

И 10  
9

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000298509

xxx

230



ÜBER  
**HEIZMATERIALIEN.**

**ANLEITUNG**

ZUR LEICHT AUSZUFÜHRENDEN ERMITTELUNG  
DES BRENNWERTHES VON HOLZ, HOLZKOHLEN, TORF,  
TORFKOHLEN, BRAUNKOHLEN, STEINKOHLEN, ANTHRACIT,  
KOKS, PETROLEUM, LEUCHTGAS, GENERATORGASEN

U. S. W.

SOWIE EINIGES ÜBER HEIZUNG.

VON

**G. K. STROTT,**

CHEMIKER UND LEHRER AN DER HERZOGL. BAUGWERKSCHULE  
IN HOLZMINDEN A. D. WESER.

8/2  
*D. II No 314*



HOLZMINDEN.

C. C. MÜLLER'SCHE BUCHHANDLUNG.

1876.

*St. 10*  
~~*B.*~~

xxx  
230

10.  
9.

31811



043

Akc. Nr. 4568/50

## Vorwort.

---

Zum Brennen der Ziegeln, des Kalkes, Cementes, zum Schmelzen und Bearbeiten der Metalle, Heizen von Räumen, Dampfkesseln u. s. w. sind Brennstoffe oder Heizmaterialien nothwendig. Der Werth dieser Brennstoffe hängt neben der Temperatur, die dadurch erzielt wird, hauptsächlich von der Wärmemenge ab, welche sie beim Verbrennen entwickeln, d. h. von der Brennkraft derselben.

Um auf eine einfache und für die Praxis genügende Weise den Werth eines im Handel vorkommenden Brennstoffs zu ermitteln und sich beim Ankaufe desselben vor Schaden hüten zu können, dazu ist in nachstehenden Zeilen eine Anleitung gegeben.

Bezüglich der Verwendung der durch die Heizstoffe entwickelten Wärme ist noch Einiges über die verschiedenen Heizungssysteme angefügt, was manchem der Leser erwünscht sein wird.



Der Verfasser.



# Inhalt.

Vorwort . . . . .	Seite III
-------------------	--------------

## Brennstoffe im Allgemeinen.

<b>Elemente und Verbindungen, welche beim Verbrennen der Brennstoffe in Betracht kommen</b> . . . . .	1
Sauerstoff . . . . .	2
Stickstoff . . . . .	3
Atmosphärische Luft . . . . .	3
Wasserstoff . . . . .	4
Wasser . . . . .	5
Kohlenstoff . . . . .	5
Kohlensäure . . . . .	6
Kohlenoxyd . . . . .	7
Sumpfgas . . . . .	7
Oelbildendes Gas . . . . .	8
<b>Verbrennung</b> . . . . .	9
<b>Werth der Brennstoffe</b> . . . . .	9
Bestimmung der Wärmemenge, welche die Brennstoffe beim Verbrennen entwickeln . . . . .	10
Verdampfungskraft der Brennstoffe . . . . .	12
Latente Wärme . . . . .	13
Temperatur, welche die Brennstoffe beim Verbrennen erzeugen . . . . .	14
Specifische Wärme . . . . .	15
Ausdehnung der Körper durch Wärme . . . . .	18
Geschwindigkeit der durch die Rostöffnungen einströmenden Luft und der aus dem Schornstein entweichenden Verbrennungsgase . . . . .	19

## Brennstoffe im Besondern.

I. Holz . . . . .	22
Brennwerth des Holzes . . . . .	24
II. Holzkohle . . . . .	29
Brennwerth der Holzkohle . . . . .	30
III. Torf . . . . .	32
Brennwerth des Torfes . . . . .	33

	Seite
IV. Torfkohle . . . . .	34
Brennkraft der Torfkohle . . . . .	34
V. Braunkohle . . . . .	35
Brennkraft der Braunkohle . . . . .	35
VI. Steinkohle . . . . .	36
Brennkraft der Steinkohle . . . . .	37
VII. Koks . . . . .	38
Brennkraft der Koks . . . . .	38
VIII. Anthracit . . . . .	38
Brennkraft des Anthracits . . . . .	39
Petroleum . . . . .	39
Leuchtgas . . . . .	40
Gicht- und Generatorgase . . . . .	40
Künstliche Brennstoffe (Briquettes) . . . . .	41

## Heizung.

Zimmerheizung . . . . .	42
Kaminheizung . . . . .	43
Ofenheizung . . . . .	43
Kanalheizung . . . . .	44
Luftheizung . . . . .	45
Wasserheizung . . . . .	46
Dampfheizung . . . . .	47
Gasheizung . . . . .	47
Rauchverbrennung . . . . .	48

## Brennstoffe im Allgemeinen.

Die wichtigsten Brennstoffe, welche zur Heizung, d. h. zur Entwicklung von Wärme für praktische Zwecke in Anwendung kommen, sind Holz, Holzkohle, Torf, Torfkohle, Braunkohle, Steinkohle, Anthracit, Koks, Petroleum, Leuchtgas und Generatorgase.

In allen diesen Heizmaterialien sind es Kohlenstoff und Wasserstoff, welche verbrennen und dabei Wärme entwickeln.

Der Wasserstoff verbrennt zu Wasser, der Kohlenstoff zu Kohlensäure oder Kohlenoxydgas; letzteres verbrennt zu Kohlensäure. Auch bilden sich aus Kohlenstoff und Wasserstoff Kohlenwasserstoffe, von denen die wichtigsten das Sumpfgas und das ölbildende Gas sind.

Der zur Verbrennung nöthige Sauerstoff wird von der atmosphärischen Luft geliefert.

### Elemente und Verbindungen, welche beim Verbrennen der Brennstoffe in Betracht kommen.

Um eine klare Einsicht in den Act der Verbrennung zu erhalten, betrachten wir zunächst die dabei thätigen Elemente und Verbindungen. Diese sind:

Sauerstoff  
Stickstoff  
Atmosphärische Luft  
Wasserstoff  
Wasser  
Kohlenstoff  
Kohlensäure  
Kohlenoxydgas  
Sumpfgas  
Oelbildendes Gas.

## Sauerstoff. $O = 16$ .

Derselbe ist ein durchsichtiges, farb-, geruch- und geschmackloses permanentes Gas von 1,105 specifischem Gewicht (Volumgewicht. Luft = 1).

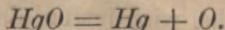
Er ist ein Bestandtheil der atmosphärischen Luft, denn diese besteht aus Stickstoff und Sauerstoff.

Verbrennt man eine Kohle an der Luft, so wird dadurch letzterer Sauerstoff entzogen, der sich mit dem Kohlenstoff chemisch verbindet. Schmelzen wir Zinn, so bildet sich auf dessen Oberfläche ein Häutchen aus Zinn und Sauerstoff bestehend.

Der Sauerstoff verbindet sich mit allen übrigen Elementen (Fluor ausgenommen), theils mit, theils ohne merkliche Wärmeentwicklung.

Die Verbindung des Sauerstoffs mit einem andern Element heisst Oxyd, der Vorgang dieser Verbindung Oxydation. Geht die Oxydation unter Licht- und Wärmeentwicklung vor sich, so wird sie Verbrennung genannt.

Um Sauerstoff darzustellen, erhitzt man Quecksilberoxyd in einer gläsernen Retorte und fängt das entweichende Gas (den Sauerstoff) in einem Glasgefäss über Wasser auf.



In Sauerstoff verbrennen alle Körper weit lebhafter als in der atmosphärischen Luft. (Schwefel, Eisen u. s. w.)

Ozon ist ein elektrisch gemachter Sauerstoff, der ein grösseres Verbindungsstreben äussert, als der gewöhnliche Sauerstoff.

**Aufgabe.** Was wiegt 1 Cubikdecimeter Sauerstoff, wenn 1 Cubikdecimeter Wasser bei  $+4^{\circ}C$ . 1 Kilo wiegt und die atmosphärische Luft 770 mal leichter als Wasser ist?

### Auflösung.

Da die atmosphärische Luft 770 mal leichter als Wasser ist, 1 Cubikdecimeter Wasser aber 1 Kilo wiegt, so wiegt 1 Cubikdecimeter Luft

$$\frac{1}{770} = 0,001298 \text{ Kilo}$$

und da der Sauerstoff 1,105 mal so schwer als Luft ist, so wiegt 1 Cubikdecimeter atmosphärische Luft

$$0,001298 \cdot 1,105 = 0,00143429 \text{ Kilo.}$$

## Stickstoff. N = 14.

Ist ein durchsichtiges, farb-, geruch- und geschmackloses, permanentes Gas von 0,972 specifischem Gewicht. Er ist ein Bestandtheil der atmosphärischen Luft. Verbrennt man unter einer, mit Wasser abgesperrten Glasglocke ein Stückchen Phosphor, so entzieht dieser der unter der Glocke befindlichen Luft den Sauerstoff und lässt den Stickstoff zurück.

In Stickstoff kann keine Flamme brennen und kein Thier athmen; er hat viele dem Sauerstoff entgegengesetzte Eigenschaften.

**Aufgabe.** Was wiegt ein Cubikdecimeter Stickstoff?

**Auflösung.**

Da nach Obigem der Cubikdecimeter atmosphär. Luft 0,001298 Kilo wiegt und der Stickstoff 0,972 mal so schwer als Luft ist, so wiegt ein Cubikdecimeter Stickstoff

$$0,001298 \cdot 0,972 = 0,001261656 \text{ Kilo.}$$

## Die atmosphärische Luft.

Dieselbe ist ein Gemenge von 21 Volumtheilen Sauerstoff und 79 Volumtheilen Stickstoff, oder 23 Gewichtstheilen Sauerstoff und 77 Gewichtstheilen Stickstoff. Ausserdem enthält die Luft wechselnde Mengen Wasserdampf, Kohlensäure, Ammoniak u. s. w. ( $\frac{1}{60}$ — $\frac{1}{100}$  Volumen Wasserdampf und ungefähr  $\frac{1}{2000}$  Volumen Kohlensäure.)

Es ist die atmosphärische Luft ein durchsichtiges, geruch- und geschmackloses, permanentes Gasgemenge. Ihr specifisches Gewicht ist = 1 gesetzt.

Die atmosphärische Luft liefert den Sauerstoff zum Verbrennen der Heizmaterialien.

**Aufgabe.** Ein Wohnraum sei 7 Meter lang, 5 Meter breit und 3 Meter hoch. Wie viel Sauerstoff mit Stickstoff enthält die Luft darin, dem Gewichte und Volumen nach?

**Auflösung.**

Der Wohnraum enthält an Luft:

$$7 \cdot 5 \cdot 3 = 105 \text{ Cubikmeter} = 105000 \text{ Cubikdecimeter.}$$

Da nun in 100 Volumen Luft 21 Volumen Sauerstoff sind, so sind 105000 Volumen

$$100 : 21 = 105000 : x. \quad x = 22050 \text{ Cubikdecimeter Sauerstoff}$$

und da ferner 1 Cubikdecimeter Sauerstoff  $0,001434$  Kilo wiegt, so wiegen 22050 Cubikdecimeter

$$22050 \cdot 0,001434 = 31,6197 \text{ Kilo.}$$

Ebenso findet man leicht den Gehalt der Luft an Stickstoff, und zwar dem Gewichte und Volumen nach.

### Wasserstoff. $H = 1$ .

Der Wasserstoff ist ein farblos-durchsichtiges, geschmack- und geruchloses, permanentes Gas von  $0,0692$  spezifischem Gewicht, ist also  $14\frac{1}{2}$  mal leichter als die atmosphärische Luft.

Bringt man Wasser, Zink und Schwefelsäure zusammen, so entweicht Wasserstoff, den man in einem Glasgefäß über Wasser auffangen kann.

Angezündet verbrennt der Wasserstoff mit bläulicher Flamme und entwickelt dabei eine bedeutende Hitze.

Bringt man in ein Gefäß 2 Volumen Wasserstoff und 1 Volumen Sauerstoff (oder 5 Volumen atmosphärische Luft), so erhält man ein Gemenge, welches angezündet mit heftiger Explosion verbrennt (Knallgas).

Leitet man dagegen aus Gasometern einen dünnen Strahl Sauerstoff gegen einen dünnen Strahl Wasserstoff und zündet die Gase an, so geht die Verbrennung so energisch vor sich, dass dabei die grösste Hitze entsteht, die überhaupt erzeugt werden kann (Flamme des Knallgasgebläses).

Hält man in die Flamme des Knallgasgebläses ein Stückchen Kalk, so wird dieses weissglühend und verbreitet ein blendendes Licht (Kalklicht).

**Aufgabe.** Was wiegt 1 Cubikdecimeter Wasserstoff?

#### Auflösung.

Das spezifische Gewicht des Wasserstoffs ist  $0,0692$ , und wiegt daher 1 Cubikdecimeter (da 1 Cubikdecimeter Luft =  $0,001293$  wiegt)

$$0,0692 \cdot 0,001293 = 0,0000898116 \text{ Kilo.}$$

## Wasser = $H_2O$ .

Dasselbe bildet sich beim Verbrennen des Wasserstoffs.

$$\begin{array}{r} 2 \text{ Volum} = 2 \text{ Gewichtstheile Wasserstoff und} \\ 1 \text{ »} = 16 \text{ »} \text{ » Sauerstoff geben} \\ \hline 2 \text{ Volum} = 18 \text{ Gewichtstheile Wasserdampf.} \end{array}$$

Reines Wasser ist farb-, geruch- und geschmacklos. Beim Abdampfen in einem Porzellanschälchen bleibt kein Rückstand. Unter  $0^\circ C$ . erscheint das Wasser fest als Eis, dessen spezifisches Gewicht =  $0,94$  ist. Beim Gefrieren dehnt sich das Wasser ungefähr um  $\frac{1}{10}$  aus, bei  $4^\circ C$ . hat es seine grösste Dichtigkeit, bei  $100^\circ C$ . und 760 Millimeter Barometerstand siedet das Wasser und geht in Dampf über, welcher ein spezifisches Gewicht von  $0,622$  hat. 1 Volum Wasser vergrössert sich, wenn es in Dampf übergeht um das 1700-fache.

**Aufgabe.** 1) Wie viel Wasserdampf entsteht beim Verbrennen von 4 Kilo Wasserstoff?

2) Wie viel atmosphärische Luft ist nöthig, um den Sauerstoff zur Verbrennung von 5 Kilo Wasserstoff zu liefern?

### Auflösung I.

Nach der chemischen Formel  $H_2O$  geben 2 Kilo Wasserstoff mit 16 Kilo Sauerstoff 18 Kilo Wasser, also geben 4 Kilo Wasserstoff beim Verbrennen  $\frac{4 \cdot 18}{2} = 36$  Kilo Wasserdampf.

### Auflösung II.

Zur Verbrennung von 5 Kilo Wasserstoff sind  $\frac{5 \cdot 16}{2} = 40$  Kilo Sauerstoff nöthig. Da nun in 100 Kilo atmosphärischer Luft 23 Kilo Sauerstoff enthalten sind, so sind zur Lieferung von 40 Kilo Sauerstoff:

$$\begin{array}{l} 23 : 100 = 40 : x \\ x = 173,9 \text{ Kilo Luft erforderlich.} \end{array}$$

## Kohlenstoff. $C = 12$ .

Kommt rein als Diamant, verunreinigt als Graphit, Holzkohle u. s. w. vor.

Die Holzkohle wird durch trockne Destillation des Holzes ge-

wonnen. Sehr reinen Kohlenstoff erhält man durch Verkohlen von Zucker.

Im Mittel hat die organische Kohle 1,5 spezifisches Gewicht. Angezündet verbrennt sie ohne Flamme zu Kohlensäure =  $CO_2$ , bei ungenügendem Luftzutritt aber zu Kohlenoxydgas =  $CO$ .

