ANNALEN DER PHYSIK.

JAHRGANG 1802, DRITTES STÜCK.

I.

BESCHREIBUNG

eines neuen Dampfmeßers und damit angestellter Versuche über die Expansivkraft des Wasserdampfs in höhern Temperaturen,

von

L. BIKER und H. W. ROUPPE

zu Rotterdam. *)

Seitdem man die Expansivkraft des Wasserdampfs in den Dampfmaschinen als ein mächtiges mechani-

*) Ausgezogen aus den *Nieuwe Verhandelingen van het Bataafsch Genootschap der proefondervindelijke Wysbegeerte te Rotterdam. Deel 1. Amsterd. 1800, q. 564 S. mit 12 Kupfertafeln.* Dieser ganze Band handelt von den Dampfmaschinen, und enthält 1. eine Geschichte der Dampfmaschinen in Holland, nämlich der alten und neuen Rotterdamer und der Mydrechter Maschine; 2. drei Preisschriften über die Verbesserung der alten Rotterdamer Dampfmaschine; 3. Berichte über sie von Stenstra,

ſches Wirkungsmittel kennt, iſt es für die Maſchinenlehre wichtig, das Geſetz zu wiſſen, wonach dieſe Expansivkraft mit der Hitze des Dampfes anwächſt. Der Erſte, der dieſes durch Verſuche auszumitteln ſuchte, war Ziegler, ein Schweizer, der ſeinen Apparat, um die Ausdehnungen verſchiedner Flüſſigkeiten und ihres Dampfſ durch Wärme zu meſſen, in einem 1769 zu Baſel gedruckten Werkchen beſchrieb und abbildete. *) Er bediente ſich des Papinianiſchen Topfs, den er ſammt den

Blaffiere u. ſ. w., van Swinden und Damen; 4. eine Reihe phyſikalischer Vorleſungen Biker's über die Natur des Dampfſ und über die Dampfmaſchinen; und 5. gegenwärtigen nicht unwichtigen Auffatz, der die intereſſanten Verſuche des Herrn Profefſors Schmidt in ſeiner Abhandlung über die Expansivkraft, Dichte und latente Hitze des reinen Waſſerdampfſ bei verſchiednen Temperaturen, (in Gren's neuem *Journal der Phyſik*, B. IV, St. 3,) aufs beſte beſtätigt. Die Reihe der *Verhandelingen* der Rotterdamer Geſellſchaft ſchloß ſich mit dem zwölfſten Bande.

d. H.

*) *Specimen phyſico-chemicum de Digestore Papini, eius ſtructura, effectu et uſu, primitias experimentorum novorum circa fluidorum a calore rarefactionem et vaporum elastiſcitatem exhibens, quod, Gradum ad Doct. in Med. ſibi paraturus, publ. erud. exam. ſubmiſit* L. H. Ziegler, Vitoduranus. Baſileae 1769. 68 S. 2 Kupfertafeln. q. Siehe auch Prony's *Architecture Hydraulique*, Tome 2, p. 6, und Pl. 18, Fig. 211 und 210.

d. H.

Deckeln mit starken, zusammengeschrobnen, eiser-
nen Bändern umlegt hatte, damit die erhitzten Was-
ferdämpfe ihn nicht zer Sprengten. Die Deckplatte,
(Taf. IV, Fig. 1,) hatte drei Oeffnungen. Die erste,
A, diente, um Wasser in den Topf zu giessen, und
wurde mit einer Schlussschraube fest verschlossen.
Die zweite, *B*, in der Mitte des Deckels, enthielt ei-
ne kupferne Röhre, die bis in das Wasser des Topfs
hinabreichte, und worein Wasser, Oehl, Quecksil-
ber oder eine andere Flüssigkeit gegossen, und dann
das Thermometer gesetzt wurde, mittelst dessen
man die Hitze des Dampfs maafs. In der dritten
Oeffnung, *C*, befand sich Ziegler's Electrometer;
eine gläserne cylindrische Flasche, *D*, in die er ge-
wöhnlich Quecksilber goss, und in die eine eiserne
Röhre, *E*, bis nahe an den Boden hinab hing, an welche
sich oben eine Glasröhre *F* dampfdicht anschlofs.
Durch eine Seitenöffnung im obern Theile der Fla-
sche trat der Dampf aus dem Papinianischen Topfe
frei über die Quecksilberfläche, und trieb, so wie
die Expansivkraft desselben zunahm, das Quecksil-
ber in die Glasröhre höher hinauf. Diese Vor-
richtung nennt Ziegler sein *physikalisches Elatero-*
meter, und bediente sich ihrer bei niedrigen Gra-
den der Expansivkraft des Dampfes. Bei höhern
verfah er die Oeffnung *C* der Flasche, statt mit ei-
ner eisernen Röhre, mit einer genau darauf passen-
den Deckplatte, auf der er, vermöge einer Schnell-
wage, einen gegebenen Druck anbrachte. (Fig. 2.)
So wie die Expansivkraft des Dampfes über diesen

Druck hinaus stieg, schnellte die Wage in die Höhe. Diese Vorrichtung nennt er sein *mechanisches Elaterometer*. *)

Es fällt leicht in die Augen, daß beide Elaterometer zu genauen Versuchen über die Zunahme der Expansivkraft mit der Wärme des Dampfes, nicht geschickt waren. Denn erstens hatte der Dampf keinen unmittelbaren Zutritt zur Thermometerkugel; die Hitze desselben mußte zuvor durch die kupferne Büchse und eine andere Flüssigkeit hindurchgehn, zeigte sich daher am Thermometer immer zu geringe, und die Ausdehnung des Dampfes bei zunehmender Wärme ließ sich deshalb auf diese Art nicht genau messen. Zweitens enthielt der Papinianische Topf noch Luft, mit dem der Dampf sich mengte, und wobei er in gleichem Wärmegrade nicht zu einer so großen Expansivkraft, als ohne dies gelangt.

