

**Sonderdruck aus „Akustische Zeitschrift“, Jahrgang 3 · 1938 · Heft 1**

Verlag von S. Hirzel in Leipzig. Printed in Germany

---

# Untersuchungen an der freien, schallempfindlichen Flamme

Von Paul Eugen Schiller, Dornach

(Mit 12 Textabbildungen)

## Einleitung

Bei der Anwendung der Flamme als Hilfsmittel für akustische Untersuchungen hat man die freie, empfindliche Flamme lange Zeit recht vernachlässigt. Schon sehr früh wurden die Erscheinungen der singenden Flamme weitgehend aufgeklärt<sup>1)</sup>. Ebenso hat die von KÖNIG gefundene manometrische Flamme vielfache Anwendung und Untersuchung erfahren. Sie und das aus ihr entwickelte MARBESCHE Rußverfahren haben das wissenschaftliche Interesse in diesem Gebiet fast ausschließlich in Anspruch genommen, während die freie, empfindliche Flamme nur noch zu Demonstrationszwecken verwendet wurde. In den letzten Jahren ist diesbezüglich eine Änderung eingetreten. Seit 1930<sup>2)</sup> sind eine Reihe von Arbeiten veröffentlicht worden, die sich größtenteils um die theoretischen Grundlagen der an der empfindlichen Flamme auftretenden Erscheinungen bemühen<sup>3)</sup>.

Im folgenden wird über Untersuchungen berichtet, die den Verlauf der Strömungsvorgänge in der schallbeeinflussten Flamme feststellen und die auftretenden Erscheinungen in eine erste Ordnung bringen sollten. Die

Ergebnisse lassen die Verwendung der freien, empfindlichen Flamme zur Schalluntersuchung als möglich erscheinen. Sie können des weiteren einen Beitrag zur Abklärung der strömungstheoretischen Grundlagen abgeben.

## Die schallbeeinflusste Flamme

Es ist bekannt, daß die empfindliche Flamme unter dem Einfluß von Schall vor allem ihre Außenform verändert. Abb. 1 gibt einige

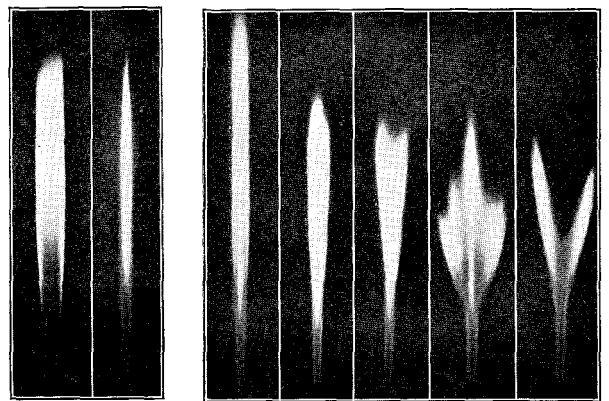


Abb. 1. Außenform der empfindlichen Flamme

a und b. Ansicht der unbeeinflussten Flamme von vorne und von der Seite.  
c—g. Flammenformen, die durch die Vokale i, o, a, durch den Ton einer Flöte und den einer Stimmgabel entstehen (Gesamtlänge der unbeeinflussten Flamme 300 mm)

<sup>1)</sup> A. TÖPLER, Vibroskopische Beobachtungen über die Schwingungsphasen singender Flammen. Pogg. Ann. 128 (1866), S. 127.

<sup>2)</sup> P. E. SCHILLER, Die empfindliche Flamme als Analysator. Naturwiss. 18 (1930), S. 352.

<sup>3)</sup> G. B. BROWN, One Sensitive Flames. Philos. Mag. 13 (1932), S. 161 und Proc. Phys. Soc. London 47 (1935), S. 703. — H. ZICKENDRAHT, Über schallempfindliche Flammen. Helv. physica Acta V (1932) S. 317 und VII (1934), S. 468 und VII (1934), S. 773. — Z. Carrière, Flammes sensibles. Revue d'Acoustique 3 (1934), S. 221. — KRÜGER und CASPER, Über die Wirbelbildung bei Schneidentönen. Z. techn. Physik 17 (1936), S. 416.

Beispiele. Die ersten beiden Bilder (a und b) stellen die unbeeinflusste Flamme dar. Aus Gründen, die weiter unten geschildert werden, wurde nicht eine spindelförmige, sondern eine mehr schwertförmige Flamme verwendet. Für die Beurteilung der schallbeeinflussten Flammen

(c—g) ist zu beachten, daß die Blickrichtung hierbei dieselbe ist wie bei dem Bild b, also von der schmalen Seite her gesehen. Die Verformung erfolgt in einer um  $90^\circ$  zur ursprünglichen Flammenebene verdrehten Ebene.

Betrachtet man die schallbeeinflusste Flamme im rotierenden Spiegel, so zeigt sich das bekannte Bild der Abb. 2a. Das Flammenband weist starke Einschnitte auf, die bei geeigneten Flammen durch das ganze Band hindurchgehen. Erstaunlicherweise hat man diesem Bild gegenüber die entsprechenden Überlegungen nicht angestellt; es hätte sich sonst die innere Durchformung der freien empfindlichen Flamme schon früher finden lassen. Abb. 2a stellt — sowohl bei der subjektiven Beobachtung im rotierenden Spiegel als auch bei der photographischen Aufnahme auf dem gleichmäßig bewegten Film — eine Weg-Zeitkurve dar. Zieht man durch irgendeinen Punkt der Zeitachse eine Senkrechte, so muß auf ihr der in jenem Augenblick vorhandene Zustand der Flamme dargestellt sein. Im Verlauf einer

solchen Senkrechten wechseln sich aber Helligkeit und Dunkelheit ab, d. h. die Flamme muß in ihrer Längsrichtung Durchbrechungen aufweisen.

