

Einschaltung.

**Festlegung der Begriffe Füllung und Admissionsdruck.
Vergleich verschiedener Begriffsbestimmungen.**

25. Beim Entwurf des Dampfdiagramms wurde nicht von demjenigen Punkt der Expansionslinie ausgegangen, in welchem der Abschluß tatsächlich stattfindet (Füllungspunkt C, Füllungsweg s_a Fig. 5), sondern von dem Schnittpunkt E der rückwärts verlängert gedachten Expansionslinie mit der horizontalen Linie des mittleren Admissionsdruckes [Füllungsweg (s_1)].

Die Füllung s_a/s werde Abschlußfüllung genannt, die Füllung (s_1/s) werde schlechweg Füllung genannt, oder, um Verwechslungen zu vermeiden, ideale Füllung.

Da, wie weiter unten noch gezeigt werden wird, der Begriff des Admissionsdruckes nicht festliegt und nicht einheitlich gebraucht wird, muß zur Festlegung der Expansionslinie noch angegeben werden, auf welchen Druck die ideale Füllung bezogen ist. Als „Füllungsbezugsdruck“ ist in dem Diagramm Fig. 1 S. 2 der mittlere Admissionsdruck gewählt. Diese Wahl wird weiter unten noch weiter als zweckmäßig nachgewiesen werden.

Es ist unpraktisch, sich bei Berechnung des mittleren indizierten Druckes auf die Abschlußfüllung zu beziehen. Die Unzweckmäßigkeit dieser Grundlage gegenüber der ideellen Füllung soll zunächst unter Zugrundelegung eines anderen auch vielfach gebräuchlichen Bezugsdruckes für die ideale Füllung nachgewiesen werden. Statt des mittleren soll der anfängliche Admissionsdruck $p' = OF$ als Füllungsbezugsdruck gewählt werden, dem bei unveränderter Lage der Expansionslinie in Fig. 5 der Füllungsweg s_1 entspricht.

Denkt man sich in Fig. 5 den Abschluß durch die Steuerung bei A B (d. h. nach dem Kolbenweg s_a)

erfolgt, und zwar das eine Mal vollständig präzise, das andere Mal unter starker Drosselung, dann unterscheiden sich die beiden Dampfdiagramme sehr bedeutend in ihrer Fläche, nämlich um das horizontal und vertikal schraffierte Stück. Geht man dagegen von der ideellen Füllung s_1 aus und überläßt es dem Regulator, diejenige Abschlußfüllung zu geben, welche die gewünschte ideale Füllung bei Rückwärtsverlängerung der Expansionslinie ergibt, so kann ein Irrtum in der Schätzung der Drosselung nur einen geringen Einfluß haben.

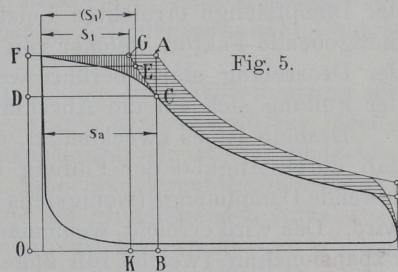


Fig. 5.

Der Unterschied besteht, selbst bei Vergleich vollständig präzisen Abschlusses und starker Drosselung, nur in der senkrecht schraffierten Fläche.

Wenn man die ideelle Füllung auf den mittleren Admissionsdruck p bezieht, so fällt auch der Einfluß einer mehr oder weniger stark abfallenden Admissionslinie auf die Arbeitsfläche fort (Art. 38); doch schien es zweckmäßig, für den vorstehenden Nachweis den anfänglichen Admissionsdruck zugrunde zu legen, weil es damit nicht erforderlich wird, den Kesseldruck verschieden hoch anzunehmen.

26. Auch für die Wahl der normalen Füllung einer zu entwerfenden Maschine bezieht man sich zweckmäßig nicht auf die Abschlußfüllung, sondern auf die ideelle Füllung, weil gleiche Abschlußfüllungen bei Annahme verschieden großer Drosselung ganz verschieden große eingelassene Dampfmenge voraussetzen würden. Das geht aus Fig. 5 hervor, wenn man beachtet, daß durch das Rechteck $CBO DC$ oder auch, was wegen der gleichseitigen Hyperbel CG dasselbe ist, durch das Rechteck $GK O F G$ die in der Maschine arbeitende Dampfmenge dargestellt wird. Bei vollständig präzisiertem Abschluß zu derselben Zeit (nämlich in dem durch die Senkrechte AB festgelegten Zeitpunkt) würde sich dagegen ein wesentlich größeres Rechteck, nämlich $AB O F A$, ergeben.

