

## Stabile Verbrennung

Das einfachste Beispiel einer stabilen vorgemischten Verbrennung in einem strömenden Medium bietet eine laminare ebene Flamme mit unendlicher Ausdehnung in der Ebene. Aus diesem Beispiel ergibt sich unmittelbar die Definition der laminaren Brenngeschwindigkeit:

Zur Realisierung einer ortsfesten Flamme ( $u_F = 0$ ) muss die laminare Brenngeschwindigkeit  $u_l$ , also die Geschwindigkeit, mit der sich die Flamme in das unverbrannte Gemisch fortsetzt, entgegengesetzt gleich der Strömungsgeschwindigkeit  $u_G$  des zuströmenden Gemisches sein [1].

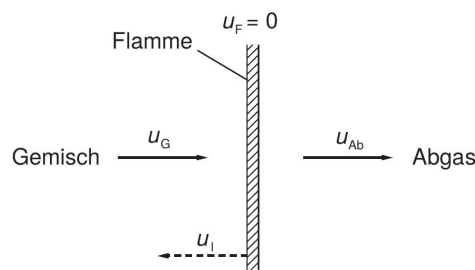


Abbildung 1: Stationäre ebene Vormischflamme

Ungleich komplexer ist die Stabilisierung der Verbrennung bei handelsüblichen Industrie- oder Haushaltsbrennern. Hier liegt eine stabile Verbrennung vor, wenn sich die Lage der Flamme relativ zum Brenner nicht ändert [2]. Da in realen Feuerungen die mittlere Strömungsgeschwindigkeit die laminare Brenngeschwindigkeit übersteigt, ist eine Absenkung der Strömungsgeschwindigkeit an zumindest einer Stelle erforderlich [3]. Die Strömungsgeschwindigkeit muss verringert werden, um die Gleichheit zwischen Strömungs- und Brenngeschwindigkeit zu erreichen. Zusätzlich muss gewährleistet sein, dass die an dieser Stelle frei werdende Zündenergie ausreicht, eine Durchzündung des Gemisches zu erreichen [4]. Der weitaus größte Teil der eingesetzten Brennerkonstruktionen bedient sich strömungstechnischer Hilfen zur Stabilisierung, da eine Strömungsbeeinflussung meist einfach und damit kostengünstig herzustellen ist. Dazu werden Wirbel erzeugt, die eine Rückführung des heißen Abgases oder des bereits reagierenden Gemisches und die anschließende Vermischung mit dem Frischgemisch innerhalb des Verbrennungsvolumens gewährleisten. Gebräuchliche Maßnahmen zur Strömungsbeeinflussung sind Einbauten am Brenneraustritt, Stauscheiben, Impeller oder die Verdrallung der Verbrennungsluft [4].

Als Beispiel einer strömungstechnischen Stabilisierung ist in Abbildung 2 das Prinzip der internen Flammenrohrrezirkulation [5][6] dargestellt, bei dem durch die Treibstrahlwirkung des aus einer Luftdüse austretenden Luftstroms ein Rezirkulationsgebiet erzeugt wird. Dadurch werden heiße Verbrennungsgase zurücktransportiert, welche die notwendige

Aktivierungsenergie zur fortlaufenden Zündung des Gemisches liefern.

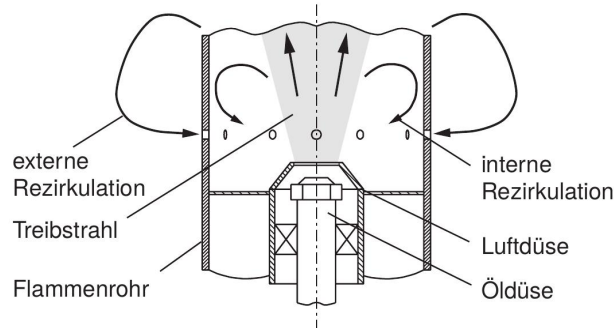


Abbildung 2: Prinzip der internen Flammenrohrrezirkulation [7]

Grundsätzlich kann die Erfüllung der Gleichgewichtsbedingung auch durch eine Beeinflussung der Brenngeschwindigkeit, also reaktionskinetisch erreicht werden [4]. So kann, wenn die Strömungsgeschwindigkeit kleiner als die Brenngeschwindigkeit ist, eine Absenkung der Brenngeschwindigkeit durch Flammenkühlung [8] oder durch Senkung des Brennstoffpartialdruckes erreicht werden. Die Brenngeschwindigkeit kann durch Vorwärmung von Brennstoff und/oder Luft vergrößert werden [4]. In realen Feuerungen sind die Flammen häufig starken Schwankungen unterworfen. Für den stabilen Brennerbetrieb ist es daher wichtig, dass die Flamme auch bei größeren Störungen wieder in ihre Gleichgewichtslage zurückfällt.

Verursacht werden diese Störungen durch:

- Turbulenz
- Gemischinhomogenitäten
- Druckschwankungen
- Quenching
- Änderung der Strömungsverhältnisse
- Wechselwirkungen der Flamme mit den Versorgungsaggregaten

---

## Literatur

- [1] Linnett J. W.: Methods of measuring burning velocities, Fourth (international) Symposium on Combustion, S.†20–35, The Williams & Wilkins Company Baltimore, 1953
- [2] Günther R.: Über die Stabilität von Vormischflammen, Gaswärme International 24 (12), S.†489–496, 1975
- [3] Rawe R.: Anwendung von Flammenstabilitätskriterien bei der Entwicklung von Brennern mit Gebläse für mehrere Brenngase, VDI-Berichte 246, S.†39–49, 1975
- [4] Lenze B., Hillemanns R.: Abhängigkeit der Stabilität konzentrischer Drallflammen vom Turbulenzaustausch und von der Reaktionsdichte im brennernen Bereich, VDI-Berichte 645, 1987

- [5] Lucka K.: Ein Beitrag zur Reduzierung der NO<sub>x</sub>-Emission durch gezielte Beeinflussung der Strömungsführung bei der Verbrennung, Dissertation RWTH Aachen, 1996
- [6] Buschulte W.: Der Raketenbrenner, eine Entwicklung zur Minderung von Energieverbrauch und Schadstoffausstoß bei Haushaltsbrennern mit Leistungen um und unter 10 kW, VDI-Berichte (455), 1982
- [7] Schmitz T.: Untersuchung der Gemischaufbereitung zur Realisierung eines schadstoffarmen, regelbaren Verbrennungskonzeptes für Ölbrenner im Leistungsbereich 5–18 kW, Dissertation RWTH Aachen, 1995
- [8] Botha J. P., Spalding D. B.: The laminar flame speed of propane/air mixtures with heat extraction from the flame, Proceedings of the Royal Society London 225, S.†71–96, 1954