesurant, pour différentes étapes de service, la puissance électrique absorbée sous tension constante, le volume et la pression de l'air déplacé, puis en calculant d'après ces données la puissance fournie par le ventilateur et, par suite, le rendement de l'appareil. Ce procédé à l'inconvénient d'être trop peu rapide. L'auteur développe une méthode abrégée et indique les faibles erreurs résultant des hypothèses simplificatrices, lesquelles atteignent 10 % au maximum et souvent moins, suivant le caractère de l'aspirateur. Il rend attentif à quelques points caractéristiques d'un bon appareil, en se basant sur des résultats d'essais.

Im allgemeinen können elektrische Maschinen, Apparate und Geräte an Hand der Sicherheitsvorschriften hinreichend genau geprüft und auch bewertet werden. Dies trifft jedoch nicht in allen Fällen zu, insbesondere nicht bei manchen Elektro-Haushaltgeräten, wie Kochtöpfe, Kochplatten, Kochherde, Heisswasserspeicher, Staubsauger. Für die drei erstgenannten Geräte sind in letzter Zeit zweckentsprechende Prüfverfahren entwickelt worden¹⁾, ebenso liegen auch grundlegende Untersuchungen an Heisswasserspeichern und Staubsaugeapparaten bereits vor²⁾; doch ist mit Rücksicht auf die weite Verbreitung dieser beiden Geräte eine für die Praxis bestimmte, aber doch hinreichend genaue Prüfmethode zur Bewertung sehr erwünscht. Die im folgenden gemachten Ausführungen sollen nun diese Lücke – soweit es sich um Staubsaugeapparate handelt – ausfüllen.

Untersuchungen hinsichtlich der Bewertung eines bestimmten Gerätes muss eine Ueberprüfung im Sinne der geltenden Sicherheitsvorschriften vorangehen, da ein Gerät nur dann zum Anschluss zugelassen werden darf, wenn gewisse Garantien hinsichtlich Betriebssicherheit, Ungefährlichkeit etc. (in der Schweiz die Hausinstallationsvorschriften des SEV, in Deutschland die VDE-Bestimmungen, in Oesterreich die Vorschriften des Wiener Elektrotechn. Vereines) eingehalten sind. Auch Staubsaugeapparate sind also zunächst auf Anschlussfähigkeit, Isolierfestigkeit, Erwärmung, Anlasstrom, Führung der Saugluft, Leistungsschild, Installationszubehör usw. zu prüfen. Wenn nun auch ein Sauger allen diesen Bedingungen entspricht, so ist damit über seine Saugleistung bzw. Saugleistungsfähigkeit noch gar nichts ausgesagt und er ist daher noch nach dieser wichtigen Richtung zu untersuchen und mit anderen Fabrikaten zu vergleichen, d. h. zu bewerten.

Seine Saugleistung ist, wie bei jedem Ventilator³⁾, durch die charakteristischen Bestimmungsgrößen *Förderhöhe* und *Fördermenge* bestimmt. Definitionsgemäss ist

¹⁾ *Backhaus*: „Ueber die Einzelverluste und den Wirkungsgrad direkt beheizter elektrischer Kochapparate“. Mitteilungen des Forschungsinstitutes für Elektrowärmetechnik a. d. Techn. Hochschule Hannover, Heft 1, 1928.

Opacki: „Untersuchungen an Elektro-Kochplatten“, Bull. SEV 1929, No. 14, S. 445. Ferner: „Die Ueberprüfung elektr. Kochplatten nach der Verdampfungsmethode“, E. u. M. 1930, S. 614. Ferner: „Ein Verfahren zur Prüfung elektr. Speicherherde“, Bull. SEV 1928, No. 18, S. 584.

²⁾ *Backhaus*: „Ueber Einzelverluste und Wirkungsgrad elektrischer Heisswasserspeicher“, Mitteil. d. Forschungsinst. f. Elektrowärmetechnik a. d. Techn. Hochschule Hannover. H. 2.

Wedding: „Untersuchungen über Staubsaugeapparate“, ETZ 1927, S. 678.

Velisek: „Prüfung und Untersuchung von Staubsaugeapparaten d. d. Wiener städt. Elektrizitätswerke“, E. u. M. 1930, No. 9 u. 10.

³⁾ „Regeln für Leistungsversuche an Ventilatoren und Kompressoren“, VDI-Verlag, 2. Aufl. 1926.

die Förderhöhe Δp als Differenz der Gesamtdrücke p_1 und p_2 (jeweils Summe aus statischem p_{st} und dynamischem $\frac{\gamma}{2g} w^2$ Druck; $\gamma = 1,2 \text{ kg/m}^3$ für atm. Luft normaler Temperatur; $g = 9,81 \text{ m/s}^2$; w = Luftgeschwindigkeit in m/s) vor und hinter dem Ventilator bestimmt durch

$$\Delta p = p_2 - p_1 = (p_{st\ 2} - p_{st\ 1}) + (w_2^2 - w_1^2) \quad (1)$$

Für $p_{st\ 2}$ kann der atm. Druck und für $p_{st\ 1}$ der um die Saughöhe h_s (die an einem unmittelbar vor dem Lufteintritt in den Ventilator befindlichen U-Rohr gemessen wird) verminderte atm. Luftdruck gesetzt werden. Da schliesslich Eintritts- und Austrittsquerschnitt nicht sehr voneinander differieren, kann Eintritts- und Austrittsgeschwindigkeit der Luft als gleich gross angenommen werden, so dass sich als einfache Formel zur Bestimmung der Förderhöhe ergibt:

$$\Delta p = h_s \quad (2)$$

Die vom Ventilator geförderte Luftmenge wird zweckmässig mit einem geeichten Staurand bestimmt. Im freien Durchgang der Querschnittsverengung findet eine Geschwindigkeitssteigerung und damit ein Druckunterschied $\Delta p'$ im Raum vor und nach der Verengung statt, der, wie bekannt, in einem festen Zahlenverhältnis zum dynamischen Druck in der Einschnürung steht. Da nun die Luftgeschwindigkeit jeweils der Wurzel aus dem dynamischen Druck proportional ist, muss das gleiche Gesetz auch für das vom Sauger sekundlich gelieferte Luftvolumen $V = (1/s)$ gelten. Es ist daher:

$$V = c' \cdot \sqrt{p'} \quad (3)$$

Die Konstante wird durch Eichung bestimmt, der Differenzdruck $\Delta p'$ kann mittels eines Krellschen Flüssigkeitsmanometers abgelesen werden. Der maximale Fehler dieser Methode beträgt ca. 4 %, eine für Luftmessungen nicht zu hohe Ziffer.

Aus den beiden Messergebnissen h_s in mm W.S. und V in l/s lässt sich nun die Ventilatorleistung P in Watt errechnen und zwar ergibt sich bei Annahme eines isothermischen Arbeitsprozesses und Ersatz der durch die Isotherme ($pV = \text{const.}$) dargestellten Hyperbelfläche durch ein im Druckmittelpunkt berührendes Trapez bei Berücksichtigung von (2) die wichtige Formel:

$$P = 0,00981 \cdot V \cdot h_s \quad (4)$$

Die in den einzelnen Betriebsstadien (abgegebene) Ventilatorleistung P ist also der jeweiligen Fördermenge und Förderhöhe direkt proportional. Der Wirkungsgrad des Staubsaugers (Motor und Ventilator) errechnet sich dann einfach als Quotient aus abgegebener Ventilatorluftleistung P (Formel 4) und der dem Motor zugeführten elektrischen Leistung P_e .

Nach der im vorstehenden kurz entwickelten Theorie können nun Staubsaugeapparate in der Weise geprüft werden, dass man in verschiedenen Betriebsstadien (Eingangsöffnung des Messrohres mit entsprechenden Filtern abdecken) bei konstanter Spannung Strom, aufgenommene elektrische Leistung, Förderhöhe und Fördermenge misst, sowie abgegebene Ventilatorleistung und Gesamtwirkungsgrad errechnet.

Auf diese Weise lassen sich für jeden Sauger vier charakteristische Linien zeichnen: Förderhöhe, (aufgenommene) elektrische Leistung, (abgegebene) Ventilatorleistung und Wirkungsgrad, sämtliche als Funktion der geförderten Luftmenge. Um verschiedene Sauger gegeneinander vergleichen zu können, hat man nur diese Charakteristiken in entsprechende Vergleichsdiagramme einzutragen. Die höher gelegene und weiter ausladende Leistungscharakteristik spricht für den besseren Sauger.

An Hand von etwa 20 verschiedenen Haushaltstypen konnte ich finden, dass Staubsaugeapparate auf Grund ihrer Charakteristiken in zwei Gruppen zu trennen sind. Der einen Gruppe sind steil abfallende Vacuumlinien mit hohem Vacuum

bei geschlossener Düse (bis 800 mm WS) resp. steil ansteigende und ebenso steil abfallende Leistungscharakteristiken mit hohem Maximum (bis 45 Watt) bei verhältnismässig kleiner Luftförderung (bis 18 l/s) eigen, während die andere Gruppe bei kleinerer anfänglicher Saughöhe (bis 500 mm WS) sanfter ansteigende und auch nur flach abfallende Leistungscharakteristiken bei oftmals kleinerem Maximum (bis 35 Watt), aber grösserer Luftförderung (bis 25 l/s) besitzt. Die erstgenannte Art von Saugern ist vornehmlich dort am Platze, wo es sich um Reinigung feinerer Gewebe handelt, während die Gruppe mit flachen Charakteristiken mehr für grobe Gewebe, wie Teppiche etc. geeignet erscheint. Unter sonst gleichen Verhältnissen ist der Type mit flacher Charakteristik unbedingt der Vorzug zu geben. Das endgiltige Urteil darf aber nicht gefällt werden, ohne

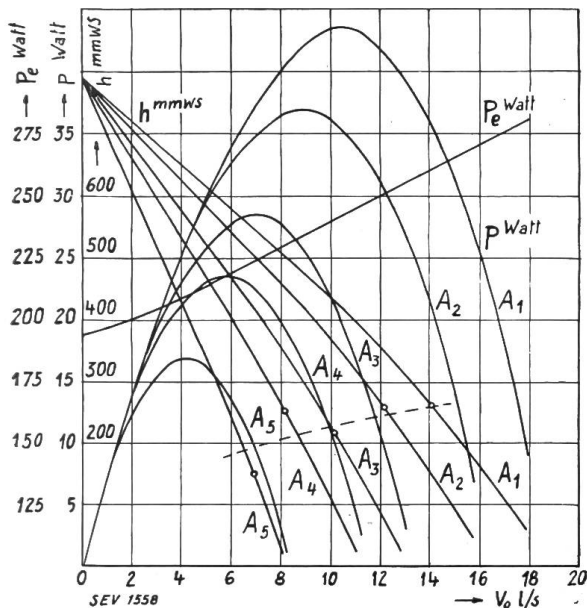


Fig. 1.