Seit Ziegler's Schrift vergingen volle zwanzig Jahr, ehe wieder ein Physiker an die Auflösung jener Frage gedacht hätte. Betancourt's be-

*) Vergleicht man mit diesen Elaterometern Ziegler's die neuern Dampfmesser, so sieht man, daß sie im Wesentlichen alle mit dessen physikalischem Elaterometer übereinstimmen; am Biker'schen findet sich auch eine Nachbildung seines mechanischen Elaterometers. Ziegler's Bemühungen verdienen daher immer, nicht vergessen zu werden.

kanntes *Mémoire sur la force expansive de la vapeur de l'eau et de l'esprit de vin*, erschien zu Paris gegen Ende des Jahrs 1790. Es enthält die Beschreibung und Abbildung eines neuen, sehr verbesserten Dampfmeßers, und treffliche Versuche, durch welche diese Materie in ein helleres Licht gesetzt wurde; dabei waren Ziegler's Bemühungen Betancourt ganz unbekannt geblieben. Auch er machte seinen Dampfmeßer aus Kupfer, in Gestalt einer Kugel, die birnförmig ausläuft, und brachte in der Deckplatte 3 Oeffnungen an. (Fig. 5.) Die eine für das hineinzugießende Wasser, mit einer festen Schwanzschraube; die zweite im Mittelpunkte der Deckplatte, in welche ein Thermometer fest gekittet wurde, so daß die Kugel 2 Zoll über dem Boden hing; und die dritte, in welche das offene Ende der gläsernen Barometerröhre dampfdicht befestigt wurde. Von der Deckplatte ab, ging diese Röhre erst einige Zoll weit senkrecht in die Höhe, dann eben so weit horizontal, und darauf 50 Zoll tief senkrecht herab. Hier erweiterte sie sich in ein cylindrisches Gefäß, von dessen Boden ab sie sich wieder aufwärts krümmte, und nun 110 Zoll weit senkrecht in die Höhe stieg. Eine bewegliche Scale, die sich längs der Röhre herauf und herab schieben ließ, zeigte ganze pariser Zoll und Zwanzigstel Zoll. Die herabgehende und das unterste Stück der heraufgehenden Röhre wurden mit Quecksilber gefüllt, das obere Ende der langen Röhre zugeschmolzen, und hier eine torricellische Leere her-

vorgebracht. Um auch den Topf oder die Kugel luftleer machen zu können, war im Halse desselben, an der Seite, eine kupferne Röhre mit einem Hahne angebracht, mittelst deren er sich mit dem Recipienten einer Luftpumpe verbinden, und auspumpen liefs, bis das Quecksilber im langen Schenkel nur um ein paar Linten höher als in dem herabgehenden Schenkel stand. Wurde dann die Kugel über ein Feuer gesetzt, so presste der sich entwickelnde Dampf das Quecksilber in die längere Röhre hinauf, wobei denn die Wärmegrade und die gleichzeitigen Quecksilberhöhen sorgfältig beobachtet wurden.

Ungefähr 3 Jahr vorher, ehe Betancourt's Abhandlung erschien, hatte auch ich, ohne etwas von Ziegler's Schrift zu wissen, einen Apparat einrichten lassen, um über die Zunahme der Elasticität der Dämpfe mit der Wärme Versuche anzustellen. Da mich aber Geschäfte abhielten, die Fehler, die ich daran bemerkte, verbessern zu lassen, verschob ich die Versuche, die ich damit vorhatte, und gab sie, als ich Betancourt's *Mémoire* gelesen hatte, völlig auf. Erst vor zwei bis drei Jahren wurde ich durch die Bitte unfrer Societät, meine Vorlesungen über die Dampfmaschinen, mit den übrigen hierher gehörigen Verhandlungen, in ihrem Namen herauszugeben, und durch die Anerbietung, auf ihre Kosten den Dampfmesser, wie ich es angeben würde, verbessern, und die Versuche ausführen zu lassen,

bestimmt, mich diesen Versuchen endlich wirklich zu unterziehen. Betancourt's Dampfmeßer schien mir den Fehler zu haben, daß der Dampf, ehe er mit dem Quecksilber in Berührung kommt, außershalb des Dampfgefäßes durch eine zu lange Glasröhre geht, und dadurch eine merkbare Abkühlung und Verminderung seiner Expansivkraft leidet. Auch glaubte ich, die Luft aus dem Kupfergefäße durch den Dampf selbst vollkommner, als mittelst einer Luftpumpe austreiben zu können. Die Einrichtungen, wie ich dieses zu bewerkstelligen hoffte, hatte Herr Rouppe, Lehrer der Chemie zu Rotterdam, die Güte unter seinen Augen ausführen zu lassen, und in Verbindung mit mir, theils in unsrer beider Gegenwart, theils allein, die Versuche mit der größten Genauigkeit anzustellen. Von ihm rühren auch die Tabellen am Ende dieses Aufsatzes her. Wie außerordentlich mühsam und zeitspielig alles dieses war, läßt sich kaum beschreiben.

