

vollständig in Wärme. Der Versuchsleiter hat dafür Sorge zu tragen, daß diese Wärme dauernd abgeführt wird, indem er die Scheibe durch einen Wasserstrom kühlt. Geschieht das nicht, so wird das Holz verkohlen und schließlich anfangen zu brennen. Es kommt immer vor, daß die Reibung sich während des Versuches ändert, so daß die Scheibe den Wagebalken mit hochnehmen würde. Deshalb müssen sofort, wenn der Versuchsleiter das merkt, die Schrauben ein wenig gelockert werden, so daß die Reibung wieder auf die richtige Größe zurückgeht.

4. Wärmeentwicklung bei der Verbrennung.

Hatten wir hier ein kleines Beispiel dafür, wie mechanische Arbeit in Wärme verwandelt wird, so bietet das große Feld der Wärmekraftmaschinen unendlich viele Vorgänge, bei denen die Technik umgekehrt die Wärme, die aus den Brennstoffen erzeugt wird, zur Gewinnung mechanischer Arbeit nutzbar macht. Dabei werden wir auch manche von den selbstgeschaffenen wissenschaftlichen Verfahren der Technik kennen lernen, mit deren Hilfe es möglich ist, in das Wesen der Vorgänge einzudringen und die Verlustquellen aufzustöbern, die bei der Energieumsetzung durch die Maschine eintreten. Der mit Bezug auf andere Wissenschaften so gern gebrauchte Ausdruck, daß sie dazu verhelfen, der Natur ihre Geheimnisse abzulauschen, läßt sich hier allerdings nicht mehr in dem Sinne anwenden. Denn es handelt sich nicht mehr um ein reines Erforschen natürlicher Vorgänge ohne anderen Zweck als den des Erkennens, sondern darum, festzustellen, wie die Natur sich verhält, wenn wir sie in bestimmter Weise mit den von Menschenhirnen erdachten Konstruktionen in Berührung bringen, mit dem Endziel, sie auf das äußerste auszunutzen.

Kohle, Gas, Öl entwickeln Wärme, indem sie verbrennen. Verbrennung ist bekanntlich nichts anderes als Verbindung mit Sauerstoff. Dieser bildet einen der Bestandteile der Luft, er steht also überall reichlich zur Verfügung. Ist der Zutritt der Luft zum Brennstoff abgesperrt, so kann auch keine Verbrennung stattfinden, weil der Sauerstoff fehlt. Das ist eine von unseren Stubenöfen her bekannte Erscheinung. Bei der Verbrennung von Braunkohlenbriketts z. B. entwickeln sich zunächst bei der Erhitzung, wenn die frischen Briketts auf die Glut gelegt sind, große Mengen von Gas, die mit heller Flamme verbrennen und dazu viel Luft gebrauchen. Schließt man nun die unteren Ofentüren, durch die die Luft hereinströmt, so hört das Gas plötzlich auf zu verbrennen und zieht ungenutzt zum Schornstein hinaus, dringt auch wohl durch die Ritzen des Ofens

ins Zimmer und verursacht üblen Geruch. Öffnet man die oberste Ofentür, um nachzusehen, so kann das Gas infolge des Luftzutrittes von oben sich wieder entzünden und eine Flamme bilden, was oft plötzlich, fast explosionsartig, vor sich geht. Ein richtiges Feuer entsteht wieder, sobald die unteren Türen geöffnet werden, so daß die Luft durch die Glut oder darüber weg streichen und sich mit dem Gase mischen kann. Ist das Gas vollständig ausgetrieben, hört also die helle Flamme auf, so bleibt noch glühende Kohle im Ofen. Diese zurückgebliebene feste Kohle verbrennt jetzt weiterhin ohne Flamme, d. h. ihre Teilchen verbinden sich mit dem Sauerstoff der Luft und bilden mit ihm zusammen gasförmige Kohlensäure, die zum Schornstein hinausgeht. Wenn man die Luft ganz frei Zutreten läßt, so vollzieht sich die Verbrennung sehr rasch. Die Ofentüren werden deshalb, nachdem das Austreiben der Gase und die Flammenbildung beendet ist, geschlossen, so daß nur die Luft, die noch durch die Ritzen gelangt, die Weiterverbrennung der Kohle und damit die weitere Entwicklung von Wärme ermöglicht. Schließt der Ofen gut, ist also der Luftzutritt gering, so kann es mehr als 24 Stunden dauern, bis die Verbrennung der festen Kohle beendet ist. Im Ofen bleiben nur die unverbrennlichen Stoffe zurück, die jede Kohle beigemischt enthält und die als Asche bezeichnet werden. Die Asche ist für den Verbrennungsprozeß wertlos.