1	Volum. = 12	Gewichtstheile	Kohlendampf und
2	» = 32	»	Sauerstoff geben
2 Volum. = 44 Gewichtstheile Kohlensäure.			

1	Volum. = 12	Gewichtstheile	Kohlendampf und
1	» = 16	»	Sauerstoff geben
2 Volum. = 28 Gewichtstheile Kohlenoxyd.			

**Aufgabe.** 1) Wie viel Sauerstoff brauchen 3 Kilo reiner Kohlenstoff zum Verbrennen zu Kohlensäure, und wie viel atmosphärische Luft ist nöthig, diesen Sauerstoff zu liefern?

2) Wie viel Kohlensäure entsteht dadurch?

#### Auflösung I.

Nach der Formel für Kohlensäure =  $CO_2$  brauchen 12 Gewichtstheile Kohlenstoff zum Verbrennen zu Kohlensäure 32 Gewichtstheile Sauerstoff, also brauchen 3 Kilo Kohlenstoff

$$\frac{3 \cdot 32}{12} = 8 \text{ Kilo Sauerstoff,}$$

und dieser wird geliefert von

$$\begin{aligned} 23 : 100 &= 8 : x \\ x &= 34,7 \text{ Kilo atmosphärischer Luft.} \end{aligned}$$

#### Auflösung II.

Wenn nach obiger Formel für Kohlensäure 12 Kilo Kohlenstoff verbrennen, so verbinden sich damit 32 Kilo Sauerstoff und es entstehen  $32 + 12 = 44$  Kilo Kohlensäure, daher entstehen beim Verbrennen von 3 Kilo Kohlenstoff

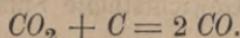
$$\frac{3 \cdot 44}{12} = 11 \text{ Kilo Kohlensäure.}$$

### Kohlensäure = $CO_2$ .

Dieselbe bildet sich beim Verbrennen des Kohlenstoffs oder kohlenstoffhaltiger Körper bei hinreichendem Luftzutritt, bei dem Athmungsprozesse der Menschen und Thiere u. s. w.

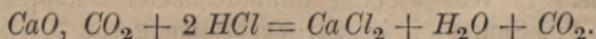
Die Kohlensäure ist ein farbloses Gas von schwach säuerlichem Geruch und Geschmack und 1,53 specifischem Gewicht. In ihr kann keine Flamme brennen und kein Thier leben.

Leitet man Kohlensäure durch ein eisernes, mit glühenden Kohlen angefülltes Rohr, so wird sie reducirt; es entsteht Kohlenoxydgas.



Man kann die Kohlensäure aus kohlensaurem Kalk gewinnen, indem man diesen mit verdünnter Salzsäure mischt und die entweichende Kohlensäure über Wasser auffängt.

Der hierbei vorgehende Prozess wird durch nachstehende Gleichung ausgedrückt:



**Aufgabe.** 1) Was wiegt 1 Cubikdecimeter Kohlensäure?

2) Wie viel Kohlensäure bildet sich beim Verbrennen von 5 Kilo Kohlenstoff? Wie viel Luft ist dazu nöthig?

(Diese Aufgaben lassen sich nach den vorausgegangenen Auflösungen leicht berechnen.)

### Kohlenoxyd = CO.

Entsteht, wenn Kohlen bei nicht hinreichendem Luftzutritt verbrennen, oder wenn Kohlensäure in Berührung mit glühenden Kohlen kommt.

Das Kohlenoxyd ist ein farb- und geruchloses, permanentes Gas von 0,96 specifischem Gewicht. Angezündet verbrennt es mit blauer Flamme zu Kohlensäure. Eingeathmet wirkt es sehr giftig (Kohlen- dunst).

**Aufgabe.** 1) Was wiegt 1 Cubikdecimeter Kohlenoxyd?

2) Wie viel atmosphärische Luft ist nöthig, um 2,5 Kilo Kohlenoxyd zu Kohlensäure zu verbrennen, und wie viel Cubikdecimeter Kohlensäure entstehen bei dieser Verbrennung?

### Sumpfgas = CH<sub>4</sub>.

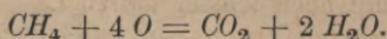
(Leichtes Kohlenwasserstoffgas.)

Dasselbe bildet sich überall, wo Pflanzenreste unter Wasser in Verwesung übergehen; daher im Schlamm von Sümpfen. Auch in Steinkohlengruben kommt dieses Gas vor, wo es mit Luft gemengt und angezündet heftige Explosionen verursachen kann. (Schlagende Wetter.)

Ferner entsteht dieses Gas bei der trocknen Destillation organischer Körper, z. B. der des Holzes, Torfes u. s. w.

$$\begin{array}{r} 4 \text{ Volum.} = 4 \text{ Gewichtstheile Wasserstoff und} \\ 1 \quad \text{»} \quad = 12 \quad \text{»} \quad \text{»} \quad \text{Kohlenstoff bilden} \\ \hline 2 \text{ Volum.} = 16 \text{ Gewichtstheile Sumpfgas.} \end{array}$$

Es ist dasselbe ein farb- und geruchloses Gas von 0,56 specifischem Gewicht. Angezündet verbrennt es mit schwacher, wenig leuchtender, gelblicher Flamme zu Kohlensäure und Wasser



**Aufgabe.** 1) Was wiegt 1 Cubikdecimeter Sumpfgas?

2) Wie viel Sauerstoff ist zur Verbrennung von 1 Kilo Sumpfgas nöthig, und wie viel atmosphärische Luft, um diesen Sauerstoff zu liefern?

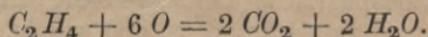
3) Wie viel Kohlensäure und Wasser entstehen beim Verbrennen von 50 Cubikdecimeter Sumpfgas?

**Ölbildendes Gas. (Aethylen) =  $C_2H_4$**   
(Schweres Kohlenwasserstoffgas.)

Dieses Gas bildet sich bei der trocknen Destillation von Steinkohlen, Holz, Fett, Harz und anderen organischen Körpern.

$$\begin{array}{r} 4 \text{ Volum.} = 4 \text{ Gewichtstheile Wasserstoff und} \\ 2 \quad \text{»} \quad = 24 \quad \text{»} \quad \text{»} \quad \text{Kohlenstoff geben} \\ \hline 2 \text{ Volum.} = 28 \text{ Gewichtstheile ölbildendes Gas.} \end{array}$$

Es ist ein farbloses, beim Einathmen giftig wirkendes Gas von 0,985 specifischem Gewicht. Angezündet verbrennt es mit stark leuchtender, weisser Flamme zu Kohlensäure und Wasser:



Bei ungenügendem Luftzutritt setzt es beim Verbrennen Kohle (Russ) ab. Gemengt mit atmosphärischer Luft explodirt es angezündet noch heftiger als Sumpfgas. Das ölbildende Gas ist ein Hauptbestandtheil des Leuchtgases.

**Aufgabe.** 1) Was wiegt 1 Cubikdecimeter ölbildendes Gas?

2) Wie viel atmosphärische Luft ist zum Verbrennen von 20 Cubikdecimeter ölbildendem Gas nothwendig, und wie viel Kohlensäure und Wasser entstehen dabei?

## Verbrennung.

Soll ein Körper verbrennen, so muss er vorher auf eine bestimmte Temperatur (Entzündungstemperatur) erwärmt und mindestens auf derselben erhalten werden.

Die Entzündungstemperatur ist bei verschiedenen Brennstoffen verschieden; während manche Körper sich bei niedriger Temperatur entzünden lassen, erfordern andere eine sehr hohe Temperatur zu ihrer Entzündung.

Kühlt man einen schon brennenden Körper unter seine Entzündungstemperatur ab, so hört er auf zu brennen. Uebergiesst man einen brennenden Körper mit kaltem Wasser, so wirkt dieses vermöge seiner Kälte abkühlend, und indem es sich über die ganze Körperoberfläche verbreitet, verhindert es auf kurze Zeit den Zutritt der Luft, geht dann in Dampf über, entzieht dem Körper dadurch wieder Wärme und bringt ihn zum Verlöschen.

Wenn ein Körper bei seinem Verbrennen Dämpfe oder brennbare Gase entwickelt, wie dies z. B. beim Holz der Fall ist, so bildet sich eine Flamme; ein Körper, bei dem dies nicht der Fall ist, kann nie mit Flamme brennen.

Das Leuchten einer Flamme hängt stets von einem festen Körper ab, der in fein vertheiltem Zustande in der Flamme schwebend und weissglühend erhalten wird.

Beim Verbrennen von Oel, Talg u. s. w. wird aus den, bei der hohen Temperatur gebildeten brennbaren Gasen Kohlenstoff in fein vertheiltem Zustande ausgeschieden, der am Rande der Flamme weissglühend wird und dieser ihr Licht ertheilt.

Die Wärmemenge, welche bei der Verbrennung eines Brennstoffs entbunden wird, kann gemessen werden durch die Wirkung, die sie auf einen andern Körper ausübt; sie ist in der Regel um so grösser, je grösser die Verwandtschaft des Sauerstoffs zu dem Körper ist, mit dem er sich verbindet und je mehr er sich mit diesem bei der Verbindung verdichtet. So ist z. B. die entwickelte Wärmemenge bei der Verbrennung des Kohlenstoffs zu Kohlensäure grösser als bei dessen Verbrennung zu Kohlenoxyd.

## Werth der Brennstoffe.

Der Werth eines Brennstoffs wird beurtheilt

1) nach der Wärmemenge, welche ein bestimmtes Gewicht des Brennstoffs beim Verbrennen entwickelt (absoluter Wärmeeffect);

2) nach der Wärmemenge, welche ein bestimmtes Volum des Brennstoffs entwickelt (specifischer Wärmeeffect);

3) nach der Temperatur, welche der Brennstoff beim Verbrennen liefert (pyrometrischer Wärmeeffect).

Den absoluten und specifischen Wärmeeffect bezeichnet man auch mit Brennkraft und den pyrometrischen mit Heizkraft.

Gewöhnlich bestimmt man den Werth eines Brennstoffs dadurch, dass man untersucht, wie viel Wärmeeinheiten 1 Kilo davon beim Verbrennen entwickelt (Brennkraft).

### Bestimmung der Wärmemenge, welche die Brennstoffe beim Verbrennen entwickeln (Brennkraft).

Die verschiedenen Brennstoffe geben beim Verbrennen verschiedene Wärmemengen.

Man nennt die Wärmemenge, welche nöthig, 1 Kilo Wasser um  $1^{\circ}$  Celsius zu erhöhen, eine Wärmeeinheit oder Calorie.

Um die Anzahl Wärmeeinheiten, welche 1 Kilo eines Brennstoffs beim Verbrennen liefert, auf praktischem Wege zu ermitteln, kann man auf folgende Weise verfahren.

Man verbrenne auf einem Roste unter einem mit Wasser gefülltem Gefäss (Kessel) aus dünnem Blech ein (oder einige) Kilo des Brennstoffs und beobachte, um wie viel Grad die Temperatur des vorher gewogenen Wassers gestiegen ist.

Angenommen, der Kessel enthalte 50 Kilo Wasser von  $10^{\circ}$  C. und erhalte dieses durch Verbrennen von 1 Kilo Brennstoff  $70^{\circ}$  C., so ist die Temperatur des Wassers um

$$70 - 10 = 60^{\circ} \text{ C.}$$

erhöht worden, also jedes Kilo um  $60^{\circ}$  und daher 50 Kilo um

$$50 \cdot 60 = 3000^{\circ}.$$

Demnach lieferte 1 Kilo des Brennstoffs beim Verbrennen 3000 Wärmeeinheiten, welche in das Wasser übergangen.

Bezeichnet man mit  $G$  das Gewicht des Wassers im Kessel in Kilo, mit  $t$  die ursprüngliche Temperatur desselben, mit  $t^1$  die Endtemperatur, so hat man für die Anzahl Wärmeeinheiten, welche 1 Kilo des Brennstoffs beim Verbrennen liefert:

$$W = (t^1 - t) G.$$

**Aufgabe.** Das Wasser im Kessel wiege 20 Kilo und habe eine Temperatur von  $12^{\circ}$  C., wie hoch wird die Temperatur dieses Wassers

werden, wenn 1 Kilo eines Brennstoffs beim Verbrennen unter dem Kessel 2000 Calorien entwickelt, die dem Wasser zugeführt werden?

Durch genaue Versuche und Beobachtungen hat man gefunden, dass

1 Kilo Wasserstoff zu Wasser verbrannt	34462	Wärmeeinheiten	liefert
1 » Kohlenstoff zu Kohlensäure verbr.	8080	»	»
1 » » » Kohlenoxyd »	2474	»	»
1 » Kohlenoxyd » Kohlensäure »	2403	»	»
1 » Sumpfgas zu Kohlensäure und Wasser verbrannt	13063	»	»
1 » ölbildendes Gas zu Kohlensäure und Wasser verbrannt	11857	»	»

Anmerkung. Nach anderen Beobachtungen entwickelt Kohlenstoff 8000 und Wasserstoff 34000 Wärmeeinheiten.

Die Wärmemenge, welche 1 Kilo Kohlenstoff beim Verbrennen zu Kohlenoxyd entwickelt, lässt sich annähernd berechnen, wenn man annimmt, dass beim Verbrennen des Kohlenstoffs sich vorerst Kohlenoxyd bildet und dieses dann zu Kohlensäure verbrennt.

Verbrennt 1 Kilo Kohlenstoff zu  $2\frac{1}{3}$  Kilo Kohlenoxyd, so entstehen dabei  $x$  Wärmeeinheiten.

Verbrennen diese  $2\frac{1}{3}$  Kilo Kohlenoxyd zu Kohlensäure, so liefern sie

$$2303 \cdot 2\frac{1}{3} = \text{rund } 5673 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Da nun 1 Kilo Kohlenstoff zu Kohlensäure verbrannt 8080 Wärmeeinheiten giebt, so müssen

$$\begin{aligned} 5673 + x &= 8080 \\ \text{also } x &= 2407 \text{ Wärmeeinheiten} \end{aligned}$$

beim Verbrennen von 1 Kilo Kohlenstoff zu Kohlenoxyd entstehen.

Die Wärmemenge, welche Sumpfgas und ölbildendes Gas beim Verbrennen liefern, kann ebenfalls annähernd berechnet werden.

In 16 Kilo Sumpfgas ( $CH_4 \cdot 12 + 4$ ) sind enthalten 12 Kilo Kohlenstoff und 4 Kilo Wasserstoff, also in 1 Kilo Sumpfgas

$$\begin{aligned} \frac{12}{16} &= \frac{3}{4} \text{ Kilo Kohlenstoff und} \\ \frac{4}{16} &= \frac{1}{4} \text{ » Wasserstoff.} \end{aligned}$$

$\frac{3}{4}$  Kilo Kohlenstoff geben beim Verbrennen zu Kohlensäure

$$\frac{3}{4} \cdot 8080 = 6110 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

$\frac{1}{4}$  Kilo Wasserstoff giebt beim Verbrennen zu Wasser

$$\frac{1}{4} \cdot 34462 = \text{rund } 8615 \text{ Wärmeeinheiten}$$

zusammen also 14725 Wärmeeinheiten.

Ferner sind

in 28 Kilo ölbildendem Gas ( $C_2H_4 \cdot 24 + 4$ ) 24 Kilo Kohlenstoff und 4 Kilo Wasserstoff enthalten, also in 1 Kilo ölbildendem Gas

$$\frac{24}{28} = \frac{6}{7} \text{ Kilo Kohlenstoff und}$$

$$\frac{4}{28} = \frac{1}{7} \text{ » Wasserstoff.}$$

$\frac{6}{7}$  Kilo Kohlenstoff geben beim Verbrennen zu Kohlensäure

$$\frac{6}{7} \cdot 8080 = \text{rund } 6982 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

$\frac{1}{7}$  Kilo Wasserstoff giebt beim Verbrennen zu Wasser

$$\frac{1}{7} \cdot 34462 = 4923 \text{ Wärmeeinheiten}$$

zusammen 11905 Wärmeeinheiten.