Diese Folgerung wird durch Zeitlupenaufnahmen bzw. durch subjektive Beobachtung mit Hilfe eines besonderen Gerätes bestätigt. Abb. 2b gibt eine solche Aufnahme wieder; die innere Gliederung der schallbeeinflussten Flamme ist deutlich zu erkennen. Die Streifen des Flammenbandes der Abb. 2a sind als die Wege der einzelnen Flammenteile verständlich.

Es zeigt sich demnach, daß unter dem Einfluß von Schall die hier verwendete empfindliche Flamme nicht nur eine Veränderung ihrer Außenform erfährt, sondern auch eine starke Beeinflussung des inneren Strömungsverlaufes. Die im wesentlichen laminare Strömung der unbeeinflussten Flamme ist durch den auftretenden Schall turbulent geworden. In einiger Entfernung über der Düse bilden sich Wirbel, die gemäß der Gasgeschwindigkeit nach oben strömen (s. auch Abb. 10).

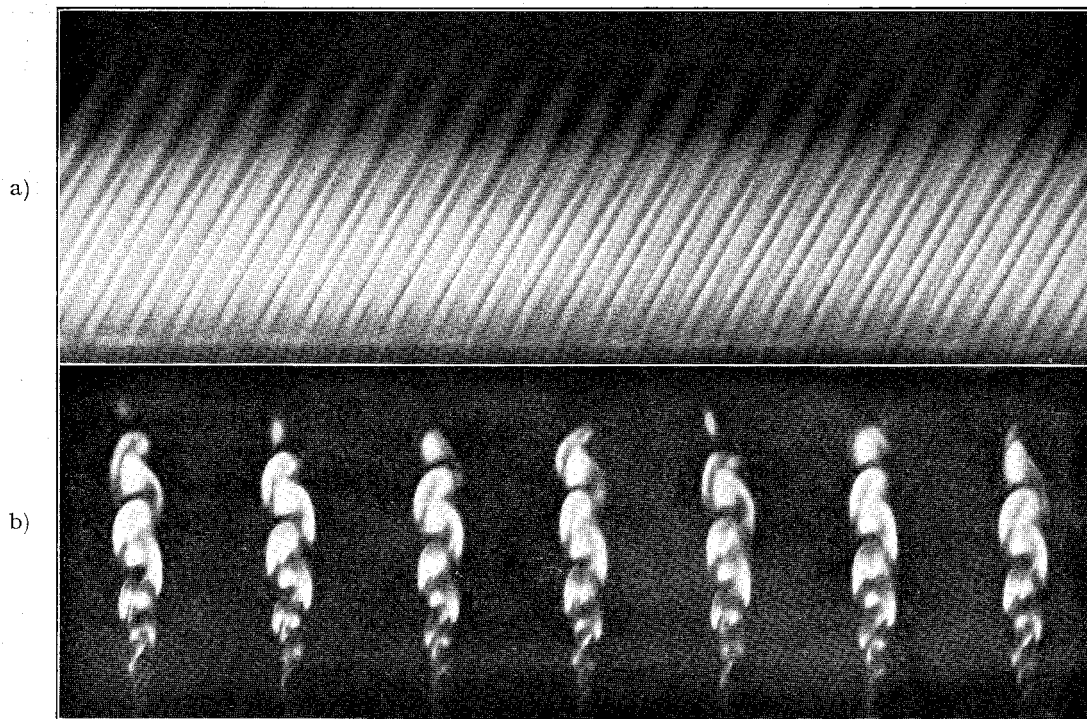


Abb. 2. a) Weg-Zeitkurve der schallbeeinflussten Flamme.  
b) Momentaufnahmen der schallbeeinflussten Flamme (Belichtungszeit  $\frac{1}{5000}$  Sek.)

Soll die empfindliche Flamme zur Untersuchung des einfallenden Schalles verwendet werden können, so müssen diese Vorgänge in möglichst enger Abhängigkeit von den Eigenschaften desselben, also von Tonhöhe, Tonstärke und Klangfarbe erfolgen. Bei den gebräuchlichen empfindlichen Flammen ist dies nur zu einem Teil der Fall. Dort wird durch Steigerung des Gasdruckes oder durch Unebenheiten an der Ausströmöffnung der Strömungsverlauf bis dicht unter den Umschlagspunkt zur Turbulenz gebracht. Trifft Schall auf die Flamme auf, so wird die Strömung turbulent, aber die Einzelheiten derselben sind weniger durch den Schall als durch die Beschaffenheit der Düse und durch die Gasgeschwindigkeit bestimmt.

Um dies zu vermeiden und um die oben dargestellte Forderung weitgehend zu erfüllen, empfiehlt sich eine Flamme mit möglichst geringer Strömungsgeschwindigkeit. Kann man ihr trotzdem eine hohe Empfindlichkeit verleihen, so ist zu erwarten, daß die auftretenden Erscheinungen hauptsächlich durch den Schall selbst bestimmt werden. Abb. 3 zeigt einige der untersuchten Düsenformen. Als Gesamtform der Düse hat sich ein lang zugespitzter Kegel bewährt; plötzliche Übergänge vom Durchmesser der Gaszuleitung bis zur Düse sind zu vermeiden. Abb. 3b, c und d stellen wenig günstige Düsenformen dar. Der glatte, runde Öffnungsquerschnitt ergibt nur dann eine empfindliche Flamme, wenn durch Steigerung des Druckes eine hohe Geschwindigkeit der Flammenströmung erreicht wird. Wie bekannt, werden durch Hinzufügen einer Kerbe (Abb. 3c) oder durch eine Querschnittsform nach Abb. 3d die Verhältnisse besser, die besten Resultate haben sich jedoch im Rahmen der vorliegenden Untersuchung mit Öffnungsquerschnitten nach Abb. 3e und f erzielen lassen. Besonders bei f wird schon bei einer mittleren Strömungsgeschwindigkeit von 5 m/sec eine gute Empfindlichkeit erreicht (Gasdruck 20 mm H<sub>2</sub>O).

