

Das  
Trocknen mit Luft und Dampf

Von  
E. Hausbrand



Das  
**Trocknen mit Luft und Dampf.**

---

**Erklärungen, Formeln und Tabellen**

für den  
praktischen Gebrauch.

Von

**E. Hausbrand,**  
Oberingenieur.

~~~~~  
**Zweite vermehrte Auflage.**  
~~~~~

*Mit Textfiguren und zwei lithographierten Tafeln.*



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1903

**Additional material to this book can be downloaded from <http://extras.springer.com>**

ISBN 978-3-662-40765-3      ISBN 978-3-662-41249-7 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-41249-7

Softcover reprint of the hardcover 2nd edition 1903

Alle Rechte, insbesondere das der

Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.

## Vorbemerkung.

Für die Berechnung der Anlagen zum Trocknen von wasserfeuchten Körpern durch Luft findet man einen Teil der theoretischen Unterlagen in einer Anzahl von Lehrbüchern, z. B. Pécelet: *Traité de la chaleur* — Ferrini: *Technologie der Wärme* — Valerius — Schinz, allein alle die in jenen Büchern gegebenen Formeln und Nachrichten sind für den unmittelbaren Gebrauch nicht sehr bequem.

Dem ausführenden Techniker wäre aber hier auch damit noch nicht vollkommen gedient, wenn er mehr oder weniger bequeme Formeln erhielte, mit deren Hilfe er für jeden Fall die gewünschten Daten berechnen kann, weil beim Trocknen mit Luft, deren steter, starker und schneller Wechsel an Temperatur und Feuchtigkeit die Bedingungen für dieselbe Anlage zu verschiedenen Zeiten so sehr verschieben kann, daß eine Berechnung der gewünschten Daten unter Zugrundelegung bestimmter Umstände nicht genügt. Die Rechnung muß vielmehr immer für mehrere Grenzfälle durchgeführt werden, was ziemlich umständlich und zeitraubend ist.

Es ist sehr viel angenehmer, die notwendigen Angaben gleich ausgerechnet in Tabellen zu finden, um so mehr, als die der ruhigen Betrachtung unterbreiteten Resultate einer Tabelle einen Überblick über die Wirkung aller Umstände gewähren, welchen einzelne, willkürlich berechnete Werte nie schaffen können. Erst die mühelose Erkenntnis der Wirkungen, welche alle in Betracht kommenden Faktoren bei ihrer jeweiligen Veränderung ausüben, gestattet die richtige Wahl der gesamten Anordnung und der einzelnen Mittel zur sicheren Erreichung des vorgesteckten Zieles.

Man wird bei der Erörterung der Bedingungen für das Trocknen mit Luft leicht auf das Trocknen ohne Luft, mit

Dampf allein, geführt; aber es ist mir nicht bekannt geworden, daß die Kreislaufverdampfung, wie es hier in dem Abschnitt 5 und in Tabelle XI geschieht, an irgend einem Orte besprochen oder erwähnt ist, und ich darf daher annehmen, daß diese Betrachtungen neu sind. Es wäre zu wünschen, daß die Vorteile dieser Methode bekannt würden und zu ihrer reichlichen Anwendung führen möchten.

Aus der lebhaften Empfindung für das oben Gesagte entsprang der Wunsch für die Beschaffung der Hilfsmittel zur bequemen Feststellung der Luft- und Wärmebedürfnisse der Trockenapparate. Mögen diese nun vorliegenden Angaben recht oft eine erwünschte Hilfe sein.

---

## Vorwort zur zweiten Auflage.

---

Für die zweite Auflage dieses Buches ist der Inhalt etwas vermehrt worden durch Hinzufügung des Abschnittes 4, der Anlagen, bei denen die Luft auch im Trockenraum erwärmt wird, behandelt, — des Abschnittes 5, der einige erwünschte Tabellen gibt, und des Abschnittes 8, in welchem die Wirkung des Trocknens durch direkte Feuergase besprochen wird. —

Einige kleine Änderungen im Text und in den Tabellen sind zu erwähnen.

Dem in der Kritik ausgesprochenen Wunsch, die Tabellen alle vereinigt an das Ende des Buches zu verlegen, weil dies die Benutzung erleichtere, ist entsprochen worden.

Möge auch diese Auflage den Lesern zum Nutzen reichen.

Berlin im September 1902.

Der Verfasser.

# Inhalt.

Abschnitt	Seite
Vorbemerkung . . . . .	III
1. Einleitung . . . . .	1
2. Bestimmung des Maximalgewichtes an gesättigtem Wasserdampf, welches bei verschiedenem Druck und verschiedener Temperatur in 1 kg Luft enthalten sein kann . . . . .	5
3. Berechnung des notwendigen Luftgewichtes und Volumens, sowie des geringsten Wärmeverbrauches für Trockenapparate mit vorgewärmter Luft, bei atmosphärischem Druck . . . . .	11
A. Unter der Annahme, daß die Luft vor ihrem Eintritt und bei ihrem Austritt aus dem Apparat ganz mit Wasserdunst gesättigt sei . . . . .	11
B. Wenn die atmosphärische Luft vor ihrem Eintritt ganz, bei ihrem Austritt aber nur $\frac{3}{4}$ — $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{4}$ mit Wasserdampf gesättigt ist . . . . .	21
C. Wenn die atmosphärische Luft vor ihrem Eintritt in den Trockenapparat nicht ganz mit Wasserdampf gesättigt ist . . . . .	26
4. Berechnung des notwendigen Luftgewichtes und Volumens, sowie des geringsten Wärmeverbrauches für Trockenapparate mit vorgewärmter und im Trockenraum auf gleicher Temperatur erhaltener Luft . . . . .	30
5. Einige Beziehungen von Luft und Wasserdampf, die aus dem Vorhergehenden folgen . . . . .	31
6. Trockenanlagen, bei denen im Innern des Trockenraumes künstlich eine höhere oder niedrigere Spannung erzeugt wird, als sie in der Umgebung herrscht . . . . .	32
7. Das Trocknen mit überhitztem Dampf ohne Luft . . . . .	37
8. Das Trocknen mit direkten Feuergasen . . . . .	42
9. Heizfläche — Geschwindigkeit der Luft — Größe des Trockenraums — Oberfläche des Trockengutes — Wärmeverlust . . . . .	51

## T a b e l l e n.

---

Nummern	Seite
I. Spannungen und Kubikmetergewichte des gesättigten Wasserdampfes — und der trockenen Luft dabei — Wassergewicht in 1 kg Luft bei absoluten Drucken von 250 — 500 — 740 — 760 — 780 — 1140 mm und bei den Temperaturen von — 20 bis + 100°, wenn die Luft ganz mit Wasserdampf gesättigt ist . . . . .	58
II. Luftgewichte und Volumina — Austrittstemperaturen und Wärmeverbrauch, um 100 kg Wasser zu verdunsten bei den Außentemperaturen — 20° bis + 30° — den Maximaltemperaturen + 30° bis + 130° — beim Barometerstande 760 mm, wenn Außenluft und Austrittsluft ganz mit Wasser gesättigt sind . . .	60
III. Spannungen und Kubikmetergewichte des $\frac{3}{4}$ — $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{4}$ gesättigten Wasserdampfes — und der trockenen Luft dabei — Wassergewicht in 1 kg Luft — beim Barometerstande 760 mm — den Außentemperaturen — 20° bis + 30° — wenn die Luft $\frac{3}{4}$ — $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{4}$ mit Wasser gesättigt ist . . . . .	64
IV. V. VI. Luftgewichte und Volumina — Austrittstemperaturen und Wärmeverbrauch, um 100 kg Wasser zu verdunsten bei Außentemperaturen von — 20° bis + 30° — Maximaltemperaturen von 35° bis 130° — beim Barometerstande 760 mm, wenn die Außenluft ganz — die Austrittsluft nur $\frac{3}{4}$ — $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{4}$ mit Wasser gesättigt ist . . . . .	66
VII. Temperaturen, bei denen die Luft ganz mit Wasser gesättigt ist — wenn sie mit demselben Wassergehalt bei angegebenen höheren Temperaturen nur $\frac{3}{4}$ — $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{4}$ gesättigt ist . . . . .	69
VIII. IX. X. Luftgewicht und Volumen, sowie Wärmeverbrauch, um 100 kg Wasser zu verdunsten bei Außentemperaturen von — 20° bis + 20° C. — den Maximaltemperaturen	

Nummern		Seite
	30° bis 90°, wenn die Luft auf diese Temperaturen vorgewärmt und im Trockenraum auf diesen erhalten wird . . . . .	70
XI.	Luftgewicht und Volumen, das bei 760 mm Barometer und den Temperaturen — 20° bis 100° C. — ganz — $\frac{3}{4}$ — $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{4}$ gesättigt 1 kg Wasserdampf enthält . . . . .	74
XII.	Gewicht von 1 cbm Luft und Wasserdampf bei 760 mm Barometer — den Temperaturen — 20° bis 100° C. ganz — $\frac{3}{4}$ — $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{4}$ gesättigt . . . . .	75
XIII. XIV. XV.	Luftgewichte und Volumina — Austrittstemperaturen und Wärmeverbrauch, um 100 kg Wasser zu verdunsten bei Außentemperaturen von — 20° bis + 30° — bei Maximaltemperaturen von 35° bis 130° — bei absolutem Druck von 1140 mm ( $1\frac{1}{2}$ Atm.) (VIII) — 500 mm (IX) — 250 mm (X) im Trockenraum — wenn Außenluft und Austrittsluft ganz mit Wasser gesättigt sind . . . . .	77
XVI.	Dampfgewichte und Volumina vor und nach der Erhitzung, um 100 kg Wasser im Kreislauftrockenapparat ohne Luft zu verdunsten bei absoluten Drucken von 148—2660 mm und Dampferhitztemperaturen von 65° bis 200° . . . . .	80
XVII.	Leistung von 1 kg Brennstoff beim Trocknen durch direkte Feuergase . . . . .	82
XVIII.	Kalorien, welche Dampfheizkörper in 1 Stunde pro 1 qm abgeben bei Außenluft von — 20° bis + 30° — Heizkörpertemperaturen von 100° bis 140° — höchster Lufterhitzung auf 35° bis 130° — wenn die Luft mit 1—6 m Geschwindigkeit über die Heizkörper strömt . . . . .	86
XIX.	Wärmeverlust der Trockenräume in Kalorien pro 1 Stunde und 1 qm für Mauern verschiedener Dicke, für Holzwände und Fenster bei Temperaturdifferenzen zwischen Innen- und Außenraum von 5° bis 100° . . . . .	88



## 1. Einleitung.

---

Für eine Anzahl von gewerblichen Betrieben besteht das Bedürfnis, ihre Haupt- oder Nebenerzeugnisse mit Hilfe der Luft, welche vor ihrer Verwendung künstlich erwärmt wird, zu trocknen.

Es gibt manche Gründe, welche bei der Bemühung, den Stoffen Feuchtigkeit zu entziehen, dazu veranlassen können, die Luft als Vermittlerin zu wählen, anstatt die Körper direkt zu erwärmen und so, sei es bei Atmosphärendruck, sei es im luftverdünnten Raum, ihre Feuchtigkeit zu verdampfen.

Man wählt Lufttrocknung, weil entweder Gestalt und Art der zu trocknenden Stoffe es erschwert, den Körperteilen die zur Verdampfung notwendige Wärmemenge direkt zuzuführen, oder, weil die Bedingung besteht, die zu trocknenden Körper nicht über eine gewisse geringe Temperatur zu erhitzen, da sie im anderen Falle an Form, Aussehen oder Bestand Schaden erleiden würden, oder endlich, weil der Wunsch herrscht, das Trocknen langsam durch allmähliche Verdunstung zu bewirken, um Sprünge, Risse, Entfärbungen zu verhüten.

Die Luft, welche zum Trocknen verwendet werden soll, muß zunächst den zu trocknenden Stoff erwärmen, sodann dem zu verdunstenden Wasser die nötige Verdampfungswärme zuführen, und endlich das verdunstete Wasser in sich aufnehmen.

Die warm in den Trockenraum tretende Luft verliert darin so viel von ihrem Wärmegehalt, als für die Erwärmung und Verdunstung verbraucht wird, sie verläßt also den Trockenraum immer kälter, als sie ihn betrat, ausgenommen in den im Abschnitt 4 erörterten Fällen; aber sie muß bei ihrem Austritt doch noch so viel wärmer bleiben als beim Eintritt, daß sie bei ihrem dermaligen Temperaturgrade, ohne übersättigt zu sein, das verdunstete Wasser, neben ihrer ursprünglichen Feuchtigkeit, enthalten kann.

Die atmosphärische Luft enthält stets mehr oder weniger Wasser; selten ist sie damit ganz gesättigt. Ihre Fähigkeit, Wasser aufzunehmen, steigt in erheblichem Maße mit ihrer steigenden Temperatur. Damit eine möglichst kleine Menge Luft die möglichst größte Menge Wasser aus dem Trockenraum forttrage, muß dieselbe den Raum so warm, als es angeht, verlassen. Andererseits muß aber dieselbe Menge Luft so viel wärmer in den Trockenraum treten, daß ihre Abkühlung auf die Austrittstemperatur genügt, um den zu trocknenden Stoff zu erwärmen und das Wasser desselben zu verdampfen.

Da der Wärmearaufwand beim Trocknen mit Luft gleich ist demjenigen für die Erhitzung der Luft, so folgt, daß man um so weniger Wärme nötig hat, mit je weniger Luft man auskommt, und dieses ist der Fall, wenn man die Luft so warm wie zulässig ein- und austreten läßt.

Der Temperaturgrad, bis zu welchem die Luft vor ihrem Eintritt erhitzt werden darf, hängt von der Natur des Trockengutes und von dem Grade ab, bis zu welchem demselben das Wasser entzogen werden soll.

Soll der Stoff gänzlich vom Wasser befreit werden, so muß er zuletzt bis ganz nahe an die Temperatur der eintretenden Luft erwärmt werden; daher darf man in diesem Falle die Luft nur bis zu dem höchsten Grade erwärmen, den der zu trocknende Stoff noch vertragen kann.

Darf indessen das Gut nach dem Trocknen noch erhebliche Mengen Feuchtigkeit enthalten, so ist es nicht nötig, dasselbe durch die Luft bis zu deren Temperatur zu erwärmen, und dann darf man die Lufteintrittstemperatur etwas höher bemessen.

---

In jedem bestimmten Fall ist als bekannt anzunehmen:

1. das Gewicht des zu trocknenden Stoffes,
2. die Wassermenge, die ihm entzogen werden soll,
3. die höchste Temperatur, welche er noch vertragen kann;

man wünscht zu erfahren:

1. die Wärmemenge, welche aufzuwenden,
2. die Heizfläche, welche anzulegen,
3. die Luftmenge, welche zu bewegen ist, und zwar vor ihrer Erwärmung, nach ihrer Erwärmung und bei ihrem Austritt aus dem Apparat.

Es kann auch die Frage aufgeworfen werden, ob es Vorteile bietet, im Trockenraum einen höheren oder einen geringeren Druck als den der Atmosphäre zu erzeugen.

Im nachstehenden sollen die Antworten auf diese Fragen in möglichst bequemer Weise vorbereitet und für eine Anzahl von Fällen zum Gebrauch fertig ausgearbeitet werden.

Die Luft, sehr empfänglich für die Einflüsse des Druckes und der Temperatur, verwandelt proteusartig ihre Gestalt. Ein Kubikmeter Luft, den man in die Rechnung einführt, muß mit seiner Spannung und Temperatur ausdrücklich bezeichnet werden, damit man ihn später wieder erkenne.

Rechnet man sich aus, wieviel Wärme ein bestimmtes Volumen Luft von bestimmter Temperatur und Spannung abgeben und wieviel Feuchtigkeit es aufnehmen kann, so findet man, daß, nachdem die Luft diese Leistung getan, d. h. nachdem sie Wärme abgegeben und Feuchtigkeit aufgenommen, ihr Volumen ein ganz anderes geworden. Dieses andere Volumen muß dann wieder berechnet werden, und weil diese Rechnungen nicht ohne ein gewisses Probieren ausgeführt werden können, so kommt man nur langsam und mit Mühe ans Ziel. Aus diesem Grunde ist es vorzuziehen, und auch die Vorstellung gewöhnt sich bald daran, das Gewicht der Luft anstatt ihres Volumens in die Rechnung einzuführen und am Ende derselben, wenn es nötig ist, des gefundenen Luftgewichtes Raummaß festzustellen.

Wie die spätere Darlegung zeigen wird, sind die für jeden Fall auszuführenden Rechnungen nicht schwierig; allein sie erfordern immerhin ein gewisses Eindringen in den Gegenstand, und hierfür ist dem ausführenden Techniker nicht immer die nötige Zeit gelassen. Auch ist die Wirkung der Veränderung der in Betracht kommenden Umstände auf den Effekt der Anlage nicht ohne weiteres a priori genau abzuschätzen. Erst wenn man mit einem Blick übersehen kann, welche Einflüsse die Variationen von Druck, Temperatur und Sättigung auf die Leistung und den Luft- und Wärmeverbrauch ausüben, kann man die besten Umstände leicht wählen. Aus diesem Grunde sind im nachstehenden die Erfordernisse von Trockenanlagen verschiedener Art in Form von Tabellen zusammengestellt, und aus ihnen kann man ohne weiteres die in jedem Fall gewünschten Angaben ersehen.

Für Verluste an Menge, Gewicht und Wärme wird man bei der Ausführung stets der Erfahrung entsprechende Zuschläge machen.

---

Wir wollen nun zunächst eine Tabelle ausrechnen, aus welcher man ersehen kann, wieviel Wasser von 1 kg Luft bei verschiedenen Temperaturen und bei verschiedenen Drucken aufgenommen werden kann.

Sodann wollen wir die Gewichtsmenge Luft von bestimmter angenommener Anfangstemperatur suchen, welche wenigstens nötig ist, um ein bestimmtes Gewicht Wasser (100 kg) aufzunehmen.

Ferner soll dann das Volumen angegeben werden, welches von dem ausgerechneten Luftgewicht beim Eintritt, beim Austritt und nach der Vorwärmung eingenommen wird.

Endlich kann die Feststellung des unter den verschiedenen Umständen sehr ungleichen Wärmebedarfes (zum Auftrocknen eines bestimmten Wassergewichtes) erfolgen, und an diese schließt sich die Ausrechnung der nötigen Heizfläche und der Weite der Kanäle.

Alle diese Feststellungen sind auszuführen für das Trocknen beim Druck der Atmosphäre, bei geringerem und bei höherem Druck und unter der Voraussetzung einer mehr oder weniger vollkommenen Sättigung der in den und aus dem Trockenapparat gehenden Luft.

Die im nachstehenden angewendeten Buchstabenbezeichnungen sind die folgenden:

$w$  = das Wassergewicht, welches im Trockenraum dem Trockengut entzogen werden soll,

$v$  = Volumen von 1 kg Dampf in Litern,

$V_d$  = Volumen eines anderen Dampfgewichtes in Kubikmetern,

$\gamma_d$  = Gewicht von 1 cbm Dampf in kg,

$d_a$  = Dampfgewicht, welches in 1 kg der Außenluft enthalten ist, in kg,

$d_n$  = Dampfgewicht, welches in 1 kg der nassen Luft enthalten ist, wenn sie den Trockenapparat verläßt,

$\gamma_1$  = Gewicht von 1 cbm trockener Luft in kg,

$l$  = das Luftgewicht in kg,

$V_1$  = das Luftvolumen in Kubikmetern,

- $V_{1a}$  = das Volumen der (atmosphärischen) Außenluft in Kubikmetern,  
 $V_{1h}$  = das Volumen der heißen Luft, wenn sie eben den Heizraum verläßt,  
 $V_{1n}$  = das Volumen der nassen Luft, wenn sie den Trockenraum verläßt,  
 $t_u$  = die ursprüngliche Temperatur des Trockengutes,  
 $t_z$  = die Temperatur des Trockengutes, wenn es den Trockenraum verläßt,  
 $t_a$  = Temperatur der Außenluft (atmosphärischen),  
 $t_n$  = Temperatur der heißen Luft, wenn sie eben den Heizraum verläßt,  
 $t_n$  = Temperatur der nassen Luft, wenn sie den Trockenraum verläßt,  
 $p$  = Druck in Atmosphären oder in kg pro 1 qm (der Druck der Atmosphäre ist = 10336 kg pro 1 qm).  
 $q$  = der Druck in Millimetern Quecksilbersäule,  
 $\alpha$  = der Ausdehnungskoeffizient der Luft = 0,003 665,  
 $C_n$  = die Wärmemenge in Kalorien zum Verdampfen des Wassers aus dem Trockengut,  
 $C_g$  = die gesammte Wärme, welche zum Trocknen angewendet werden muß,  
 $\lambda$  = die spezifische Wärme der Luft = 0,2375,  
 $\delta$  = die spezifische Wärme des Wasserdampfes = 0,475.

**2. Bestimmung des Maximalgewichtes an gesättigtem Wasserdampf, welches bei verschiedenem Druck und verschiedener Temperatur in 1 kg Luft enthalten sein kann. Tabelle I.**

Nach bekannten physikalischen Gesetzen hat der gesättigte Wasserdampf bei jeder Temperatur die ihm dabei zukommende Spannung, gleichgültig, ob er sich im luftleeren oder luftgefüllten Raum befindet. Wenn man von einer mit Feuchtigkeit gesättigten Luft spricht, so bedeutet das nichts anderes, als daß in dem Raum, den sie einnimmt, sich gerade so viel gesättigter Wasserdampf befindet, als bei der gerade herrschenden Temperatur darin sein würde, auch wenn keine Luft vorhanden wäre. Die Spannung, der Druck, den dieser gesättigte Dampf an und für sich bei der

herrschenden Temperatur ausübt, ist ein ganz bestimmter, bekannter, durch zahlreiche Versuche ermittelter und in Tabellen von Regnault, Zeuner, Fliegner etc. mitgeteilter. Er ist für die Temperaturen unter  $100^{\circ}$  immer geringer als der Druck der Atmosphäre, und der Druck der Atmosphäre wird eben erzeugt dadurch, daß zu dem Druck des Dampfes noch der der Luft hinzukommt. Der Atmosphärendruck setzt sich zusammen aus demjenigen des Dampfes und dem der Luft; er ist die Summe dieser Drucke.

Da das größte Gewicht an gesättigtem Wasserdampf, welches einen Kubikmeter bei einer bestimmten Temperatur erfüllen kann, nach den oben genannten physikalischen Gesetzen dasselbe bleibt, gleichgültig, ob in dem Kubikmeter sich außerdem noch Luft befindet, oder ob der Dampf den Raum allein einnimmt, so folgt, daß das Gewicht eines Kubikmeters gesättigten Dampfes, wie es aus den oben angeführten Tabellen der bekannten Physiker zu ersehen ist, zugleich auch den Maximalwassergehalt eines Kubikmeters Luft für die verschiedenen Temperaturen angibt.

1 cbm Wasserdampf von $0^{\circ}$	wiegt	0,00504 kg
5 $^{\circ}$	-	0,00696 -
10 $^{\circ}$	-	0,00951 -
15 $^{\circ}$	-	0,01319 -
20 $^{\circ}$	-	0,01753 -

Dieselben Dampfgewichte enthält auch 1 cbm Luft, wenn er mit Feuchtigkeit gesättigt ist.

Wenn die Luft ganz mit Wasserdunst gesättigt ist, so sagt man, ihr Sättigungsgrad beträgt  $100\%$ ; enthält sie weniger Feuchtigkeit, z. B. nur  $\frac{3}{4}-\frac{1}{2}-\frac{1}{4}$  davon, so sagt man, ihr Sättigungsgrad betrage  $75-50-25\%$ .

Ein Kubikmeter Luft enthält also bei den

Wenn der Sättigungs- grad beträgt:	Temperaturen				
	$0^{\circ}$	$5^{\circ}$	$10^{\circ}$	$15^{\circ}$	$20^{\circ}$
10 %	0,000504	0,000696	0,000951	0,001319	0,001753 kg Wasser
20 %	0,00101	0,00139	0,00191	0,00264	0,00351 - -
50 %	0,00252	0,00345	0,00475	0,00660	0,00877 - -

Das Dampfvolumen ( $v$ ) in Litern, welches sich aus 1 kg Wasser entwickelt, findet man nach der Formel von Mariotte-Gay-Lussac:

$$v = 4,543 \frac{273 + t}{p}, \quad \dots \dots \dots (1)$$

worin  $t$  die Temperatur,  $p$  den Druck in Atmosphären bedeutet.

Das Gewicht eines Kubikmeters gesättigten Dampfes ist daher:

$$\gamma_d = \frac{1}{v} = \frac{p}{4,543 (273 + t)} \cdot \dots \dots \dots (2)$$

Fast zu denselben Resultaten, welche die Ausrechnung dieser Gleichungen ergibt, gelangt man auch durch eine andere Betrachtung.

Das spezifische Gewicht des gesättigten Dampfes, auf Luft = 1 bezogen, ist = 0,623. Das Gewicht eines Kubikmeters Dampf ist daher stets 0,623 von dem Gewicht eines Kubikmeters trockener Luft von derselben Spannung und Temperatur. Wenn man also das Gewicht eines Kubikmeters trockener Luft für alle Temperaturen und Spannungen ausrechnet und das Resultat mit 0,623 multipliziert, so erhält man das Gewicht eines Kubikmeters gesättigten Dampfes. Das Resultat stimmt mit dem nach der Gleichung 2 berechneten fast ganz genau überein.

Die Spannung  $p$  des gesättigten Dampfes bei allen Temperaturen ist durch Beobachtungen und Tabellen von Regnault, Zeuner, Fliegner hinreichend bekannt, und ebenso das Gewicht eines Kubikmeters  $\gamma_d$  dabei.

Die Spalte 2 der Tabelle I gibt die Gewichte von 1 cbm gesättigten Dampfes, die Spalte 3 die Spannung des gesättigten Dampfes nach Regnault in Millimeter Quecksilbersäule, beides bei den Temperaturen der Spalte 1.

Der Druck der Atmosphäre (der Barometerstand) schwankt zwischen ziemlich weiten Grenzen. In der Tabelle I sind Barometerstände von 780—760 und 740 mm Quecksilbersäule berücksichtigt, und in den Spalten 4, 5 und 6 ist der Druck angegeben, welchen die trockene Luft bei diesen und bei den Temperaturen von  $-20^{\circ}$  bis  $+100^{\circ}$  neben dem des gesättigten Dampfes noch hat. Denn die Spannung der Luft ist gleich dem herrschenden Barometerstande minus dem Drucke des Dampfes.

In den Spalten 7, 8 und 9 sind dann die Gewichte von 1 cbm trockener Luft bei dem Drucke der Spalten 4, 5, 6 und den Temperaturen  $-20^{\circ}$  bis  $+100^{\circ}$  zusammengestellt.

Das Gewicht eines Kubikmeters trockener Luft berechnet man nach der Formel:

$$\gamma_1 = \frac{0,0001252 \text{ q} \cdot \text{p}}{1 + \alpha t} \frac{1}{760}, \quad \dots \dots \dots (3)$$

worin  $\gamma_1$  das Luftgewicht in kg,  $t$  die Temperatur in Graden Celsius,  $p$  den atmosphärischen Druck in kg pro Quadratmeter  $= 10\,336$ ,  $q$  den Druck, unter welchem die Luft allein steht, und  $\alpha$  den Wärmeausdehnungs-Koeffizienten der Luft,  $\alpha = 0,003665$  bedeutet.