Anmerkung. Nimmt man an, dass Kohlenstoff 8000 und Wasserstoff 34000 Wärmeeinheiten entwickelt, so erhält man durch obige Berechnung für die Verbrennung des Kohlenstoffs zu Kohlenoxyd, so wie auch für die des Kohlenoxyds zu Kohlensäure 2400 Wärmeeinheiten; ferner für Sumpfgas 14500 und für ölbildendes Gas 11714 Wärmeeinheiten.

## Verdampfungskraft der Brennstoffe.

Zur Bestimmung des Brennwerthes der Heizstoffe kann man auch deren Verdampfungskraft ermitteln, d. h. die Wassermenge, welche durch das Verbrennen von 1 Kilo Brennstoff verdampft wird.

Es kann dies auf praktischem Wege geschehen, aber auch durch Berechnung.

Um 1 Kilo Wasser von  $100^\circ \text{C.}$  in Dampf von  $100^\circ \text{C.}$  zu verwandeln, sind 540 Wärmeeinheiten nöthig. (Latente Wärme.)

Um 1 Kilo Wasser von  $0^\circ \text{C.}$  in Dampf von  $150^\circ \text{C.}$  zu verwandeln, sind nach Regnault 652 Wärmeeinheiten nöthig.

Es können daher verdampfen

$$1 \text{ K. Wasserstoff beim Verbrennen zu Wasser} \cdot \frac{34462}{652} = 52,9 \text{ K. Wasser}$$

$$1 \text{ » Kohlenstoff beim Verbr. zu Kohlensäure} \cdot \frac{8080}{652} = 12,4 \text{ » »}$$

- Aufgaben.** Wie viel Wasser wird verdampft  
 durch Verbrennen von 1 Kilo Kohlenstoff zu Kohlenoxyd?  
 » » » 1 » Kohlenoxyd zu Kohlensäure?  
 » » » 1 » Sumpfgas und  
 » » » 1 » ölbildendem Gas?

## Latente Wärme.

Wird ein fester Körper flüssig oder ein flüssiger gasförmig, so braucht er dazu eine gewisse Wärmemenge, welche latente Wärme genannt wird.

Um 1 Kilo Eis von  $0^{\circ}$  C. in 1 Kilo Wasser von  $0^{\circ}$  C. zu verwandeln, braucht man so viel Wärme als nöthig wäre 79,2 Kilo Wasser von  $0^{\circ}$  C. in Wasser von  $1^{\circ}$  C. überzuführen. Die latente Wärme des Wassers ist also 79,2 Wärmeeinheiten.

1 Kilo Wasser von  $100^{\circ}$  C. braucht, um in Dampf von  $100^{\circ}$  C. verwandelt zu werden, 540 Wärmeeinheiten. Die latente Wärme des Wasserdampfes ist also 540 Wärmeeinheiten.

540 Wärmeeinheiten sind der Ausdruck für eine Wärmequantität, mittelst welcher man 540 Kilo Wasser in der Temperatur um  $1^{\circ}$  C. erhöhen oder 54 Kilo Wasser um  $10^{\circ}$  C. oder 5,4 Kilo Wasser von  $0^{\circ}$  —  $100^{\circ}$  C. erwärmen kann.

Die latente Wärme des Wasserdampfes findet man, wenn man 1 Kilo Wasserdampf von  $100^{\circ}$  C. in eiskaltes Wasser von bestimmtem Gewichte leitet und die Temperatur beobachtet, die dadurch hervorgerufen wird.

Mit 1 Kilo Wasserdampf von  $100^{\circ}$  C. kann man  $5\frac{2}{5}$  Kilo eiskaltes Wasser zum Sieden erhitzen, oder was dasselbe ist, mit derselben Wärmemenge, welche erforderlich ist, 1 Kilo siedendes Wasser in Dampf zu verwandeln, kann man  $5\frac{2}{5}$  Kilo eiskaltes Wasser zum Sieden bringen.

Ausserdem enthält 1 Kilo Wasserdampf von  $100^{\circ}$  C. noch die 100 Wärmeeinheiten, denen der Dampf seine Temperatur von  $100^{\circ}$  verdankt, und die man zum Unterschiede von der latenten Wärme freie Wärme nennt, sodass im Ganzen 640 Wärmeeinheiten in 1 Kilo Dampf von  $100^{\circ}$  C. vorhanden sind.

Wenn durch 1 Kilo Wasserdampf  $5\frac{2}{5}$  Kilo eiskaltes Wasser zum Sieden gebracht werden, so wird hierbei der Dampf selbst zu Wasser verdichtet, welches aber immer noch eine Temperatur von  $100^{\circ}$  C. besitzt, so dass man dann mit dem verdichteten Dampf zusammen  $6\frac{2}{5}$  Kilo Wasser von  $100^{\circ}$  C. erhält. 1 Kilo Wasserdampf von  $100^{\circ}$  C. enthält  $6\frac{2}{5}$  mal so viel Wärme als 1 Kilo Wasser von  $100^{\circ}$  C.; denn  $\frac{640}{100} = 6,4 = 6\frac{2}{5}$ .

## Temperatur, welche die Brennstoffe beim Verbrennen erzeugen.

(Pyrometrischer Wärmeeffect.)

Die Temperatur, welche beim Verbrennen eines Brennstoffs entsteht, ist abhängig von der Zeit, in welcher derselbe verbrennt, und dem Raume, in welchem die Verbrennung statt findet.

Je mehr Brennstoff in einer gegebenen Zeit verbrennt und je kleiner der Raum ist, in welchem die Wärme zur Entwicklung kommt, um so höher ist die Temperatur. Durch Anwendung von Gebläsen kann dieselbe gesteigert werden.

Auch hängt die Temperatur von der specifischen Wärme des Brennstoffes ab, d. h. von der Fähigkeit desselben, bei Aufnahme einer bestimmten Wärmemenge eine mehr oder weniger hohe Temperatur anzunehmen.

Ferner hängt die Verbrennungstemperatur von der zum Verbrennen des Brennstoffs zugeführten Luftmenge ab. Bei grossem Luftüberschuss wird zwar eine vollständige Verbrennung erreicht, aber die Menge der Verbrennungsgase nimmt zu und dadurch die Verbrennungstemperatur ab.

Die Verbrennungstemperatur ist auch um so niedriger, je mehr Wasser der Brennstoff enthält, weil dieses zu seiner Dampfbildung eine nicht geringe Menge Wärme bindet.

Auch ist die Verbrennung des Brennstoffs in der Praxis nie eine vollständige; es bildet sich anstatt der Kohlensäure auch Kohlenoxydgas, ein Theil des Kohlenstoffs scheidet sich als Russ ab, wodurch die Temperatur herabgestimmt wird.

In Sauerstoff verbrennt ein Brennstoff rasch und daher mit sehr hoher Temperatur.

Verbrennt man z. B. Kohlenstoff in Sauerstoff zu Kohlensäure, so entsteht eine Temperatur von  $9873^{\circ}\text{C}$ ., verbrennt man ihn dagegen in der atmosphärischen Luft, so entsteht selbst bei energischer Verbrennung höchstens eine Temperatur von  $2450^{\circ}\text{C}$ .

Wasserstoff lieferte beim Verbrennen in Sauerstoff eine Temperatur von  $4073^{\circ}\text{C}$ . Dagegen in der atmosphärischen Luft  $2080^{\circ}\text{C}$ . Kohlenstoff gab in der Luft zu Kohlenoxyd verbrannt  $1310^{\circ}\text{C}$ .

Kohlenoxyd zu Kohlensäure  $2121 - 2828^{\circ}\text{C}$ .

Kohlenwasserstoff =  $\text{C}_2\text{H}_4$   $2290^{\circ}\text{C}$ .

Kohlenwasserstoff =  $\text{CH}_4$   $1935^{\circ}\text{C}$ .

Beim Verbrennen der festen Brennstoffe werden, je nachdem die Verbrennung eine gewöhnliche oder eine intensive ist, oder nur die daraus gewonnenen brennbaren Gase zur Verbrennung kommen, verschiedene Temperaturen erzielt.

So z. B. beim Verbrennen

von trockenem Holz	1137—2130° C.
» Holz mit 20 Proc. Wasser	1104—1948° »
» trockenem Torf	1195—2258° »
» Torf mit 20 Proc. Wasser	1136—2109° »
» trockner Braunkohle	1237—2363° »
» Braunkohle mit 20 Proc. Wasser	1188—2220° »
» Steinkohle	1287—2488° »
» Holzkohle	1273—2478° »
» Steinkohlen-Koks	1273—2479° »
» Anthracit	1309—2514° »
» Gasförmigen Brennstoffen	1948—2514° »

Den pyrometrischen Wärmeeffect kann man durch das Pyrometer ermitteln.

Man kann zu dem Zwecke ein Platingefäss wählen, welches in eine enge Röhre ausläuft und dessen cubischer Inhalt bekannt ist. Dieses wird der zu messenden Temperatur ausgesetzt und darauf rasch in ein Gefäss mit Wasser geworfen.

Durch die Abkühlung zieht sich die in dem Gefäss befindliche Luft zusammen und gestattet dem Wasser den Eintritt durch die enge Röhre.

Aus der Menge des eingedrungenen Wassers lässt sich die Ausdehnung, welche die Luft erlitten, und daraus die Temperatur, der sie ausgesetzt gewesen, berechnen.

Das Platingefäss habe z. B. 30 Cubikcentimeter Inhalt und sich bei der Abkühlung mit 24 Cubikcentimeter Wasser gefüllt, so sind jetzt noch 6 Cubikcentimeter Luft darin.

Diese füllten in der Hitze den Raum von 30 Cubikcentimeter, hatten also eine Vergrößerung erfahren, welche das Vierfache ihres Volums betrug.

Wenn die Luft sich um  $\frac{11}{30}$  ihres Volums ausdehnt, so ist ihre Temperatur um 100° C. höher geworden, vergrößert sich die Luft um das Vierfache ihres Volums, so ist ihre Temperatur

$$\frac{11}{30} : 100 = 4 : x.$$

$$x = \frac{4 \cdot 100 \cdot 30}{11} = 1091^{\circ} \text{ C.}$$

höher als die, welche jetzt das Wasser hat.

### Specifiche Wärme.

Die verschiedenen Körper brauchen, um auf eine bestimmte Temperatur gebracht zu werden, verschiedene Wärmemengen.

Man nennt diejenige Wärmemenge, welche nöthig ist, 1 Kilo eines Körpers um  $1^{\circ}$  C. zu erhöhen, spezifische Wärme des Körpers.

1 Kilo Wasser braucht zur Erhöhung seiner Temperatur um  $1^{\circ}$  C. eine Wärmeeinheit.

Ist daher die spezifische Wärme des Wassers	= 1,000
so ist die des Sauerstoffs	= 0,218
» Stickstoffs	= 0,244
» Kohlenoxyds	= 0,242
der Kohlensäure	= 0,216
des Wasserdampfes	= 0,400
» Eises	= 0,500
der Holzkohle	= 0,241
des Eisens	= 0,114
» Zinns	= 0,096
» Kupfers	= 0,095
» Messings	= 0,094
» Zinks	= 0,056
» Bleies	= 0,031
» Platins	= 0,032

Mit Hilfe der spezifischen Wärme der Metalle, z. B. des Platins oder Eisens, kann man für die Praxis wichtige höhere Temperaturbestimmungen vornehmen.

Man setzt ein Metall (Platin oder Eisen) von bestimmtem Gewicht der zu messenden Temperatur aus, taucht es hierauf rasch in Wasser von bestimmtem Gewicht und ermittelter Temperatur und beobachtet dann die Erhöhung der Temperatur des Wassers. Es ist

$$T = \frac{P}{p \cdot c} (t^1 - t) + t$$

worin  $T$  die zu ermittelnde Temperatur,  $P$  das Gewicht des angewandten Wassers,  $c$  die spezifische Wärme des Platins oder Eisens,  $p$  deren Gewicht,  $t$  und  $t^1$  die Temperaturen des Wassers vor und nach dem Eintauchen bezeichnen.

Benützt man man zu dem Versuche ein Stück Eisen, so sei z. B.

$$\begin{aligned} p &= 3 \text{ Kilo} \\ c &= 0,114 \\ P &= 15 \text{ Kilo} \\ t &= 10^{\circ} \text{ C.} \\ t^1 &= 50^{\circ} \text{ C., so ist} \end{aligned}$$

$$T = \frac{15}{3 \cdot 0,114} (50 - 10) + 10 = 1762^{\circ} \text{ C.}$$

Um zu berechnen, welche Temperatur entsteht, wenn zwei Körper von gleicher Materie, deren Gewicht und Temperatur bekannt sind, gemischt werden, benützt man die Richmann'sche Formel:

$$T^{\circ} = \frac{MT + mt}{M + m}$$

worin  $M$  das Gewicht des einen Körpers und  $T$  seinen Temperaturgrad,  $m$  das Gewicht des andern Körpers und  $t$  dessen Temperaturgrad bezeichnen.

Werden z. B. 12 Kilo Wasser von  $10^{\circ}$  C. und 24 Kilo Wasser von  $20^{\circ}$  C. gemischt, so erhält die Mischung eine Temperatur von

$$T^{\circ} = \frac{12 \cdot 10 + 24 \cdot 10}{12 + 24} = 10^{\circ} \text{ C.}$$

Um die spezifische Wärme der Körper zu finden, kann man in eine abgewogene Menge Wasser von bekannter Temperatur einen abgewogenen, bis zu einer gewissen Temperatur erhitzten Körper bringen und die dadurch bewirkte Temperaturerhöhung des Wassers beobachten, aus welcher sich die spezifische Wärme des eingetauchten Körpers berechnen lässt.

Die Wassermenge wiege  $m$  Kilo und habe eine Temperatur von  $t^{\circ}$ .

Der eingelegte Körper wiege  $m^1$  Kilo und seine Temperatur sei  $t^1$ .

Die Temperatur des Körpers sowohl wie die des Wassers sei durch das Eintauchen auf  $T^{\circ}$  gekommen, so findet man die spezifische Wärme  $c^1$  des Körpers aus der Gleichung

$$m \cdot t + c^1 m^1 t^1 = (m + c^1 m^1) T.$$

Erhitzt man z. B. eine metallene, 1 Kilo wiegende Kugel auf  $90^{\circ}$ , wirft sie dann in 10 Kilo Wasser von  $12^{\circ}$ . Das Wasser und die Kugel erhalten dadurch eine Temperatur von  $16^{\circ}$  C., so ist

$$\begin{aligned} m^1 &= 1 \text{ Kilo} \\ t^1 &= 90^{\circ} \\ m &= 10 \text{ Kilo} \\ t &= 12^{\circ} \text{ und} \\ T &= 16^{\circ}. \end{aligned}$$

somit

$$10 \cdot 12 + c^1 \cdot 1 \cdot 90 = (10 + c^1 \cdot 1) 16$$

Das ist:

$$\begin{aligned} 120 + 90 c^1 &= 160 + 16 c^1 \\ 74 c^1 &= 40 \\ c^1 &= 0,52. \end{aligned}$$

## Ausdehnung der Körper durch Wärme.

Ist ein Körper bei 0° Wärme, z. B. 120 Centimeter lang, bei 100° 125 Centimeter, so hat er sich um  $\frac{5}{120}$  seiner ursprünglichen Länge ausgedehnt und die Zahl ( $\frac{5}{120}$ ), die dies angiebt, ist sein Ausdehnungscoefficient. Multiplicirt man diesen mit 3, so erhält man den Ausdehnungscoefficient für die cubische Ausdehnung. Feste Körper dehnen sich von 0°—100° regelmässig, d. h. proportional der Temperatur aus; bei höherer Temperatur dagegen nimmt die Ausdehnung stärker zu.

Die flüssigen Körper dehnen sich auch schon unter 100° C. unregelmässig aus. (Quecksilber macht eine Ausnahme.)