Mit Düsen nach Abb. 3e und f wurden die folgenden Untersuchungen durchgeführt. Das verwendete Gas wurde unmittelbar der städt.

Gasleitung entnommen. Die Drosselung auf den notwendigen Druck kann durch eine gewöhnliche Schlauchklemme erfolgen.

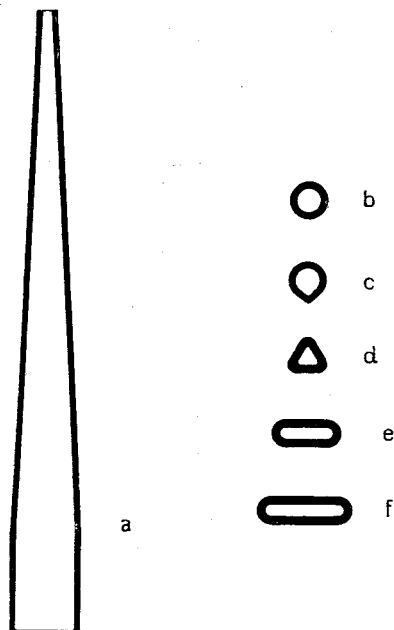


Abb. 3. Düse für die schallempfindliche Flamme.  
a Gesamtform der Düse (Länge 120 mm, unterer Durchmesser 12 mm); b, c, d weniger günstige Ausströmöffnungen; e, f günstige Ausströmöffnungen (Querschnitt z. B. 0,5/6,0 mm)

#### Aufnahme- und Beobachtungsapparat

Bevor über die Versuchsergebnisse im einzelnen berichtet wird, sei auf die verwendete Apparatur eingegangen. Die verhältnismäßig hohen Strömungsgeschwindigkeiten der Flamme verlangen kurze Belichtungszeiten, z. B.  $\frac{1}{10000}$  Sek. Hierdurch ist es möglich, die Reihenaufnahmen auf einen langsam und gleichförmig bewegten Film zu belichten. Die verwendete Sonderkonstruktion konnte also auf den ruckweisen Filmvorschub verzichten, was große Vorteile bot, da das Gerät absolut geräuschlos arbeiten mußte. Der im Prinzip einfache Aufbau desselben sah unmittelbar vor dem bewegten Filmband eine Schlitzscheibe vor, die mit genügender Schwungmasse versehen wurde, damit beim Einkuppeln des Filmvorschubes keine wesentliche Verminderung

der Drehzahl des Antriebsmotors eintreten konnte. Die Belichtungszeit ließ sich durch Einstellung der Schlitzbreite regeln, ebenso die Filmgeschwindigkeit durch Austausch entsprechender Antriebsrollen.

Es lag nahe, zur subjektiven Beobachtung der Flamme das Stroboskop zu verwenden. Dies ist aber nur so lange möglich, als der einfallende Schall konstante Frequenz hat. Da in den

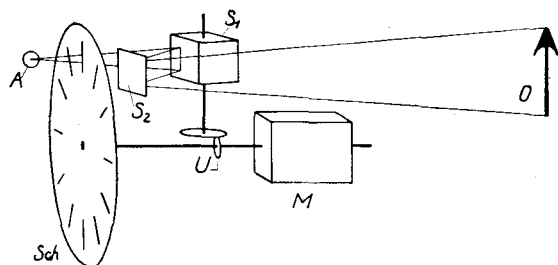


Abb. 4. Beobachtungsgerät für raschverlaufende, aperiodische Vorgänge.

A Auge des Beobachters, O zu untersuchender Vorgang, Sch Schlitzscheibe, S<sub>1</sub> rotierender Spiegel, S<sub>2</sub> Umlenkspiegel, U verständliches Getriebe, M Antriebsmotor

meisten Fällen diese Bedingung nicht erfüllt ist, mußte ein Gerät gefunden werden, das auch die Beobachtung von rasch verlaufenden Vorgängen erlaubt, die keine konstante Periode haben oder die überhaupt nur einmalig ablaufen. Eine ausführliche Beschreibung dieses Beobachtungsgerätes ist an anderer Stelle gegeben<sup>4)</sup>, es braucht deshalb hier nur der prinzipielle Aufbau geschildert zu werden. Abb. 4 zeigt denselben. Durch eine Schlitzscheibe werden für den Beobachter einzelne kurz aufeinanderfolgende Phasen der Flammenströmung herausgeblendet. Da in geeigneter Weise ein rotierender Spiegel in den Strahlengang eingeschaltet ist, erscheinen diese Phasen für den Beobachter nebeneinander. Er sieht also eine Gruppe von z. B. 10 Flammenbildern, die in kurzem Abstand aufeinanderfolgen, scheinbar gleichzeitig auftreten. Das Auge überblickt die ganze Bildgruppe auf einmal und kann so den Strömungsverlauf beobachten. Durch den Übergang von einer Spiegelfläche

des rotierenden Spiegels auf die nächste wird vor Wiederholung dieses Vorganges eine kleine Pause eingeschaltet, in der das Auge den zuvor aufgenommenen Eindruck „verarbeiten“ kann.