Taf. IV, Fig. 4, stellt meinen neuen Dampfmeßer vor. *A* ist der eiserne Ofen mit Herd und Aschenloch. *BB* der Kessel oder Topf, aus $\frac{3}{4}$ Zoll dickem Kupfer, inwendig 11 Zoll hoch und 10 Zoll weit, der auf eisernen an den Rand des Ofens befestigten Ansätzen hängt, und zwischen welchem und dem Kessel so viel Raum bleibt, daß die Flamme ihn umspielen kann. Der Deckel *C* ist noch einmahl so dick, als der Topf, und durch feste Schrauben unweit des Umfangs auf eine zwischen beide ge-

legte Bleischeibe dampfdicht angedrückt; eine Vorrichtung, die zu empfehlen ist. *)

Der Deckel enthält überdies 5 Oeffnungen. In der im Mittelpunkte ist auf dazwischen befindliches Blei der Fuß *D* der kupfernen Röhre oder des Dampfeylinders *GG*, welcher den Hahn *M* enthält, fest geschraubt. Dieser Hahn ist doppelt durchbohrt, und durch ihn läßt sich die Röhre mit dem Kessel oder mit der äußern Luft in Verbindung setzen. Auch läßt er sich so drehen, daß er dem Dampfe oder der Luft aus dem Kessel den Ausgang ins Freie gewährt, um den Kessel, vor Anfang der Versuche, luftleer zu machen. **) Wenn man die Deckplatte der Röhre *GG* abschraubt, läßt sich in ihr ein dampfdicht schließender Kolben anbrin-

*) Lederscheiben, deren man sich in den Luftpumpen bedient, um einen Theil an den andern luftdicht anschließen zu machen, sind hier, nach Herrn Schmidt's Erfahrungen, nicht wohl zu brauchen, da sie bei höhern Temperaturen allzu leicht verbrennen. *d. H.*

**) Ungeachtet Biker selbst im Vorhergehenden diese von Hrn. Prof. Schmidt zuerst eingeschlagene Methode dem Auspumpen der Luft aus dem Topfe vorzieht; so bediente er sich doch in den folgenden Versuchen dieses letztern Mittels, um den Topf luftleer zu erhalten. Auch scheint der ganze Dampfeylinder sich nur als mechanisches Elaterometer und zu andern Versuchen über den Dampf, als denen, worauf es hier ankommt, an diesem Dampfmesser zu befinden. *d. H.*

gen, an dessen Kolbenstange zu oberst eine Messingscheibe, etwas grösser als der Querschnitt des Cylinders, gelöthet ist. Auf sie legt man beliebige Gewichte, von 30 Pfund und mehr, welche der Dampf durch seine Expansivkraft hebt. Zum Behufe dieser Art von Versuchen dient auch die kleine mit einem Hahne versehene Röhre *N*, welche aus dem Dampfeylinder hervortritt, und auf die sich eine kleine Spritze aufschrauben läßt. Ist das Gewicht gehoben, so dreht man den Hahn *M* so, daß er die Gemeinschaft mit dem Kessel aufhebt, und die Röhre mit der äussern Luft in Verbindung setzt, und spritzt dann Wasser in die Röhre. Dieses condensirt die Dämpfe, und läuft, während das Gewicht wieder herabsinkt, durch die Oeffnung im Hahne *M* ab.

Die zweite Oeffnung des Deckels, *R*, dient, den Kessel mit Wasser zu füllen, bis zu beliebigen Höhen, die man an einem Zollstabe, der hineingesteckt wird, abnimmt. In diese Oeffnung läßt sich eine mit einem Hahne *L* versehene Röhre *RS*, über einem Bleiringe, dampfdicht einschrauben, in welche eine zweite horizontale Röhre *SO* paßt, durch die der Kessel mit dem Recipienten einer Luftpumpe in Verbindung zu setzen, und die Luft aus ihm auszupumpen ist. Statt jener Röhre kann man auch ein Sicherungsventil in die Oeffnung *R* einschrauben, welches aus einem Kegelventil besteht, dessen Conus durch einen darauf stehenden Stift mit einem kleinen horizontal liegenden einarmigen Hebel, unweit dessen Drehpunkt, verbunden ist, und durch

Gewichte, die ans Ende des Hebels angehängt werden, sich mit beliebiger Stärke andrücken läßt. Uebersteigt die Expansivkraft der erhitzten Dämpfe den Grad, der diesem Drucke entspricht, so wirft der Dampf den Konus in die Höhe, und die Dämpfe, die sonst Theile des Apparats sprengen könnten, entweichen durch dieses Ventil.

In der dritten Oeffnung des Deckels, *I*, ist ein Thermometer *EP* mit Fahrenheit'scher Scale angebracht, dessen Kugel 4 Zoll tief in den Topf hinab, und, je nachdem dieser mehr oder weniger gefüllt ist, in Wasser oder Dampf hängt.

In der vierten Oeffnung, *K*, ist die über 110 Zoll lange, oben luftleere Barometerröhre *KQ* befestigt, welche durch einen eisernen, den Cylinder zu oberst umfassenden Arm *G*, zugleich mit ihrer Scale, in senkrechter Lage erhalten wird. Die Scale *F* ist in Zehntel Rheinländische Zolle abgetheilt. Das Thermometer und das Barometer sind in diese Oeffnungen, auf die von Prony angegebne Art, (*Nouv. Architect. Hydraul.*, T. 2, p. 10,) dampfdicht eingesetzt; nur dafs wir das Werg, statt mit fettem Kitt, mit einem Gemische aus Mennige und dick eingekochtem Leinöhl bestrichen. Mit derselben Masse, der noch etwas Bleiweifs zugesetzt wurde, verstrichen wir alle Ritzchen, die sich zeigten, und sie hielt, nachdem sie gut getrocknet war, aufs beste. — Das untere offene Ende der Barometerröhre geht bis nahe an den Boden des eisernen Behälters *P*, Fig. 5, hinab, welches unter dem Deckel

