

Praktikumsprotokoll

Physikalisch-Chemisches Anfängerpraktikum

Tobias Schabel
Matthias Ernst
Gruppe A-11

Datum des Praktikumstags: 14.11.2005
Protokoll-Datum: 08.12.2005
Assistent: N. Kapernaum

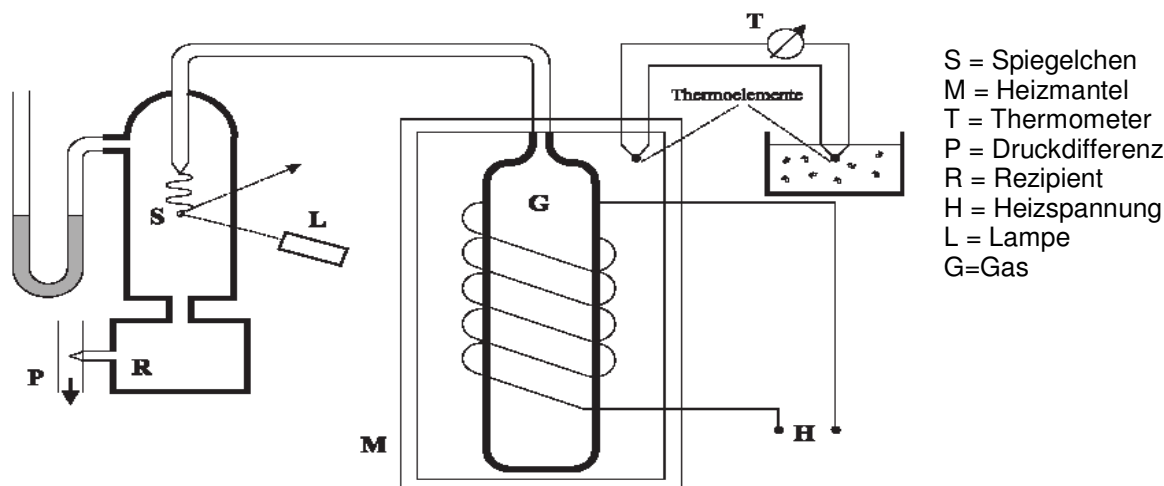
6. Versuch: HG - Homogenes Gasgleichgewicht

Aufgabenstellung

1. Die Partialdrücke für eine Gasreaktion der Komponenten A_i und B_j sind aus dem Gesamtdruck und dem Anfangsdruck zu ermitteln. Dies ist auf das N_2O_4/NO_2 -Gleichgewicht anzuwenden.
2. Der Druck des N_2O_4/NO_2 -Gleichgewichts ist bei steigender Temperatur zu messen.
3. Aus den Messwerten ist die Gleichgewichtskonstante K_p bei verschiedenen Temperaturen sowie die Reaktionsenthalpie mithilfe der van't Hoff'schen Auftragung zu bestimmen.
4. Unter der Annahme, dass sich N_2O_4 wie ein ideales Gas verhält, ist der Druckverlauf für $T=293K$ bis $T=253K$ [in 10K-Schritten] zu berechnen.
5. Der Druckverlauf ist unter Berücksichtigung der Kondensation von N_2O_4 für $T=200K$ bis $T=250K$, wieder in 10K-Schritten, zu berechnen und in das Diagramm einzutragen.

Messprinzip:

Versuchsaufbau:



Durchführung:

Zunächst wurde die Spannung auf den Minimalwert (1,3V) gestellt. Mittels des Hahns wurde der reflektierte Lichtpunkt auf eine bereits angebrachte Markierung eingestellt und der angezeigte Druck und die Temperatur abgelesen. Anschließend wurde die Spannung von 2,5V bis 5,0V in 0,5V-Schritten, von 5,0V bis 14V in 1V-Schritten und von 17V bis 25V in 2V-Schritten erhöht.