Der atmosphärische Druck auf 1 qm ist bei 760 mm Barometerstand  $p = 10\,336$  kg; für jeden anderen Barometerstand  $q$  in mm Quecksilbersäule ist:

$$p_t = \frac{q}{760} 10\,336. \quad \dots \dots \dots (4)$$

Zieht man von dem herrschenden Barometerstande in mm Quecksilbersäule den Druck des Dampfes in der Atmosphäre ab, so erhält man den Druck, unter dem sich die Luft allein befindet.

Durch eine leichte Umrechnung findet man ferner aus den Daten der Spalten 2 — 9 das Gewicht an gesättigtem Dampf, welches 1 kg trockene Luft bei den verschiedenen Temperaturen und Barometerständen in maximo enthalten kann; denn man hat nur das Gewicht eines Kubikmeters gesättigten Dampfes durch das Gewicht von 1 cbm trockener Luft bei gleicher Temperatur und korrespondierendem Barometerstande zu dividieren. Die Resultate dieser Rechnungen sind in den Spalten 10, 11, 12 zusammengestellt.

Die Spalten 13—21 der Tabelle I bieten die ähnlichen Angaben für einen Druck von  $1\frac{1}{2}$  Atm. abs.  $= \frac{1}{2}$  Atm. Überdruck  $= 1140$  mm Quecksilbersäule, ferner für einen solchen von  $\frac{1}{3}$  Atm. abs.  $= 250$  mm Quecksilbersäule und endlich für einen solchen von  $\frac{2}{3}$  Atm. abs.  $= 500$  mm Quecksilbersäule.

Die Zahlen der Spalten 13, 16, 19 sind gefunden durch Subtraktion des Dampfdruckes der Spalte 3 von dem angenommenen Gesamtdruck  $1140-500-250$  mm.

Die Angaben der Spalten 14, 17, 20 ergeben sich aus der



Gleichung 3, indem man für  $q$  und  $t$  die entsprechenden Werte einsetzt.

Endlich ergibt sich das in 1 kg Luft bei den verschiedenen Spannungen enthaltene Wasserdampfgewicht durch Division der Gewichte aus den Spalten 14, 17, 20 in die entsprechenden Zahlen der Spalte 2.

**Beispiel 1.** Es ist zu bestimmen:

1. Das Gewicht von 1 Kubikmeter trockener Luft, die mit Wasserdampf gesättigt ist, bei  $t_a = 10^\circ$  und dem Barometerstand  $q = 760$  mm (Spalte 8).

2. Das Gewicht an Wasserdampf  $d_a$ , welches in diesem Falle in 1 kg Luft enthalten ist (Spalte 11).

3. Das Gewicht von 1 Kubikmeter trockener Luft, die mit Wasserdampf gesättigt ist, bei  $t_a = 10^\circ$  und dem absoluten Druck von  $q = 250$  mm (Spalte 20).

4. Das Gewicht an Wasserdampf, welches im Falle 3 in 1 kg Luft enthalten ist (Spalte 21).

*ad 1.* Nach Gleichung 3 ist:

$$\gamma_1 = \frac{0,0001252 \cdot q \cdot p}{1 + \alpha t} \cdot \frac{1}{760}$$

$q$  ist die Spannung der Luft in dem Kubikmeter und sie wird gefunden als die Differenz zwischen dem herrschenden Gesamtdruck (das ist hier 760 mm) und dem Druck des gesättigten Dampfes bei  $10^\circ$  (das ist nach Spalte 3 = 9,16 mm), sodaß sich ergibt:

$$q = 760 - 9,16 = 750,84 \text{ mm,}$$

hieraus folgt:

$$\frac{q \cdot p}{760} = \frac{750,84 \cdot 10 \cdot 336}{760} = 10 \cdot 211,4$$

und

$$\gamma_1 = \frac{0,0001252 \cdot 10 \cdot 211,4}{1 + 0,003665 \cdot 10} = 1,2332 \text{ Kilo (Spalte 8).}$$

*ad 2.* 1 cbm enthält also bei  $10^\circ$  und 760 mm Barometerstand 1,2332 kg Luft und (aus Spalte 2) 0,00951 kg Wasserdampf.

In 1 kg Luft sind also in diesem Falle enthalten:

$$\frac{0,00951}{1,2332} = 0,00771 \text{ Kilo Dampf (Spalte 11).}$$

ad 3. In die Gleichung 3 ist einzusetzen:

$$t_a = 10^0 \quad \alpha = 0,003665 \quad q = 250 - 9,16 = 240,84.$$

$$\frac{q p}{760} = \frac{240,84 \cdot 10336}{760} = 3275,4$$

und

$$\gamma_1 = \frac{0,0001252 \cdot 3275,4}{1 + 0,003665 \cdot 10} = 0,395 \text{ Kilo (Spalte 20).}$$

ad 4. 1 cbm Luft enthält also bei  $10^0$  und 250 mm absolutem Druck 0,395 kg Luft und (aus Spalte 2) 0,00951 kg Dampf.

Folglich enthält 1 kg Luft:

$$\frac{0,00951}{0,395} = 0,0240 \text{ Kilo Dampf (Spalte 21).}$$

---

Aus der Tabelle I erkennt man ganz deutlich, daß 1 kg Luft um so mehr gesättigten Wasserdampf mit sich führen kann, je wärmer sie selbst und je geringer der herrschende Druck ist.

---

Nach den Spalten 11, 15, 18, 21 der Tabelle I ist das Diagramm gezeichnet worden, welches in der Tafel I dargestellt wird.

Es zeigt das Gewicht an gesättigtem Wasserdampf, welches 1 kg Luft bei den absoluten Spannungen 250—500—760—1140 mm und den Temperaturen von  $-20$  bis  $+100^0$  aufnehmen kann. Viel Neues ist aus diesem Diagramm nicht zu lernen, allein es ist angenehm, mit einem Blick zu beobachten, wie sich die Dampfaufnahme der Luft bei verschiedenen Temperaturen und Drucken gestaltet.

---

Mit der Tabelle I als Rüstzeug ausgestattet, kann man nun berechnen, wieviel Luft und wieviel Wärme zur Verdunstung eines bestimmten Gewichtes Wasser unter den verschiedenen Umständen gebraucht wird.

**3. Berechnung des notwendigen Luftgewichtes und Volumens, sowie des geringsten Wärmeverbrauches für Trockenapparate mit nur vorgewärmter Luft.**

**A. Unter der Annahme, daß die Luft vor ihrem Eintritt und bei ihrem Austritt aus dem Apparat ganz mit Wasserdunst gesättigt sei.**

Tabelle II.

Die atmosphärische Luft ist selten ganz mit Wasserdampf gesättigt. Der Sättigungsgrad schwankt zwischen 10—100 % und ändert sich oft während eines Tages um 50—60 %. Es wird daher bei der Berechnung des für eine bestimmte Trockenleistung nötigen Luftgewichtes angezeigt sein, einen hohen Feuchtigkeitsgrad der Außenluft anzunehmen.

Auch die aus dem Trockenraum entweichende Luft ist fast nie ganz gesättigt. Obgleich dies zu erstrebende Ziel nicht erreicht wird, so sollen doch in diesem Abschnitt die gewünschten Angaben des Luft- und Wärmeverbrauches zunächst für diesen Fall gefunden werden. Später werden dann andere Sättigungsgrade Berücksichtigung finden.

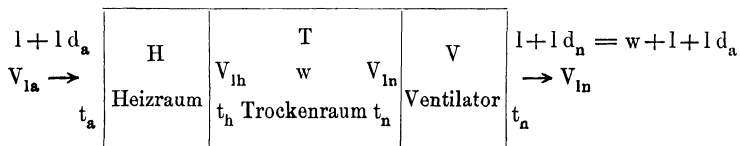


Fig. 1.

Die schematische Figur 1 soll die Vorstellung des einfachen Luft-Trockenapparates geben.

Die Außenluft 1, welche in 1 kg  $d_a$  kg Wasser enthält, tritt mit der Temperatur  $t_a$  in den Heizraum, den sie mit der höheren Temperatur  $t_h$  verläßt. Durch den Trockenraum T strömend, nimmt die Luft dann das Wassergewicht w auf und kühlt sich dabei auf die Temperatur  $t_n$  ab. Gewöhnlich wird ein Ventilator V angewendet, um die warme, mit der Feuchtigkeit  $l d_n = w + l d_a$  beladene Luft ins Freie zu treiben.

Aus Früherem ist erinnerlich, daß die zum Trocknen zu benutzende Luft zwei Bedingungen erfüllen muß:

1. Die Wärmemenge, welche das Luftgewicht  $l$  und dessen Feuchtigkeit  $l d_a$  durch ihre Abkühlung im Trockenraum von der Eintrittstemperatur  $t_n$  auf die Austrittstemperatur  $t_n$  abgeben können, muß zur Erwärmung des Trockengutes von seiner augenblicklichen Temperatur  $t_u$  auf die Temperatur  $t_z$  und zur Verdampfung des Wassers  $w$  genügen.

2. Die Luft muß imstande sein, bei ihrer Austrittstemperatur  $t_n$  das Wassergewicht  $w$  als Dampf zu enthalten neben dem Wasserdampf  $l d_a$ , welchen sie aus der Atmosphäre mitbrachte.

Bezeichnen wir mit  $\lambda$  die spezifische Wärme der Luft  $= 0,2375$ , mit  $\delta$  die spezifische Wärme des Dampfes  $= 0,475$ , mit  $C_n$  die Wärme in Kalorien, welche im Trockenraum aufgewendet wird, so ergeben sich aus diesen Bedingungen die Gleichungen:

$$(l\lambda + l d_a \delta)(t_h - t_n) = C_n \dots \dots \dots (5)$$

$$l(d_n - d_a) = w \dots \dots \dots (6)$$

oder anders geschrieben

$$l = \frac{w}{d_n - d_a}, \dots \dots \dots (7)$$

dies in die Gleichung (5) eingesetzt:

$$\frac{w}{d_n - d_a} (\lambda + d_a \delta)(t_h - t_n) = C_n \dots \dots \dots (8)$$

oder da  $\lambda = 0,2375$  und  $\delta = 0,475$  ist

$$\frac{t_h - t_n}{d_n - d_a} = \frac{C_n}{w(0,2375 + d_a 0,475)} \dots \dots \dots (9)$$

In dieser Gleichung (9) sind in jedem Fall bekannt:

$w$  = das in der Zeiteinheit zu verdunstende Wassergewicht,  
 $t_h$  = die höchste Temperatur der Luft im Heizraum, welche so hoch zu bemessen ist, wie es der zu trocknende Stoff noch vertragen kann,

$t_a$  = die Temperatur der Außenluft, welche verwendet werden soll,

$d_a$  = das Wassergewicht in 1 kg atmosphärischer Luft,

$C_n$  = die von der Luft im Trockenraum abzugebende Wärme in Kalorien. Sie ist die Summe derjenigen für die Erwärmung

des Trockengutes auf seine Austrittstemperatur ( $t_z$ ) und derjenigen für die Verdunstung des Wassers  $w$  aus diesem Trockengut.

Der Gehalt des Trockengutes an festen Stoffen kann groß oder klein sein, wir werden aber im nachstehenden immer die Wärmemenge, welche zur Erwärmung der festen Stoffe des Trockengutes (oder besser des nach dem Trocknen Verbleibenden) dient, ganz vernachlässigen, weil sie in jedem Falle verschieden ist, stets einen geringen Prozentsatz des ganzen Wärmehaufwandes ausmacht und mit dem gesamten bei Ausführung nötigen Sicherheitszuschlage berücksichtigt werden kann. Wir nehmen also im folgenden immer an, daß nur die aufzutrocknende Feuchtigkeit  $w$  von ihrer ursprünglichen Temperatur  $t_u$  (in den Tabellen ist durchgängig  $t_u = 15^0$  zu Grunde gelegt) auf die Temperatur  $t_n$  beim Luftaustritt zu bringen ist, wozu  $w (t_n - t_u)$  Kalorien gehören.

Für die Verdampfung von 1 kg Wasser von der Temperatur  $t_n$ , sind  $= 640 - t_n$  Kalorien erforderlich.

Die Wärmemenge  $C_n$ , welche für die Wasserverdampfung nötig ist (die Nutzleistung der Trockenanlage), ist demnach:

$$C_n = w (t_n - t_u) + w (640 - t_n)$$

$$C_n = w (640 - t_u). \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

Unbekannt sind in der Gleichung (9) die Größen  $t_n$  und  $d_n$ , d. h. Austrittstemperatur und Wassergehalt der abgehenden Luft.

Sofern angenommen wird, daß die Luft beim Austritt mit Wasserdunst gesättigt ist (und nur für diesen Fall gelten die Tabellen I und II), so sind die Größen  $t_n$  und  $d_n$  von einander abhängig, derart, daß zu jeder Temperatur  $t_n$  ein aus der Tabelle I ersichtlicher Wassergehalt  $d_n$  gehört.

Um nun aus der Gleichung 9 die noch unbekanntenen Größen  $t_n$  und  $d_n$  zu finden, muß man die Werte für die bekannten Größen einsetzen und dann durch einiges Probieren die Zahlen für  $t_n$  und  $d_n$  suchen, indem man ein beliebiges  $t_n$  wählt, dieses mit dem dazugehörigen, aus Tabelle I ersichtlichen  $d_n$  einsetzt, ausrechnet und diese Operation so oft wiederholt, bis die beiden Seiten der Formel gleich werden.

Ist auf diese Weise  $t_n$  d. h. die Austrittstemperatur und da-

durch  $d_n$  d. h. der Wassergehalt der Luft beim Austritt festgestellt, so kann man mit Hilfe der Gleichung 7 das notwendige Luftgewicht (l) bestimmen (Spalte 2 und 3, Tabelle II), welches zum Trocknen des Wassergewichts w genügt.

Das absolute Gewicht der Feuchtigkeit, welche dies berechnete Luftgewicht l von außen mit in den Apparat brachte, ergibt sich, indem man l mit dem Faktor  $d_a$  (aus Tabelle I, Spalten 10, 11, 12, 15, 18, 21) multipliziert (Tabelle II, Spalte 4).

Die ganze Wärmemenge  $C_g$ , welche notwendig ist, um das Luftgewicht l und den in ihr enthaltenen Dunst von ihrer Außentemperatur  $t_a$  auf die höchste Temperatur  $t_n$  zu erwärmen, folgt aus der Gleichung:

$$C_g = l (0,2375 + d_a 0,475) (t_n - t_a) \dots \dots (11)$$

Je größer  $C_g$  im Verhältnis zu  $C_n$  wird, desto unökonomischer arbeitet die Trockenanlage. (Tabelle II, Spalte 8.)

Es ist endlich erwünscht, die Volumina der Luft in den verschiedenen Erwärmungsstadien zu erfahren.

Das Gewicht der Luft (l), welches in den Trockenraum geht, ist gleich dem, welches aus demselben kommt, und wir nehmen an, daß diese Luft jedesmal mit Dampf gesättigt sei, nämlich einmal bei der Temperatur der Atmosphäre  $t_a$ , das andere Mal bei der Temperatur des Austritts  $t_n$ . Die Spannung der Luft in diesen beiden Fällen ist verschieden, aber bekannt, denn sie ist die Differenz zwischen dem Atmosphärendruck und dem Druck des in der Luft enthaltenen gesättigten Dampfes.

Um nun die gewünschten Volumina  $V_{1a}$  und  $V_{1n}$  des Luftgewichtes (l) zu finden, dividiert man das Gewicht von 1 cbm trockener Luft von gleichem Druck (d. h. Atmosphärendruck minus Dampfdruck) und von gleicher Temperatur in das berechnete Luftgewicht (l), d. h. man dividiert die in Tabelle I, Spalte 7, 8, 9, 14, 17, 20 bei den betreffenden Außen- und Austrittstemperaturen notierten Gewichte in das berechnete Gewicht der Luft (l). So sind die Spalten 5 und 7 der Tabelle II bestimmt.

$$V_{1a} = \frac{1}{\gamma_1} \qquad V_{1n} = \frac{1}{\gamma_1}$$

Um das Volumen  $V_{1n}$  der vorgewärmten Luft zu finden in dem Zustande, in welchem sie, den Heizkörper verlassend, in

den Trockenraum tritt, muß man anders verfahren. In der stark erwärmten Luft ist der ihr beigemischte Dampf überhitzt und anderen Gesetzen unterworfen als der gesättigte. Bei hohen Temperaturen hat der stark überhitzte Dampf geringere Spannungen als der gesättigte, nämlich diejenigen der sogenannten permanenten Gase, allein in der Nähe seines Kondensationspunktes, und das ist gerade die Gegend, welche im vorliegenden Falle in Betracht kommt, sind die Regeln, welchen der wenig überhitzte Dampf folgt, nicht genau bekannt.

In der Hoffnung, keinen zu großen Fehler zu begehen, nehmen wir aber für die Rechnung an, daß der hier auftretende, wenig überhitzte Dampf sich auch verhalte wie ein sogenanntes permanentes Gas.

Der Dampf ist mit der Luft diffundiert. In Bezug auf Gewicht, Spannung und Gesamtvolumen wird nichts geändert, wenn wir diese Diffusion der Luft und des überhitzten Dampfes einen Augenblick aufgehoben denken. Wenn wir uns vorstellen, Dampf und Luft befänden sich bei unveränderter Spannung in zwei nebeneinander liegenden, nur durch eine Wand getrennten Räumen, so würden diese beiden Räume zusammen so groß sein wie der eine Raum, in dem sich vorher Luft und Dampf zusammen befanden; wenn vorher das Gemisch von Luft und Dampf unter dem Druck der Atmosphäre stand (760 mm), so sei dies auch nach der Trennung der Fall. Um das Volumen der Luft-Dampfmischung zu erfahren, braucht man also nur die Volumina der beiden Teile zu addieren.

Es unterliegt keiner Schwierigkeit, die Volumina der Gewichte von trockener Luft und überhitztem Dampf bei bestimmtem Druck und Temperatur zu finden, wenn nach dem Mariotteschen Gesetz die Formel:

$$\frac{V_1 p}{273 + t} = R \quad \text{oder} \quad \frac{V_d p}{273 + t} = R \dots (12)$$

dafür angewendet werden darf, in welcher  $R =$  eine für jedes Gas bestimmte Konstante bedeutet.

Diese Konstante  $R$  ist für Luft = 29,27 und nach G. Schmidt für überhitzten Dampf = 46,83.

Die Formel für die Bestimmung des Volumens der heißen

Luft und des ihr beigemischten Dampfes bei der Temperatur  $t_h$  ist demnach:

$$V_g = V_{lh} + V_{dh} = l \left( \frac{273 + t_h}{p} (29,27 + 46,83 d_a) \right). \quad (13)$$

Hiernach ist die Spalte 6 der Tabelle II berechnet.

Um zu verdeutlichen, in welcher Weise die bis hier gediehenen Betrachtungen in speziellen Fällen der Praxis benutzt werden können, soll sogleich ein Beispiel ausgerechnet werden, welches dann auch zugleich zeigt, wie die Zahlen der Tabelle II entstanden sind.

**Beispiel 2.** Es sollen 100 kg Wasser durch Luft, deren Maximaltemperatur nicht mehr als  $t_h = 100^\circ$  betragen darf, aufgetrocknet werden, unter der Voraussetzung, daß die atmosphärische Luft sowohl als auch die den Apparat verlassende Luft mit Wasserdampf gesättigt ist und daß der Barometerstand 760 mm beträgt.

Die atmosphärische Luft kann jede vorkommende Temperatur haben. Man wird also genötigt sein, die gewünschten Angaben für alle möglichen Außentemperaturen zu berechnen. Weil sich die Rechnungen aber für jede Außentemperatur wiederholen, so sollen hier nur diejenigen für eine Außentemperatur von  $t_a = 20^\circ$  durchgeführt werden.

Es ist zu bestimmen das für die Trocknung nötige Luftgewicht ( $l$ ), die Austrittstemperatur der Luft ( $t_n$ ), das Volumen derselben vor dem Eintritt  $V_{1a}$ , nach der Erhitzung auf  $100^\circ$   $V_{1h}$ , beim Austritt  $V_{1n}$  und die Wärme  $C_g$ , welche aufzuwenden ist.

Die Gleichung 9 lautet:

$$\frac{t_h - t_n}{d_n - d_a} = \frac{C_n}{w(0,2375 + d_a 0,475)}.$$

Darin ist die höchste Lufttemperatur  $t_h = 100^\circ$ . Die Außentemperatur ist  $t_a = 20^\circ$ , und daher der Wassergehalt von 1 kg Luft aus Tabelle I, Spalte 11  $d_a = 0,0148$  kg, das zu verdampfende Wassergewicht ist  $w = 100$  kg.

Das Trockengut und sein Wassergehalt habe die Temperatur  $t_a = 15^\circ$  und daher ist die zum Verdampfen desselben nötige Wärme:

$$C_n = (640 - 15) 100 = 62\,500 \text{ Kalorien.}$$



Diese Werte in die Gleichung 9 eingesetzt:

$$\frac{100 - t_n}{d_n - 0,0148} = \frac{62\,500}{100(0,2375 + 0,0148 \cdot 0,475)}$$

$$\frac{100 - t_n}{d_n - 0,0148} = 2556,2.$$

Die Größen  $t_n$  (Austrittstemperatur) und  $d_n$  (Wassergehalt eines kg Luft bei dieser Temperatur) sind von einander direkt abhängig, derart, daß für eine bestimmte Temperatur auch der maximale Wassergehalt der Luft dabei bestimmt und bekannt ist; allein diese Größen sind nicht durch einander ausdrückbar. Man ist also gezwungen, durch probeweises Einsetzen verschiedener Werte für  $t_n$  und des dazu gehörigen aus Tabelle I, Spalte 11 ersichtlichen  $d_n$  so lange zu rechnen, bis die beiden Seiten der Gleichung gleich werden.

Nach einigem Probieren haben wir nun gefunden, daß für  $t_n = 36,25$  und das zugehörige  $d_n = 0,0398$  (Tabelle I, Spalte 11 durch Interpolieren)

$$\frac{100 - 36,25}{0,0398 - 0,0148} = 2550$$

wird, was mit dem zu findenden 2556,2 genau genug harmoniert.

Die Austrittstemperatur aus dem Trocken-Apparat ist also  $36,25^\circ$ . Das Luftgewicht (l) ergibt sich aus Gleichung 7:

$$l = \frac{w}{d_n - d_a} = \frac{100}{0,0398 - 0,0148} = 4000 \text{ Kilo.}$$

Das Gewicht der Feuchtigkeit  $l \cdot d_a$ , die ursprünglich in den 4000 kg atmosphärischer Luft enthalten war, findet man durch Multiplikation des Luftgewichtes mit der Zahl, welche angibt, wieviel gesättigter Dampf in 1 kg Luft von  $20^\circ$  enthalten sein kann, das ist  $d_a = 0,0148$  (Tabelle I, Spalte 11).

In den 4000 Kilo Luft waren also ursprünglich enthalten

$$l \cdot d_a = 4000 \cdot 0,0148 = 59,20 \text{ kg Wasserdampf.}$$

Das Volumen der Luft  $V_{1a}$  und  $V_{1n}$  in cbm vor dem Eintritt und beim Austritt ergibt sich durch Division des Gewichtes von 1 cbm trockener Luft bei den betreffenden Temperaturen ( $20^\circ$  und  $36,25^\circ$ ) in das nötige Luftgewicht (l) (Tabelle I, Spalte 8):

für  $20^\circ$

$$V_{1a} = \frac{4000}{1,1771} = 3389 \text{ cbm,}$$

für  $36,25^{\circ}$

$$V_{1n} = \frac{4000}{1,0750} = 3721 \text{ cbm.}$$

Das Volumen der erhitzten Luft  $V_{1h}$  folgt aus Gleichung 13:

$$V_{1h} = l \left[ \frac{273 + t_h}{p} (29,27 + 46,83 d_a) \right],$$

worin zu setzen ist

$$p = 10\,336 \text{ kg} \quad t_h = 100^{\circ} \quad l = 4000 \text{ kg} \quad l \cdot d_a = 59,20 \text{ kg},$$

daher:

$$V_{1h} = \frac{273 + 100}{10336} (29,27 \cdot 4000 + 59,20 \cdot 46,83) = 4323 \text{ cbm.}$$

Endlich ist noch die Wärmemenge  $C_g$  zu berechnen, welche zur Erhitzung der 4000 kg Luft und 59,20 kg Wasserdampf von  $20^{\circ}$  auf  $100^{\circ}$  nötig ist; sie erscheint aus Gleichung 11:

$$C_g = (l \cdot 0,2375 + l \cdot d_a \cdot 0,475) (t_h - t_a),$$

worin

$$l = 4000 \quad l \cdot d_a = 59,20 \quad t_h = 100^{\circ} \quad t_a = 20^{\circ}$$

$$C_g = (4000 \cdot 0,2375 + 59,20 \cdot 0,475) (100 - 20) = 78260 \text{ Kal.}$$

In dieser Weise sind die Zahlen der Tabelle II gefunden worden.

Im allgemeinen wird man zur Bestimmung der Abmessungen einer Anlage für bestimmte Zwecke nur die Grenzfälle brauchen, in denen die zu verwendende Luft entweder am kältesten oder am wärmsten ist; aber bisweilen können auch die Zwischenzahlen angenehm sein; daher sind in dieser Tabelle II einige zwischen den Grenzen liegende Fälle berechnet worden, während später nur diese angegeben sind. Als Grenzen der Lufttemperatur sind  $-20^{\circ}$  und  $+30^{\circ}$  angesehen.

Aus der Tabelle II kann man manches lernen.

Zunächst sieht man, daß der Wärmeverbrauch beim Trocknen mit Luft sehr abnimmt mit der Temp.-Höhe, bis zu der die Luft vorgewärmt wird ( $t_h$ ). Bei geringer Lufterwärmung ist der Wärmeaufwand  $C_g$  zum Auftrocknen von 100 kg Wasser sehr groß, 2—3mal so groß als die zum Verdampfen des Wassers theoretisch nötige Wärme  $C_n$ .

Sodann erkennt man, daß die aufzuwendende Wärme stark zunimmt, wenn die Außentemperatur abnimmt. Je kälter die Atmosphäre ist, um so mehr Wärme braucht man zum Auftrocknen von 100 kg Wasser.

Ferner ist zu beobachten, daß das in den Trockenraum zu führende Gewicht der Luft wächst mit ihrer zunehmenden ursprünglichen Wärme  $t_a$ . Je kälter die Außentemperatur ist, um so weniger Luft braucht man bei gleicher Maximal-Temperatur in einen Trocken-Apparat zu leiten, vorausgesetzt, daß die atmosphärische Luft immer mit Wasserdampf gesättigt gedacht wird. Aber die geringere Menge kalter Luft erfordert doch zu ihrer Vorwärmung auf die Temperatur  $t_h$  viel mehr Kalorien als die größere Menge Luft von höherer Außentemperatur.

Es folgen hieraus die Regeln:

1. daß man der Heizluft vor ihrem Eintritt in den Trockenraum stets die für den zu trocknenden Stoff höchste zulässige Temperatur geben soll,
2. daß man die Heizflächen so groß wählen muß, daß sie auch an den kältesten Tagen ausreichen,
3. daß man die Luftbewegungsvorrichtung so groß anordnen soll, daß sie auch an den wärmsten Tagen das große Luftquantum fördern kann.

In kalten Tagen sind dann die Heizflächen hinreichend, die Luftbewegungseinrichtungen aber zu groß; man kann die letzten dann weniger beanspruchen. In warmen Tagen sind die Luftbewegungsvorrichtungen genügend und die Heizflächen zu groß, man darf sie nur teilweise benutzen.

