

## X.

# Ueber das Tönen zusammenstossender Flammen.

Von K. Noack.

Hierzu Taf. II.

In dem Ostern-Programm des Gymnasiums zu Worms vom Jahr 1882 hatte ich eine Anzahl Versuche veröffentlicht, die den Zweck verfolgten, einige Aufschlüsse über das Wesen derjenigen Töne zu gewinnen, die entstehen, wenn zwei Gasflammen unter irgend einem Winkel gegeneinander brennen. Ich glaubte mich zunächst auf den Fall einer verticalen und einer horizontalen Flamme beschränken zu müssen, und war dort zu dem Schluß gekommen, daß bei constantem Gasdruck die Tonhöhe proportional sei der Länge der verticalen, dagegen umgekehrt proportional der Länge der horizontalen Flamme, beide gemessen von der Brennermündung bis zur Kreuzungsstelle; weiter hatte sich ergeben, daß die Tonhöhe unter sonst gleichen Verhältnissen bei enger Oeffnung des Brenners größer ist, wie bei weiter\*). Allein schon damals

---

\*) Diese Flammen gestatten in rascher Aufeinanderfolge alle Töne zwischen der oberen und unteren Grenze der Hörbarkeit zu erzeugen, von denen besonders die hohen rein und frei von allen Nebengeräuschen sind. Ich habe mich mehrfach überzeugen können, daß solche sehr hohe Töne, die für mich noch deutlich hörbar waren und mir fast unangenehm wurden, von anderen durchaus nicht mehr vernommen werden konnten.

machte ich darauf aufmerksam, daß bei gewissen Stellungen der Brenner sich das Abhängigkeitsverhältniß der Tonhöhe von den bez. Längen der beiden Flammen gerade umkehrt, d. h. daß die Tonhöhe proportional der Länge der horizontalen Flamme und umgekehrt proportional derjenigen der verticalen wird. Ich will dies an einem Beispiel erläutern: die horizontale Flamme von einer gewissen Länge werde allmählich gesenkt, so daß die verticale an immer tieferen Stellen von ihr getroffen oder nach obiger Ausdrucksweise immer kürzer wird; von einer gewissen Stelle an tönt die Flamme mit einem Ton, der beständig bei ununterbrochenem Senken tiefer wird; bei einer ganz bestimmten Stelle erfolgt dann ein Umschlag des Tones zu einem grundverschiedenen, meist höheren Ton, der beim weiteren Verkleinern der verticalen Flamme entgegen dem früheren Verhalten höher wird, so daß die Tonhöhe an dieser Stelle ein relatives Minimum hat.

Die Erscheinung weist darauf hin, daß, wie ich schon früher hervorhob, im einen Fall die eine, welche bleibe zunächst dahingestellt, im andern die zweite Flamme tönt, mit anderen Worten, daß die Flammen an dieser kritischen Stelle ihre Rollen tauschen.

Dieser Eindruck wird noch durch das Aussehen der Flammen verstärkt, indem besonders die Stellung eines hellleuchtenden Grates oder Wulstes mitten auf der Fläche der plattgedrückten Flamme, der im Moment jenes Umschlages auf die entgegengesetzte Seite der Flamme springt, charakteristisch zu sein scheint. Es ließen sich noch einige andere hierhergehörige Symptome anführen, die man jedoch gegebenen Falles leicht selbst finden wird und die sich der Beschreibung ohne Bild entziehen. Nur eine Erscheinung möchte ich nicht unerwähnt lassen: bei den hohen Tönen zeigt sich an der Kreuzungsstelle in der blauen Flamme ein schwarzes

---

Der Apparat dürfte demnach für Untersuchungen über die obere Grenze der Hörbarkeit bei den verschiedenen Individuen sehr empfehlenswerth sein.

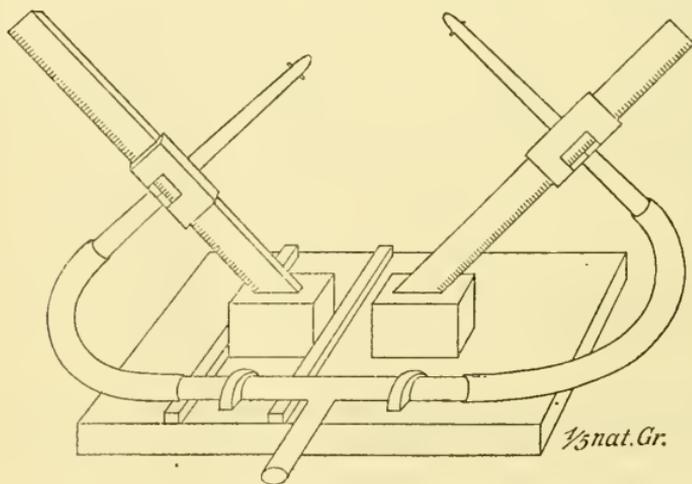
trichterförmiges Gebilde, das man mit einem Strudel zu vergleichen sich versucht fühlt und welches ebenfalls im Moment des Umschlages auf die entgegengesetzte Seite der Flamme springt.

