

92. Vorteile des hochüberhitzten Dampfes. Unter hochüberhitztem oder Edeldampf versteht man bekanntlich Dampf, welcher um mindestens 100°C über seine Sättigungstemperatur überhitzt ist; gewöhnlich beträgt die Überhitzung jedoch 120° bis 150° , somit die Dampftemperatur 300° bis 350°C . Man hatte die Vorteile so hoher Überhitzung schon frühzeitig erkannt, doch scheiterte die allgemeine Einführung zunächst an der Frage der Schmierung. Zu jener Zeit war man noch auf die dem Pflanzenreich entstammenden, leicht siedenden Öle angewiesen; erst mit Entwicklung der Petroleumindustrie begann man die Mineralöle herzustellen, deren Verdampfungstemperatur bis 400°C geht. Nach diesem für die Anwendung stark überhitzten Dampfes bedeutungsvollen Schritte nach vorwärts, mußten auf Grund inzwischen gesammelter bitterer Erfahrungen die bisher üblichen Konstruktionen der Cylinder und namentlich der Steuerungen, welche den Anforderungen so hoch überhitzten Dampfes nicht genügten, zweckentsprechend abgeändert werden.

Eine neue Anregung auf diesem Gebiete ging, wie bereits an früherer Stelle erwähnt, von W. Schmidt aus; Schmidt lieferte durch seine, dem speziellen Zwecke eigens angepaßten Kessel und Maschinen den Beweis, daß der größte Erfolg der Dampfüberhitzung erst bei Temperaturen über 300°C einsetzt; er erzielte, wie aus den nachfolgenden Mitteilungen hervorgeht, mit seinen Heißdampfmaschinen so bestechende Resultate, daß eine Reihe hervorragender Firmen das Ausführungsrecht für Schmidtsche Heißdampfmaschinen erwarben. Diese ersten Fabriken, welche sich für die Heißdampfmaschine bahnbrechend einsetzten, erlebten leider sehr bittere Enttäuschungen, welche eine ganze Reihe derselben veranlaßte, die Fabrikation der Heißdampfmaschinen wieder aufzugeben, denn in erster Linie entsprachen die Schmidtschen stehenden Quersiederessel mit darüber aufgebauten Spiralrohrüberhitzern den gehegten Erwartungen nicht; sie gaben einen außerordentlich schlechten Nutzeffekt, gaben zu steten Betriebsstörungen Veranlassung und der Gewinn an Dampf wurde größtenteils wieder durch den Mehrverbrauch an Kohle aufgewogen. Diese und andere Übelstände konnten gründlich nur durch Aufgeben dieser Konstruktion und Verwendung bewährter Großwasserraumkessel mit Überhitzern aus Flachschlangen, welche je nach Größe des Kessels reihenweise nebeneinander angeordnet und beliebig situiert werden können, behoben werden. Auch bezüglich der Dampfmaschinen machten die Fabriken anfänglich böse Erfahrungen, und wurden namentlich in vielen Fällen die Cylinder zu klein bemessen, indem man sie ebenso wie für gesättigten Dampf berechnete und somit übersah, daß Dampf von so hohen Temperaturen (300° bis 350°) bei gleicher Füllung weniger leistet als gesättigter Dampf, weil die Spannung des überhitzten Dampfes während der Expan-

sion viel rascher abfällt als jene gesättigten Dampfes. Auch die ungleichartige Ausdehnung der mit angegossenen Steuergehäusen versehenen Cylinder hatte ein Krummwerden des Cylinders, Brummen des Kolbens etc. zur Folge; man mußte daher den Cylinder von den Steuergehäusen trennen und als glattes cylindrisches Rohr, welches volle Gewähr für gleichmäßige Ausdehnung bietet, mit den seitlich vollständig symmetrisch angeordneten massiven Steuergehäusen verbinden. Auch bezüglich der allgemeinen Anordnung der Maschine ist man zumeist wieder auf die Form der modernen Betriebsmaschine zurückgekommen, nachdem man gelernt hat, Stopfbüchsen auszuführen, welche gegen so hohe Temperaturen widerstandsfähig sind, die Schieber genügend sicherwirkend zu entlasten und die Steuerventile derartig herzustellen, daß die Ausdehnung durch die Wärme einen möglichst geringen Einfluß auf ihr Dichthalten ausübt*).

