

## II. Die Steuerungen.

Da der Überschuß des wirklichen durch Messung festgestellten Dampfverbrauches über den aus dem Diagramm berechneten Dampfverbrauch hauptsächlich auf Abkühlungsverluste und Undichtheit zurückzuführen ist, so sind Wahl und Anordnung der Steuerungsorgane wenigstens bei Maschinen, an die als erste Forderung nicht die der einfachen Ausführung zu stellen ist, so zu treffen, daß die erwähnten Verluste möglichst klein werden.

Eine Verringerung der Abkühlungsverluste ist vor allem durch Kleinhalten der „schädlichen Flächen“ anzustreben, eine Bedingung, der meist — aber durchaus nicht immer — kleine schädliche Räume entsprechen. Die Größe letzterer ist abhängig von der Art und Lage der Steuerungsorgane, der mehr oder weniger reichlichen Bemessung der Kanäle, der Kolbengeschwindigkeit und dem Hubverhältnis. Je größer die Kolbengeschwindigkeit, um so größer der Inhalt der Dampfkanäle, während bei gleicher Kolbengeschwindigkeit diejenige Maschine den kleineren schädlichen Raum hat, deren Hubverhältnis (Verhältnis zwischen Zylinderdurchmesser und Hub) das kleinere ist. In diesem Fall macht infolge des größeren Hubes bei gleicher Kolbengeschwindigkeit der schädliche Raum einen geringeren Bruchteil des Hubraumes aus. Für Maschinen mit einem Hubverhältnis von ungefähr 1 : 2 und einer mittleren Kolbengeschwindigkeit von 2 bis 3 m/sek kann der schädliche Raum für die verschiedenen Steuerungen wie folgt in v. H. des Hubraumes geschätzt werden.

3 bis 6 v. H.	bei Anwendung von	Rundschiebern.	
4 „ 7 v. H.	„ „	„ Ventilen.	
4 „ 8 v. H.	„ „	„ Flachschiebern	} Grundschieberin-
6 „ 12 v. H.	„ „	„ Kolbenschiebern	

Die niedrigen Werte für Flach- und Kolbenschieber lassen sich erreichen, wenn diese dicht am Zylinder liegen.

Die angegebenen Werte für Corliß-Schieber, Kolbenschieber und Ventile ermäßigen sich um rund 30 v. H., wenn diese Steuerungsorgane im Deckel untergebracht werden.

Für die Ventil- und Corliß-Steuerungen mit vierfachen Dampfwegen, bei denen im Gegensatz zu den gewöhnlichen Flach- und Kolbenschiebern besondere Kanäle für den ein- und austretenden Dampf angeordnet

sind, wird als Vorzug eine kleinere Eintrittskondensation geltend gemacht. Dieser Umstand wird darauf zurückgeführt, daß bei den Steuerungen mit zweifachen Dampfwegen derselbe Kanal, durch den der Auspuffdampf abströmt, kurz nachher für den Eintritt des Frischdampfes dient, nachdem er während des Auspuffs vom Abdampf stark ausgekühlt worden ist.

Dieser Vorteil wird zweifelsohne überschätzt. Auch bei den Steuerungen mit vierfachen Dampfwegen macht die im Einlaßkanal befindliche Dampfmenge alle Temperaturschwankungen mit. Der namentlich im Beginn äußerst stürmische Verlauf der Ausströmung drängt fortwährend neue Dampfschichten an die schädlichen Flächen, und die diesen entnommenen Wärmemengen werden wenigstens zum größten Teil durch den Auspuff entweichen.

Was die zweite Verlustquelle, die Undichtheiten betrifft, so sind grundsätzlich die Steuerungsorgane so zu lagern, daß sie vom Dampfdruck gegen ihre Lauf- oder Sitzfläche gepreßt werden. Die Auslaßorgane der Ventil- und Corliß-Steuerungen werden deshalb derart angeordnet, daß sie von dem im Zylinder arbeitenden Dampf gegen die nach dem Auspuff hin öffnende Mündung gepreßt werden.

