

III. Aus der Praxis der Kalisalzindustrie.

Kraft- und Wärmewirtschaft in der Kaliindustrie.

Von Dipl.-Ing. HAEHNEL.

Leiter der Wärme- und Maschinentechnischen Abteilung der Kali-Forschungs-Anstalt,
G. m. b. H., Leopoldshalt-Staßfurt.

Durch den unglücklichen Ausgang des Krieges ist die Wärmewirtschaft und damit auch die Kraftwirtschaft ganz in den Vordergrund des allgemeinen Interesses gerückt worden, und durch die scheinbar noch nicht abgeschlossene Preissteigerung der Kohle wächst die Wichtigkeit dieser Frage für den Verbraucher dauernd weiter. Während früher in unserem kohlenreichen Deutschland das sparsame Wirtschaften mit der Kohle durchaus nicht überall üblich war, ist jetzt wohl jedem klar geworden, daß die Kohle für uns als Industriestaat ein Wirtschaftsfaktor von allererster Bedeutung ist und als solcher die Fabrikationskosten sehr wesentlich beeinflusst. Diese aus der Not herausgebornene Erkenntnis hat dem Wirken des Ingenieurs eine, wenn auch nicht neue, so doch breitere und zielbewußtere Richtung gegeben im Sinne der Verbesserung sämtlicher wärmetechnischen Prozesse, besonders des Dampfkessel- und Dampfmaschinenprozesses. Hier lagen die Verhältnisse vielfach sehr im argen, und leider muß man sagen, daß das auch heute noch der Fall ist.

Diese allgemeinen Betrachtungen haben natürlich auch für unsere Kaliindustrie volle Gültigkeit, hat doch für sie die Wärme dieselbe Bedeutung wie etwa das Blut für den menschlichen Körper. Das Kesselhaus ist gewissermaßen das Herz des Werkes, das die Wärme, deren Träger der Dampf ist, durch das Rohrleitungsnetz nach den verschiedenen Verbrauchsstellen treibt, teils zur Durchführung oder Beschleunigung chemischer Prozesse, teils zur Umsetzung in Arbeitsleistung.

Diese doppelte Nutzbarmachung ist es nun gerade, welche den Kaliwerken, sofern sie, wie es in der Regel der Fall ist, eine Chloralkaliumfabrik haben, vor anderen Industrien eine besonders günstige Position in wärmetechnischer Beziehung verschafft, denn man kann beide Prozesse, Arbeitsleistung und Wärmeausnutzung, miteinander vereinigen, indem man beide Prozesse mit ein und demselben Dampfquantum durchführt, wodurch die wärmetechnische Ausnutzung des Dampfes ganz bedeutend gesteigert wird.