Ich habe nun zunächst die Lage dieses kritischen Punktes, sowie seine Abhängigkeit vom Druck des Gases zum Gegenstand der Untersuchung gemacht und erlaube mir im Folgenden die gewonnenen Resultate mitzutheilen.

1) Der *Apparat*, dessen ich mich zu diesen neuen Versuchen bediente, zeigte, abgesehen von einer sorgfältigeren Ausführung, wie sie diese subtilen Untersuchungen erforderten, gegenüber dem früher benutzten einen wesentlichen Unterschied. Bei letzterem gab nämlich die rechtwinkelige Umbiegung, die der Brenner für die horizontale Flamme haben mußte, Veranlassung zu einem ganz beträchtlichen Fehler, indem selbst bei gleichem Druck des zugeführten Gases die beiden Flammen in der symmetrischen Stellung, d. h. beide um  $45^\circ$  gegen den Horizont geneigt, durchaus nicht gleich waren. Der Grund liegt jedenfalls in der Verzögerung, die der Gasstrom an jener Ecke erfährt.

Ich suchte daher dem Apparat eine solche Einrichtung zu geben, daß bei symmetrischer Stellung beide Brenner durchaus identisch sind und glaube, daß diese Forderung durch folgende Anordnung erfüllt ist.

Auf einer horizontalen Platte sind in verticaler Ebene



zwei Maßstäbe befestigt, die beide mit jener Winkel von  $45^{\circ}$  nach entgegengesetzter Seite, also unter einander einen rechten Winkel bilden (vergleiche vorstehende Figur). Der eine von diesen Maßstäben, die in halbe Millimeter geteilt sind, kann senkrecht zu der Ebene des anderen auf der Platte verschoben werden, wodurch es ermöglicht ist, die beiden jederzeit genau in *eine* verticale Ebene zu bringen. An jedem dieser Maßstäbe ist mit leichter Reibung ein Schlitten verschiebbar, der ein nach vorn konisch zulaufendes Messingrohr trägt, welches dem anderen Maßstab parallel läuft und auf welches oben Löthrohrspitzen mit Bohrungen verschiedener Weite als Brenner gesetzt werden können. Auf der Platte selbst ist ein T-Rohr befestigt, dessen Seitenarme durch Gummischläuche mit den anderen Enden jener Röhren communiciren, während das Hauptrohr zum Zuleiten des Gases dient.

Mit Hülfe dieses Apparates hatte ich nun zunächst zwei durchaus gleiche Flammen unter Winkeln von je  $45^{\circ}$  gegen den Horizont zur Verfügung. Um eine horizontale und eine verticale Flamme benutzen zu können, stellte ich den Apparat auf eine schiefe Ebene von  $45^{\circ}$ ; in diesem Falle war die einzige Verschiedenheit der beiden Flammen die, welche durch die bevorzugte Stellung der verticalen bedingt ist, denn selbstverständlich ist die Bewegung des Gases in einer solchen durchaus verschieden von der Bewegung in einer horizontalen Flamme.

Von Brennerspitzen wurden bei den folgenden Versuchen drei Paare angewendet, die mit I, II, III bezeichnet werden sollen und die respectiven Durchmesser 2,2 mm, 1,6 mm, 1,1 mm hatten.

Vor Beginn der Messungen mit einem dieser Paare mußte natürlich die jedesmalige Nullstellung der Schlitten ermittelt werden, d. h. diejenige Stellung, wo die Mitte der betreffenden Brennermündung genau mit der Kuppe des anderen Brenners abschneidet.

2) Ich gebe zunächst die Resultate von drei Versuchsreihen, die mit je einem der drei Brennerpaare angestellt worden sind. Zuvor möchte ich nur kurz erläutern, wie jede

der drei Zahlen erhalten wurde. Nachdem der Apparat auf die oben besprochene schiefe Ebene gestellt war, wurde einer der Schlitten festgestellt und dann die betreffende Flamme durch Verschieben des anderen Schlittens so lange verkürzt, bis der Umschlag des Tones erfolgte; darauf wurde dieselbe wieder verlängert, bis der Rück-Umschlag stattfand; das Mittel beider Stellungen wurde als wahrer Umschlags-Punkt notirt. Es zeigten sich bei diesem Verfahren zwischen den beiden Ablesungen Differenzen bis nahezu 2 mm; in der großen Mehrzahl der Fälle blieben dieselben jedoch bedeutend unter diesem Werth, besonders wenn man das Verschieben der Schlitten mit einiger Vorsicht bewerkstelligte. Nur bei den Brennern Nr. III wurde diese Verzögerung des Umschlags vom oberen (tieferen) zum unteren (höheren) Ton bisweilen sehr störend.