Callendar und Nicholson fanden bei ihren schon erwähnten Versuchen, daß stillstehende Schieber geringere Durchlässigkeitsverluste zeigen als bewegte Schieber, und Bantlin führt dies darauf zurück, daß hauptsächlich die zwischen Schieber und Spiegel vorhandene Ölschicht die Dichtung bewirkt, diese Ölschicht aber während der Bewegung fortwährend zerrissen wird, wobei der Dampf an den freigelegten Spiegelflächen kondensiert.

Schieber mit eriodischer Bewegung müßten sonach dichter sein als Schieber mit stetiger Bewegung.

Weitere Versuche zeigten, daß die Durchlässigkeit in Form von Wasser größer ist als in Form von Dampf, so daß sich auch in dieser Beziehung die Anwendung überhitzten Dampfes empfiehlt. Allerdings ist die größere Dichtigkeit von Kolbenschiebern bei Anwendung überhitzten Dampfes meist darauf zurückzuführen, daß die Steuerungsorgane mit entsprechendem Spielraum für höhere Temperatur eingeschliffen waren und nun bei Verwendung von Sattedampf die Buchsen ihren Durchmesser weniger verringern als die Steuerungsorgane, so daß die Verluste durch Undichtheit zunehmen.

Aus diesem Grunde sind Kolbenschieber mit Schleifringen unbedingt vorzuziehen, da sie bei jeder Dampftemperatur dichten und gegen Verreibung fast unempfindlich sind. Auch Ventile sind gegen Temperaturänderungen empfindlich und müssen sich bei gegebener Arbeitsweise erst dicht klopfen.

In bezug auf die Durchlässigkeitsverluste verhalten sich Maschinen mit vierfachen Steuerungsorganen insofern günstiger, als bei diesen eine Hintereinanderschaltung der Abdichtungen vorhanden ist und ein ununterbrochener Abgang des Dampfes vom Frischdampfraum zum Auspuff bei Undichtheit nur eines der beiden Organe einer Zylinderseite nicht stattfinden kann.

Bei Verbundmaschinen wird der durch Undichtheiten des Hochdruckzylinders nach dem Aufnehmer abströmende Dampf im Niederdruckzylinder noch teilweise ausgenutzt.

Im übrigen ist dauernde Dichtheit vor allem von der Sorgfalt der Herstellung und von der Wartung während des Betriebes abhängig.

Weitere an den Betrieb der Steuerungen zu stellende Anforderungen sind: geringe Eigenreibung und Ermöglichung leichter Regulierung.

Die Größe der Eigenreibung wird bei den Schiebern durch die von Dampfdruck und Abmessung der Schieberfläche abhängige, andrückende Kraft und durch den Reibungskoeffizienten bestimmt, der vom Zustand der Gleitflächen und der Güte der Schmierung abhängt. Der Druck auf den Schieber ändert sich fortwährend mit der Größe der bei der Schieberbewegung freigelegten Kanalquerschnitte, und es wird zur Bestimmung des mittleren Druckes am zweckmäßigsten die Mittellage des Schiebers gewählt. Unter Annahme eines bestimmten Dampfdiagramms sind dann von dem auf dem ganzen Schieber ruhenden Frischdampfdruck die in den Kanälen herrschenden Drucke, multipliziert mit den Kanalquerschnitten, abzuziehen. Mit einem Reibungskoeffizient von 0,1 bis 0,15 kann dann die ungefähre Arbeit zur Bewegung des Schiebers auf Grund der gegebenen Schiebergeschwindigkeit berechnet werden.

Günstiger verhalten sich die entlasteten Schieber und die Ventile. Sind erstere eingeschliffene Kolbenschieber oder vollständig entlastete Flachschieber, so ist als Kraft nur die Massenbeschleunigung einzusetzen. Bei Kolbenschiebern mit Dichtungsringen ist außerdem der von den Ringen ausgeübte Flächendruck zu berücksichtigen.

Die nur periodisch bewegten Ventile sind infolge der Anordnung von Doppelsitzen ebenfalls weitgehend entlastet. Für die Bewegung kommen Überwindung der anfänglichen Belastung, Strömungsdruck, Federspannung und Beschleunigungskräfte in Betracht, die jedoch zum Teil auch bei der Schließung des Ventils wirken und hierbei an das Steuerungsgestänge einen Teil der beim Öffnen aufgewandten Arbeit zurückgeben.