Durch dieses Gerät, dem auch eine einfache Einrichtung für photographische Aufnahmen hinzugefügt werden kann, lassen sich beliebige periodische und aperiodische Vorgänge subjektiv beobachten. Der zeitliche Abstand zwischen zwei beobachteten Phasen des Vorganges läßt sich bis zu  $\frac{1}{3000}$  Sek. verringern, die Zeit in der die Bildgruppen solcher Phasen aufeinanderfolgen bis zu  $\frac{1}{6}$  Sek.

#### Der Einfluß von Tönen auf die Flamme

Die Beschreibung einer Versuchsanordnung erübrigt sich. Die Tonquelle wird in einer der Tonstärke entsprechenden Entfernung von der empfindlichen Flamme aufgestellt. Es ist darauf zu achten, daß keine reflektierende Wand in unmittelbarer Nähe der Flamme vorhanden ist, am besten eignet sich auch hier ein mit schallschluckenden Stoffen ausgekleideter Raum.

Wie aus Abb. 2a ersichtlich ist, verwandelt sich die laminare Strömung der unbeeinflussten Flamme unter dem Einfluß von Schall in eine turbulente. Bei richtig gewählten Düsen wird die Größe und die Form der gebildeten Wirbel durch den auftreffenden Schall bestimmt. Der Einfluß von Tonhöhe, Tonstärke und Klangfarbe sei im folgenden an Beispielen dargestellt.

#### · Tonhöhe

Experiment und Überlegung ergeben, daß die Ausdehnung eines einzelnen Wirbels in der Strömungsrichtung, d. h. die Länge, von der Tonhöhe abhängt. Die Schallbeeinflussung erfolgt im wesentlichen im Verlauf einer kurzen Strecke dicht über der Ausströmöffnung. Die Zeitdauer dieser Beeinflussung ist die halbe Schwingungsdauer. Aus ihr und der Strömungsgeschwindigkeit ergibt sich die Länge eines einzelnen Wirbels. (Hierbei ist — als für diese Betrachtung nicht wesentlich — auf die Veränderung der Wirbelgröße durch Expansion und Verbrennung keine Rücksicht genommen.)

<sup>4)</sup> P. E. SCHILLER, Stroboskop für aperiodische Vorgänge. Z. techn. Physik 18 (1937), Heft 10.

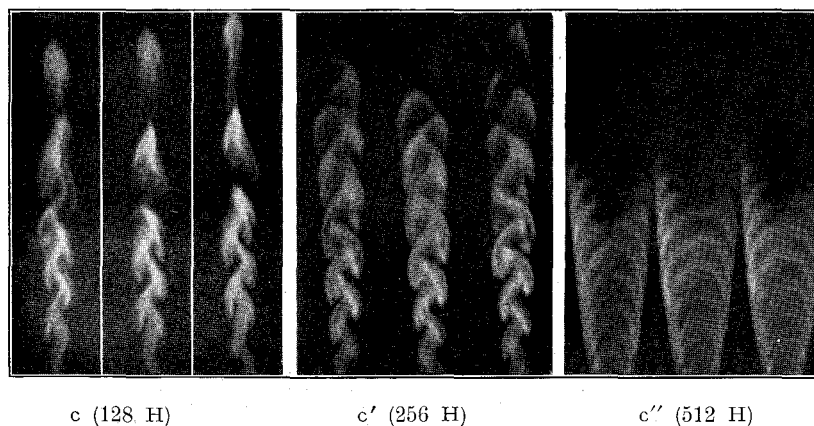


Abb. 5. Einfluß der Tonhöhe auf die empfindliche Flamme, dargestellt an Tönen von gedackten Orgelpfeifen

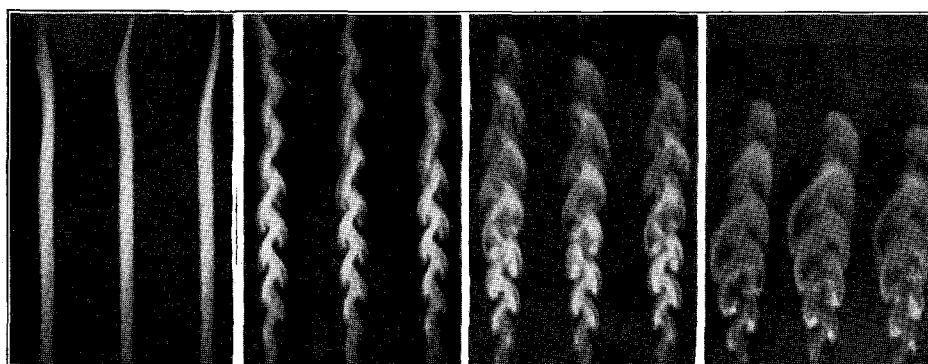


Abb. 6. Einfluß der Tonstärke auf die empfindliche Flamme. Das erste Bild ohne Toneinwirkung, die weiteren mit steigender Tonstärke

Zwei Wirbelablösungen, eine nach rechts und eine nach links, entsprechen den beiden Halbschwingungen.

In Abb. 5 ist der Einfluß verschieden hoher Töne wiedergegeben. Es ist deutlich zu sehen, wie die Länge mit steigender Tonhöhe abnimmt. Bei dem Ton c ergibt sich eine solche z. B. von 60 mm, bei c' von 30 mm und bei c'' von 15 mm. Hier beginnen die einzelnen Formen bereits ineinander zu verschwimmen, für höhere Töne wäre eine Flamme mit größerer Strömungsgeschwindigkeit zu verwenden. Bei dem ersten Ton ist im unteren Teil noch deutlich das Hereinwirken des Obertones zu sehen.