Die Größe dieser Differenz ändert sich mit dem Druck des Gases, mit der Weite der Brennerbohrungen und dem Ort des Umschlags, in der Weise, daß sie gegen die Wurzel der Flammen hin im allgemeinen wuchs; eine Gesetzmäßigkeit scheint hierbei nicht zu bestehen. Diese Erscheinung lehrt übrigens, daß die tönende Flamme eine gewisse Constanz für den betreffenden Ton hat, man fühlt sich fast versucht ihr im Gegensatz zur nicht tönenden eine gewisse Steifigkeit zuzuschreiben, wenn man die Formveränderungen betrachtet, die im Moment des Umschlages nach langem Widerstreben endlich eintreten.

Um den Einfluß zufälliger Störungen durch Luftzug etc. nach Möglichkeit zu verringern, wurden nie unter zehn solcher Doppelmessungen an einer Stelle vorgenommen, häufig sogar mehr, und von diesen das Mittel genommen. Für jede der folgenden Tabellen ist natürlich der Druck des ausströmenden Gases ein constanter; derselbe wurde mit einem Wassermanometer bestimmt und ist auch in Millimetern Wasser angegeben. Ich muß hier gleich bemerken, daß diese Druckangaben wegen unzuweckmäßiger Anordnung der Zuleitungsröhren des Gases nur einen relativen Werth haben und nur unter sich vergleichbar sind, wo nicht das Gegen-

theil ausdrücklich betont wird; verglichen mit den wahren Drucken in den Brennern sind sie beträchtlich zu groß.

Im Folgenden ist mit  $x$  die Länge der horizontalen, mit  $y$  die der verticalen Flamme von der Wurzel bis zur Kreuzungsstelle bezeichnet; die mit  $p$  überschriebene dritte Colonne enthält jedesmal die Quotienten  $\frac{y^2}{x}$ .

Brenner Nr. I. Gasdruck = 15 mm			Brenner Nr. II. Gasdruck = 30 mm			Brenner Nr. III. Gasdruck = 30 mm		
$x$	$y$	$p = \frac{y^2}{x}$	$x$	$y$	$p = \frac{y^2}{x}$	$x$	$y$	$p = \frac{y^2}{x}$
11,4	4,0	1,40	2,4	2,5	2,60	7,0	4,7	3,16
11,0	3,7	1,24	5,0	3,8	2,89	7,6	5,0	3,29
15,0	4,4	1,29	6,9	4,0	2,32	10,0	5,3	2,81
20,0	4,8	1,15	10,0	4,9	2,40	11,0	5,5	2,75
25,0	5,1	1,04	16,0	6,6	2,72	12,0	5,9	2,90
30,0	5,9	1,16	20,0	7,1	2,52	13,0	6,3	3,05
35,0	6,1	1,07	25,0	8,0	2,56	15,0	7,3	3,55
40,0	6,5	1,05	30,0	8,4	2,35	18,0	7,1	2,80
Mittel		1,18	Mittel		2,54	Mittel		3,04

Diese Zusammenstellung, sowie Tafel II, Fig. 1, in der die  $x$  als Abscissen, die  $y$  als Ordinaten eingetragen sind, zeigen, daß die Umschlagsstellen für alle drei Brenner auf Parabeln liegen, deren Achsen die durch die Nullstellung gezogenen horizontale und verticale Geraden sind. Damit ist aber ein fundamentaler Unterschied beider Flammen constatirt, indem der Einfluß der verticalen Flamme, welcher Art derselbe sei, mag zunächst dahin gestellt bleiben, sich im quadratischen, jener der horizontalen dagegen im linearen Verhältniß der Entfernung von der Mündung ändert.

Ist dieser Unterschied einzig durch die bevorzugte Stellung der verticalen Flamme bedingt, und etwas anderes ist bei der Construction des Apparates fast gänzlich ausgeschlossen, so muß er wegfallen, sobald man beiden Brennern die symmetrische Stellung ertheilt, d. h. wenn man den Apparat horizontal stellt.

In der That zeigen die beiden folgenden Tabellen, in denen eine Anzahl in dieser Richtung mit Brenner II ange-

stellter Versuche enthalten sind, im Wesentlichen die Gleichheit der  $x$  und  $y$ .

Gasdruck 30 mm		Gasdruck 20 mm	
x	y	x	y
5,0	4,9	8,9	9,0
5,0	5,0	9,0	8,9
10,0	10,0	14,4	15,0
10,4	10,0	15,0	15,2
15,0	14,9	11,7	12,0
15,6	15,0	12,0	11,6
20,0	19,5		
20,5	20,2		

Jede von diesen Zahlen ist auch hier wieder das Mittel von 10 Doppelmessungen.