Die gewöhnliche Art der Kräfteerzeugung in Dampfmaschinen und Turbinen erfolgt bekanntlich in der Weise, daß der Dampf, nachdem er die Maschine passiert hat, im Kondensator niedergeschlagen wird, wobei in bestkonstruierten Maschinen größter Leistung etwa nur ein Fünftel des Wärmeinhaltes des Dampfes in nutzbare Arbeit umgesetzt wird, während vier Fünftel als Verlust zu buchen sind. Bei kleineren Leistungen sinkt der Ausnutzungsfaktor auf ein Siebentel bis ein Achtel und weniger. Die gewöhnliche Kondensationsdampfmaschine ist also in wärmetechnischer Beziehung durchaus nicht als ideal anzusprechen. Jedoch läßt sich die Ausnutzung des Dampfes sofort ganz wesentlich verbessern, wenn man den Dampfmaschinenprozeß verbindet mit dem Prozeß der Wärmeausnutzung für Koch- und Heizzwecke, indem man den Maschinenabampf nicht mehr in den Kondensator leitet, sondern ihn der Fabrik zuführt. Hierbei kann man ihn natürlich nicht mehr bis aufs Vakuum ausnutzen, sondern entnimmt ihn der Maschine mit einem Druck von ein bis mehreren Atmosphären, je nach Verwendungszweck. Nun muß man allerdings, um dieselbe Arbeitsleistung zu erzielen, eine wesentlich größere Dampfmenge durch die Maschine schicken, aber der Dampf hat hinter der Maschine noch einen sehr erheblichen Wärmeinhalt, welcher in der Fabrik für Vorwärmen, Lösen und Heizen Verwendung finden kann. Betrachtet man nun beide kombinierte Prozesse gemeinsam, so findet man, daß die wärmetechnische Ausnutzung nunmehr 70–80% beträgt. Der Grund hierfür ist in dem Nachvorhandensein der latenten Wärme im Abdampf zu suchen; das ist bekanntlich diejenige Wärmemenge, welche dem auf die Dampftemperatur erwärmten Wasser zugeführt werden muß, um es in die Dampfform überzuführen, und diese Wärmemenge macht z. B. bei Sattidampf von 6 Atm. Überdruck drei Viertel des ganzen Wärmeinhaltes aus, bei niedriger gespanntem Dampf sogar noch etwas mehr. Der die Maschine verlassende Dampf enthält also noch die seinem Druck entsprechende latente Wärme und gibt sie im einen Falle im Kondensator nutzlos an das Kühlwasser, im anderen Falle in den Apparaturen der Fabrik nutzbringend an die Lauge und das Salz oder in den Heizapparaten an die Raumluft ab. Wenn man sich vergegenwärtigt, daß für die Heizzwecke der Fabrik sowieso Dampf von niedriger Spannung erzeugt werden müßte, und wenn man weiter bedenkt, daß Dampf von hoher Spannung und hoher Überhitzung, wie er für Kraftmaschinenbetrieb verwendet wird, nur etwa 10–12% mehr Wärme — also auch Kohlen — zu seiner Erzeugung benötigt, wie erwähnter Niederdruckdampf, so erkennt man, daß durch die Kupplung von Kraft- und Wärmewirtschaft die Kraft gewissermaßen als Abfallprodukt gewonnen wird. Man erkennt ferner, daß das Kaliwerk in der glücklichen Lage ist, sich seine Kraft, oder wenigstens den größten Teil derselben, wesentlich billiger herzustellen, wie es die Überlandzentrale kann, welche in der überwiegenden Hauptsache auf Kräfteerzeugung in Kondensationsmaschinen an-

gewiesen ist. Es ist somit nicht recht verständlich, wenn sich Kaliwerke, trotz Vorhandenseins geeigneter Maschinen, ausrechnen, daß sie von der Überlandzentrale den Strom billiger bekommen, wie sie ihn selbst herstellen können; das kann nur auf falscher Bewertung der eigenen Gestehungskosten beruhen.

Die Kaliwerke werden also guttun, danach zu trachten, allen in der Fabrik benötigten Dampf zuvor in den Kraftmaschinen Arbeit leisten zu lassen, wobei sie erfahrungsgemäß mit einem Drucke des Maschinenabdampfes von etwa 1,5–2,5 Atm. Überdruck für die Zwecke der Fabrik auskommen, in besonders günstigen Fällen auch mit geringerem Druck. Über die für derartigen Gegendruckbetrieb geeigneten Kräfteerzeugungsmaschinen sei folgendes gesagt:

Die gegebene Kraftmaschine für Kaliwerke ist die mit Gegendruck arbeitende Kolbendampfmaschine, durch welche sämtlicher in der Fabrik benötigter Dampf hindurchgeht und so zunächst einmal Arbeit leistet.