dd angebracht ist, in der Tiefe 5, und in der Weite $2\frac{1}{2}$ Zoll hält, und das Quecksilber genug faßt, um damit die ganze Barometerröhre füllen zu können. Durch eine Oeffnung *e* im Halfe des Behälters, hat der Dampf des Kessels freien Zutritt über die Quecksilberfläche. Zu oberst geht aus diesem Behälter eine Nebenröhre *abc* ab, und tritt durch die fünfte Oeffnung des Deckels *H* hervor. Das Stück oberhalb des Deckels ist mit einem in einem rechten Winkel durchbohrten Hahne versehen, mittelst dessen sich das Innere des Kessels mit der äußern Luft in Verbindung setzen läßt, so daß durch ihn die Luft aus dem Kessel, die durch das Loch *e* in den Behälter eintritt, oder auch der Dampf, wenn er allzu heiß und zu stark expandirt wird, entweichen kann. Dieser Hahn vertritt daher einigermaßen die Stelle eines Sicherungsventils.

Die Einrichtung dieses Quecksilberbehälters für das Barometer ist es hauptsächlich worauf sich meine Verbesserung des Dampfmeßers gründet; und ich halte meinen Dampfmesser eben deshalb für vollkommener als den *Betancourt'schen*, weil in ihm der heiße Wasserdampf unmittelbar auf gleich stark erhitztes Quecksilber drückt, ohne daß das Quecksilber oder die äußere Luft ihn abkühlt und dadurch seine Expansivkraft mindert. — Auch Herr Prof. Schmidt in Gießen suchte vor mehrern Jahren *Betancourt's* Apparat von dieser Seite zu vervollkommen. Sein verbesserter Dampfmesser, wie er in *Gren's neuem Journal der Physik*, B. 4, St. 3,

abgezeichnet und beschrieben ist, hat, statt Betancourt's doppelt gebogner Barometerröhre, eine auf dem Deckel des Topfs, (Fig. 6,) stehende cylindrische eiserne Büchse, die grossentheils mit Quecksilber gefüllt ist. Durch ihre Bodenplatte und durch den Deckel des Topfs geht, in einer Lederbüchse, eine eiserne Röhre, fast bis an die Deckplatte der Quecksilberbüchse hinauf, welche die heissen Wasserdämpfe über das Quecksilber leitet; und durch eine Lederbüchse in der Deckplatte selbst, steigt, fast vom Boden der Quecksilberbüchse an, eine lange, oben offene, und mit einer Scale versehene Barometerröhre senkrecht hinauf, in welche der Druck der Dämpfe das Quecksilber aus der eisernen Büchse in die Höhe treibt. Man sieht indess leicht, dass auch bei dieser Einrichtung der Dampf, ehe er die Quecksilberfläche erreicht, auf die er drückt, beträchtlich an Wärme, und mithin an Expansivkraft, verlieren muss. *)

*) Ich gestehe, dass ich nicht recht absehe, wie dieses einen merklichen Einfluss auf die Quecksilberhöhe in der Barometerröhre haben könne, vorausgesetzt, dass keine Verwandlung des Dampfs in Wasser dabei statt findet, welche wohl kaum einmahl im Anfange des Versuchs zu befürchten seyn dürfte. Die Quecksilberhöhe entspricht, so viel ich einsehe, nicht dem Drucke, den die abgekühlten Dämpfe, die das Quecksilber unmittelbar berühren, lediglich ihrer Wärme entsprechend, auf die Quecksilberfläche äussern; sondern der

Bei den Versuchen, die wir mit meinem Dampf-
messer anstellten, und deren Resultate man in der
ersten Tabelle, am Ende dieses Aufsatzes, findet, wur-
de, nachdem der Kessel bis auf die bestimmte Höhe
mit Wasser gefüllt war, zuerst die Luft aus demsel-
ben mittelst einer Luftpumpe, so viel als möglich,
ausgepumpt. Dann wurde ein kleines Feuer unter
dem Kessel angemacht, um das Wasser darin all-
mählig zu erwärmen und zum Kochen zu bringen.
So wie das Thermometer den Siedepunkt, und das
Quecksilber in der langen Röhre zugleich die Ba-
rometerhöhe für den Tag erreicht hatten, wurde
das Feuer ausgedämpft, da sich denn nach dem Er-
kalten, aus dem Stande der Barometerprobe der
Luftpumpe, abnehmen liefs, ob auch der ganze Ap-
parat völlig luftdicht schlofs. War dieses der Fall,
so wurde nun das Feuer wieder angemacht, und wäh-
rend der eine Beobachter sich ans Thermometer
stellte und die steigenden Wärmegrade angab, be-

stärkere Druck der heifsern Dämpfe im Topfe
mufs sich durch sie, (als eine Flüssigkeit,) un-
geschwächt fortpflanzen, und daher die Queck-
silberhöhe ihrer Expansivkraft gemäß seyn. Die-
ses scheint auch die Erfahrung zu bestätigen, da
die Tabelle II, am Schlusse gegenwärtigen Auf-
satzes, ausweist, dafs der Bikersche Dampf-
messer keinesweges gröfsere Quecksilberhöhen, bei glei-
chen Wärmegraden, als die beiden andern Dampf-
messer, vielmehr beträchtlich kleinere, als der
Betancourtsche gegeben hat. d. H.