Für die Beurteilung der Vorteile der Verwendung hochüberhitzten Dampfes liegen bereits viele verlässliche Versuche, namentlich mit Schmidtschen Heißdampfmaschinen vor, welche entweder an ein und derselben Maschine mit überhitzten und gesättigten Dampf durchgeführt wurden oder durch den Vergleich der mit überhitztem Dampfe erzielten Dampfverbrauchsziffern mit den unter gleichen oder ähnlichen Verhältnissen an anderen Maschinen gewonnenen und bekannten Verbrauchsziffern für gesättigten Dampf, ein genügend verlässliches Urteil gestatten.

Kleinere Eincylinderheißdampfmaschinen von 15 bis 60 Pferdestärken ergaben bei einer mittleren Dampftemperatur von 300° C einen Dampfverbrauch von 8,4 bis 8,9 kg entsprechend 6000 bis 6400 W.E.; bei einer mittleren Dampftemperatur von 360° hingegen 6,5 bis 7 kg entsprechend 5100 bis 5500 W.E. pro PS_i-Stunde. Ohne Überhitzung mit nur gesättigtem Dampf arbeitend, benötigten die kleineren Maschinen von 15 bis 30 PS (auf größere Maschinen wurden diese Versuche nicht ausgedehnt) durchschnittlich 17 bis 18 kg Dampf, entsprechend 11000 bis 11700 W.E. pro PS_i-Stunde.

Von Prof. Ripper wurden mit einer nominell 18pferdigen Schmidtschen Heißdampfmaschine des Laboratoriums der technischen Schule in Sheffield eingehende Versuche über den Einfluß der Überhitzung und Dampfspannung durchgeführt**). Dieselben ergaben bei Dampftemperaturen von 310, 345, 357 und 374° C beziehungsweise Überhitzung über die betreffenden Sättigungstemperaturen (165° resp. 175°)

*) Einige neue Anordnungen von Kessel und Maschine siehe *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure*, Jahrg. 1901, S. 597.

***) *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, Bd. CXXVIII, 1896—97, II. Teil.

von	145,	170,	182	und	199°
einen Dampfkonsum von	9,59,	7,85,	7,57	und	7,98 kg
entsprechend	6970,	5820,	5650	und	6030 W.E.

pro PS_i-Stunde. Im letzteren Falle wurde der Einfluß der Überhitzung durch die Verringerung des Füllungsgrades benachteiligt.

Bei der Sättigungstemperatur von 165° wurde die Maschine auch mit gesättigtem Dampfe untersucht und ergab sich ein Verbrauch von 17,3 bis 17,6 kg entsprechend 11200 bis 11400 W.E. für die PS_i-Stunde. Die Versuche zeigten auch, daß bei sehr starker Überhitzung auf 350° und darüber der Dampf bis Ende der Expansion überhitzt blieb, während etwa 300° Anfangstemperatur erforderlich waren, damit nicht schon vor Beginn der Expansion Sättigung eintrat. Je größer die Füllung, mit um so geringerer Überhitzung war dies zu erreichen, das besagt, daß man um so stärker überhitzen muß, je kleiner die Füllung ist, um einen dauernd ökonomischen Betrieb zu erzielen.

Größere Einfachexpansionsmaschinen mit Kondensation verbrauchen bei 6 bis 7 kg/cm Admissionsdruck durchschnittlich 8,5 bis 11 kg gesättigten Dampf, entsprechend 5500 bis 7200 W.E. pro PS_i-Stunde; ein Verbrauch unter 5000 W.E. kommt nur vereinzelt unter besonders günstigen Verhältnissen vor. Das große Temperaturgefälle, mit welchem diese Maschinen zumeist arbeiten, bringt es mit sich, daß der Einfluß der Wände sehr bedeutend wird; der Vorteil hoher Überhitzung tritt daher bei diesen Maschinen sehr in den Vordergrund.

Der Auspuffbetrieb solcher Maschinen, welche den Abdampf zur Vorwärmung des Speisewassers ausnützen, ist hinsichtlich der Ökonomie ziemlich auf einer Höhe mit dem Kondensationsbetrieb, wenn die Verhältnisse der Steuerung etc. entsprechend günstig liegen. Der Dampfverbrauch schwankt zumeist zwischen 10 bis 12 kg entsprechend 6700 bis 8000 W.E. pro PS_i-Stunde; das Speisewasser kann durch den Auspuffdampf auf 80° bis 90° erwärmt, somit eine Ersparnis bei der Dampferzeugung von 800 bis 1000 W.E. erzielt werden, während bei Kondensationsmaschinen das Speisewasser durchschnittlich höchstens 40° (wenn nicht eigens vorgewärmt) erreicht, was einer Ersparnis von nur 400 bis 500 W.E. pro PS_i-Stunde entspricht.