Es sei gestattet, diesen grundlegenden Satz, welcher nachher noch einige Einschränkungen erfahren soll, zunächst einmal in dieser knappen Form aufzustellen, um den durch ihn angedeuteten Idealprozeß nach verschiedenen Gesichtspunkten hin kritisch zu beleuchten. Die richtige Erkennung dieser grundlegenden Frage scheint mir von so hervorragender Wichtigkeit zu sein, daß es unbedingt geboten erscheint, diesen Prozeß ganz für sich allein, ohne alles verwirrende Beiwerk, zu betrachten: Es war vorstehend gesagt worden, daß das „Hochwertigmachen“ von Dampf nur einen geringen Mehraufwand an Kohlen bedingt. Man hat damit also ein wohlfeiles Mittel an der Hand, um das adiabatische Arbeitsvermögen des Dampfes — und damit auch das tatsächliche — zu erhöhen. Dies führt also logischerweise zu der Forderung, den Dampf im Kessel hoch zu spannen und hoch zu überhitzen, und da wird die Kaliindustrie mit alten, festgewurzelten Traditionen brechen müssen, nämlich mit der Verwendung des Flammrohrkessels. Ich weiß, daß ich mit dieser Forderung vielfach auf heftigen Widerstand stoße, denn der Flammrohrkessel hat sich zweifelsohne bestens bewährt, aber soll man sich deshalb den Forderungen der inzwischen fortgeschrittenen Technik verschließen? Soll man das Bessere lassen, weil man sich mit dem Guten zufriedengibt? Das wäre doch wohl kein Standpunkt, den eine so wichtige und ausgebreitete Industrie, wie es die Kaliindustrie ist, einnehmen darf, und vereinzelte, weitsichtige Werke sind auch schon vor geraumer Zeit zum Wasserrohrkessel übergegangen und haben damit dieselben guten Erfahrungen gemacht, wie auch andere Industrien. In diesem Zusammenhange sei erwähnt, daß zurzeit die Augen der Fachwelt auf die Arbeiten eines bekannten Pioniers der Dampftechnik gerichtet sind, des Baurats Schmidt in Kassel, welcher in richtiger Erkenntnis des Nutzens hochwertigen Dampfes für die Ökonomie des Dampfmaschinenprozesses den kühnen Schritt zum 60 atmosphärischen Dampf getan hat, und dessen Arbeiten auch für die Kaliindustrie Bedeutung gewinnen werden, wenn auch augenblicklich noch vereinzelt Befürchtungen laut werden, daß das Kesselmaterial auf die Dauer nicht wird standhalten können.

Noch eine andere Beziehung ist für den Gegendruckbetrieb von Wesentlichkeit, das ist der Gegendruck, mit dem der Dampf die Maschine verläßt. Für dessen Wahl lassen sich nicht so allgemeine Richtlinien aufstellen, wie es für den Primärdruck geschah, es sei denn, daß man im Interesse der möglichst rationellen Umsetzung der Dampfenergie in Arbeitsleistung verlangt, daß derselbe so niedrig wie möglich gehalten wird. Im allgemeinen wird jedoch seine Höhe bedingt durch die Anforderungen der Fabrikapparatur. Ist diese knapp in der Heizfläche, so braucht man höheren Druck, wie bei ausreichender Heizfläche. Das muß von Fall zu Fall systematisch ausprobiert werden, jedoch kann wohl allgemein gesagt werden, daß die meisten Werke mit niedrigeren Drucken auskommen würden, wie sie tatsächlich verwenden, was auch ohne weiteres klar wird, wenn man sich vergegenwärtigt, daß es hauptsächlich die latente Wärme des Dampfes ist, welche den Anwärme- oder Löseprozeß zu bestreiten hat, und daß diese latente Wärme z. B. bei zweiatmosphärischem Dampf annähernd so groß ist, wie bei einatmosphärischem, sogar noch etwas geringer. Der Nutzen der höheren Spannung liegt in der zugehörigen höheren Temperatur begründet, welche eine Erhöhung der spezifischen Heizflächenleistung zur Folge hat, aber es läßt sich dieselbe Wirkung erzielen bei niedrigeren Drucken durch eine größere Heizfläche, das bedingt zwar eine erstmalige Mehrausgabe, rentiert sich aber bald durch dauernde bessere Ausnutzung des Dampfes in der Kraftmaschine.

Nachdem so die Arbeitsbedingungen für die Gegendruckmaschine kritisch behandelt sind, sei einiges gesagt über die zu wählenden Maschinen selbst. Da war in dem zur Erörterung stehenden Grundsatz schon die Bezeichnung „Kolbenmaschine“ nicht ohne bestimmte Absicht gewählt. Im Gebiet des hochgespannten Dampfes ist die Kolbenmaschine in wärmetechnischer Beziehung der Dampfturbine erheblich überlegen. Letztere krankt daran, daß im Hochdruckteil das geringe spezifische Dampfvolument eine nur teilweise Beaufschlagung der Schaufelkränze der ersten Räder gestattet, und daß

ferner, will man nicht zu viel Räder ausführen, das Verhältnis der Austrittsgeschwindigkeit des Dampfes aus den Beaufschlagungssegmenten zur Radumfangsgeschwindigkeit zu weit von den theoretisch günstigsten Werten entfernt bleibt. Jedenfalls vermag die Kolbenmaschine aus einer gegebenen Dampfmenge etwa ein Drittel bis ein Halb mehr an Leistung herauszuholen, als die Dampfturbine, wohlverstanden bei Gegendruckbetrieb.