Es wurden jeweils zehn Minuten gewartet, damit sich das Gleichgewicht einstellen konnte. Dann wurde mit dem Hahn der Druck so eingestellt, dass der reflektierte Lichtpunkt wieder am selben Punkt wie zuvor war und der angezeigte Druck sowie die Temperatur der Probe am Gerät abgelesen und notiert.

Auswertung:

1. *Partialdrücke der an einer Gasreaktion beteiligten Komponenten*

a) für eine allgemeine Gasreaktion: $\nu_1 A_1 + \nu_2 A_2 + \dots \rightleftharpoons \mu_1 B_1 + \mu_2 B_2 + \dots$

Praktikumsprotokoll

Physikalisch-Chemisches Anfängerpraktikum

Nach dem Daltonschen Gesetz setzt sich der Gesamtdruck additiv aus den Partialdrücken zusammen:

$$p = p(A_1) + p(A_2) + \dots + p(B_1) + p(B_2) + \dots = \sum_i (p(A_i) + p(B_i)) := a + b \quad \text{mit } a = \sum_i \nu_i \text{ und } b = \sum_i \mu_i$$

Um den Fortschritt der stöchiometrisch bei konstantem Druck und konstanter Temperatur ablaufenden Reaktion auszudrücken, wird die Reaktionslaufzahl ξ eingeführt, die ausdrückt, zu welchem Anteil die Reaktion abgelaufen ist ($0 \leq \xi \leq 1$).

Dabei gilt für $\xi = 0$, wenn zu Beginn nur Edukte und der Druck p_0 vorliegen:

$$p(A_i) = \frac{\nu_i}{a} \cdot p_0, \quad p(B_i) = 0$$

Für $\xi = 1$, also nachdem die Reaktion vollständig abgelaufen ist, gilt:

$$p(A_i) = 0, \quad p(B_i) = \frac{\mu_i}{a} \cdot p_0$$

Dazwischen gilt:

$$p(A_i) = (1 - \xi) \cdot \frac{\nu_i}{a} \cdot p_0, \quad p(B_i) = \xi \cdot \frac{\mu_i}{a} \cdot p_0$$

und somit gilt für den Gesamtdruck:

$$p = p(A_i) + p(B_i) = \sum_i \left((1 - \xi) \cdot \frac{\nu_i}{a} \cdot p_0 \right) + \sum_i \left(\xi \cdot \frac{\mu_i}{a} \cdot p_0 \right) = (1 - \xi) \frac{p_0}{a} \sum_i \nu_i + \xi \frac{p_0}{a} \sum_i \mu_i = (1 - \xi) \frac{p_0}{a} a + \xi \frac{p_0}{a} b$$

Daraus folgt für ξ :

$$\xi = (p - p_0) \frac{a}{p_0(b - a)} = \frac{p - p_0}{p_0} \frac{a}{b - a} = \frac{p - p_0}{p_0} \frac{a}{\frac{b}{a} - 1}$$

Dies kann man in die Gleichungen für die Partialdrücke einsetzen und es gilt somit:

$$p(A_i) = \left(1 - \frac{p - p_0}{p_0} \frac{a}{\frac{b}{a} - 1} \right) \frac{\nu_i}{a} p_0 = \frac{\nu_i}{a} p_0 - \frac{p - p_0}{p_0} \frac{\nu_i p_0}{\frac{b - a}{a}} = \left(\frac{p_0}{a} - \frac{p - p_0}{b - a} \right) \nu_i$$

$$p(B_i) = \left(\frac{p - p_0}{p_0} \frac{a}{\frac{b}{a} - 1} \right) \frac{\mu_i}{a} p_0 = \left(\frac{p - p_0}{p_0} \frac{p_0}{\frac{b - a}{a}} \right) \mu_i = \frac{p - p_0}{b - a} \mu_i$$

b) für das N_2O_4/NO_2 -Gleichgewicht: $N_2O_4 \rightleftharpoons 2NO_2$

Hier können oben hergeleiteten allgemeinen Formeln angewendet werden. In diesem Fall ist $a=1$ und $b=2$.

