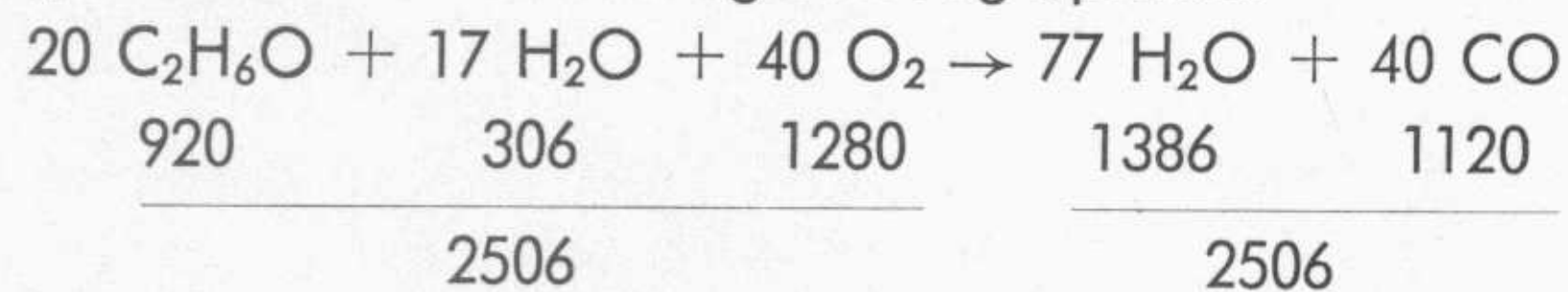


$V = 0,96$ heißt die Reaktionsgleichung „primär“



Die primäre Zusammensetzung des Verbrennungsproduktes ist also in Gewichtsprozenten

$$55,3\% \text{ H}_2\text{O} \quad 44,7\% \text{ CO}$$

in Raumteilen analog

$$65,7\% \text{ H}_2\text{O} \quad 34,3\% \text{ CO}$$

Entsprechend der Reaktion (29) entsteht nun H_2 auf Kosten von H_2O und CO_2 auf Kosten von CO . Entstehen also zunächst 77 Mole Wasser und 40 Mole Kohlenoxyd, so setzt sich das Gas nach erfolgter Reaktion zusammen aus



(Es ist ein Charakteristikum dieses Vorganges, daß stets gleiche Mengen an CO_2 und H_2 entstehen.)

Gemäß Gl. (32b) ist dann

$$\frac{(40 - x)(77 - x)}{x^2} = K_p \quad (b)$$

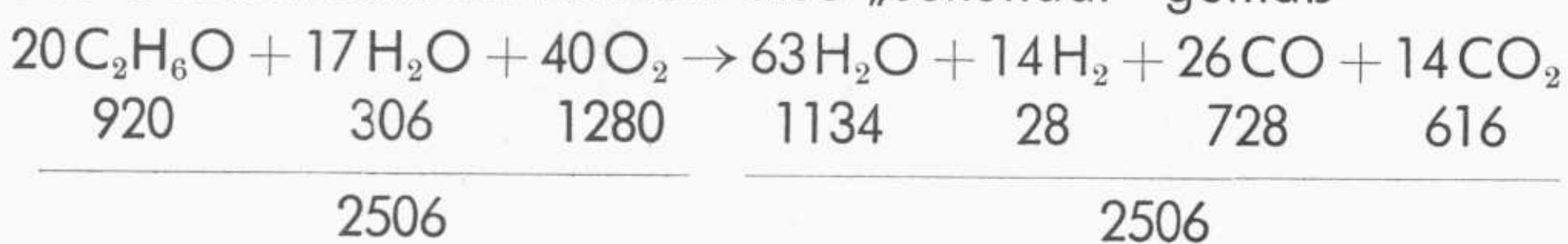
Die Auflösung dieser quadratischen Gleichung ergibt nach x

$$x = \frac{117}{2(1 - K_p)} \pm \sqrt{\frac{117^2}{4(1 - K_p)^2} - \frac{3080}{1 - K_p}} \dots \quad (c)$$