So viel über die generellen Gesichtspunkte, welche der Kraftwirtschaft der Kaliindustrie zugrunde liegen sollten.

Untersuchen wir nun, in welchem Maße sich der praktische Betrieb der Werke diesen Anforderungen anpassen läßt, so finden wir, daß wohl niemals Kraft- und Wärmekonsum gerade im richtigen Verhältnis zueinander stehen, entweder wird mehr Kraft benötigt, wie aus dem Fabrikdampf herauszuholen ist, oder umgekehrt. Man wird also den Idealprozeß nicht in vollem Umfange verwirklichen können! Im ersten Falle, bei größerem Kraftbedarf, wird man genötigt sein, teilweise zum Kondensationsbetrieb zu schreiten, indem man der Gegendruckmaschine eine Niederdruckstufe mit Kondensation nachschaltet, welcher automatisch durch eine Reguliervorrichtung soviel des Abdampfes der Gegendruckstufe zugeführt wird, daß der fehlende Kraftbedarf vom Niederdruckteil gedeckt wird. Oder man wird, bei größerem Dampfbedarf der Fabrik, einen Teil des Fabrikdampfes unter Umgehung der Gegendruckmaschine direkt vom Kessel aus durch ein Reduzierventil in die Abdampfleitung geben. Das bedeutet natürlich in beiden Fällen eine Verschlechterung der Ökonomie, denn im ersten Falle wird der Hauptwärmehalt des dem Niederdruckteil zugeführten Dampfes im Kondensator vernichtet, und im zweiten Falle kann man den Vorteil der fast kostenlosen Gewinnung von Arbeit im Hochdruckteil für den Umföhrungsdampf nicht ausnutzen, wenngleich der zweite Fall nicht annähernd so verlustreich ist wie Fall 1, da durch das Herunterdrosseln des Umföhrungsdampfes auf den Gegendruck keine nennenswerte Wärme verlorengeht, da nur eine Umformung der Wärme stattfindet.

Aber noch andere Gründe können dazu zwingen, von dem verlangten Idealprozeß abzugehen, und z. B. an Stelle der wärmetechnisch für richtig erkannten Dampfmaschine die Dampfturbine zu wählen. Dieser Fall wird eintreten bei großen Maschinenleistungen, da wird die Kolbenmaschine durch den teureren elektrischen Teil und durch die schweren Fundamente gegenüber der Turbine zu teuer, die Grenze dürfte hier zwischen 1000 und 1500 KW liegen. Oder es kann der Fall vorliegen, daß so große Dampfmen gen zu bewältigen sind, daß das Schluckvermögen der Kolbenmaschine nicht mehr ausreicht, dann ist die Turbine durchaus am Platze. Ebenso auch, wenn die durch den Niederdruckteil zu bestreitende Leistung verhältnismäßig groß ist, dann gleicht das sehr günstige Arbeiten des Niederdruckteiles der Turbine das schlechte Arbeiten des Hochdruckteiles wieder aus, und die Gesamtausnutzung des Dampfes kann besser sein als bei der Kolbenmaschine. Alle solche Fälle sind individuell zu prüfen, wobei aber immer der oben aufgestellte Leitsatz als Basis dienen sollte.

Einfacher wie bei den Krafterzeugungsmaschinen liegen die Verhältnisse bei der Dampffördermaschine, da diese in den meisten Fällen, als mit Auspuff oder geringem Gegendruck arbeitende Maschine, den oben geforderten Idealprozeß verwirklicht; allerdings wirkt hier der periodische Dampfanfall störend. Der Fördermaschinenabdampf wird gewöhnlich zum Vorwärmen der Löselauge verwendet, da hierfür die nur wenig über 100° liegende Temperatur des mit atmosphärischem Druck die Maschine verlassenden Abdampfes ausreicht. Soll nun der Vorwärmer, welcher auf dem Prinzip des Röhren-Wärmeaustauschers beruht, in stande sein, den ganzen, wie gesagt, periodisch anfallenden Abdampf niederzuschlagen, so müßte er sehr reichlich dimensioniert werden. Ist er das nicht, so wird ein Teil des Abdampfes unkondensiert durch ihn hindurchgehen. Man muß daher sehen, um auch die Pausen zwischen den Zügen zur Wärmeabgabe an die Lauge nutzbar zu machen, den periodischen Dampfstrom in einen kontinuierlichen umzuwandeln, was geschehen kann durch Zwischenschaltung eines Wärmespeichers zwischen Fördermaschine und Vorwärmer. Derartige Wärmespeicher beruhen darauf, daß der periodisch anfallende Dampf teilweise durch eine größere Wassermenge aufgenommen wird, welche ihn später bei geringer Druckerniedrigung wieder abgibt. Nun wird auch ein kleinerer Vorwärmer in stande sein, den Dampf vollständig niederzuschlagen, denn nun stehen ja auch die Pausen zwischen den Förderzügen zu diesem Zweck zur Verfügung.