Das für die Trocknung in der Zeiteinheit gebrauchte Luftgewicht hat ein sehr veränderliches Volumen. Vor dem Eintritt in den Trockenraum ist es am kleinsten (Tabelle II, Spalte 5), nach dem Erhitzen ist es am größten (Spalte 6), beim Austritt aus dem Trockenraum hat es eine mittlere Größe (Spalte 7).

Um der Luft in keinem Teile des Apparates eine übermäßige Geschwindigkeit zu geben, wird man die Kanäle, die Querschnitte, welche die Luft durchströmen muß, diesem verschiedenen Raumbedürfnis entsprechend bemessen. Wenn die Luftbewegung mechanisch geschehen soll, so ist es immer am bequemsten, wenig Luft zu bewegen. Daher könnte es angezeigt erscheinen, die mechanische Luftbewegungsvorrichtung (Ventilator etc.) vor dem Heizraum anzuordnen. Geht dies nicht an, so soll man sie am Austritt aufstellen, aber hinter dem Heizraum wäre der Ventilator am ungünstigsten angebracht.

Die Ventilatoren bewirken in dem angesaugten Luftstrom eine kleine Verdünnung, im gepreßten Luftstrom eine kleine Verdichtung und weil es, wie später noch deutlich werden wird, für die Leistung und für den Wärmeverbrauch günstig ist, wenn im Trockenraum die Spannung geringer ist als in der umgebenden Luft, so ist die Anwendung des Ventilators am Ausgang der Luft zu empfehlen. Es ist also anzuraten, die Luft nicht in den Trockenraum zu drücken, sondern aus demselben abzusaugen.

Der Barometerstand schwankt in der Ebene vielleicht zwischen 740 und 780 mm. Die Tabelle II ist nur für denjenigen von 760 mm berechnet, weil selbst so große und seltene Schwankungen wie 20 mm Quecksilbersäule nur einen sehr geringen Einfluß auf das Gewicht und das Volumen der benötigten Luft ausüben, sodaß dieser Einfluß bei den Zahlen der Tabelle sich kaum bemerklich machen würde. Aber so gering immer der Einfluß ist, so ist er doch zu Gunsten des höheren Barometerstandes; d. h. je höher der Barometerstand, desto weniger Luft braucht man zum Trocknen und desto billiger trocknet man unter sonst gleichen Umständen. Je niedriger der Barometerstand, desto mehr Luft und Wärme ist nötig zum Auftrocknen eines bestimmten Gewichtes Wasser. Allerdings ist das Mehr oder Weniger, welches zu Gunsten des Druckes spricht, sehr gering.

Das Gesagte gilt nur für die Annahme, daß der Druck im Trockenraum gleich dem der Umgebung ist; nur wenn der Barometerstand im Trockenraum und außerhalb desselben gleich ist, hat ein hoher Druck Vorteile. Anders ist es aber, wenn künstlich im Trockenraum eine andere, höhere oder niedrigere Spannung erzeugt wird, als sie in der Atmosphäre herrscht. In diesen Fällen ist, wie wir in Abschnitt 6 sehen werden, der niedrigere Druck im Apparat vorteilhaft.

**B. Wenn die atmosphärische Luft vor ihrem Eintritt ganz, bei ihrem Austritt aber nur  $\frac{3}{4}-\frac{1}{2}-\frac{1}{4}$  mit Wasserdampf gesättigt ist.**

**Tabellen III, IV, V, VI.**

Für die Berechnung der Tabellen I und II war angenommen worden, daß die atmosphärische, in den Apparat zu führende Luft und ebenso die den Apparat verlassende Luft vollkommen mit Wasserdampf gesättigt seien, und nur für diesen Fall sind die Zahlen dieser Tabellen zu verstehen.

Allein diese vollkommene Sättigung der Luft beim Eintritt und Austritt kommt doch wohl kaum vor. Weder ist die atmosphärische Luft ganz mit Wasser angefüllt, noch auch gelingt es, die Trocken-Apparate so einzurichten, daß die Luft sie in diesem Zustande verläßt.

Wir wollen nun die Fälle betrachten, in denen die Luft zwar ganz gesättigt in den Apparat strömt, denselben aber nicht ganz gesättigt verläßt.

Die Luft ist gesättigt, wenn ihre Volumeneinheit so viel Wassergewicht enthält, wie diese Volumeneinheit auch ohne Anwesenheit der Luft enthalten könnte. Die Luft ist  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$  mit Wasserdampf gesättigt, wenn ihre Volumeneinheit  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$  von dem Gewicht an Wasser enthält, das sie im Maximum enthalten kann.

Mit dem abnehmenden Sättigungsgrade der Luft nimmt auch die Spannung des Wasserdampfes in der Luft ab, und da der barometrische Druck die Summe von Wasser- und Luftdruck ist, so folgt, daß die Volumeneinheit ein um so größeres Luftgewicht enthält, ein je geringeres Wassergewicht sie einschließt.

Um für die sogleich folgenden Rechnungen die nötigen Zahlen zur Hand zu haben, ist die Tabelle III aufgestellt worden, in welcher die Spannungen und Kubikmetergewichte von Wasserdampf und Luft bei Sättigungsgraden von  $\frac{3}{4}-\frac{1}{2}-\frac{1}{4}$  angegeben sind (und zwar nur für den Barometerstand von 760 mm, weil dessen Schwankungen erhebliche Änderungen der mitgeteilten Zahlen nicht ergeben).

In den Spalten 2, 7, 12 der Tabelle III sind die Gewichte von 1 cbm des  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$  gesättigten Wasserdampfes bei den Temperaturen von  $-20^{\circ}$  bis  $+100^{\circ}$  vermerkt. Sie

wurden gefunden, indem der entsprechende Teil des Dampfgewichtes von 1 cbm aus Tabelle I, Spalte 2, eingesetzt wurde, z. B. bei  $-20^{\circ}$  wiegt 1 cbm gesättigten Wasserdampfes 0,00106 kg; folglich wiegt 1 cbm, der die Hälfte des gesättigten Dampfes bei dieser Temperatur enthält,  $\frac{0,00106}{2} = 0,00053$  kg (Spalte 7).

In den Spalten 3, 8, 13 stehen die Spannungen dieses Dampfes; der nur teilweise gesättigte Dampf ist als überhitzt angesehen worden und die Formel 12:

$$\frac{V_d \cdot p_1}{273 + t} = R,$$

worin  $R = 46,83$  ist, auf ihn angewendet.

Das Gewicht von 1 cbm Dampf ist:

$$\gamma_d = \frac{1}{V_d} \quad \text{und} \quad V_d = \frac{1}{\gamma_d}.$$

Der Druck  $p_1$  in kg pro qm bei dem eben betrachteten absoluten Druck  $q_d$ , gemessen durch die Quecksilbersäule, ergibt sich:

$$\frac{p \cdot q_d}{760} = \frac{10336 \cdot q_d}{760}, \dots \dots \dots (14)$$

worin  $p$  den Druck der Atmosphäre pro qm  $= 10336$  kg bedeutet.

Die Gleichung 12 erhält also die Form:

$$R = \frac{\frac{1}{\gamma_d} \frac{10336 \cdot q_d}{760}}{273 + t} \dots \dots \dots (15)$$

Die Spannung des nicht gesättigten Dampfes in der Luft folgt also:

$$q_d = \frac{R(273 + t) \gamma_d 760}{10336} \dots \dots \dots (16)$$

Hierdurch sind die Spalten 3, 8, 13 der Tabelle III berechnet.

**Beispiel 3.** Bei einer Temperatur von  $-20^{\circ}$  und einem Sättigungsgrade von 50 % ( $= \frac{1}{2}$ ) ist die Spannung des Dampfes in mm Quecksilbersäule nach Gl. (16):

$$q_d = \frac{46,83(273 - 20) 0,00053 \cdot 760}{10336} = 0,461 \text{ mm.}$$

Die Spalten 4, 9, 14, in welchen die Spannung der Luft notiert ist, ergeben sich als die Differenzen aus dem Atmosphärendruck von 760 mm und dem Druck des Dampfes  $q_d$ .

**Beispiel 4.** Bei dem eben angeführten Fall ist die Spannung der Luft:

$$q_1 = 760 - 0,461 = 759,539 \text{ mm.}$$


---

In den Spalten 5, 10, 15 findet sich das Gewicht der trockenen Luft in einem Kubikmeter, der außerdem  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$  gesättigten Dampf enthält, bestimmt nach der Gleichung 3:

$$\gamma_1 = \frac{0,0001252 \cdot p \cdot q_1}{1 + \alpha t} \cdot \frac{1}{760}.$$

Die Werte für  $p$  und  $\alpha$  eingesetzt, folgt:

$$\gamma_1 = \frac{0,0001252 \cdot 10336 \cdot q_1}{(1 + 0,003665 t) \cdot 760}.$$

In dem eben angeführten Beispiel für  $t_n = -20^\circ$  und  $\frac{1}{2}$  Sättigung war  $q_1 = 759,539$  und daher das Luftgewicht in 1 cbm:

$$\gamma_1 = \frac{0,0001252 \cdot 10336 \cdot 759,539}{(1 + 0,003665 \cdot -20) \cdot 760} = 1,395 \text{ Kilo.}$$

Endlich ergeben sich die Spalten 6, 11, 16, in denen das Dampfgewicht steht, welches in 1 kg Luft enthalten ist, durch Division des Luftgewichtes (Spalte 10) in das Dampfgewicht (Spalte 7).

**Beispiel 5.** Für  $t = -20^\circ$  und  $\frac{1}{2}$  Sättigung

$$d = \frac{\gamma_d}{\gamma_1} = \frac{0,00053}{1,395} = 0,00038 \text{ Kilo.}$$


---

So ist die Tabelle III zusammengestellt.

---

Mit Hilfe der Tabelle III sind nun die Tabellen IV, V, VI berechnet worden, welche für die Fälle, in denen die Außenluft ganz, die Austrittsluft aber nur  $\frac{3}{4}$  (IV) oder  $\frac{1}{2}$  (V) oder  $\frac{1}{4}$  (VI)

gesättigt ist, die zum Auftrocknen von 100 Kilo Wasser notwendigen Luftgewichte und Volumina, die Austrittstemperatur und den Wärmeverbrauch angeben, ganz ähnlich wie es die Tabelle II für ganz gesättigte Austrittsluft tut.

Die Art der Berechnung ist ganz der im Abschnitt I A. auseinandergesetzten ähnlich, doch soll zu näherer Deutlichkeit ein Beispiel durchgeführt werden.

**Beispiel 6.** Es sollen bei dem Barometerstande von 760 mm  $w = 100$  kg Wasser aufgetrocknet werden durch Luft, die im Maximum auf  $t_n = 100^\circ$  erhitzt werden darf, wenn die Außentemperatur  $t_a = \pm 0^\circ$  ist; dabei wird angenommen, daß die Außenluft ganz, die aus dem Apparat gehende Luft nur  $\frac{3}{4}$  mit Wasserdampf gesättigt ist. Die Temperatur des Trockengutes sei  $t_u = 15^\circ$ .

Nach Gleichung 9 ist:

$$\frac{t_n - t_u}{d_n - d_a} = \frac{C_n}{w(0,2375 + d_a \cdot 0,475)},$$

folglich für:

$$t_n = 100^\circ \quad w = 100 \text{ Kilo} \quad C_n = 62500 \quad d_a = 0,00387$$

(Tabelle I, Spalte 11):

$$\frac{100 - t_u}{d_n - 0,00387} = \frac{62500}{100(0,2375 + 0,00387 \cdot 0,475)} = 2616.$$

Durch probeweises Einsetzen verschiedener Werte für  $t_n$  und das dazugehörige  $d_n$  aus Tabelle III, Spalte 6, findet man endlich  $t_n = 36^\circ$  und  $d_n = 0,0284$ , welche die linke Seite = 2616 machen. Die Austrittstemperatur ist also  $36^\circ$ .

Das nötige Luftgewicht (l) ergibt sich aus Gleichung 7:

$$l = \frac{100}{d_n - 0,00387} = \frac{100}{0,0284 - 0,00387} = 4076 \text{ Kilo.}$$

Der gesättigte Wasserdunst, welcher ursprünglich in 4076 kg Luft enthalten war, ist  $l \cdot d_a = 4076 \cdot 0,00387 = 15,774$  kg.

Das Volumen  $V_{1a}$  der 4076 kg Luft von  $t_a = 0^\circ$  ist nach Tabelle I, Spalte 8:

$$V_{1a} = \frac{4076}{1,2832} = 3176 \text{ cbm.}$$



Das Volumen  $V_{1h}$  der Luft nach Erhitzung auf  $100^\circ$  ergibt sich aus Gleichung 12, in welche einzusetzen ist:

$$t_h = 100^\circ \quad l = 4076 \quad l_{da} = 15,8$$

$$V_{1h} = \frac{273 + 100}{10\,336} (29,27 \cdot 4076 + 46,83 \cdot 15,8) = 4333,6 \text{ cbm.}$$

Beim Austritt aus dem Apparat, d. h. bei einer Temperatur von  $t_n = 36^\circ$  und bei  $\frac{3}{4}$  Sättigung ist das Volumen  $V_{1n}$  der 4076 kg Luft nach Tabelle III, Spalte 5 (Interpolation):

$$V_{1n} = \frac{4076}{1,094} = 3725,8 \text{ cbm.}$$

Endlich findet sich die für die Erhitzung der Luft nötige Wärme nach Gleichung 11:

$$C_g = (4076 \cdot 0,2375 + 15,8 \cdot 0,475) (100 - 0) = 97\,655 \text{ Kal.}$$

In dieser Weise sind die Tabellen IV, V, VI berechnet.

Ein Vergleich der Tabelle II mit IV, V, VI lehrt, daß der nötige Luft- und Wärme-Verbrauch mit abnehmendem Sättigungsgrade der abgehenden Luft zwar nicht proportional, sondern in geringerem Grade, aber doch sehr erheblich wächst; daß bei hoher Vorwärmung der Luft die Unterschiede am geringsten, bei niedriger Vorwärmung am größten werden und daß bei sehr warmer Außenluft und niedriger Maximaltemperatur eine Trockenwirkung überhaupt nicht eintritt, wie dies die Tabellen für  $35^\circ$  und  $50^\circ$  Maximaltemperatur bei  $30^\circ$  Außentemperatur andeuten.

Zu dem Zweck, um durch den Augenschein einen Überblick über die Veränderungen zu bekommen, welche die Luftmenge, die Austrittstemperatur und der Wärmeverbrauch erleiden, wenn die Außentemperatur und die höchste Lufterhitzungstemperatur sich ändern, ist nach Tabelle IV das Diagramm Tafel II gezeichnet worden.

Auf der Abszisse sind die Außentemperaturen von  $-20^\circ$  bis  $+30^\circ$  abgesteckt und auf den Ordinaten die Werte für die Volumina der Austrittsluft  $V_{1n}$ , der Austrittstemperatur  $t_n$  und des Wärmeverbrauchs  $C_g$  angegeben, und zwar für 5 Fälle, nämlich

wenn die höchste Luft-Temperatur  $t_h$   $35^{\circ} - 50^{\circ} - 70^{\circ} - 100^{\circ} - 135^{\circ}$  beträgt, alles geltend für eine Verdunstung von 100 kg Wasser.

Die Ordinatenzahlen geben die Austrittstemperaturen in  $^{\circ}$  Cels. unmittelbar, aber um die richtigen Werte der Austrittsluftvolumina  $V_{in}$  in Kubikmetern und den Wärmeverbrauch  $C_g$  in Kalorien zu erhalten, muß man die Ordinatenzahlen mit 1000 multiplizieren.

Des leichteren Überblicks wegen sind die Kurvenlinien verschieden ausgezogen (dick, dünn, gestrichelt, punktiert) und immer die zu derselben höchsten Lufttemperatur gehörigen in gleicher Weise ausgeführt.

### C. Wenn die atmosphärische Luft vor ihrem Eintritt in den Trockenapparat nicht mit Wasserdampf gesättigt ist. Tabelle VII.

Wenn die atmosphärische Luft vor ihrem Eintritt in den Trockenapparat nicht ganz mit Wasserdampf gesättigt ist, so bedeutet das nichts anderes, als daß 1 kg der atmosphärischen Luft nicht so viel Wasser enthält, als es bei seiner dermaligen Temperatur in maximo enthalten kann, sondern nur soviel, wie es bei einer niederen Temperatur in maximo enthalten könnte.

Z. B. 1 kg Luft von  $15^{\circ}$  kann im gesättigten Zustande 0,0108 kg Wasser enthalten; wenn 1 kg Luft aber in einem bestimmten Fall nur halb so viel enthält, nämlich = 0,0054 kg, so ist das so viel, wie gesättigte Luft von  $5^{\circ}$  höchstens enthalten kann.

Man kann aus der Tabelle I eine kleine Zusammenstellung ableiten, welche die Temperaturgrade angibt, bei denen Luft mit einem bestimmten effektiven Wassergehalt ganz gesättigt ist, und ferner die höheren Temperaturgrade, bei denen sie mit demselben effektiven Wassergehalt nur etwa  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$  gesättigt sein würde.

Wenn daher die zum Trocknen zur Verfügung stehende Luft bei ihrer derzeitigen Temperatur nicht ganz (etwa nur  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$ ) mit Wasserdampf gesättigt ist, so kann man mit Hilfe der Tabellen I und VII allemal leicht diejenige Temperatur finden, bei der diese Luft mit demselben effektiven Wassergehalt pro kg ganz gesättigt sein würde.

Zum Auftrocknen eines bestimmten Wassergewichts braucht man also entweder  $X$  kg atmosphärische Luft von der Temperatur  $T_a$ , welche  $y$  kg Wasser enthalten, womit diese Luft nicht gesättigt ist, oder aber ein anderes, kleineres Luftgewicht  $x$  von der niedrigeren Temperatur  $t_a$ , welches auch  $y$  kg Wasser enthält, womit es dann aber ganz gesättigt ist.

Da im zweiten Fall für dieselbe Leistung weniger Luft nötig ist, so verbraucht man auch weniger Wärme, und weil die  $x$  kg Luft schon von Anfang an die Temperatur  $T$  haben, so braucht man auch die Wärme weniger, welche nötig wäre, die  $x$  kg Luft von  $t_a$  auf  $T_a$  zu erhöhen.

Wir wollen nun betrachten, in welcher Art sich die Ergebnisse der zur Berechnung verwendeten Gleichungen 7, 9 und 13 ändern, wenn die Eintrittsluft nicht gesättigt ist.

In der Gleichung 9, mit deren Hilfe die Luftaustritts-Temperatur bestimmt werden soll, sei  $d_a$  (der Wassergehalt von 1 kg Luft beim Eintritt) kleiner, nämlich nur  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$  so groß wie bei voller Sättigung. Man kann sich aber denken, die Luft hätte nicht die Temperatur, die sie wirklich hat, sondern eine solche niedrigere Temperatur, daß sie mit diesem Wassergehalt  $d_a$  völlig gesättigt wäre, und diese niedrigere Temperatur erfährt man aus Tabelle VII.

**Beispiel 7.** Ist die Luft  $25^\circ$  warm, so könnte sie bei 760 mm Barometerstand in maximo in 1 kg  $d_a = 0,0202$  kg Wasser enthalten (Tabelle I, Spalte 11). Hat sie nun aber tatsächlich nur  $0,01010$  kg, so ist sie  $\frac{1}{2}$  gesättigt. Mit diesem Wassergehalt ( $d_a = 0,01010$  kg) wäre eine Luft von  $15^\circ$  ganz gesättigt.

Da für die Gleichung 9 die ursprüngliche Temperatur der Luft keine Bedingung ist, so erhält man aus ihr durch Einsetzung des Wertes  $d_a = 0,01010$  sowohl die Temperatur der abgehenden Luft  $t_n$ , als auch deren Wassergehalt  $d_n$  nun ganz richtig, gleichgültig, wie immer die Temperatur der Außenluft auch sei. Beide Größen sind etwas kleiner, als sie bei  $d_a = 0,0202$  wären.

Auch das Luftgewicht  $l$  finden wir aus der Gleichung 7 richtig durch Einsetzen von  $d_a = 0,01010$  und des aus Gleichung 9 gefundenen  $t_n$ , und zwar wieder kleiner, als es bei  $d_a = 0,0202$  sein würde.

Das Volumen des richtigen Luftgewichtes  $l$  als Außenluft  $V_{1a}$ , welches bei  $15^\circ$  gesättigt ist, ist etwas kleiner, als es

bei 25° halbgesättigt wäre; aber diese Differenz ist nicht sehr groß und sie kommt für die Trockenanlage nicht sehr in Betracht, da nicht die eintretende, sondern die abgehende Luft gefördert zu werden pflegt.

Das Volumen der erhitzten Luft und das der abgehenden Luft ( $V_{in}$  und  $V_{lu}$ ) wird bestimmt durch ihr Gewicht und ihre Temperatur. Beide Faktoren sind vollkommen gleich für beide Fälle, ob halbgesättigte Luft von 25° oder ganz gesättigte von 15° eingeführt wird, und daher sind es auch die Volumina.

Die zur Erwärmung der Luft nötige Wärmemenge  $C_g$  ergibt sich aus der Gleichung 13, in welcher die Außentemperatur  $t_a$  selbst auftritt. Wir haben gesehen, daß bei den Gleichungen 7 und 9 die Resultate (Austrittstemperatur, Gewichte, Volumina), welche für die bei einer gewissen Temperatur nicht gesättigte Luft gesucht werden, fast genau gleich sind denen, welche man in den Tabellen II, IV, V, VI für ganz gesättigte Luft geringerer Temperatur finden kann.

Bei dem Wärmeverbrauch verhält es sich anders.

Dieser ist um diejenige Wärme geringer, welche nötig ist, die Luft von der Sättigungstemperatur (im Beispiel 15°) auf ihre wirkliche Temperatur  $t_a$ , bei der sie nicht gesättigt ist (im Beispiel 25°) zu bringen. Der Wärmeverbrauch  $C_g$  ist also nur

$\frac{t_h - T_a}{t_h - t_a}$  von dem der Luft bei ihrer (niedrigeren) Sättigungstemperatur.

Will man nun also für die Bestimmung der Hauptdaten einer Trocken-Anlage der in den Tabellen II, IV, V, VI gemachten Annahme, daß die Außenluft vor ihrem Eintritt in den Heizraum ganz und gar mit Wasser gesättigt ist, nicht folgen, sondern will man einen anderen, geringeren Sättigungsgrad der Außenluft voraussetzen (den man dann wohl nie unter 50%, besser wenigstens 75% wählen wird), so kann man doch die Tabellen II, IV, V, VI benutzen, wenn man wie folgt verfährt.

Man sucht aus der Tabelle VII diejenige Temperatur, bei der die Luft ganz gesättigt sein würde, wenn sie bei  $t_a$  (ihrer wirklichen) nur  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$  gesättigt ist.

Hierauf findet man in den Tabellen II, IV, V, VI (je nachdem man annimmt, daß die abgehende Luft ganz [II],  $\frac{3}{4}$  [IV],  $\frac{1}{2}$  [V],  $\frac{1}{4}$  [VI] gesättigt sein wird) neben der aus Tabelle VII

gefundenen geringeren Sättigungstemperatur in Spalte 2 die richtigen Austrittstemperaturen, in Spalte 3 das richtige Luftgewicht  $l$ , in Spalte 5 das nur wenig zu kleine Außenvolumen  $V_{1a}$  und in den Spalten 6 und 7 die richtigen Volumina der Luft nach dem Erhitzen und beim Austritt  $V_{1h}$  und  $V_{1n}$ .

Luft, welche bei einer gewissen Temperatur ganz gesättigt ist, ist, wie aus Tabelle VII für die hier in Betracht kommenden Temperaturen ersichtlich ist, mit demselben Wassergehalt  $\frac{3}{4}$  gesättigt, wenn sie etwa  $5^{\circ}$  wärmer —  $\frac{1}{2}$  gesättigt, wenn sie etwa  $10^{\circ}$  wärmer — und  $\frac{1}{4}$  gesättigt, wenn sie etwa  $15^{\circ}$  wärmer ist. Man geht also nicht sehr fehl, wenn man die Verminderung des Wärmeverbrauchs bei  $\frac{3}{4}$  gesättigter Außenluft gleich der zur Erwärmung der Luft  $l$  um  $5^{\circ}$  (d. h. =  $5 \cdot l \cdot 0,2375$ ) — bei  $\frac{1}{2}$  gesättigter Luft um  $10^{\circ}$  (d. h. =  $10 \cdot l \cdot 0,2375$ ) — bei  $\frac{1}{4}$  gesättigter Luft um  $15^{\circ}$  (d. h. =  $15 \cdot l \cdot 0,2375$ ) nötigen Wärme annimmt. Durch den ungleichen Wassergehalt der Luft werden die Resultate zwar noch etwas verschoben, indes nicht mehr als um  $\frac{1}{2}$  —  $5\%$ , sodaß man diese Korrekturen in sehr vielen Fällen vernachlässigen kann.

Will man also annehmen, daß die Außenluft vor Eintritt in den Heizraum der Trockenapparate nicht ganz, wie es den Tabellen II, IV, V, VI zu Grunde gelegt ist, sondern nur  $\frac{3}{4}$  mit Wasserdunst gesättigt sei, so findet man in den Tabellen IV, V, VI, Spalte 9, die Temperatur der  $\frac{3}{4}$  gesättigten Außenluft und in Spalte 10 den wirklichen Wärmeverbrauch dabei angegeben.

**Beispiel 8.** Es sollen 100 kg Wasser aufgetrocknet werden mit Außenluft von  $30^{\circ}$ , welche nur  $\frac{3}{4}$  gesättigt ist, unter der Voraussetzung, daß die Austrittsluft ganz gesättigt sei. Die Maximal-Temperatur ist  $t_h = 50^{\circ}$ .

Nach Tabelle VII ist Luft, die bei  $30^{\circ}$  nur  $\frac{3}{4}$  gesättigt ist, mit demselben Wassergehalt bei  $25^{\circ}$  ganz gesättigt.

In der Tabelle II findet man dann unter der Maximaltemperatur  $t_h = 50^{\circ}$  neben  $t_a = 25^{\circ}$  Außentemperatur die gewünschten Daten für bei  $25^{\circ}$  ganz gesättigte Luft, welche unverändert auch für Luft gelten, welche bei  $30^{\circ}$  nur  $\frac{3}{4}$  gesättigt ist, nämlich: die Austrittstemperatur  $t_n = 30^{\circ}$ , das Luftgewicht =  $l = 13700$  kg, das Gewicht der Feuchtigkeit =  $l \cdot d_a = 276,74$  kg, das Volumen der Außenluft =  $V_{1a} = 11970$  cbm, das Volumen der erhitzten Luft =  $V_{1h} = 12845$  cbm, das Volumen der Austrittsluft  $V_{1n} = 12267$  cbm.

Den Wärmeverbrauch muß man berechnen. Er ist gleich dem in der Tabelle angegebenen = 84625 weniger:

$$1 (0,2275 + d_a 0,475) 5 = 5 (13700 \cdot 0,2375 + 276,7 \cdot 0,475) 5 = 16925 \text{ Kal.},$$

d. h. der gesamte Wärmeverbrauch ist = 84625 - 16925 = 67700 Kalorien.

**4. Berechnung des notwendigen Luftgewichtes  
und Volumens, sowie des geringsten Wärmeverbrauches für Trocken-  
apparate mit vorgewärmter und im Trockenapparat auf gleicher  
Temperatur erhaltener Luft. Tabellen VIII, IX, X.**

Wir haben bis jetzt angenommen, daß die zum Trocknen zu verwendende Luft, ehe sie in den Trockenraum gelangt, auf die zulässige Temperatur erwärmt wird, daß sie dann im Trockenraum einen Teil ihrer Wärme abgibt, um die Feuchtigkeit des Trockengutes zu verdunsten, und daß sie infolgedessen den Trockenraum kälter verläßt, als sie ihn betritt.