Charakteristische Kurven eines Kesselapparates mit Einstaubung von „innen“.

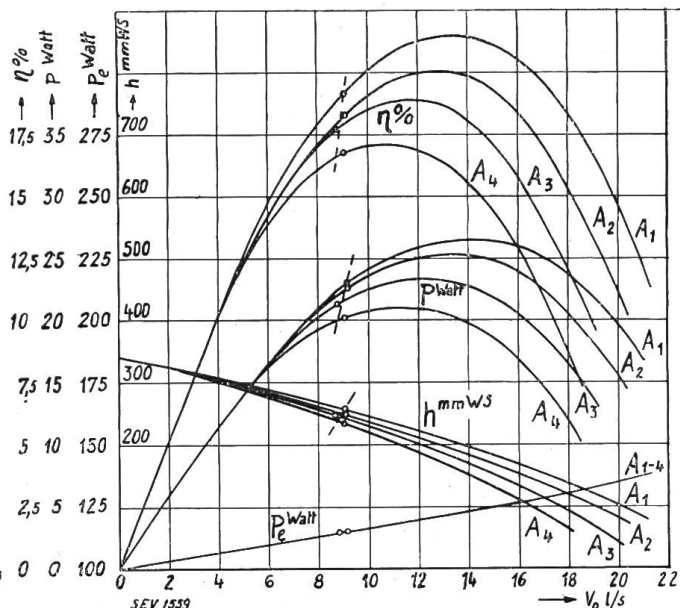


Fig. 2.

Charakteristische Kurven eines Kesselapparates mit Einstaubung von „ausser“.

die drosselnde Wirkung der Einstaubung untersucht zu haben. Im allgemeinen zeigt sich, dass Kesselapparate mit Einstaubung von „innen“, d. h. solche Kesselapparate, bei denen der angesaugte Staub in den Filtersack gelangt, Kesselapparaten mit Einstaubung von „ausser“ d. i. Kesselapparaten, bei denen der Staub im Raum zwischen Filterausserwand und Kesselwandung abgelagert wird, ganz entschieden unterlegen sind. Die Fig. 1 und 2 lassen erkennen, dass die maximale Saugleistungsfähigkeit des Apparates A (Einstaubung von innen) nach einer Staubaufnahme von 100 g Staub um 60 %, die des Apparates R₁ (Einstaubung von aussen) trotz dreifacher Staubmenge nur um 20 % abgenommen hat. Damit ist erklärlich, dass dieser, obwohl seine maximale Leistungsfähigkeit im reinen Zustande um 38 % geringer ist, schon nach Aufnahme von 50 g Staub besser saugt als der Sauger A. Aus diesen Gründen müssen Beutelapparate, die ihrer Konstruktion gemäss nur Einstaubung von „innen“ haben können, eine mindestens 3–4fache Oberfläche besitzen, wenn sie Kesselapparaten mit Einstaubung von „ausser“ unter sonst gleichen Bedingungen nicht unterlegen sein wollen. Schliesslich muss noch erwähnt werden, dass bei all diesen Versuchen der Staub durch kein anderes Mittel (Mehl, Sand, Borax) ersetzt werden kann, da die drosselnde Wirkung des Staubes 4½ bis 6 mal so gross ist. Die Fig. 1, 2 und 3, welche zu den besten der von mir geprüften Apparaten gehören und die drei verschiedenen Apparatetypen hinreichend charakterisieren, lassen die geschilderten Verhältnisse deutlich erkennen. Fig. 1 gehört zu einem von „innen“ eingestaubten Sauger mit steiler Charakteristik. Steiler Abfall der

Vacuumlinien, steiler Anstieg und ebenso steiles Abfallen der Leistungslinien bei starkem Leistungsabfall mit zunehmender Einstaubung charakterisieren ihn. Die gestrichelte Linie über die Vacuumlinien bzw. über die Leistungslinien zeigt die Wanderung des mit Hilfe eines „Normalteppichs“ (langhaariger Smyrnatteppich) aufgenommenen Betriebspunktes bei fortschreitender Einstaubung. Fig. 2 stellt einen von „ausser“ eingestaubten Sauger mit typisch flacher Charakteristik dar. Flache Vacuumlinien, niedrigeres Vacuum, grössere Luftfördermenge, flache ausladende Leistungslinien, geringer Leistungsabfall auch bei grösseren Staubmengen kennzeichnen ihn. Fig. 3 charakterisiert einen Beutelapparat mit hinreichend grosser Beuteloberfläche, der ebenfalls der Gruppe der Flachcharakteristiken angehört und beim Arbeiten ohne Schlauch dem vorgenannten Apparat in keiner Weise nachsteht.