Derartige Wärmespeicher dürften überhaupt berufen sein, in der Kaliindustrie Bedeutung zu gewinnen, und zwar neben den eben erwähnten Niederdruckspeichern auch in der Form der Ruthschen Wärmespeicher für höhere Drucke. Das Arbeitsprinzip dieses Speichers besteht darin, daß er bei einem um eine bis mehrere Atmosphären unter dem Ladedruck liegenden Druck entladen wird. Dieser Umstand muß auf seine Verwendung hindernd einwirken, da diese Differenz-Atmosphären natürlich für den Kraftmaschinenprozeß verlorengehen. Geht man aber z. B. zur 60 atm. Maschine über, so spielt ein um einige Atmosphären höherer Gegendruck keine erhebliche Rolle mehr. Dann kann man in Zeiten großen Kraft- und geringen Abdampfbedarfes auf den Speicher arbeiten und im umgekehrten Fall die Maschine abstellen und den Speicher entladen. So lassen sich zeitlich um Stunden gegeneinander verschobene Kraft- und Wärmeperioden in ökonomischer Weise miteinander koppeln. Aber

auch ohne Wärmespeicher lassen sich in vielen Fällen Kraft- und Wärmebedarf besser aneinander anpassen, etwa dadurch, daß man die Hauptförderzeit außerhalb liegender Schächte mit elektrischer Fördermaschine zusammenfallen läßt mit den Zeiten des größten Dampfverbrauches der Fabrik, oder indem man die Zeit des Verdampfens auf die Nachtschicht verlegt usw.

In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß isoliert liegende Schächte ohne Fabrik keinerlei Berechtigung haben für eigene Dampfwirtschaft, das ist höchst unwirtschaftlich, besonders wenn, wie es gewöhnlich der Fall ist, die Fördermaschine mit freiem Auspuff arbeitet. In einem solchen, von mir eingehend untersuchten Falle habe ich gefunden, daß nur 1½% der in den Kohlen aufgewendeten Wärme tatsächlich in nutzbringende Arbeit umgesetzt worden waren. Solche Anlagen müßten unbedingt elektrifiziert werden. Ist der Ersatz der Fördermaschine zu teuer, so kann die Elektrifizierung durch Betrieb mit Druckluft an Stelle von Dampf erfolgen, wobei die Druckluft durch einen ständig gleichmäßig fortlaufenden, elektrisch angetriebenen Kompressor geliefert wird, was gegenüber der direkten elektrischen Förderung den Vorteil der gleichmäßigen Netzbelastung hat, andererseits allerdings die Ökonomie der direkten elektrischen Förderung nicht erreicht, aber doch bei Erzeugung der elektrischen Energie im Gegendruckverfahren mit Abdampfausnutzung immer noch erheblich rationeller ist als direkter Dampfbetrieb mit Auspuff. Die Fördermaschine ist überhaupt gewöhnlich in wärmetechnischer Beziehung das Aschenbrödel der Anlage, sie wird viel zu sehr dem Ermessen des Maschinisten überlassen, welcher natürlich in erster Linie das Bestreben hat, sich seinen Dienst so leicht wie möglich zu gestalten, und zu diesem Zweck ist es ihm einfacher, den Gang der Maschine durch Drosseln des Druckes vor der Maschine zu beeinflussen, statt durch Füllungsregulierung. Ich habe an einer Fördermaschine vergleichende Dampfverbrauchsbestimmungen gemacht und gefunden, daß sich der Dampfverbrauch durch Übergang auf Füllungsregulierung um 8½% verbesserte. Die Maschinisten gewöhnen sich schnell an das Fahren mit dem Steuerhebel.

