Tabelle zu Tafel 4

Lfd. Nr.	Mischverh. $V = \frac{C_2H_6O + H_2O}{O_2}$	E_n WE/kg	$E_{n_{eff}}$ WE/kg	T_{ih} ° abs.	R	$\sqrt{R\,T_{ih}}$
1	0,280	1045	917	2832	29,3	288
2	0,458	1500	1355	3364	30,5	320
3	0,640	1862	1702	3651	30,8	334
4	0,766	2070	1450	3225	35,2	337
5	0,913	2280	1220	2876	38,7	333
6	0,960	2340	1160	2719	39,6	328
7	1,440 *	2800	844	2091	36,8	277

* Die hier errechneten Werte beziehen sich auf die später diskutierte Annahme, daß unverbrannter Spiritus durch die Düse mitgerissen wird, ohne seinen Heizwert innerhalb des nutzbaren Bereiches abzugeben (Grenzfall).

Lfd. Nr.	Gewichtsprozent (primär) des Verbrennungsproduktes					R
	H_2O	CO_2	CO	O_2	C_2H_6O	
1	24,6	31,4	–	44,0	–	29,0
2	35,4	45,0	–	19,6	–	27,8
3	44,1	55,9	–	–	–	26,9
4	49,1	31,1	19,8	–	–	24,1
5	54,0	6,9	39,1	–	–	21,9
6	55,3	–	44,7	–	–	21,4
7	49,5	–	35,8	–	14,7	23,0

Endprodukt eine bestimmte Menge CO, für die kein Sauerstoff zur Weiterverbrennung in CO_2 zur Verfügung steht. Der Heizwert dieses CO geht also verloren, wodurch T_{i_h} sinkt. Andererseits wird aber durch das relativ niedrige Molekulargewicht von CO ($\mu_{co} = 28$) die Gaskonstante des Gemischs erheblich vergrößert.

Tatsächlich liegt die günstigste erreichbare Ausströmungsgeschwindigkeit auch nicht bei dem stöchiometrischen Verhältnis, sondern erheblich nach der Brennstoffüberschußseite verschoben. Das theoretisch günstigste Gemisch kann leicht ermittelt werden, wenn man für einige Treibstoffgemische T_{i_h} und R errechnet. In Tafel 4 sind T_{i_h} und $\sqrt{R\,T_{i_h}}$ als Funktion des Mischverhältnisses V (= Gewicht von Brennstoff + Wasser zu Gewicht des Sauerstoffes) aufgetragen. Es ist deutlich zu erkennen, daß das Optimum des Wertes $\sqrt{R\,T_{i_h}}$ und damit der Ausströmgeschwindigkeit theoretisch bei ca. V = 0,8 liegt.

In vorliegender Arbeit ist das günstigste Mischungsverhältnis für Brennspiritus als Treibstoff auch empirisch untersucht worden, wobei sich ein ähnliches Ergebnis herausstellte (vgl. Abschnitt 7). Die systematische Vornahme von Untersuchungen dieser Frage für andere als Treibstoff in Betracht kommende Kohlenwasserstoff-Verbindungen (z. B. Benzin, Benzol, verflüssigtes Methan, Methylalkohol) wäre eine für die Weiterentwicklung der Flüssigkeitsrakete besonders wichtige Aufgabe.

*

Die Gleichungen (12a) und (12b) sind für viele Berechnungsfälle etwas unhandlich. Es ist daher zweckmäßig, sie noch auf eine für den praktischen Gebrauch brauchbare Form zu bringen.

