

werden. Nennt man diesen wieder G/F , so muß also sein

$$s_v = \frac{G}{c_w F \gamma} \ln \left[1 + (w_e + c_i) c_w \frac{F}{G} \gamma t_v \right] - c_i t_v \quad (60)$$

Für Tröpfchen von $d = 0,1$ mm wird z. B.

$$s_v = 0,254 \ln [1 + 54,4 \cdot 3,95 \cdot 0,215] - 25,4 \cdot 0,215 = -4,47 \text{ m}$$

Für die zehnmal kleineren Tröpfchen $d = 0,01$ mm wird analog

$$s_v = -44,7 \text{ cm}$$

Der Weg wird also ebenfalls zehnmal kürzer.

Addiert man zu diesen Längen die Steighöhen der Tröpfchen bis zum Umkehrpunkt, so ergibt sich die erforderliche Gesamtlänge der Brennkammer für die großen Tröpfchen zu

$$L = 4,47 + 0,12 = 4,59 \text{ m}$$

für die kleinen Tröpfchen entsprechend zu

$$L = 0,447 + 0,012 = 0,459 \text{ m} = 45,9 \text{ cm}$$

Es ist hieraus gleichzeitig ersichtlich, daß die Einspritzdüsen am obersten Teil der Brennkammer sitzen müssen, da die Wege bis zum Umkehrpunkt stets viel kürzer bleiben müssen wie die anschließenden Strecken, die das Tröpfchen im Sinne der allgemeinen Strömrichtung zurücklegt.

Man ist nun geneigt zu folgern, daß durch weitgehende Aufspaltung der Flüssigkeitsstrahlen mittels geeigneter Einspritzdüsen die Ofenlänge somit genügend kurz gehalten werden kann. Die Erfahrung lehrt jedoch, daß Verdampfung und Verbrennung der Flüssigkeitsstrahlen nicht ohne weiteres zu identifizieren sind. Denn auch der vollkommen vergaste Brennstoff kann erst dann verbrennen, wenn er mit Sauerstoff gemischt ist. Zur Durchmischung gehört aber vor allem eine hohe Relativgeschwindigkeit zwischen den Tröpfchen und dem Ofengas, die bei den kleinen Tröpfchen wegen ihrer geringen Querschnittsbelastung natürlich am raschesten verloren geht. Die Folge dieser Erscheinung ist, daß große Mengen vergastem Brennstoff in Strahlen neben dem Sauerstoff herfliegen und nur zum Teil längs der Berührungsflächen mit dem Sauerstoff verbrennen.

Es ist von anderer Seite vorgeschlagen worden, diesem Umstand dadurch vorzubeugen, daß man in den unteren Teil der Brennkammer einen porösen keramischen Körper einsetzt, der die entstandenen Strahlen zerreißen, und mit dem Sauerstoff nochmals durchwirbeln soll. Ob dieser Gedanke konstruktiv durchführbar ist (Temperaturen!) und ob er die Erwartungen erfüllt, ist bisher noch nirgends erprobt worden.

Man kann aber vielleicht die Ausbildung von Flüssigkeitsstrahlen auch von vornherein verhindern, wenn man sich das Selbstzerspaltungsprinzip der Flüssigkeitstropfen zunutze macht. Es ist eine bekannte Erscheinung, daß ein Tropfen, der auf den Spiegel einer ruhenden Flüssigkeit auftrifft, in zwei symmetrische Teile zerrissen wird. Diese zerreißen dann sofort in je zwei weitere Teile. Das wiederholt sich solange, bis der Tropfen völlig aufgelöst ist.

Eine ähnliche Erscheinung dürfte auftreten, wenn man zwei Flüssigkeitsstrahlen hart gegeneinander spritzt. Jedenfalls zeigten diesbezügliche Versuche mit zwei an die Wasserleitung angeschlossenen Düsen, das Bild einer überraschend feinen Aufspaltung.