obachtete der andere die gleichzeitigen Queckfilberhöhen in der Barometerröhre nach Zollen und Linien, welche sogleich in eine vorläufig dazu eingerichtete Tabelle aufgezeichnet wurden. Wir gaben uns sehr viel Mühe, die Hitze, nach Betancourt's Vorschrift, so zu mäßigen, daß das Queckfilber auf einen Zoll 1 oder 2 Minuten im Steigen zu brächte; aber durchgängig stieg es viel geschwinder, doch nicht so schnell, daß wir nicht für jeden Thermometergrad, so wie er angegeben wurde, die gleichzeitige Queckfilberhöhe sehr wohl hätten bestimmen können. Da uns indess dieses doch einmal mißglückte, auch wenn die Hitze zu schnell zunimmt, sie sich nicht schnell genug dem Thermometer mittheilen kann, und man dann zu hohe Queckfilberfüllen für die Wärmegrade erhält, wie wir und auch Herr Schmidt bei seinen Versuchen mehrmahls wahrnahmen; so ist es sehr rathsam, das Feuer möglichst zu mäßigen und jeden Versuch recht langsam anzustellen.

Merkten wir, daß der Dampf sich zu gewaltig ausdehnte, so öffneten wir, um nicht Gefahr zu laufen, den Hahn *H*, und ließen einen guten Theil Dampf entweichen, wobei manchemal zugleich Queckfilberdämpfe mit hinaus traten. Einmal begegnete es uns, daß, während das Thermometer hierbei auf einerlei Stelle blieb, das Barometer einige Zeit lang sank, unstreitig wegen des Entweichens der Dämpfe; ein Beweis, wie sehr es bei diesen Versuchen darauf ankömmt, daß der Topf

oder Kessel überall völlig dampfsticht schliesse. Dieses ist auch der Grund, warum sich bei Versuchen mit Dampf von hoher Expansivkraft das Sicherungsventil nicht anbringen läßt; denn mag man es noch so sehr mit Gewichten beschweren, so entweicht hier doch der Dampf allzuleicht.

Bei aller unserer Sorgfalt, alle Schrauben recht fest anzuziehen, und alle Ritzchen aufs beste zu verkitten, entstand doch oft, bei hoher Expansivkraft des Dampfs, plötzlich ein Leck am Kite einer der Röhren am Deckel; und dieser liefs sich dann durch kein Mittel wieder heben, so dals wir nicht selten genöthigt waren, den Versuch in der Mitte abubrechen, da er, besonders bei grossen Quecksilberhöhen, so wie Dampf entweicht, fehlerhaft wird. Besonders begegnete uns das in dem letzten Versuche, und überhaupt gegen das Ende der Versuche, welches wir daher fortlaffen oder nach wiederholten Versuchen verbessern mußten. Bis auf 260° Wärme blieb der Kessel jedesmahl völlig dampfdicht, und bis dahin stimmten auch alle Versuche völlig überein.

Hörten wir während eines Versuchs ein Pfeifen und Blasen, ohne doch die Stelle, wo der Dampf entwich, finden zu können, so klebten wir, nach Endigung des Versuchs, und nachdem alles abgekühlt war, um den Rand des Kessels und um die Oeffnung, die wir am meisten in Verdacht hatten, einen kleinen Damm von Baurwachs, gossen darein Wasser, und setzten die Röhre SO mit einer Com-

pressionspumpe in Verbindung. Beim Verdichten der Luft im Kessel entdeckte sich dann die wandelbare Stelle durch die Luftblasen, die an ihr durch das Wasser hervordrangen.

Wir haben unsere Versuche mit verschiedenen Wassermengen im Topfe oder Kessel angestellt, und zwar, wie man aus Tabelle I sieht, mit allen Wassershöhen, Zoll für Zoll, von 1 bis 10 Zollen, indess der Topf selbst eine Tiefe von 11 Zollen hatte. In den Resultaten derselben fanden, für einerlei Wärme, keine Unterschiede von Belang statt, so dafs die grössere oder geringere Wassermenge im Gefäfse keinen Einflufs auf den Versuch zu haben, und nichts zur Expansivkraft des Wasserdampfs bei gegebner Hitze beizutragen scheint; ein Resultat, worin unsere Versuche von den Betancourtschen abweichen. *) Nur scheinen, wenn der Kessel mehr mit Wasser

*) Betancourt stellte 4 Reihen von Versuchen an, als der Topf oder Kessel seines Dampfmeffers bis auf $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ und $\frac{3}{4}$ mit Wasser gefüllt war. Die drei ersten Versuchsreihen gaben höhere Quecksilberstände für einerlei Wärme, als die vierte; besonders die erste. Er erklärt sich dieses daraus, dafs in ihnen das Thermometer im Dampfe, in der vierten Versuchsreihe dagegen im Wasser hing, und in letzterer deshalb die Wärme schneller, als in den erstern, angenommen habe, wo das Thermometer gegen die wirkliche Wärme der Dämpfe zurückgeblieben sey, und man daher zu grofse Expansivkräfte gefunden habe. Die
Biker-

Wasser gefüllt war, die Stöße schwächer zu seyn, oder ganz zu fehlen, die man sonst zu Anfang des Kochens hört; wahrscheinlich weil dann der luftleere Raum über dem Wasser geringer ist, und sich schneller mit Dämpfen füllt, die durch ihren Druck das Ansteigen des Dampfs in großen Blasen verhindern.

