



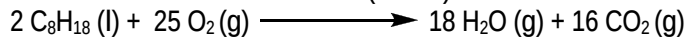
Energetik: Suche nach geeigneten Treibstoffkombinationen



Aufgabe 1:

Berechnen Sie die molaren Reaktionsenthalpien der in Station 6, Aufgaben 2.1 und 2.2, gegebenen Treibstoffkombinationen und stellen Sie diese in einem Enthalpiediagramm dar.

Treibstoffkombination Kerosin (Octan) / Luft:



$$\Delta_R H = \sum v_i \Delta_f H (\text{Produkte}) - \sum v_i \Delta_f H (\text{Edukte})$$

$$\Delta_R H = 18 \text{ mol} \cdot \Delta_f H (\text{H}_2\text{O}) + 16 \text{ mol} \cdot \Delta_f H (\text{CO}_2) - [2 \text{ mol} \cdot \Delta_f H (\text{C}_8\text{H}_{18}) + 25 \text{ mol} \cdot \Delta_f H (\text{O}_2)]$$

$$\Delta_R H = 18 \text{ mol} \cdot (-242) \text{ kJ/mol} + 16 \text{ mol} \cdot (-394) \text{ kJ/mol} - [2 \text{ mol} \cdot (-250) \text{ kJ/mol} + 25 \text{ mol} \cdot 0 \text{ kJ/mol}]$$

$$\Delta_R H = -10.160 \text{ kJ} : 2 \text{ mol}$$

$$\Delta_R H = -5.080 \text{ kJ/mol}$$

Treibstoffkombination der Lachgasrakete:



$$\Delta_R H = \sum v_i \Delta_f H (\text{Produkte}) - \sum v_i \Delta_f H (\text{Edukte})$$

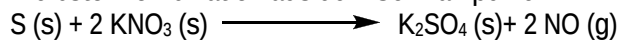
$$\Delta_R H = 16 \text{ mol} \cdot \Delta_f H (\text{N}_2) + 5 \text{ mol} \cdot \Delta_f H (\text{CO}_2) + 6 \text{ mol} \cdot \Delta_f H (\text{H}_2\text{O}) - [16 \text{ mol} \cdot \Delta_f H (\text{N}_2\text{O}) + 1 \text{ mol} \cdot \Delta_f H (\text{C}_5\text{H}_{12})]$$

$$\Delta_R H = 16 \text{ mol} \cdot 0 \text{ kJ/mol} + 5 \text{ mol} \cdot (-394) \text{ kJ/mol} + 6 \text{ mol} \cdot (-242) \text{ kJ/mol} - [16 \text{ mol} \cdot 82 \text{ kJ/mol} + 1 \text{ mol} \cdot (-173) \text{ kJ/mol}]$$

$$\Delta_R H = -4.561 \text{ kJ} : 1 \text{ mol}$$

$$\Delta_R H = -4.561 \text{ kJ/mol}$$

Treibstoffkombination aus dem Schwarzpulver:



$$\Delta_R H = \sum v_i \Delta_f H (\text{Produkte}) - \sum v_i \Delta_f H (\text{Edukte})$$

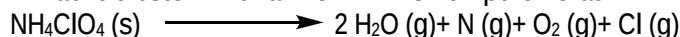
$$\Delta_R H = 1 \text{ mol} \cdot \Delta_f H (\text{K}_2\text{SO}_4) + 2 \text{ mol} \cdot \Delta_f H (\text{NO}) - [1 \text{ mol} \cdot \Delta_f H (\text{S}) + 2 \text{ mol} \cdot \Delta_f H (\text{KNO}_3)]$$

$$\Delta_R H = 1 \text{ mol} \cdot (-1.438) \text{ kJ/mol} + 2 \text{ mol} \cdot 90 \text{ kJ/mol} - [1 \text{ mol} \cdot 0 \text{ kJ/mol} + 2 \text{ mol} \cdot (-495) \text{ kJ/mol}]$$

$$\Delta_R H = -268 \text{ kJ} : 1 \text{ mol}$$

$$\Delta_R H = -268 \text{ kJ/mol}$$

Einfachtreibstoff : Zerfall von Ammoniumperchlorat



$$\Delta_R H = \sum v_i \Delta_f H (\text{Produkte}) - \sum v_i \Delta_f H (\text{Edukte})$$

