

Während bei der vorgedachten Maschine das zu waschende Zeug in der Querrichtung zur Form eines schmalen Bandes oder Laues zusammengefaltet ist, hat man für die Herstellung wollener Stoffe auch die Maschinen als sogenannte Breitwaschmaschinen in der Art ausgeführt, daß das Zeug nach der Breitenrichtung straff ausgespannt ohne Falten wiederholt zwischen den Quetschwalzen hindurchgezogen wird, wie aus Fig. 506 (a. v. S.) zu erkennen ist, die eine solche Maschine von Hemmer in Aachen veranschaulicht. Hierin stellen a und a_1 die beiden durch Hebel und Federn gegen einander gepreßten Quetschwalzen dar, deren Länge der Breite des Gewebes entspricht, so daß letzteres glatt und ohne Falten aus dem die Waschflüssigkeit enthaltenden Troge b angezogen wird. Die von der unteren Walze a durch einen Riemen angetriebene Walze c zieht das aus den Walzen kommende Zeug an sich, um es in gleichmäßigen Falten auf den geneigten Boden d fallen zu lassen, auf welchem die einzelnen Windungen in dem Maße herabgleiten, in welchem das Zeug durch die gezahnten Anzugwalzen e und f angezogen und zum wiederholten Waschen nach dem Waschtroge b und den Preßwalzen a abgegeben wird. Die Walzen g dienen hierbei zur Leitung des Zeugens, während die Schienen h den Zweck haben, ein Ausstreichen des Stoffes nach beiden Seiten hin zu bewirken, so daß derselbe möglichst ohne Falten zwischen die Preßwalzen tritt.

Hier können auch diejenigen zum Waschen und Färben von Garnen in Strängen angewendeten Maschinen angeführt werden, in denen über dem die Wasch- oder Farbflüssigkeit enthaltenden Gefäße mehrere wagrechte Spulen¹⁾ parallel neben einander in gleicher Höhe so angebracht sind, daß die darüber gehängten Garnstränge unterhalb in die Flüssigkeit eintauchen. Wenn nun alle diese Spulen gleichmäßig in Umdrehung gesetzt werden, so findet ein unausgesetztes Hindurchziehen der Stränge durch die Flüssigkeit statt, durch welche der beabsichtigte Zweck einer Spülung erzielt wird, welche man durch vorhandene Spritzröhren befördert.

Man hat diese Maschinen wohl mehrfach in der Weise ausgeführt, daß die gedachten Spulen in regelmäßiger Aufeinanderfolge eine bestimmte Anzahl von Umdrehungen nach der einen und dann nach der entgegengesetzten Richtung erhalten²⁾.

§. 142. **Trockenanlagen.** Die einem Waschen, Bleichen oder einer sonstigen nassen Behandlung ausgesetzt gewesenen Waaren können durch die mechanischen Mittel des Pressens oder Schleuderns niemals so vollständig von dem in ihnen enthaltenen Wasser befreit werden, wie dies für die weitere Verarbeitung meistens nöthig ist, und man hat daher in solchen Fällen eine

¹⁾ D. R. = P. Nr. 25 890. — ²⁾ Ztschr. d. V. deutsch. Ing. 1874. Taf. 25.

weitere Absonderung der Feuchtigkeit durch ein Trocknen der Stoffe, d. h. durch ein Verdunsten der Feuchtigkeit vorzunehmen. Wenn auch die Einrichtung der diesem Zwecke dienenden Heiz- und Trocknungsanlagen hier nicht zu besprechen ist, so muß doch der in gewissen Fällen hierzu in Anwendung kommenden Maschinen Erwähnung geschehen, da dieselben als Maschinen zu betrachten sind, deren Zweck wesentlich in einer Absonderung besteht. Insbesondere finden solche Maschinen bei der Verarbeitung von Wolle und der Herstellung von Geweben, sowie bei der Darstellung des Papiers eine häufigere Verwendung.