Somit ergeben sich:

$$p(N_2O_4) = \frac{p_0}{1} - \frac{p - p_0}{2 - 1} = 2p_0 - p \quad \text{und} \quad p(NO_2) = \frac{p - p_0}{2 - 1} \cdot 2 = 2(p - p_0)$$

2. Messung des Druckverlaufs der Reaktion $N_2O_4 \rightleftharpoons 2NO_2$

Messwerte siehe Anhang.

Für die Kurve wurden die gemessenen Werte für den Druck über der jeweiligen Temperatur aufgetragen. Dabei ergab sich nahezu nur eine Gerade. Durch die über $T=400K$ liegenden Punkte wurde eine Ausgleichsgerade gelegt, deren Gleichung sich zu $p_{HT} = 3,0592 \cdot T \text{ mbar/K} - 897,37 \text{ mbar}$ ergibt. Dies ist die Hochtemperaturgerade.

Die Tieftemperaturgerade ergibt sich als Gerade mit der halben Steigung: $p_{TT} = 1,5296 \cdot T \text{ mbar/K} - 897,37 \text{ mbar}$

Auch diese wurde ins Diagramm eingezeichnet

Der absolute Druck ergibt sich, wenn man das Koordinatensystem so verschiebt, dass der p-Achsenabschnitt beider Geraden 0 wird, also so dass die beiden Geraden sich im Ursprung schneiden.

Praktikumsprotokoll

Physikalisch-Chemisches Anfängerpraktikum

Für den absoluten Druck ergibt sich also die Gleichung:

$$p_{\text{absolut}} = p + 897,37 \text{ mbar} \quad \text{wobei } p \text{ der gemessene Druck ist}$$

Somit gilt für die Hochtemperaturgerade: $p_{\text{absolut, HT}} = 3,0592 \cdot T \text{ mbar/K}$

und für die Tieftemperaturgerade: $p_{\text{absolut, TT}} = 1,5296 \cdot T \text{ mbar/K}$.

3. Berechnung von K_p und Bestimmung der Reaktionsenthalpie

Für K_p für das $\text{N}_2\text{O}_4/\text{NO}_2$ -Gleichgewicht gilt, wenn man die beiden Partialdrücke aus 1.c) einsetzt:

$$K_p = \frac{p^2(\text{NO}_2)}{p(\text{N}_2\text{O}_4)} = \frac{4(p-p_0)^2}{2p_0-p}$$

Zu Beginn der Reaktion war $T=294,15\text{K}$ und $p_0=874,37\text{mbar}$. Da sich im Gegensatz zur Rechnung der Ausgangsdruck p_0 aufgrund der steigenden Temperatur ändert, muss dieser aus dem Schaubild abgelesen werden. Er ergibt als Ordinate der (in den Ursprung verschobenen) Tieftemperaturgeraden bei der jeweiligen Temperatur. Für p werden die Absolutwerte (s. obige Formel) der gemessenen Werte von p eingesetzt. Die Werte für K_p sind der beiliegenden Tabelle zu entnehmen.

Für die Reaktionsenthalpie wird $\ln K_p$ über $1/T$ aufgetragen und durch die Punkte eine Ausgleichsgerade gelegt, deren Gleichung sich ergibt zu: $\ln K_p = -2527,5 \text{ K/T} + 12,259$

Zu Grunde liegt die van't Hoffsche Reaktionsisobare:

$$\left(\frac{\partial(\ln K_p)}{\partial T} \right)_p = \frac{\Delta H^0}{RT^2}$$

Wird diese unbestimmt integriert und davon ausgegangen, dass ΔH^0 temperaturunabhängig ist, so ergibt sich:

$$\ln K_p = \frac{-\Delta H^0}{RT} + \text{const}$$

Dies entspricht also bei Auftragung von $\ln K$ über $1/T$ einer Geraden, wobei sich dabei über deren Steigung (mit m bezeichnet) ΔH^0 ausrechnen lässt: $\Delta H^0 = -m \cdot R$.