Der Gehalt an Gas ist bei den Kohlenarten sehr verschieden. Braunkohle enthält viel Gas, ebenso manche Steinkohlenarten, Anthracit dagegen sehr wenig, und er verbrennt daher, wie bekannt, fast ohne jede Flammenbildung. Das gilt auch für Koks, der bekanntlich aus gasreicher Steinkohle hergestellt ist¹⁾. Diese Kohle wird im Gaswerk in einem luftdicht verschlossenen eisernen Gefäß, der sogenannten Retorte, durch eine Feuerung von außen stark erhitzt. Verbrennen kann die Kohle nicht, weil der Sauerstoff abgesperrt ist, indessen wird das Gas ausgetrieben und durch eine Rohrleitung nach dem Gasbehälter geführt, von wo es dann in den städtischen Leitungen als „Leuchtgas“ oder „Stadtgas“ nach den Verbrauchstellen geführt wird. Der zurückbleibende feste Kohlenstoff ist Koks, der als Heizmaterial für Öfen verkauft wird. Der Verbrauch von Gas zur Beleuchtung und von Koks zum Heizen ist also nichts anderes, als eine Trennung der beiden Vorgänge, die bei der Verbrennung gewöhnlicher Kohle in dem gleichen Raum vor sich gehen. Das Gas und der feste Kohlenstoff werden gesondert ausgenutzt, jedes für den Zweck, für den es am besten geeignet ist.

Von unseren Zimmeröfen wissen wir nun auch, daß Anthracit

¹⁾ Vergl. Dünckel, Gas aus Kohle. Verlag der Technisch-Wissenschaftlichen Lehrmittel-Zentrale, Berlin NW 7.

sehr viel besser heizt als Braunkohle, daß also die verschiedenen Brennstoffe nicht die gleiche Wärme entwickeln oder verschiedenen Heizwert haben. Ein Kilogramm der besten Steinkohle gibt bei vollständiger Verbrennung ungefähr 8000 Wärmeeinheiten her, d. h. dieses eine Kilogramm wäre imstande, 8000 kg Wasser um 1° Celsius, z. B. von 2° auf 3° , oder, was dasselbe bedeuten würde, 1000 kg Wasser um 8° , von 2° auf 10° , zu erwärmen. Dazu gehört aber, daß auch wirklich alle Wärme ohne jeden Verlust an das Wasser übergeht.

In der Praxis, bei Dampfkessel- oder Herdfeuerungen, ist das natürlich nicht zu erreichen. Wenn wir aber wissen wollen, ob eine solche Feuerungsanlage gut oder schlecht ist, so muß festgestellt werden, wieviel verloren geht, und dazu gehört, daß wir genau wissen, wieviel 1 kg Kohle bei vollkommener Verbrennung und vollkommener Wärmeabgabe zu leisten vermag.

Um den „Heizwert“ einer Kohlensorte wissenschaftlich genau zu bestimmen, mischen wir eine beliebige Menge der zu untersuchenden Kohle sorgfältig durcheinander, pulvern sie und entnehmen eine Probe von ungefähr 1 g (Gramm), also $\frac{1}{1000}$ kg Gewicht. Diese bringen wir in einen kleinen Tiegel und schließen, wie