### 3) Abhängigkeit der Umschlagstelle vom Druck des Gases.

Um mir genauere Rechenschaft über die Verhältnisse geben zu können, die den Unterschied einer verticalen und horizontalen Flamme verursachen, habe ich eine Reihe von Versuchen mit dem Apparat in der symmetrischen Stellung angestellt, bei denen ich den Druck in der einen Flamme bis zum Vierfachen des Druckes in der anderen verstärkte. Folgende drei Tabellen enthalten die betreffenden Resultate; mit  $x$  ist die Länge derjenigen Flamme bezeichnet, welche durch den stärkeren Gasstrom gespeist wurde.

Gasdruck		Gasdruck		Gasdruck	
30 mm	15 mm	30 mm	10 mm	40 mm	10 mm
x	y	x	y	x	y
5,0	2,0	6,3	3,6	6,4	3,0
5,4	3,0	7,0	4,6	7,9	5,0
5,6	3,5	8,0	5,2	9,8	6,0
7,0	6,0	10,0	6,9	13,0	6,5
10,0	8,3	15,0	10,1	14,3	7,9
10,6	9,0	20,0	12,2	16,0	8,1
15,0	10,5			20,0	8,2
20,0	12,6				

Aus diesen Versuchen geht zur Evidenz hervor, dafs mit wachsendem Druck in der einen Flamme auch deren Längen zunehmen, wenn man für eine bestimmte Länge der anderen Flamme die Umschlagstelle sucht. Ein Blick auf Figur 2 zeigt dies noch deutlicher; man erkennt dort z. B., dafs für  $y = 9$  mm der Umschlag erfolgt, wenn die Länge der Flamme mit stärkerem Druck die Werthe erreicht :

$x = 9$  mm;  $x = 10,6$  mm;  $x = 13,4$  mm (interpol.);  $x = 20$  mm,  
je nachdem das Verhältniß der Drucke in beiden Brennern  
30 : 30; 15 : 30; 10 : 30; 10 : 40

ist. Darf man aus diesen Thatsachen einen Schlufs auf den Fall der horizontalen und verticalen Flamme ziehen, wo die  $x$  (Längen der horizontalen Flammen), wie wir sahen, gröfser sind als die  $y$ , so werden wir annehmen müssen, dafs der Gasdruck in dem horizontalen Brenner den im verticalen übertrifft.

Bevor ich auf die Discussion dieser Frage eingehe, möchte ich die Resultate von zwei hierhergehörigen Versuchsreihen anführen, die ebenfalls mit Brenner II, aber in der zuletzt genannten Stellung des Apparates angestellt wurden. Bei dem ersten dieser Versuche war der Druck in beiden Brennern 15 mm, bei dem letzten war der Druck im horizontalen Brenner derselbe, dagegen der im verticalen auf 30 mm erhöht; in den folgenden Tabellen sind die Ergebnisse zusammengestellt :

Gasdruck		p
15 mm	15 mm	
x	y	
5,0	3,3	2,18
6,3	4,0	2,54
7,0	3,9	2,17
9,5	5,0	2,63
10,0	5,2	2,70
14,5	6,0	2,49
22,5	7,8	2,70

Gasdruck	
15 mm	30 mm
x	y
4,0	3,0
7,0	4,5
11,3	7,0
9,5	6,0
14,5	7,6
19,0	7,8
25,0	8,8

In Fig. 3 sind beide Versuchsreihen eingetragen. Auch diese beiden Versuche beweisen einen Einfluß des Gasdruckes in demselben Sinn, wie die obigen, d. h. ein Verschieben des Umschlagpunktes von der Brennermündung weg in der Flamme mit stärkerem Druck.

Es ermangelt nun einzig noch den Einfluß einer in beiden Brennern gleichmäßigen Druckänderung zu erforschen. Wir können uns dabei selbstverständlich auf die unsymmetrische Stellung des Apparates beschränken, denn bei der symmetrischen Stellung kann eine derartige Druckänderung keinen Einfluß haben, was auch die Zahlen S. 200 bestätigen. Es

wurden zu diesem Zweck in der oben beschriebenen Weise (S. 198) für jedes Brennerpaar eine gröfsere Anzahl Umschlagstellen für verschiedene Gasdrucke gemessen und aus den zusammengehörigen Werthen die Gröfse  $p = \frac{y^2}{x}$  berechnet.