Somit ergibt sich: $\Delta H^0 = 2527,5 \text{ K} \cdot 8,31441 \text{ J/(K mol)} = 21014,671275 \text{ J/mol} = 21,014 \text{ kJ/mol}$.

4. Berechnung des Druckverlaufs für $T=293, 283, 273, 263, 253\text{K}$ mit N_2O_4 als idealem Gas

Wieder wird die van't Hoffsche Reaktionsisobare integriert, aber bestimmt von T_1 bis $T_2 > T_1$. Es ergibt sich:

$$\int_{K_{p,T_1}}^{K_{p,T_2}} d \ln K_p = \int_{T_1}^{T_2} \frac{\Delta H^0}{RT^2} dT \Leftrightarrow \ln \frac{K_{p,T_2}}{K_{p,T_1}} = \frac{-\Delta H^0}{R} \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right]$$

Daraus folgt:

$$K_{p,T_1} = \frac{K_{p,T_2}}{e^{\frac{-\Delta H^0}{R} \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right]}} = K_{p,T_2} \cdot e^{\frac{\Delta H^0}{R} \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right]} \quad \text{und} \quad K_{p,T_2} = K_{p,T_1} \cdot e^{\frac{-\Delta H^0}{R} \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right]}$$

Es wurden $T_2=304,15\text{K}$ und $K_{p,T_2}=53,73$ gewählt. Die daraus berechneten Werte für K_p sind ebenfalls beiliegender Tabelle zu entnehmen.

Aus der Tieftemperaturgeraden lassen sich die Drücke p_0 zu den angegebenen Temperaturen berechnen.

Für K_p gilt: $K_p = \frac{p^2(\text{NO}_2)}{p(\text{N}_2\text{O}_4)} = \frac{4(p-p_0)^2}{2p_0-p} \Rightarrow 4p^2 + (K_p - 8p_0)p + 4p_0^2 - 2K_p p_0$

Lösen und Umformen dieser quadratischen Gleichung ergibt:

$$p = \frac{1}{8} \left(-K_p + 8p_0 + \sqrt{K_p^2 + 16K_p p_0} \right)$$

Praktikumsprotokoll

Physikalisch-Chemisches Anfängerpraktikum

Die Werte für p sind auch der Tabelle zu entnehmen. Deutlich ist allerdings der "Knick", denn die p_{abs} -Werte sind viel zu tief.

Alternativ können die Werte für K_p auch aus dem Diagramm abgelesen bzw. aus der Regressionsgeraden berechnet werden. Auch dabei ergibt sich aber wieder der "Knick", die Werte für p_{abs} sind viel zu tief.

$$\ln K_p = -2527,5 \frac{\text{K}}{T} + 12,259$$

5. Berechnung des Druckverlaufs bei $T=200,210,220,240$ und 250K unter Berücksichtigung realen Verhaltens
Laut Skript gilt für die Dampfdruckkurve von N_2O_4 beim Abkühlen:

$$\ln p_{\text{N}_2\text{O}_4} = \text{const} - \frac{H_{\text{verd}}}{RT}$$

Mit den gegebenen Werten $p=750\text{Torr}$ bei $T=294,5\text{K}$ und $H_{\text{verd}}=38,1\text{kJ/mol}$ lässt sich also const ausrechnen:

$$\text{const} = \frac{H_{\text{verd}}}{RT} + \ln p_{\text{N}_2\text{O}_4} = \frac{38,1 \cdot 10^3 \text{ J/mol}}{8,31441 \text{ J/(K mol)} \cdot 294,5 \text{ K}} + \ln(750 \text{ Torr} \cdot 1000/750 \text{ mbar/Torr}) = 22,47$$