Die Verbundbauart vermindert bei Kondensationsbetrieb und Admissionsspannungen von 7—8 Atmosphären den Dampfverbrauch durchschnittlich auf etwa 6,5 bis 7,5 kg entsprechend 4300 bis 5000 W.E. pro PS_i-Stunde. Nur große und vorzüglich gebaute Maschinen mit hoher Kolbengeschwindigkeit kommen auch noch unter diese Werte und wurden in vereinzelt Fällen Verbrauchsziffern bis 4500 sogar 4000 W.E. konstatiert.

Die mit einer Reihe älterer Schmidtscher und neuerer verbesserter

Konstruktionen von Compoundheißdampfmaschinen durchgeführten Versuche haben die aus nachstehender Zusammenstellung ersichtlichen Durchschnittsergebnisse ergeben.

Leistung der Maschine in PS	200	200	120	100	100	70	60
Dampf Temperatur beim Eintritt in den Cylinder in C°	328	346	350	337	360	350	318
Dampfverbrauch pro PS;-Stunde in kg. . entsprechend Wärmeinheiten	4,87	4,48	4,44	5,05	4,91	4,71	5,85
	3580	3330	3300	3730	3650	3500	4280

Sämtliche Werte, mit Ausnahme jenes der 60 PS-Maschine, blieben bedeutend unter der oben für Verbundmaschinen mit gesättigtem Dampf als Minimalgrenze angegebenen Verbrauchsziffern.

Nach allen bis heute vorliegenden Versuchs- und Betriebsresultaten steht die dampfersparende Wirkung der Verwendung hochüberhitzten Dampfes außer allem Zweifel; die Frage der Ökonomie des Betriebes wird jedoch auch durch andere Faktoren, als Anschaffungs- und Erhaltungskosten der Überhitzer, vermehrter Brennstoffverbrauch mit Rücksicht auf die Überhitzung, erhöhter Verbrauch an Schmieröl und erhöhte Ausstrahlungsverluste in der Dampfleitung*) wesentlich beeinflusst. Bei Großmaschinen mehrstufiger Expansion kann nach den bis heute vorliegenden Erfahrungen durch Überhitzung auf mindestens 300° C eine Erhöhung der Betriebsökonomie von 6 bis 10 Prozent gegenüber der Verwendung gesättigten Dampfes erzielt werden; bei kleineren Anlagen mit nur zweistufiger Expansion oder bei Einfachexpansionsmaschinen ist die Erhöhung der Ökonomie entsprechend den vorhin gegebenen Versuchsergebnissen höher und erreicht nicht selten 25 Prozent und darüber.

93. Vorteil der Compoundexpansion. Das wichtigste der gebräuchlichen Mittel, die Cylinderkondensation soweit als möglich zu vermindern, ist die Compoundexpansion. Wären die Dampfzylinder vollkommen wärmedichte Gefäße, dann würde es vom thermodynamischen Standpunkte gleichgiltig sein, ob die Expansion in einem einzigen Cylinder oder geteilt in zwei oder mehreren Cylindern stufenweise erfolgt, vorausgesetzt, daß durch den Übergang des Dampfes von einem Cylinder

*) Die Rohrleitung spielt für den wirtschaftlichen Betrieb einer Heißdampfmaschine eine nicht unwesentliche Rolle. Die Durchmesser der Dampfleitungen gewöhnlicher Maschinen rechnet man bekanntlich unter Zugrundelegung der mittleren Kolbengeschwindigkeit und einer Dampfgeschwindigkeit von 30 m; diese Formel gibt verhältnismäßig weite Leitungen, daher große Abkühlungsflächen, welche für Heißdampf unrationell sind. Man macht daher die Leitungen der Heißdampfmaschinen von kleinerem Durchmesser, so daß die Fläche nur ca. $\frac{1}{2}$ jener gewöhnlicher Leitungen wird; die geringe dadurch hervorgerufene Drosselung schadet nicht.