Die gasförmigen Körper dehnen sich in allen Temperaturen regelmässig aus und zwar bei je einem Grad der Temperaturerhöhung um etwa 0,00366 ihres ursprünglichen Volumens.

### Volumenausdehnung der Gase bei Erwärmung von 0° — 100° C.

Diese beträgt bei

atmosphärischer Luft	0,3665	des Volums
Wasserstoff	0,3667	» »
Stickstoff	0,3668	» »
Kohlensäure	0,3689	» »
Kohlenoxyd	0,3666	» »

u. s. w.

Es ist also die Ausdehnung der verschiedenen Gase nur wenig verschieden.

Die cubische Ausdehnung von 0°—1° beträgt bei

Kalkspath	0,000018	des Volums
hartem Marmor	0,000019	» »
Dolomit	0,000035	» »
rohem Gypsstein	0,000028	» »
Anhydrit	0,000030	» »
Granit	0,000026	» »
Syenit	0,000025	» »
Porphyr	0,000039	» »
Basalt	0,000030	» »
Thonschiefer	0,000050	» »
Sandstein	0,000038	» »
Ziegelstein	0,000016	» »

Die lineare Ausdehnung von  $0^{\circ}$ — $100^{\circ}$  beträgt bei

Stabeisen	0,00123504	seiner	Länge
Kupfer	0,0017182	»	»
Zink	0,00294167	»	»
Blei	0,00286667	»	»
Zinn	0,00228333	»	»

Quecksilber dehnt sich bei Erwärmung

von $0^{\circ}$ — $50^{\circ}$	um 0,009013	und
» $0^{\circ}$ — $100^{\circ}$	um 0,018153	
» $0^{\circ}$ — $200^{\circ}$	um 0,036811	

seines ursprünglichen Volums aus.

### Geschwindigkeit der durch die Rostöffnungen einströmenden Luft und der aus dem Schornstein entweichenden Verbrennungsgase.

Soll eine bestimmte Quantität eines Brennstoffs in gewisser Zeit auf einem Roste verbrennen, so muss die dazu nöthige Luftmenge in derselben Zeit durch die Rostöffnungen eintreten und das Gasgemenge aus dem Brennstoffe durch den Schornstein in derselben Zeit entweichen können.

Es betrage z. B. die freie Rostfläche, d. h. die Summe der Rostöffnungen 1 Quadratdecimeter Querschnitt.

Auf diesem Roste verbrennen in 1 Stunde 1 Kilo Kohlen (Holzkohlen).

Der lichte Querschnitt des Schornsteins sei ebenfalls 1 Quadratdecimeter und die Höhe desselben betrage 100 Decimeter.

Die Temperatur der durch den Schornstein ziehenden Verbrennungsgase sei im Mittel  $300^{\circ}$  C.

Es soll nun berechnet werden:

- 1) Wie viel Sauerstoff ist zum Verbrennen der Kohle (reiner Kohlenstoff) nöthig, und wie viel atmosphärische Luft, um diesen Sauerstoff zu liefern? (Die Luft habe  $0^{\circ}$  C. Temperatur.)
- 2) Mit welcher Geschwindigkeit muss die Luft in die Rostöffnungen eintreten?
- 3) Welche Veränderung erfährt die einströmende Luft bei der Verbrennung der Kohle?

- 4) Mit welcher Geschwindigkeit muss diese veränderte Luftmenge aus dem Schornstein entweichen?

Wir nehmen an, die Kohle verbrenne vollständig zu Kohlen-  
säure =  $CO_2$ .

12 Kilo Kohlenstoff brauchen  $2 \cdot 16 = 32$  Kilo Sauerstoff, daher  
braucht 1 Kilo Kohlenstoff

$$\frac{32}{12} = 2\frac{2}{3} \text{ Kilo Sauerstoff.}$$

Dies sind in Cubikdecimetern:

1 Cubikdecimeter atmosphärischer Luft wiegt  $\frac{1}{770} = 0,001298$  Kilo  
und da Sauerstoff  $1,105$  mal so schwer als atmosphärische Luft ist,  
so wiegt 1 Cubikdecimeter Sauerstoff

$$1,105 \cdot 0,001298 = 0,001434 \text{ Kilo,}$$

also sind  $2\frac{2}{3}$  Kilo Sauerstoff:

$$\frac{2\frac{2}{3}}{0,001434} = 1859 \text{ Cubikdecimeter.}$$

Um nun die Quantität Luft zu berechnen, welche nöthig ist,  
diese Sauerstoffmenge zu liefern, erinnere man sich, dass 100 Raum-  
theile Luft 21 Raumtheile Sauerstoff enthalten, also gehören zur  
Lieferung von 1859 Cubikdecimeter Sauerstoff

$$21 : 100 = 1859 : x.$$

$$x = 8852 \text{ Cubikdecimeter Luft.}$$

In der Praxis nimmt man das doppelte Quantum der absolut  
nöthigen Luftmenge, weil etwa nur die Hälfte des zur Verbrennung  
nöthigen Sauerstoffs zur Wirkung kommt.

Somit sind zum Verbrennen von 1 Kilo Kohlenstoff

$$2 \cdot 8852 = 17704 \text{ Cubikdecimeter Luft erforderlich.}$$

Um nun die Geschwindigkeit zu finden, mit der die Luft in  
die Rostöffnungen einströmen muss, damit 1 Kilo Kohle in 1 Stunde  
verbrenne, denken wir uns die 17704 Cubikdecimeter Luft als eine  
Säule mit 1 Quadratdecimeter Querschnitt, so muss diese in 1 Stunde  
durch die Rostöffnungen ziehen, also in 1 Minute ihr 60ster und in  
1 Secunde ihr  $60 \cdot 60 = 3600$  Theil.

Dieser ist, da die Säule 17704 Decimeter hoch ist,

$$\frac{17704}{3600} = 4,9 \text{ Decimeter Höhe.}$$

Die Luft muss also mit einer secundlichen Geschwindigkeit von 4,9 Decimeter die Rostöffnungen passiren.

Anmerkung. Bezeichnet man mit  $v$  die secundliche Geschwindigkeit der Luft, mit  $F$  die Grösse der freien Rostfläche und mit  $M$  die nöthige doppelte Luftmenge für 1 Stunde, so ist

$$v = \frac{M}{F \cdot 60 \cdot 60}$$

Was nun die Veränderung betrifft, welche die einströmende Luft bei der Verbrennung der Kohle erfährt, so verbinden sich  $2\frac{2}{3}$  Kilo = 1859 Cubikdecimeter Sauerstoff mit 1 Kilo Kohlenstoff zu  $3\frac{2}{3}$  Kilo Kohlensäure, und da sich dem Volumen nach 2 Volumen Sauerstoff mit 1 Volum Kohlendampf zu 2 Volumen Kohlensäure verbinden, so nehmen diese 2 Volumen Kohlensäure jetzt denselben Raum ein, den vorher der Sauerstoff eingenommen, und das Luftvolum bleibt somit ziemlich dasselbe, wie früher, also

$$= 17704 \text{ Cubikdecimeter};$$

sein Gewicht aber hat sich um 1 Kilo des Kohlenstoffs vergrössert.

Diese Verbrennungsluft (Verbrennungsgase), welche, wie hier angenommen wird, bei vollständiger Verbrennung aus Sauerstoff, Stickstoff und Kohlensäure bestehen, haben bei dem Acte der Verbrennung die Verbrennungstemperatur angenommen; auf ihrem Wege nach dem Schornsteine hin aber haben sie an den zu heizenden Körper (Kessel u. s. w.) Wärme abgegeben und ziehen nun mit einer bestimmten niederern Temperatur in den Schornstein ein. Untersucht man vermittelst eines Thermometers die Temperatur der Gase beim Eintritt in den Schornstein und, wenn es angeht, auch die beim Austritte derselben, und findet man so die mittlere Temperatur derselben =  $300^{\circ}$  C., so kann man annehmen, dass die Gase eine Ausdehnung von  $0^{\circ}$ — $300^{\circ}$  C. erfahren haben; denn die einströmende Luft nehmen wir mit  $0^{\circ}$  C. Temperatur an.

Es sei nun der Ausdehnungscoefficient dieses Gasgemenges =  $0,3665$ , d. h. wenn die Gase von  $0^{\circ}$ — $100^{\circ}$  erwärmt werden, so dehnen sie sich um  $0,3665$  ihres Volums aus.

Also dehnen sich die 17704 Cubikdecimeter Verbrennungsgase von  $0^{\circ}$ — $100^{\circ}$  erwärmt um

$$17704 \cdot 0,3665 \text{ Cubikdecimeter}$$

und von  $0^{\circ}$ — $300^{\circ}$  erwärmt um

$$3 \cdot 17704 \cdot 0,3665 = 19465 \text{ Cubikdecimeter.}$$

Also hat das ganze Gasgemenge jetzt einen Cubikinhalte von

$$17704 + 19465 = 37169 \text{ Cubikdecimeter.}$$

Da nun in 1 Stunde 1 Kilo Kohle verbrennt, so muss in derselben Zeit das Gasmengenge durch den Schornstein ziehen.

Nun hat der Schornstein 1 Quadratdecimeter lichten Querschnitt, demnach ist die Geschwindigkeit der Luft im Schornsteine

$$\frac{37169}{60 \cdot 60} = 10,3 \text{ Decimeter.}$$

Je höher die Temperatur der entweichenden Gase gegen die der äussern atmosphärischen Luft ist, um so geschwinder steigen sie in die Höhe, also um so besser der Zug.

## Brennstoffe im Besondern.

### I. Holz.

Das Holz besteht im Wesentlichen aus Pflanzenfaser ( $C_6H_{10}O_5$ ) und geringen Mengen Saftbestandtheilen als: Wasser, Eiweiss, Harz, Gummi, Säuren, Salze u. s. w.

Man unterscheidet weiches und hartes Holz. Zu den weichen Hölzern zählt man das Holz der Tanne, Kiefer, Fichte, Pappel, Linde, Weide, zu den harten Hölzern das der Eiche, Rothbuche, Weissbuche und Birke.

Beim Verbrennen des Holzes hinterlässt dasselbe mehr oder weniger Asche, die aus verschiedenen unorganischen Körpern (Kali, Kalk, Natron, Magnesia u. s. w.) besteht, welche dem Boden durch die Wurzeln entzogen sind und zur Ernährung des Baumes gedient haben.

Der Aschengehalt der Hölzer beträgt durchschnittlich 1,5 Procent, steigt aber bei manchen Hölzern bis über 3 Procent, während er in andern noch nicht 1 Procent beträgt.

Der Aschengehalt nachstehender bei 130° C. getrockneter Hölzer betrug:

bei der	Rothbuche	1,84	Procent
»	»	Eiche	1,65 »
»	»	Birke	1,14 »
»	»	Fichte	0,95 »
»	»	Tanne	1,02 »

Der Aschengehalt der Rinde und Blätter eines Baumes ist im-

mer grösser als der des Stammes. So z. B. fand man die verschiedenen Theile eines Baumes zusammengesetzt:

Die Blätter aus:

45,015	Kohlenstoff
6,971	Wasserstoff
40,910	Sauerstoff
7,118	Asche.

Die Stammrinde aus:

46,267	Kohlenstoff
5,930	Wasserstoff
44,755	Sauerstoff
2,657	Asche.

Das Stammholz aus:

48,925	Kohlenstoff
6,466	Wasserstoff
44,319	Sauerstoff.
0,296	Asche.

Je weniger hygroskopisches Wasser das Holz enthält, um so besser ist es zu Brennholz geeignet. Feuchtes Holz giebt nicht allein deshalb weniger Hitze als trocknes, weil ein Theil seines Gewichts aus einer nicht brennbaren Substanz (Wasser) besteht, sondern auch, weil ein bedeutender Theil der beim Verbrennen frei werdenden Wärme zur Verdampfung dieses Wassers verwendet wird.

Frisch gefälltes, grünes Holz enthält im Durchschnitt, wenn es im Herbst oder Winter gefällt wird, 37—48 Procent Wasser, im Frühjahr dagegen, z. B. im Monat April gefälltes Holz kann 45—56 Procent Wasser enthalten. Solches Holz hat 4—5 Monate nach dem Fällen noch ungefähr 30—35 Procent und 8—12 Monate nach dem Fällen noch 20—25 Procent Wasser. In diesem Zustande wird es dann lufttrocknes Holz genannt.

Durch längeres Liegen des Brennholzes an luftigen trocknen Orten kann dessen Wassergehalt auf 18, selbst bis auf 15 Procent sinken, und solches ganz lufttrocknes Holz hat dann einen weit höhern Brennwerth als feuchteres.

Bei künstlicher Austrocknung des Holzes hält dasselbe die letzten Antheile Wasser sehr hartnäckig zurück, so dass eine Temperatur von 120—130° C. nöthig ist, um vollständig entwässertes Holz zu erhalten.

Hölzer, welche fortwährend im Wasser liegen, nehmen nach und nach ein grösseres Gewicht an, als sie im saftreichsten Zustande besaßen. Man fand durch Versuche, dass Buchenholz, welches völlig lufttrocken ein specifisches Gewicht von 0,762 hatte, bei völliger Durchnässung 1,179 erhielt, während sein specifisches Gewicht im

frisch gefällten Zustande nur 0,98 war. Ein anderes Buchenholz hatte im frisch gefällten Zustande 0,98, im lufttrocknen 0,721 und im scharf getrockneten 0,56 specifisches Gewicht.

Bezüglich des Einkaufens des Brennholzes nach dem Volumen kommt es viel auf das Legen der Scheite an; es kann dabei viel oder wenig Zwischenraum entstehen. Bei geradem Scheitholze kann man  $\frac{2}{5}$  als leeren Zwischenraum annehmen, bei Stockholz doppelt so viel. Karmasch rechnet, dass man in eingeschlagenem Holze nur 66 Procent wirkliche Holzmasse und 34 Procent leeren Zwischenraum habe. Nach andern Beobachtungen beträgt die wirkliche Holzmasse 56 Procent. Von je 100 Cubikmetern aufgescheitetem Holze hat man bei Scheiten ungefähr 70 Cubikmeter, bei Knüppelholz 60, bei Stockholz 50 und bei Reissig 25 Procent wirkliche Holzmasse.

### Brennwerth des Holzes.

Um den Brennwerth des im Handel vorkommenden Holzes auf praktischem Wege zu ermitteln, verbrennt man eine gewisse Quantität desselben unter einem mit Wasser gefüllten Kessel aus dünnem Blech und beobachtet nun, um wie viel Grad die Temperatur des Wassers dadurch erhöht wird. Man kann aber auch, wenn die elementare Zusammensetzung des Holzes bekannt ist, die Brennkraft desselben durch Rechnung finden. Vorerst bestimme man den Gehalt des zu untersuchenden Holzes an hygroskopischem Wasser, indem man etwa 100 Gramm davon zerkleinert und bei 120° C. scharf austrocknet. Der Gewichtsverlust ist das Gewicht des verdunsteten Wassers.

Zur Bestimmung des Aschengehalts verbrenne man das scharf ausgetrocknete Holz zu Asche und wiege diese.

Kohlenstoff und Wasserstoff des Holzes bestimmt man durch die Elementaranalyse.