#### *Tonstärke*

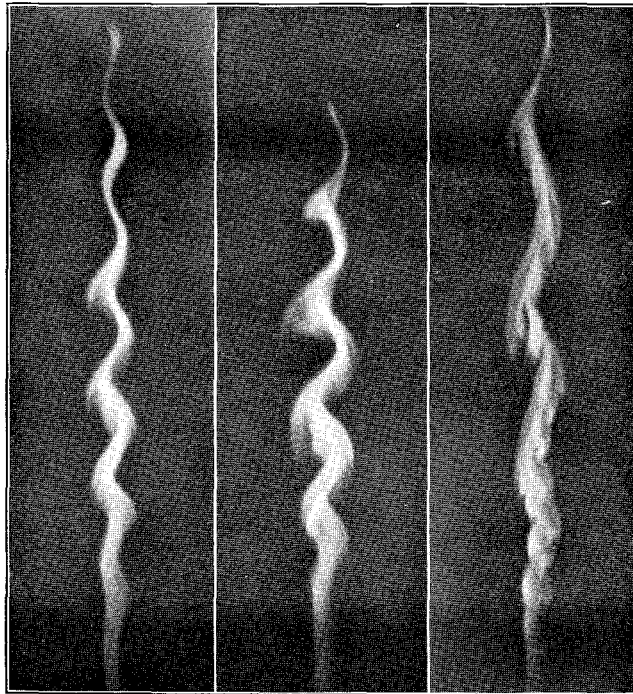
Die Untersuchung des Einflusses der Tonstärke wurde in der Regel so durchgeführt, daß unter Konstanthaltung von Tonhöhe und Tonstärke der Abstand zwischen Tonquelle und Flamme verändert wurde. Auf diese Weise ist die Sicherheit gegeben, daß keine Veränderungen der Klangfarbe stattfinden. In Abb. 6 ist in 4 Bildern die Veränderung der Flamme bei verschiedenen Tonstärken einer gedackten Orgelpfeife wiedergegeben. Das erste Bild zeigt die Flammenform ohne Toneinfluß, vom 2. bis zum 4. Bild wurde die Orgelpfeife der Flamme in regelmäßigen Abständen genähert. Es ist deut-

lich zu sehen, wie die Länge des einzelnen Wirbels konstant bleibt, seine Breite aber anwächst.

Maßgebend ist hierbei hauptsächlich der untere Teil der Flamme, man kann dort ablesen, wie die Auslenkung entsprechend der größeren Schwingungsamplitude wächst. Die

### *Klangfarbe*

So wie die Ausdehnung eines einzelnen Wirbels durch Tonhöhe und Tonstärke, so wird dessen Form durch die Klangfarbe bestimmt. Töne, deren Schwingungsverlauf rein sinusförmig ist, ergeben einfache und scharf voneinander getrennte Formen. Werden Obertöne



a

b

c

Abb. 7. Einfluß der Klangfarbe auf die empfindliche Flamme.

a Flaschenton 200 H, b wie a, aber verstärkt und mit Nebengeräuschen,  
c Stimmgabelton (128 H) mit Obertönen

auftretende Verkürzung der Flamme ist aus der Verbreiterung der einzelnen Wirbel verständlich. Es darf aber nicht aus einer kurzen Flamme auf große Tonstärke geschlossen werden, weil, wie Abb. 5 zeigt, eine solche auch durch Töne hoher Frequenz bewirkt werden kann. Eine Abklärung der Frage, warum auch bei steigender Frequenz eine Verbreiterung der Flamme stattfindet, ist noch nicht möglich gewesen. Ein weiteres Beispiel für den Einfluß wachsender Tonstärke bietet Abb. 10.

oder Nebengeräusche hinzugefügt, so verwandelt sich die einfache Form in eine kompliziertere.

Abb. 7 zeigt Beispiele. Ein sog. Flaschenton wirkt auf die Flamme und ruft eine einfache, klar abgegrenzte Wirbelbildung hervor. Verstärkt man den an der Flaschenöffnung vorüberstreichenden Luftstrom, so erhöht sich die Tonstärke. Gleichzeitig treten aber Nebengeräusche auf. Die Flamme zeigt deshalb nicht nur eine verstärkte Auslenkung, sondern es verändert sich auch die Form des Wirbels (Abb. 7b).

Sie wird unschärfer, erhält Schleier, Zacken, doppelte Spitzen usw. Abb. 7c gibt die Wirkung einer unrichtig angeschlagenen Stimmgabel von 128 H wieder. Über die langen Wirbelablösungen des Grundtones lagern sich kleine Wirbelbildungen, die unter dem Einfluß der Obertöne entstehen. Die richtig angeschlagene Stimm-

vorgerufen wurde. Es ist hier einzufügen, daß diese Bilder jeweils aus langen Reihenaufnahmen herausgegriffen sind, in denen die Unterschiede noch deutlicher zum Ausdruck kommen.

Nach den bis jetzt zur Verfügung stehenden Beobachtungen gilt prinzipiell, daß ein musikalisch einwandfreier Ton, ebenso ein sog. reiner