27. Nun ist aber gerade das Verhältnis der eingelassenen Dampfgewichtsmenge zum Hubvolumen des Zylinders und zu der mit der Dampfmenge erreichten Leistung der für die Wahl der Füllungsmaßgebende Faktor, welcher von der Unsicherheit in der Schätzung der Drosselung stark berührt werden würde, wenn man bei Wahl der Füllung sich auf die Abschlußfüllung beziehen würde.

Deshalb ist es zweckmäßig, den Füllungsbegriff so festzulegen, daß durch Angabe der Füllung die in die Maschine sichtbar eintretende Dampfmenge (wenigstens roh angenähert) eindeutig bestimmt wird. Das wird erreicht, wenn man an Stelle der Senkrechten AB die Expansionslinie (welche roh angenähert als Kurve gleicher Dampfgewichtsmengen angesehen werden darf) festlegt. Zur Festlegung der Expansionslinie ist, wenn das Expansionsgesetz angenommen ist, die Festlegung eines Punktes durch seine beiden Koordinaten erforderlich; die eine Koordinate ist die ideelle Füllung, die andere der „Füllungsbezugsdruck“, der in der vorstehenden Erörterung gleich dem anfänglichen Admissionsdruck, im übrigen in diesem Werke gleich dem mittleren Admissionsdruck gesetzt ist, sonst aber auch vielfach anders angenommen wird (vgl. Art. 31 ÷ 36).

28. Für den Entwurf der Steuerung kommt nun freilich die Abschlußfüllung in Betracht. Man muß daher einen gewissen Zuschlag, den „Füllungs-zuschlag“, geben. Die Größe desselben läßt sich im voraus kaum rechnen oder zutreffend schätzen. Eine genau richtige Schätzung ist aber auch nicht erforderlich. Es kann dem Regulator überlassen bleiben, diejenige Abschlußfüllung herzustellen, welche die aus der Annahme einer gewissen ideellen Füllung hergeleitete und als normale bezeichnete Leistung ergibt und das Diagramm in die angenommene Expansionslinie auslaufen läßt.

Nur bei Festlegung der größten erreichbaren Füllung ist Vorsicht und ein reichlicher Füllungs-zuschlag geboten, weil hier die Regulier-vorrichtung in ihrer Wirksamkeit einseitig begrenzt ist.

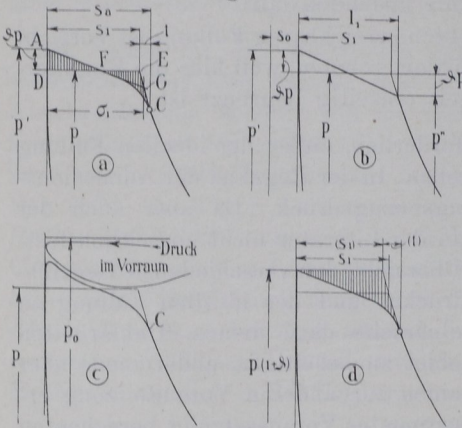
29. Wie bemerkt, ist es erforderlich, außer der ideellen Füllung den Füllungsbezugsdruck anzugeben. In der Regel ist der Admissionsdruck auch gleichzeitig Füllungsbezugsdruck. Da aber auch der Begriff des Admissionsdruckes in der Literatur nicht einheitlich festliegt, scheint es nützlich, eine Übersicht der verschiedenen Begriffsbestimmungen des Admissionsdruckes und der ideellen Füllung zu geben. Diese Übersicht soll einerseits dazu dienen, Unklarheiten und Unsicherheiten auf dem Gebiet zu beseitigen, andererseits aber auch den Übergang von der einen zur anderen Voraussetzung ermöglichen, um die auf Grund bestimmter Voraussetzung berechneten Tabellen auch bei anderen Begriffsbestimmungen der Füllung benutzen und die Wahl der Füllung treffen zu können. Als Grundlage des Vergleichs soll dabei stets die sichtbar im Zylinder enthaltene Dampfgewichtsmenge dienen.