Die Folge davon ist, daß die abgehende Luft nur so viel Wasser mit fortnehmen kann, als ihrer geringeren Temperatur entspricht. Wenn man nun aber im Trockenraum der Luft noch gerade so viel Wärme zuführt, als sie zur Verdunstung des Wassers an das Trockengut abgibt, derart, daß sie den Trockenraum mit derselben Temperatur verlassen kann, mit der sie ihn betrat, so ist sie natürlich im stande, pro Kilo mehr Feuchtigkeit aufzunehmen, als vorher.

Um einen Überblick über die in solchem Fall eintretenden Erfordernisse zu gewinnen, sind mit Hilfe der Tabellen I und III die Tabellen VIII, IX, X hergestellt, in welcher angegeben wird, wie viel Luft und Wärme nötig ist, um 100 kg Wasser aufzutrocknen, wenn die Außenluft zunächst vor ihrem Eintritt in den Trockenraum auf die gewünschte höhere Temperatur erwärmt und dann im Trockenraum durch fernere Zuführung von Wärme auf dieser Temperatur erhalten wird.

Ein Beispiel mag zur Erläuterung durchgerechnet werden.

**Beispiel 9.** Es sollen 100 kg Wasser durch Luft, die den Trockenraum mit 50° betritt und verläßt, getrocknet werden, wenn die Außenluft bei 0° ganz und die Abgangsluft bei 50° nur zu  $\frac{3}{4}$  gesättigt ist.

1 kg Luft von 0° enthält gesättigt 0,00387 kg Wasser (Tab. I),  
1 - - - 50° -  $\frac{3}{4}$  - 0,0625 - - (Tab. III),

folglich kann 1 kg Luft unter diesen Umständen aufnehmen: 0,0625 — 0,00387 = 0,05863 kg Wasser.

Um 100 kg Wasser aufzunehmen, sind also erforderlich:

$$\frac{1}{0,05863} = 1705,6 \text{ kg Luft.}$$

Diese 1706 kg Luft enthalten bei 0° = 1706 · 0,00387 = 6,60 kg Wasser.

Das Volumen der 1706 kg trockener Luft bei 0° (gesättigt) ist =

$$\frac{1706}{1,2832} = 132,9 \text{ cbm (Tabelle I).}$$

Das Volumen der 1706 kg trockener Luft bei 50° ( $\frac{3}{4}$  gesättigt) ist =

$$\frac{1706}{0,994} = 1716,3 \text{ cbm (Tabelle III).}$$

Die erforderliche Wärmemenge setzt sich zusammen aus derjenigen für die Erwärmung  $C_1$  der Außenluft l mit ihrem Wassergehalt l.  $d_a$  von 0° auf 50°

$$(l \cdot \lambda + l \cdot d_a \cdot \rho) 50 = C_1$$

$$(1706 \cdot 0,2375 + 6,6 \cdot 0,475) 50 = 20415 \text{ Kal.}$$

und ferner der Verdunstungswärme  $C_2$  der Feuchtigkeit aus dem Trockengut.

$$w \cdot c = C_2$$

$$100 \cdot 621,75 = 62175 \text{ Kal.}$$

$$\text{zusammen } 20415 + 62175 = 82590 \text{ Kal.}$$

Hierzu muß noch die für die Erwärmung der trockenen Teile des Trockengutes nötige und die durch Ausstrahlung verloren gehende Wärme hinzugefügt werden.

Ein Vergleich der Tabellen IV, V, VI und VIII, IX, X zeigt, daß der Luft- und Wärmebedarf bei Kanaltrocknung (gegenüber der bloßen Vorwärmung der Luft vor ihrem Eintritt in den Trockenraum) erheblich geringer wird, wenn man die Luft auch im Kanal zweckmäßig erwärmt. — Die im Trockenraum anzuordnende Heizfläche muß zweckmäßig verteilt werden.

### 5. Einige Beziehungen von Luft- und Wasserdampf, die aus dem Vorhergehenden folgen. Tabellen XI, XII.

Für manche Betrachtung ist es ganz angenehm, leicht zu übersehen, wie groß die Luftmenge ist, die bei verschiedenen Sättigungsgraden und Temperaturen 1 kg Wasserdampf enthalten kann, und

daher ist die Tabelle XI beigegeben, deren Aufstellung mit Hilfe der Tabellen I und III geschah.

**Beispiel 10.** Bei  $0^{\circ}$  enthält 1 kg Luft ( $\frac{3}{4}$  gesättigt) 0,00288 kg Wasser (Tabelle III), folglich enthalten  $\frac{1}{0,00288} = 347$  kg Luft 1 kg Wasser. Das Gewicht der trockenen Luft in 1 cbm ist = 1,286 kg, folglich nehmen 347 kg Luft den Raum von  $\frac{347}{1,286} = 269$  cbm ein.

Ferner folgt hier noch eine Tabelle XII, die das Gewicht von 1 cbm Luft und Dampf bei verschiedenen Sättigungs- und Temperaturgraden angibt.

**Beispiel 11.** Bei  $0^{\circ}$  und  $\frac{3}{4}$  Sättigung wiegt die Luft in 1 cbm 1,286 kg und der Dampf in 1 cbm 0,00372 kg (Tabelle III). — Das Gesamtgewicht von 1 cbm Luft und Wasser ist also: 1,28972 kg.

#### 6. Trockenanlagen, bei denen im Innern des Trockenraums künstlich eine höhere oder niedrigere Spannung erzeugt wird, als sie in der Umgebung herrscht. Tabellen XIII, XIV, XV.

Die Frage, ob und welche Vorteile es haben kann, wenn der Druck im Trockenraum künstlich ermäßigt oder erhöht wird, soll nun sogleich erörtert werden.

Es ist nach dem Früheren klar, daß, wenn man den Druck im Trockenraum stark über den der Atmosphäre erhöht, dennoch 1 cbm Luft im Trockenraum bei gleicher Temperatur nicht mehr gesättigten Wasserdampf enthalten kann, als bei normalem Druck. Die höhere Spannung im Innern wird nicht durch größere Dichtigkeit des Dampfes, sondern nur durch größere Dichtigkeit der Luft bewirkt; ein gleiches Volumen Luft kann bei gleicher Temperatur bei jedem Druck nur ein gleiches Gewicht gesättigten Wasserdampfes enthalten; denn die Dichtigkeit des gesättigten Dampfes in der Luft hängt nur von der Temperatur und garnicht vom Gesamtdruck ab.

Erhöht man den Druck in einem Raum künstlich durch Zuführung von Luft auf ein beliebiges Maß, ohne die Temperatur zu ändern, so mischen sich Luft und Dampf allmählich, und der Raum enthält dann bei der erzeugten Spannung das ursprüngliche Dampfgewicht neben der eingepreßten Luft.



Würde man den Dampf aus dem Raum entfernen, so würde die Gesamtspannung um den Betrag der Dampfspannung sinken. Wollte man aber Dampf hineinpresse, so könnte dies nur bei Erhöhung der Temperatur geschehen oder der eingepreßte Dampf würde sich kondensieren. Man hat also bei Anwendung höheren Druckes im Trockenraum zur Verdunstung des gleichen Gewichtes Wasser ein größeres Gewicht Luft nötig; da aber dieses größere Luftgewicht vorher erwärmt werden muß, so folgt, daß diese Anlage mehr Wärme verschlingt als diejenige bei normalem Druck.

In der Tabelle I sind schon für die Berechnung solcher Anlagen bei einem Überdruck von  $\frac{1}{2}$  Atmosphären (1140 mm) die nötigen Daten in den Spalten 13, 14, 15 angegeben.

Spalte 13 gibt die Spannung in Millimetern Quecksilbersäule an, welche Luft allein ohne den Wasserdampf bei den Temperaturen  $-20^{\circ}$  bis  $+100^{\circ}$  und bei dem Gesamtdruck von 1140 mm hat.

Spalte 14 zeigt das Gewicht von 1 cbm Luft dabei.

Spalte 15 nennt das Gewicht an gesättigtem Dampf, welches 1 kg Luft dabei enthalten kann.

Zur Berechnung der für das Auftrocknen gewisser Wassermengen nötigen Luftgewichte und Austrittstemperaturen kann man sich der Formeln 7 und 9 bedienen, nur muß man für  $d_a$  die Werte der Spalte 15 aus Tabelle I einsetzen.

In der Tabelle XIII sind mit Hilfe dieser Formeln für einige Fälle die nötigen Luftgewichte, Volumina und Ausgangstemperaturen berechnet, und zwar für eine Verdampfung von 100 kg Wasser für die Außentemperaturen von  $-20^{\circ}$ ,  $\pm 0^{\circ}$ ,  $+30^{\circ}$  und für die Luft-Erhitzungstemperaturen von  $35^{\circ}$ ,  $50^{\circ}$ ,  $70^{\circ}$ ,  $100^{\circ}$ ,  $130^{\circ}$ .

Man ersieht aus dieser Tabelle XIII deutlich, wie viel mehr Luft und Wärme für eine bestimmte Trockenleistung gebraucht wird, wenn im Innern des Trockenraumes künstlich ein höherer Druck als der der Atmosphäre erzeugt wird, und daß also diese Einrichtung technisch unvorteilhaft ist.

Zu bemerken ist zu der Tabelle XIII noch, daß bei Anwendung von Druck im Innern des Apparates eine Grenze für die Wirksamkeit der Apparate durch gewisse äußere Temperaturen gegeben ist. Wenn nämlich die atmosphärische Luft warm und stark mit Wasserdampf gesättigt ist, so kann der Fall eintreten,

daß die im Innern stark zusammengedrückte Luft nun allein die Spannung bewirkt und für den Dampf kein Platz bleibt.

1 kg Luft von bestimmtem Volumen führt in den Apparat ein gewisses Volumen Feuchtigkeit. Im Innern soll dieses Luftgewicht noch ein ferneres bestimmtes Volumen Wasserdampf aufnehmen; da aber dieses kg Luft im Innern des Apparates nunmehr einen kleineren Raum einnimmt als vorher, so kann der Fall eintreten, daß dieser kleiner ist, als der, den die ursprüngliche Feuchtigkeit verlangte. Man erkennt dies in Tabelle XIII bei 35° Maximaltemperatur. Mit Wasser gesättigte Außenluft von 30° kann, auf 1½ Asmosphären absolut zusammengedrückt, nicht so viel Dampf aufnehmen, als sie durch Wärmeabgabe verdampfen kann. Bei 25° Außentemperatur ist für gesättigte Luft fast diese Grenze erreicht.

---

Anders liegt der Fall, wenn im Innern des Trockenraumes künstlich eine Luftverdünnung erzeugt wird, diese ist technisch vorteilhaft.

Ein Raum heißt luftverdünnt, wenn er ein geringeres Luftgewicht enthält als bei atmosphärischem Druck. Das Gewicht an gesättigtem Wasserdampf, welches dieser Raum bei einer bestimmten Temperatur enthalten kann, ist unabhängig von der Anwesenheit oder Abwesenheit der Luft und stets für dieselbe Temperatur das gleiche. Ein luftverdünnter Raum wird also stets pro Gewichtseinheit Luft mehr gesättigten Dampf enthalten als ein luftefüllter oder mit Luft überfüllter, d. h. unter erhöhtem Druck stehender Raum.

Hieraus folgt, daß im luftverdünnten Raum ein geringeres Luftgewicht genügt, um ein gleiches Quantum Wasser aufzunehmen, als unter anderen Umständen, daß aber dieses geringere Luftgewicht zur Verdampfung des gleichen Wassergewichts dieselbe Wärme abgeben muß, also den Trockenraum kälter verläßt, und daß endlich der Gesamt-Wärmeverbrauch bei dieser Methode geringer sein wird als in einem mit mehr Luft erfüllten Raum.

Die Tabelle I enthält schon in Spalten 16—21 die nötigen Unterlagen für die Berechnung der Fälle, in denen im Trockenraum ein Vakuum von 510 oder 260 mm herrscht, was gleich ist einem absoluten Druck von 250 mm und 500 mm. Sie stützt sich

auf die Formeln 7—9; nur wird für  $d_a$  der Wert aus den Spalten 18 oder 21 angenommen.

**Beispiel 12.** Es sollen 100 kg Wasser mit der Maximaltemperatur der Luft von  $t_h = 70^\circ$  bei einer Außentemperatur von  $t_a = 0^\circ$  und bei einem absoluten Druck von  $q = 500$  mm im Trockenraum verdampft werden. Es ist zu berechnen: die Austrittstemperatur  $t_n$ , das nötige Luftgewicht  $l$ , dessen Volumen vor Eintritt  $V_{1a}$ , nach Erhitzung  $V_{1h}$ , beim Austritt  $V_{1n}$  und der Wärmeverbrauch  $C_g$ .

In die Gleichung 9 wird eingesetzt:

$$t_h = 70 \quad d_a = 0,00387 \text{ (Tab. I Sp. 11)} \quad w = 100 \quad C_n = 62\,500,$$

so wird die rechte Seite:

$$\frac{62\,500}{100 (0,2375 + 0,00387 \cdot 0,475)} = 2616.$$

Die linke Seite der Gleichung 9 ergibt nach probeweisem Einsetzen verschiedener Werte aus Tabelle I, Spalte 18, für  $d_n = 0,0230$  (bei  $t_n = 20^\circ$ ):

$$\frac{70 - 20,1}{0,0230 - 0,00387} = 2612.$$

Die Austrittstemperatur ist also  $t_n = 20^\circ$ .

Das Luftgewicht ergibt sich aus Gleichung 7:

$$l = \frac{w}{d_n - d_a} = \frac{100}{0,0230 - 0,00387} = 5235 \text{ kg.}$$

Das Gewicht der ursprünglichen Feuchtigkeit ( $l \cdot d_a$ ) in dieser Luft ist:

$$l \cdot d_a = 5235 \cdot 0,00387 = 20,2 \text{ kg.}$$

Das Volumen der Außenluft  $V_{1a}$  ist:

$$V_{1a} = \frac{5235}{1,2832} = 4075 \text{ cbm.}$$

Das Volumen der auf  $70^\circ$  erhitzten Luft:

$$V_{1h} = \frac{273 + 70}{10\,336 \cdot \frac{500}{760}} (29,27 \cdot 5239 + 46,83 \cdot 20,2) = 7782 \text{ cbm.}$$

Das Volumen der Austrittsluft  $V_{1n}$  ist:

$$V_{1n} = \frac{5235}{0,765} = 6843 \text{ cbm.}$$

Endlich die zum Erhitzen der Luft nötige Wärme  $C_g$ :

$$C_g = (5235 \cdot 0,2375 + 20,2 \cdot 0,475) (70 - 0) = 87640 \text{ Kal.}$$

In den Tabellen XIV und XV sind die für die Außentemperaturen  $-20^{\circ}$ ,  $\pm 0$ ,  $+30^{\circ}$  und die Erhitzungstemperaturen  $t_a = 35^{\circ}$ ,  $50^{\circ}$ ,  $70^{\circ}$ ,  $100^{\circ}$ ,  $130^{\circ}$ , die zum Trocknen von 100 kg Wasser nötigen Luftgewichte, Volumina, Abgangstemperaturen und Kalorien zusammengestellt. Im Vergleich mit den Zahlen der Tabelle II erkennt man eine, zum Teil sogar auffällige Verminderung des Wärmebedürfnisses und der Luftgewichte.

Es wird auch auffallen, daß im Falle des verminderten Druckes im Innern des Trocken-Apparates bei wärmerer Außenluft die zur Verdampfung von 100 kg Wasser durch künstliche Erwärmung zu beschaffende Wärmemenge geringer als 62500 Kalorien ist, d. h. geringer als die zum Verdampfen von 100 kg Wasser theoretisch nötige Wärme.

Schon ein absoluter Druck von 500 mm (260 mm Vakuum) bewirkt diese Erscheinung (Tabelle XIV) bei der Maximaltemperatur von  $35^{\circ}$  und der Außentemperatur von  $30^{\circ}$ ; aber noch auffälliger ist sie bei dem inneren absoluten Druck von 250 mm (500 mm Vakuum) Tabelle XV, bei welchem in allen Fällen hohe Außentemperaturen erhebliche Wärmeökonomie ergeben.

Der Grund für diese Erscheinung ist leicht ersichtlich.

Denn die atmosphärische Luft, welche mit höherer Temperatur ( $30^{\circ}$ ) in den Apparat tritt und ihn mit viel geringerer Temperatur verläßt, gibt von ihrer natürlichen Wärme, welche ihr nicht künstlich zugeführt zu werden braucht, einen Teil ab, und dies ist ein Gewinn. In den Fällen, in denen die Umstände so günstig liegen, daß man eine erhebliche Menge Luft nur sehr wenig zu erwärmen braucht, um sie auf die zulässige Maximaltemperatur zu bringen, und in denen diese große Menge Luft den Apparat erheblich kälter verläßt als betritt, kommt die ganze Wärmemenge, welche die Luft bei ihrer Abkühlung von der Außentemperatur auf die Austrittstemperaturen abgibt, der Verdunstung kostenlos zu gute.

Vom theoretischen Standpunkt sind also die Trockenanlagen im luftverdünnten Raum durchaus vorteilhaft, allein der bei einigermaßen erheblichem Vakuum auf die Wände des Trockenraumes ausgeübte große atmosphärische Druck und die Porosität der für die Anlage zu verwendenden Materialien bilden praktische Schwierigkeiten.

Da die Tabellen XIV und XV für ganz gesättigt eintretende und ganz gesättigt austretende Luft berechnet sind, so muß man für ungünstigere Fälle entsprechende Zuschläge machen, über deren Höhe ein Vergleich der Zahlen der Tabellen II, IV, V und VI einen Anhalt gewährt.

### 7. Das Trocknen mit überhitztem Dampf ohne Luft.

#### Tabelle XVI.

Nun kann man noch einen Schritt weiter gehen und die Luft aus dem Trockenraum ganz eliminieren, sodaß die Trocknung dann mit Dampf allein stattfindet.

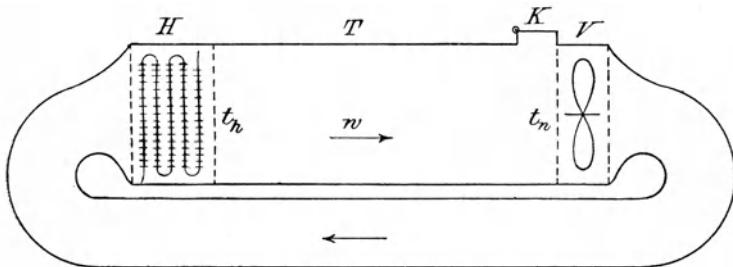


Fig. 2.

Wir denken uns, wie es in Figur 2 schematisch dargestellt ist, die Abluft aus dem Trockenraum (T) von einem Ventilator (V) oder einer anderen Förderungsrichtung für dampfförmige Stoffe abgesaugt und über heiße Flächen (H) wieder bei der Eintrittsstelle in den Trockenraum (T) zurückgedrückt, sodaß zunächst die Mischung von Luft und Dampf einen Kreislauf vollbringt, welcher vom Ventilator über die Erhitzungsvorrichtung in den Trockenraum, aus diesem wieder in den Ventilator etc. führt. Die ganze Anlage sei möglichst dicht und fest geschlossen und gegen Wärmeverluste, so gut es geht, geschützt.

Zwischen dem Ausgang aus dem Trockenraum und dem Eintritt in den Ventilator sei eine Klappe (K) nach außen angeordnet, die der Luft und den Dämpfen den Austritt ins Freie gestattet, sobald im Innern ein gewisser, vorher bestimmter Druck überschritten wird.

Setzt man den Ventilator bei geschlossenem Apparat in Be-

wegung, so wird der luft- und dampfförmige Inhalt den oben skizzierten Kreislauf vollführen und dadurch wärmer und wärmer werden; er nimmt dementsprechend mehr und mehr Feuchtigkeit auf, und so wächst die innere Spannung mehr und mehr, bis sie im stande ist, die Klappe nach außen zu öffnen und Luft und Dämpfe entweichen zu lassen.

Findet der Kreislauf von Luft und Dampf ununterbrochen statt, so bläst durch die Klappe ununterbrochen Luft und Dampf aus, bis zuletzt keine Luft mehr im Apparat enthalten ist. Nur noch Dampf kreist in demselben, und dieser tritt gleichmäßig durch die Klappe K ins Freie.

So hat man nun die Trockeneinrichtung ganz ohne Luft und mit Dampf allein im Gange.

Der Dampf, von dem Ventilator gedrückt, wird an den heißen Flächen überhitzt, tritt in den Trockenraum und sättigt sich mit dem Wasser aus den feuchten Stoffen. Seine Spannung steigt und ein Teil, nämlich der, welcher die aus den feuchten Stoffen aufgenommene Wassermenge darstellt, entweicht durch die Klappe.

Führt man ununterbrochen den getrockneten Stoff ab und führt dafür den zu trocknenden ein, so ist die Einrichtung kontinuierlich und enthält nur soviel Luft, als bei dem Eintritt frischer Ware unvermeidlich mit hineinkommt.

Der Wärmeverbrauch bei dieser Konstruktion würde, abgesehen von den Verlusten durch Undichtigkeit und Ausstrahlung theoretisch genau gleich dem zum Erwärmen der Ware auf die herrschende Temperatur plus dem zum Verdampfen des Wassers nötigen sein, also der kleinstmögliche. Diese Konstruktion ist also ökonomisch die beste (abgesehen von den auf Seite 36 besprochenen seltenen Fällen).

Am einfachsten und natürlichsten wäre es, die Klappe nur so wenig zu belasten, daß der im Innern herrschende Druck nur um ein Geringes höher als der der Atmosphäre ist, sodaß die Temperatur bei Wasserverdunstung nur sehr wenig über  $100^{\circ}$  beträgt. Es könnte aber erwünscht sein, aus irgend welchen Gründen diesen Druck anders zu wählen, nämlich höher oder niedriger, als der Atmosphärendruck ist.

Einen höheren Druck erzielt man ohne weiteres durch größere Belastung der Klappe, sodaß sie einem Sicherheitsventil gleicht, das sich bei der vorher bestimmten Spannung öffnet.

Für die konstruktive Ausführung ist der Druck auf die inneren Wände des Apparates zu berücksichtigen, sowie die höhere Temperatur, welcher das Trockengut ausgesetzt ist.

Will man die Temperatur bei dieser luftfreien Arbeit niedriger als  $100^{\circ}$  halten, so erschwert dies die Anlage erheblich; denn dann muß auch die Spannung im Trockenraum, entsprechend der Temperatur, niedriger sein. Die geringere Spannung aber erfordert besondere Einrichtungen.

Zunächst gehen nun Luft und Dämpfe nicht mehr freiwillig aus dem Trockenraum in die Atmosphäre; sie müssen vielmehr durch irgend eine Vorrichtung (Luftpumpe) abgesaugt werden und zwar kontinuierlich, da sich erfahrungsmäßig in Räumen mit niedriger Spannung stets etwas Luft findet, welche durch Undichtigkeit, durch den Luftgehalt der Stoffe etc. eintritt.

Da aber alle Maschinen zur Erzeugung starker Luftverdunstungen die warmen Dämpfe ihres großen Volumens wegen nicht gut mitsaugen, so ist es notwendig, diese Dämpfe zu kondensieren, sei es durch direkte Einspritzung von Wasser, sei es durch Oberflächenkühlung. Hierdurch wird die Arbeit der Trocknung verteuert.

Hat man aber alle diese Vorrichtungen geschaffen, so kann man bei jedem niedrigen Druck im Trockenraum die Feuchtigkeit durch überhitzte Dämpfe verdampfen.

Etwas schwieriger wird es sein, die dünnen Dämpfe mit dem Ventilator in ihrem Kreislauf zu bewegen, da sie große Volumina darstellen; aber die Möglichkeit dieser ganzen Arbeitsweise liegt auf der Hand.

Es ist bekannt, daß die Anwesenheit von Luft im Dampf ein großes Hindernis für die Übertragung der Wärme desselben ist, sei es zur Erwärmung, sei es zur Abkühlung oder Kondensation. Das Bestreben der Techniker geht stets darauf, den Dampf, mit welchem gekocht, geheizt werden soll oder den man kondensieren will, so luftfrei wie möglich zu halten, weil nur in diesem Falle 1 qm Berührungsfläche den größten Wärmedurchgang gestattet. Dies ist ein fernerer Grund, aus dem die Trockenvorrichtungen, in denen die Luft auf das möglichste ausgetrieben ist, vorteilhaft sind, weil man die Heizfläche zur Erwärmung des Dampfes und die Kühlfläche zu seiner eventuellen Kühlung dann am kleinsten wählen kann.

Um eine Vorstellung von dem im Beharrungszustande für  $w = 100$  kg Verdampfung bei verschiedenem Druck im Trockenraum nötigen Dampfgewicht und Volumen zu haben, sollen einige wesentliche Fälle sogleich berechnet werden. Wie schon angegeben, ist der Wärmearaufwand, abgesehen von Verlusten, stets gleich dem zur Verdampfung theoretisch nötigen, d. h. (wenn die zu trocknenden Stoffe mit  $15^\circ$  in den Apparat treten):

$$C_g = (640 - 15) w = 62\,500 \text{ Kal.} \quad . . . . (17)$$

Das Gewicht an überhitztem Dampf  $D$ , welches zum Auftrocknen von  $w$  kg Wasser nötig ist, ergibt sich aus der Überlegung, daß die zum Verdampfen von  $w$  kg Wasser nötige Wärme gleich sein muß der Wärme, welche der Dampf abgeben kann, wenn er von seiner Überhitzungstemperatur auf die im Apparat herrschende übergeht, und hieraus folgt die Gleichung 18:

$$C_g = w (640 - 15) = D \delta (t_h - t_n), \quad . . . (18)$$

in welcher

$D$  = das Gewicht des überhitzten Dampfes in kg,

$\delta$  = die spezifische Wärme des Dampfes bei konstantem Druck  
= 0,475,

$t_h$  = die Maximaltemperatur,

$t_n$  = die im Trockenraum herrschende Temperatur

bedeutet.

**Beispiel 13.** Es sind  $w = 100$  kg Wasser zu verdampfen — die Maximaltemperatur sei  $t_h = 110^\circ$ , die Verdampfungstemperatur im Apparat  $t_n = 100^\circ$ , so ist nach Gleichung 18:

$$D \cdot 0,475 (110 - 100) = 100 (640 - 15) = 62\,500 \text{ Kal.},$$

folglich:

$$D = 13\,157 \text{ kg.}$$

Das Dampfgewicht  $D$  muß also über die zu trocknenden Stoffe geführt werden, um die verlangte Verdampfung zu bewirken.