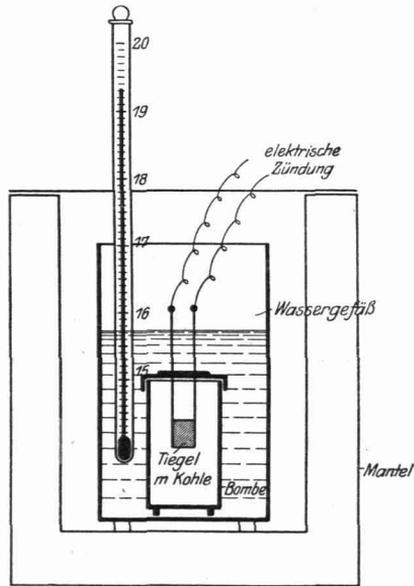


Abb. 101. Bestimmung des Heizwertes von Kohle (TWL 10791).

in Abb. 101 dargestellt, Drähte zur elektrischen Zündung der Kohle daran an. Der Tiegel wird nun in ein starkwandiges Gefäß, eine sogenannte „Bombe“, hineingehängt, die, nachdem der Deckel fest verschlossen ist, mit reinem Sauerstoff gefüllt wird. Die Bombe steht in einem Gefäß mit Wasser, in das ein Thermometer herunterhängt, und das Wassergefäß schließlich ist von einem äußeren Mantel umgeben, der verhindert, daß das Gefäß mit der freien Luft in Berührung kommt und dahin Wärme abgibt. Durch Einschaltung der elektrischen Zündung wird, nachdem alle Vorbereitungen beendet sind, ein Draht, der durch die Kohlenprobe hindurchgeht, zum Glühen gebracht; die Kohle entzündet sich und verbrennt durch Verbindung mit dem in der Bombe enthaltenen Sauerstoff. Dadurch wird die Bombe erhitzt, die nun weiter ihre Wärme an das Wasser abgibt. An dem

Thermometer wird abgelesen, um wieviel die Temperatur steigt, und daraus läßt sich der Heizwert leicht berechnen.

Es sei einmal angenommen, die Steinkohlenprobe, deren Gewicht auf einer sehr feinen Wage bis auf $\frac{1}{1000}$ g genau bestimmt wird, hätte gerade 1 g und das eingefüllte Wasser 1,70 kg gewogen. Da auch die Bombe und die Wände des Wassergefäßes mit erwärmt werden, so ist vorher durch besondere Versuche zu bestimmen, wieviel Wärme nötig ist, um ihre Temperatur um 1° zu erhöhen. Hierbei mag sich herausgestellt haben, daß diese Metallteile ebensoviel Wärme verlangen wie 0,3 kg Wasser; dann können wir so rechnen, als ob statt 1,7 kg im ganzen 2 kg Wasser durch die Verbrennung von 1 g Kohle erwärmt worden wären. Die Temperatursteigerung, die am Thermometer abgelesen wurde, möge $3,5^{\circ}$ Celsius betragen.

Nun wissen wir also folgendes: 1 g Kohle hat bei seiner Verbrennung 2 kg Wasser um $3,5^{\circ}$ erwärmt, es kann also 1 kg = 1000 g Wasser um $7,0^{\circ}$ oder 7000 g Wasser um 1° erwärmen; mit anderen Worten, die Kohle hat einen Heizwert von 7000 Wärmeeinheiten oder Kalorien (cal). 1 kg Kohle erzeugt bei der Verbrennung 7000×1000 Kalorien oder 7000 Kilokalorien (kcal).

Dieses Ergebnis bildet den Ausgangspunkt für unsere weiteren Untersuchungen. Wir wissen, daß die Wärme sich in Arbeit umsetzen läßt und daß 1 Kilocalorie gleichwertig ist mit 427 mkg mechanischer Arbeit. 1 kg von unserer Kohle könnte also, wenn man die ihm innewohnende Energie vollständig ausnutzen würde, $7000 \times 427 = 2989000$ mkg leisten. Diese Zahl entzieht sich unserem Begriffsvermögen. Etwas besser werden wir sie verstehen, wenn wir bedenken, daß eine Pferdekraft soviel ist wie 75 mkg in der Sekunde, oder $3600 \times 75 = 270000$ mkg in der Stunde. Würden wir also jede Stunde 1 kg Kohle verbrennen und vollständig ausnutzen, so ergäbe sich eine Leistung von $\frac{2989000}{270000} = 11$ PS. Da eine Glühlampe von 25 Hefnerkerzen, wie wir auf S. 70 gesehen hatten, $\frac{1}{30}$ PS verbraucht, so könnten wir also mit unserem Kilogramm Kohle