Die Menge der in verschiedenen Stoffen nach deren Auspressen oder Ausschleudern zurückbleibenden Feuchtigkeit ist nach der Beschaffenheit der Stoffe und nach der Wirkungsweise der zur mechanischen Entwässerung in Anwendung gebrachten Mittel sehr verschieden, wie aus einer Angabe von Rouget de Lisle¹⁾ hervorgeht. Danach sind in jedem Kilogramm der nachstehend verzeichneten Webstoffe die beigeschriebenen Wassermengen in Kilogrammen enthalten:

	Nach dem Auswringen	Nach starker Pressung	Nach dem Schleudern in einer Maschine, deren Korb 0,8 m Durchmesser hatte und 500 bis 600 Umdrehungen in der Minute machte
Flanell	2	1	0,60
Kattun	1	0,60	0,35
Seidenstoff	0,95	0,50	0,30
Leinwand	0,75	0,40	0,25

Diese Zahlen können einen ungefähren Anhalt für die durch das Trocknen zu entfernenden Wassermengen geben.

Das Trocknen von Stoffen kann hauptsächlich in zweierlei Art bewirkt werden, entweder dadurch, daß man die Stoffe einem Ströme von Luft aussetzt, welche noch nicht mit Wasserdämpfen gesättigt und daher für Feuchtigkeit noch aufnahmefähig ist, oder daß man die Stoffe mit erwärmten Flächen in directe Berührung bezw. in die Nähe derselben bringt, so daß die von diesen Flächen durch Leitung oder Strahlung abgegebene Wärme die Verdunstung der Feuchtigkeit bewirkt. Bei der erstgedachten Art des Trocknens kann man ebensowohl Luft von der gewöhnlichen Temperatur der

¹⁾ Pécelet, Traité de la chaleur.

Atmosphäre benutzen, wie man auch behufs einer Beschleunigung der Trocknung die Luft durch künstliche Erwärmung auf eine höhere Temperatur bringen kann. In jedem Falle handelt es sich dabei um eine stetige Luft-erneuerung, da auch bei höchstmöglicher Temperatur der Luft die Verdunstung aufhören muß, sobald die den zu trocknenden Stoff umgebende Luft sich in dem ihrer Temperatur entsprechenden Sättigungszustande befindet, welcher Zustand sich bei stillstehender Luft sehr bald einstellt. Hieraus ergibt sich für jede sogenannte Trockenkammer die Nothwendigkeit einer hinreichenden Ventilation, wie ja auch die für das Trocknen der im Freien aufgehängten Wäsche förderliche Einwirkung des Windes genugsam bekannt ist. Daß man im Freien, bei der gewöhnlichen, selbst bei einer sehr niedrigen Temperatur der Luft Stoffe überhaupt trocknen kann, erklärt sich daraus, daß die atmosphärische Luft meistens nur zum Theil mit Wasserdämpfen gesättigt ist, und es wird hieraus auch ersichtlich, warum unter günstigen Umständen, d. h. bei relativ geringer Feuchtigkeit der Luft und lebhaftem Winde das Trocknen im Winter oft schneller erfolgt als im Sommer bei stiller Luft und relativ hohem Feuchtigkeitsgehalte.

Um die Verhältnisse für das Trocknen feuchter Stoffe durch über dieselben hinweggeführte Luft zu beurtheilen, insbesondere um die erforderlichen Luftmengen zu bestimmen, können die folgenden Betrachtungen dienen. Führt man über feuchte Gegenstände von der Temperatur der Atmosphäre t ein Kilogramm Luft von derselben Temperatur t hinweg und sorgt dafür, daß diese Luft mit den Stoffen in hinreichend innige Berührung kommt, so wird die Luft von den Stoffen als bei der herrschenden Temperatur t vollständig gesättigte Luft abziehen, d. h. sie wird Dämpfe enthalten, deren Spannung p und Dichte δ diejenigen Werthe haben, die dem Wasserdampfe bei der Temperatur t zukommen. Wenn daher die zugeführte Luft bei dem Eintritte nur im Verhältnisse n gesättigt war, unter n einen echten Bruch verstanden, so hat die Luft eine Wassermenge $(1 - n)w$ Kilogramm aufgenommen, wenn w diejenige Wassermenge bedeutet, welche in einem Kilogramm Luft von der Temperatur t und atmosphärischer Spannung im Zustande vollständiger Sättigung enthalten sein kann. Hiernach kann man, wenn man aus der von Regnault angegebenen Tabelle für die bezügliche Temperatur t die Spannung p und Dichte δ des Dampfes entnimmt, ermitteln, wie viel jedes Kilogramm Luft von bestimmtem Sättigungsgrade Wasser aufnehmen kann.