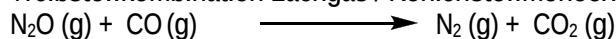
$$\Delta_R H = 2 \text{ mol} \cdot \Delta_f H (\text{H}_2\text{O}) + 1 \text{ mol} \cdot \Delta_f H (\text{N}) + 1 \text{ mol} \cdot \Delta_f H (\text{O}_2) + 1 \text{ mol} \cdot \Delta_f H (\text{Cl}) - [1 \text{ mol} \cdot \Delta_f H (\text{NH}_4\text{ClO}_4)]$$

$$\Delta_R H = 2 \text{ mol} \cdot (-242 \text{ kJ/mol}) + 1 \text{ mol} \cdot 473 \text{ kJ/mol} + 1 \text{ mol} \cdot 0 \text{ kJ/mol} + 1 \text{ mol} \cdot 121 \text{ kJ/mol} - [1 \text{ mol} \cdot (-295) \text{ kJ/mol}]$$

$$\Delta_R H = +405 \text{ kJ} : 1 \text{ mol}$$

$$\Delta_R H = +405 \text{ kJ/mol}$$

Treibstoffkombination Lachgas / Kohlenstoffmonooxid



$$\Delta_R H = \sum v_i \Delta_f H (\text{Produkte}) - \sum v_i \Delta_f H (\text{Edukte})$$

$$\Delta_R H = 1 \text{ mol} \cdot \Delta_f H (\text{N}_2) + 1 \text{ mol} \cdot \Delta_f H (\text{CO}_2) - [1 \text{ mol} \cdot \Delta_f H (\text{N}_2\text{O}) + 1 \text{ mol} \cdot \Delta_f H (\text{CO})]$$

$$\Delta_R H = 1 \text{ mol} \cdot 0 \text{ kJ/mol} + 1 \text{ mol} \cdot (-394) \text{ kJ/mol} - [1 \text{ mol} \cdot 82 \text{ kJ/mol} + 1 \text{ mol} \cdot (-111) \text{ kJ/mol}]$$