Es gilt also für den Dampfdruck von N_2O_4 :

$$p_{\text{N}_2\text{O}_4} = e^{22,47 - \frac{38100 \text{ J/mol}}{8,31441 \text{ J/(K mol)} \cdot T}} = e^{22,47 - 4582,4 \text{ K/T}}$$

So lange kondensiertes N_2O_4 im Reaktionsraum vorliegt, ist der Partialdruck des N_2O_4 gleich dem Dampfdruck. Die Gleichgewichtskonstante K_p und der Druck p können wie im Aufgabenteil 4) für jede Temperatur berechnet werden. Allerdings ist für den Druck p_0 nicht der Wert der Tieftemperaturgeraden an der Stelle T zu verwenden, sondern der errechnete Dampfdruck von N_2O_4 .

Aus der Gleichgewichtskonstanten lässt sich der Partialdruck von NO_2 berechnen:

$$p(\text{NO}_2) = \sqrt{K_p \cdot p(\text{N}_2\text{O}_4)}$$

Der Gesamtdruck ergibt sich dann additiv aus den Partialdrücken von N_2O_4 und NO_2 .

Auch hier lassen sich die K_p -Werte alternativ aus der Regressionsgeraden der van't Hoff'schen Auftragung berechnen. Diese Werte sind leicht höher, was sich aber im Diagramm kaum bemerkbar macht.

Fehlerrechnung

Bei der Messung traten Fehler beim Druck und bei der Temperatur auf. Der Fehler im Druck rührt vom ungenauen Einstellen der Markierung (diese war zunehmend schlechter zu sehen) her. Die Temperatur stieg stetig weiter, da die Heizspannung immer noch anlag.

Abgeschätzt werden: $\Delta T=1\text{K}$, $\Delta p=5\text{mbar}$

Der Fehler der Hochtemperaturgeraden lässt sich entweder über Fehlerbalken ermitteln, die aber so klein sind, dass sie nicht zu befriedigenden maximalen und minimalen Ausgleichsgeraden führen. Aus der Gleichung der Geraden $p=m_{\text{HT}} \cdot T$ folgt: $m_{\text{HT}}=p/T$

Für den Fehler von m_{HT} gilt dann nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz:

$$\Delta m_{\text{HT}} = \left| \frac{\partial m}{\partial p} \right| \Delta p + \left| \frac{\partial m}{\partial T} \right| \Delta T = \frac{1}{T} \Delta p + \frac{p}{T^2} \Delta T$$

Nach dieser Formel lässt sich für alle Werte, aus denen die Hochtemperaturgerade konstruiert wurde, ein Δm_{HT} berechnen. Der maximale Fehler der Hochtemperaturgeraden ergibt sich somit zu $\Delta m_{\text{HT}}=0,01789\text{mbar/K}$.

Der Fehler der Tieftemperaturgeraden ist halb so groß wie der Fehler der Hochtemperaturgeraden, da auch die Steigung halb so groß ist: $\Delta m_{\text{TT}}=0,008945\text{mbar/K}$

Aus der Tieftemperaturgeraden berechnet sich p_0 nach $p_0=m \cdot T$.

Also gilt nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz für den Fehler des Ausgangsdrucks Δp_0 :

Praktikumsprotokoll

Physikalisch-Chemisches Anfängerpraktikum

$$\Delta p_0 = \left(\frac{\partial p_0}{\partial m} \right)_T \cdot \Delta m + \left(\frac{\partial p_0}{\partial T} \right)_p \cdot \Delta T = T \cdot 0,0418 \frac{\text{mbar}}{\text{K}} + 1,5296 \frac{\text{mbar}}{\text{K}} \cdot 1 \text{K} = 0,0418 \cdot T \frac{\text{mbar}}{\text{K}} + 1,5297 \text{mbar}$$

$$\text{Für } K_p \text{ gilt: } K_p = \frac{4(p-p_0)^2}{2p_0-p} = \frac{4p^2 - 8pp_0 + 4p_0^2}{2p_0-p}$$

