

**Badische Landesbibliothek Karlsruhe**

**Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe**

**Untersuchungen über die Explosionsgrenzen brennbarer  
Gase und Dämpfe**

**Eitner, Paul**

**München, 1902**

6. Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Verbrennung

[urn:nbn:de:bsz:31-270244](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-270244)

immerhin sicher genug ermittelt sind, um über die Höhe der Verbrennungstemperaturen praktisch wertvolle Anhaltspunkte<sup>1)</sup> zu geben.

#### 6. Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Verbrennung.

Es erübrigt noch, einige Worte über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Verbrennung hier anzufügen, die an sich eine höchst interessante Größe ist und die mit den Explosionsgrenzen im engsten Zusammenhang steht; gibt doch die Explosionsgrenze diejenige Gaszusammensetzung, in welcher die Fortpflanzungsgeschwindigkeit den Wert Null erreicht. Sie ist ebenso wie die Explosionsgrenze von der Natur des brennbaren Gases und der Art und Menge der im Gemisch enthaltenen inerten Gase abhängig. Dieser Zusammenhang zwischen den Explosionsgrenzen und der Fortpflanzungsgeschwindigkeit würde ermöglichen, aus dem Studium der letzteren wertvolle Schlüsse auf die Gesetzmäßigkeiten zu ziehen, welche die Explosionsgrenzen beherrschen.

Die Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist schon mehrfach Gegenstand ausgedehnter Untersuchungen gewesen. Nach den ersten Schätzungen von H. Davy<sup>2)</sup> hat sie zuerst Bunsen<sup>3)</sup> für Wasserstoffknallgas zahlenmäßig ermittelt, indem er das explosive Gemisch aus einer Öffnung in dünner Platte ausströmen ließ, den Gasstrahl anzündete und dann die Strömungsgeschwindigkeit allmählich verringerte,

<sup>1)</sup> So läßt sich z. B. aus diesen Ergebnissen die oft beobachtete Thatsache erklären, daß Gasmotoren, welche mit Leuchtgas anstandslos laufen, bei der Verwendung von Wassergas »Frühzündungen« ergeben. Denn die Explosionstemperatur liegt beim Wassergas erheblich niedriger, als beim Leuchtgas, und dieser Unterschied muß bei der im Cylinder der Gasmotoren stattfindenden Compression noch größer werden, da die Explosionsgrenze beim Kohlenoxyd mit steigendem Druck fällt, also auch die Explosionstemperatur niedriger wird.

<sup>2)</sup> Philosophical Transactions 1816, S. 8.

<sup>3)</sup> Bunsen, Gasometr. Methoden, II. Aufl. (1877), S. 317.

bis die Verbrennung in das Gefäß zurückschlug. Er fand so den hohen Wert von 34 m in der Sekunde.

Schlössing und De Mondésir<sup>1)</sup> haben später die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Verbrennung in Kohlenoxydluftgemischen bestimmt, indem sie dieselben in einseitig geschlossenen Röhren verpufften.

Im Jahre 1875 veröffentlichte Mallard<sup>2)</sup> einige Untersuchungen über diesen Gegenstand, und zum ersten Male finden wir denselben theoretisch beleuchtet. Seine Betrachtungen führen ihn zur Aufstellung folgender Gleichung, die den Zusammenhang zwischen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit  $u$ , der Verbrennungstemperatur  $T_v$ , der Entzündungstemperatur  $T_e$  und der Anfangstemperatur  $t$  des Gasgemisches darstellen soll:

$$u = \frac{\alpha}{a} \cdot \frac{T_v - T_e}{T_e - t}$$

worin  $\alpha$  und  $a$  konstante Größen sind, die von der Natur der Gase und der Form und Größe der Gefäße abhängen, in welchen die Verbrennung vor sich geht.

Fonseca<sup>3)</sup> hat für Knallgase aus verschiedenen brennbaren Gasen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit dadurch bestimmt, daß er die Strömungsgeschwindigkeit des Gasstrahles berechnete, bei welcher die Flamme gerade auf der Ausströmungsöffnung aufsitzt. Er findet für

2 H <sub>2</sub> + O <sub>2</sub>	35	m	pro	Sekunde
2 CO + O <sub>2</sub>	1,40	»	»	»
CH <sub>4</sub> + 2 O <sub>2</sub>	2,10	»	»	»
PH <sub>3</sub> + 2 O <sub>2</sub>	9,20	»	»	»
CN + O <sub>2</sub>	0,44	»	»	»

<sup>1)</sup> Die Arbeit ist von den Genannten nicht veröffentlicht worden. Die Ergebnisse wurden durch mündliche Mitteilung überliefert und sind in den Leçons sur la dissociation S. 46 von Henri Sainte Claire Deville angeführt.

<sup>2)</sup> Ann. des Mines (7) 7, S. 355 ff. (1875).