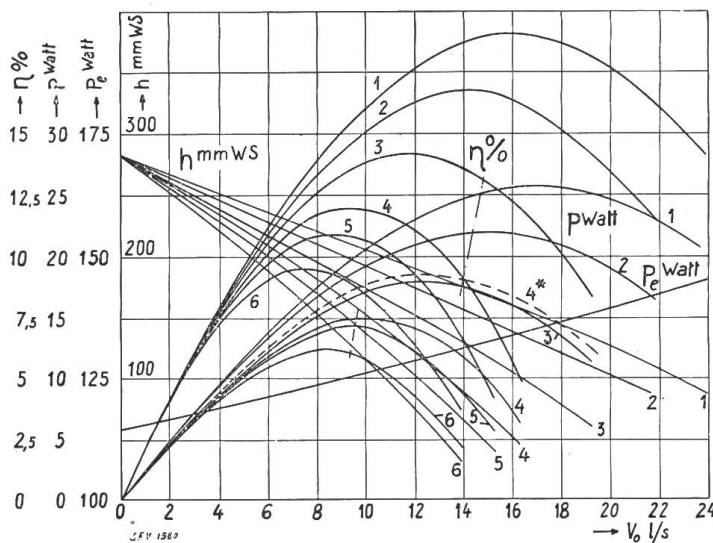


Fig. 3.

Charakteristische Kurven eines Beutelapparates.

- Kurven 1 und 4 für reinen Apparat,
- Kurven 2 und 5 für 300 g Staub,
- Kurven 3 und 6 für 1000 g Staub,
- Kurven 1 bis 3 ohne Schlauch,
- Kurven 4 bis 6 mit Schlauch,
- Kurve 4* für reinen Apparat mit im Durchmesser vergrössertem Schlauch.

Sofern aber Arbeitsverrichtungen mit angesetztem Schlauch notwendig sind, fallen seine Leistungscharakteristiken empfindlich ab (die maximale Leistungsfähigkeit sinkt um 42 %, die maximal geförderte Luftmenge um 32 % bei reinem Apparat), was auf abnorm grosse Schlauchverluste hinweist. Der Schlauch ist, wie bei sehr vielen Apparaten, im Durchmesser zu knapp dimensioniert, was Kurve 4* zeigt, die mit demselben Apparat, aber mit einem im Durchmesser um ca. 30 % vergrösserten, sonst sogar um ca. 4 % längeren Schlauch aufgenommen wurde. Die Leistungsverminderung bei reinem Apparat beträgt jetzt statt 42 % nur mehr 28 %, die Abnahme der Luftmenge statt 32 % nur 18 %.

Die vorstehenden Ausführungen lassen nun wohl die Vorteile, aber auch die Nachteile der

geschilderten graphischen Prüfmethode ohne weiteres erkennen. Uebersichtlichkeit, Berücksichtigung des gesamten Kurvenbildes, sowie grosse Anschaulichkeit sind die Vorzüge; unerwünscht ist aber die lange Zeitdauer für Prüfung und Auswertung der Prüfergebnisse. Sofern es sich daher nicht um grundsätzliche Untersuchungen handelt, ist eine vereinfachte (rechnerische) Prüfmethode sicherlich nicht unerwünscht. Sie ist gefunden, wenn man den Kurvenverlauf der Vacuumlinien als geradlinig annimmt. Dass dies ohne allzu grossen Fehler statthaft ist, zeigen die Fig. 1–3 ganz deutlich. Unter dieser Voraussetzung können wir nun als Gleichung für die Vacuumlinien (vgl. Fig. 4) ansetzen:

$$y = -k_1 \cdot x + m_1 \quad (5)$$

Mit Berücksichtigung von Gleichung (4) ergibt sich jetzt sofort auch eine Gleichung für die Saugleistung ζ :

$$\zeta = c y x = -c k_1 x^2 + c m_1 x, \quad (6)$$

welche offenbar eine Parabel darstellt. Die Scheitelkoordinaten (ξ_s, ζ_s) erhalten wir, wenn wir diese Gleichung auf folgende Form bringen:

$$(x - \xi_s)^2 = - \frac{\xi_s^2}{\zeta_s} (\zeta - \zeta_s). \quad (7a)$$

Damit nimmt unsere Parabelgleichung die Gestalt an:

$$\left(x - \frac{m_1}{2k_1}\right)^2 = - \frac{\frac{m_1^2}{4k_1^2}}{\frac{c m_1^2}{4k_1}} \left(\xi - \frac{c m_1^2}{4k_1}\right) \quad (7b)$$

Nehmen wir nun noch an, dass die als Gerade angenommene Vacuumlinie durch die beiden Punkte: maximales Vacuum $h_{\max}$ bei geschlossener Düse ($Q = 0$) und minimales Vacuum $h_{\min}$ bei vollständig geöffneter Düse ($Q_{\max}$) gegeben sei, so kommt den vorstehenden Zeichen folgende Bedeutung zu:

$$\left. \begin{aligned} x &\dots\dots Q \text{ geförderte Luftmenge (l/s)} \\ y &\dots\dots h \text{ Vacuum (mm W S)} \\ k_1 &= \frac{h_{\max} - h_{\min}}{Q_{\max}} \\ m_1 &= h_{\max} \\ \xi &\dots\dots P \text{ Saugleistung (W)} \\ c &= 0,00981 \\ \xi_s &= \frac{m_1}{2k_1} = \frac{Q_{\max}}{2} \frac{h_{\max}}{h_{\max} - h_{\min}} \\ \xi_s &= \frac{c m_1^2}{4k_1} = 0,00245 Q_{\max} h_{\max} \frac{h_{\max}}{h_{\max} - h_{\min}} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Da $\xi_s = P_{\max}$, haben wir für die maximale Saugleistungsfähigkeit $P_{\max}$ in W eines Saugers im reinen Zustand die einfache Formel:

$$P_{\max} = 0,00245 Q_{\max} h_{\max} \frac{h_{\max}}{h_{\max} - h_{\min}} + \frac{20\%}{13\%} \quad (9)$$

gefunden, nach welcher diese errechnet werden kann, sofern maximales und minimales Vacuum und maximale Luftmenge gemessen sind. Der Korrektionsfaktor $\frac{h_{\max}}{h_{\max} - h_{\min}}$ betrug bei Saugern mit steiler Charakteristik 1,024 bis 1,074, bei Saugern mit flacher Charakteristik 1,12 bis 1,45.

Zufolge der Krümmung der Vacuumlinien nach oben sind die nach Formel (8) errechneten Werte um einige % zu klein. Kontrollrechnungen haben ergeben, dass diese bei Saugern mit steilen Charakteristiken im Mittel um 20 %, bei Saugern mit flachen Charakteristiken um 12 % zu vergrössern sind. Die so korrigierten Ergebnisse wurden an Hand von etwa 20 durchgeführten exakten Messungen mit den wahren Werten verglichen. Der maximale Fehler bei Saugern mit steilen Charakteristiken war 10 %, bei Saugern mit flacher Charakteristik 5 %, was bei praktischen Luftmessungen gerade noch zulässig sein dürfte, sofern es sich nur um die Feststellung der betriebsmässigen Saugleistungsfähigkeit handelt. Wird die Probe aber zwecks Ermittlung der Güte eines bestimmten Saugers im Vergleich zu anderen vorgenommen, so ist das so erhaltene Ergebnis u. U. zu ungenau. Man kann nun die Genauigkeit dadurch wesentlich erhöhen, dass man die als Gerade angenommene Vacuumlinie nicht durch maximales oder minimales Vacuum fixiert, sondern durch maximale geförderte Luftmenge ($h_{\min}$, $Q_{\max}$) und einen Punkt ($h_{1/2}$, $Q_{1/2}$), der ungefähr halber Luftfördermenge entspricht. Vorstehende Entwicklungen ergeben bei sinn-gemässer Anwendung für die maximale Saugleistungsfähigkeit:

$$\xi_s = \frac{c}{4} \cdot \frac{m_1^2}{k_1} \quad (\text{vgl. Gleichungen 8})$$

die Formel

$$P_{\max} = 0,00245 \cdot \frac{m_1}{k_1} + 2\%, \quad (10)$$

wobei k_1 und m_1 entsprechend den geänderten Annahmen wie folgt zu errechnen sind:

$$k_1 = \frac{h_{1/2} - h_{\min}}{Q_{\max} - Q_{1/2}}; \quad m_1 = k_1 \cdot Q_{\max} + h_{\min} \quad (10a)$$

Die Kontrolle dieser Formeln an den vorerwähnten 20 Staubsaugern ergab in keinem einzigen Falle einen grösseren Fehler als $3\frac{1}{2}\%$. Ueber die durch die beiden angeführten Ersatzmethoden entstehenden Fehler gibt die masstäbliche Fig. 5 ein klares Bild. Nach der ersten Methode wird die wahre Vacuumlinie a durch die

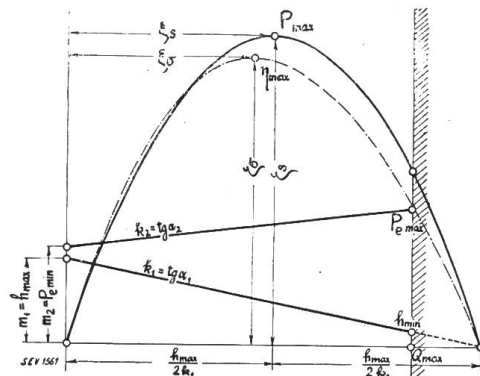


Fig. 4.
Ideelle Charakteristiken.

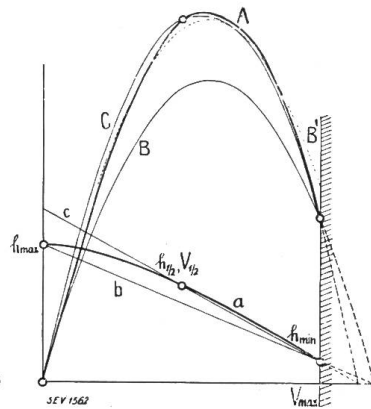


Fig. 5.
Vergleich zwischen den wahren und den ideellen Charakteristiken.

Gerade b ersetzt, so dass an Stelle der wahren Leistungslinie A die Parabel B tritt. Im zweiten Falle wird a durch c ersetzt, A daher durch die Parabel C . Man sieht, dass die Werte der Parabel B immer, u. U. beträchtlich kleiner als jene der Kurve A sind, womit sich die hohen Korrekturziffern von 20 % bei steilen (vgl. die gestrichelte Parabel B' , die gegenüber B um 20 % erhöht ist) resp. 12 % bei

flachen Charakteristiken erklären. Im zweiten Falle aber schmiegt sich die Ersatzparabel C sehr gut an die wahre Leistungskurve A an, so dass nur eine ganz geringfügige Korrektur (2 %) nötig ist und auch die maximalen Fehler nie grösser als $3\frac{1}{2}\%$ werden.