Anmerkung. Durch die Elementaranalyse erfahren wir den Gehalt der Brennstoffe an Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff. Um Kohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff zu bestimmen, führt man den Kohlenstoff in Kohlensäure, den Wasserstoff in Wasser und den Stickstoff in Ammoniak über. Zur Bestimmung des Kohlenstoffs und Wasserstoffs mengt man eine abgewogene Quantität des Brennstoffs mit der 20- bis 30fachen Menge Kupferoxyd und glüht das Gemenge. Dabei verbinden sich Kohlenstoff und Wasserstoff mit dem Sauerstoff des Oxyds zu Kohlensäure und Wasser. Leitet man diese Körper durch frisch geglühtes Chlorcalcium, so hält dieses das Wasser zurück, die Kohlensäure aber geht weiter und kann in concentrirte Kalilauge geleitet hier gebunden werden. Um den Stickstoff zu bestimmen, mengt man den Brennstoff mit Aetzkalk, welcher mit Kalilauge gelöscht wurde. Erhitzt man das Gemenge,

so entsteht Ammoniak, welches in Salzsäure geleitet Salmiak bildet, dessen Menge durch Abdampfen der Lösung erhalten wird. Aus dem gefundenen Gewicht des Wassers, der Kohlensäure und des Salmiaks wird die Menge Wasserstoff, Kohlenstoff und Stickstoff berechnet, welche in der angewandten Menge Brennstoff enthalten war. Gewöhnlich berechnet man hieraus die procentische Zusammensetzung. Wissen wir, dass der Brennstoff keines der übrigen Elemente enthält, so ist der etwa an 100 fehlende Rest Sauerstoff. Aus 0,315 Gramm organischer Substanz erhalte man z. B. beim Verbrennen mit Kupferoxyd 0,462 Gramm Kohlensäure, so enthält diese

$$44 : 12 = 0,462 : x$$

$$x = 0,126 \text{ Gramm Kohlenstoff.}$$

Ferner erhalte man 0,189 Gramm Wasser, so enthält dieses:

$$18 : 2 = 0,189 : x$$

$$x = 0,021 \text{ Gramm Wasserstoff.}$$

Mithin enthalten 100 Gramm der organischen Substanz:

$$\frac{0,126 \cdot 100}{0,315} = 40,00 \text{ Gramm Kohlenstoff}$$

$$\frac{0,021 \cdot 100}{0,315} = 6,67 \text{ Gramm Wasserstoff.}$$

Der Rest ist Sauerstoff, wenn wir wissen, dass der Brennstoff (z. B. Holzfaser u. s. w.) keines der andern Elemente enthält.

Wir haben daher:

40,00	Procent	Kohlenstoff
6,67	»	Wasserstoff und
53,33	»	Sauerstoff

in den untersuchten organischen Substanzen.

Die elementare Zusammensetzung des bei 120° C. ausgetrockneten Holzes ist im Durchschnitt:

Asche	1,0	Procent
Kohlenstoff	49,2	»
Wasserstoff	6,1	»
Sauerstoff	43,7	»

Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff bilden die verbrennliche Substanz im Holze.

Es wird angenommen, dass der Sauerstoff der Pflanzenfaser im Holze schon mit so viel Wasserstoff verbunden ist, als nöthig, damit Wasser zu bilden, und dass dieses chemisch gebundene Wasser beim Verbrennen des Holzes verdampft.

In obiger Zusammensetzung des Holzes ist nun an chemisch gebundenem Wasser enthalten:

Nach der chemischen Formel des Wassers =  $H_2O$  brauchen 16 Gewichtstheile Sauerstoff 2 Gewichtstheile Wasserstoff, um damit 18 Gewichtstheile Wasser zu bilden, also brauchen 43,7 Gewichtstheile Sauerstoff:

$$16 : 2 = 43,7 : x$$

$$x = 5,4 \text{ Gewichtstheile Wasserstoff}$$

zur Bildung von

$$43,7 + 5,4 = 49,1 \text{ Gewichtstheile Wasser.}$$

An Wasserstoff bleiben ungebunden oder frei

$$6,1 - 5,4 = 0,7 \text{ Gewichtstheile.}$$

Also ist obiges, scharf ausgetrocknetes Holz zusammengesetzt

aus	1,0	Procent	Asche
	49,2	»	Kohlenstoff
	0,7	»	freiem Wasserstoff und
	49,1	»	chem. geb. Wasser.

In 1 Kilo dieses Holzes sind also enthalten:

	0,010	Kilo	Asche
0,99 Kilo	}	0,492	» Kohlenstoff
verbrennliche		0,007	» freier Wasserstoff
Substanz.		0,491	» chem. geb. Wasser.

Die Heizkraft dieses Holzes findet man nun wie folgt:

1 Kilo Kohlenstoff giebt beim Verbrennen 8080 Wärmeeinheiten, also geben 0,492 Kilo Kohlenstoff

$$0,492 \cdot 8080 = 3975 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

1 Kilo Wasserstoff giebt beim Verbrennen 34462 Wärmeeinheiten, also geben 0,007 Kilo Wasserstoff

$$0,007 \cdot 34462 = 241 \text{ Wärmeeinheiten}$$

zusammen also

$$3975 + 241 = 4216 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Von diesen Wärmeeinheiten werden aber während des Verbrennens des Brennstoffs schon eine Anzahl verbraucht, die für den Heizzweck verloren gehen. Nehmen wir an, es werde 1 Kilo Holz auf einen Rost gelegt, auf welchem sich bereits brennendes Holz befindet, so muss dieses Kilo Holz, um sich entzünden zu können, vorerst auf die Verbrennungstemperatur gebracht werden. Die hierzu nöthige Wärmemenge entzieht das Holz dem schon brennenden Holze, aber auch ihm wird später die gleiche Wärmemenge durch frisch aufgelegtes Holz entzogen.

Ferner muss die zur Verbrennung nöthige, durch den Rost einziehende Luftmenge auf die Verbrennungstemperatur gebracht werden, wodurch dem brennenden Holze nochmals Wärme entzogen wird, und endlich braucht das chemisch gebundene Wasser zu seiner Verdampfung und Erhöhung auf die Verbrennungstemperatur wieder eine Anzahl Wärmeeinheiten.

Für die Praxis genügt es jedoch vollständig, nur die Wärmeeinheiten in Abzug zu bringen, welche das chemisch gebundene Wasser zur Erhöhung seiner Temperatur von  $0^{\circ}$ — $100^{\circ}$  C., zu seiner Verwandlung in Dampf von  $100^{\circ}$  C., und Erhöhung dieses Dampfes auf  $300^{\circ}$  C., d. h. der Temperatur, mit welcher der Dampf häufig in den Schornstein entweicht, gebraucht.

Da nun 1 Kilo Wasser von  $0^{\circ}$  C. auf  $100^{\circ}$  C. erwärmt 100 Wärmeeinheiten braucht, so brauchen obige  $0,491$  Kilo Wasser

$$100 \cdot 0,491 = 49 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Da ferner 1 Kilo Wasser von  $100^{\circ}$  C. zur Verwandlung in Dampf von  $100^{\circ}$  C. 540 Wärmeeinheiten braucht, so brauchen  $0,491$  Kilo Wasser

$$0,491 \cdot 540 = 265 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Und da endlich 1 Kilo Wasserdampf zur Erhöhung seiner Temperatur um  $1^{\circ}$  C.  $0,4$  Wärmeeinheiten nöthig hat, so haben  $0,491$  Kilo Dampf dazu

$0,491 \cdot 0,4$  Wärmeeinheiten nöthig, und um solche auf  $300^{\circ}$  C. also um  $200^{\circ}$  C. zu erhöhen,

$$0,491 \cdot 0,4 \cdot 200 = 39 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Demnach sind von obigen 4216 Wärmeeinheiten abzuziehen  $49 + 265 + 39 = 353$  Wärmeeinheiten und es bleiben der Kohle als Brennkraft

$$4216 - 353 = 3863 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Beim Verbrennen des getrockneten Holzes auf gewöhnliche Weise entsteht eine Temperatur von  $1137^{\circ}$  C. Enthält ein Holz aber 20 Procent Wasser (hygroskopisches), so entsteht eine Temperatur von  $1104^{\circ}$  C.

Es ist also bei 20 Procent Wassergehalt die Temperatur bei gewöhnlicher Verbrennung um  $1137 - 1104 = 33^{\circ}$  C. niedriger als bei wasserfreiem Holze, also bei 1 Procent Wassergehalt

$$\frac{33}{20} = 1,55^{\circ} \text{ C.}$$

Obige Zusammensetzung des ausgetrockneten Holzes enthält in 1 Kilo  $0,99$  verbrennliche Substanz (Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff), und diese entwickelt beim Verbrennen 3863 Wärmeeinheiten.

Die verbrennliche Substanz sowohl als auch der Aschengehalt ist in den verschiedenen Hölzern nur wenig verschieden, und braucht man daher bei Ermittlung der Brennkraft eines Holzes durch Austrocknen nur dessen Gehalt an hygroskopischem Wasser zu bestimmen.

### Beispiel.

Es soll der absolute Wärmeeffect (Brennkraft) eines Holzes bestimmt werden, welches 10 Procent hygroskopisches Wasser enthält. Dieses Holz enthält:

10 Procent Wasser, also  
90 » verbrennliche Substanz und Asche.

In obigem scharf ausgetrockneten Holze waren in 100 Theilen verbrennlicher Substanz und Asche 1 Theil Asche, also sind in 90 Theilen verbrennlicher Substanz und Asche

$$\frac{90}{100} = 0,9 \text{ Procent Asche.}$$

Das Holz enthält also

10,0 Procent hygroskopisches Wasser  
0,9 » Asche  
89,1 » verbrennliche Substanz,  
somit 1 Kilo dieses Holzes:

0,100 Kilo hygroskopisches Wasser  
0,009 » Asche  
0,891 » verbrennliche Substanz.

Es genügt jetzt, die Berechnung wie folgt vorzunehmen.

Oben gaben 0,99 Kilo verbrennliche Substanz 3863 Wärmeeinheiten, also geben 0,891 Kilo verbrennliche Substanz

$$0,99 : 3863 = 0,891 : x \\ x = 3476 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Hiervon werden abgezogen:

0,1 Kilo Wasser von 0°—100° C. zu erhöhen  
100 · 0,1 = 10 Wärmeeinheiten,  
0,1 Kilo Wasser zu verdampfen  
0,1 · 540 = 54 Wärmeeinheiten und  
0,1 Kilo Wasserdampf von 100° C. um 200° C. zu erhöhen  
0,1 · 0,4 · 200 = 8 Wärmeeinheiten.  
Zusammen 10 + 54 + 8 = 72 Wärmeeinheiten.

Also ist die Brennkraft des untersuchten Holzes  
3476 — 72 = 3404 Wärmeeinheiten.

### Aufgaben.

- 1) Ein Brennholz enthalte 30 Procent hygroskopisches Wasser; wie viele Wärmeeinheiten liefert 1 Kilo desselben beim Verbrennen?
- 2) Wie gross ist die Verdampfungskraft dieses Holzes? d. h. wie viel Wasser von 0° C. kann 1 Kilo dieses Holzes beim Verbrennen in Dampf von 150° C. verwandeln?
- 3) Wie viel atmosphärische Luft ist zum Verbrennen von 1 Kilo dieses Holzes nöthig?
- 4) Mit welcher Geschwindigkeit muss diese Luft durch die Rostöffnungen einziehen, wenn letztere zusammen 1 Quadratdecimeter betragen und das Holz in einer Stunde verbrennen soll?
- 5) Wie viel Kohlensäure bildet sich beim Verbrennen dieses Holzes dem Gewichte und Volumen nach?
- 6) Aus was bestehen die Verbrennungsgase und welchen Raum nehmen sie ein bei 300° und 760<sup>mm</sup> Druck?
- 7) Mit welcher Geschwindigkeit gehen diese Gase durch den Schornstein, wenn dieser eine lichte Querschnittsweite von 1,5 Quadratdecimeter hat?
- 8) Welche Temperatur wird beim Verbrennen dieses Holzes erzeugt?

---

## II. Holzkohle.

Die Holzkohle wird durch trockne Destillation des Holzes gewonnen. Erhitzt man lufttrocknes Holz in einer Retorte ohne Luftzutritt, so treten die Elemente (Sauerstoff mit Wasserstoff und Kohlenstoff) zu einfachern Verbindungen zusammen, die dampf- oder gasförmig entweichen, und es bleibt als Rückstand Kohle.

Beim Erhitzen des Holzes in eisernen Retorten entweicht zuerst das hygroskopische Wasser, dann Essigsäure, Theer und bei starker Erhitzung Kohlenwasserstoffe und Kohlenoxydgas. Bei niederer Temperatur treten Kohlenwasserstoffe und Kohlenoxydgas in nur geringer Menge auf, dagegen bei starker Erhitzung in grossen Quantitäten, weil dann Sauerstoff und Wasserstoff das Bestreben haben, mit dem glühenden Kohlenstoff Verbindungen einzugehen. Man hat gefunden, dass das bei verschiedenen Temperaturen verkohlte Holz eine um so geringere Menge von Kohlen erzeugte, je höher die Temperatur dabei gestiegen war. Bei der Meilerverkohlung kann man als Durchschnittsbetrag bei schlechter Leitung 15 Procent, bei gut geleiteter Verkohlung 20—24 Procent Holzkohle aus dem Holze erhalten.

Durch sehr rasches Verkohlen des Holzes erhält man nicht selten nur halb so viel Kohle, als man bei langsam geleiteter Operation erhalten hätte.

Bei der trocknen Destillation des Holzes in Retorten erhält man bei langsam geleiteter Erhitzung bis zum Rothglühen der Retorten durchschnittlich 27—28 Procent Kohlen; bei rasch ausgeführter Destillation dagegen (wenn z. B. das Holz in die schon glühenden Retorten gebracht wird) 15—16 Procent vom Gewichte des im lufttrocknen Zustande angewandten Holzes.

Die Ausbeute an Kohlen nach Volumprocenten beträgt bei der Verkohlung in gewöhnlichen Meilern 65—74 Procent vom Volum des verkohlten Holzes.

Man unterscheidet harte und weiche Holzkohle, je nachdem sie durch die Verkohlung von hartem oder weichem Holze erhalten wurde. Im Durchschnitt enthält eine lufttrockne Holzkohle 86 Procent Kohlenstoff, 4 Procent Asche und 10 Procent hygroskopisches Wasser. Die im Handel vorkommende Holzkohle kann aber bis 30 Procent hygroskopisches Wasser enthalten. An der Luft nämlich absorbirt die frische Kohle nach und nach 10—15 Procent Wasser. In Holzessigfabriken, wo man die Holzkohlen als Nebenproduct erhält, können sie beim Herausziehen aus den Cylindern mit so viel Wasser gelöscht werden, dass sie beim Verkaufe noch 20—30 Procent Wasser enthalten, ohne äusserlich feucht zu erscheinen. Es ist daher sehr anzurathen, bei Holzkohlen vor dem Ankaufe ihren Wassergehalt und Brennwerth zu prüfen, namentlich dann, wenn grosse Quantitäten davon gebraucht werden.

Das specifische Gewicht der Holzkohle ist:

Rothbuchenkohle = 0,187

Rothtannenkohle = 0,176

Eichenholzkohle = 0,155

Die trockne Holzkohle entzündet sich bei einer Temperatur von 300—400° C.

Die Asche der Holzkohle hat die Zusammensetzung des Holzes, aus welcher sie gewonnen wurde.

### Brennwerth der Holzkohle.

Soll eine Holzkohle auf ihren Brennwerth geprüft werden, so bestimmt man erst ihren Wassergehalt, dann ihren Aschengehalt.

Um den Wassergehalt zu finden, pulverisire man die zu prüfende Kohle, wiege davon 100 Gramm ab und trockne diese bei einer Temperatur von 120—130° C. so lange, bis kein Gewichtsverlust mehr wahrzunehmen ist. Der Gewichtsverlust ist dann das Gewicht

des verdampften Wassers. Angenommen dieser wäre 10 Gramm. Zur Bestimmung des Aschengehalts der Kohle glüht man die 90 Gramm entwässerte Kohle in einem Platintiegel (oder Thontiegel), den man vorher gewogen, und zwar so lange, bis alle Kohle zu Asche verbrannt ist. Angenommen, man habe auf diese Weise 3 Procent Asche erhalten, so wäre die Zusammensetzung der untersuchten Kohle:

Hyroskopisches Wasser	10 Procent
Asche	3 »
also Kohlenstoff	87 »

Da der Aschengehalt der verschiedenen Holzkohlen sehr wenig verschieden ist, so kann man das Ausglühen ersparen und dafür einen durchschnittlichen Aschengehalt annehmen.