Die Volumina  $V_{dn}$  und  $V_{dh}$  dieses Dampfes vor und nach der Erhitzung ergeben sich mit Hilfe der allgemeinen Gleichung 12:

$$\frac{V}{273 + t} = R \quad V = \frac{R \cdot (273 + t)}{p},$$



worin  $t$  = die Temperaturen,  $R$  = die Konstante = 46,83 (nach G. Schmidt) für überhitzten Wasserdampf,  $V$  = das Volumen von 1 kg Dampf,  $p$  = den Druck des Dampfes in kg per qm bedeutet:

$p$  ist für atmosphärischen Druck = 10 336, für jeden anderen Druck  $q$  in mm Quecksilbersäule nach Gleichung 4

$$p_1 = \frac{10\,336 \cdot q}{760}.$$

Das Volumen des überhitzten Dampfes ist:

$$V_{dh} = \frac{D \cdot 46,83 (273 + t_h)}{10\,336 \cdot q} \dots \dots \dots (19)$$

Das Volumen des Dampfes vor der Überhitzung ist:

$$V_{dn} = \frac{D \cdot 46,83 (273 + t_n)}{10\,336 \cdot q} \dots \dots \dots (20)$$

**Beispiel 14.** Für den oben genannten Fall ist:

$$p = 10\,336 \qquad t_h = 110 \qquad t_n = 100,$$

$$V_{dh} = \frac{D \cdot 46,83 (273 + 110)}{10\,336} = 1,735 \cdot 13\,157 = 22\,827 \text{ cbm},$$

$$V_{dn} = \frac{D \cdot 46,83 (273 + 100)}{10\,336} = 1,689 \cdot 13\,157 = 22\,422 \text{ cbm}.$$

In der Tabelle XVI sind nun die zum Auftrocknen von 100 kg Wasser nötigen Dampfgewichte  $D$  und deren Volumina  $V_{dh}$  und  $V_{dn}$  für einige Fälle zusammengestellt, und zwar für die Arbeit bei atmosphärischem Druck (1 Atmosphäre), bei geringerem (148 — 288 — 525 mm Quecksilbersäule) und bei höherem Druck (1,4 — 2 — 2,75 — 3,5 Atmosphären absolut). Man erkennt aus Tabelle XVI, daß die Volumina des zu bewegenden Dampfes bei sehr geringem Druck sehr groß sind, daß dies aber bei atmosphärischem und hohem Druck keineswegs der Fall ist, sodaß sie dieser Trockenmethode nicht hinderlich sind.

**8. Das Trocknen mit direkten Feuergasen. Tabelle XVII. \*)**

Manche Stoffe leiden nicht, wenn man die heißen Abgase einer Feuerung direkt über sie leitet, um sie zu trocknen. Im nachstehenden sind die wesentlichsten theoretischen Betrachtungen, die solche Anlagen erfordern, angestellt und in Tabelle XVII geordnet.

Die Leistungsfähigkeit der verschiedenen Brennstoffe ist in Hinsicht auf ihre Trockenfähigkeit recht verschieden, aber da wir hier nicht alle Brennstoffe behandeln können, so sind die neun in der Tabelle XVII aufgeführten ausgewählt, weil diese die meistverwendeten sind.

Die chemische Zusammensetzung auch der gleichen Brennstoffe ist nicht immer und an allen Orten die gleiche, und daher sind die in der Tabelle XVII angegebenen mittleren Werte ihres Gehaltes an Kohlenstoff, Wasserstoff, Wasser und Asche der Rechnung zu Grunde gelegt.

Luftbedarf. Für jeden Brennstoff wird zu seiner vollkommenen Verbrennung theoretisch ein bestimmtes Sauerstoffgewicht, also ein bestimmtes Luftgewicht, erfordert, aber in Wirklichkeit muß man ihm, um vollkommene Verbrennung zu erzielen, nach E. Pécelet etwa das doppelte Gewicht davon zuführen. Dieses doppelte theoretische Luftgewicht für 1 kg Brennstoff ist in Tabelle XVII Zeile 5 angegeben, und darunter steht das Volumen dieser Luftmenge bei 0° und 760 mm Barometer.

Normale Luft besteht, abgesehen von gewissen schwankenden Beimischungen, aus 23,58 Gewichtsprozent Sauerstoff (O) und 76,42% Stickstoff (N). Es finden sich in den Zeilen 7 und 8 die Gewichte dieser Gase, die für 1 kg Brennstoff wirklich zugeführt werden müssen, notiert. Die atmosphärische Luft enthält immer Wasserdunst ( $H_2O$ ), und wenn angenommen wird, daß sie bis zu  $\frac{3}{4}$  damit gesättigt sei, so zeigt die Zeile 9 auch das Wasserdunstgewicht, welches die Luft auf 1 kg Brennstoff zuführt. Bei der vollkommenen Verbrennung entsteht kein Kohlenoxydgas, sondern nur Kohlensäure ( $CO_2$ ). Ein Teil des Sauerstoffes der zugeführten Luft geht zum Kohlenstoff und bildet Kohlensäure.

---

\*) Nach einem Artikel des Verfassers im Gesundheits-Ingenieur. No. 22. 1901.

Zu 12 Gewichtsteilen Kohlenstoff gehen  $2 \times 16$  Teile Sauerstoff und geben 44 Teile Kohlensäure. Ein zweiter Teil des Luftsauerstoffes geht zum Wasserstoff und bildet Wasser. Zu je 2 Gewichtsteilen Wasserstoff gehen 16 Gewichtsteile Sauerstoff und bilden 18 Gewichtsteile Wasser. Der Rest des Sauerstoffs bleibt ungebunden und ebenso der gesamte Stickstoff.

**Beispiel 15.** 1 kg Backkohle enthält 0,766 kg Kohlenstoff und 0,041 kg Wasserstoff.

Zum Kohlenstoff treten:

$$\frac{32}{12} 0,766 = 2,043 \text{ kg Sauerstoff}$$

und bilden:

$$0,766 + 2,043 = 2,809 \text{ kg Kohlensäure.}$$

Zum Wasserstoff treten:

$$\frac{16}{2} 0,041 = 0,328 \text{ kg Sauerstoff}$$

und bilden:

$$0,041 + 0,328 = 0,369 \text{ kg Wasser.}$$

Die 20,2 kg zugeführte Luft enthalten 4,76 kg Sauerstoff und 15,44 kg Stickstoff, und daher bleiben  $4,76 - (2,043 + 0,328) = 2,389$  kg Sauerstoff und 15 kg Stickstoff ungebunden.

Das von der Luft zugeführte Wasser + dem im Brennstoff enthaltenen + dem neugebildeten gibt:

$$0,1616 + 0,163 + 0,369 = 0,693 \text{ kg Wasser.}$$

Aus 1 kg Backkohle und 20,2 kg Luft nebst 0,163 kg Wasser entstehen also:

Zeile 12	2,809 Kohlensäure (CO <sub>2</sub> )
- 16	2,389 Sauerstoff (O)
- 17	15,440 Stickstoff (N)
- 18	<u>0,693 Wasser (H<sub>2</sub>O)</u>
Zeile 20	21,331 kg Gas und Dampf.

**Wärme.** Wenn 1 kg Kohlenstoff (C) zu Kohlensäure (CO<sub>2</sub>) verbrennt, so werden 8080 WE. frei. Wenn 1 kg Wasserstoff (H) zu Wasser (H<sub>2</sub>O) verbrennt, so werden (wenn die Verbrennungsprodukte gasförmig bleiben) 28780 WE. frei. Hieraus ergibt sich die durch Verbrennung von 1 kg Brennmaterial entwickelte Wärmemenge (Zeile 23).

**Beispiel 16.** Bei der Verbrennung von 1 kg Backkohle, die 0,766 kg C und 0,041 kg H enthält, werden

$$\begin{aligned} 0,766 \cdot 8080 &= 6189,28 \\ 0,041 \cdot 28\,780 &= \underline{1179,98} \\ \text{zusammen} & 7369,26 \text{ WE. frei.} \end{aligned}$$

Die Temperatur (Zeile 24) der Verbrennungsprodukte wird durch folgende Überlegung gefunden:

Die bei der Verbrennung von 1 kg Kohlenstoff (C) zu Kohlen- säure ( $\text{CO}_2$ ) frei werdenden 8080 WE. und die bei der Verbren- nung von 1 kg Wasserstoff (H) zu Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) frei werdenden 28 780 WE. müssen sich auf die gesamten Verbrennungsprodukte verteilen.

Zunächst muß alles im Brennstoff enthaltene Wasser in Wasserdampf verwandelt werden (das von der Luft zugeführte ist schon dampfförmig), und wird angenommen, daß alle Stoffe ur- sprünglich die Temperatur  $0^\circ$  hätten, so sind dazu für 1 kg Wasser 606 WE. erforderlich. Diese Verdampfungswärme muß von der ganzen erzeugten Wärmemenge abgezogen werden, und der Rest dient dann dazu, die entstandenen Gase und Dämpfe sowie die Asche auf die Temperatur  $t$  zu erhöhen.

Die spez. Wärme der Kohlensäure ist  $\sigma_c = 0,2396$ , des Wasserdampfes  $\sigma_w = 0,475$ , des Sauerstoffes  $\sigma_o = 0,2175$ , des Stickstoffes  $\sigma_n = 0,2438$ , der Asche  $\sigma_a = 0,2$ .

Für die Bestimmung der Temperatur der Abgase entsteht also die Gleichung:

$$t_h = \frac{C \cdot 8080 + H \cdot 28\,780 - 606 w_b}{\text{CO}_2 \cdot \sigma_c + W \cdot \sigma_w + O \cdot \sigma_o + N \cdot \sigma_n + A \cdot \sigma_a} \quad (21)$$

**Beispiel 17.** Die Temperatur der Verbrennungsprodukte von Back- kohle der angegebenen Zusammensetzung ergibt sich, wenn die doppelte der theoretisch erforderlichen Luftmenge zugeführt wird:

$$\begin{aligned} t_h &= \frac{0,766 \cdot 8080 + 0,041 \cdot 28\,780 - 0,163 \cdot 606}{2,809 \cdot 0,2396 + 0,693 \cdot 0,475 + 2,379 + 0,2175 + 15,4 \cdot 0,2438 + 0,03 \cdot 0,2} \\ &= 1380^\circ \text{C.} \end{aligned}$$

Die mittlere spezifische Wärme des heißen Gasgemisches wird gefunden, wenn man das Gewicht jedes einzelnen Gasanteils mit seiner spez. Wärme multipliziert, die gewonnenen Produkte addiert und durch das Gesamtgewicht dividiert.

**Beispiel 18.** Für Backkohle

$$\sigma_g = \frac{\text{CO}_2 \cdot \sigma_c + W \cdot \sigma_w + O \cdot \sigma_o + N \cdot \sigma_n}{\text{CO}_2 + W + O + N} \dots (22)$$

$$\frac{2,809 \cdot 0,2396 + 0,693 \cdot 0,475 + 2,379 \cdot 0,2175 + 15,44 \cdot 0,2438}{2,809 + 0,693 + 2,379 + 15,44}$$

$$= \sigma_g = 0,2479.$$

Aus dem bekannten Gewichte der Verbrennungsprodukte und aus deren nun bekannter spez. Wärme ergibt sich als Produkt die Anzahl von Wärmeeinheiten (c), welche notwendig ist, um die Verbrennungsprodukte von 1 kg Brennstoff (unter der Annahme der doppelten theoretischen Luftzuführung) um 1°C. zu erhöhen oder zu erniedrigen (Zeile 26).

**Beispiel 19.** 1 kg Backkohle ergibt 21,33 kg Gase, deren spez. Wärme = 0,2479 ist; um dieses Gemenge um 1° zu erhöhen, sind  $c = 21,33 \cdot 0,2479 = 5,288$  WE. erforderlich.

Die spezifischen Gewichte (Zeile 27) der einzelnen Abgase bezogen auf Luft = 1 sind:

Kohlensäure	$s_c = 1,5291$
Wasserdampf	$s_w = 0,6233$
Sauerstoff	$s_o = 1,1056$
Stickstoff	$s_n = 0,9714$

und aus diesen bestimmt sich das spez. Gewicht des ganzen Gasgemenges:

$$s_g = \frac{\text{CO}_2 \cdot s_c + W \cdot s_w + O \cdot s_o + N \cdot s_n}{\text{CO}_2 + W + O + N} \dots (23)$$

**Beispiel 20.** Für Backkohle

$$s_g = \frac{2,809 \cdot 1,5291 + 0,693 \cdot 0,6233 + 2,379 \cdot 1,1056 + 15,44 \cdot 0,9814}{2,809 + 0,693 + 2,379 + 15,44} = 1,044.$$

Das Volumen  $V_g$  der Verbrennungsgase (Zeile 29) aus 1 kg Brennstoff, deren Gewicht = G ist, ergibt sich bei ihren oben berechneten Temperaturen aus der Gleichung:

$$V_g = \frac{G(1 + \alpha t)}{1,2932 \cdot s_g} \dots (24)$$

**Beispiel 21.** Für Backkohle

$$\frac{21,33(1 + 0,003665 \cdot 1380)}{1,2932 \cdot 1,044} = 95,66 \text{ cbm.}$$

Mit Hilfe der bis dahin gewonnenen Angaben kann man nun ohne große Mühe ausrechnen, wieviel Wasser durch die Abgase von 1 kg Brennstoff verdunstet werden kann. Man muß dabei aber zwei Fälle unterscheiden, nämlich den, wenn die Gase und Dämpfe den Trockenraum mit einer Temperatur von  $100^{\circ}$  und mehr verlassen, von dem, wenn sie unter  $100^{\circ}$  abströmen.

Es ist ja ohne weiteres deutlich, daß der Dampf aus der verdunsteten Flüssigkeit, der in und mit den Abgasen fortgeht, sobald seine Temperatur  $100^{\circ}$  und mehr beträgt, sich im Zustande der Überhitzung befinden muß, denn während seine Spannung stets unter 1 Atm. absolut bleibt, wird er auf Temperaturen gebracht, bei denen gesättigter Dampf schon Spannungen von vielen Atmosphären haben müßte.

Im diesem ersten Falle also verhalten sich die Wasserdämpfe wie sogenannte permanente Gase.

Im zweiten Falle, wenn die Gase den Trockenraum mit Temperaturen unter  $100^{\circ}$  verlassen, kann es sich aber leicht ereignen, daß die mit ihnen fortgehenden Wasserdämpfe sich im Zustande der Sättigung befinden, denn die Spannung gesättigter Dämpfe unter  $100^{\circ}$  ist immer geringer als 1 Atm. absolut, und daher bleibt in dem Raum, den sie einnehmen, auch noch Raum für andere Gase, im vorliegenden Fall für die Rauchgase.

Im ersten Fall, wenn die Temperatur der Abgase höher als  $100^{\circ}$  sein soll, kann man diese Temperatur ziemlich beliebig festsetzen, und von ihr hängt dann das Gewicht des verdunsteten Wassers ab, denn die Wärme, welche das Gasgemisch verliert, indem es sich von seiner ursprünglichen auf die beabsichtigte Abgangstemperatur erniedrigt, muß nur ausreichen, das fragliche Wassergewicht  $W$  zu verdunsten. Eine andere Bedingung ist hier nicht zu erfüllen. Es ist nur die folgende Gleichung auszurechnen:

$$G \cdot \sigma_g \cdot (t_h - t_n) = w \cdot C_g \dots \dots (25)$$

Man muß für diese Rechnung aber die Wärmemenge  $C_g$  kennen, welche erforderlich ist, um aus 1 kg Wasser überhitzten Dampf zu erzeugen.

Nach Zeuner (Grundzüge der mechan. Wärmetheorie) ist die Gesamtwärme  $C_g$ , die 1 kg Wasser braucht, um bei der absoluten Temperatur  $T$  und atmosphärischer Spannung überhitzt zu sein:

$$C_g = J_o + c_p \left( T - \frac{C}{B} p^{\frac{k-1}{k}} \right) . . . . . (26)$$

worin

$$J_o = 476,11 \quad C = 192,5 \quad B = 50,933$$

$$c_p = 0,4805 \quad \frac{k-1}{k} = 0,25 \quad p = 10\,000 = 1 \text{ Atm.}$$

$$C_g = 476,11 + 0,4805 \left( T - \frac{192,5}{50,933} \cdot 10\,000^{0,25} \right)$$

$$C_g = 476,11 + 0,4805 (T - 37,8) . . . . . (27)$$

Hiernach ist der Gesamtwärmegehalt von 1 kg überhitztem Wasserdampf bei 1 Atm. abs. Druck bei den Temperaturen

$t_n = 100^0$	$150^0$	$200^0$	$250^0$	$300^0$
$C_g = 637,07$	$661,1$	$685,12$	$716,36$	$733,17 \text{ WE.}$

Setzt man in die Gleichung 25:

$$w = \frac{G \cdot \sigma_g (t_h - t_n)}{C_g}$$

nun für die verschiedenen Brennmaterialien und die verschiedenen beabsichtigten Abgangstemperaturen die konkreten Zahlen, so ergeben sich die in der Tabelle XVII (Zeilen 30—34) angeführten Gewichte des verdunsteten Wassers w.

**Beispiel 22.** Für Backkohle, wenn die Abgangstemperatur  $t_n = 100^0$  betragen soll, folgt:

$$w = \frac{21,33 \cdot 0,2479 (1380 - 100)}{637,07} = 10,6 \text{ kg Wasser.}$$

Im zweiten Falle. Sollen die Gase den Trockenraum mit Temperaturen von weniger als  $100^0$  verlassen, so kann im günstigsten Fall der von den Gasen aufgenommene Wasserdampf gesättigt sein. Dann sind zur Bestimmung seines Gewichtes die auf Seite 14 angegebenen zwei Bedingungen zu erfüllen, und daher ist dann auch die dort beschriebene Methode für die Berechnung des Wassergewichtes anzuwenden, d. h. es muß erst die Abgangstemperatur gesucht und mit Hilfe dieser dann das Gewicht der mitgehenden Wasserdämpfe bestimmt werden. Die Gleichung 9:

$$\frac{t_h - t_n}{d_n - d_a} = \frac{C_n}{w (0,2375 \cdot d_a \cdot 0,475)}$$

gilt auch hier, nur mit dem Unterschiede, daß an Stelle der dort verwendeten spez. Wärme der Luft ( $\lambda = 0,2375$ ) hier die spez. Wärme der Abgase  $\sigma_g$ , die für jeden Fall eine andere ist, in Betracht kommt.

Da nun also (wenn die Bedingung gestellt wird, daß die Abgase mit Wasserdampf gesättigt sein sollen) die Abgangstemperatur nicht a priori bekannt ist, sondern erst gefunden werden muß, so ist auch die für die Verdunstung des Wassers verfügbare Wärme  $C_n$  (die von der Abgangstemperatur abhängt) nicht bekannt; man muß daher, um  $C_n$  zu finden, einen Ausdrück suchen, in dem die Abgangstemperatur  $t_n$  nicht vorkommt.

Dies geschieht in Gleichung 10:

$$C_n = w(640 - t_n).$$

Setzen wir diesen Wert in die Gleichung 9, so folgt:

$$\frac{t_h - t_n}{d_n - d_a} = \frac{w(640 - t_n)}{w(0,2375 + d_a \cdot 0,475)}.$$

Nehmen wir, wie es bei dieser ganzen Betrachtung geschehen, die ursprüngliche Temperatur des zu verdunstenden Wassers  $t_a = 0^\circ$  an, so entsteht:

$$\frac{t_h - t_n}{d_n - d_a} = \frac{640}{0,2375 + d_a \cdot 0,475} \quad \dots \quad (28)$$

und aus dieser Gleichung kann mit einigem Probieren die Abgangstemperatur  $t_n$  gefunden werden.

Nun ist aber (und dies bedingt hier eine kleine Änderung der a. a. O. angeführten Zahlen) das spez. Gewicht  $s_g$  der Abgase, wenn man das in ihnen enthaltene Wasser fortdenkt, nicht = 1 (wie bei der Luft), sondern im Durchschnitt = 1,05 (abweichend davon bei Holz = 0,98, bei Koks = 1,075, bei Holzkohle = 1,062), daher kann 1 kg der Abgase nicht ebensoviel Wasser enthalten wie die atm. Luft, sondern im Mittel nur

$$\frac{1}{1,05} = 0,9524 \text{ davon.}$$

Unter Berücksichtigung dessen finden wir mit Hilfe der Tabelle I, daß bei den hier in Betracht kommenden Temperaturen

bei 79 — 80 — 81 — 82 — 83° C.

$$d_n = 0,485 - 0,524 - 0,571 - 0,619 - 0,676 \text{ kg}$$

Wasser aufnehmen kann.



Nach den Angaben der Tabelle XVII enthalten die Abgase von 1 kg Brennstoff die in der Zeile 18 angegebenen Gewichte an Wasserdunst; demnach führt 1 kg trockenes Gas das in Zeile 35 angegebene Wassergewicht schon in den Trockenraum, und es ist zu bestimmen, wieviel Wasser dieses Kilo Gas nun noch aus dem Trockengut annehmen kann, um gesättigt zu sein.

Diese Bestimmung geschieht mit Hilfe der eben genannten Zahlen und unter Benutzung der Gleichung 28, indem zuerst durch einiges Probieren die Temperatur  $t_n$  der aus dem Trockenraum abziehenden Gase berechnet wird (Zeile 36)

**Beispiel 23.** Für Backkohle

$$\frac{1380 - t_n}{d_n - 0,0336} = \frac{640}{0,2470 + 0,0336 \cdot 0,475} = 2,427$$

für  $t_n = 81^\circ$  ist  $d_n = 0,5715$ , und damit erscheint 2,412.

Die Abgangstemperatur  $t_n$  ist also etwa  $81^\circ \text{C}$ .

Mit Hilfe der so gefundenen Abgangstemperatur und unter Benutzung der Tabelle I und der Gleichung 6:  $G(d_n - d_a) = w$  berechnet sich dann leicht das von den Abgasen bis zu ihrer vollen Sättigung aufgenommene Wassergewicht (Zeile 37).

**Beispiel 24.** Für Backkohle

$$w = 20,628 (0,5715 - 0,0336) = 11,0958 \text{ kg.}$$

Nun bleibt nur noch übrig, das Volumen des den Trockenraum verlassenden Gas- und Dampfgemisches zu bestimmen.

Dieses Gas- und Dampfgemisch setzt sich zusammen aus den ursprünglich hochtemperierten Feuergasen, deren spez. Gewichte (mit deren Hilfe auch die Volumina dieser Gase bei ihren Entstehungstemperaturen berechnet wurden) oben Zeile 27 angegeben sind, und aus dem von diesen Gasen aufgenommenen Wasserdampf.

Das Volumen der Feuergase  $V_g$  bei den Abgangstemperaturen  $t_n$  aus dem Trockenraum ergibt die Gleichung:

$$V_g = \frac{G(1 + \alpha t_n)}{1,2932 \cdot s_g}$$

Das Volumen des von ihnen aufgenommenen und überhitzten Dampfes lehrt die Zeunersche Formel:

$$p V_d = 50,9 T - 192,5 \sqrt[4]{p}, \quad . . . . . (29)$$

nach welcher 1 kg überhitzten Dampfes bei dem Druck von 1 Atm. abs. ( $p = 10000$ ) und den Temperaturen von

$$t_n = \begin{matrix} 81 & 100 & 150 & 200 & 250 & 300^\circ \text{C.} \\ 1,609 & 1,706 & 1,9605 & 2,215 & 2,469 & 2,724 \text{ cbm} \end{matrix}$$

Raum einnimmt.

Hiernach sind die in den Zeilen 38—54 angegebenen Volumina der den Trockenraum verlassenden Gase und Dämpfe gefunden.

**Beispiel 25.** 1 kg Backkohle gibt 21,32 kg trockene Abgase mit einem spez. Gewicht  $s_g = 1,044$ , deren Volumen bei  $300^\circ$  ist:

$$V_g = \frac{21,32 (1 + 0,003665 \cdot 300)}{1,2932 \cdot 1,044} = 33,15 \text{ cbm.}$$

Dieses Gas nimmt bei  $300^\circ$  auf: 7,71 kg Wasser, dessen Volumen als überhitzter Dampf

$$V_d = 7,71 \cdot 2,724 = 20,99 \text{ cbm beträgt.}$$

Das Gesamtvolumen der aus dem Trockenraum strömenden Dämpfe und Gase ist also für 1 kg dieser Backkohle

$$V_n = V_g + V_d = 33,15 + 20,99 = 54,14 \text{ cbm.}$$

Im Falle die Abgangstemperatur nur  $81^\circ$  beträgt, haben wir die Abgase als mit Wasserdampf gesättigt angenommen. Das Volumen von 1 kg gesättigten Wasserdampfes bei  $81^\circ$  ist = 3,25 cbm, und in diesem Volumen müssen dann auch die Abgase enthalten sein.

**Beispiel 26.** 1 kg Backkohle enthält und nimmt auf  $0,693 + 11,096 = 11,789$  kg Wasser, die bei  $81^\circ = 11,798 \cdot 3,25 = 38,85$  cbm Dampf ergeben.

Da die Abgase nie vollkommen mit Wasserdampf gesättigt sein werden, so wird auch die in den Zeilen 30—34 und 37 angegebene Trockenleistung von 1 kg Brennstoff nie ganz erreicht werden.

Je niedriger die Abgangstemperatur der Gase und Dämpfe, desto größer ist die Trockenleistung von 1 kg Brennstoff.

Wenn der Feuerung mehr Luft zugeführt wird, als für den vollkommenen Verbrauch nötig, so sinkt die Trockenleistung für 1 kg Brennstoff.

### 9. Heizfläche, Geschwindigkeit des Luftstromes, Größe des Trockenraumes, Oberfläche des Trockengutes, Wärmeverlust.

#### Tabelle XVIII und XIX.

In diesem Abschnitt sollen noch einige nicht unwesentliche Details von Trockenapparaten besprochen werden.

Die Größe der Heizkörper  $H$  in Quadratmetern für die Erwärmung der Luft wird bedingt durch die mittlere Temperaturdifferenz  $\vartheta_m$  zwischen Luft und Heizfläche und durch den Transmissionskoeffizienten  $k$ . Dieser hängt von der Geschwindigkeit  $c$  in Metern pro Sekunde ab, mit der die Luft über die Heizfläche strömt, und wird durch eine von Dr. Molier aus Versuchen anderer abgeleitete Gleichung ausgedrückt:

$$k = 2 + 10\sqrt{c}. \quad \dots \dots \dots (30)$$

Die Heizfläche für die in 1 Stunde zu übertragende Wärmemenge  $C_g$  ergibt sich also:

$$H = \frac{C_g}{\vartheta_m(2 + 10\sqrt{c})}. \quad \dots \dots \dots (31)$$

Mit je größerer Geschwindigkeit die Luft über die Heizfläche streicht, um so mehr Wärme nimmt sie auf. Hiernach wäre es also vorteilhaft, sie recht schnell über dieselbe hinwegzuführen, allein, wie wir sogleich sehen werden, darf man die Geschwindigkeit nicht zu sehr vergrößern.

Die Temperaturdifferenz zwischen Luft und Heizfläche hängt natürlich von der mittleren Temperatur der Heizfläche und von der sehr veränderlichen der Luft ab. Je kühler die Luft ursprünglich ist, um so größer ist die mittlere Temperaturdifferenz, um so größer auch die Leistung der Heizfläche, und da die Trockenapparate oft bei kalter Außenluft auch die größte Wärmemenge erfordern, so findet durch diese Umstände für viele Fälle eine glückliche Übereinstimmung statt.

In der Tabelle XVIII ist eine Zusammenstellung der Temperaturdifferenzen zwischen Heizfläche und Luft mitgeteilt. Da die Luft zu verschiedenen Jahreszeiten sehr verschiedene Temperaturen hat, so sind auch die Temperaturdifferenzen zwischen Luft und Heizfläche bei derselben Trockenanlage sehr variabel, wenn auch die Heizfläche stets die gleiche Temperatur behält.

So sind denn in der Tabelle XVIII in Spalte 4 die mittleren Temperaturdifferenzen für Außentemperaturen der Luft von  $-20$ ,  $\pm 0$ ,  $+15$ ,  $+30^{\circ}$  festgestellt, und zwar für die in jedem speziellen Fall konstante Temperatur der Heizflächen von  $100^{\circ}-120^{\circ}-140^{\circ}$  und die höchsten zu erzielenden Lufttemperaturen von  $35^{\circ}-50^{\circ}-70^{\circ}-100^{\circ}-130^{\circ}$ .