In unserm letzten Versuche hatten wir die Barometerröhre oben geöffnet, um den Druck des Quecksilbers in ihr durch den Luftdruck zu verstärken. Wir wollten sehn, wie weit sich wohl die Expansivkraft des Dampfs in unserm Apparate würde erhöhen lassen, und in der That brachten wir ihn bis zum vierfachen Luftdrucke. Schade war es, daß auch während dieses Versuchs ein Leck entstand, welcher machte, daß bei 275° Wärme nur eine Quecksilbersäule von 25, und bei 305° Wärme nur eine Säule von 94 Zoll Höhe getragen wurde. Rechnet man dazu 29 rheinl. Zoll Quecksilberhöhe für den Luftdruck auf die obere Fläche des Quecksilbers in der offenen Röhre, so giebt das

Bikerschen Versuche, wo die Thermometerkugel 4 Zoll tief in den Topf hinab, und folglich in den 4 ersten Versuchsreihen im Dampfe, in den beiden letztern im Wasser hing, und dabei doch keine bemerkbaren Unterschiede gaben, beweisen, daß dieses nicht der wahre Grund der Verschiedenheit in Betancourt's Versuchsreihen seyn konnte, wie das auch Herr Schmidt, a. a. O., S. 256, bemerkt.

d. H.

bei 275° 81 Zoll, und bei 305° 123 Zoll Quecksilberhöhe. Die erstere ist, wie aus Tabelle I erhellt, um 13 Zoll, und die letztere sicher noch um viel mehr zu klein. Wir mußten daher diesen Versuch aus der Tabelle fortlassen, hoffen ihn aber während dieses Winters zu wiederholen.

Mehrmahls dämpften wir nach geendigtem Versuche das Feuer aus, und beobachteten das Sinken des Thermometers und Barometers, welches, wie wir fanden, genau nach dem Verhältnisse vor sich geht, nach welchem beide mit einander ansteigen. Dabei behält das ringsum eingeschlossene Wasser seine Wärme zum Bewundern lange.

In der *ersten* der beiden folgenden Tabellen enthalten Columnne 1 die Wärmegrade, wie sie der eine Beobachter nach dem Thermometer mit Fahr. Scale angab; Columnne 2 bis 7 die gleichzeitigen beobachteten Quecksilberhöhen in der Barometerröhre, insgesamt auf einerlei Luftdruck von 29 rheinl. Zollen Barometerhöhe reducirt, wie sie bei verschiedenen Wasserhöhen im Kessel, vom zweiten Beobachter, in fehlerfreien Versuchen wahrgenommen wurden; und Columnne 8 die mittlern Resultate aus diesen Versuchen, aus deren Vergleichung mit den Versuchen selbst am besten erhellt, wie die verschiedene Wasserhöhe im Kessel ohne merklichen Einfluß auf die Expansivkraft des Dampfes ist. *)

*) Interessant würden Versuche mit noch weit weniger Wasser seyn, um daraus die Frage zu beant-

Diese mittlern Resultate sind von Herrn Rouppe nicht ohne Mühe berechnet, da er dabei auf die Veränderung des Niveaus der Queckfilberfläche in dem Behälter, beim Steigen des Queckfilbers in der Barometerröhre Rücksicht nehmen, und die beobachteten Queckfilberhöhen hiernach verbessern mußte. *)

Nicht minder mühsam war die zweite Tabelle zu berechnen. Betancourt und Schmidt hatten sich des Reaumur'schen Thermometers und einer nach pariser Maafs eingetheilten Barometer-Scale; wir uns des Fahrenheit'schen Thermometers und des rheinländischen Maasses bedient. Um alle diese Beobachtungen mit einander zu vergleichen, mußten wir daher unsre Beobachtungen auf Grade des Reaumur'schen Thermometers, und Betancourt's und Schmidt's Queckfilberhöhen auf

worten, die Herr Prof. Schmidt, a. a. O., S. 263, aufwirft: ob der Wasserdampf, der unter Umständen, wo kein neuer hinzukommen kann, erhitzt wird, in dieser bloßen Vermehrung seiner specifischen Elasticität dasselbe Gesetz befolge, als wenn zugleich immer neu erzeugter Dampf mit hinzukömmt, und zugleich seine Dichtigkeit vermehrt.

d. H.

*) Auch wegen der zunehmenden Wärme des Queckfilbers wäre wohl unstreitig eine Reduction der Barometerstände auf einerlei Temperatur nöthig. Aber wie soll die Wärme des Queckfilbers bestimmt werden?

d. H.

rheipl. Zolle reduciren. *) Man sieht aus dieser Tafel, daß unfre Versuche mit denen Betancourt's und Schmidt's aufs beste zusammenstimmen.

Weitere Resultate aus ihnen zur Beurtheilung der Formeln Prony's und Schmidt's zu ziehn, überlassen wir andern. **) Nur müssen wir vor al-

*) Die *Betancourtschen* Versuche sind seine vierte Versuchsreihe, als der Topf zu $\frac{3}{4}$ mit Wasser gefüllt war, welche er selbst für die besten erklärt. Bei 110° steht in der Tabelle des Originals fälschlich 100,9 Zoll, und unter den *Schmidtschen* Versuchen 100,6 Zoll; ein Versehen, welches ich verbessert habe. Auch fehlen im Holländischen die 4 letzten Versuche Schmidt's, die erst von mir der Tabelle beigelegt sind. Die beiden letzten mit † bezeichneten Quecksilberhöhen sind etwas zu niedrig, da bei ihnen ein Leck entstanden war, aus dem der Dampf herausdrang. d. H.