Es sei nun die durchschnittliche Zusammensetzung einer ausgetrockneten, somit wasserfreien Holzkohle:

Asche	4 Procent
Kohlenstoff	96 »

so enthält 1 Kilo dieser Kohle:

0,04 Kilo Asche
0,96 » Kohlenstoff

und die Brennkraft derselben ist

$$0,96 \cdot 8080 = 7756 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Enthält z. B. eine Holzkohle 10 Procent hyroskopisches Wasser, so findet man ihre Brennkraft wie folgt.

Die Kohle ist zusammengesetzt aus

10 Procent hyroskopischem Wasser und
90 » Asche und Kohlenstoff,

oder 1 Kilo dieser Kohle enthält

0,1 Kilo hyroskopisches Wasser und
0,9 » Asche und Kohlenstoff.

In 1 Kilo der wasserfreien Kohle sind enthalten 0,04 Asche, also in 0,9 Kilo Kohle

$$0,9 \cdot 0,04 = 0,036 \text{ Kilo Asche.}$$

Die Kohle enthält also in 1 Kilo

0,100 Kilo hyroskopisches Wasser
0,036 » Asche und
0,864 » Kohlenstoff.

Die 0,864 Kilo Kohlenstoff geben beim Verbrennen

$$0,864 \cdot 8080 = 6981 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

0,1 Kilo Wasser braucht zur Erhöhung der Temperatur von  $0^{\circ}$  —  $100^{\circ}$  C.

$$0,1 \cdot 100 = 10 \text{ Wärmeeinheiten}$$

zur Verdampfung

$$0,1 \cdot 540 = 54 \text{ Wärmeeinheiten und}$$

zur Erhöhung der Temperatur dieses Wasserdampfes um  $200^{\circ} \text{C}$ .

$$0,1 \cdot 0,4 \cdot 200 = 8 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

$$\text{Zusammen } 10 + 54 + 8 = 72 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Also Brennkraft  $6981 - 72 = 6909$  Wärmeeinheiten.

**Aufgaben.** 1) Wie gross ist der Heizwerth einer Holzkohle, in welcher man 25 Procent hygroskopisches Wasser fand, und wie viel atmosphärische Luft braucht dieselbe zum Verbreunen zu  $\text{CO}_2$ ?

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss diese Luft durch die Rostöffnungen eintreten und mit welcher aus dem Schornstein entweichen, wenn die freie Rostfläche  $1,5$  Quadratdecimeter und der Schornstein  $1$  Quadratdecimeter lichten Querschnitt hat, die Kohle aber in einer Stunde verbrennen soll?

3) Wie gross muss die freie Rostfläche werden, wenn  $3,5$  Kilo obiger Kohle in einer Stunde verbrennen und die nöthige Luftmenge mit einer Geschwindigkeit von  $9$  Decimeter einzieht?

### III. Torf.

Der Torf ist ein Zersetzungsproduct verschiedener Sumpfpflanzen. Er ist häufig von Mineralstoffen durchdrungen, namentlich von Thon, Kalk, Eisenoxyd u. s. w.

Torfager oder Torfmoore befinden sich in solchen Gegenden, wo der Boden beständig durchnässt ist.

Der Aschengehalt des Torfes schwankt zwischen  $0,5$ — $50$  Procent; enthält ein Torf über  $30$  Procent Asche, so ist er schlecht zu nennen.

Die Torfasche enthält hauptsächlich Kalk, Eisenoxyd, Kieselsäure, Schwefelsäure und geringe Mengen Kali, Natron, Magnesia, Thonerde, Phosphorsäure u. s. w.

Der Wassergehalt des gewöhnlichen lufttrocknen Torfes variirt zwischen  $20$ — $30$  Procent, doch kann ein verkäuflicher Torf bis  $40$  Procent Wasser enthalten. Karmasch fand in Torf, der schon  $2$  Jahre in einem trocknen Raume aufbewahrt gewesen war, durchschnittlich  $16$ — $18$  Procent Wasser. Lufttrockner Presstorf enthält noch  $10$ — $20$  Procent Wasser.

## Brennwerth des Torfes.

Um den Brennwerth eines Torfes zu ermitteln, bestimme man vorerst den Wassergehalt durch Austrocknen einer abgewogenen Menge, dann den Aschengehalt durch Verbrennen der getrockneten Probe, und berechne dann die Brennkraft nach folgenden Angaben.

Die durchschnittliche Zusammensetzung eines bei 120—130° C. getrockneten Torfes beträgt für ein Kilo

	0,060	Kilo	Asche
0,940	}	0,386	» chemisch gebundenes Wasser
verbrennliche		0,013	» freier Wasserstoff
Substanz		0,541	» Kohlenstoff.

Die verbrennliche Substanz beträgt also in 1 Kilo des Torfes  
0,94 Kilo.

Berechnet man die Brennkraft dieses Torfes in derselben Weise, wie sie beim ausgetrockneten Holze berechnet wurde, so lassen sich die Brennwerthe aller Torfsorten leicht bestimmen.

### Aufgaben.

1) Wie gross ist die Brennkraft obigen ausgetrockneten (wasserfreien) Torfes.

#### Berechnung.

0,541 Kilo Kohlenstoff geben beim Verbrennen  
 $0,541 \cdot 8080 = 4371$  Wärmeeinheiten,

0,013 Kilo freier Wasserstoff geben  
 $0,013 \cdot 34462 = 448$  Wärmeeinheiten.

Zusammen 4819 Wärmeeinheiten.

Hiervon gehen ab:

für Erwärmung von 0,386 chemisch gebundenem Wasser von 0°—100° C.

$0,386 \cdot 100 = 38$  Wärmeeinheiten,

für Verwandlung dieses Wassers von 100° C. in Dampf von 100° C.

$0,386 \cdot 540 = 208$  Wärmeeinheiten,

für Erhöhung der Temperatur des Dampfes von 100°—300° C.

$0,386 \cdot 0,4 \cdot 200 = 30$  Wärmeeinheiten.

Zusammen: 276 Wärmeeinheiten.

Also ist die Brennkraft dieses Torfes

$$4819 - 276 = 4543 \text{ Wärmeeinheiten}$$

oder 0,94 verbrennliche Substanz dieses Torfes giebt 4543 Wärmeeinheiten, wonach sich die Brennkraft eines jeden Torfes mit bestimmtem Aschen- und Wassergehalt leicht berechnen lässt.

2) Wie gross ist die Brennkraft eines Torfes mit 25 Procent Asche und 18 Procent hygroskopischem Wasser?

3) Welche Temperatur entsteht beim Verbrennen dieses Torfes?

4) Wie viel Luft ist zum Verbrennen dieses Torfes nöthig?

5) Wie gross muss die freie Rostfläche sein, wenn 4 Kilo obigen Torfes in 1 Stunde verbrennen sollen und die dazu nöthige Luftmenge mit einer Geschwindigkeit von 10 Decimeter in die Rostöffnungen einzieht.

6) Mit welcher Geschwindigkeit müssen die Verbrennungsgase von obigen 3 Kilo Torf durch den Schornstein gehen, wenn dieser einen lichten Querschnitt von 1,5 Quadradecimeter hat?

#### IV. Die Torfkohle.

Dieselbe wird durch trockne Destillation des Torfes in Meilern oder eisernen Retorten erhalten.

Bei der Verkohlung des Torfes in Oefen erhält man dem Gewichte nach etwa  $\frac{1}{4}$ , dem Volumen nach  $\frac{1}{5}$  Torfkohle. Bei der Meilerverkohlung gewinnt man 25—30 Gewichts- und 30—50 Volumprocente an Torfkohlen. Nach Scherer besteht eine bessere Torfkohle aus 86 Procent Kohlenstoff, 10 Procent hygroskopischem Wasser und 4 Procent Asche; die schlechteste Kohle aus 34 Procent Kohlenstoff, 10 Procent Wasser und 56 Procent Asche. Es kann aber selbst eine sonst gute Torfkohle bis zu 40 Procent Wasser enthalten.

#### Brennkraft der Torfkohle.

Um eine Torfkohle auf ihren Brennwerth zu prüfen, bestimme man erst den Wassergehalt, dann den Aschengehalt. Hierauf berechne man die Anzahl Wärmeeinheiten, die der Kohlenstoffgehalt von 1 Kilo der untersuchten Torfkohle beim Verbrennen entwickelt.

**Aufgaben.** 1) Wie gross ist die Brennkraft einer Torfkohle mit 3 Procent Asche und 15 Procent hygroskopischem Wasser, und wie gross die einer Kohle mit 25 Procent Asche und 20 Procent Wasser?

2) Wie gross ist die Verdampfungskraft beider Kohlen?

## V. Braunkohle.

Die Braunkohlen sowohl als auch die Steinkohlen sind Lager von Bäumen, welche durch frühere Erdrevolutionen verschüttet und unter bedeutendem Druck eine allmähliche Zersetzung erlitten haben. Der Zersetzungsprocess ist bei der Braunkohle viel weiter vorgeschritten als beim Torf.

Der Aschengehalt einer guten Braunkohle ist im Durchschnitt 5—10 Procent; er kann aber bis zu 50 Procent vorkommen.

Im Wesentlichen besteht die Asche aus Kieselerde, Thonerde, Kalk, Magnesia, Eisen und Manganoxyd.

In frisch aus den Gruben geförderten Braunkohlen beträgt der Gehalt an hygroskopischem Wasser bis zu 50 Procent. An der Luft liegend verlieren sie 20—25 Procent Wasser und nach anhaltender Sonnenwärme vermindert sich dasselbe bis auf ungefähr 17 Procent.

Nicht selten enthält die Braunkohle Schwefelkies, wodurch sie zu manchem Zwecke untauglich wird.

### Brennkraft der Braunkohle.

Da also die Braunkohlen, welche im Handel vorkommen, einen bedeutenden Wasser- und Aschengehalt haben können, so liegt es im Interesse der Consumenten, sie auf ihren Brennwerth zu untersuchen.

Nachdem man auf praktischem Wege den Wasser- und Aschengehalt gefunden, berechnet man mit Hülfe nachstehender Angaben die Brennkraft der Kohle.

Im Durchschnitt enthielt eine bei 120° C. ausgetrocknete, also wasserfreie Braunkohle in 1 Kilo:

	0,093	»	Kilo Asche
	0,269	»	chemisch gebundenes Wasser
			(und etwas Stickstoff)
0,907 verbrennliche Substanz	0,019	»	freien Wasserstoff
	0,619	»	Kohlenstoff.

Die verbrennliche Substanz beträgt also in 1 Kilo der Kohle 0,907 Kilo, und kann somit die Berechnung der Brennkraft wie bei Holz u. s. w. vorgenommen werden.

**Aufgaben.** 1) Wie gross ist die Brennkraft obiger wasserfreier Braunkohle?

2) Wie gross ist die Brennkraft einer Braunkohle mit 25 Procent Wasser und 15 Procent Asche, und wie gross ihre Verdampfungskraft?

3) Wie viel atmosphärische Luft brauchen 10 Kilo Braunkohle von 30 Procent Wasser und 18 Procent Asche zur vollständigen Verbrennung?

Die Braunkohlen eignen sich meistens nicht zur Verkokung, weil sie beim Erhitzen in eine lockere, stückige Masse zerfallen.

---

## VI. Steinkohle.

Die Steinkohlen bilden die vollkommen veränderten Ueberreste einer vorhistorischen Pflanzenwelt, welche einer viel frühern geologischen Periode angehört, als diejenige, die das Material zur Bildung der Braunkohle geliefert hat.

Im Allgemeinen lassen sich Steinkohlen von Braunkohlen durch ihre schwarze Farbe unterscheiden, sowie auch dadurch, dass Kalilauge von der Steinkohle nichts auflöst, während Braunkohle damit eine dunkelbraune Lösung giebt, aus welcher Salzsäure die Humussäuren in Form dunkelbrauner Flocken ausscheidet.

Das specifische Gewicht der Steinkohlen ist ebenso wie das der Braunkohlen sehr verschieden und schwankt zwischen 1,2—1,5. Der Kohlenstoffgehalt getrockneter Steinkohlen beträgt 50—97 Procent, meistens 80—90 Procent, und der Aschengehalt guter Kohlen 5—8 Procent, kann aber über 30 Procent betragen. Die Asche der Steinkohle besteht aus 25—70 Procent Kieselerde, 20—40 Procent Thonerde, 2—10 Procent Eisenoxyd, 1—5 Procent Kalk, 1—3 Procent Magnesia u. s. w. Der Gehalt an hygroskopischem Wasser ist nicht bedeutend; man kann ihn im Mittel zu 5 Procent annehmen; jedoch kann er bis zu 15 Procent vorkommen.

Man unterscheidet Backkohle, Sinterkohle und Sandkohle.

Die Backkohle besitzt einen fettartigen Glanz, eine grauschwarze bis schwarze Farbe und unebenen Bruch. Beim Erhitzen

erweicht sie und entwickelt viel Gas. Ihr Pulver in einem Tiegel erhitzt schmilzt und bäckt zu einer gleichförmigen Masse zusammen.

Die Backkohle eignet sich sehr gut zur Leuchtgas- und Koksbereitung, auch zum Schmieden des Eisens, weil sie während des Brennens zusammensintert, die Gebläseluft zusammenhält und den Wärmeeffect steigert. An der Luft erhitzt brennt sie mit langer gelber Flamme, verlöscht aber leicht und verstopft den Rost.

Die Sinterkohle zerfällt beim Erhitzen leicht in kleine Stücke, die aber dann zusammensintern, ohne so zu erweichen, wie die Backkohle. Ihr Pulver in einem Tiegel erhitzt, vereint sich zu einer festen Masse, ohne eigentlich zu schmelzen.

Die Sandkohle entzündet sich sehweriger als die vorigen, liefert aber dann ein lebhaftes Feuer. Ihr Pulver bekommt, in einem Tiegel erhitzt, gar keinen Zusammenhang.

### Brennkraft der Steinkohle.

Um diese zu ermitteln bestimme man vorerst den Wasser- und Aschengehalt. Sodann benutze man nachstehende durchschnittliche Zusammensetzung einer bei  $120-130^{\circ}$  C. getrockneten Steinkohle. Diese enthielt in 1 Kilo

	0,815	Kilo Kohlenstoff
0,948	verbrennliche Substanz	$\left\{ \begin{array}{l} 0,098 \text{ » chemisch gebundenes Wasser (Stickstoff)} \\ 0,035 \text{ » freier Wasserstoff} \\ 0,052 \text{ » Asche,} \end{array} \right.$

worin die verbrennliche Substanz 0,948 Kilo beträgt.

**Aufgaben.** 1) Wie gross ist die Brennkraft dieser wasserfreien Steinkohle?

2) Wie gross ist die Brennkraft einer Steinkohle mit 7 Procent hygroskopischem Wasser und 14 Procent Asche?

3) Wie viel atmosphärische Luft brauchen 5,5 Kilo Steinkohlen mit 8 Procent Wasser und 15 Procent Aschengehalt zur vollständigen Verbrennung?

## VII. Koks.

(Aus Steinkohlen.)

Dieselben werden durch Verkokung der Steinkohlen in Meilern, Oefen oder in Retorten gewonnen. Gaskoks sind Koks, welche bei der Herstellung des Leuchtgases, also bei der trocknen Destillation der Steinkohlen, in den Retorten zurückbleiben.