K_p kann nun aus Tafel 11 entnommen werden. Da T_i zunächst noch nicht genau bekannt ist, setzt man anstelle des primär (d. h. ohne Berücksichtigung des Gleichgewichts) ermittelten Wertes einen etwas höheren. Nach Tafel 4 ist primär $T_i = 2719^\circ$ abs., man setzt also zunächst z. B. $T_i = 2900$. Hierfür ergibt sich mit Tafel 11 eine Gleichgewichtskonstante $K_p = 8,3$. Mit Gl. (c) wird dann

$$x = 14 \text{ Mole}$$

Die Gesamtreaktion verläuft also „sekundär“ gemäß



Das Verbrennungsprodukt besteht nunmehr aus den Gewichtsteilen

$$45,3\% \text{ H}_2\text{O} \quad 1,1\% \text{ H}_2 \quad 29,1\% \text{ CO} \quad 24,5\% \text{ CO}_2$$

bzw. aus den Raumteilen

$$54,0\% \text{ H}_2\text{O} \quad 12,0\% \text{ H}_2 \quad 22,0\% \text{ CO} \quad 12,0\% \text{ CO}_2$$

Bei $T_i = 2900^\circ$ abs. beträgt nun der Heizwert der Reaktion gemäß Tafel 10 $W_p = 10300 \text{ WE/Mol}$, d. h. es werden pro kg entstehendes CO_2 $10300 : 44 = 234 \text{ WE}$ frei. Zu dem effektiven Heizwert der Primärreaktion sind also noch

$$\frac{616}{2506} 234 = 56,3 \text{ WE}$$

aus der Sekundärreaktion hinzuzuzählen.

Nunmehr ist eine Rückkontrolle von T_i möglich. In der Wärmebilanz wird nunmehr

$$E_{n_{\text{eff}}} = 1160 + 56 = 1216 \text{ WE}$$

eingeführt. Setzt man lt. diskutierter Annahme c_p konstant, so ergibt sich m. H. der in Abschnitt 2 beschriebenen Methode der Interpolation die Temperatur zu

$$T_i = 2802^\circ \text{ abs.}$$

In der Ermittlung von K_p wurde also eine um 98° zu hohe Temperatur benützt. K_p wird also in Wirklichkeit etwas kleiner. Durch wiederholtes Probieren kommt man in dem besprochenen Beispiel endlich zu

$$K_p = 8,1 \quad T_i = 2790^\circ \text{ abs.} \quad (d)$$

Auch die prozentuale Gaszusammensetzung wird dadurch etwas anders.

Für den für die Ausströmgeschwindigkeit entscheidenden Faktor $\sqrt{RT_i}$ findet sich

$$\sqrt{RT_i} = \sqrt{39,6 \cdot 2790} = 332 \quad (e)$$

Gegenüber der Primärreaktion wächst $\sqrt{RT_i}$ also von 328 auf 332, d. h. die erzielbare Ausströmgeschwindigkeit steigt in dem betrachteten Beispiel als Folge des Gasgleichgewichtes um 1,2%.

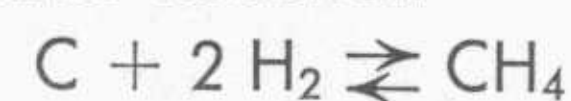
In Tafel 12 sind T_i und RT_i unter Berücksichtigung dieser Gleichgewichtsreaktion graphisch aufgetragen. Es ist ersichtlich, daß die Werte sich von denen, die sich aus der primären Reaktion errechnen (gestrichelt), kaum merklich unterscheiden.

Das Gasgleichgewicht $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2$ ist also zwar von außerordentlichem Einfluß auf die endgültige Zusammensetzung des Verbrennungsproduktes; seine Bedeutung für die Ausströmgeschwindigkeit ist jedoch so gering, daß sie bei allen praktischen Berechnungsfällen ohne Schaden vernachlässigt werden kann.