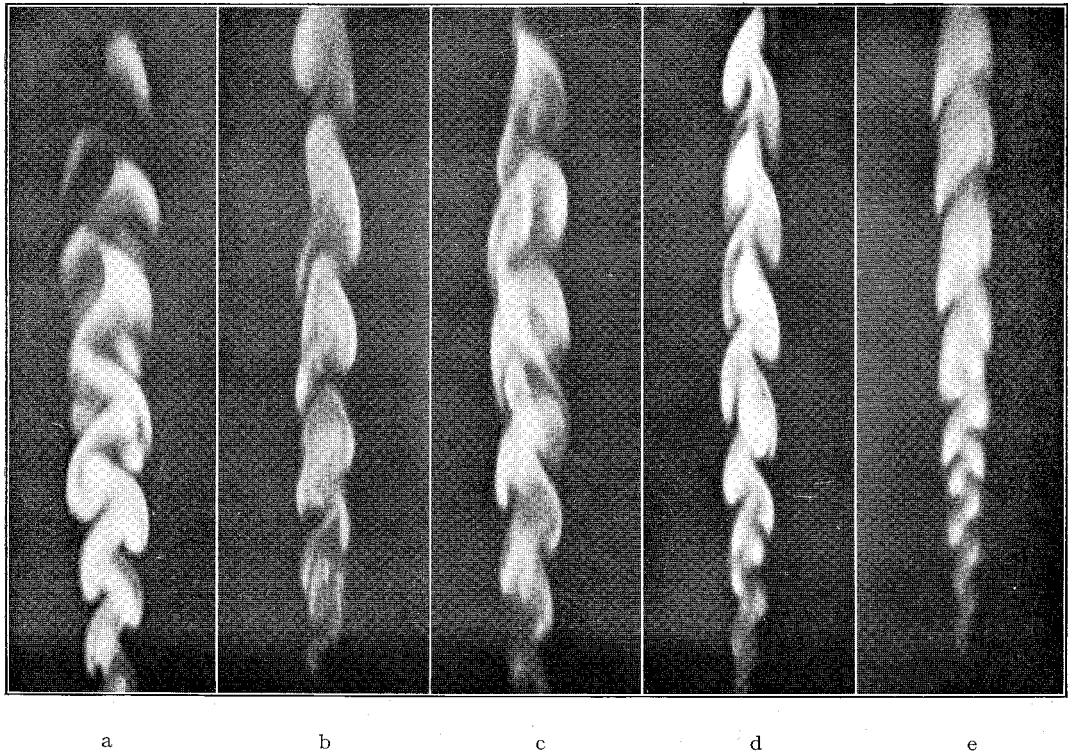


Abb. 8. Einfluß der Klangfarbe auf die empfindliche Flamme.

Ton  $c'$  (256 H) auf verschiedenen Instrumenten gespielt. a Orgelpfeife, b Violine, richtig angestrichen, c Violine, schlecht angestrichen, d Flöte, e Waldhorn

gabel liefert ein einfaches Flammenbild, das im Prinzip dem der Abb. 7a ähnelt.

Weitere Beispiele über den Einfluß der Klangfarbe sind in Abb. 8 dargestellt. Mit verschiedenen Instrumenten wurde durch einen Ton derselben Höhe und Stärke die Flamme beeinflusst. Die Verschiedenheit der einzelnen Formen ist deutlich zu erkennen. Besonders interessant ist der große Unterschied zwischen Abb. 8b und Abb. 8c, der durch eine kleine, nur einem aufmerksamen Ohr wahrnehmbare Unsauberkeit im Anstreichen der Violine her-

Ton klare und scharf umrissene Einzelformen ergibt. Unreine, mit Nebengeräuschen durchsetzte Töne lassen keine deutlichen Formen entstehen, die Wirbelablösungen der Flamme zeigen ein verschleiertes, verwischtes Bild.

#### Einzelfälle

Läßt man zwei Töne gleichzeitig, z. B. einen Sekundenakkord, auf die Flamme einwirken, so entsteht entsprechend der Überlagerung eine Folge von Wirbelformen, die für den betreffenden Zusammenklang typisch ist. Abb. 9



zeigt eine solche Folge. Betrachtet man den unteren Teil der Flammenbilder, so läßt sich dort direkt ablesen, wie im Verlauf einer Phase die Amplitude der beeinflussenden Schwingung schwankt. In den ersten vier Bildern klingt sie stark ab, um in den darauffolgenden wieder zuzunehmen. Im Verlauf der einzelnen Formen

in der Längsrichtung der Flamme ergibt sich dasselbe.

Abb. 10 gibt das An- und Austönen einer Orgelpfeife wieder. In der oberen Reihe ist zu Beginn die noch unbeeinflusste Flamme zu sehen. Die ersten Anbläsergeräusche und das darauffolgende Ansteigen der Tonstärke ist