Beispiel. Es möge eine Temperatur der Waare sowie der Luft $t = 15^{\circ} \text{C.}$ angenommen werden. Nach der angeführten Tabelle gehört zu gesättigtem Dampfe von der Temperatur $t = 15^{\circ}$ eine Spannung $p = 12,7 \text{ mm}$ und eine Dichte $\delta = 0,0000128$. Demgemäß übt in dem mit Wasserdampf gesättigten Gemenge, dessen Pressung 760 mm ist, die Luft einen Druck von $760 - 12,7 = 747,3 \text{ mm}$

aus, und man erhält nach dem Mariotte und Gay-Lussac'schen Gesetze (Th. I) das Volumen V von 1 kg solcher Luft durch

$$V \cdot 1,294 \frac{747,3}{760} \frac{273}{273 + 15} = 1 \text{ kg zu } V = 0,829 \text{ cbm.}$$

Die in diesem Raume enthaltene Dampfmenge bestimmt sich daher zu
 $0,829 \cdot 0,0128 = 0,010 \text{ kg.}$

Würde daher die Luft einen Sättigungsgrad $n = 0,40$ haben, so könnte man mit jedem Kilogramm der zugeführten Luft dem Stoffe eine Wassermenge von $(1 - 0,4) 0,010 = 0,006 \text{ kg} = 6 \text{ Gramm}$ entziehen. Zur Verdampfung dieser Wassermenge wäre nach Th. II, 2 eine latente Wärme erforderlich von

$$0,006 (606,5 - 0,695 \cdot 15) = 0,006 \cdot 596 = 3,57 \text{ Wärme-Einheiten.}$$

Die vorstehend berechnete, zur Verdunstung der Feuchtigkeit erforderliche Wärme wird bei solchen Anlagen, in denen das Trocknen durch Luft von der gewöhnlichen Temperatur der Atmosphäre bewirkt wird, von der umgebenden Atmosphäre hergegeben, zu welchem Zwecke man die umgebenden Wände derartiger Trockenräume für die Wärme möglichst durchlässig und also nur von geringer Dicke auszuführen hat.

Wenn man dagegen zur Beschleunigung des Trocknens der Luft durch künstliche Erwärmung eine höhere Temperatur t_1 mittheilt, so findet die Verdunstung der zu entfernenden Feuchtigkeit lediglich durch die dieser Luft zugeführte Wärme statt und man hat zur thunlichsten Verminderung der durch Strahlung und Leitung entstehenden Wärmeverluste alle die Trockenvorrichtung umgebenden Wandungen aus möglichst schlechten Wärmeleitern und von größerer Dicke herzustellen. Der Wirkungsgrad einer solchen Anlage, d. h. das Verhältniß der zur Verdunstung von Feuchtigkeit dienenden zu der für die Lufterwärmung aufgewendeten Wärmemenge hängt wesentlich von der Temperatur der eingeführten Trocknungsluft und derjenigen des abgeführten Gemenges von Luft und Feuchtigkeit ab, wie man sich aus dem Folgenden überzeugt. Führt man in einen abgeschlossenen, von möglichst schlechten Wärmeleitern umgebenen Raum, etwa in eine Trockenkammer für nasse Zeuge, in welchem die Temperatur t_0 der Atmosphäre herrscht, an einer Stelle einen ununterbrochenen Strom Luft von der höheren Temperatur t_1 ein, so wird ununterbrochen an einer anderen Stelle eine gleiche Luftmenge abgeführt werden müssen, welche eine gewisse Menge Feuchtigkeit in Form von Wasserdämpfen aus der zu trocknenden Waare aufgenommen hat, und deren Temperatur allgemein durch t_2 bezeichnet werden möge. Es soll hierbei vorausgesetzt sein, es werde die hindurchgeführte Luft so vielfach und innig mit der zu trocknenden Masse in Berührung gebracht, daß sie immer Gelegenheit hat, sich mit Wasserdampf zu sättigen, d. h. gerade denjenigen Wassergehalt in Dampfform aufzunehmen, welcher ihrer Temperatur gemäß der Tabelle von Regnault entspricht. Ferner möge von den Ver-

lusten an Wärme abgesehen werden, die durch Strahlung und Leitung an den Umfassungswänden des Trockenraumes entstehen, indem vorausgesetzt werden soll, daß diese Umfassungswände hinreichend dick und für die Wärme undurchlässig seien.