Es erscheint jetzt noch wertvoll, auch für den maximalen Wirkungsgrad eine ähnliche Formel zu entwickeln. Ähnlich wie früher für die Vacuumlinie muss jetzt für die Kurve der aufgenommenen elektrischen Leistung geradliniger Verlauf angenommen werden. Auch dies ist mit nicht zu grossem Fehler möglich (vgl. Fig. 1–4). Wir finden den Wirkungsgrad η , indem wir die Ventilatorleistung (mechanisch abgegebene Leistung, vgl. Gl. 7a)

$$\xi = -\frac{\xi_s}{\xi_s^2} (x - \xi_s)^2 + \xi_s$$

durch die elektrisch zugeführte Leistung:

$$y = k_2 \cdot x + m_2 \quad (11)$$

dividieren. Wir erhalten also:

$$\eta = \frac{-\frac{\xi_s}{\xi_s^2} (x - \xi_s)^2 + \xi_s}{k_2 x + m_2},$$

wobei den Grössen x , ξ_s und ξ_s dieselbe Bedeutung beizulegen ist wie früher, während für k_2 und m_2 zu setzen ist:

$$k_2 = \frac{P_{e\max} - P_{e\min}}{Q_{\max}} \text{ und } m_2 = P_{e\min}, \quad (12)$$

sofern die Leistungsgerade ähnlich wie früher die Vacuumlinie durch $Q=0$ (resp. $h_{\max}$, $P_{e\min}$) und $Q_{\max}$ (resp. $h_{\min}$, $P_{e\max}$) als gegeben erscheint. Durch Differentiation von η nach x und Nullsetzen des Differentialquotienten ergibt sich die $\eta_{\max}$ bestimmende Abszisse zu:

$$\xi_{\sigma} = \frac{m_2}{k_2} \left[\sqrt{1 + \frac{2 \xi_s k_2}{m_2}} - 1 \right].$$

Wird der Wurzel Ausdruck nach dem Binomischen Lehrsatz entwickelt und vernachlässigt man vom 4. Glied aufwärts alle Summanden, so folgt für ξ_σ die einfache Formel:

$$\xi_\sigma = \xi_s \left(1 - \frac{k_2}{2 m_2} \xi_s\right). \quad (13)$$

Damit ist aber auch der maximale Wirkungsgrad gefunden. Setzt man noch den Ausdruck $\frac{\xi_\sigma}{\xi_s} \left(2 - \frac{\xi_\sigma}{\xi_s}\right) \equiv 1 - \frac{k_2^2}{4 m_2^2} \xi_s^2 \sim 1$ (Fehler $1\frac{1}{2}\%$), so folgt die einfache Formel:

$$\eta_{\max} = \frac{P_{\max}}{k_2 \xi_\sigma + m_2} 100 \% \quad (14)$$

$P_{\max}$ ist bereits nach Gleichung (9) errechnet. $\frac{\xi_\sigma}{\xi_s}$ resp. ξ_σ findet man mit Hilfe von Gleichung (13), k_2 und m_2 nach Gleichung (12). Diese Formel liefert ähnlich wie Gleichung (9) Ergebnisse, die vom wahren Wert maximal um 10 %, resp. $5\frac{1}{2}\%$ abweichen können. Auch hier kann die Genauigkeit bis auf Differenzen von ca. 6 % erhöht werden, wenn man nicht Anfangs- und Endpunkt, sondern Endpunkt und einen mittleren Punkt der Charakteristiken bestimmt. $P_{\max}$ ist dann nach Gleichung (10) einzusetzen, k_2 und m_2 sind analog den Formeln (10a) nach den Gleichungen

$$k_2 = \frac{P_{e \max} - P_{e \frac{1}{2}}}{Q_{\max} - Q_{\frac{1}{2}}}; \quad m_2 = P_{e \max} - k_2 Q_{\max} \quad (15)$$

zu bestimmen.

Als praktisches Beispiel mögen die beiden nun folgenden Tabellen dienen, in welchen Maximalleistung und maximaler Wirkungsgrad für die drei durch Schaulinien dargestellten Staubsaugeapparate nach vorstehend entwickelten Methoden errechnet und mit den tatsächlichen Werten verglichen sind.

Errechnung der optimalen Werte aus Anfangs- und Endpunkt der Charakteristiken.

Tabelle I.

Apparat	Gemessene Werte						$P'_{\max}$ errechnet	$P_{\max}$ Soll-Wert	Fehler %
	$Q_{\max}$	$h_{\min}$	$P_{e \max}$	$Q_{\min}$	$h_{\max}$	$P_{e \min}$	$\eta'_{\max}$	$\eta_{\max}$	
A	17,9	56	282	0	792	194	44,6	43,8	+ 2
							18,6	17,3	+ 8
R_1	21,4	77	138	0	340	100	25,8	26,6	- 3
							21,2	21,5	- $1\frac{1}{2}$
U_3	23,9	88	145	0	284	114,5	27,0	25,8	+ $4\frac{1}{2}$
							20,1	19,1	+ 5

Errechnung der optimalen Werte aus einem mittleren Punkt und dem Endpunkt der Charakteristiken.