$$\Delta_R H = -292 \text{ kJ} : 1 \text{ mol}$$

$$\Delta_R H = -365 \text{ kJ/mol}$$

Stoff-
Teilchen-
Konzept

Struktur-
Eigenschafts-
Konzept

Donator-
Akzeptor-
Konzept

Gleich-
gewichts-
Konzept

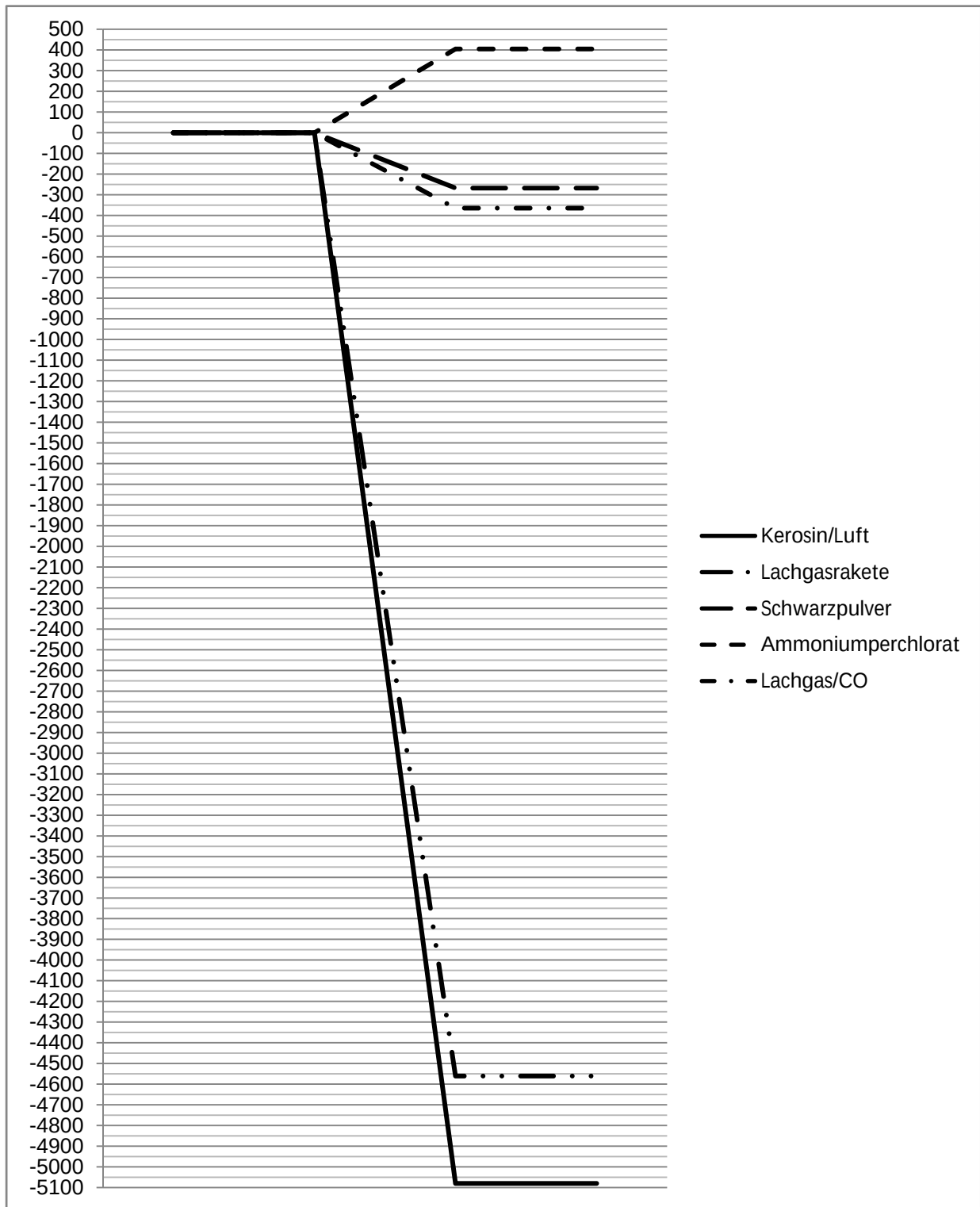
Energie-
Konzept



Energetik: Suche nach geeigneten Treibstoffkombinationen



Enthalpiediagramm:





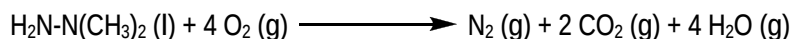
Energetik: Suche nach geeigneten Treibstoffkombinationen



Aufgabe 2:

Ordnen Sie die 5 Treibstoffkombinationen (siehe Tabelle oben) nach steigender molarer freier Reaktionsenthalpie. (Reaktionsgleichungen nicht vergessen!)

Kombination 1



$$\Delta_R G = \sum v_i \Delta_f G \text{ (Produkte)} - \sum v_i \Delta_f G \text{ (Edukte)}$$

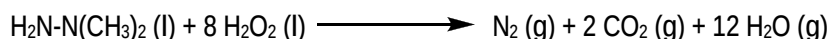
$$\Delta_R G = 1 \text{ mol} \cdot \Delta_f G (\text{N}_2) + 2 \text{ mol} \cdot \Delta_f G (\text{CO}_2) + 4 \text{ mol} \cdot \Delta_f G (\text{H}_2\text{O}) - [1 \text{ mol} \cdot \Delta_f G (\text{H}_2\text{N-N(CH}_3)_2) + 4 \text{ mol} \cdot \Delta_f G (\text{O}_2)]$$

$$\Delta_R G = 1 \text{ mol} \cdot 0 \text{ kJ/mol} + 2 \text{ mol} \cdot (-394) \text{ kJ/mol} + 4 \text{ mol} \cdot (-229) \text{ kJ/mol} - [1 \text{ mol} \cdot 143 \text{ kJ/mol} + 4 \text{ mol} \cdot 0 \text{ kJ/mol}]$$

$$\Delta_R G = -1.847 \text{ kJ} : 1 \text{ mol}$$

$$\Delta_R G = -1.847 \text{ kJ/mol}$$

Kombination 2



$$\Delta_R G = \sum v_i \Delta_f G \text{ (Produkte)} - \sum v_i \Delta_f G \text{ (Edukte)}$$

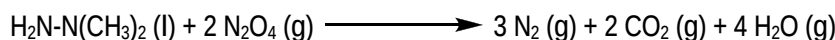
$$\Delta_R G = 1 \text{ mol} \cdot \Delta_f G (\text{N}_2) + 2 \text{ mol} \cdot \Delta_f G (\text{CO}_2) + 12 \text{ mol} \cdot \Delta_f G (\text{H}_2\text{O}) - [1 \text{ mol} \cdot \Delta_f G (\text{H}_2\text{N-N(CH}_3)_2) + 8 \text{ mol} \cdot \Delta_f G (\text{H}_2\text{O}_2)]$$

$$\Delta_R G = 1 \text{ mol} \cdot 0 \text{ kJ/mol} + 2 \text{ mol} \cdot (-394) \text{ kJ/mol} + 12 \text{ mol} \cdot (-229) \text{ kJ/mol} - [1 \text{ mol} \cdot 143 \text{ kJ/mol} + 8 \text{ mol} \cdot (-120) \text{ kJ/mol}]$$

$$\Delta_R G = -2.719 \text{ kJ} : 1 \text{ mol}$$

$$\Delta_R G = -2.719 \text{ kJ/mol}$$

Kombination 3



$$\Delta_R G = \sum v_i \Delta_f G \text{ (Produkte)} - \sum v_i \Delta_f G \text{ (Edukte)}$$