Daraus folgt nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz für den Fehler der Gleichgewichtskonstanten ΔK_p :

$$\begin{aligned} \Delta K_p &= \left| \left(\frac{\partial K_p}{\partial p} \right)_p \right| \cdot \Delta p + \left| \left(\frac{\partial K_p}{\partial p_0} \right)_p \right| \cdot \Delta p_0 \\ &= \left| \frac{(2p_0-p)(8p-p_0) - (4p^2 - 8pp_0 + 4p_0^2) \cdot (-1)}{(2p_0-p)^2} \right| \cdot \Delta p + \left| \frac{(2p_0-p)(-8p+8p_0) - (4p^2 - 8pp_0 + 4p_0^2) \cdot 2}{(2p_0-p)^2} \right| \cdot \Delta p_0 \\ &= \left| 4 \frac{4p_0p - p^2 - 3p_0^2}{(2p_0-p)^2} \right| \cdot \Delta p + \left| 8 \frac{p_0^2 - pp_0}{(2p_0-p)^2} \right| \cdot \Delta p_0 = \frac{4}{(2p_0-p)^2} \cdot |4p_0p - p^2 - 3p_0^2| \cdot \Delta p + |2p_0^2 - 2pp_0| \cdot \Delta p_0 \end{aligned}$$

Die Werte für K_p sind der beiliegenden Tabelle zu entnehmen. Sie liegen im Bereich von $10^5\%$ bis $10^6\%$, was viel zu große Werte sind, als dass die übrigen darauf aufbauenden Werte einigermaßen aussagekräftig sein könnten. Allein schon an den negativen Werten für K_p lässt sich sehen, dass die Messwerte nicht stimmen können.

Der Versuchsaufbau sollte also verbessert werden, um aussagekräftigere und weniger fehlerbehaftete Werte zu erhalten.

Für den Fehler der Reaktionsenthalpie ΔH^0 könnten wieder maximale und minimale Ausgleichsgeraden eingezeichnet werden, dabei müsste diese $\ln(\Delta K_p)$ nach oben und nach unten reichen. Allerdings ist der Fehler ΔK_p so groß, dass dies nicht zu sinnvollen Werten führt.

Als weitere Möglichkeit lassen sich auch "von Hand", also nach Augenmaß, maximale und minimale Ausgleichsgeraden in das Diagramm der Auftragung nach van't Hoff einziehen. Dabei ergab sich die Geraden mit

$$\text{der maximalen und minimalen Steigung zu } (\ln K_p)_{\max} = -1700 \frac{\text{K}}{\text{T}} + 9,75 \text{ und } (\ln K_p)_{\min} = -3266,7 \frac{\text{K}}{\text{T}} + 14,433 .$$

Somit ergibt sich $\Delta m = 827,5 \text{K}$ und daraus $\Delta(\Delta H^0) = \Delta m \cdot R = 827,5 \text{K} \cdot 8,31441 \text{J}/(\text{K mol}) = 6,88 \text{kJ/mol}$.

Der Fehler der Gleichgewichtskonstanten $\Delta K_{p, T_1}$ lässt sich nach der Fehlerfortpflanzung ansetzen:

$$\begin{aligned} \Delta K_{p, T_1} &= \left| \left(\frac{\partial K_{p, T_1}}{\partial K_{p, T_2}} \right) \right| \Delta K_{p, T_2} + \left| \left(\frac{\partial K_{p, T_1}}{\partial (\Delta H)} \right) \right| \Delta(\Delta H) + \left| \left(\frac{\partial K_{p, T_1}}{\partial T_2} \right) \right| \Delta T_2 + \left| \left(\frac{\partial K_{p, T_1}}{\partial T_1} \right) \right| \Delta T_1 \\ &= e^{\frac{\Delta H^0}{R} \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right]} \Delta K_{p, T_2} + K_{p, T_2} \left[\frac{1}{RT_2} - \frac{1}{RT_1} \right] e^{\frac{\Delta H^0}{R} \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right]} \Delta(\Delta H) + K_{p, T_2} \frac{\Delta H^0}{R} \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right] \cdot \left(\frac{1}{T_1^2} \Delta T_1 - \frac{1}{T_2^2} \Delta T_2 \right) \end{aligned}$$