Es ist dann ersichtlich, daß die Temperatur der abziehenden feuchten Luft t_2 zwischen der Temperatur t_0 der Atmosphäre und derjenigen t_1 der eingeführten trockenen Luft liegen muß, und daß diejenige Wärme, welche in der abgehenden Luft weniger enthalten ist, als in der zugeführten, dazu verwendet worden ist, einerseits den Inhalt des Trockenraumes langsam zu erwärmen und andererseits eine gewisse Wassermenge zu verdampfen, die gleichzeitig mit der abgehenden Luft entweicht, und in deren Entfernung der ganze Zweck der Trockeneinrichtung zu erkennen ist. Im Anfange des Vorganges wird die eintretende Luft fast die ganze ihr mitgetheilte Wärme zur Temperaturerhöhung der Waare verwenden und die abziehende Luft nur die niedere Temperatur t_0 haben, doch wird diese Temperatur sich fortwährend erhöhen, in dem Maße, wie auch diejenige der in dem Trockenraume enthaltenen Waare steigt, bis zuletzt die Luft mit nahezu derselben Temperatur abzieht, mit welcher sie zugeführt wird.

Um ein Kilogramm Luft von der atmosphärischen Temperatur t_0 auf diejenige t zu erwärmen, ist eine Wärmemenge

$$Q = c(t - t_0) = 0,237(t - t_0)$$

erforderlich, unter $c = 0,237$ die spezifische Wärme für constanten Druck (1 Atm.) verstanden. Von dem geringen Feuchtigkeitsgehalte der Luft von der atmosphärischen Temperatur möge im Folgenden abgesehen, diese Luft also als ganz trocken angenommen werden. Um die Wassermenge zu bestimmen, welche 1 kg Luft von der Temperatur t und atmosphärischer Spannung aufnehmen kann, bestimmt sich, wenn p wieder die Spannung des gesättigten Wasserdampfes von der Temperatur t bedeutet, das Volumen von 1 kg Luft wie oben zu

$$V = \frac{1}{1,294} \frac{760}{740 - p} \frac{273 + t}{273}$$

und daher erhält man die in diesem Raume enthaltene Dampfmenge, wenn dessen Dichte durch δ gegeben ist, zu

$$D = V\delta.$$

Die Wärmemenge, die zur Erzeugung dieses Dampfes D von der Temperatur t aus Wasser von der Temperatur t_0 erforderlich ist, bestimmt sich dann zu

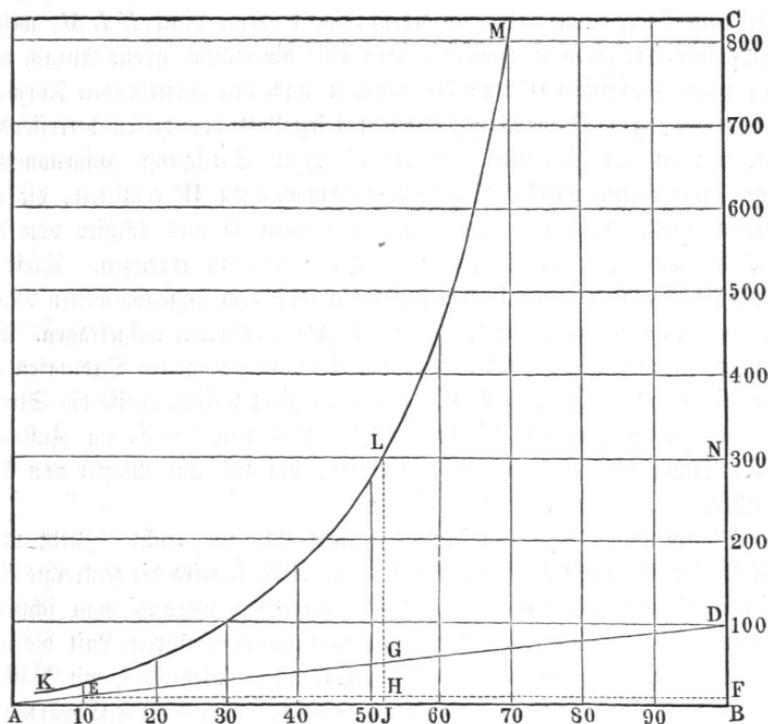
$$W = D(\lambda - t_0) = D(606,5 + 0,305t - t_0),$$

wenn $\lambda = 606,5 + 0,305t$ die Gesamtwärme des Dampfes (Th. II, 2, §. 234) vorstellt.