Tabelle II.

Apparat	Gemessene Werte						$P''_{\max}$ errechnet	$P_{\max}$ Soll-Wert	Fehler %
	$Q_{\max}$	$h_{\min}$	$P_{e \max}$	$Q_{\frac{1}{2}}$	$h_{\frac{1}{2}}$	$P_{e \frac{1}{2}}$	$\eta''_{\max}$	$\eta_{\max}$	
A	17,9	32	282	9,0	476	235	43,1	43,8	- $1\frac{1}{2}$
							18,3	17,3	+ 6
R_1	21,4	77	138	11,0	234	118	26,5	26,6	- $\frac{1}{4}$
							22,3	21,5	+ $3\frac{1}{2}$
U_3	23,9	88	145	12,0	190	129	25,1	25,8	- $2\frac{1}{2}$
							18,8	19,1	- $1\frac{1}{2}$

Fassen wir nun die gewonnenen Erkenntnisse zusammen, so lässt sich folgendes sagen: Wenn man nicht aus Gründen besonderer Genauigkeit gezwungen ist, die vollständigen Charakteristiken punktweise aufzunehmen, so lassen sich auf Grund der experimentell zu bestimmenden Grössen: max. und min. Vacuum, max. Luftfördermenge, max. und min. Leistungsaufnahme (Anfangs- und Endpunkt der Charakteristiken) optimale Saugleistung und optimaler Wirkungsgrad rechnermässig bestimmen. Bei einiger Uebung lassen die zuvor genannten Daten ohne weiteres erkennen, ob es sich um Sauger mit steiler oder flacher Charakteristik handelt, so dass mit dieser Unterscheidung auch eine Bewertung in dem Sinne vorgenommen werden kann, dass die Sauger in Reihenfolge ihrer Saugleistungsfähigkeit aufgezählt werden können. Die Genauigkeit dieses Verfahrens wird erhöht, wenn auch noch ein mittlerer Punkt der Charakteristik aufgenommen wird und die Rechnungsgrössen aus diesem und dem Endpunkt der Charakteristik errechnet werden. Die Genauigkeit der vorgenannten Methoden ist aus nachstehender Tabelle ersichtlich.

Uebersicht über die Genauigkeit der vorgeschlagenen Ersatzmethoden.

Tabelle III.

Methode als Rechnungsgrundlage dienen	Sauger mit	max. Fehler in der bestimmten Saugleistung	Bei 20 untersuchten Saugern war der Fehler in	max. Fehler für den Wirkungsgrad	Bei 20 untersuchten Saugern war der Fehler in
Anfangs- und Endpunkt	steiler Charakt.	$\pm 10\%$	$\frac{2}{3}$ aller Fälle $< 4\%$ $\frac{1}{3}$ aller Fälle $< 10\%$	$\pm 10\%$	$\frac{1}{2}$ aller Fälle $< 2\frac{1}{2}\%$ $\frac{1}{2}$ aller Fälle $< 10\%$
	flacher Charakt.	$\pm 5\%$	$\frac{1}{2}$ aller Fälle $< 3\%$ $\frac{1}{2}$ aller Fälle $< 5\%$	$\pm 5\frac{1}{2}\%$	$\frac{2}{3}$ aller Fälle $< 2\frac{1}{2}\%$ $\frac{1}{3}$ aller Fälle $< 5\frac{1}{2}\%$
ein mittlerer und Endpunkt	steile Ch. oder flache Charakt.	$\pm 3\frac{1}{2}\%$	$\frac{2}{3}$ aller Fälle $< 2\%$ $\frac{1}{3}$ aller Fälle $< 3\frac{1}{2}\%$	$\pm 6\%$	$\frac{1}{2}$ aller Fälle $< 2\frac{1}{2}\%$ $\frac{1}{2}$ aller Fälle $< 6\%$

Aehnlich wie bei der graphischen Methode nur bei Beachtung der einstaubenden Wirkung Fehlergebnisse vermieden werden können, muss diese auch bei den hier vorgeschlagenen Ersatzmethoden berücksichtigt werden. Um daher zu einem vollständigen Ergebnis gelangen zu können, sind max. Leistungsvermögen und max. Wirkungsgrad ausser für den reinen Apparat auch am eingestaubten — etwa mit 300 g — zu bestimmen.

Nach vereinfachten Methoden zur Qualifikation der Staubsaugeapparate wurde auch schon von anderer Seite gesucht. Soweit mir bekannt, sind bisher von schwedischer und auch von deutscher Seite Formeln für diesen Zweck angegeben worden, welche einen bestimmten Punkt der Vacuumlinien herausgreifen, der dann als Charakteristikum für den betreffenden Sauger dienen soll. Wie eingangs gezeigt, kann natürlich eine Saughöhe allein niemals den Sauger charakterisieren, sondern immer nur ein Produkt aus Saughöhe und Vacuum. Kontrolliert man nun diese