Ferner sind in derselben Tabelle XVIII in den Spalten 5, 6, 7, 8 nach Gleichung 31 die Kalorien aufgeführt, welche 1 qm glatter, eiserner Heizfläche in 1 Stunde überträgt, wenn die Luft mit Geschwindigkeiten von 1, 2, 4, 6 m pro Sekunde über dieselbe strömt. Mit Hilfe dieser Tabelle kann die in jedem Fall nötige Heizfläche gefunden werden, wenn man die entsprechenden Zahlen der Tabelle XVIII (Spalten 5, 6, 7, 8) in die Zahl dividiert, welche die in einer Stunde zu verbrauchenden Kalorien  $C_g$  angibt.

Wählt man nicht glatte Eisenrohre, sondern Rippenheizkörper, so kann man die Tabelle XVIII auch für diese benutzen, indem man vor der Division die Zahlen der Spalten 5, 6, 7, 8 mit 0,7 multipliziert.

Die Luft soll nicht zu schnell durch den Trockenraum strömen.

Der durch Reibung erzeugte Bewegungswiderstand der Luft in Röhren und Kanälen nimmt mit ihrer Geschwindigkeit zu; daher verursacht schnelle Luftströmung großen Arbeitsaufwand und geringere Leistung des Ventilators.

Die Luftzuführungs- und Abführungskanäle können meistens fortfallen; müssen sie aber angelegt werden, so fließe die Luft in denselben mit höchstens 3 m Geschwindigkeit und wenn möglich mit weniger.

Der Querschnitt des Heizraumes wird durch die Heizkörper verengt, wodurch dann eine gewisse größere Geschwindigkeit der Luft um die Heizkörper erzielt wird; doch sollte dieselbe hier nicht mehr als 6 m in der Sekunde betragen.

Im Trockenraum selbst ist eine langsame Luftbewegung um so nötiger, als die Luft sich nicht momentan mit Feuchtigkeit sättigt. Es ist eine gewisse, nicht ganz geringe Zeit nötig dafür, daß die Wasserdämpfe mit der Luft diffundieren.

In vorteilhafter Weise wird die Luft durch den Trockenraum so geführt, daß sie in geteilten, öfter veränderten Strömen über

das Trockengut streicht, das so ausgebreitet sein soll, daß es von der erwärmenden und trocknenden Luft von allen Seiten gleichmäßig umspült werden kann.

Die größte Geschwindigkeit der Luft im Trockenraum sei 6 m in der Sekunde, doch wenn möglich, geringer.

Die Einrichtungen zum Lagern, Ausbreiten, Aufhängen im Trockenraum müssen so groß oder so zahlreich sein, daß sie so viel Trockengut aufnehmen können, als dem Produkt aus der Zeit, in welcher ein einzelnes Stück oder ein einzelner Teil trocknet, mit der beabsichtigten Trockenleitung in dieser Zeit entspricht.

Braucht ein einzelnes Stück oder ein einzelner Teil, um hinreichend trocken zu werden, 2 Tage, und sollen in einem Tage 1000 kg getrocknet werden, so muß der Trockenraum für wenigstens  $1000 \cdot 2 = 2000$  kg Trockengut Platz haben.

Die Zeit, welche ein Stück oder ein Teil des Gutes zum hinreichenden Trocknen benötigt, läßt sich natürlich nicht allgemein vorher bestimmen, weil sie in erheblichem Maße von der Eigenart des jeweiligen Trockengutes abhängt. Der Grad des ursprünglichen und des endlichen Feuchtigkeitsgehaltes, die Dicke, die Gestalt und die größere oder geringere Fähigkeit, die innere Feuchtigkeit schnell an die Oberfläche zu befördern, beeinflussen die Zeit, welche zum Trocknen nötig ist.

Wenn ein feuchter Körper von ruhender oder bewegter warmer, mit Wasserdampf nicht gesättigter Luft umgeben ist, so ist dieser Zustand in Ansehung der zu erwartenden Wasserverdampfung des Körpers fast genau so, als wenn sich derselbe in einem teilweisen Vakuum, d. h. in einem Raum verminderten Druckes befände.

In warmer, mit Wasser nicht gesättigter Luft hat der Dampf zwar die Temperatur dieser Luft, aber nicht die ihm dabei zukommende Spannung oder Dichte. Er ist fähig und begierig, die dargebotene Feuchtigkeit aufzunehmen bis zu seiner Sättigung, d. h. bis seine Spannung seiner Temperatur entspricht. Diese Aufnahme von Feuchtigkeit geschieht aber nicht plötzlich, sondern sie erfordert eine gewisse Zeit, und dies um so mehr, als der neu aufzunehmende Dampf die Luft verdrängen muß, an deren Stelle er treten soll.

Die Wärme, welche dem zu trocknenden Körper für die Verdunstung seiner Feuchtigkeit zugeführt werden muß, kann nur

durch die Oberfläche eindringen, und die eindringende Wärmemenge wird unter sonst gleichen Umständen proportional der Oberfläche sein. Die zu trocknenden Körper sollen also dem Luftstrom die größtmögliche Oberfläche bieten.

Die an das Trockengut übertragene Wärmemenge ist aber auch proportional der mittleren Temperaturdifferenz zwischen Luft und Trockengut. Die Eintrittsstelle der zu trocknenden Körper, deren Temperatur =  $t_u$  ist, ist zugleich die Stelle, an welcher die Luft mit der Temperatur  $t_n$  austritt; die Temperaturdifferenz ist hier also:  $t_n - t_u$ . Beim Austritt der getrockneten Körper findet der Eintritt der heißen Luft statt, deren Temperatur  $t_h$  ist. Die getrockneten Körper treten um einige Grade kälter aus, als die warme Luft ein; um wieviel Grade, hängt von den jedesmaligen Umständen ab. Ihre Temperatur sei  $t_z$ , die Temperaturdifferenz ist daher:  $t_h - t_z$ . Vorausgesetzt, daß die Temperaturdifferenz  $t_h - t_z$  wenigstens halb so groß ist wie diejenige  $t_n - t_u$ , so ist die mittlere Temperaturdifferenz

$$\vartheta_m = \frac{(t_h - t_z) + (t_n - t_u)}{2}.$$

Für den Fall, daß  $t_h - t_z$  kleiner ist als  $\frac{t_n - t_u}{2}$ , so ist auch die mittlere Temperaturdifferenz kleiner als das arithmetische Mittel. (Siehe darüber unsere Schrift „Verdampfung, Kondensation, Kühlung“, 2. Auflage, Berlin 1900.)

**Beispiel 27.** Die höchste Lufttemperatur sei  $t_h = 100^\circ$ , die Luftaustrittstemperatur  $t_n = 36^\circ$ , die Eintrittstemperatur der Körper  $t_u = 15^\circ$ , deren Austrittstemperatur  $t_z = 30^\circ$ , so ist die mittlere Temperaturdifferenz nicht

$$\frac{(100 - 30) + (36 - 15)}{2} = \frac{70 - 21}{2} = 45,5^\circ,$$

sondern sie ist nach der eben ausgeführten Quelle (Tabelle 1), weil:

$$\frac{21}{70} = 0,30, \quad \vartheta_m = 0,583 \cdot 70 = 40,810^\circ.$$

Endlich übt, wie wir wissen, die Geschwindigkeit  $c$ , mit der die Luft über die Trockenkörper streicht, einen Einfluß auf die Menge der zu übertragenden Wärme aus. Es ist der Transmissionskoeffizient

$$k = 2 + 10\sqrt{c}.$$

Die Menge der in 1 Stunde an die zu trocknenden Körper zu übertragenden Wärme ist daher:

$$C_n = O \cdot \vartheta_m \cdot k = O \cdot \vartheta_m (2 + 10 \sqrt{c}), \quad \dots (32)$$

und die für die Übertragung von  $C_n$  Kalorien nötige Oberfläche des Trockengutes  $O$  in Quadratmeter:

$$O = \frac{C_n}{\vartheta_m (2 + 10 \sqrt{c})} \dots \dots \dots (33)$$

Aus dieser Gleichung kann man nun die Oberfläche finden, welche man dem Luftstrom zum Trocknen einer gewissen Menge von Feuchtigkeit in 1 Stunde darbieten muß.

**Beispiel 28.** Es sollen 100 kg Wasser in 1 Stunde verdunstet werden; die Luft ströme mit  $c = 4$  m Geschwindigkeit über die Körper und habe anfangs  $t_h = 50^\circ$ , am Ende  $t_n = 25^\circ$ , der Körper anfangs  $t_u = 15^\circ$ , am Ende  $t_z = 30^\circ$ :

$$t_n - t_u = 25 - 15 = 10,$$

$$t_h - t_z = 50 - 30 = 20,$$

$$\frac{10}{20} = 0,5, \quad \text{folglich} \quad \vartheta_m = 14,48.$$

Dann muß die Oberfläche der Trockenkörper sein:

$$O = \frac{62\,500}{14,48 (2 + 10 \sqrt{4})} \cong 197 \text{ qm.}$$

Die Resultate dieser Gleichungen sind allerdings nicht in allen Fällen anwendbar, da die physikalischen Eigenschaften der zu trocknenden Stoffe bewirken können, daß die Wärmeübertragung nicht ganz nach den oben gemachten Angaben stattfindet. In diesen Fällen kann nur die Erfahrung Lehrmeisterin sein.

Wenn die Luft in den Trockenraum wärmer eintritt als sie ihn verläßt, was bei bloßer Vorwärmung stattfindet, so bewirkt, selbst wenn ihre Sättigung am Eintritt größer als am Austritt sein sollte, die höhere Eintrittstemperatur, daß die Luft beim Eintritt spezifisch leichter als beim Austritt ist.

Wird der vorgewärmten Luft auch noch im Trockenkanal Wärme zugeführt, um sie bis zum Austritt auf ihrer höchsten Temperatur zu erhalten, so ist sie am Ende mit Wasser mehr gesättigt, also am Ausgang leichter als am Eingang.

Innerhalb des Trockenraumes wird trotz der herrschenden Strömung sich oben eine etwas wärmere Luftschicht halten.

Bei vertikalen Trockenräumen ist es daher zweckmäßig, die Heizkammer unten anzuordnen und die Luft von unten in diese eintreten, dagegen oben am Trockenraum austreten zu lassen.

Bei horizontalen Trockenräumen liege die Heizkammer vor, nicht unter dem einen Ende und die Luft trete in diese horizontal nicht von unten ein. Der Luftaustritt geschehe horizontal, und wenn er nicht den ganzen Kanalquerschnitt einnimmt, eher etwas mehr nach unten als nach oben.

Wir haben gesehen, daß bei warmgehenden Trockenapparaten die Abkühlung durch die Wände und Mauern ein Verlust ist, welchen man so viel als möglich verkleinern muß. Wie groß dieser Verlust ist, ersieht man aus der Tabelle XIX, welche angibt, wieviel Kalorien in 1 Stunde durch 1 qm Mauerwerk oder Holz wand verschiedener Dicke verloren gehen.

Es mag hier daran erinnert werden, daß in einigen Fällen bei sehr kalt gehenden Apparaten und bei sehr geringem inneren Druck der Innenraum kälter als die Umgebung sein kann. In diesen Fällen nimmt der Apparat zu seinem Vorteil Wärme aus der Umgebung auf, und es ist angezeigt, die Wände der Trockenräume dann so einzurichten, daß sie von außen gut Wärme hindurchlassen.

Während man also die warm gehenden Trockenapparate aus Mauerwerk womöglich mit Luftschicht ausführen sollte, ist es vorteilhaft, die kalt gehenden Einrichtungen aus dünnen Holz- oder Metallwänden herzustellen.

Gegen den Eintritt der Luft von außen muß man die Trockenräume in allen Fällen schützen. Die Wände müssen immer dicht sein, denn sonst wird bei warmem Gang Kälte, bei kaltem Gang Feuchtigkeit durch die verderblicher Weise eintretende Luft in den Trockenraum geführt.



# Tabellen.

---

Tabelle I. (Siehe Seite 5.)

## Spannungen und Kubikmetergewichte des gesättigten

Wassergewicht in 1 kg Luft bei den absoluten Drucken (Barometerständen) von  
wenn die Luft ganz mit

Temperatur °C.	1 cbm gesättigter Dampf wiegt $\gamma_d$ kg	Spannung des gesättigten Dampfes $p_d$ mm	Spannung der Luft allein nach Abzug der Dampf- spannung — bei dem Barometerstände von			1 cbm trockene Luft wiegt bei den Spannungen der Spalten 4, 5, 6 und dem Barometerstände			1 kg trockene Luft gesättigten Dampf (d) Spannungen der Spalten dem Barometer-	
			780	760	740	780	760	740	780	760
			mm	mm	mm	kg	kg	kg	kg	kg
-20	0,00106	0,927	779	759	739	1,4256	1,3890	1,3524	0,000743	0,000763
-15	0,00157	1,400	778,6	758,6	738,5	1,4015	1,3655	1,3294	0,00112	0,00115
-10	0,0023	2,093	778	758	738	1,3739	1,3386	1,3033	0,00167	0,00172
-5	0,0035	3,113	776,9	756,9	736,9	1,3518	1,7178	1,2823	0,00248	0,00254
0	0,00496	4,600	775,4	755,4	735,4	1,3181	1,2832	1,2502	0,00376	0,00387
5	0,00696	6,53	773,47	753,47	733,47	1,2925	1,2589	1,2257	0,00538	0,00553
10	0,00951	9,16	770,84	750,84	730,84	1,2642	1,2332	1,1987	0,00752	0,00771
15	0,01298	12,70	767,3	747,3	727,3	1,2354	1,2050	1,1709	0,0105	0,01080
20	0,01753	17,39	762,61	742,61	722,61	1,2087	1,1770	1,1453	0,0145	0,01480
25	0,02312	23,55	756,46	736,46	716,46	1,1755	1,1445	1,1134	0,0197	0,0202
30	0,0308	31,55	748,45	728,45	708,45	1,1423	1,1168	1,0861	0,02696	0,0275
35	0,0397	41,83	738,17	718,17	698,17	1,1146	1,0845	1,0543	0,0356	0,0366
40	0,0512	54,91	725,09	705,09	685,09	1,0760	1,0463	1,0207	0,0476	0,0489
45	0,0657	71,40	708,60	688,6	668,6	1,0346	1,0054	0,9751	0,0635	0,0653
50	0,0834	91,98	688,02	668,02	648,02	0,9894	0,9610	0,9318	0,0843	0,0868
55	0,1045	117,98	662,52	642,52	622,52	0,9355	0,9070	0,8797	0,1117	0,1152
60	0,1311	148,79	631,21	611,21	591,21	0,8774	0,8497	0,8219	0,1495	0,1540
65	0,1623	186,94	593,06	573,06	553,06	0,8156	0,7880	0,7605	0,1989	0,2060
70	0,1992	233,09	546,91	526,91	506,91	0,7383	0,7115	0,6844	0,2696	0,2799
75	0,2440	288,50	491,50	471,50	451,50	0,6562	0,6295	0,6027	0,3718	0,387
80	0,2958	354,64	425,56	405,56	385,56	0,5600	0,5335	0,5018	0,5282	0,554
85	0,3574	433,04	346,96	326,96	306,96	0,4510	0,4250	0,3991	0,7924	0,840
90	0,4280	525,45	254,55	234,55	214,55	0,3248	0,2992	0,2747	1,3177	1,430
95	0,5110	633,75	146,25	126,25	106,25	0,1846	0,1591	0,1340	2,7681	3,211
100	0,6060	760,00	20,00	0	—	0,0249	0	—	24,3373	0

Tabelle I.

Wasserdampfes und der trockenen Luft,

250—500—740—760—780—1140 mm und bei Temperaturen von  $-20^{\circ}$  bis  $+100^{\circ}$ ,  
Wasserdampf gesättigt ist.

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
enthält bei den 4, 5, 6 und stande	Absoluter Druck im Trocken- raum $1\frac{1}{2}$ Atm. = 1140 mm			Absoluter Druck im Trockenraum $\frac{2}{3}$ Atm. = 500 mm			Absoluter Druck im Trockenraum $\frac{1}{3}$ Atm. = 250 mm			Temperatur  ° C.
	Spannung der Luft nach Ab- zug der Dampf- spannung q1	1 cbm trockene Luft wiegt $\gamma_1$	1 kg Luft ent- hält gesättigten Dampf d	Spannung der Luft nach Ab- zug der Dampf- spannung q1	1 cbm trockene Luft wiegt dabei $\gamma_1$	1 kg Luft ent- hält dabei ge- sättigten Dampf d	Spannung der Luft nach Ab- zug der Dampf- spannung q1	1 cbm trockene Luft wiegt dabei $\gamma_1$	1 kg Luft ent- hält dabei ge- sättigten Dampf d	
740 kg	mm	kg	kg	mm	kg	kg	mm	kg	kg	
0,000783	1139	2,084	0,00050	499,07	0,91	0,00165	249,07	0,455	0,00233	-20
0,00118	1138,6	2,049	0,00076	498,6	0,897	0,00175	248,6	0,447	0,00351	-15
0,00176	1138,4	2,008	0,00115	497,90	0,877	0,00262	247,9	0,438	0,00525	-10
0,00261	1136,9	1,978	0,00169	496,88	0,862	0,00387	246,89	0,429	0,0078	-5
0,00396	1135,4	1,930	0,00257	495,4	0,842	0,00589	245,4	0,417	0,0119	0
0,00566	1133,5	1,894	0,00367	493,47	0,822	0,00846	243,47	0,407	0,0171	5
0,00795	1130,8	1,854	0,00513	490,84	0,805	0,0118	240,84	0,395	0,0240	10
0,0110	1127,3	1,815	0,00709	487,3	0,785	0,0165	237,3	0,382	0,0340	15
0,0153	1122,6	1,779	0,00981	482,61	0,765	0,0229	232,6	0,378	0,0464	20
0,0207	1116,5	1,735	0,0134	476,45	0,740	0,0312	226,45	0,352	0,0656	25
0,0283	1108,5	1,699	0,0181	468,45	0,718	0,0429	218,45	0,335	0,0919	30
0,0376	1098,2	1,658	0,0239	458,17	0,692	0,0573	208,17	0,314	0,1264	35
0,0501	1085,1	1,610	0,0318	445,09	0,660	0,0776	195,09	0,287	0,1784	40
0,0673	1068,6	1,560	0,0421	428,6	0,626	0,1049	178,6	0,261	0,2517	45
0,0895	1049	1,508	0,0553	408,02	0,586	0,1423	158,02	0,227	0,3674	50
0,1185	1022,5	1,444	0,0723	382,52	0,539	0,1939	132,52	0,187	0,5588	55
0,1590	991,2	1,378	0,0951	351,21	0,488	0,2685	101,21	0,141	0,9300	60
0,2130	953,1	1,311	0,1239	313,06	0,430	0,3774	63,06	0,0867	1,377	65
0,2915	897	1,211	0,1644	266,91	0,360	0,533	16,91	0,0228	8,737	70
0,4050	851,5	1,133	0,2153	211,5	0,282	0,865	—	—	—	75
0,5890	785,4	1,033	0,286	145,36	0,191	1,548	—	—	—	80
0,894	707	0,919	0,388	66,96	0,087	4,108	—	—	—	85
1,557	614,5	0,784	0,546	—	—	—	—	—	—	90
3,813	506,3	0,638	0,801	—	—	—	—	—	—	95
—	380	0,473	1,281	—	—	—	—	—	—	100

Tabelle II. (Siehe Seite 11.)

**Luftgewichte und Volumina, Austrittstemperaturen und Wärmeaufwand,**  
um 100 kg Wasser zu verdunsten bei den Außentemperaturen  $t_a = -20$   
bis  $+30^\circ$  — den Maximaltemperaturen  $t_h = 30$  bis  $130^\circ$  — dem  
Barometerstande  $q = 760$  mm — wenn Außenluft und Austrittsluft ganz  
mit Wasser gesättigt sind. (Nur Vorwärmung.)

1	2	3	4	5			6	7	8
Temperatur der Außenluft $t_a$	Temperatur der Luft beim Austritt $t_n$	Gewicht der trockenen Luft l kg	Gewicht der Feuchtigkeit in der Luft l $d_a$ kg	Volumen der Luft			Wärmeaufwand zur Luftherhitzung Kalorien		
				beim Eintritt $V_{Ia}$ cbm	nach der Erhitzung $V_{Ih}$ cbm	beim Austritt $V_{In}$ cbm			

Maximaltemperatur  $t_h = 30^\circ$  C.

-20	11	13 230	10,09	9 520	11 360	10 780	157 347
-15	11,5	13 550	15,58	9 900	11 641	11 070	145 147
-10	12	14 000	24,08	10 450	11 940	11 470	133 480
- 5	12,75	14 560	36,98	11 048	12 495	11 960	121 660
0	13,5	16 666	64,49	12 650	14 380	13 735	119 640
5	15,5	17 640	97,54	14 050	15 262	14 630	105 625
10	17,25	20 500	158,26	16 645	17 797	17 010	98 880
15	19,75	26 200	282,96	21 850	22 857	22 230	95 340
20	22,75	38 000	665,0	32 285	33 833	32 771	93 000
25	26,0	66 666	1346,65	58 250	59 010	58 530	87 357

Maximaltemperatur  $t_h = 35^\circ$  C.

-20	12,75	11 800	9,00	8 495	10 295	9 694	154 363
-15	13,0	11 830	13,60	8 670	10 318	9 730	140 800
-10	13,5	12 222	21,02	9 134	10 770	10 076	131 085
- 5	14,25	12 900	32,94	9 850	11 356	10 725	120 000
0	15,5	13 100	50,69	10 000	11 458	10 890	109 725
5	17,0	14 550	80,46	11 580	12 792	12 188	104 820
10	19	15 920	123,00	12 900	13 858	13 460	96 225
15	21	19 230	207,68	16 000	17 063	16 430	93 300
20	24	23 260	346,25	19 250	20 670	20 230	85 335
25	27	33 333	673,33	29 107	30 013	29 500	82 350
30	30	66 666	1833,32	59 690	60 706	60 000	82 000

Tabelle II.

1	2	3	4	Volumen der Luft			8
Temperatur der Außenluft $t_a$	Temperatur der Luft beim Austritt $t_n$	Gewicht der trockenen Luft l	Gewicht der Feuchtigkeit in der Luft l d. s.	beim	nach der	beim	Wärmeaufwand zur Lufterhitzung  Kalorien
				Eintritt $V_{ia}$	Erhitzung $V_{ih}$	Austritt $V_{in}$	
		kg	kg	cbm	cbm	cbm	

Maximaltemperatur  $t_h = 40^\circ \text{C}$ .

— 20	15	10 000	7,63	7 200	8 790	8 290	142 716
— 15	15,25	10 150	11,67	7 435	8 928	8 440	132 880
— 10	15,5	10 550	18,14	7 865	9 350	8 773	125 710
— 5	16,25	10 800	27,43	8 250	9 586	9 015	115 997
0	17,0	11 710	45,32	9 125	10 415	9 881	112 120
5	18,75	12 090	66,86	9 625	10 781	10 335	101 258
10	20,75	13 020	100,51	10 530	11 650	11 100	94 200
15	22,75	15 000	162,0	12 500	13 488	12 935	90 975
20	25,25	17 070	252,64	14 130	15 445	14 910	85 000
25	28,25	21 700	438,34	18 901	19 801	19 660	82 445
30	31,75	32 260	887,25	28 890	29 770	29 170	80 818

Maximaltemperatur  $t_h = 50^\circ \text{C}$ .

— 20	17,5	8 250	6,33	6 000	7 582	6 950	138 180
— 15	18,0	8 300	9,54	6 080	7 592	7 118	128 505
— 10	18,5	8 400	14,45	6 278	7 692	7 175	120 120
— 5	19,5	8 630	21,92	6 550	7 912	7 350	113 300
0	20,5	8 800	34,06	6 670	8 085	7 500	105 300
5	22,0	9 000	49,77	7 165	8 292	7 610	97 245
10	23,0	9 600	79,72	7 758	8 830	8 446	92 160
15	25	10 640	114,91	8 866	9 906	9 306	90 370
20	27	11 760	174,05	9 809	10 993	10 370	86 250
25	30	13 700	276,74	11 970	12 845	12 267	84 625
30	33,5	15 700	431,75	14 058	14 968	14 410	78 874

Tabelle II.

1	2	3	4	Volumen der Luft			8
Temperatur der Aufsenuft $t_a$	Temperatur der Luft beim Austritt $t_n$	Gewicht der trockenen Luft l	Gewicht der Feuchtigkeit in der Luft l $d_a$	beim	nach der	beim	Wärmeaufwand zur Lufterhitzung  Kalorien
				Eintritt $V_{1a}$ cbm	Erhitzung $V_{1h}$ cbm	Austritt $V_{1n}$ cbm	

Maximaltemperatur  $t_h = 60^\circ \text{C}$ .

- 20	21	6600	5,03	4758	6221	5637	125 600
- 10	21,5	6800	11,69	5082	6427	5840	113 470
0	23	7000	27,09	5310	6638	6185	100 500
10	25,75	7310	56,43	5935	6974	6400	88 145
20	29,5	8370	123,87	6925	8075	7475	83 248
30	35,25	10310	283,53	9232	10143	9520	77 490

Maximaltemperatur  $t_h = 70^\circ \text{C}$ .

- 20	24	5430	4,14	3950	5266	4720	116 242
- 10	24,5	5555	9,54	4155	5396	4840	105 920
0	26	5610	21,71	4265	5468	5000	94 010
10	28	5950	46,03	4835	5836	5380	86 040
20	31,5	6930	103,30	5775	6922	6305	82 700
30	37,5	8200	225,50	7342	8294	7695	77 200

Maximaltemperatur  $t_h = 80^\circ \text{C}$ .

- 20	26	4845	3,70	3485	4910	4240	115 250
- 10	26,5	4848	8,34	3623	4920	4270	103 950
0	28	4850	18,77	3675	4939	4390	92 880
10	30	5070	39,14	4119	5122	4540	85 610
20	33	5555	82,21	4600	5675	5180	81 498
30	38	6100	167,75	5461	6356	5915	76 400

Maximaltemperatur  $t_h = 90^\circ \text{C}$ .

- 20	28	4125	3,15	2893	4243	3657	107 910
- 10	28,75	4155	7,15	3106	4260	3670	99 010
0	30	4235	16,39	3215	4377	3792	91 170
10	31,75	4370	33,74	3550	4544	3954	84 320
20	34,5	4750	70,30	3925	5195	4366	81 340
30	39,5	4950	136,13	4432	5308	4710	75 400

Tabelle II.

1	2	3	4	Volumen der Luft			8
Temperatur der Anfeuchtluft $t_a$	Temperatur der Luft beim Austritt $t_n$	Gewicht der trockenen Luft l	Gewicht der Feuchtigkeit in der Luft l $d_a$	beim	nach der	beim	Wärmeaufwand zur Lufterhitzung  Kalorien
				Eintritt $V_{1a}$	Erhitzung $V_{1h}$	Austritt $V_{1n}$	
		kg	kg	cbm	cbm	cbm	

Maximaltemperatur  $t_h = 100^\circ \text{C}$ .

- 20	30,5	3610	2,75	2532	3820	3245	103 080
- 10	31	3630	6,24	2710	3875	3275	95 150
0	32	3670	14,20	2780	3901	3267	87 900
10	34	3740	28,87	3035	4000	3430	81 180
20	36,25	4000	59,20	3389	4323	3721	78 260
30	41	4050	111,38	3626	4503	3840	74 980

Maximaltemperatur  $t_h = 110^\circ \text{C}$ .