Mit Hilfe dieser Formeln und der aus der mehrerwähnten Tabelle für Dämpfe zu entnehmenden Werthe von p und δ läßt sich nun ein Diagramm entwerfen, das in einfacher Art die Verhältnisse erkennen läßt, die für die Beurtheilung von Trockenkammern mit erwärmter Luft maßgebend sind.

In diesem Diagramm, Fig. 507, sind auf der horizontalen Axe AB die Temperaturen von 0 bis 100°C . als Abscissen aufgetragen, während die Abstände auf der dazu senkrechten Geraden BC nach einem geeigneten

Fig. 507.



Maßstabe diejenigen Wärmemengen darstellen, die erforderlich sind, um 1 kg trockene Luft von Null Grad bis auf die beigeschriebene Temperatur zu erwärmen.

Beispielsweise stellt die Strecke BD die Wärmemenge von 23,7 Einheiten vor, die zur Erwärmung von 1 kg Luft von 0 bis auf 100° erforderlich ist. Zieht man daher die Gerade AD , so erhält man ebenfalls für jeden beliebigen Punkt derselben in seinem senkrechten Abstände von der Ache AB das Maß für die Wärmemenge, welche 1 kg Luft zu seiner Erwärmung von Null bis zu der Temperatur erfordert, die durch die Abscisse dieses Punktes angegeben ist. Beispielsweise stellt für den Punkt G die

Ordinate GJ nach dem zu Grunde gelegten Maßstabe die Wärme vor, die zur Temperaturerhöhung von 0 auf etwa 52°C. erforderlich ist.

Zieht man parallel zur Ase AB die in der Figur punktirte Gerade EF , welche der Temperatur t_0 der Atmosphäre entspricht, wofür hier 10°C. angenommen wurde, so erhält man offenbar in den zwischen dieser Parallelen und AD gelegenen Abschnitten der Ordinaten auch das Maß für die Wärmemengen, welche 1 kg Luft von t_0 erfordert, um bis auf die zugehörige Temperatur erwärmt zu werden. Beispielsweise stellt GH die Wärmemenge vor, die zur Erwärmung von 1 kg Luft von 10° auf 52° erforderlich ist.

In dem Diagramm findet sich ferner eine krumme Linie KLM , welche in folgender Art entworfen wurde. Für eine hinreichend große Anzahl von Temperaturen zwischen 0° und 70° wurden nach den vorstehenden Formeln die Dampfmengen D berechnet, die von 1 kg Luft von diesen betreffenden Temperaturen im Zustande der vollständigen Sättigung aufgenommen werden, und ebenso wurden diejenigen Wärmemengen W ermittelt, die erforderlich sind, um jene besagten Dampfmengen D aus Wasser von der ursprünglichen Temperatur $t_0 = 10^\circ$ der Waare zu erzeugen. Diese so gefundenen Wärmemengen W wurden dann nach dem angenommenen Maßstabe in den zugehörigen Punkten von AD als Ordinaten aufgetragen. Die hierdurch erhaltenen Endpunkte der über AD aufgetragenen Ordinaten ergaben die gedachte Curve KLM . Hiernach giebt beispielsweise die Strecke GL diejenige Wärme an, die der in 1 kg Luft von 52°C. im Zustande der Sättigung enthaltene Dampf erforderte, um sich aus Wasser von 10° zu bilden.