$$\text{Formeln: } h_1 = 0,5 h_{\max} + 50 \quad (16)$$

$$\text{resp. } h_2 = 0,55 h_{\max} \quad (17)$$

in der Weise, dass man die diesen Saughöhen zugeordneten Luftmengen $V_1, 2$ misst, resp. die zugeordneten Luftleistungen rechnet und mit den optimalen Werten aus der experimentell aufgenommenen Charakteristik vergleicht, so findet man im allgemeinen sehr gute Uebereinstimmung. Diese Methoden, nach welchen also ein ganz bestimmter Punkt der Charakteristik (h_1, V_1 resp. h_2, V_2) aufzunehmen ist, führen daher ebenfalls zum Ziel, nur muss bei der experimentellen Aufnahme eine Abdrosselung der Messdüsen mittels verlustfreier Filter auf einen ganz bestimmten Querschnitt, der eben durch h_1 resp. h_2 gefordert wird, erfolgen, was u. U. auch zeitraubend sein kann. Ausserdem ist aber auch, da nur ein einziger Punkt gemessen wird, besondere Präzision bei der Aufnahme notwendig, da die Abweichung einzelner experimentell aufgenommener Punkte von der interpolierten Charakteristik

bei derartigen Luftmessungen leicht mehrere Prozent ausmachen kann. Ueber die Genauigkeit dieser beiden Methoden (*fehlerlose* Bestimmung des charakteristischen Punktes vorausgesetzt) gibt nachstehende Tabelle Aufschluss, wobei sich zeigt, dass die erste Formel Punkte bestimmt, die knapp vor dem effektiven Maximum liegen, während die durch die zweite Formel bestimmten Punkte um das effektive Maximum nach beiden Seiten pendeln und so der Wirklichkeit noch näher kommen.

Uebersicht über die zu erzielende Genauigkeit nach Formeln (16) und (17). Tabelle IV.

Formel	Sauger mit	max. Fehler in den Saugleistungen	Bei 20 untersuchten Saugern war der Fehler in
$0,5 h_{\max} + 50$	steiler Charakteristik	$- 3\frac{1}{2} \%$	$\frac{2}{3}$ aller Fälle $< 1\frac{1}{2} \%$ $\frac{1}{3}$ aller Fälle $< 3\frac{1}{2} \%$
	flacher Charakteristik	$- 12 \%$	$\frac{2}{3}$ aller Fälle $< 4 \%$ $\frac{1}{3}$ aller Fälle $< 12 \%$
$0,55 h_{\max}$	steiler Charakteristik	$\pm 3 \%$	90 % aller Fälle $< 1 \%$ $\frac{1}{3}$ aller Fälle 0%
	flacher Charakteristik	$\pm 3 \%$	90 % aller Fälle $< 1\frac{1}{2} \%$ $\frac{2}{3}$ aller Fälle 0%

Werden diese beiden Formeln (16) und (17) auf die drei Sauger laut Fig. 1 bis 3 angewendet, so ergibt sich — *fehlerfreie* Messung des charakteristischen Punktes vorausgesetzt — folgende Tabelle:

Bestimmung der optimalen Saugleistung mittels h_1 , V_1 resp. h_2 , V_2 . Tabelle V.

Apparat	$h_{\max}$	h_1	V_1	P_1	Fehler	h_2	V_2	P_2	Fehler
A	792	446	9,86	43,2	$- 1\frac{1}{4} \%$	436	10,25	43,8	0 %
R ₁	340	220	12,1	26,1	$- 1 \%$	187	14,5	26,6	0 %
U ₃	284	192	12,1	22,8	$- 11\frac{1}{2} \%$	156	16,85	25,8	0 %

Technische Mitteilungen. — Communications de nature technique.

Ueber den Zusammenhang zwischen Spannung, Lichtausbeute und Lebensdauer der Glühlampen.

621.326

Anschliessend an die im Bulletin SEV 1930, Nr. 15, S. 529, veröffentlichten «Technischen Bedingungen für die Lieferung von Glühlampen an die Mitglieder des VSE» geben wir eine uns nützlich scheinende Angabe über den Zusammenhang zwischen Spannung, Lichtausbeute und Lebensdauer der Glühlampen.

Es kommt häufig vor, dass man aus irgend einem Grunde Lampen haben möchte, deren Lebensdauer grösser ist als diejenige der normalen Glühlampen, oder deren Lichtausbeute grösser ist als es bei den gewöhnlichen Glühlampen der Fall ist. Beides ist erreichbar, aber natürlich *nicht gleichzeitig*, wenn man Glühlampen wählt, deren Stempelspannung¹⁾ niedriger oder höher ist als die tatsächliche Betriebsspannung.

Die Kurven der Fig. 1 geben annähernd den Zusammenhang zwischen Betriebsspannung

einerseits, Lebensdauer, Lichtstrom, Leistungsaufnahme und Lichtausbeute andererseits, wenn man eine Lampe dauernd mit der betreffenden Betriebsspannung brennen würde.

Diesen Kurven entsprechen folgende Zahlenwerte:

Betriebsspannung in % der Stempel- spannung der Lampe	Lebens- dauer etwa %	Licht- strom etwa %	Licht- ausbeute etwa %	Leistungs- aufnahme etwa %
90	570	65	80	84
95	228	81	90	92
100	100	100	100	100
105	54	117	110	108
110	31	135	120	116

Die garantierte mittlere Lebensdauer der heute fabrizierten Lampen beträgt 1000 Stunden. Wenn wir also obige Zahlenwerte beispielsweise auf eine 60-Watt-Lampe von 110 V Stem-

¹⁾ Stempelspannung ist die auf die Lampe gestempelte Nennspannung.