Es kann weder die eine noch die andere Begriffsbestimmung als die unbedingt richtige bezeichnet werden, denn sowohl die ideelle Füllung wie auch zum Teil der Admissionsdruck ist eine gedachte, keine wirkliche Größe. Es kommt daher nur darauf an, den Begriff dieser Größen für die Rechnung, für die grundlegenden Annahmen, für die Aufstellung von Tabellen möglichst zweckmäßig zu wählen, d. h. derart, daß diese Rechnungen, Grundlagen und Tabellen möglichst einfach und allgemein verwendbar sind.

30. In der vorliegenden Anleitung ist ein mittlerer Admissionsdruck eingeführt. Der Mittelwert aus den während der Admissionsperiode sich ändernden Drucken wird begrifflich so festgelegt, daß die Arbeitsfläche oberhalb der horizontalen mittleren Admissionslinie DFE (Fig. 6a) bis zur wirklichen Admissionslinie gleich der unterhalb derselben liegenden ist, welche letztere begrenzt ist durch

die Linie FE des mittleren Admissionsdruckes, die von C bis E rückwärts verlängerte Expansionslinie und die wirkliche Admissionslinie. Die ideelle Füllung wird auf den so definierten mittleren Admissionsdruck als Füllungsbezugsdruck bezogen. Die (ohne Rücksicht auf das tatsächliche Expansionsgesetz) nach dem Gesetz $p v = \text{const}$ rückwärts verlängerte Expansionslinie kann dabei (angenähert) als Kurve gleicher sichtbarer Dampfmenge oder auch mit etwas anderer Annäherung als Kurve gleicher sichtbarer Wärmemenge angesehen werden. Die Begriffsbestimmungen behalten auch Gültigkeit, wenn die wirkliche Admissionslinie eine weniger einfache Form hat (Fig. 6 c).

Fig. 6.



Die Begriffsbestimmungen behalten auch Gültigkeit, wenn die wirkliche Admissionslinie eine weniger einfache Form hat (Fig. 6 c).

31. Hrabák hat seinem bekannten großen Tabellenwerk (Hilfsbuch für Dampfmaschinentechiker) auch einen mittleren Admissionsdruck zugrunde gelegt. Dieser unterscheidet sich begrifflich nur wenig von dem hier benutzten, indem Hrabák, um die Formeln, welche zur Tabellenrechnung benutzt wurden, nicht gar zu kompliziert zu machen, die Abrundung der Admissionslinie beim Übergang in die Expansionslinie außer acht läßt (Fig. 6 b). Dagegen besteht ein bedeutender Unterschied hinsichtlich des Begriffs der ideellen Füllung, welche Hrabák nicht auf den Admissionsdruck, sondern auf den Druck p'' bezieht, der um den Betrag σp kleiner ist wie p . Um von der Hrabákschen Füllung zu der hier benutzten überzugehen, bedient man sich (mit Innehaltung der sichtbaren Dampfmenge) nach Fig. 6 b der Gleichung:

$$(s_1 + s_0) p = (l_1 + s_0) (p - \sigma p) \text{ oder } s_1 + s_0 = (l_1 + s_0) (1 - \sigma)$$

mit $\sigma = 0,05$, $s_0 = 0,04 s$, $s_1 = 0,13 s$ wird $l_1 = 0,139 s$.

32. Wenn man in Tabelle III C b zu dem theoretischen Teil des Hilfsbuches von Hrabák die Füllung 0,139 zwischen 0,125 und 0,150 ($p_1 = 2,709$ bzw. 3,001, bei 7 Atm. mit Dampfhemd) interpoliert, so kommt man auf 2,873 und mit einem Abzug von 0,238 wegen der höheren Kompression auf $2,873 - 0,238 = 2,635$ statt 2,60, wie durch Planimetrierung gefunden wurde. Der Unterschied ist durch etwas abweichende Grundlagen für das Diagramm bedingt.

Auch die Tabellen in der Hütte IV B 1 und III 1 (in allen Auflagen enthalten, in der 21. auf S. 125 und 122 Teil II) können zur Berechnung des mittleren indizierten Druckes ohne Diagrammaufzeichnung benutzt werden; sie rühren von Hrabák her und bedürfen daher der gleichen Umrechnung der Füllung. Mit Tabelle IV B 1 ergibt die Interpolation zwischen 2,61 und 2,90 ein $p_i = 2,77$. Abweichung von 2,60 vorwiegend durch andere Voraussetzung über die Kompression bedingt.