Durch das Verkoken der Steinkohlen soll der Kohlenstoffgehalt derselben vergrössert und ein Theil des Schwefels des in den Steinkohlen häufig enthaltenen Schwefelkieses entfernt werden. Der Gehalt des Schwefels schwankt von 0—1,1 Procent, der Gehalt an Asche von 1—30 Procent. Die mittlere Zusammensetzung guter gewöhnlicher Koks ist 85—92 Procent Kohlenstoff, 3—5 Procent Asche, 5—10 Procent hygroskopisches Wasser. Es können aber die Koks bis 50 Procent Wasser enthalten, namentlich dadurch, dass man sie, wenn sie aus den Oefen, Retorten u. s. w. kommen, mit Wasser löscht.

Das specifische Gewicht der Koks liegt zwischen 0,3—0,5. Die Sandkohlen geben im Durchschnitt eine Ausbeute von 60 Gewichtsprocent, die Sinterkohlen geben 65 Procent und die Backkohlen 70 Procent Koks.

Koks ist ziemlich schwer zum Entzünden zu bringen, erfordert zum Fortbrennen einen starken Luftstrom und brennt, wenn er gut ist, nicht mit Flamme.

### Brennkraft der Koks.

Dieselbe kann, wenn Wasser- und Aschengehalt bestimmt sind, ähnlich wie die der Holzkohle ermittelt werden.

**Aufgabe.** Wie gross ist die Heizkraft einer Koks, welche 8 Procent Wasser und 10 Procent Asche enthält, und wie viel atmosphärische Luft braucht dieselbe zur vollständigen Verbrennung?

---

## VIII. Anthracit.

Der Anthracit ist eine der Steinkohle sehr ähnliche, harte, schwarze, glänzende Kohle von muscheligem Bruche. Er enthält 92—97 Procent Kohlenstoff; sein specifisches Gewicht ist 1,4—1,6.

Von der Steinkohle unterscheidet er sich dadurch, dass in demselben alle Kennzeichen eines vegetabilischen Ursprungs verwischt sind, dass er sich ferner nur sehr schwer entzünden lässt und langsam ohne Flamme und sichtbaren Rauch verbrennt. Wegen seines geringen Wasserstoffgehalts eignet er sich nicht zur Leuchtgasbereitung; dagegen benutzt man ihn, da er, wenn er einmal brennt, eine bedeutende Hitze entwickelt, zur Gewinnung des Eisens aus seinen Erzen, zur Sodafabrikation u. s. w. anstatt der Holzkohlen. Er kommt hauptsächlich in Nordamerika vor.

### Brennkraft des Anthracits.

Nach Bestimmung des Aschen- und Wassergehalts diene zur Ermittlung der Brennkraft, dass ein Kilo bei  $130^{\circ}$  C. getrockneter Anthracit im Mittel

0,028	Kilo Asche
0,033	» chemisch gebundenes Wasser
0,024	» freien Wasserstoff
0,915	» Kohlenstoff

enthält.

**Aufgabe.** Wie gross ist die Brennkraft dieses getrockneten Anthracits?

### Petroleum.

In neuerer Zeit verwendet man auch das Petroleum als Heizmaterial. Die Anwendung desselben zur Kesselfeuerung geschieht dadurch, dass man es durch ein Rohr in einen Behälter im Feuerungsraum fließen lässt, welcher zur Vermehrung der Oberfläche mit Koks, zerkleinerten Steinen u. s. w. gefüllt ist. Das oben zum Theil bedeckte Gefäss gestattet der Flamme durch mehrere Oeffnungen oder einen Schlitz Austritt. Ueber dem Niveau des Petroleum geht durch das Gefäss ein durchlöcheretes Rohr behufs Zuführung von Luft, Dampf oder Wasserstoffgas, um sich mit den Dämpfen des erhitzten Oeles zu vermischen. Nach Hess treibt man stark comprimirte Luft in Petroleum und lässt das Gemisch von Luft und Petroleumdampf durch Brenner ausfliessen.

Das Petroleum ist eine leicht bewegliche Flüssigkeit von 0,786—0,923 specifischem Gewicht bei  $0^{\circ}$  C. Wird es um  $1^{\circ}$  C. erwärmt, so dehnt es sich um 0,00072—0,000868 seines Volums aus.

Im Mittel enthält 1 Kilo reines Petroleum

0,86 Kilo Kohlenstoff und  
0,14 » Wasserstoff.

Die Brennkraft ist also

$$0,86 \cdot 8080 = 6948$$

$$0,14 \cdot 34462 = 4824$$

zusammen 11772 Wärmeeinheiten.

Nach Versuchen von Deville's ist die Brennkraft des Petroleums von Schwabweiler (Elsass) 10458 Wärmeeinheiten, und die des von Ostgalizien 10005 Wärmeeinheiten.

**Aufgabe.** Wie viel atmosphärische Luft ist nöthig, um 1 Kilo Petroleum zu verbrennen und wie viel Wasser und Kohlensäure entstehen bei dieser Verbrennung?

### Leuchtgas.

Dasselbe wird durch die trockne Destillation der Steinkohlen, des Holzes oder Torfes erhalten. Am häufigsten wird Leuchtgas aus Steinkohlen dargestellt. Zur Heizung muss dasselbe frei von Schwefelwasserstoff sein, damit sich beim Verbrennen keine schwefelige Säure entwickle. Man mischt dem Gas vor dem Verbrennen eine gewisse Menge atmosphärische Luft bei, am besten einen gleichen Raumtheil. Nimmt man zu viel Luft, z. B. auf 1 Volum Gas 3 Volumen Luft, so wird das Gemenge explosiv.

Im Wesentlichen enthält das gereinigte Leuchtgas aus Steinkohlen

10,0	Procent	ölbildendes Gas
41,0	»	Grubengas
40,0	»	Wasserstoff
6,5	»	Kohlenoxydgas
2,0	»	Sauerstoff und Stickstoff
0,5	»	Kohlensäure.

Das specifische Gewicht des Leuchtgases ist im Durchschnitt 0,4.

**Aufgabe.** Wie berechnet sich die Brennkraft des Leuchtgases aus obiger Zusammensetzung?

### Gicht- und Generatorgase.

Unter Gichtgasen versteht man die aus irgend einem Ofen (Schachtofen) unter gewöhnlichen Umständen entweichenden brennbaren Gase,

welche neben Stickstoff der Luft, Wasserstoff, Kohlenwasserstoff und Kohlensäure hauptsächlich Kohlenoxydgas enthalten.

Das Kohlenoxydgas entsteht dadurch, dass die beim Verbrennen des Kohlenstoffs sich bildende Kohlensäure beim Durchstreichen der darüber befindlichen, glühenden Kohlenschichten Sauerstoff abgibt und somit in Kohlenoxydgas übergeht.

In neuerer Zeit wendet man die Gichtgase zu Heizzwecken an.

Unter Generatorgasen versteht man brennbare Gase, welche in Schächtföfen (Generatoren) durch eine Art Verkohlung von festen Brennstoffen erzeugt werden. Auch hier ist der brennbare Bestandtheil hauptsächlich Kohlenoxydgas.

Scheerer fand die Zusammensetzung von Generatorgasen dem Gewichte nach

	Holz	Torf	Holzkohle	Koks
Stickstoff	53,2	63,1	64,9	64,8
Kohlenoxyd	34,5	22,4	34,1	33,8
Kohlensäure	11,6	14,0	0,8	1,3
Wasserstoff	0,7	0,5	0,2	0,1
	100,0	100,0	100,0	100,0

**Aufgabe.** Wie gross ist die Brennkraft der Generatorgase nach obigen Zusammensetzungen?

Anmerkung. Auch Wasserstoff allein verbrannt, giebt grosse Hitze; jedoch ist die Verbrennungstemperatur vom Wasserstoff geringer als die von Kohlenoxydgas. Die Verbrennungstemperatur vom Wasserstoff ist in Sauerstoff 6800° C., in der Luft 2600° C. Die Verbrennungstemperatur von Kohlenoxyd dagegen in Sauerstoff 7000° C., in der Luft 3000° C.

### Künstliche Brennstoffe (Briquettes, Kohlenziegel).

Bei der Verkohlung des Holzes und des Torfes, beim Lagern der Kohlen findet viel Abgang statt; in den Gewerben sammeln sich Sägespäne, gebrauchte Lohe, extrahirte Farbhölzer u. s. w., die sämmtlich ein vortreffliches Brennmaterial liefern, wenn sie in compacten Zustand versetzt werden. In England, Belgien und Frankreich hat man schon seit langer Zeit sein Augenmerk darauf gerichtet und namentlich auf französischen Eisenbahnen werden die Briquettes massenhaft angewandt. An vielen Orten Frankreichs vermischt man Kohlenklein mit dickem Lehmwasser und formt daraus Ziegeln. Ein Arbeiter kann täglich 700 bis 800 Stück solcher Ziegel von 157<sup>mm</sup> Länge und 52<sup>mm</sup> Stärke liefern. Gewöhnlich setzt man dem Steinkohlenklein 15—20 Procent Lehm zu.

Auch verwendet man als Bindemittel Gastheer und besonders Pech. Backkohlen können auch ohne Zusatz von Pech u. s. w. zu einer festen Masse vereinigt werden, wenn man sie in verschlossenen Gefässen bis auf etwa 300° C. erhitzt (wobei sie anfangen weich zu werden), und sie dann presst.

---

## Heizung.

Die Heizvorrichtungen, namentlich die für flammegebendes Brennmaterial, bestehen aus einem Raum, in welchem das Brennmaterial verbrennt (Brennraum) und einem andern, in welchem die entwickelte Wärme zur Nutzung kommen soll (Heizraum). Zuweilen ist für die genannten Zwecke, namentlich bei verkohltem Brennmaterial, nur ein Raum vorhanden, in welchem der verbrennende Brennstoff den zu erhaltenden Gegenstand (Tiegel, Erze u. s. w.) umgibt, wie dies z. B. in Schachtöfen und Gefässöfen mit Glühfeuer der Fall ist.

Zur Verbrennung der Brennstoffe dient entweder Gebläseluft oder Zugluft.

Die Gebläseluft wird gewöhnlich direct in verkohltes Brennmaterial eingeleitet; sie erzeugt die höchsten Temperaturen.

Durch die Zugluft, die durch Schornsteine hervorgebracht wird, verbrennt das Brennmaterial mehr oberflächlich, wenn man nicht durch sehr hohe Schornsteine die zur Verbrennung nöthige Intensität des Zuges herbeiführt, wobei aber neben höhern Anlagekosten grössere Wärmeverluste stattfinden.

Durch Erwärmung ist die Luft im Schornsteine ausgedehnt, dadurch ihr Volum dem Gewichte nach geringer, als ein gleich grosses Volum der äussern Luft, und dieser Gewichtsunterschied bedingt das Uebergewicht, den Druck oder die Geschwindigkeit, mit welcher die äussere Luft durch das Brennmaterial in den Schornstein eintritt.

Auch durch Anwendung von Exhaustoren, die die Verbrennungsproducte ansaugen, kann der Zug hervorgerufen werden.

## Zimmerheizung.

Die Methoden zur Zimmerheizung sind verschieden, je nachdem die beim Verbrennen der Brennstoffe entwickelte Wärme auf die

Umgebung (nämlich auf die Zimmerluft) übertragen wird. Oft erwärmt man sämtliche Räume eines Hauses durch ein und dieselbe Wärmequelle, durch eine sogenannte Centralheizung, von welcher es wieder verschiedene Systeme giebt, nämlich: Kanalheizung, Luftheizung, Wasserheizung bei hohem und bei niederm Drucke, Dampfheizung, combinirte Wasser- und Dampfheizung und die Heizung mit Gas.

### Kaminheizung.

Sie geschieht mittelst eines nach dem Zimmer hin offenen Herdes (Kamin) und erwärmt die Zimmerluft nur durch Ausstrahlung der Wärme des Feuers. Die zum Brennstoff nöthige Luft wird aus dem Zimmer zugeführt und entweicht direct in den Schornstein, ohne vorher durch Wärmeleitung Wärme an das Zimmer abzugeben. Die Kaminheizung ist daher die unvollkommenste Heizungsart und eignet sich vorzugsweise nur für Länder, welche mildes Klima oder Brennmaterial im Ueberfluss haben. In neuerer Zeit construirt man Ofenkamine, wobei der unmittelbare Abzug der erwärmten Luft aus dem Feuerraume in den Schornstein verhindert und eine Circulation der erwärmten Luft, ähnlich wie bei Zimmeröfen, hergestellt wird.

### Ofenheizung.

Hierbei kommt sowohl die strahlende als auch die leitende Wärme zur Wirkung. Der Wärmeverlust wird durch verlängerte Rauchkanäle verringert, wobei jedoch zu beachten ist, dass der Rauch mit einer Temperatur von mindestens  $80^{\circ}$  C. in den Schornstein entweichen muss, damit der erforderliche Zug stattfindet. Bei horizontaler Richtung der Züge wird die Wärme vollständiger abgegeben, als bei verticaler, weil sich bei ersterer die heissen Gase nach oben an die Zwischenwand drängen, während bei letzterer die heissesten Theilchen sich in der Mitte befinden und mit dem grössten Theil ihrer Wärme entweichen.

Bei Auswahl eines Ofenbaumaterials kommt es darauf an, ob man eine einmalige rasche Wärme oder eine andauernde mittlere erhalten will. Im erstern Falle fertigt man die Oefen von Gusseisen oder Eisenblech, im letztern von gebranntem Thon (Kacheln, Ziegel); auch verbindet man zweckmässig einen eisernen Feuerungsraum mit einem Thonaufsatz, wodurch in gewisser Hinsicht die Vortheile der eisernen und der Kachelöfen vereinigt werden. Von einem Ofen wünscht man oft rasche und anhaltende Erwärmung. Nach physi-

kalischen Gesetzen stehen beide Bedingungen einander gegenüber. Es muss deshalb in einem bestimmten Falle entschieden werden, welche der beiden Bedingungen vorzugsweise zu berücksichtigen ist.

Das Wärmeleitungsvermögen des Eisens ist etwa 33 mal so gross als das des gebrannten Thons. Also wird ein Ofen aus Eisen die in ihm entwickelte Wärme 33 mal so schnell an die Zimmerluft abgeben, als ein thönerner von gleichen Wandstärken. In letzterm wird die Wärmeleitung noch mehr vermindert, weil die Wandstärke gewöhnlich eine bedeutende ist.

Auch die Wärmecapacität für gleiche Gewichtstheile, somit auch die spezifische Wärme, ist beim Thon um Vieles grösser als beim Eisen. So z. B. genügt die von einem Centner Eisen bei der Abkühlung von 100° C. abgegebene Wärmemenge zur Erwärmung von ungefähr 4600 Cubikfuss Luft um 10° C., während die ebenso stark erwärmte Luftmenge von 1 Centner Thon unter denselben Umständen ungefähr doppelt so gross ist.

Oefen, welche von Innen geheizt werden, bewirken zugleich eine Lufterneuerung des Wohnraumes.

Bei den Füllöfen, welche in neuerer Zeit vielfach im Gebrauch sind, ziehen die Gase durch eine hohe Schicht glühenden Brennmaterials, wodurch eine möglichst vollkommene Verbrennung ohne erhebliche Kohlenoxydgasbildung stattfindet, indem die anfangs gebildete Kohlensäure nur wenig zu Kohlenoxydgas reducirt wird, weil es wegen rascher Ableitung der Wärme nach Aussen dazu im Innern an Temperatur fehlt.

Bei der Construction der Zimmeröfen hat man hauptsächlich darauf zu achten, dass 1) eine möglichst vollständige Verbrennung des Brennstoffs stattfindet; 2) eine zweckmässige Leitung der Verbrennungsgase, um den Ofen möglichst stark zu erwärmen; 3) gute Ausnutzung der bereits vom Ofen aufgenommenen Wärme; 4) leichtes Reinigen der Rauchzüge und Röhren; 5) eine gute Circulation der Zimmerluft; 6) Ermöglichung eines vollkommenen Austausches der verdorbenen Zimmerluft gegen eine reine und zwar auf eine nicht belästigende Weise.