Es dürfte nun schon aus Gründen der Betriebssicherheit nicht ratsam sein, Brennstoff und Sauerstoff auf diese Weise unmittelbar gegeneinander zu spritzen; hierbei könnte zu leicht Brennstoff in die Sauerstoffleitung (oder umgekehrt) geraten, was erfahrungsgemäß zu schweren Explosionen führen muß. Man kann aber zwei Brennstoffstrahlen hart ineinander spritzen

und in den entstandenen Brennstoffnebel den Sauerstoff von der Seite einspritzen. Versuche mit dieser Zerstäubung wurden ebenfalls im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt. Bei der Diskussion der Meßresultate soll davon berichtet werden. Eine vielversprechende Möglichkeit, die Verbrennung im Ofen zu vervollkommen, besteht endlich in dem Vorschlag von Oberth, den Sauerstoff vor Eintritt in den Ofen durch Verbrennung von kleinen Mengen Brennstoff vorzuerhitzen. Der Ofen würde darnach oben spitz zusammenlaufen; in den dadurch entstehenden Trichter müßte von der Seite gerade soviel Brennstoff einspritzen, daß der Sauerstoff auf etwa 800° erhitzt wird. In diesem Zustand ist seine Aggressivität auf den Brennstoff natürlich erheblich höher, als wenn er erst im Ofen selbst eine hohe Temperatur erreicht.

Praktisch konnte ein derartiger Ofen noch nicht erprobt werden, da bei der derzeitigen Bauweise ein besonderer Brennstoffhahn für diesen Vorerhitzer erforderlich wäre. Dieser würde den Apparat verkomplizieren und seine Betriebssicherheit zwangsläufig herabsetzen. Insbesondere für große Raketen, bei denen Zusatzgeräte zur Erhöhung der Rückstoßleistung lohnender erscheinen, dürfte dieser Gedanke jedoch eine Zukunft haben.

Diejenigen Faktoren, durch die eine Vervollkommnung der Vergasung und Verbrennung auf elementarem Wege bewirkt werden kann, lassen sich also wie folgt zusammenfassen:

Verlängerung des Ofens

Erhöht die Zeit des Verweilens eines Brennstofftröpfchens im Ofen. Mit Gewichtsvermehrung verbunden.

Vergrößerung des Ofendurchmessers

Setzt die mittlere Strömgeschwindigkeit c_i im Ofen herab und erhöht dadurch ebenfalls die Zeit des Verweilens der Tröpfchen in der Brennkammer. Verdoppelung des Ofendurchmessers setzt c_i auf ein Viertel herab. Dadurch sinkt auch die Zeit ungefähr auf ein Viertel. Verdoppelung des Abstandes der Einspritzdüsen vom Düsenhals setzt dagegen die Zeit nur etwa auf die Hälfte herab. Eine Vergrößerung des Ofendurchmessers ist daher allgemein lohnender als eine Vergrößerung der Ofenlänge.

Erhöhung der Einspritzgeschwindigkeit w_e

Vergrößert die Durchschlagkraft der Tröpfchen und somit deren Zeit in der Brennkammer. Ist nur durch Erhöhung des Einspritzdrucks zu erreichen (Rohrreibung vernachlässigbar!), was bei pumpenlosen Aggregaten nicht verlohnt.

Kleine Verdampfungswärme r des Brennstoffs

Verkleinert die erforderliche Verdampfungszeit. Derartige Brennstoffe (Benzin, Benzol) haben aber auch immer entsprechend hohe Dampfdrucke, wodurch bei Sauerstoff-Druckerzeugung explosive Gemische entstehen können. Um diese einfache Weise der Druckerzeugung beibehalten zu können, ist im Rahmen dieser Arbeit auf Verwendung derartiger Brennstoffe verzichtet worden.

Verringerung der Tröpfchendurchmesser unter Beibehaltung hoher Relativgeschwindigkeiten

Es ist dieses der Kernpunkt des Zerstäubungsproblems. Durch Erprobung der verschiedensten Einspritzdüsen und Einspritzwinkel ist dieses Gebiet auf empirischem Wege eingehend in dieser Arbeit untersucht worden. Die Ergebnisse werden später diskutiert.