Am Schluß dieser Betrachtungen will ich noch eine Frage anschnitten, welche nicht direkt wärmetechnischer Natur ist, aber doch durch indirekte Wirkung für den Prozeß der Krafterzeugung von großer Bedeutung ist, das ist die Rolle, welche der Leistungsfaktor ($\cos \varphi$) spielt. Dieser ist auf Kaliwerken gewöhnlich sehr niedrig, da hier die Verhältnisse im allgemeinen recht ungünstig liegen. Der $\cos \varphi$ wird bekanntlich durch ungenügend hohe Belastung von Motoren und Transformatoren ungünstig beeinflusst und der Bergwerksbetrieb, welcher natürlich in erster Linie nach den Gesichtspunkten der Sicherheit eingerichtet werden muß, verlangt von den Motoren hohe Überlastungsfähigkeit, was zur Folge hat, daß dieselben im normalen Betrieb nicht voll ausgenutzt sind, also mit schlechtem $\cos \varphi$ arbeiten. Weiter sind die ausgedehnten Kabelleitungen für den $\cos \varphi$ ungünstig. Vor allem wirkt aber die Verwendung von Asynchronmotoren sehr nachteilig. Der Asynchronmotor hat leider bei uns in Deutschland eine viel zu große Verbreitung gefunden, doch ist das ein Faktor, mit dem zurzeit eben gerechnet werden muß. Aber bei Neuanschaffungen muß man, besonders bei großen Motoren, darauf sehen, daß nach Möglichkeit Synchronmotoren Verwendung finden. Der Leistungsfaktor, welcher bekanntlich hervorgerufen wird durch im Netz pulsierende Ströme, deren Zweck die Erzeugung der magnetischen Felder ist, übt insofern auf die Stromerzeugungsmaschine eine ungünstige Wirkung aus, als mit schlechter werdendem Leistungsfaktor der Generator nicht mehr die volle Leistung herzugeben vermag. Daher findet man häufig, daß Kraftmaschinen oder Kraftzentralen trotz ausreichender Nennleistung nicht genügend Strom abzugeben in stande sind. Außerdem übt der $\cos \varphi$ einen sehr ungünstigen Einfluß auf die Ausnutzbarkeit der Leitungen aus, indem dieselben durch die mit sinkendem $\cos \varphi$ anwachsenden Blindströme sehr stark belastet werden. Gegen den $\cos \varphi$ ist in letzter Zeit ein heftiger Feldzug eröffnet worden, man sucht mit den verschiedensten Mitteln den ungünstigen Einfluß der Asynchronmotoren wieder auszugleichen, aber das beste und sicherste Mittel bleibt der Ersatz von Asynchronmotoren durch Synchronmotoren, sofern die Anfahrverhältnisse nicht zu ungünstig liegen. Es würde hier zu weit führen, die zur Verbesserung des $\cos \varphi$ zur Anwendung kommenden Apparate zu beschreiben, zumal deren Entwicklung anscheinend noch nicht ganz abgeschlossen ist.

Man sieht aus allen diesen Betrachtungen, daß es zweifelsohne eine äußerst dankbare, aber auch umfangreiche und schwierige Aufgabe ist, den Kraft- und Wärmehaushalt eines Kaliwerkes auf die richtige Basis zu stellen, aber dank des glücklichen Umstandes, daß die Werke fast stets gleichzeitig Abnehmer für Kraft und Wärme sind, werden die Verbesserungsbestrebungen meistens vom besten Erfolg gekrönt, und die aufgewendeten Mittel machen sich in kurzer Zeit aus den Betriebsersparnissen bezahlt. [A. 134.]

Neue Apparate in der Kaliindustrie.

Von F. CROTOPINO, Leimbach b. Salzgungen.

Bis zum Anlange des Jahrhunderts war es allgemein üblich, in der Weise zu arbeiten, daß man abgemessene Mengen Lauge mit so viel Rohsalz oder abgeschlossene Mengen Chlorkalium usw. mit so viel Decklauge oder Wasser versetzte, daß die gewünschte Um-