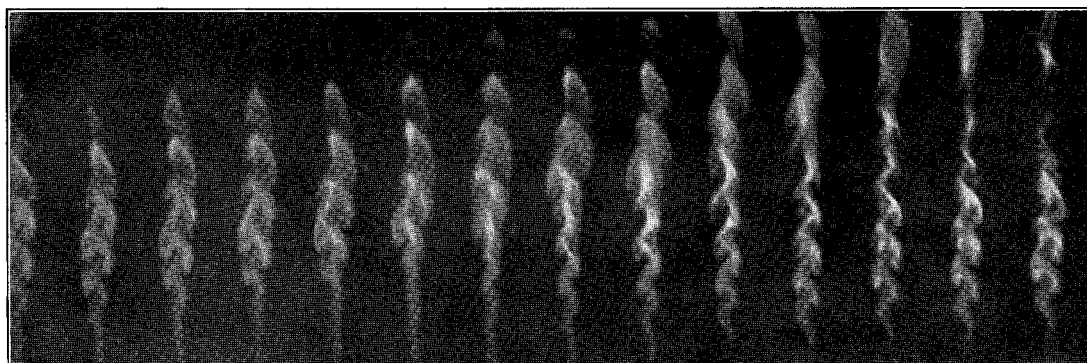


Abb. 9. Einfluß eines Sekundenakkordes  $c' d'$  auf die empfindliche Flamme

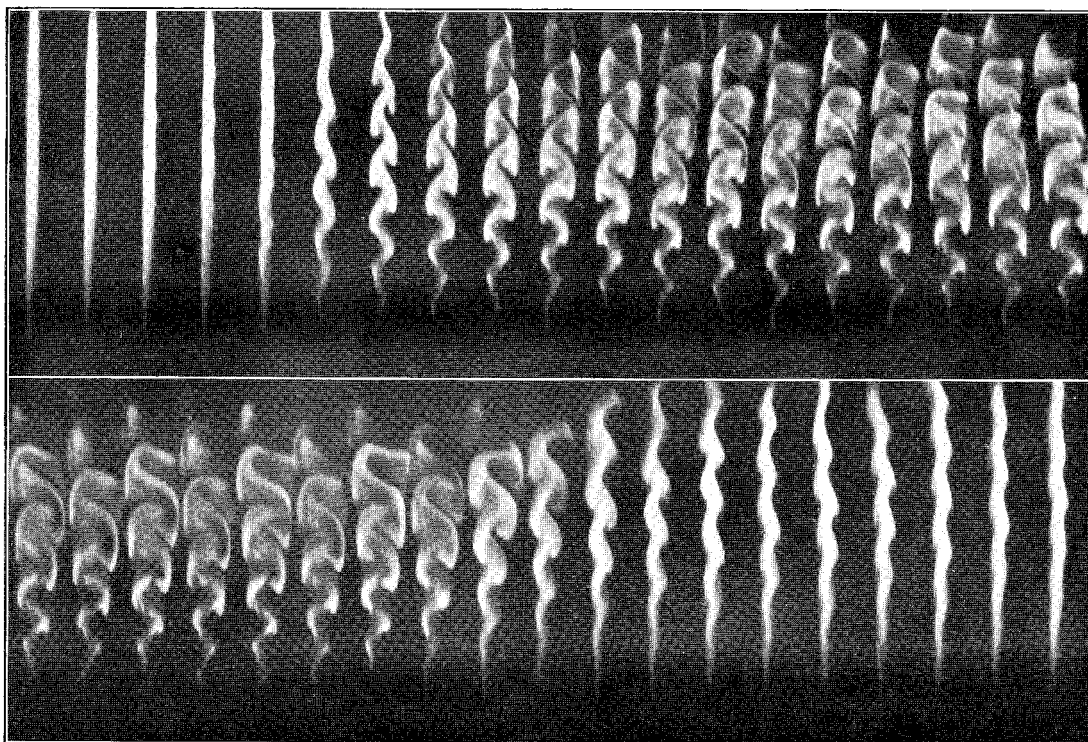


Abb. 10. An- und Austönen einer Orgelpfeife ( $c' 256$  H).

Die einzelnen Bilder folgen in einem Abstand von  $\frac{1}{100}$  Sek. aufeinander,  
Belichtungszeit  $\frac{1}{6000}$  Sek.

deutlich erkennbar (Verbreiterung der einzelnen Form, Verkürzung der gesamten Flamme). Ebenso in der unteren Reihe das Abklingen des Tones.

Wird dieselbe Beobachtung mit einem Knall durchgeführt, so zeigt sich sehr deutlich das plötzliche Ansteigen und das langsame Abklingen des Schalles.

#### Der Einfluß von Vokalen

Die Untersuchungen wurden hier so durchgeführt, daß der einzelne Vokal einige Sekunden lang gehalten wurde und während dieser Zeit die Beobachtung bzw. Aufnahme erfolgte.

stellten, befanden sich auch eine Reihe sprachgeübter Persönlichkeiten (Rezitatoren, Schauspieler). Mit ihnen wurden die Versuche so durchgeführt, daß jeweils mit der Beobachtung bzw. Aufnahme ein anwesender Sprachlehrer sein Urteil über die sprachlich-künstlerische Leistung abgab. Es konnte dabei, ähnlich wie oben für einwandfreie Töne eines Musikinstrumentes, festgestellt werden, daß ein einwandfrei gesprochenen Vokal auch eine klar gestaltete, scharf umrissene Form der Flamme ergab. Ungeübtes, schlechtes Sprechen ergibt unscharfe, verschleierte Formen. Die Abb. 11 und 12 geben die Vokalformen von