Nimmt man hierzu die schon oben angeführten Zahlen, so erhält man folgende Zusammenstellung :

Brenner	Gasdruck			
	50 mm	30 mm	20 mm	15 mm
I	—	—	1,40	1,18
II	2,60	2,54	—	2,48
III	—	3,04	—	2,20

Ich muß hier nochmals darauf aufmerksam machen, daß die Versuche mit Brenner III nicht so genau sind, wie die mit den anderen angestellten Beobachtungen, da der Umschlag sich bei diesen Flammen beim Verkleinern durchweg schwieriger vollzog, demnach die Werthe von  $y$  zu klein sind (vergleiche S. 198). Ich beschränkte mich deshalb bei einer zweiten Beobachtungsreihe, die mit etwas abgeänderter Versuchsanordnung gewonnen ist, auf die Brennerpaare I und II.

Die hauptsächlichste Aenderung hierbei ist die, daß zwischen den Apparat und den zur Regulirung des Gaszufflusses dienenden Hahn eine große doppelt-tubulirte Flasche eingeschaltet wurde und daß sich das Manometer kurz vor dem Apparat zwischen diesem und der Flasche befand.

Brenner	Gasdruck		
	30 mm	20 mm	10 mm
I	2,52	2,24	—
II	3,65	3,45	2,58

Auch die Art und Weise, wie die Versuche angestellt wurden, ist eine etwas andere, indem jedesmal drei möglichst günstig gelegene Umschlagpunkte durch eine gröfsere Anzahl von Messungen zu verschiedenen Zeiten bestimmt und aus ihnen dann die Gröfse  $p$  berechnet wurde.

Aus diesen beiden Tabellen erhellt nun, daß für correspondirende Druckvermehrung in beiden Brennern die Längen der verticalen Flammen von der Brennermündung bis zur

Umschlagstelle größer werden, mit anderen Worten, daß eine derartige Druckvermehrung stärkeren Einfluß auf die verticale, wie auf die horizontale Flamme äußert.

4) Alle im vorigen §. beschriebenen Versuche weisen darauf hin, daß in einer horizontalen Flamme das Gas unter höherem Druck ausströmt, wie in einer verticalen. Daß dies wirklich so ist, dafür wünschte ich einen directen Nachweis zu haben, den ich mir in folgender Weise verschaffte.

Ich construirte mir ein Manometer, dessen einer Schenkel in seiner größten Erstreckung, etwa 15 cm lang, horizontal gelegt war, während sein offenes Ende, das mit der Gasleitung communicirte, rechtwinkelig nach oben umgebogen war; der andere fast gleich lange Schenkel war mit dem ersteren durch einen Gummischlauch verbunden und lag etwa 30 mm höher, wie jener. Derselbe war zwar auf demselben Brettchen mit dem wagrechten Schenkel, aber in der Weise befestigt, daß man ihn um seinen Endpunkt drehen und demnach diesem Theil des Apparates jede beliebige, kleine, an einer Scala meßbare Neigungen gegen den Horizont ertheilen konnte. Dieser Apparat wurde soweit mit Alkohol (Wasser erwies sich als zu wenig beweglich) gefüllt, daß sich unter dem Einfluß eines Druckes von bestimmter Größe die eine Kuppe gerade in den unteren horizontalen Schenkel zurückgezogen hatte, während die obere eben erst in den oberen geneigten Schenkel eingetreten war.

Hatte nun dieser letztere Schenkel eine Neigung z. B. von 1 : 100, so mußte sich eine Druckänderung von 1 mm Alkohol durch ein Vorwärtsbewegen der oberen Kuppe um 100 mm kenntlich machen. Diese Empfindlichkeit erwies sich jedoch beim Gebrauch als viel zu groß; in den meisten Fällen begnügte ich mich mit 1 : 20.

Ich setzte nun mit diesem Manometer einen von den benutzten Brennern durch eine Zweigleitung in Verbindung, ließ das Gas ausströmen und regulirte seinen Druck so, daß die Kuppe der Alkoholsäule am Anfang der geneigten Röhre bei 0 der Theilung stand; dem entsprach ein Druck von 31,2 mm Alkohol. Wurde nun bei Anwendung des Bren-

ners II der ausströmende Gasstrahl entzündet, so zeigte das Manometer für beide Fälle, ob die Flamme horizontal brannte oder vertical, eine Zunahme des Druckes, im ersten Fall um 2,9 mm oder  $\frac{1}{11}$ , im letzten um 2,4 mm oder  $\frac{1}{13}$  des ursprünglichen Druckes. Analoge Versuche mit Brenner I ergaben folgende Zahlen: anfänglicher Druck 30,8; Druckzuwachs 1,5 mm oder  $\frac{1}{20}$  des ursprünglichen bei verticaler, 1,9 mm oder  $\frac{1}{16}$  bei horizontaler Stellung der Flamme.