Die Kräftewirkungen in der Steuerung sind weiterhin für die Regelung von Bedeutung.

Als „Gesamtungleichförmigkeitsgrad“ des Regulators wird das Verhältnis des Unterschiedes zwischen den Umlaufzahlen bei höchster und tiefster Muffenlage und der mittleren Umlaufzahl bezeichnet. Der Gesamtungleichförmigkeitsgrad ist die Summe aus dem theoretischen Ungleichförmigkeitsgrad, der dasselbe Verhältnis der Umlaufzahlen, wie vorstehend angegeben, für den freischwingenden Regulator ohne Stellzeug bezeichnet, und dem Unempfindlichkeitsgrad.

Ist die Maschine im Beharrungszustand, der Regler im Gleichgewicht, so wird bei Störung des Beharrungszustandes die Umlaufzahl zunächst um einen bestimmten Betrag  $\Delta n$  zu- oder abnehmen müssen, ehe die in gleicher Weise veränderte Zentrifugalkraft die Eigenreibung des Reglergestänges und den Widerstand der Steuerung überwinden

kann. Das Verhältnis  $\frac{(n + \Delta n) - (n - \Delta n)}{n} = \frac{2 \Delta n}{n}$  wird als Un-

empfindlichkeitsgrad bezeichnet. Dieser gibt also das Verhältnis derjenigen Umlaufzahlen, in deren Grenzen der Regler unempfindlich bleibt, zu der von der augenblicklichen Muffenlage abhängigen Umlaufzahl an.

Der Unempfindlichkeitsgrad ist, soweit er von der Steuerung abhängt, für einen gegebenen Regler keine feststehende Größe. Je größer die zur Einstellung der Steuerung auszuübende Kraft ist, um so stärkere Änderungen der Umlaufzahl müssen für eine bestimmte Regulatorgröße zugelassen werden. Muß sich z. B. für eine „Verstellkraft“ von 6 kg die Umlaufzahl um 2 v. H. ändern, so ist für eine Verstellkraft von 12 kg eine Änderung um 4 v. H. nötig.

Durch Wahl eines Regulators von genügender Stärke kann sonach eine Maschine mit schwer verstellbarer Steuerung den gleichen Gesamtungleichförmigkeitsgrad erhalten wie eine Maschine mit leicht verstellbarer Steuerung und kleinem Regulator.

Aus vorstehendem geht hervor, daß der Unempfindlichkeitsgrad von der Art der Schmierung, der Beschaffenheit der Schiebergleitflächen und außerdem von den Schwankungen der Winkelgeschwindigkeit während einer Umdrehung beeinflußt wird. Ist die Winkelgeschwindigkeit, die auch bei schweren Schwungrädern veränderlich ist, größer als die mittlere, so wird dem Regulator während der Zeit des Geschwindigkeitsüberschusses der Eingriff bei einer Entlastung erleichtert. Weiterhin stellt die Verstellkraft, die zur Einstellung der Steuerung erforderlich ist, insofern keine konstante Kraft dar, als die Steuerung je nach den durch sie veranlaßten Lagen der Steuerungsorgane und des äußeren Gestänges veränderlichen Widerstand bietet. Von Bedeutung für die Regulierung ist die Größe des Rückdruckes, worunter man eine von der Steuerung ihrerseits ausgehende Kraft versteht, die bestrebt ist, den Regulator aus seiner Beharrungslage zu verdrängen. Mitunter wird mit Absicht ein gewisser Rückdruck zugelassen; dieser wechselt periodisch und erleichtert ebenso wie die erwähnten Schwankungen in der Winkelgeschwindigkeit das Eingreifen des Regulators, da bei der Verstellung infolge der fortwährenden Schwingungen der Muffe die kleinere Reibung der Bewegung statt der Ruhe zu überwinden ist. Ein ausgezeichnetes Mittel zur Vermeidung übermäßiger Rückwirkung gibt die *Duffing*sche Stellhemmung an Hand <sup>1)</sup>.