<sup>3)</sup> Journal de ciencias matematicas, physicas et naturales, Num. XXVII (1880), Lissabon.

Bei Gelegenheit einer spektrophotometrischen Untersuchung gefärbter Flammen hat Gouy<sup>1)</sup> unter anderem auch die Abhängigkeit der Flammenform von den Dimensionen des Brenners, der Strömungsgeschwindigkeit und der Natur der brennenden Gase bzw. Gemische untersucht<sup>2)</sup> und beiläufig erwähnt, daß man aus der Größe der inneren Brennfläche und der Strömungsgeschwindigkeit des Gases an der Brennermündung die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Entzündung berechnen könne.

Ausgedehnte Untersuchungen über die Entzündungsgeschwindigkeit haben Mallard und Le Chatelier<sup>3)</sup> nach verschiedenen Methoden durchgeführt und daran in ähnlicher Weise wie vorher Mallard theoretische Betrachtungen geknüpft. Sie fanden, daß im allgemeinen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit proportional mit den zum Luftvolumen zugesetzten Volumen brennbaren Gases bis zu einem Maximum steigt und dann wieder abfällt. Die Lage des Maximums entspricht einer Mischung, die etwas mehr brennbares Gas enthält als von dem vorhandenen Sauerstoff vollständig verbrannt werden kann.

A. Witz<sup>4)</sup> hat aus seinen Beobachtungen an Gasmotoren einige Fortpflanzungsgeschwindigkeiten abgeleitet, die einigermaßen von den Angaben der vorgenannten Forscher abweichen.

Endlich ist hier die Arbeit von W. Michelson<sup>5)</sup> über die Entzündungsgeschwindigkeit von Gasgemischen anzuführen, bei deren Ausführung die von Gouy vorgeschlagene Methode zur Anwendung kam. Diese Arbeit ist für das Studium der Flammen von großer Bedeutung. Sie enthält eine große Anzahl Bestimmungen von Fortpflanzungsgeschwindigkeiten, die den von Mallard und Le Chatelier<sup>6)</sup> abgeleiteten Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit  $u$ , der Verbren-

<sup>1)</sup> Ann. de chim. et de phys. 1879, S. 1.

<sup>2)</sup> l. c. S. 27, speciell S. 32.

<sup>3)</sup> Ann. des Mines (8) 4, S. 296 (1883).

<sup>4)</sup> A. Witz, Journ. de phys. (3) 4, S. 311 (1885).

<sup>5)</sup> Wied. Ann. 37, S. 1 ff. (1889).

<sup>6)</sup> Ann. des Mines (8) 4, S. 343 (1883).

nungstemperatur  $T_v$ , der Entzündungstemperatur  $T_e$  und der Anfangstemperatur  $t$  des Gemisches, sowie Wärmeleitfähigkeit  $l$  und der Wärmekapazität  $c$  zu bestätigen scheinen. Die Gleichung von Mallard und Le Chatelier ist

$$u = \frac{l(T_v - T_e)}{c(T_e - t)} \cdot f(T_v, T_e),$$

worin  $f(T_v, T_e)$  eine Funktion der beiden Temperaturen darstellt, deren Form und Gröfse bisher nicht hat ermittelt werden können.

#### Schlussbemerkungen.

Alle diese Untersuchungen geben wertvolles experimentelles Material, doch ist die theoretische Behandlung der Gesetzmäßigkeiten, welche die Fortpflanzungsgeschwindigkeit beherrschen, noch nicht so weit gediehen, um für die Untersuchung über die Explosionsgrenzen wesentliche neue Gesichtspunkte zu bieten.

Immerhin läfst sich auch jetzt schon aus den theoretischen Erwägungen Nutzen ziehen. Ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit wirklich der Temperaturdifferenz  $T_v - T_e$  proportional und nimmt man für  $T_e$  die Explosionstemperatur, dann erkennt man leicht, dafs in der Nähe der Explosionsgrenzen der Wert von  $T_v - T_e$  sich sehr rasch der Null nähert, da  $T_v$  proportional mit der Menge des brennbaren Gases abnimmt. Umgekehrt proportional aber dem Wert  $T_v - T_e$  ist ein Teil der Wärmeverluste, die ihrerseits eine Verminderung von  $T_e$  bedingen. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist daher der Temperaturdifferenz  $T_v - T_e$  nur so lange annähernd proportional, als die Wärmeverluste verschwindend klein sind. In der Nähe der Explosionsgrenzen aber fällt sie fast plötzlich zu Null ab und definiert somit scharf die Grenze.

Die Betrachtungen über die Wärmeverluste haben ergeben, dafs ein Teil derselben, der mit  $a$  bezeichnet werden möge, von der Fortpflanzungsgeschwindigkeit  $u$  unabhängig, ein anderer Teil  $b$  derselben umgekehrt proportional ist. Führt