33. Die Beziehung der Füllung auf den Druck $p'' = p(1 - \zeta)$ bei Hrabák anstatt auf p ist sehr unzweckmäßig, weil zur Festlegung der sichtbar eingelassenen Dampfmenge die Angabe noch einer weiteren Größe, nämlich des Füllungsbezugsdruckes p'' oder der Drosselung ζ , erforderlich ist, einer Größe, deren Vorausschätzung sehr unsicher ist und nur einigermaßen richtig möglich ist, wenn die Steuerung fertig entworfen ist. Es gilt von der auf p'' bezogenen Füllung beinahe dasselbe hinsichtlich der Unsicherheit der Grundlagen, was bezüglich der Abschlußfüllung in Art. 25 bis 28 gesagt wurde. Dabei wird es hier doch noch nötig, zwischen ideeller und Abschlußfüllung zu unterscheiden und beim Entwurf der Steuerung einen kleinen Füllungszuschlag zu machen.

Die mit diesen Voraussetzungen berechneten Tabellen verlieren noch dadurch an Wert, daß in der Regel nicht angegeben ist, welche Drosselung der Rechnung zugrunde gelegt wurde. Man kennt also bei Benutzung der Tabelle nicht einmal die genaue Lage der vorausgesetzten Expansionslinie. Es scheint, daß den Tabellen in der Hütte im allgemeinen ein ζ von 0,05 zugrunde liegt, der Zahlenreihe für Kulissensteuerungen ein ζ von 0,1.

34. Hrabák folgte, indem er p'' als Füllungsbezugsdruck wählte, zum Teil einem seit lange gebräuchlichen Verfahren zur Bestimmung der praktisch wirksamen Füllung bei aufgenommenen Indikatordiagrammen, das auch heute noch vielfach in Anwendung ist. Nach demselben verlängert man die geneigte Admissionslinie, bis sie in die rückwärts verlängerte Expansionslinie (oder wohl auch in eine an die Expansionslinie im Abschlußpunkt C gelegte Tangente) in G einschneidet (Fig. 6a), womit σ_1 die praktische Füllung wird. σ_1 ist aber ebenso wie s_1 eine gedachte Größe und hat keine weitere praktische Bedeutung, als daß sich das Verfahren und die durch dasselbe bedingte Begriffsbestimmung der Füllung ziemlich eingebürgert hat, ohne übrigens weiter bei der Beurteilung von Diagrammen verwertet zu werden.

Von der Einführung einer gedachten, nicht reellen Größe muß aber verlangt werden, daß sie den im Art. 29 aufgestellten Forderungen genügt, was bei der so bestimmten Füllung σ_1 nicht zutrifft. Zu diesem Mangel kommt noch die dadurch bedingte Unsicherheit, daß die Admissionslinie häufig gar keine geneigte Gerade ist. Wie soll man z. B. bei einer Admissionslinie von der Form der Fig. 6 c die Richtung derselben annehmen?

Die gedachte Admissionslinie, auf welche die Angabe der ideellen Füllung bezogen wird, sollte jedenfalls eine horizontale Gerade sein, um Zweifel über die Lage der Expansionslinie bei Angabe empfehlenswerter Füllungen und bei Benutzung von Tabellen für p_1 auszuschließen.

35. In dem von mir bearbeiteten Werk Scholls Führer des Maschinisten habe ich mit Rücksicht auf den Leserkreis, für den das Werk in erster Linie bestimmt ist, nicht den mittleren Admissionsdruck, sondern den Anfangsadmissionsdruck p' als Ausgangspunkt und als Bezugsdruck für die Füllung eingeführt. Die Lage der Expansionslinie ist durch die Angabe von $p(1 + \varpi)$, — im Führer p_1 genannt — und (s_1) — im Führer s_1 oder $s_1/s = f$ genannt — eindeutig bestimmt (Fig. 6 d). Will man zu dem s_1 der Fig. 6 a übergehen, so gilt die Gleichung:

$$\frac{(s_1 + s_0)}{s} p = f p_1 = f p (1 + \varpi).$$

36. Die Tabelle der Spannungskoeffizienten A im Führer S. 649 kann jedoch, nachdem einmal die auf den mittleren Admissionsdruck bezogene Füllung gewählt ist, direkt benutzt werden; sie liefert für jeden Füllungsbezugsdruck und für die links stehenden Füllungen den mittleren treibenden Druck des scharfeckig begrenzten Diagramms unterhalb der angenommenen Admissionslinie. Nur bezüglich des Völligkeitsgrades u (Führer S. 645) ist ein Unterschied zu machen, indem entsprechend der Begriffsbestimmung des mittleren Admissionsdruckes das wirkliche Diagramm Fig. 6 a mit dem gedachten scharfeckigen im oberen Teil flächengleich ist, während das scharfeckige Diagramm Fig. 6 d um die schraffierte Fläche größer ist wie das wirkliche. Man wird also an Stelle des im Führer angegebenen Völligkeitsgrades von 0,93 bis 0,97 einen nur die Verluste der Vorausströmung, des verschleppten Austritts und des Voreintritts berücksichtigenden Völligkeitsgrad von 0,97 bis 0,98 einzuführen haben.

37. Es sind noch einige Worte über die Zweckmäßigkeit der Wahl des mittleren Admissionsdruckes an Stelle des Anfangsadmissionsdruckes als Grundlage für den Diagrammentwurf und für die Wahl anderer Größen zu sagen. Zunächst fällt die Einlaßdrosselung

des Dampfes als Nachteil bei der hier gewählten Begriffsbestimmung des mittleren Druckes ganz heraus. Das kommt daher, daß die Annahme eines festen (von der Drosselung unabhängigen) mittleren Admissionsdruckes voraussetzt, daß der Kesseldruck und der Druck vor dem Einlaßsteuerorgan um so größer gewählt wird, je größer infolge knapper Bemessung der Steuerung die Drosselung und je stärker der auch auf andere Gründe zurückzuführende Abfall¹⁾ der Admissionslinie ist. Es wird also der durch die Drosselung bedingte Verlust ausgeglichen durch den Gewinn, welchen die Wahl eines etwas höheren Kesseldruckes bringt. Es darf nicht eingewandt werden, daß für verschiedene Drosselungsgrade der Kesseldruck die Vergleichsbasis bilden müsse; denn die Mehrkosten eines Kessels von etwas höherem Druck sind so unbedeutend, daß sie für Wasserrohrkessel bei der Druckwahl innerhalb der durch die mehr oder weniger große Drosselung gegebenen Grenzen kaum irgendwie mit-sprechen, für andere Systeme keinen ausschlaggebenden Einfluß haben.

38. Für die Druckwahl sind vor allem die in der Maschine auftretenden größten Kräfte und ihr Verhältnis zu den mittleren, die Leistung bestimmenden Kräften maßgebend. Diese sind aber für den Hingang bei einer etwas höher einsetzenden und dabei stärker abfallenden Admissionslinie, wegen des gleichzeitigen Abfalls der Beschleunigungslinie für die wichtigsten Triebwerksteile (Art. 57), nicht größer wie bei einer weniger stark abfallenden Admissionslinie gleichen mittleren Admissionsdruckes.

Hiernach dürfte, wenigstens im Durchschnitt der Fälle, der mittlere Admissionsdruck eine geeignetere Grundlage für den Entwurf und die Wahl anderer Größen bilden wie der Anfangsadmissionsdruck oder der Kesseldruck. Es zeigt sich, daß mit dieser Grundlage bis zu einer ziemlich weit hinaus liegenden Grenze die Abschlußdrosselung durch das Einlaßorgan unschädlich ist.

Bestimmung des mittleren indizierten Druckes mittels Spannungskoeffizienten.

39. Es ist $p_i = u (A p - B p_3)$ Führer 31, 26 ÷ 31, (4)

oder $p_i = f p - f' p_3$ Hütte — Hrabák (5)

¹⁾ Der Abfall der Admissionslinie ist, wie Gutermuth, Ztschr. d. V. d. I. 1904 S. 329, und andere gezeigt haben, nur zum Teil der Drosselung zuzuschreiben. Im Maschinenvorraum (Schieberkasten, Ventilgehäuse) treten infolge der Massenwirkungen der Dampfsäule in der Rohrleitung Druckschwankungen auf mit Abfall beim Hubanfang (Fig. 6 c, vgl. ferner Führer 55, 13 nebst Anmerkungen).