Im übrigen ist darauf hinzuweisen, daß das Verhalten einer Schiebersteuerung dem Eingreifen des Regulators gegenüber grundsätzlich anders ist wie das Verhalten der Ventilsteuerungen. Erstere setzen zu jedem Zeitpunkt einer Umdrehung der Verstellung durch den Regulator einen gewissen Widerstand entgegen, während bei den letzteren dies nur während der Ventilerhebung der Fall, wobei die schon erwähnten Rückdruckimpulse auftreten. Während der übrigen Zeit einer Umdrehung schwingt der Regulator nahezu frei und kann ohne bedeutende Verstellkraft die dem neuen Beharrungszustand entsprechende Steuerungslage einstellen.

Die Regler, namentlich der zwangläufigen Ventilsteuerungen, sollen deshalb neben dem erforderlichen „Arbeitsvermögen“ auch ein gewisses

<sup>1)</sup> Dubbel, Kolbendampfmaschinen und Dampfturbinen. 6. Auflage. S. 277.

„Widerstandsvermögen“ haben, damit sie durch die Rückdruckimpulse möglichst wenig aus ihrer Gleichgewichtslage herausgebracht werden <sup>1)</sup>. Während die Reibung das Arbeitsvermögen verringert, vergrößert sie das Widerstandsvermögen und kann bei nicht zu großem Betrage nützlich sein, wenn sie zeitweilig und nicht ständig wirkt.

Je nach der Ausbildung des zur Bewegung der Steuerungsorgane dienenden Triebwerkes werden freifallende, auslösende oder kraftschlüssige, zwangläufige und kettenschlüssige Steuerung unterschieden. Diese namentlich bei den Ventilsteuerungen angewandte Bezeichnungsweise hat sich im technischen Sprachgebrauch eingebürgert, ohne wissenschaftlich berechtigt zu sein.

Bei den kraftschlüssigen Steuerungen wird — bei veränderlicher Füllung unter Einfluß des Reglers — die Verbindung zwischen dem steuernden Exzenter und dem Steuerungsorgan plötzlich aufgehoben, und dieses wird durch eine besondere Schlußkraft, die von einer Feder ausgeübt wird, in die Abschlußlage zurückgebracht. Die Schließgeschwindigkeit wird kurz vor dem Aufsetzen des Steuerungsorgans durch Puffervorrichtungen verringert, die Stoßwirkungen an den den Hub begrenzenden Teilen verhüten sollen. Die Schließgeschwindigkeit ist von der Einstellung dieser Puffer und der Reibung der Spindel in der Buchse abhängig und sonach ihrer Größe nach veränderlich.

Bei den zwangläufigen Steuerungen wird ebenfalls das Steuerungsorgan durch eine besondere Schlußkraft geschlossen, aber eine Trennung von Exzenter und Organ tritt nicht ein. Dieses kann nur so schnell schließen, wie das mit dem Exzenter verbundene äußere Gestänge zuläßt. Die Bewegungsverhältnisse des Getriebes und damit die Schließgeschwindigkeit sind je nach Füllung und Muffenlage des Reglers zwar veränderlich, aber genau bestimmbar. Während bei den kraftschlüssigen Steuerungen die Schließgeschwindigkeit durch den *B e t r i e b* bestimmt wird, hat bei den zwangläufigen Steuerungen der Konstrukteur die Möglichkeit, schon im *E n t w u r f* die Schließgeschwindigkeit zu bestimmen.

Bei den paar- oder kettenschlüssigen Steuerungen wird das Steuerungsorgan vom antreibenden Exzenter sowohl geöffnet als auch geschlossen, so daß hier besondere Schlußkräfte entbehrlich, diese vielmehr vom Gestänge aufgebracht werden. Die einfachen Schieber- und Doppelschieber-Steuerungen werden sämtlich mit paarschlüssigem Antrieb ausgeführt, ebenso die meisten Corliß-Steuerungen an Niederdruckzylindern. Die auslösenden und zwangläufigen Triebwerke sind hauptsächlich bei den Ventilsteuerungen zu finden.

---

<sup>1)</sup> Dr. R. Proell, Z. Ver. deutsch. Ing. 1913, S. 1287. Dubbel, Kolben-dampfmaschinen und Dampfturbinen. 6. Aufl. S. 260.