Nun ist aber dieser Unterschied der Drucksteigerung im horizontalen und verticalen Brenner viel zu klein (auch wenn dieselben, wie es mehrfach geschah, durch verschiedene Leitungen mit Gas gespeist wurden), um ihm die Verschiedenheit der beiden Flammen zuzuschreiben, wenn man bedenkt, welche beträchtliche Druckvermehrung nach S. 200 erforderlich ist, um ähnliche Wirkungen bei symmetrischer Stellung des Apparates zu erzielen. Wohl aber wird man nicht irren gehen, wenn man in der Ursache jener Drucksteigerung auch den Grund für diese Verschiedenheit sucht.

Die obigen Versuche lehren, daß in dem Verbrennungsvorgang dem ausströmenden Gas durch den allseitig zufließenden Sauerstoff ein gewisser Widerstand bereitet wird, der in einer verticalen Flamme zwar auch vorhanden, aber beträchtlich geringer ist, wie in einer horizontalen und zwar wohl deshalb, weil bei ersterer die aufsteigenden stark erhitzten Verbrennungsproducte eine stärkere Compensation dieses Widerstandes herbeiführen, wie in letzterer. Mit anderen Worten, es findet in einer verticalen Flamme ein vergleichsweise rascheres Ausströmen des Gases in der Flammenrichtung statt, wie in einer horizontalen.

Allein diese Verschiedenheit der Ausströmungsgeschwindigkeit kann nicht die Ursache des verschiedenen Verhaltens beider Flammen sein; denn nehmen wir etwa an, der Umschlag erfolge an Stellen gleicher Geschwindigkeit beider Gasströme, so müßte entgegen dem thatsächlichen Verhalten die verticale Flamme länger sein, wie die horizontale, da in ihr die Geschwindigkeit größer ist und langsamer abnimmt.

Durch die vereinigte Wirkung des Ausströmens des Gases

und des allseitigen Zufließens von atmosphärischem Sauerstoff, wozu noch als drittes die Molekularbewegung der Verbrennung selbst hinzukommen mag, gewinnt eine solche Flamme eine gewisse Elasticität, die in Folge des Einflusses der aufsteigenden Verbrennungsproducte, der wachsenden Ausbreitung und der abnehmenden Verbrennungsenergie mit zunehmender Entfernung von der Flammenwurzel beständig abnimmt, und zwar muß diese Auflockerung bei einer verticalen Flamme größer sein, als bei einer horizontalen (S. 203). Ebenso wird ein Gasstrahl, der unter stärkerem Druck auströmt, in dem also auch die Verbrennung intensiver ist, diese Eigenschaft der Elasticität in höherem Mafß und länger besitzen, wie ein schwächerer Gasstrahl.

Legen wir diese Anschauungen zu Grunde, so muß z. B. beim Verlängern der horizontalen Flamme der Umschlag dann eintreten, wenn deren Elasticität zu demselben Betrag gesunken ist, den die verticale an der Kreuzungsstelle hat und das wird eben erst in größerer Entfernung vom Brenner, wie bei jener, stattfinden. Ich glaube, daß sich in dieser Weise das eigenthümliche Verhalten der Flammen bezüglich der Umschlagsstelle erklären läßt.

5) Es bleibt noch übrig im Folgenden eine Lücke auszufüllen, die meine erste Untersuchung über diesen Gegenstand enthält. Ich hatte mich nämlich dort auf die Töne oberhalb des kritischen Punktes beschränkt, während es nach den obigen Resultaten unerläßlich scheint, auch die untere Tongruppe in Betracht zu ziehen, und ferner für die symmetrische Stellung des Apparates die Aenderung des Tones mit der Flammenlänge zu erforschen.

Ich habe mich bei dieser Untersuchung, die unter Anwendung aller nur denkbaren Vorsichtsmaßregeln ausgeführt wurde, von neuem überzeugt, wie wenig genau ihre Resultate sind. Die Flamme ist ein so bewegliches Gebilde, daß der geringste Luftzug genügt, um merkliche Schwankungen der Tonhöhe herbeizuführen. Dazu kommt, daß beim Aufsuchen des Tones mit dem Monochord der Flammenton sich mitunter naheliegenden Tönen dieses Instrumentes wenigstens zeitweise

accommodirt. Daher die beträchtlichen Unterschiede der aus den Schwingungszahlen berechneten Constanten. Immerhin wird man sich überzeugen, daß die Resultate genau genug sind, um mit ihrer Hülfe die hierher gehörigen Fragen zu entscheiden.

Giebt man bei *symmetrischer Stellung* des Apparates der einen Flamme eine bestimmte Länge und läßt dann die andere von ganz kleinen Werthen an allmählich wachsen, so wird der anfangs sehr hohe Ton beständig tiefer, bis beide Flammen gleich lang sind; verlängert man die Flamme jetzt weiter, so wird der Ton wieder höher, bis er schließlicb nicht mehr hörbar ist, oder bei zu großer Länge der Flamme erlischt.