eine Stunde lang etwa 330 Glühlampen speisen. Leider geht nun bei der Umsetzung in elektrische Energie soviel verloren, daß wir zufrieden sein können, wenn es gelingt, statt 330 nur etwa 30 bis 40 Glühlampen brennend zu erhalten. Rechnen wir das Kilogramm Kohle zu 2 Pfennig, so wären also die reinen stündlichen Brennstoffkosten für eine Glühlampe ungefähr $\frac{1}{15}$ bis $\frac{1}{20}$ Pfennig. Dazu kommen aber noch die Kosten für die Verzinsung und Abschreibung der Dampf-

kessel- und Maschinenanlage und der Leitungen, ferner die Ausgaben für Schmieröl, Ausbesserungen, Bedienung und Verwaltung, die den Preis der Brennstunde auf ein Vielfaches erhöhen.

5. Verluste bei der technischen Verwertung der Brennstoffenergie in einer Dampfanlage.

Wodurch entstehen nun diese gewaltigen Verluste? Am besten erkennen wir das, wenn wir die Wärme einmal an Hand von Abb. 102 auf ihrem recht umständlichen Wege von der Kohle bis zur Glühlampe verfolgen.

Wir denken uns also, daß der Heizer ein Stück Kohle, das gerade einen Heizwert von 100 Kalorien hat, auf den Rost wirft, der sich unter dem Dampfkessel befindet und auf dem schon glühende Kohle liegt. Das Kohlestück erhitzt sich, die Gase werden ausgetrieben und verbrennen mit dem Sauerstoff der Luft, die, genau wie beim Stubenofen, von unten durch den Rost streicht. Auch der feste Kohlenstoff verbrennt, und alle die heißen Gase, die auf diese Weise entstehen, streichen um den Kessel herum und erhitzen ihn. Sie gelangen dann in den Schornstein und entweichen ins Freie.

Hier treten bereits Verluste auf. Durch den Rost fallen kleine glühende Kohlestückchen hindurch, auch wird die Asche unnötigerweise erhitzt und nimmt also eine gewisse Wärmemenge mit. Sehr viel ist es nicht, was auf diese Weise fortgeht; wir können den Verlust auf 3 Kalorien von den zugeführten hundert schätzen.

Schlimmer ist es mit dem, was zum Schornstein hinausgeht. Die Gase, die anfangs, im Verbrennungsraume, eine Temperatur von durchschnittlich etwa 1000° haben mögen, kühlen sich unter dem Kessel nicht bis auf die Lufttemperatur ab, sondern treten mit ungefähr 200° in den Schornstein ein, nehmen also ziemlich viel Wärme mit. Außerdem ist die Verbrennung nicht immer vollständig. Jedes Atom Kohlenstoff braucht 2 Atome Sauerstoff, um ganz zu Kohlen säuregas zu verbrennen und damit seine volle Energie zu entwickeln. Findet es bei der Eile, mit der die Gase abströmen, zufälligerweise nur ein Sauerstoffatom, so verbindet es sich auch damit — zu Kohlenoxydgas —, erzeugt aber dabei nicht so viel Wärme, wie wenn es sich mit zwei Atomen vereinigte. Ja, es kommt sogar vor, daß ganz unverbrannter Kohlenstoff als Ruß im Gasstrom mitgerissen wird. Wenn also schwarz gefärbte Verbrennungsgase entweichen, wenn der Schornstein „raucht“, so ist das ein schlechtes Zeichen für die Geschicklichkeit der Heizer. Nicht nur wird die Nachbarschaft durch den Ruß belästigt, sondern es entstehen auch große Betriebsverluste, die bei einer modernen Anlage auf keinen Fall zulässig