- 20	32	3290	2,51	2375	3615	2980	101 790
- 10	32,5	3300	5,68	2465	3621	3000	95 040
0	33,5	3333	12,89	2529	3680	3101	87 780
10	35	3460	26,71	2809	3845	3195	83 400
20	37,5	3560	52,69	2947	4003	3341	78 300
30	41,75	3690	101,48	3304	4228	3575	74 000

Maximaltemperatur  $t_h = 120^\circ \text{C}$ .

- 20	33,6	2980	2,27	2089	3318	2722	100 632
- 10	34	3000	5,16	2245	3346	2750	92 950
0	35	3015	11,67	2285	3374	2795	86 640
10	36,5	3080	23,78	2505	3450	2870	81 730
20	39	3150	46,62	2607	3587	3031	77 000
30	42,75	3230	88,83	2892	3751	3150	72 810

Maximaltemperatur  $t_h = 130^\circ \text{C}$ .

- 20	35,5	2700	2,06	1895	3086	2495	96 300
- 10	36	2720	4,68	2033	3113	2432	90 720
0	36,5	2753	10,65	2088	3162	2565	85 540
10	37,75	2800	21,63	2274	3262	2630	81 000
20	40,25	2860	42,33	2365	3342	2730	77 000
30	43,75	2895	79,61	2592	3451	2845	72 600

Tabelle III. (Siehe Seite 21.)

Spannungen und Kubikmetergewichte des  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$ Gehalt von 1 kg Luft an  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$  gesättigtem  
den Temperaturen

1	2	3	4	5	6	7	8
Die Luft ist $\frac{3}{4}$ mit Wasserdampf gesättigt						Die Luft ist $\frac{1}{2}$	
Temperatur	Gewicht des Dampfes in 1 cbm	Spannung des Dampfes $q_d$	Spannung der Luft $q_l$	Gewicht der trockenen Luft in 1 cbm	1 kg Luft enthält Dampf $d$	Gewicht des Dampfes in 1 cbm	Spannung des Dampfes $q_d$
° C.	kg	mm	mm	kg	kg	kg	mm
— 20	0,00080	0,697	759,3	1,390	0,000575	0,00053	0,461
— 15	0,00122	1,080	759	1,366	0,00090	0,00078	0,720
— 10	0,00175	1,325	758,7	1,339	0,00130	0,00115	0,816
— 5	0,00252	2,320	757,7	1,317	0,00192	0,00168	1,540
± 0	0,00372	3,444	756,6	1,286	0,00288	0,00248	2,254
5	0,00522	4,999	755	1,261	0,00414	0,00348	3,32
10	0,00713	6,886	753,1	1,237	0,00577	0,00475	4,55
15	0,00974	9,54	750,5	1,208	0,00806	0,00640	6,36
20	0,01317	13,2	746,8	1,184	0,01103	0,00877	8,84
25	0,01736	17,8	752,2	1,159	0,01485	0,01156	11,8
30	0,0231	24,1	735,9	1,128	0,0205	0,0154	16,1
35	0,0298	31,0	729	1,101	0,0270	0,0199	20,6
40	0,0384	41,3	718,7	1,067	0,0351	0,0256	27,5
45	0,0492	53,1	707	1,032	0,0476	0,0328	35,4
50	0,0626	69,2	691	0,994	0,0625	0,0417	46,3
55	0,0783	81,6	679	0,951	0,076	0,0522	54,4
60	0,0984	112,8	647,2	0,899	0,109	0,0656	75,0
65	0,1217	141,5	618,5	0,850	0,143	0,0811	94,3
70	0,1494	175,6	584,4	0,789	0,189	0,0996	117,7
75	0,1830	218,9	541,1	0,722	0,253	0,1220	145,9
80	0,2109	255,1	505	0,665	0,317	0,1479	180,0
85	0,2681	330,0	420	0,546	0,491	0,1787	220,0
90	0,3210	401,1	359	0,458	0,700	0,214	267,4
95	0,3830	485,0	275	0,347	1,104	0,255	323,4
100	0,4845	619,0	141	0,176	2,750	0,303	412,6



Tabelle III.

gesättigten Dampfes und der trockenen Luft dabei,  
Wasserdampf bei dem Barometerstande von 760 mm und  
— 20 bis + 100°.

9			10			11			12			13			14			15			16			17
mit Wasserdampf gesättigt									Die Luft ist $\frac{1}{4}$ mit Wasserdampf gesättigt															
Spannung der Luft $q_l$		Gewicht der trockenen Luft in 1 cbm		1 kg Luft enthält Dampf d		Gewicht des Dampfes in 1 cbm		Spannung des Dampfes $q_d$		Spannung der Luft $q_l$		Gewicht der trockenen Luft in 1 cbm		1 kg Luft enthält Dampf d		Tempe- ratur								
mm		kg		kg		kg		mm		mm		kg		kg		° C.								
759,5	1,395	0,00038	0,00027	0,235	759,8	1,391	0,00020	— 20																
759,3	1,367	0,00057	0,00044	0,360	759,7	1,368	0,00032	— 15																
759,2	1,340	0,00086	0,00060	0,408	759,6	1,341	0,000447	— 10																
758,5	1,319	0,00127	0,00084	0,770	759,2	1,320	0,000636	— 5																
757,75	1,288	0,00220	0,00124	1,164	758,8	1,290	0,00100	± 0																
756,7	1,264	0,00275	0,00174	1,660	758,3	1,267	0,00136	5																
755,4	1,240	0,00384	0,00238	2,275	757,7	1,243	0,00192	10																
753,7	1,213	0,00530	0,00325	3,180	756,8	1,218	0,00257	15																
751,2	1,190	0,00737	0,0044	4,440	755,5	1,197	0,00369	20																
748,2	1,164	0,01000	0,0058	5,930	754,0	1,172	0,00500	25																
744,0	1,141	0,0135	0,0077	8,03	752,0	1,153	0,00668	30																
739,4	1,116	0,0170	0,0099	10,30	749,7	1,132	0,00874	35																
732,5	1,087	0,0235	0,0128	13,77	746,2	1,107	0,0115	40																
724,6	1,057	0,0310	0,0164	17,70	742,3	1,084	0,0151	45																
713,7	1,026	0,0406	0,0209	23,0	737,0	1,060	0,0197	50																
705,6	0,996	0,0530	0,0261	27,2	733,0	1,045	0,0250	55																
685,0	0,952	0,0689	0,0328	37,5	722,5	1,004	0,0300	60																
665,7	0,915	0,0886	0,0406	47,2	712,8	0,980	0,0420	65																
642,3	0,867	0,1149	0,0496	58,9	701,1	0,946	0,0524	70																
614,1	0,820	0,1485	0,061	72,9	687,0	0,917	0,0665	75																
580,0	0,763	0,1938	0,073	90,0	670,0	0,882	0,0827	80																
540,0	0,702	0,2540	0,0894	110,0	650,0	0,845	0,106	85																
492,6	0,628	0,3407	0,107	133,7	626,3	0,799	0,134	90																
436,6	0,551	0,4630	0,128	161,7	598,3	0,755	0,169	95																
347,4	0,433	0,7000	0,1515	206,3	553,7	0,689	0,220	100																

## Tabellen IV, V, VI. (Siehe Seite 21.)

**Austrittstemperaturen — Gewichte und Volumina der Luft — Wärmeverbrauch,**  
um 100 kg Wasser zu verdunsten bei Außentemperaturen von  $-20$  bis  $+30^\circ$ , den  
Maximaltemperaturen  $35, 50, 70, 100, 130^\circ$ , dem Barometerstande 760 mm, wenn  
die Außenluft ganz, die Austrittsluft nur  $\frac{3}{4}, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}$  mit Wasser gesättigt ist.  
(Nur Vorwärmung.)

Tabelle IV.

Außenluft ganz — Austrittsluft  $\frac{3}{4}$  gesättigt. Druck im Trockenraum  $q = 760$  mm.

1	2	3	4	5 6 7			8	9	10
				Volumen der Luft					
Temperatur der gesättigten Außenluft $t_a^\circ$	Temperatur der Luft beim Austritt $t_n$	Gewicht der trocknen Luft ( $\varnothing$ ) kg	Gewicht der Feuchtigkeit in der Luft l. d. a. kg	beim Eintritt $V_{1a}$ cbm	nach der Erhitzung $V_{1h}$ cbm	beim Austritt $V_{1n}$ cbm	Wärmeverbrauch zur Lufterhitzung $C_g$ Kalorien	Temperatur der $\frac{3}{4}$ gesättigten Außenluft	Kalorien, wenn die Eintrittsluft $\frac{3}{4}$ gesättigt ist, $C_g$
Maximaltemperatur $t_h = 35^\circ$ .									
-20	14,6	12 720	9,7	9 158	11 108	10 316	166 408	-25	152 162
0	18,6	15 720	60,8	12 256	13 499	13 123	130 763	-5	113 151
15	24,75	24 300	262,4	20 250	21 384	20 770	116 640	10	89 424
20	27,25	37 040	548,2	31 470	32 595	32 200	133 344	15	91 860
25	30,75	71 430	1442,9	62 280	63 572	63 620	171 434	20	91 433
Maximaltemperatur $t_h = 50^\circ$ .									
-20	21	9 000	6,87	6 478	8 229	7 561	149 849	-25	139 769
0	24	9 823	38	7 655	9 026	8 367	117 550	-5	106 549
15	28,5	12 500	135	10 424	11 625	11 062	105 875	10	90 875
30	38	20 412	561	18 274	19 460	18 896	102 275	25	67 187
Maximaltemperatur $t_h = 70^\circ$ .									
-20	27,1	6 075	4,64	4 374	5 911	5 272	130 050	-25	123 246
0	29,25	6 337	24,5	4 938	6 196	5 588	106 159	-5	98 062
15	33,5	7 142	77,1	5 950	7 028	6 493	94 988	10	85 918
30	41,66	8 621	239	7 719	8 749	8 164	83 994	25	71 298
Maximaltemperatur $t_h = 100^\circ$ .									
-20	35,25	3 963	3,02	2 853	4 193	3 608	113 113	-25	108 675
0	36	4 076	15,8	3 176	4 334	3 726	97 655	-5	93 090
15	39,5	4 130	45,9	3 540	4 561	4 000	87 361	10	82 265
30	45,75	4 505	123,9	4 034	4 968	4 383	79 013	25	73 450
Maximaltemperatur $t_h = 130^\circ$ .									
-20	40,1	2 896	2,21	2 085	3 265	2 716	103 320	-25	100 077
0	41,3	2 900	11,2	2 260	3 322	2 741	90 227	-5	86 979
15	43,75	3 000	32,4	2 500	3 483	2 960	83 490	10	74 890
30	49,4	3 003	82,6	2 689	3 570	3 033	74 996	25	71 288

Tabelle V.

Außenluft ganz — Austrittsluft  $\frac{1}{2}$  gesättigt. Druck im Trockenraum  $q = 760$  mm.

1	2	3	4	5			6	7	8	9	10
Temperatur der gesättigten Außenluft $t_a$ °	Temperatur der Luft beim Austritt $t_n$	Gewicht der trockenen Luft (l) kg	Gewicht der Feuchtigkeit in der Luft l. d. a. kg	Volumen der Luft			nach der Erhitzung $V_h$ cbm	beim Austritt $V_{in}$ cbm	Wärmeaufwand zur Lufterhitzung $C_g$ Kalorien	Temperatur der $\frac{3}{4}$ gesättigten Außenluft	Kalorien, wenn die Eintrittsluft $\frac{3}{4}$ gesättigt ist, $C_g$
				beim Eintritt $V_{ia}$ cbm							

Maximaltemperatur  $t_h = 35^\circ$ .

— 20	17,75	15 151	11,56	10 907	13 231	12 621	198 212	— 25	181 242
0	23	19 762	76,5	15 400	17 344	16 922	165 543	— 5	143 410
12,5	27,00	44 444	44,1	36 500	38 667	38 600	240 886	7,5	191 069
17,5	30,75	70 000	906	58 820	61 600	61 400	290 800	12,5	212 400

Maximaltemperatur  $t_h = 50^\circ$ .

— 20	24,3	10 582	8,08	7 618	9 678	9 154	176 190	— 25	164 339
0	28,25	11 736	45,32	9 146	10 784	10 210	140 441	— 5	127 712
30	44,2	42 553	1170	38 191	40 505	40 070	233 220	25	180 672

Maximaltemperatur  $t_h = 70^\circ$ .

— 20	32,5	6 990	5,33	5 033	6 801	6 100	149 634	— 25	141 866
0	35,25	7 463	28,9	5 832	7 297	6 711	123 262	— 5	114 904
30	47,5	10 753	295,7	9 628	10 906	10 329	107 768	25	94 460

Maximaltemperatur  $t_h = 100^\circ$ .

— 20	40,1	4 366	3,33	3 144	4 619	4 010	124 621	— 25	119 733
0	41,8	4 444	17,2	3 468	4 724	4 260	106 362	— 5	101 385
30	52,5	5 155	141,7	4 616	5 687	5 099	90 412	25	84 046

Maximaltemperatur  $t_h = 130^\circ$ .

— 20	46,1	3 125	2,36	2 250	3 173	2 975	111 493	— 25	107 993
0	47,5	3 135	12,1	2 443	3 592	3 006	97 500	— 5	93 989
30	56,5	3 309	90,75	2 963	3 923	3 358	82 685	25	78 599

Tabelle VI.

Außenluft ganz — Austrittsluft  $\frac{1}{4}$  gesättigt. Druck im Trockenraum  $q = 760$  mm.

1	2	3	4	5 6 7			8	9	10
Temperatur der gesättigten Außenluft $t_a$ °	Temperatur der Luft beim Austritt $t_n$	Gewicht der trockenen Luft (l) kg	Gewicht der Feuchtigkeit in der Luft l. $d_a$ kg	Volumen der Luft			Wärmeaufwand zur Lufterhitzung $C_g$ Kalorien	Temperatur der $\frac{3}{4}$ gesättigten Außenluft	Kalorien, wenn die Eintrittsluft $\frac{3}{4}$ gesättigt ist, $C_g$
				beim Eintritt $V_{1a}$ cbm	nach der Erhitzung $V_{1h}$ cbm	beim Austritt $V_{1n}$ cbm			

Maximaltemperatur  $t_n = 35^\circ$ .

— 20	24,5	24 940	18,93	17 955	21 721	21 234	326 271	— 25	298 339
0	29	40 820	157,97	31 811	35 820	34 950	340 915	— 5	295 197
7,5	32	72 460	479,7	58 430	63 330	63 560	478 236	2,5	397 081
10	33,8	112 300	865,8	91 080	99 263	98 770	673 800	5	548 024

Maximaltemperatur  $t_n = 50^\circ$ .

— 20	32,3	14 760	11,26	10 626	13 496	12 028	245 749	— 25	229 749
0	35,9	18 520	71,7	14 443	17 017	16 433	221 686	— 5	200 944
10	39	25 640	199,2	20 800	23 717	23 310	244 144	15	214 428

Maximaltemperatur  $t_n = 70^\circ$ .

— 20	41,75	8 873	6,77	6 400	8 633	8 067	189 445	— 25	183 551
0	43,6	9 852	38,1	7 678	9 333	9 034	165 116	— 5	154 082
15	48,5	13 165	237	10 920	15 000	12 331	178 090	20	163 000
30	60,3	27 000	742,5	24 167	27 371	26 865	270 570	25	237 225

Maximaltemperatur  $t_n = 100^\circ$ .

— 20	50,3	5 263	4,02	3 789	5 568	4 990	150 223	— 25	144 423
0	52,33	5 460	21,1	4 255	5 805	5 185	130 677	— 5	124 562
30	63,5	6 862	188,70	6 144	7 527	6 850	120 351	25	111 877

Maximaltemperatur  $t_n = 130^\circ$ .

— 20	58,5	3 600	2,75	2 620	4 104	3 575	94 193	— 25	90 193
0	60,25	3 704	14,33	2 886	4 243	3 692	115 258	— 5	111 110
30	68,8	4 255	117	3 809	5 057	4 364	106 606	25	101 252

Tabelle VII. (Siehe Seite 26.)  
**Zusammenstellung von Temperaturen,**  
 bei denen 1 cbm Luft bei gleichem Wassergehalt  
 ganz,  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$  gesättigt ist.

Luft, welche ganz gesättigt ist, bei °C.	Ist mit demselben effektiven Wassergehalt		
	$\frac{3}{4}$ gesättigt bei °C.	$\frac{1}{2}$ gesättigt bei °C.	$\frac{1}{4}$ gesättigt bei °C.
— 20	— 15	— 10	— 5
— 15	— 10	— 5	0
— 10	— 6,5	+ 1	13
— 5	0	5	15
0	5	10	20
5	10	15	25
10	15	20	32
15	20	25	38
20	25	30	43
25	30	38	50
30	35	42	55

**Tabellen VIII, IX, X.** (Siehe Seite 30.)

**Luftgewicht und Volumen sowie Wärmearaufwand,**  
um 100 Kilo Wasser zu verdunsten bei Außentemperaturen  $-20$  bis  $+20^{\circ}$  C. — den Maximaltemperaturen  $30^{\circ}$  bis  $90^{\circ}$ , wenn die Luft auf diese Temperaturen vorgewärmt **und im Trockenraum auf diesen erhalten wird.** — Barometerstand 760 mm.

Tabelle VIII.

Außenluft ganz — Austrittsluft  $\frac{3}{4}$  gesättigt.

Temperatur der kalten Luft $t_a$	Gewicht der Luft l kg	Wasser in der Luft l. $d_a$ kg	Volumen der kalten Luft $V_{1a}$	Volumen der heißten Luft $V_{1h}$	Kalorien $C_g$
$t_h = 30^{\circ}$					
— 20	5 076	3,85	3 610	4 500	122 850
— 10	5 347	9,28	4 005	4 740	111 020
0	6 024	23,29	4 700	5 340	105 760
10	7 874	60,50	6 490	6 950	100 300
20	17 543	259,0	14 906	14 660	115 960
$t_h = 40^{\circ}$					
— 20	2 915	2,28	2 090	2 732	104 140
— 10	3 003	5,16	2 240	2 814	98 300
0	3 205	12,40	2 500	3 000	93 180
10	3 650	28,05	2 950	3 417	88 930
20	4 926	72,70	4 188	4 617	86 400
$t_h = 50^{\circ}$					
— 20	1 620	1,28	1 160	1 625	89 450
— 10	1 647	2,82	1 230	1 650	86 080
0	1 703	6,60	1 330	1 716	82 590
10	1 828	9,66	1 485	1 830	80 060
20	2 096	30,00	1 790	2 100	77 860
$t_h = 60^{\circ}$					
— 20	926	0,76	662	1 030	80 100
— 10	934	1,70	700	1 040	78 100
0	951	3,68	741	1 053	76 165
10	991	7,7	820	1 101	74 350
20	1 064	15,9	905	1 183	72 700

Tabelle VIII.

Temperatur der kalten Luft $t_a$	Gewicht der Luft l kg	Wasser in der Luft l. $d_a$ kg	Volumen der kalten Luft $V_{1a}$	Volumen der heissen Luft $V_{1h}$	Kalorien $C_g$
$t_h = 70^\circ$					
— 20	532	0,41	380	670	73 930
— 10	535	0,90	400	674	72 740
0	540	2,00	420	675	71 600
10	552	4,23	448	690	70 490
20	575	8,50	495	720	69 550
$t_h = 80^\circ$					
— 20	316	0,24	226	316	70 000
— 10	317	0,56	239	318	69 340
0	319	1,30	248	320	68 580
10	323	2,48	262	324	67 890
20	331	5,0	300	332	67 360
$t_h = 90^\circ$					
— 20	143	0,11	100	311	66 240
— 10	143	0,24	108	313	65 800
0	144	0,53	112	315	65 600
10	145	1,11	118	317	65 200
20	146	2,10	128	319	64 950

Tabelle IX.

Außenluft ganz — Austrittsluft  $\frac{1}{2}$  gesättigt.

$t_h = 30^\circ$					
— 20	8 064	6,15	5 765	7 070	178 300
— 10	8 347	14,36	6 240	7 316	142 500
0	10 173	39,37	8 580	8 916	135 580
10	16 700	128,76	14 190	14 639	143 000
$t_h = 40^\circ$					
— 20	4 237	3,22	3 027	3 980	122 980
— 10	4 424	7,61	3 300	4 070	115 200
0	4 878	18,84	3 870	4 484	109 180
10	5 988	67,9	4 840	5 520	106 060
20	10 416	154,0	9 000	9 585	115 360

Tabelle IX.

Temperatur der kalten Luft $t_a$	Gewicht der Luft l kg	Wasser in der Luft l. d. a kg	Volumen der kalten Luft $V_{1a}$	Volumen der heissen Luft $V_{1h}$	Kalorien $C_g$
$t_h = 50^\circ$					
— 20	2 364	1,75	1 690	2 304	101 840
— 10	2 415	4,13	1 807	2 353	97 060
0	2 551	9,86	2 000	2 486	92 850
10	2 824	21,67	2 300	2 752	89 940
20	3 533	62,3	3 005	3 443	89 600
$t_h = 60^\circ$					
— 20	1 312	0,90	916	1 247	87 460
— 10	1 329	2,28	995	1 263	84 690
0	1 368	4,26	1 067	1 300	82 300
10	1 443	11,10	1 177	1 371	79 700
20	1 607	23,7	1 366	1 527	78 220
$t_h = 70^\circ$					
— 20	719	0,54	514	830	77 890
— 10	725	1,24	542	836	76 340
0	735	2,83	574	848	74 820
10	758	5,83	615	875	73 480
20	800	11,8	698	923	72 250
$t_h = 80^\circ$					
— 20	363	0,28	258	480	71 100
— 10	364	0,62	273	484	70 240
0	366	1,41	295	488	69 460
10	372	2,85	328	496	68 800
20	382	5,63	325	508	68 260
$t_h = 90^\circ$					
— 20	140	0,11	100	222	66 240
— 10	140	0,24	109	222	65 900
0	141	0,54	110	224	65 650
10	141	1,08	114	224	65 300
20	143	2,08	125	228	65 020



Tabelle X.  
Außenluft ganz — Austrittsluft  $\frac{1}{4}$  gesättigt.

Temperatur der kalten Luft $t_a$	Gewicht der Luft l kg	Wasser in der Luft l. d. a kg	Volumen der kalten Luft $V_{1a}$	Volumen der heissen Luft $V_{1h}$	Kalorien $C_g$
$t_h = 30^\circ$					
— 20	16 949	12,78	12 540	14 700	264 145
— 10	20 408	34,78	15 290	17 700	257 380
0	35 714	138,20	27 950	31 000	318 830
$t_h = 40^\circ$					
— 20	9 346	7,12	6 670	8 420	196 960
— 10	10 300	17,72	7 700	9 300	183 200
0	13 158	50,88	10 250	11 789	228 500
10	27 000	207,9	22 000	24 366	257 875
$t_h = 50^\circ$					
— 20	5 291	3,83	3 780	5 000	151 560
— 10	5 580	9,81	4 170	5 280	141 360
0	6 329	24,40	4 950	6 030	137 650
10	8 333	63,9	6 500	7 930	122 770
20	20 400	298,0	17 300	19 245	202 050
$t_h = 60^\circ$					
— 20	3 425	2,60	2 460	3 420	127 700
— 10	3 546	6,09	2 650	3 546	121 650
0	3 831	14,81	2 985	3 825	117 460
10	4 348	33,2	3 530	4 340	114 850
20	6 579	97,2	5 590	6 570	128 900
$t_h = 70^\circ$					
— 20	1 937	1,47	1 390	2 050	103 990
— 10	1 976	3,39	1 595	2 090	99 300
0	2 062	7,83	1 675	2 180	96 870
10	2 237	17,15	1 950	2 472	94 900
20	2 660	39,3	2 260	2 812	95 000
$t_h = 80^\circ$					
— 20	1 221	0,93	872	1 400	91 500
— 10	1 236	2,10	924	1 410	89 050
0	1 269	4,87	995	1 440	86 740
10	1 333	10,26	1 090	1 512	84 900
20	1 473	21,7	1 251	1 561	84 100
$t_h = 90^\circ$					
— 20	752	0,57	539	940	84 890
— 10	758	1,30	567	947	80 600
0	769	3,01	600	961	78 700
10	794	6,10	700	991	77 700
20	840	12,4	714	1 050	77 200

Tabelle XI. (Siehe Seite 31.)

Luftgewicht und Volumen, das bei 760 mm Barometer und bei den  
Temperaturen  $-20$  bis  $+100^{\circ}$ , ganz,  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$  gesättigt,  
1 kg Wasserdampf enthält.

Tempe- ratur °C.	ganz gesättigt		$\frac{3}{4}$ gesättigt		$\frac{1}{2}$ gesättigt		$\frac{1}{4}$ gesättigt	
	kg	cbm	kg	cbm	kg	cbm	kg	cbm
— 20	1360	943	1739	1250	2632	1887	5000	3704
— 15	893	637	1111	820	1754	1282	3125	2500
— 10	581	435	769	571	1163	870	2250	1667
— 5	394	286	521	397	787	595	1570	1190
± 0	258	201	347	269	455	403	1000	806
5	181	144	242	192	364	287	735	575
10	130	105	173	140	260	211	521	420
15	93	77	124	103	189	156	389	308
20	67,6	57	91	76	136	114	271	227
25	49,5	43	68	58	100	86,6	200	172
30	36,4	32,5	48,8	43	74	65	150	130
35	27,3	25,2	37	34	58,8	50	114	101
40	20,4	19,5	28,5	26	42,6	39	87	78
45	15,3	15,2	21	20	32,2	30	66	61
50	11,5	12	16	16	24,6	24	51	48
55	8,7	9,6	13	12,7	18,9	19,2	40	38
60	6,5	7,6	9,2	10	14,5	15,2	33	31
65	4,85	6,2	7	8,2	11,3	12,3	23,8	24,6
70	3,57	5,0	5,3	6,7	8,7	10	19,1	20
75	2,58	4,1	3,95	5,5	6,8	8,2	15,1	16,4
80	1,80	3,39	3,1	4,7	5,2	6,8	12	13,7
85	1,19	2,80	2,0	3,7	3,95	5,6	9,4	11,2
90	0,7	2,34	1,43	3,1	2,94	4,7	7,5	9,3
95	0,31	1,96	0,9	2,6	2,16	3,9	5,9	7,8
100	—	1,65	0,36	2,1	1,43	3,3	4,5	5,6

Tabelle XII. (Siehe Seite 31.)

**Gewicht von 1 cbm Luft und Wasserdampf,**  
 der bei 760 mm Barometer, bei den Temperaturen — 20 bis + 100°  
 ganz,  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$  mit Wasserdampf gesättigt ist.