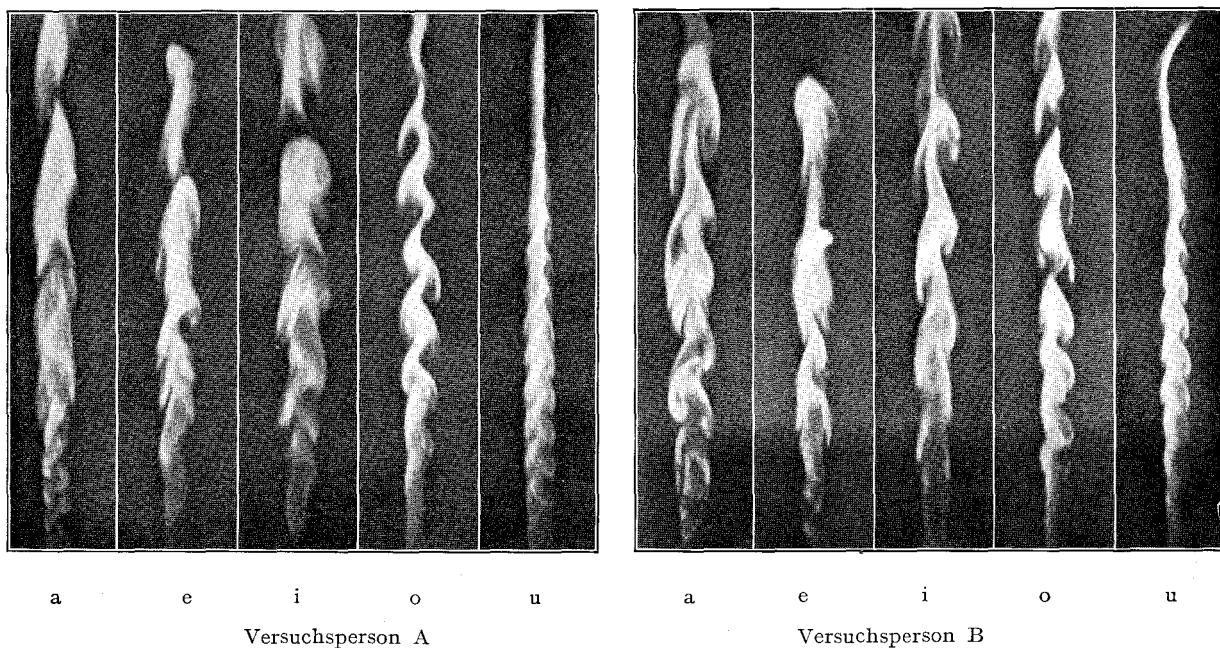


Abb. 11 und 12. Einfluß von Vokalen auf die empfindliche Flamme

Das ziemlich umfangreiche Material, das bis jetzt zur Verfügung steht, zeigt, daß bei Verwendung derselben Flamme sich für die einzelnen Vokale typische Grundformen ergeben. Diese werden von den einzelnen Versuchspersonen in individueller Art abgeändert, mit genügender Übung ist aber auch bei großen Unterschieden die Grundform wiederzuerkennen.

Unter den rund 30 Versuchspersonen, die sich liebenswürdigweise zur Verfügung

zwei sprachlich geübten Versuchspersonen wieder. Besonders bei Abb. 11 zeigt jeder Vokal eine ihm eigene, deutlich durchgebildete Form. Die Ähnlichkeit mit den entsprechenden Formen der zweiten Versuchsperson ist leicht festzustellen. Die pilzartige Form des Vokals *i* in Abb. 11 ist auch bei der zweiten Versuchsperson (Abb. 12) zu erkennen, allerdings ist diese Form nicht so klar gezeichnet und deutlich von der folgenden abgetrennt. Das Urteil des Sprachlehrers bezeichnete diesen zweiten Vokal

wie auch den Vokal a dieser Reihe) als nicht so einwandfrei gesprochen wie den ersten.

Die beiden hier ausgewählten Beispiele stimmen besonders gut überein; wie erwähnt, ergeben sich auch sehr große Unterschiede, besonders bei nicht sprachgeübten Persönlichkeiten.

#### *Schlußbetrachtung*

Die geschilderten Beispiele zeigen, daß die wesentlichen Vorgänge bei der Beeinflussung einer Flamme durch Schall nicht in der äußeren Verformung derselben liegen, sondern in den inneren Strömungsvorgängen. Diese verlaufen bei geeignet zugerichteten Flammen in einer verhältnismäßig engen Abhängigkeit von Tonhöhe, Tonstärke und Klangfarbe. Wenn auch zur Zeit von einer quantitativen Auswertung dieser Prozesse zur Schall-Analyse noch nicht die Rede sein kann, so erscheint es doch möglich, die freie empfindliche Flamme zu einem brauchbaren Hilfsmittel für akustische Untersuchungen zu entwickeln.

Zum Schluß sei, wenigstens andeutend, noch auf einige weitere Prozesse in der schallempfindlichen Flamme verwiesen. Der Einfluß von Schall ist nicht auf die dargestellten Formänderungen beschränkt, auch der chemische Verbrennungsprozeß unterliegt starken Veränderungen, je nachdem die Flamme in Ruhe brennt oder durch den Ton beeinflusst wird. Durch vielstündige Versuchsreihen konnten Unterschiede in dem Wassergehalt der Verbrennungsgase bis zu 50% festgestellt werden.

Sehr demonstrativ kann die Änderung des chemischen Prozesses an einer mit Azetylengas gesättigten Flamme gezeigt werden. Diese brennt in Ruhe völlig rauchlos, unter dem Einfluß von bestimmten Tönen beginnt sie stark zu rußen. Im allgemeinen wurde bei den Versuchen das normale Leuchtgas des Gaswerkes Basel verwendet. Dessen Zusammensetzung ist nach freundlicher Mitteilung der Direktion:  $\text{CO}_2$  2,0%,  $\text{C}_n\text{H}_m$  2,3%,  $\text{O}_2$  0,6%,  $\text{CO}$  11,8%,  $\text{H}_2$  53,1%,  $\text{CH}_4$  23,6%,  $\text{N}_2$  6,6%; das mittlere spezifische Gewicht: 0,427. Zur Verstärkung der Flammenhelligkeit wurde in manchen Fällen Azetylen beigemischt, was allerdings eine Verschlechterung der Reaktionsfähigkeit bedeutete.

Im Zusammenhang mit dem chemischen Prozeß treten auch Änderungen des abgestrahlten Lichtes und vor allem der Flammentemperatur auf. Die ersteren können sehr leicht subjektiv beobachtet werden, wenn man eine von der Flamme beleuchtete Fläche betrachtet, sie lassen sich aber auch mit Hilfe einer photoelektrischen Zelle nachweisen. Wird diese vor eine entsprechende Blende gebracht, so kann man die Tonfrequenz abnehmen. Die Wärmeprozesse sind entweder am Bolometer festzustellen oder durch ein in die Flamme gebrachtes Thermo-Element. Bei genügender Empfindlichkeit desselben entstehen im letzteren Fall Stromschwankungen, die von den einzelnen Wirbeln herrühren. Auf diese Weise kann die Flamme als ganz brauchbares Mikrophon benutzt werden.

*(Eingegangen am 20. August 1937.)*