*

Neben diesem Reaktionsgleichgewicht dürften nun während des Verbrennungsvorganges in Ofen und Düse noch viele andere Gleichgewichtsumsetzungen stattfinden, deren Auswirkungen sich bei ähnlichen Vorgängen z. T. auch nachweisen ließen.

So kann sich z. B. bei hohem Brennstoffüberschuß, wo gewisse Mengen reinen Kohlenstoffes in Form von Ruß im Gas enthalten sind, nach einer Reaktion



Methan entwickeln, das zu ihren Ausgangsprodukten C und H_2 in einen Gleichgewichtszustand eintritt. Bei Temperaturen von über 800° C ist dieses Gleichgewicht aber fast völlig zu Gunsten des ungebundenen Kohlenstoff und Wasserstoff verschoben. Zudem wirkt bei so hohen Temperaturen auch das Kohlendioxyd nach der Reaktion



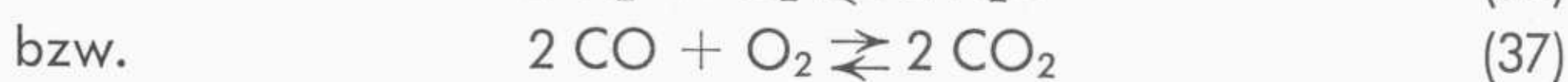
auf das Methan ein. Eine wesentliche Methanentwicklung dürfte also erst nach Verlassen der Düsenmündung einsetzen, erscheint für die Arbeitsweise des Raketenofens somit ohne Einfluß.

Ebenso verhält es sich mit einigen weiteren noch denkbaren Reaktionen.

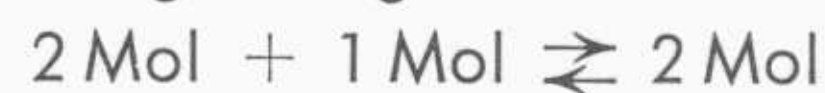
Von besonderer Wichtigkeit unter den vielen anderen noch möglichen Nebenreaktionen, die für den betrachteten Vorgang alle nur von mehr oder weniger untergeordneter Bedeutung sind, ist aber noch eine besondere Gruppe der Gleichgewichtsreaktionen: Die Dissoziationsvorgänge.

Bei sehr hohen Temperaturen werden die rotatorischen Molekulargeschwindigkeiten der Gase so hoch, daß stets ein gewisser Prozentsatz der Molekülverbände gesprengt („dissoziiert“) ist. Der Anteil eines Gasvolumens an undissoziierten und dissoziierten Bestandteilen läßt sich dann in derselben Weise wie bisher durch Einführung einer Gleichgewichtskonstante erfassen.

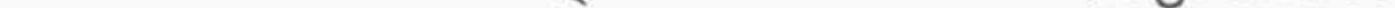
Für die Vorgänge im Raketenofen besonders wichtig sind die Dissoziationen des Wasserdampfes und der Kohlensäure. Die dabei zu untersuchenden Gleichgewichte heißen also



Beiden Reaktionen liegt das gleiche räumliche Verhältnis



oder



Die Vorgänge verlaufen also im Sinne der Dissoziation volumenvergrößernd. Erhöhung des Druckes wird das Gleichgewicht also stets zugunsten der undissoziierten Bestandteile verschieben.

Gemäß Gl. (31) und (32a) muß für die Gleichgewichtskonstanten gelten

$$K_{\text{pH}_2\text{O}} = \frac{p_{\text{H}_2}^2 p_{\text{O}_2}}{p_{\text{H}_2\text{O}}^2}$$

bzw.

$$K_{\text{pCO}_2} = \frac{p_{\text{CO}}^2 p_{\text{O}_2}}{p_{\text{CO}_2}^2}$$

Setzt man anstelle der Partialdrücke wieder die Raumteile, so