Temperatur	ganz gesättigt	$\frac{3}{4}$ gesättigt	$\frac{1}{2}$ gesättigt	$\frac{1}{4}$ gesättigt
° C.	kg	kg	kg	kg
— 20	1,3900	1,3908	1,3910	1,3913
— 15	1,3670	1,3672	1,3678	1,3684
— 10	1,3402	1,3407	1,3411	1,3416
— 5	1,3123	1,3195	1,3207	1,3208
± 0	1,2881	1,2897	1,2908	1,2912
5	1,2658	1,2662	1,2674	1,2687
10	1,2427	1,2440	1,2447	1,2453
15	1,2120	1,2177	1,2194	1,2212
20	1,1940	1,1961	1,1987	1,2014
25	1,1676	1,1713	1,1755	1,1778
30	1,1476	1,1511	1,1564	1,1607
35	1,1242	1,1308	1,1359	1,1419
40	1,0975	1,1054	1,1126	1,1198
45	1,0711	1,0812	1,0898	1,1004
50	1,0444	1,0586	1,0677	1,0809
55	1,0115	1,0243	1,0482	1,0711
60	0,9808	0,9974	1,0176	1,0368
65	0,9503	0,9717	0,9961	1,0206
70	0,9107	0,9384	0,9666	0,9956
75	0,8735	0,9050	0,9420	0,9780
80	0,8293	0,8759	0,9109	0,9550
85	0,7824	0,8141	0,8807	0,9344
90	0,7272	0,7790	0,8420	0,9060
95	0,6701	0,7300	0,8060	0,8830
100	0,6060	0,6605	0,7370	0,8405

**Tabellen XIII, XIV, XV.** (Siehe Seite 32.)

**Luftgewichte und Volumina — Austrittstemperaturen und Wärmearaufwand,**  
um 100 kg Wasser zu verdunsten bei Außentemperaturen  $-20, \pm 0,$   
 $+30^\circ$ , den Maximaltemperaturen  $35, 50, 70, 100, 130^\circ$ , wenn Außenluft  
und Austrittsluft ganz mit Wasserdunst gesättigt sind.

XIII. beim absoluten Druck von 1140 mm ( $1\frac{1}{2}$  Atm. abs.)

XIV. - - - - 500 - } Luftverdünnung.  
XV. - - - - 250 - }

(Nur Vorwärmung.)

Tabelle XIII.

Außenluft und Austrittsluft ganz gesättigt.

Druck im Trockenraum  $q = 1140$  mm ( $\frac{1}{2}$  Atm. Überdruck).

1 Aufsientemperatur der Luft $t_a$	2 Temperatur der Luft beim Austritt $t_n$	3 Gewicht der trockenen Luft l kg	4 Gewicht der Feuchtigkeit in der Luft l $d_a$ kg	5 6 7 Volumen der Luft			8 Wärmearaufwand zum Erhitzen der Luft C <sub>g</sub> Kalorien
				beim Eintritt $V_{1a}$ cbm	nach der Erhitzung $V_{1h}$ cbm	beim Austritt $V_{1n}$ cbm	
Maximaltemperatur $t_h = 35^\circ$ C.							
- 20	16,5	14 300	10,91	10 280	8 318	7 665	187 000
± 0	19,75	17 240	66,6	12 464	10 077	9 860	144 410
+ 30	—	—	—	—	—	—	—
Maximaltemperatur $t_h = 50^\circ$ C.							
- 20	22	9 430	7,2	6 782	5 760	5 341	157 010
± 0	25	10 500	40,6	7 591	6 443	5 947	125 650
+ 30	39,75	25 000	687,6	22 385	15 920	14 750	125 540
Maximaltemperatur $t_h = 70^\circ$ C.							
- 20	28	6 235	4,75	4 480	4 039	3 554	131 470
± 0	30,75	6 666	25,8	4 819	4 339	3 933	111 650
+ 30	43,75	9 260	257,8	8 292	6 251	5 538	92 960
Maximaltemperatur $t_h = 100^\circ$ C.							
- 20	36	4 085	3,1	2 935	2 904	2 395	116 604
± 0	37,5	4 180	16,2	3 022	2 986	2 849	100 100
+ 30	47,5	4 760	130,9	4 261	3 527	2 856	83 300
Maximaltemperatur $t_h = 130^\circ$ C.							
- 20	41,5	2 930	2,22	2 014	2 230	1 758	104 750
± 0	42,5	3 000	11,61	2 170	2 294	1 840	93 210
+ 30	51	3 205	88,14	2 870	2 543	1 955	80 200

Tabelle XIV.

Außenluft und Austrittsluft ganz gesättigt.  
 Druck im Trockenraum  $q = 500 \text{ mm}$  ( $= 260 \text{ mm Vakuum}$ ).

1	2	3	4	5 6 7			8
Außentemperatur der Luft $t_a$	Temperatur der Luft beim Austritt $t_n$	Gewicht der trockenen Luft l kg	Gewicht der Feuchtigkeit in der Luft l $d_a$ kg	Volumen der Luft			Wärmeaufwand zum Erhitzen der Luft C g Kalorien
				beim Eintritt $V_{1a}$ cbm	nach der Erhitzung $V_{1h}$ cbm	beim Austritt $V_{1n}$ cbm	

Maximaltemperatur  $t_h = 35^\circ \text{ C}$ .

- 20	8,75	10 000	7,63	7 184	13 260	12 662	130 790
$\pm 0$	11,25	10 950	42,4	7 916	14 588	12 900	91 756
+ 30	25,2	25 000	687,5	22 385	34 557	34 065	31 385

Maximaltemperatur  $t_h = 50^\circ \text{ C}$ .

- 20	13	7 143	5,44	5 135	9 941	9 085	118 930
$\pm 0$	15,5	7 559	35,2	5 465	10 585	10 400	90 500
+ 30	27,33	11 000	302,5	9 850	15 962	15 135	55 240

Maximaltemperatur  $t_h = 70^\circ \text{ C}$ .

- 20	18	5 000	3,82	3 597	7 390	6 698	107 010
$\pm 0$	20,1	5 235	20,2	4 075	7 782	6 843	87 640
+ 30	30,25	6 250	171,8	5 596	9 630	8 825	62 800

Maximaltemperatur  $t_h = 100^\circ \text{ C}$ .

- 20	24	3 440	2,62	2 473	5 511	4 665	98 280
$\pm 0$	25,5	3 505	13,6	2 534	5 643	4 875	83 800
+ 30	33,75	3 816	104,9	3 417	6 376	5 264	66 920

Maximaltemperatur  $t_h = 130^\circ \text{ C}$ .

- 20	29,25	2 470	1,89	1 795	4 288	3 286	88 200
$\pm 0$	29,75	2 602	10,1	1 884	4 540	3 575	80 990
+ 30	36,75	2 700	74,25	2 418	4 888	4 150	74 360

Tabelle XV.

Außenluft und Austrittsluft ganz gesättigt.  
 Druck im Trockenraum  $q = 250$  mm (= 510 mm Vakuum).

1 Außentemperatur der Luft $t_a$	2 Temperatur der Luft beim Austritt $t_n$	3 Gewicht der trockenen Luft l kg	4 Gewicht der Feuchtigkeit in der Luft l $d_a$ kg	5 6 7 Volumen der Luft			8 Wärmeaufwand zum Erhitzen der Luft C g Kalorien
				beim Eintritt $V_{1a}$ cbm	nach der Erhitzung $V_{1h}$ cbm	beim Austritt $V_{1n}$ cbm	

Maximaltemperatur  $t_h = 35^\circ$  C.

- 20	1,5	7 874	6,0	5 660	20 875	20 152	108 515
± 0	3,75	8 403	32,5	6 082	22 414	20 543	70 350
+ 30	15,75	12 820	352,6	11 480	35 447	33 272	25 920

Maximaltemperatur  $t_h = 50^\circ$  C.

- 20	5,5	5 900	4,5	4 239	16 403	14 514	98 280
± 0	7,25	6 060	23,5	4 383	16 826	15 310	72 500
+ 30	17,75	8 130	223,57	7 280	23 512	21 010	40 820

Maximaltemperatur  $t_h = 70^\circ$  C.

- 20	9,5	4 340	3,31	3 120	12 817	11 480	92 880
± 0	11	4 464	17,2	3 230	13 241	11 500	74 760
+ 30	20,25	5 000	127,5	4 478	15 284	12 642	50 000

Maximaltemperatur  $t_h = 100^\circ$  C.

- 20	14,6	3 033	2,31	2 167	9 716	8 056	86 640
± 0	16	3 102	12	2 243	10 008	8 116	74 200
+ 30	23	3 280	90,2	2 937	10 905	9 144	57 470

Maximaltemperatur  $t_h = 130^\circ$  C.

- 20	18,75	2 381	1,8	1 711	8 260	6 362	75 050
± 0	19,75	2 385	9,2	1 724	8 299	6 240	74 100
+ 30	25,75	2 400	66	2 149	8 582	6 917	60 000

Tabelle XVI. (Siehe Seite 37.)

**Dampfgewichte und Volumina vor und nach der Erhitzung, um**  
bei den absoluten Drucken 148 bis 2660 mm

Temperatur innen: $t_n =$		60°	75°	90°	
Absoluter Druck: mm		148	288	525	
oder Vakuum: mm		612	472	235	
$t_h = 65^\circ \text{ C.}$	Dampfgewicht	D =	26 315	—	—
	Dampfvolumen vor } der nach } Erhitzung	$\left\{ \begin{array}{l} V_{dn} = \\ V_{dh} = \end{array} \right.$	201 528	—	—
			206 843	—	—
$t_h = 70^\circ \text{ C.}$	Dampfgewicht	D =	13 158	—	—
	Dampfvolumen vor } der nach } Erhitzung	$\left\{ \begin{array}{l} V_{dn} = \\ V_{dh} = \end{array} \right.$	101 245	—	—
			105 001	—	—
$t_h = 75^\circ \text{ C.}$	Dampfgewicht	D =	8 778	—	—
	Dampfvolumen vor } der nach } Erhitzung	$\left\{ \begin{array}{l} V_{dn} = \\ V_{dh} = \end{array} \right.$	67 630	—	—
			70 997	—	—
$t_h = 80^\circ \text{ C.}$	Dampfgewicht	D =	6 579	26 316	—
	Dampfvolumen vor } der nach } Erhitzung	$\left\{ \begin{array}{l} V_{dn} = \\ V_{dh} = \end{array} \right.$	52 954	111 054	—
			54 027	107 790	—
$t_h = 85^\circ \text{ C.}$	Dampfgewicht	D =	5 263	13 158	—
	Dampfvolumen vor } der nach } Erhitzung	$\left\{ \begin{array}{l} V_{dn} = \\ V_{dh} = \end{array} \right.$	40 714	56 316	—
			43 836	54 005	—
$t_h = 90^\circ \text{ C.}$	Dampfgewicht	D =	4 386	8 778	—
	Dampfvolumen vor } der nach } Erhitzung	$\left\{ \begin{array}{l} V_{dn} = \\ V_{dh} = \end{array} \right.$	34 224	38 097	—
			37 017	36 363	—
$t_h = 95^\circ \text{ C.}$	Dampfgewicht	D =	3 760	6 579	26 316
	Dampfvolumen vor } der nach } Erhitzung	$\left\{ \begin{array}{l} V_{dn} = \\ V_{dh} = \end{array} \right.$	29 448	28 948	63 527
			32 816	27 357	61 474

Tabelle XVI.

100 kg Wasser im Kreislauftrockenapparat ohne Luft zu verdunsten  
und den Erhitzungstemperaturen 65 bis 200° C.

Temperatur innen: $t_h =$	100°	110°	120°	130°	140°
Absoluter $\left\{ \begin{array}{l} \text{in mm} \\ \text{Druck} \end{array} \right. \text{ in Atmosph.}$	760 1	1064 1,4	1520 2,0	2090 2,75	2660 3,5
$t_h = 110^\circ \text{ C.}$	$D = 13\ 157$ $V_{dn} = 22\ 422$ $V_{dh} = 22\ 827$	— — —	— — —	— — —	— — —
$t_h = 120^\circ \text{ C.}$	$D = 6\ 579$ $V_{dn} = 10\ 876$ $V_{dh} = 11\ 447$	13 157 15 933 17 696	— — —	— — —	— — —
$t_h = 130^\circ \text{ C.}$	$D = 4\ 386$ $V_{dn} = 7\ 237$ $V_{dh} = 7\ 807$	6 579 7 967 9 079	13 157 10 315 11 605	— — —	— — —
$t_h = 140^\circ \text{ C.}$	$D = 3\ 473$ $V_{dn} = 5\ 730$ $V_{dh} = 6\ 321$	4 386 5 311 6 197	6 579 5 658 5 947	13 157 8 394 8 605	— — —
$t_h = 150^\circ \text{ C.}$	$D = 2\ 632$ $V_{dn} = 4\ 343$ $V_{dh} = 4\ 922$	3 473 4 206 6 174	4 386 3 772 4 057	6 579 4 197 4 408	13 157 6 684 6 842
$t_h = 160^\circ \text{ C.}$	$D = 2\ 193$ $V_{dn} = 3\ 618$ $V_{dh} = 4\ 145$	2 632 3 187 3 901	3 473 2 987 3 269	4 386 2 798 3 004	6 579 3 342 3 500
$t_h = 180^\circ \text{ C.}$	$D = 1\ 644$ $V_{dn} = 2\ 613$ $V_{dh} = 3\ 288$	1 879 2 275 2 912	2 193 1 886 2 173	2 632 1 679 1 887	3 473 1 764 1 939
$t_h = 200^\circ \text{ C.}$	$D = 1\ 299$ $V_{dn} = 2\ 143$ $V_{dh} = 2\ 715$	1 531 1 854 2 480	1 644 1 414 1 702	1 879 1 199 1 405	2 193 1 114 1 303



Tabelle XVII. (Siehe Seite 42.)

## Leistung von 1 kg Brennstoff beim

1	2	3	4	5	6
Zeile			Holz lufttrocken	Torf lufttrocken	Braunkohle erdig
1	1 kg Brennstoff besteht aus	C	0,396	0,42	0,504
2		H	—	0,014	0,018
3		H <sub>2</sub> O	0,594	0,516	0,378
4		Asche	0,01	0,05	0,10
5	Dazu zweimal theoretische Luftmenge	Luft $\left\{ \begin{array}{l} \text{kg} \\ \text{cbm (760 mm)} \end{array} \right.$	8,9	10,5	12,6
6		darin:	6,932	8,088	9,768
7		O 23,58 %	2,1	2,48	2,97
8		N 76,42 %	6,8	8,02	9,60
9		H <sub>2</sub> O $\frac{3}{4}$ gesättigt	0,071	0,084	0,101
10	Die Verbrennung ergibt: Gas und Wasser: Zeile: 12 + 16 + 17 + 18 + 20	C	0,396	0,42	0,504
11		+ O <sub>2</sub>	1,046	1,12	1,344
12		zusammen CO <sub>2</sub>	1,442	1,54	1,848
13		O	—	0,112	0,144
14		+ H <sub>2</sub>	—	0,014	0,018
15		zusammen H <sub>2</sub> O	—	0,126	0,162
16		O frei	1,054	1,248	1,482
17		N frei	6,8	8,02	9,63
18		Alles Wasser	0,665	0,726	0,641
19		Die Gase allein:	9,296	10,706	12,962
20		Gas und Wasser zusammen G:	9,99	11,43	13,6
21	Wärme WE; Temperatur $t_h$ und Volumen $V_g$ dabei. Spez. Wärme $\sigma_g$ , spez. Gew. $= s_g$ , Kalorien $c$ um 1 kg der Gase von 1 kg Stoff um 1° zu erhöhen	Wärme aus:			
22		C =	3200	3334	4072
		aus: H =	—	406	542
23		zusammen WE =	3200	3740	4614
24		dabei: $t_h =$	1230°	1291°	1330°
25		- $\sigma_g =$	0,256	0,253	0,251
26		- $c =$	2,557	2,892	3,413
27		Gas und Wasser dabei: $s_g =$	0,98	1,042	1,046
28		nur Gas dabei: $s =$	1,073	1,076	1,066
29	- $V_g =$	43,42	48,62	59,06	

Tabelle XVII.

## Trocknen durch direkte Feuergase.

7	8	9	10	11	12
Sinterkohle	Backkohle	Sandkohle	Anthrazit	Koks	Holzkohle
0,704	0,766	0,796	0,877	0,92	0,88 kg
0,031	0,041	0,041	0,031	—	0,02 -
0,235	0,163	0,133	0,072	—	0,08 -
0,03	0,03	0,03	0,02	0,05	0,02 -
18	20,2	20,8	22	19,2	20,8 kg
13,954	15,564	16,09	16,982	14,883	16,032 cbm
4,24	4,76	4,91	5,19	4,53	4,91 kg
13,76	15,44	15,89	16,81	14,67	15,89 -
0,144	0,1616	0,1614	0,176	0,1536	0,1664 -
0,704	0,766	0,796	0,877	0,92	0,88 kg
1,876	2,043	2,122	2,338	2,452	2,346 -
2,580	2,809	2,918	3,215	3,372	3,226 -
0,248	0,328	0,328	0,248	—	0,16 -
0,031	0,041	0,041	0,031	—	0,02 -
0,279	0,369	0,369	0,279	0,208	0,180 -
2,116	2,389	2,460	2,604	2,078	2,404 -
13,76	15,440	15,89	16,81	14,67	15,89 -
0,658	0,693	0,663	0,527	0,1536	0,426 -
18,456	20,628	21,268	22,629	20,05	20,520 -
19,11	21,331	21,93	22,15	20,27	20,94 -
5688	6189	6432	7087	7433	7110 Kal.
899	1179	1189	899	—	580 -
6587	7369	7621	7986	7433	7690 -
1380°	1380°	1400°	1400°	1511°	1429° C.
0,2484	0,2479	0,2483	0,2455	0,2422	0,2452
4,747	5,288	5,445	5,683	4,909	5,379 Kal.
1,049	1,044	1,050	1,056	1,075	1,113
1,076	1,062	1,063	1,066	1,082	1,122
85,34	95,66	99,02	104,0	95,57	99,70 cbm

Tabelle XVII.

1	2	3	4	5	6	
Zeile			Holz lufttrocken	Torf lufttrocken	Braunkohle erdig	
30	Das Gas aus 1 kg Stoff nimmt auf Wasser w bei Abgangstempera- turen $t_n$ von 100 und mehr Grad pro 1 kg Brennstoff	$t_n = 300^\circ$	<b>3,23</b>	<b>3,80</b>	<b>4,80</b>	
31		$t_n = 250^\circ$	<b>3,47</b>	<b>4,2</b>	<b>4,9</b>	
32		$t_n = 200^\circ$	<b>3,83</b>	<b>4,45</b>	<b>5,6</b>	
33		$t_n = 150^\circ$	<b>4,2</b>	<b>5,0</b>	<b>6,1</b>	
34		$t_n = 100^\circ$	<b>4,5</b>	<b>5,4</b>	<b>6,5</b>	
35	Bei Temperatur $t_n$ unter 100° (80,9—82°)	1 kg trockenes Gas erhält Wasser beim Eintritt in den Trockenraum =	$d_a = 0,0716$	0,0579	0,0495	
36		Abgangstempe- ratur: $t_n =$	81,8°	81,5°	81,5°	
37		Das Gas aus 1 kg Stoff nimmt dabei auf Wasser =	<b>4,91</b>	<b>5,69</b>	<b>6,94</b>	
38	Volumen $V_n$ der abgehenden Gase (G) und Dämpfe (D) aus dem Trockenraum bei der Temperatur 81—300° in cbm pro 1 kg Stoff	G	$t_n = 300^\circ$	16,58	17,8	21
39		D		8,95	10,31	13,02
40		G + D	$V_n$	25,53	28,11	34,02
41		G	$t_n = 250^\circ$	15,13	16,42	19,2
42		D		8,67	10,37	12,09
43		G + D	$V_n$	23,80	26,79	31,29
44		G	$t_n = 200^\circ$	13,0	14,52	17,4
45		D		8,48	9,85	12,4
46		G + D	$V_n$	21,48	24,37	29,8
47		G	$t_n = 150^\circ$	12,23	13,13	15,5
48		D		8,2	9,8	11,95
49		G + D	$V_n$	20,43	22,93	27,45
50		G	$t_n = 100^\circ$	10,79	11,57	13,7
51		D		7,68	9,21	11,09
52	G + D	$V_n$	18,47	20,78	24,79	
53		$t_n = 81^\circ$	—	—	—	
54	G + D	$V_n$	18,12	21,80	24,64	

Tabelle XVII.

7	8	9	10	11	12
Sinterkohle	Backkohle	Sandkohle	Anthrazit	Koks	Holzkohle
<b>6,90</b>	<b>7,71</b>	<b>8,2</b>	<b>8,5</b>	<b>8,1</b>	<b>8,3 kg</b>
<b>7,6</b>	<b>8,34</b>	<b>8,8</b>	<b>9,1</b>	<b>8,6</b>	<b>8,8 -</b>
<b>8,1</b>	<b>9,1</b>	<b>9,6</b>	<b>9,9</b>	<b>9,4</b>	<b>9,6 -</b>
<b>8,8</b>	<b>9,83</b>	<b>10,3</b>	<b>10,7</b>	<b>10,1</b>	<b>10,4 -</b>
<b>9,5</b>	<b>10,6</b>	<b>11,1</b>	<b>11,6</b>	<b>10,8</b>	<b>11,2 -</b>
0,0357	0,0336	0,0314	0,0233	0,0076	0,020 kg
82°	81°	81°	81,9°	81°	80,9°
<b>10,65</b>	<b>11,096</b>	<b>11,45</b>	<b>11,90</b>	<b>11,13</b>	<b>11,57 kg</b>
29,6	33,15	33,94	35,88	30,21	33,56 cbm
18,72	20,99	22,36	23,07	21,99	22,53 -
48,32	54,14	56,20	58,95	52,10	56,09 -
27,01	30,27	30,91	32,49	27,59	30,61 -
18,76	20,79	21,73	22,47	21,23	21,73 -
45,77	51,06	52,64	54,96	48,82	52,34 -
24,43	27,38	27,99	29,39	24,95	27,72 -
17,94	20,15	21,26	21,93	20,82	21,26 -
42,37	47,53	49,25	51,32	45,77	48,98 -
21,85	24,48	25,04	26,28	22,32	24,79 -
17,24	19,21	20,19	20,97	19,79	20,38 -
39,09	43,69	45,23	47,25	42,11	45,17 -
19,26	21,59	22,08	23,17	19,68	21,86 -
16,21	18,08	18,93	19,79	18,42	19,11 -
23,47	39,67	41,01	42,96	38,10	40,97 -
—	—	—	—	—	—
36,75	38,85	39,12	40,37	36,66	39,00 -

Tabelle XVIII. (Siehe Seite 51.)

**Wärmeabgabe glatter Heizkörper in 1 Stunde pro 1 qm an Luft,**  
 die mit 1—6 m Geschwindigkeit an ihnen vorbeistreichet, wenn die Außenluft  $t_a = -20$  bis  $+30^\circ$ , der Heizkörper  $100-140^\circ$ , die erhitzte Luft  $35-130^\circ$  hat.

1	2	3	4	5	6	7	8
Temperatur der erhitzten Luft $t_h$	Temperatur des Heizkörpers $t_c$	Temperatur der Außenluft $t_a$	Mittlere Temperatur-differenz $\vartheta_m$	Kalorien, die der glatte, rippenlose Heizkörper pro 1 qm und 1 Stunde abgibt, wenn die Luft ihn bestreicht mit der Geschwindigkeit von			
				1	2	4	6 Meter
35	100	- 20	87	1044	1392	1914	2432
35	100	$\pm 0$	81	972	1296	1782	2106
35	100	+ 15	74	808	1184	1622	1924
35	100	+ 30	68	816	1088	1496	1768
50	100	- 20	82	984	1312	1806	2132
50	100	$\pm 0$	72	864	1152	1584	1872
50	100	+ 15	67	804	1072	1474	1742
50	100	+ 30	59	708	944	1298	1534
70	100	- 20	65	760	1040	1450	1690
70	100	$\pm 0$	58	690	928	1276	1408
70	100	+ 15	53	636	848	1166	1378
70	100	+ 30	48	576	758	1059	1248
35	120	- 20	114	1368	1826	2508	1964
35	120	$\pm 0$	104	1248	1664	2288	1704
35	120	+ 15	94	1128	1504	2068	1444
35	120	+ 30	88	956	1398	1936	1288
50	120	- 20	101	1212	1616	2222	2626
50	120	$\pm 0$	94	1128	1504	2068	2444
50	120	+ 15	85	1020	1360	1870	2210
50	120	+ 30	78	936	1248	1716	2028
70	120	- 20	88	1056	1398	1936	1288
70	120	$\pm 0$	79	948	1264	1738	2054
70	120	+ 15	76	912	1216	1672	1976
70	120	+ 30	68	816	1148	1496	1768

Tabelle XVIII.

1	2	3	4	5	6	7	8
Temperatur der erhitzten Luft $t_h$	Temperatur des Heizkörpers $t_c$	Temperatur der Außenluft $t_a$	Mittlere Temperatur- differenz $\vartheta_m$	Kalorien, die der glatte, rippenlose Heizkörper pro 1 qm und 1 Stunde ab- gibt, wenn die Luft ihn bestreicht mit der Geschwindigkeit von			
				1	2	4	6 Meter
100	120	— 20	62	744	992	1342	1612
100	120	± 0	55	660	880	1210	1430
100	120	+ 15	52	624	832	1144	1352
100	120	+ 30	46	552	736	1012	1196
35	140	— 20	132	1584	2112	2904	3432
35	140	± 0	121	1452	1936	2662	3146
35	140	+ 15	113	1356	1808	2486	2938
35	140	+ 30	107	1284	1712	2354	2782
50	140	— 20	117	1500	1872	2534	2691
50	140	± 0	114	1305	1824	2508	2964
50	140	+ 15	106	1272	1696	2332	2756
50	140	+ 30	99	1108	1584	2178	2574
70	140	— 20	110	1322	1760	2420	2862
70	140	± 0	101	1212	1616	2222	2626
70	140	+ 15	95	1144	1520	2020	2470
70	140	+ 30	89	1068	1424	1958	2304
100	140	— 20	87	1044	1392	1914	2262
100	140	± 0	80	960	1280	1760	2080
100	140	+ 15	74	888	1184	1628	1924
100	140	+ 30	70	840	1120	1540	1820
130	140	— 20	54	648	871	1188	1323
130	140	± 0	49	588	790	1078	1200
130	140	+ 15	46	552	742	1012	1127
130	140	+ 30	42	504	677	922	1029

Tabelle XIX. (Siehe Seite 51.)

**Wärmeverluste der Trockenapparate in 1 Stunde pro 1 qm Mauerwerk, Holzwand und einfaches Fenster bei Temperaturdifferenzen zwischen Innenraum und Außenraum von 5–100° C.**

Temperatur- differenz zwischen Innen- und Außenraum $\vartheta_m$	Wandstärke der Mauern mm						Holz- wand	Ein- faches Fenster
	120	250	380	510	640	770		
° C.	Kalorien						Kalorien	
5	12	8,5	6,5	5,5	4,5	4	11	25
10	24	17	13	11	9	8	22	50
15	36	25,5	19,5	16,5	13,5	12	33	75
20	48	34	26	22	18	16	44	100
25	60	42,5	32,5	27,5	22,5	20	55	125
30	72	51	39	33	27	24	66	150
35	84	59,5	45,5	38,5	31,5	28	77	175
40	96	68	52	44	36	32	88	200
45	108	76,5	58,5	49,5	40,5	36	99	225
50	120	85	65	55	45	40	110	250
55	132	93,5	71,5	60,5	49,5	44	121	275
60	144	102	78	66	54	48	132	300
65	156	110,5	84,5	71,5	58,5	52	143	325
70	168	119	91	77	63	56	154	350
75	180	127,5	97,5	82,5	67,5	60	165	375
80	192	136	104	88	72	64	176	400
85	204	144,5	110,5	93,5	76,5	68	187	425
90	216	153	117	99	81	72	198	450
95	228	161,5	123,5	104,5	85,5	78	209	475
100	240	170	130	110	90	80	220	500

Additional material from *Das Trocknen mit Luft und Dampf*,  
ISBN 978-3-662-40765-3, is available at <http://extras.springer.com>