### Kanalheizung.

Dabei lässt man die heissen Verbrennungsgase, die Feuerluft, vom Herde der Verbrennung aus in gemauerte Kanäle strömen, welche durch die Räume gehen, die geheizt werden sollen. Die Wärme der Feuerluft geht in das Material über, aus welchem die Kanäle bestehen, und von diesem in die Luft des Raumes, die erwärmt werden soll. Ist das Material ein schlechter Wärmeleiter, z. B.

Ziegelstein, so geht in der Regel viel Wärme verloren. Die Feuerluft hält sich beim Durchziehen durch den Kanal nicht so lange auf, um den grössten Theil ihrer Wärme an den Ziegelstein abgeben zu können, eben weil dieser sie zu langsam aufnimmt und weiter leitet. Eisenplatten geben in dieser Beziehung ein besseres Material ab. Gewöhnlich findet die Kanalheizung in Gewächshäusern Anwendung, und dazu eignet sich aus verschiedenen Gründen ein Material, welches viel Wärme aufnimmt und diese langsam an die zu heizende Luft abgibt. Es tritt häufig der Uebelstand ein, dass ein ziemlich langer Kanal bei feuchtem, windigem Wetter schlecht zieht, weil das Ende des Kanals nur spärlich erwärmt wird. Bringt man aber an der Stelle, wo der Kanal in den Schornstein einmündet, einen Ofen an und heizt diesen  $\frac{1}{2}$  oder 1 Stunde früher als den Kanal, so wird der Schornstein erwärmt, das Rauchen vermieden und der Zug der Luft befördert.

Mit der Kanalheizung lässt sich auch eine Wasserheizung vereinigen, so dass beide nur eine und dieselbe Feuerung haben. Der Kessel für die Wasserheizung wird in diesem Falle in den Wolf der Kanalheizung vermauert.

### Luftheizung.

Dieselbe beruht darauf, dass man in einen besondern, für sich abgeschlossenen Raum (Heizkammer) von unten her atmosphärische Luft einleitet und diese durch einen daselbst aufgestellten Heizapparat (Ofen) auf  $80-100^{\circ}$  C. und höher erhitzt, dann nach oben durch besondere Luftkanäle in die zu erwärmenden Räume ausströmen lässt. Man rechnet ungefähr  $\frac{1}{10}$  Quadratmeter Heizfläche eines eisernen Ofens auf  $7\frac{1}{2}-9\frac{1}{4}$  Cubikmeter zu erwärmende Luft. Die Verbrennungsgase, welche in dem Heizapparat entstehen, entweichen, nachdem man ihnen die Wärme so viel als möglich entzogen hat, in einen Schornstein. Ein Hauptvorteil der Luftheizung gegen andere Heizsysteme ist die beständige Ventilation, welche durch dieselbe, selbst ohne besondere Vorrichtung hervorgebracht wird. Es giebt drei verschiedene Methoden der Luftheizung. 1) Die äussere kalte Luft tritt in den Heizraum und strömt als erwärmte Luft durch einen Kanal in den zu heizenden Raum; ein der eintretenden Luft gleiches Volumen Zimmerluft strömt durch die Fenster- und Thürfugen aus. 2) Die erwärmte Zimmerluft geht durch einen Kanal in die Heizkammer zurück, erwärmt sich hier und tritt wieder in das Zimmer. 3) Ebenso wie bei der ersten Methode erwärmt sich äussere kalte Luft in dem Heizraume und gelangt in das Zimmer; die Zimmerluft geht jedoch durch einen Kanal zu dem Feuer und dient zu seiner Unterhaltung.

## Wasserheizung.

Man unterscheidet:

- 1) Wasserheizung bei hohem Druck, Heisswasserheizung und
- 2) Wasserheizung mit niederm Druck, Warmwasserheizung.

Die Wasserheizung bei hohem Druck besteht aus einem geschlossenen, in sich selbst zurücklaufenden, ganz mit Wasser angefülltem Systeme, aus geschweissten, schmiedeeisernen Röhren von 2—2 $\frac{1}{2}$  Centimeter Bohrung und 1 $\frac{1}{4}$  Centimeter Wandstärke, welche auf einen Druck von circa 80 Atmosphären probirt sind.  $\frac{1}{6}$  dieses Systems liegt schlangen- oder spiralförmig gebogen im Ofen und wird hier direct vom Feuer erhitzt. In den Röhren ist das Wasser einem Druck von ungefähr 24 Atmosphären ausgesetzt, daräus folgt, dass die Temperatur desselben annähernd 224° C. ist. \*) Indem nun die ausser dem Ofen liegenden Röhren in die zu erwärmenden Räume geführt werden, geben dieselben ihre Wärme an die in denselben enthaltene Luft, sowie an die Wände, in deren Nähe sie durchgeführt sind, ab, und das so nach und nach seiner Wärme beraubte Wasser kehrt in den Ofen zurück, wo es aufs Neue Wärme empfängt. Auf 1 Quadratmeter Wärmefläche in dem zu heizenden Raume rechnet man etwa 200 Cubikmeter zu erwärmende Luft. Wegen des hohen Druckes, den die Röhren auszuhalten haben, ist die Heisswasserheizung leicht der Gefahr einer Explosion ausgesetzt.

Die Wasserheizung mit niederm Druck, oder Warmwasserheizung. Dabei steht ein Wasserkessel, welcher dicht zugeschraubt werden kann, mit Röhren in Verbindung, welche nach den zu heizenden Räumen führen und dann wieder in den Kessel zurückkehren. Indem das Wasser in einem Steigrohr emporsteigt und dabei seine Wärme den darüber befindlichen Flüssigkeitstheilchen mittheilt, fliesst kaltes Wasser in den Kessel herab, erwärmt sich daselbst und steigt wieder in die Höhe. Die Leitungsröhren fertigt man aus Gusseisen. Man rechnet auf  $\frac{1}{10}$  Quadratmeter Heizfläche 2 $\frac{1}{2}$ —3 Cubikmeter zu erwärmende Luft.

---

\*) Wasser von 100° C. ist dem Druck 1 Atmosphäre gleich oder = dem Druck auf 1 Quadratcentimeter Fläche von 1,0333 Kilo; bei 190° C. ist der Druck 12 Atmosphären oder 12,39996 Kilo auf den Quadratcentimeter; bei 214,7 ist er 20 Atmosphären oder auf 1 Quadratcentimeter = 20,666 Kilo u. s. w.

## Dampfheizung.

Dieselbe ist besonders da mit Vortheil anzuwenden, wo von dem Herde aus die Heizung auf grosse Entfernungen und nach den verschiedensten Richtungen ausgeführt werden soll, wie z. B. von Fabrikgebäuden. In einem Dampfkessel wird Wasserdampf erzeugt und dieser durch gusseiserne Röhren nach den Räumen hingeleitet, welche geheizt werden sollen. Wie schon früher bemerkt wurde, enthält 1 Kilo Wasserdampf von  $100^{\circ}$  C. so viel Wärme, dass durch dieselbe 5,4 Kilo Wasser von  $0^{\circ}$ — $100^{\circ}$  C. erwärmt werden kann. Auf 1 Quadratmeter Wärmefläche rechnet man etwa 50 Cubikmeter zu erwärmenden Raum.

## Gasheizung.

Hierbei mischt man dem brennbaren Gas (Steinkohlengas, Holzgas u. s. w.) vor dem Verbrennen atmosphärische Luft bei. Dadurch findet der Kohlenstoff den zu seiner Verbrennung nothwendigen Sauerstoff und das Gasgemenge verbrennt mit bläulicher, nicht rusender Flamme. Es eignet sich diese Heizungsart besonders für öffentliche Locale, bei denen eine schnelle, aber nur kurze Erwärmung erforderlich ist. Im Allgemeinen ist 1 Cubikmeter Gas hinreichend, die Temperatur von 200 Cubikmeter Raum um  $12^{\circ}$  C. zu erhöhen;  $\frac{1}{5}$  der Gasmenge für die Stunde reicht ferner hin, um die erzeugte Temperatur constant zu erhalten.

Der höhere Preis des Leuchtgases als Brennstoff gegen Steinkohlen wird dadurch wesentlich ausgeglichen, dass 1 Kilo Leuchtgas etwa 11580 und 1 Kilo Steinkohle von mittlerer Qualität etwa nur 7000 Wärmeeinheiten entwickelt und bei erstem sämmtliche daraus erzeugte Wärme nutzbar wird, während bei gewöhnlichen Oefen ein grosser Theil davon unnütz entweicht. Zum Anheizen der Berliner Domkirche von 560000 Cubikfuss (à 0,0309 Cubikmeter) Inhalt, bei  $-3^{\circ}$  C. Aussen- und  $-1^{\circ}$  C. Innentemperatur mittelst in Kaminen frei brennender Gasflammen nach Elsner'schem Princip, gingen 1900 Cubikfuss Gas, wobei die Temperatur binnen 40 Minuten auf  $+10^{\circ}$  C. kam, zum Unterhalten dieser Temperatur pro Stunde 99 Cubikfuss, sodass auf 1000 Cubikfuss Raum zum Anheizen 3,4 und zum Unterhalten der Temperatur 0,18 Cubikfuss pro Stunde gingen. Man rechnet gewöhnlich bei Wohnzimmern auf 1000 Cubikfuss Raum zum Anheizen etwa 5 Cubikfuss, zur Unterhaltung der Temperatur pro Stunde  $2\frac{1}{2}$  Cubikfuss Gas. Durch die Gasheizung ist das Mittel gegeben, die grössten geschlossenen Räume, wie z. B. Kirchen, in läng-

stens 40—60 Minuten auf eine bestimmte mässige Wärme, d. i. 13—15° C. in der Temperatur zu erhöhen und dieselbe beliebig lange zu unterhalten.

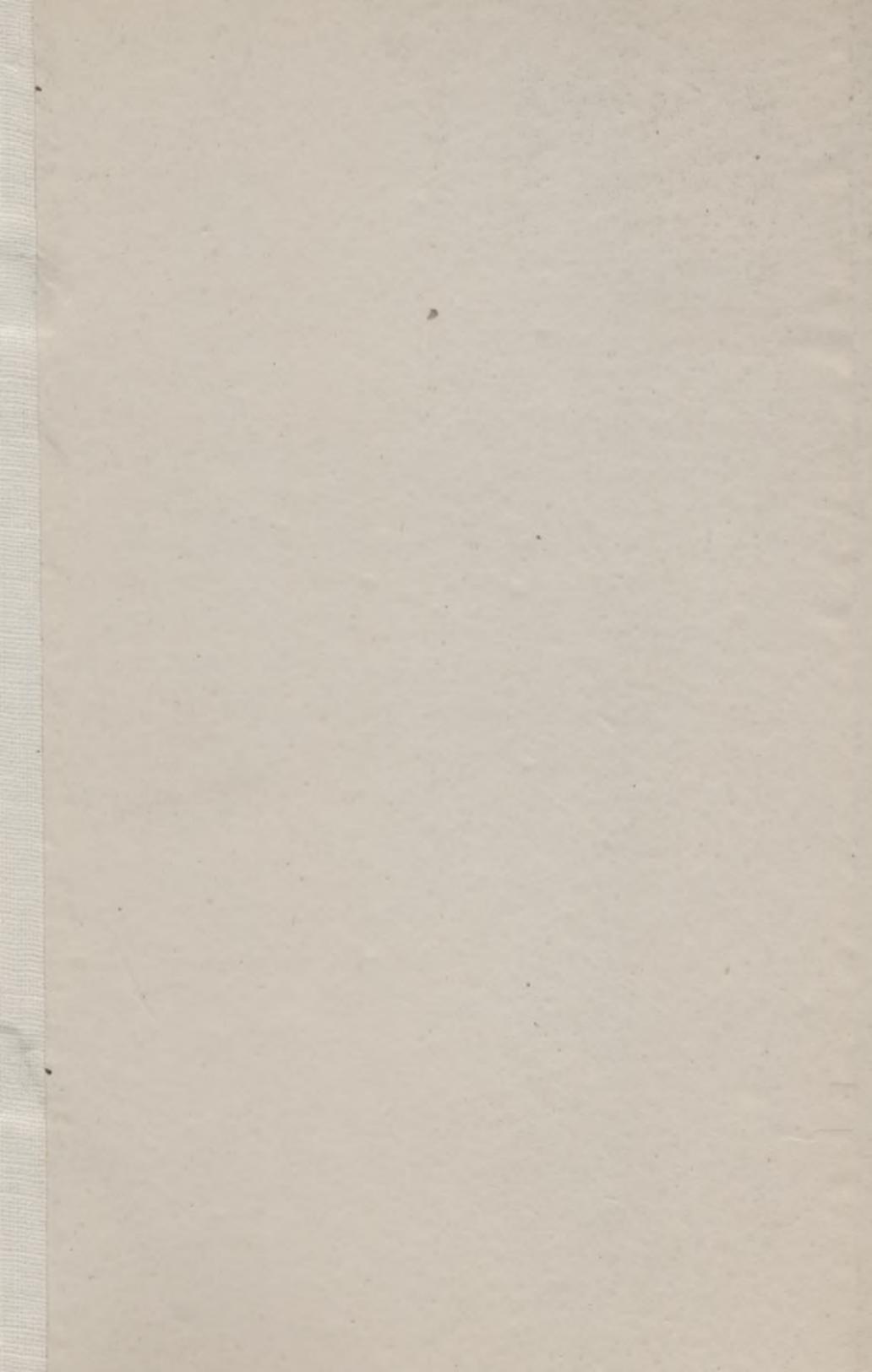
### Rauchverbrennung.

Die gasförmigen Bestandtheile des Rauches sind in der Regel überschüssige atmosphärische Luft, Stickstoff, Kohlensäure, Kohlenoxydgas, Wasserdampf und verschiedene Kohlenwasserstoffe, überhaupt Producte der trocknen Destillation. Bei der Verbrennung von Torf, Braunkohlen und Steinkohlen enthält der Rauch auch Schwefelwasserstoff, schwefelige Säure, Ammoniakdämpfe u. s. w. Bei unvollkommener Verbrennung entweicht feinvertheilter unverbrannter Kohlenstoff und solcher mit Wasserstoff verbunden, wodurch ein beträchtlicher Material- und Wärmeverlust entsteht. Je dunkler ein aus dem Schornstein entweichender Rauch gefärbt ist, um so mehr unverbrannten Kohlenstoff enthält derselbe; jedoch liegt darin noch kein Beweis für die Unvollständigkeit der Verbrennung, denn es kann auch das Entweichen fester Kohlenstofftheilchen durch mechanische oder chemische Einwirkung verhütet werden, während brennbare Gase unverbrannt entweichen. Man hat sich in neuerer Zeit vielfach bemüht, Vorrichtungen zu erfinden und auszuführen, durch welche der Rauch verzehrt oder wenigstens das Entweichen der sichtbaren Rauchtheilchen aus dem Schornsteine verhütet werden soll. Die einfachste und billigste Vorrichtung zu dem Zwecke ist die, hinter dem Roste eine oder einige Oeffnungen anzubringen, welche mit dem Aschenraume in Verbindung stehen. Die zur Verbrennung in den Aschenraum einströmende Luft zieht theils durch die Rostöffnungen zum Brennmaterial, theils — und zwar durch die glühende Asche erhitzt — durch genannte Oeffnungen in den Feuerraum hinter dem Roste. Hier trifft sie mit dem Rauche zusammen und verursacht eine Verbrennung desselben. Von nicht geringerer Wichtigkeit als die Verbrennung des Rauches, namentlich bei den für industrielle Zwecke bestimmten Feuerungen, ist das Verhüten des Einrauchens der Wohnungen durch die häuslichen Feuerungsanlagen, welches veranlasst wird durch unzweckmässige bauliche Anordnung, unrichtige Handhabung des Heizgeschäftes und durch gewisse Zustände der Atmosphäre.





5. 61



WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



31811

L. inw. ....

Kdn., Czapskich 4 — 678. 1. XII. 52. 10.000

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000298509