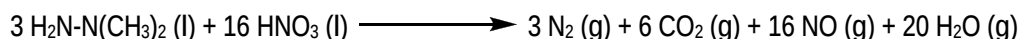
$$\Delta_R G = 3 \text{ mol} \cdot \Delta_f G (\text{N}_2) + 2 \text{ mol} \cdot \Delta_f G (\text{CO}_2) + 4 \text{ mol} \cdot \Delta_f G (\text{H}_2\text{O}) - [1 \text{ mol} \cdot \Delta_f G (\text{H}_2\text{N-N(CH}_3)_2) + 2 \text{ mol} \cdot \Delta_f G (\text{N}_2\text{O}_4)]$$

$$\Delta_R G = 3 \text{ mol} \cdot 0 \text{ kJ/mol} + 2 \text{ mol} \cdot (-394) \text{ kJ/mol} + 4 \text{ mol} \cdot (-229) \text{ kJ/mol} - [1 \text{ mol} \cdot 143 \text{ kJ/mol} + 2 \text{ mol} \cdot 98 \text{ kJ/mol}]$$

$$\Delta_R G = -2.043 \text{ kJ} : 1 \text{ mol}$$

$$\Delta_R G = -2.043 \text{ kJ/mol}$$

Kombination 4



$$\Delta_R G = \sum v_i \Delta_f G \text{ (Produkte)} - \sum v_i \Delta_f G \text{ (Edukte)}$$

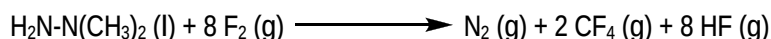
$$\Delta_R G = 3 \text{ mol} \cdot \Delta_f G (\text{N}_2) + 6 \text{ mol} \cdot \Delta_f G (\text{CO}_2) + 16 \text{ mol} \cdot \Delta_f G (\text{NO}) + 20 \text{ mol} \cdot \Delta_f G (\text{H}_2\text{O}) - [3 \text{ mol} \cdot \Delta_f G (\text{H}_2\text{N-N(CH}_3)_2) + 16 \text{ mol} \cdot \Delta_f G (\text{HNO}_3)]$$

$$\Delta_R G = 3 \text{ mol} \cdot 0 \text{ kJ/mol} + 6 \text{ mol} \cdot (-394) \text{ kJ/mol} + 16 \text{ mol} \cdot 87 \text{ kJ/mol} + 20 \text{ mol} \cdot (-229) \text{ kJ/mol} - [3 \text{ mol} \cdot 143 \text{ kJ/mol} + 16 \text{ mol} \cdot -81 \text{ kJ/mol}]$$

$$\Delta_R G = -4.685 \text{ kJ} : 1 \text{ mol}$$

$$\Delta_R G = -4.685 \text{ kJ/mol}$$

Kombination 5



$$\Delta_R G = \sum v_i \Delta_f G \text{ (Produkte)} - \sum v_i \Delta_f G \text{ (Edukte)}$$

$$\Delta_R G = 1 \text{ mol} \cdot \Delta_f G (\text{N}_2) + 2 \text{ mol} \cdot \Delta_f G (\text{CF}_4) + 8 \text{ mol} \cdot \Delta_f G (\text{HF}) - [1 \text{ mol} \cdot \Delta_f G (\text{H}_2\text{N-N(CH}_3)_2) + 8 \text{ mol} \cdot \Delta_f G (\text{F}_2)]$$

$$\Delta_R G = 1 \text{ mol} \cdot 0 \text{ kJ/mol} + 2 \text{ mol} \cdot (-819) \text{ kJ/mol} + 8 \text{ mol} \cdot (-275) \text{ kJ/mol} - [1 \text{ mol} \cdot 143 \text{ kJ/mol} + 8 \text{ mol} \cdot 0 \text{ kJ/mol}]$$

$$\Delta_R G = -3.981 \text{ kJ} : 1 \text{ mol}$$

$$\Delta_R G = -3.981 \text{ kJ/mol}$$

Stoff-
Teilchen-
Konzept

Struktur-
Eigenschafts-
Konzept

Donator-
Akzeptor-
Konzept

Gleich-
gewichts-
Konzept

Energie-
Konzept

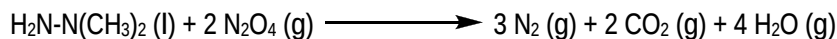


Energetik: Suche nach geeigneten Treibstoffkombinationen



Aufgabe 3:

Ermitteln Sie für das Beispiel 3 die Temperatur, ab der die Reaktion nicht mehr spontan verläuft.



$$\Delta_R G = 0$$

$$\Delta_R G = \Delta_R H - T \cdot \Delta S$$

$$\Delta_R H = \sum v_i \Delta_f H (\text{Produkte}) - \sum v_i \Delta_f H (\text{Edukte})$$

$$\Delta_R H = 3 \text{ mol} \cdot \Delta_f H (\text{N}_2) + 2 \text{ mol} \cdot \Delta_f H (\text{CO}_2) + 4 \text{ mol} \cdot \Delta_f H (\text{H}_2\text{O}) - [1 \text{ mol} \cdot \Delta_f H (\text{H}_2\text{N-N}(\text{CH}_3)_2) + 2 \text{ mol} \cdot \Delta_f H (\text{N}_2\text{O}_4)]$$

$$\Delta_R H = 3 \text{ mol} \cdot 0 \text{ kJ/mol} + 2 \text{ mol} \cdot (-394) \text{ kJ/mol} + 4 \text{ mol} \cdot (-242) \text{ kJ/mol} - [1 \text{ mol} \cdot 53 \text{ kJ/mol} + 2 \text{ mol} \cdot 9 \text{ kJ/mol}]$$

$$\Delta_R H = -1.827 \text{ kJ} : 1 \text{ mol}$$

$$\Delta_R H = -1.827 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta S = \sum v_i \Delta S (\text{Produkte}) - \sum v_i \Delta S (\text{Edukte})$$

$$\Delta S = 3 \text{ mol} \cdot \Delta S (\text{N}_2) + 2 \text{ mol} \cdot \Delta S (\text{CO}_2) + 4 \text{ mol} \cdot \Delta S (\text{H}_2\text{O}) - [1 \text{ mol} \cdot \Delta S (\text{H}_2\text{N-N}(\text{CH}_3)_2) + 2 \text{ mol} \cdot \Delta S (\text{N}_2\text{O}_4)]$$

$$\Delta S = 3 \text{ mol} \cdot 192 \text{ J/mol} \cdot \text{K} + 2 \text{ mol} \cdot 214 \text{ J/mol} \cdot \text{K} + 4 \text{ mol} \cdot 189 \text{ J/mol} \cdot \text{K} - [1 \text{ mol} \cdot 302 \text{ J/mol} \cdot \text{K} + 2 \text{ mol} \cdot 304 \text{ J/mol} \cdot \text{K}]$$

$$\Delta S = 850 \text{ J/K} : 1 \text{ mol}$$

$$\Delta S = 850 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

$$\Delta_R G = 0 = (-1.827) \text{ kJ/mol} - T \cdot 850 \text{ J/mol} \cdot \text{K} = (-1.827.000) \text{ J/mol} - T \cdot 850 \text{ J/mol} \cdot \text{K} \quad | + (-1.827.000) \text{ J/mol}$$

$$1.827.000 \text{ J/mol} = - T \cdot 850 \text{ J/mol} \cdot \text{K} \quad | : (-850) \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

$$T = \frac{1.827.000 \text{ J/mol}}{-850 \text{ J/mol} \cdot \text{K}}$$

$$T = -2.149 \text{ K}$$

Da der absolute Nullpunkt der Temperatur bei 0 K liegt, verläuft die Reaktion zwischen UDMH und N_2O_4 bei jeder Temperatur freiwillig.

Aufgabe 4:

Wählen Sie die am besten geeignete Treibstoffkombination aus der Tabelle aus und begründen Sie Ihre Entscheidung ausführlich.

(Beachten Sie neben energetischen Aspekten auch technische, wie z. B. die spezifischen Impulse, sowie die Umweltverträglichkeit!)

Pro- und Contra-Argumente: (Die Zahlen entsprechen Schulnoten.)

Treibstoffkombination	spezifischer Impuls	Zuverlässigkeit	Giftigkeit	Giftigkeit der Oxidationsprodukte	Treibhauswirksamkeit	Ozonschichtschädigung	Ø
UDMH/ O_2	②	⑤	⑤	①	②	①	③
UDMH/ H_2O_2	④	③	⑤	①	②	①	③
UDMH/ N_2O_4	③	②	⑤	①	②	③	③
UDMH/ HNO_3	⑤	④	⑤	④	④	③	④
UDMH/ F_2	①	①	⑤	⑤	①	⑤	③

Stoff-Teilchen-Konzept

Struktur-Eigenschafts-Konzept

Donator-Akzeptor-Konzept

Gleichgewichts-Konzept

Energie-Konzept