Setzt man in Gl. (12b) mit Hilfe von Gl. (13)

$$R\,T_i = \frac{848}{\mu}\,T_i\,,$$

so wird

$$c_a = \sqrt{2g\,\frac{848}{\mu}\,\frac{\varkappa}{\varkappa - 1}\left[1 - \left(\frac{p_a}{p_i}\right)^{\frac{\varkappa - 1}{\varkappa}}\right] T_i}\,.$$

Schreibt man hierin $2\,g \cdot 848 = 129^2$

und $\left(\frac{p_a}{p_i}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}} = \frac{T_a}{T_i}$,

so erhält man

$$c_a = 129\sqrt{\frac{1}{\mu}\,\frac{\varkappa}{\varkappa - 1}\left[1 - \frac{T_a}{T_i}\right] T_i} = 129\sqrt{\frac{1}{\mu}\,\frac{\varkappa}{\varkappa - 1}\,(T_i - T_a)} \tag{14a}$$

Macht man endlich die für die meisten Fälle hinreichend genaue Annahme $\varkappa = 1{,}2$, so wird $\frac{\varkappa}{\varkappa - 1} = 6$ und

$$c_a = 316\sqrt{\frac{1}{\mu}\,(T_i - T_a)} \tag{14b}$$

Dieser Ausdruck ist z. B. für die Klärung folgender wichtiger Frage geeignet: Es wurde mit einem Gemisch bekannter Zusammensetzung gebrannt, die tatsächliche Endtemperatur betrug $T_{a_{eff}}$. Wie groß ist die Ausströmgeschwindigkeit, die bei diesem Temperaturgefälle theoretisch hätte erzielt werden können?

Die tatsächliche Endtemperatur $T_{a_{eff}}$ braucht dabei übrigens nicht direkt gemessen zu werden. Eine wirklich genaue Messung ist nämlich, wie noch gezeigt wird, mit verschiedenen Schwierigkeiten verknüpft. Es gibt nun ein Verfahren, $T_{a_{eff}}$ auf Grund anderer Meßwerte auf einfachste Weise zu bestimmen:

Ist $c_{a_{eff}}$ die aus dem Rückstoß errechnete tatsächlich erzielte Ausströmgeschwindigkeit, f_a der Querschnitt der Düsenmündung, so ist $V_a = f_a \cdot c_{a_{eff}}$ das sekundliche Gasvolumen. Das spez. Volumen im Mündungsquerschnitt ist dann bei einem (aus dem Entleerungsschaubild zu ersehenden) sekundlichen Treibstoffgewicht G_{sec}

$$v_a = \frac{V_a}{G_{sec}} = \frac{f_a\,c_{a_{eff}}}{G_{sec}}$$

Entsprechend der Zustandsgleichung wird dieses spez. Volumen erreicht bei einer tatsächlichen Mündungstemperatur

$$T_{a_{eff}} = \frac{p_a\,v_a}{R} = \frac{p_a\,f_a\,c_{a_{eff}}}{G_{sec}\,R}\,. \tag{15}$$

Die einzige nicht völlig einwandfrei feststellbare Größe in dieser Gleichung ist die Gaskonstante R. Diese läßt sich zwar aus der chemischen Reaktionsgleichung ermitteln, kann jedoch als Folge unvollkommener Verbrennung und Dissoziation einen von dem theoretischen etwas abweichenden Wert annehmen. Bei der Behandlung meßtechnischer Einzelheiten soll aber auf eine Methode hingewiesen werden, die eine empirische Kontrolle des wahren Wertes von R ermöglicht.

3. Die thermodynamischen Gesetze des Ausströmvorganges

Die energetischen Verhältnisse von Verbrennung und Expansion sind im vorigen Abschnitt in großen Zügen umrissen worden. Es geht nun darum, die konstruktiven Maße so festzulegen, daß in Ofen und Ausströmdüse die gewünschten Verhältnisse auch eintreten können.

Zu den diesbezüglichen Berechnungen gehört zunächst eine genaue Untersuchung des Ausströmvorganges, bei welcher die Beziehungen zwischen Düsenquerschnitten, Ausströmmenge, Druckverlauf und Rückstoß zu klären sind. Die ebenfalls wichtige Frage der Ofengröße setzt die Kenntnis dieser Beziehungen voraus und soll daher erst im nächsten Abschnitt behandelt werden.

Für jeden Ausströmvorgang kompressibler Flüssigkeiten gilt die allgemeine Kontinuitätsbedingung

$$f\,c\,\gamma = f_1\,c_1\,\gamma_1 \tag{16}$$

wenn f, f_1 zwei Querschnitte, c, c_1 die zugehörigen Geschwin-