Die folgenden Tabellen enthalten eine Anzahl von Tonhöhen, die obere für  $x$  größer wie  $y$ , die untere für den umgekehrten Fall, wo  $x$  und  $y$  wie früher die Flammenlängen bis zum Kreuzungspunkt sind. Die mit  $n$  überschriebenen Columnen enthalten die Schwingungszahlen der zugehörigen Töne. Die vierte Columnen enthält die Constante  $k = n \frac{y}{x}$  resp.  $n \frac{x}{y}$ . Diese wie alle folgenden Versuche sind mit Brenner II angestellt.

x	y	n beobachtet	$k = n \frac{y}{x}$	n berechnet
18,9	1,6	6826	578	6521
26,5	10,8	2560	1043	2708
32,2	20,0	920	572	889
19,9	13,6	731	500	808
19,6	14,9	722	549	726
20,0	20,0	589	589	552

$$k = 552.$$

x	y	n beobachtet	$k = n \frac{x}{y}$	n berechnet
3,9	24,3	6826	1095	6978
9,9	23,3	2560	1088	2636
15,0	33,5	1145	513	1251
15,2	29,6	1107	569	1091
29,7	46,7	956	608	881
14,0	20,0	864	604	800
19,9	20,0	539	536	563

$$k = 560.$$

Diese Beobachtungen zeigen, daß in beiden Fällen die Tonhöhe proportional der Länge der größeren, dagegen umgekehrt proportional der Länge der kürzeren Flamme ist.

Daß die Constante  $k$  einigemale die doppelte Größe des Durchschnittswerthes zeigt, darf nicht auffallen; es hat seinen Grund darin, daß häufig zwei Töne hörbar sind, die im Verhältniß von Grundton zur Octave stehen; von beiden wurde der vorherrschende zur Bestimmung der Tonhöhe benutzt. Bisweilen kann man sogar die höhere oder tiefere Octave des augenblicklich vernehmbaren Tones künstlich hervorrufen, indem man den betreffenden Ton am Monochord energisch angiebt.

Ganz analoge Versuche wurden mit dem Apparat in der *nicht-symmetrischen Stellung* unternommen. In den folgenden beiden Tabellen sind die Resultate zusammengestellt; die erste enthält die Tonhöhen für Stellen unterhalb der Parabel der Umschlagspunkte, die zweite für solche über derselben.

Die Länge der horizontalen Flamme ist natürlich wieder mit  $x$  bezeichnet; im übrigen haben die Bezeichnungen die nämliche Bedeutung, wie in den obigen Angaben.

$x$	$y$	$n$ beobachtet	$k = n \frac{y}{x}$
58,6	6,0	6560	672
30,8	6,0	2697	525
24,4	6,7	2427	666
40,0	7,3	2380	434
30,2	8,5	2380	670
44,7	6,0	3371	453
25,2	6,8	2001	540
20,4	6,0	1926	566
15,4	6,0	1428	556
42,6	9,0	1099	520

$$k = 560.$$

x	y	n beobachtet	$k = n \frac{x}{y}$	n berechnet
5,6	20,0	3570	1000	4039
11,7	20,0	1839	1076	1933
6,0	8,1	1640	1215	1527
25,0	25,0	1264	1264	1131
20,0	20,0	1190	1190	1131
22,1	20,0	1083	1196	1023
11,7	10,4	948	1066	1005
22,7	18,1	934	1171	902
32,7	20,0	667	1090	692
41,9	20,0	551	1154	540
53,0	20,0	383	1015	427

$$k = 1131.$$

Aus diesen Zahlen geht hervor, daß in der unteren Gruppe von Tönen die hohen Töne vorherrschen und daß die Tonhöhe proportional der Länge der horizontalen Flamme, umgekehrt proportional der Länge der verticalen Flamme ist. Die Töne oberhalb der Linie der kritischen Punkte zeigen auch hier gerade das umgekehrte Verhalten.

Dabei ergibt sich die auffallende Thatsache, daß bei jenen durchweg die Constante  $k$  nur halb so groß ist wie bei diesen, während letztere mit der am symmetrisch gestellten Apparat gefundenen übereinstimmt. Ich glaube übrigens nicht, daß man diesem Umstand besonderen Werth beilegen darf; vielmehr scheint es mir natürlich, daß bei diesen theilweise sehr hohen Tönen die tieferen Octaven vorherrschen.

Die größere Ungenauigkeit der Zahlen der ersten Tabelle (S. 207) hat ihren Grund darin, daß die Töne nahe der Flammenwurzel weniger rein und frei von Geräuschen sind, wie die oberen.