Die Verwendung des Diagramms ergibt sich nun leicht. Zieht man durch L eine Parallele LN zur Abscissenaxe AB , so wird die senkrechte BC in einem Punkte N entsprechend 300°C. getroffen, woraus man schließt, daß eine Erwärmung der in die Trockenkammer eingeführten Luft bis auf $t_1 = 300^\circ$ zur Folge hat, daß die Temperatur der abziehenden, mit Wasserdämpfen gesättigten Luft etwa 52° betragen wird. Von der zur Erwärmung der Luft von 10° auf 300° aufgewandten Wärmemenge, welche durch FN dargestellt ist, wird ein der Strecke GL entsprechender Betrag zur Verdunstung von Wasser also zu dem beabsichtigten Trocknungsvorgange verwendet, während der Rest GH dadurch verloren geht, daß die eingeführte Luft mit einer Temperatur von 52° in die Atmosphäre entweicht. Dieser letztgedachte Wärmebetrag dient also nicht eigentlich dem beabsichtigten Zwecke des Trocknens und muß daher als ein Verlust angesehen werden. Man kann sonach, wenn man von einem Wirkungsgrade der Trockenvorrichtung sprechen will, hierunter das Verhältniß $\frac{GL}{HL}$ der nutzbar gemachten zur aufgewendeten Wärmemenge verstehen.

Der mit der höheren Temperatur der abziehenden Luft verbundene Verlust an Wärme ist an sich zwar um so größer, je höher diese Temperatur ist, und man begegnet daher wohl öfter der Ansicht, daß es für eine möglichst weitgehende Ausnutzung der Wärme von Vortheil sein müsse, das abziehende Gemenge von Luft und Wasserdampf mit einer möglichst geringen Temperatur entweichen zu lassen, doch läßt das Diagramm diese Ansicht unmittelbar als eine irthümliche erkennen. Der Verlauf der Curve *KM* ist nämlich ein solcher, daß das Verhältniß der beiden Ordinatenabschnitte zwischen dieser Curve und der Geraden *AD* zu den Abschnitten zwischen der Curve *KLM* und *EF*, welches den Wirkungsgrad vorstellt, um so größer wird, je höher die Temperaturen sind. Es folgt hieraus, daß es bezüglich der Wärmeeisnutzung vortheilhafter ist, bei hohen als bei niedrigen Temperaturen zu trocknen. In den meisten Fällen der Ausführung wird aber natürlich die Erhizung der in die Trockenräume einzuführenden Luft einen bestimmten von der Beschaffenheit der Waare abhängigen Grad nicht übersteigen dürfen, und außerdem machen sich die in den vorstehenden Betrachtungen außer Acht gelassenen Verluste durch Wärmeleitung und Strahlung der Umfassungsmauern um so fühlbarer, je höher die Temperaturen sind. Aus diesen Gründen wird man wohl nur selten die Luft höher als auf etwa 300° erwärmen; geschieht die Erwärmung durch Dampfleitungen, so erhebt sich die Temperatur meist nicht oder nur wenig über 100°.

Trockenmaschinen. Die zum Trocknen feuchter Stoffe in Anwendung kommenden Maschinen bestehen außer in den zur Beschaffung der erforderlichen Trocknungsluft dienenden Ventilatoren, hinsichtlich deren auf Th. III, 2 verwiesen werden kann, in Einrichtungen, welche die zu trocknenden Waaren in solcher Weise auslegen oder bewegen, daß sie der Luft eine möglichst große Oberfläche darbieten. In den Trockenhäusern der Rattendruckereien beispielsweise werden die aus vielen zusammengenähten Stücken gebildeten Zeuge in einzelnen neben einander herabhängenden Schleifen durch besondere Maschinen ausgelegt, von denen Fig. 508 (a. f. S.) die Anordnung erkennen läßt.

Das auf die Walze *a* in vielen Windungen spiralförmig aufgewundene Zeug gelangt bei der Umdrehung der Walze *b*, welche die gegen sie drückende Zeugspule *a* durch Reibung mitnimmt, über die Leitrolle *c* hinweg und bildet eine unterhalb herabhängende Schleife *s*. Um dieser Schleife gerade eine solche Länge zu geben, daß ihr unteres Ende den Fußboden des Trockenhauses noch nicht berührt, wird der ganzen das Aushängen bewirkenden Maschine, die in dem oberen Raume des Trockenhauses auf wagerechten Balken *e* aufgestellt ist, eine langsame Verschiebung ertheilt, zu welchem Zwecke die Maschine auf einem kleinen Wagen *f* befestigt ist, dessen Räder