**) Bedeutet t den Wärmegrad des Wasserdampfs nach der gotheiligen Scale des Quecksilber-Thermometers, und e die Höhe der Quecksilbersäule, deren Druck die Expansivkraft dieses Dampfes mißt, in Hundertel pariser Zollen; so ist nach Hrn. Schmidt's Formel $e = t^{1,4113} + 0,005t$ (Gren's *neues Journal der Physik*, B. 4, S. 284.) Daß diese Formel nicht nur innerhalb der Grenze unfre bisherigen Versuche der Expansivkraft der Wasserdämpfe nach Schmidt's Versuchen weit besser als die von Prony aufgestellte entspricht, sondern auch über diese Grenze hinaus sehr wahrscheinlich bleibt, indess die Pronysche hier gar

len Dingen noch bemerken, daß nach unsern Versuchen, was auch Herr Schmidt bestätigt, der Dampf ein vollkommen luftleeres *Vacuum* hervorzubringen vermag. Auch sieht man aus ihnen, daß der Dampf immer einerlei Wärme mit dem Wasser hat, woraus er entsteht.

bald zu sinnlosen Auslagen führt, ist nach dem, was Herr Schmidt darüber gesagt hat, ziemlich evident. Welche von beiden Formeln für die richtigere zu halten sey, möchte daher, wenn man die Genauigkeit der Schmidtschen Versuche, die dabei zum Grunde liegen, anerkennt, kaum noch zweifelhaft seyn. Daß aber den Schmidtschen Versuchen vor den Betancourtschen unbezweifelt der Vorzug gebührt, fällt aus Tafel 2 in die Augen, da das Mittel aus den so gut zusammenstimgenden Bikerschen und Rouppe'schen Versuchen, Grad für Grad mit den Schmidtschen so nahe zusammenfällt, als man es bei so mislichen Versuchen, wo so manche Kleinigkeit, die der Beobachter nicht in seiner Gewalt hat, mit in das Spiel kömmt, nur immer erwarten kann. Die Versuche unsers Landsmannes übertreffen selbst die der beiden Holländischen Physiker im regelmäßigen Gange der Resultate, daher sie auch mit den nach seiner Formel berechneten Expansivkräften des Wasserdampfs, Grad für Grad, genauer als die Bikerschen übereinstimmen. (Vergl. Gren's *neues Journal der Physik*, B. 4. S. 275 f.) Am genauesten möchte vielleicht ein Mittel aus beiden Versuchsreihen mit der Wahrheit übereinstimmen.

d. H.

Erste Tabelle.

Quecksilberhöhe in der Barometerröhre des Dampf-
messers, beobachtet von Biker und Rouppe
nach rheinl. Zollen, und reducirt auf einem
Barometerstande von 29 rheinl. Zollen.

bei ei- ner War- men. Fahrh. von	Als in den 11 Zoll tiefen Topf des Dampf- messers Wasser gegossen war, bis auf eine Hö- he von:						im Mit- tel: Wegen des Ni- veaus corrigit- te Höhe.
	1"	3"	5"	7"	9"	10"	
212°	29	29	29	29	29	29	29
213	30,6	30,5	30,1	30,2	30,5	29,9	30,3
214	31,2	30,9	30,6	31	31,1	30,7	30,9
215	31,6	31,3	31	31,6	31,7	31,8	31,5
216	32,1	31,9	31,7	32,1	32	32,7	32,1
217	32,7	32,5	32,3	32,7	32,7	33,1	32,6
218	33,3	33,3	33,1	33,4	33,2	33,8	33,5
219	33,9	33,9	33,8	34	33,9	34,5	34
220	34,6	34,5	34,3	34,6	34,6	35,1	34,7
221	35,2	35	35	35,6	35,1	35,8	35,3
222	35,5	35,7	35,7	36,3	35,8	36,5	35,9
223	35,5	36,3	36,2	36,9	36,4	37,5	36,6
224	37,1	36,9	37	37,6	36,8	38	37,4
225	37,8	37,6	37,9	38,3	37,6	38,6	37,9
226	38,3	38,4	38,5	39	38,7	39,2	38,7
227	39,1	39,1	39,5	39,9	39,6	40	39,5
228	39,9	39,8	40,3	40,7	40,2	41	40,3
229	40,3	40,5	41	41	41,1	41,6	41
230	41,1	41,2	42,2	42,3	42,6	—	41,8
231	42,7	41,8	43,4	43	43,2	42,8	42,8
232	43	42,5	44,2	43,7	44,1	43,8	43,5
233	44,3	43,9	44,8	44,6	45,3	44,4	44,5
234	44,9	44,8	45,9	45,6	46,2	45,7	45,5
235	45,7	45,7	46,2	46,4	47,1	46,8	46,3
236	46,6	46,5	47,3	47,3	47,9	47,9	47
237	47,5	47,3	47,5	47,2	47,1	48,3	48,2
238	48,3	48,1	48,4	49	49,2	49,1	48,7
239	49,2	49	49,3	50,1	50	50,2	49,7
240	50,2	50,1	50,4	50,9	50,5	50,9	50,5