Aus diesen Versuchen geht erstens hervor, daß die Größe der Constanten  $k$ , wie auch schon früher gezeigt worden war, einzig von den Dimensionen der benutzten Flammen, dagegen nicht von deren Stellung oder richtiger der Stellung des Apparates abhängt; zweitens, daß die Aenderung der Tonhöhe nur durch die Länge der Flammen, nicht, wie in der früheren Untersuchung vermuthet wurde, durch die Vorgänge in den Flammen, die den Umschlag bewirken, bedingt ist. Auf das Detail dieser Frage hoffe ich demnächst zurückkommen zu können.

Gießen, am 25. März 1883.

Fig. 2

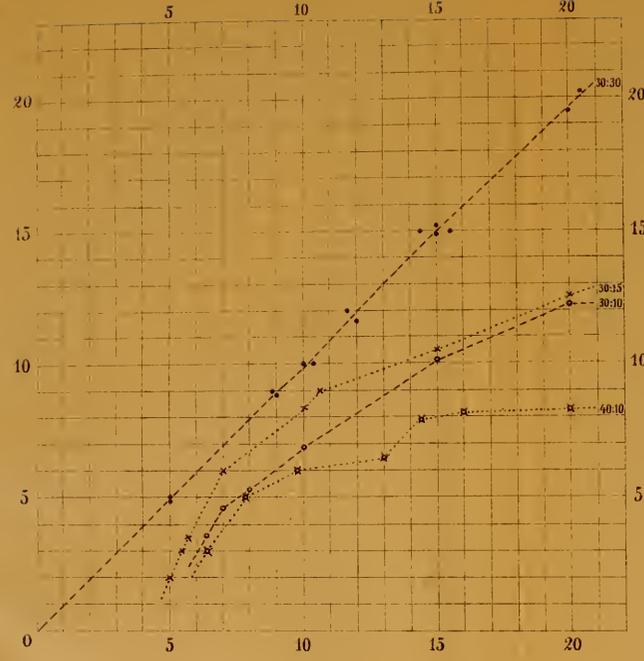


Fig. 3.

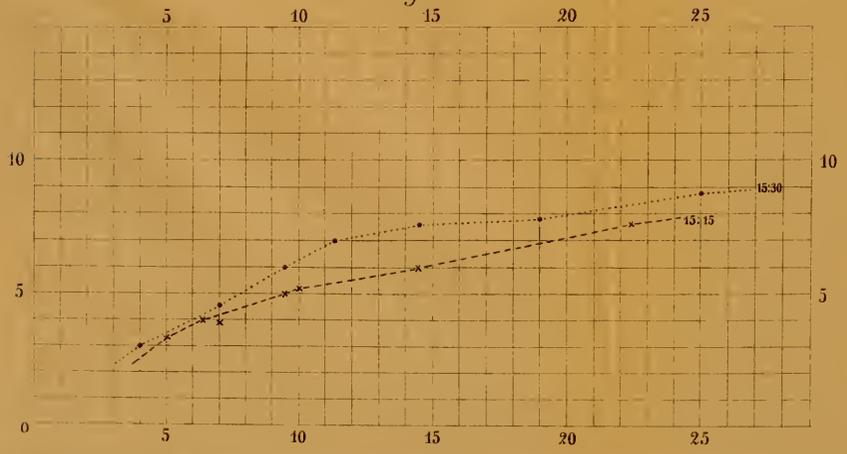
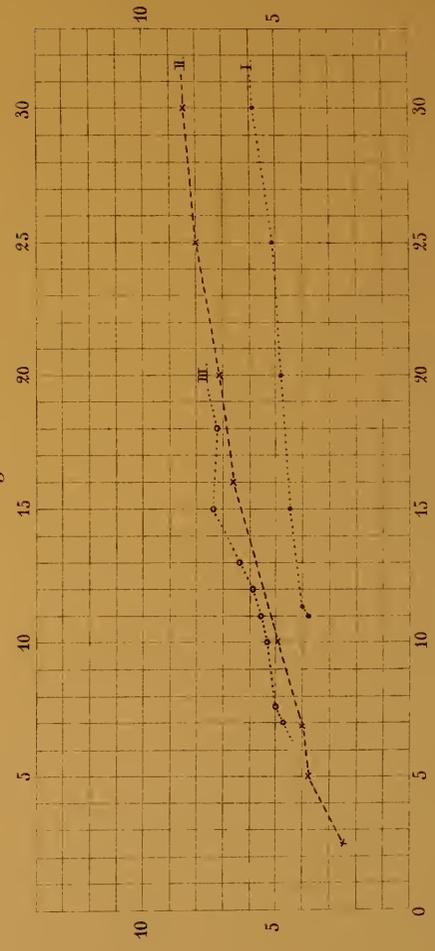


Fig. 1.



# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Bericht der Oberhessischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde](#)

Jahr/Year: 1883

Band/Volume: [22](#)

Autor(en)/Author(s): Noack Karl

Artikel/Article: [Ueber das Tönen zusammenstoßender Flammen. 194-208](#)