Wärme Fahrrh.	Quecksilberhöhe, bei einer anfangl. Wasserhöhe: im Kessel des Dampfmeßers, von						im Mit- tel:
	1"	3"	5"	7"	9"	10"	
241°	51,1	51	51,3	51,2	51,3	51,4	51,2
242	52,2	52,3	52,2	52,7	52,5	52,3	52,3
243	53,9	53,8	53	53,8	53,4	53,1	53,5
244	54,8	54,8	53,8	54,7	54,4	54,3	54,5
245	55,9	55,8	54,9	55,6	55,5	55,4	55,3
246	56,8	56,8	55,7	56,6	56,6	56,7	56,5
247	57,6	57,8	56,9	57,6	57,5	57,9	57,5
248	58,7	58,8	58,1	58,7	58,4	58,9	58,6
249	59,9	59,8	58,8	59,2	59,5	59,9	59,7
250	61	60,9	60,1	60,9	60,6	61	60,7
251	61,1	62	61,3	61,9	61,7	61,9	61,8
252	63,2	63,1	62,5	63	62,9	63	62,9
253	64,2	64,2	63,9	64,1	63,9	64,1	64
254	65,4	65,4	65	65,4	65,1	65,1	65,2
255	66,8	66,8	66,3	66,8	66,8	66,6	66,6
256	68,1	68,1	67,6	68,5	68	68,1	68
257	69,1	69,3	68,6	69,2	69,1	69,2	69
258	70,2	70,5	69,9	70,1	70,3	70,4	70,4
259	71,4	71,7	71	71,6	71,5	71,8	71,5
260	72,6	72,4	72,2	72,3	72,7	73	72,6
261	73,5	73,8	73,5	73,1	73,8	74,1	73,7
262	74,8	75	74,9	74,8	74,7	75	74,8
263	76	76,5	75,4	75,9	75,8	76	76,1
264	77,2	77,9	77,2	76,9	77	77,1	77
265	78,4	79	78,5	78,1	78,2	78,3	78,4
266	79,7	80,3	80,3	80,2	79,9	79,7	80
267	80,8	81,9	82,1	81,5	81,3	80,9	81,4
268	82,1	82,3	83,4	82,7	82,9	82,5	82,6
269	84	83,9	84,3	84,1	84,3	83,9	84
270	86,2	86,1	85,9	85,8	86	85,2	85,8
271	88,3	88	87,5	87,1	87,5	86,9	87,5
272	90,1	90,2	89,3	89	89,1	88,8	89,6
273	91,4	91,5	91	90,9	91	89,9	90,9
274	92,8	93,1	92,9	91,7	92	91	92,6
275	94,6	95,2	94,9	94,6	94,4	94,7	94,8
276		98,9	97,8	97,5	97,8	97,8	97,9
277			99,1	98,9	99,1	98,7	98,9
278						102,1	102,1

Zweite Tabelle.

Quecksilberhöhe in rheinl. Zollen, welche die
Expansivkraft des Wasserdampfs misst.

bei einer Hitze nach d. Raum- u. d. Fahrh. Therm. von	zufolge der Versuche von	Betau- court	Schmidt in Gießen	Baker und Roupe.
80°	212°	29		29
81	214 $\frac{1}{4}$	30,7		30,9
82	216 $\frac{1}{2}$	32,4	32,1	32,4
83	218 $\frac{3}{4}$	34,2	33,7	33,9
84	221	35,8	35,2	35,9
85	223 $\frac{1}{4}$	37,7	36,7	37,6
86	225 $\frac{1}{2}$	39,5	38,2	38,3
87	227 $\frac{3}{4}$	41,4	39,8	40,1
88	230	43,7	41,6	41,8
89	232 $\frac{1}{4}$	45,9	43,3	43,6
90	234 $\frac{1}{2}$	48	45,2	45,9
91	236 $\frac{3}{4}$	50,1	47,6	47,8
92	239	52,3	49,8	49,7
93	241 $\frac{1}{4}$	54,9	51,8	51,5
94	243 $\frac{1}{2}$	57,3	53,7	54
95	245 $\frac{3}{4}$	59,5	56,8	56,1
96	248	61,9	58,8	58,6
97	250 $\frac{1}{4}$	65,7	61,3	61,2
98	252 $\frac{1}{2}$	68,5	63,9	63,5
99	254 $\frac{3}{4}$	71,9	66,7	66,2
100	257	74,9	69,4	69
101	259 $\frac{1}{4}$	78,2	72,5	71,7
102	261 $\frac{1}{2}$	81	75,6	74,2
103	263 $\frac{3}{4}$	83,9	78,1	76,8
104	266	85,6	81	80
105	268 $\frac{1}{4}$	89,8	83,8	83
106	270 $\frac{1}{2}$	91,4	88	86,6
107	272 $\frac{3}{4}$	94,6	91,6	90,5
108	275	96,9	95,3	94,4
109	277 $\frac{1}{4}$	99	99,9	99,9
110	279 $\frac{1}{2}$	101,5	104,3	
111	281 $\frac{3}{4}$		108	
112	284		113,1	
113	286 $\frac{1}{4}$		117,1	
114	288 $\frac{1}{2}$		121,3	

Noch verdient folgender Versuch Rouppe's, nicht dafs er sich mit den vorigen an Genauigkeit vergleichen liefse, sondern, weil er ohne grofse Mühe nachzuahmen ist, erwähnt zu werden. Statt des Deckels des Dampfeylinders wurde ein anderer mit einer eingekitteten gläsernen Röhre, (Fig. 7,) aufgeschraubt, die anfangs senkrecht, dann unter einem Winkel von etwa 50° anstieg, in Gestalt eines V auslief, und am Ende zugeschmolzen war. In dem zugeschmolznen Schenkel befand sich eine 6 Zoll lange Säule atmosphärischer Luft; in dem andern Schenkel etwas Baumöhl. Auf dieses drückte der im Topfe des Dampfmeffers sich entwickelnde Wasserdampf, und comprimirte die Luft immer stärker, je mehr seine Expansivkraft zunahm. Der Barometerstand war 29,8 rheinl. Zoll, und Folgendes die Länge der Luftsäule, bei wachsender Wärme.

Wärme. Fahrh.	Rheinl. Zoll.		Wärme.	Rheinl. Zoll.
212	6		248	2,9
215	5,8		250	2,8
218	5,5		252	2,7
220	5,2		254	2,6
225	4,8		256	2,5
230	4,2		258	2,4
235	3,8		260	2,3
240	3,4		263	2,2
245	3,1		266	2,1
246	3		268	2
			270 $\frac{1}{2}$	1,9