Allerdings ist Fehler von $\Delta K_{p, T_2}$ so groß, dass auch diese Berechnung zu keinen sinnvollen Werten führt.

Die riesigen Fehler erklären auch die Abweichung der Messwerte von den in Aufgabenteil 4) und 5) berechneten Werten (den "Knick"): im Rahmen dieser Fehler stimmen sie überein.

Offensichtlich ist, dass der Unterschied verhältnismäßig groß ist: der Messwert bei $T=294,15 \text{K}$ müsste relativ nah am berechneten Wert bei $T=293 \text{K}$ liegen, selbst wenn dort der Übergang von der Hoch- zur Tieftemperaturgeraden erfolgt. Mit einer verbesserten Apparatur könnten die Werte möglicherweise verbessert werden.

Anhang:

- Messwerte
- Tabellen

Homogenes Gasgleichgewicht

Messwerte

1 mBar = 0,001 Bar = 0,750 Torr

U[V]	p[mbar]	T[°C]	T[K]	(1/T)	p _{abs}	p ₀	K _p [mbar]	K _p [bar]	ln(K _p /bar)
1,3	-23	21	294,15	0,003399626	874,37	449,93	28265,48	28,27	3,3416411
2,5	-20,5	22	295,15	0,003388108	876,87	451,46	27785,40	27,79	3,3245108
3,0	-14	24	297,15	0,003365304	883,37	454,52	28656,42	28,66	3,3553777
3,5	-4	26,5	299,65	0,003337227	893,37	458,34	32461,91	32,46	3,4800673
4,0	5	28	301,15	0,003320604	902,37	460,64	41278,91	41,28	3,7203518
4,5	18	31	304,15	0,003287851	915,37	465,23	53727,23	53,73	3,98392
5,0	26,5	34	307,15	0,003255738	923,87	469,82	52315,12	52,32	3,9572853
6,0	45	39	312,15	0,003203588	942,37	477,46	68837,38	68,84	4,231747
7,0	64	44	317,15	0,003153082	961,37	485,11	102456,87	102,46	4,629442
8,0	92	51	324,15	0,003084992	989,37	495,82	429297,10	429,30	6,0621492
9,0	121	59	332,15	0,003010688	1018,37	508,06	-461589,79	-461,59	
10,0	156	70	343,15	0,002914177	1053,37	524,88	-309857,45	-309,86	
11,0	194	80	353,15	0,002831658	1091,37	540,18	-110341,60	-110,34	
12,0	228	92	365,15	0,002738601	1125,37	558,53	-154786,96	-154,79	
13,0	271	106	379,15	0,002637479	1168,37	579,95	-163430,52	-163,43	
14,0	313	120	393,15	0,002543558	1210,37	601,36	-194043,28	-194,04	
17,0	395	148	421,15	0,002374451	1292,37	644,19	-421408,62	-421,41	
19,0	478	177	450,15	0,002221482	1375,37	688,55	1091394,39	1091,39	6,9952114
21,0	573	209	482,15	0,002074043	1470,37	737,50	464694,64	464,69	6,1413805
23,0	668	239	512,15	0,001952553	1565,37	783,38	1748045,00	1748,05	7,4662533
25,0	771	271	544,15	0,001837729	1668,37	832,33	-754343,72	-754,34	

Fehlerrechnung (K_p)

Δp ₀	ΔK _p	rel. Fehler	ln(ΔK _p)
4,16	6156,12	21779,6%	8,73
4,17	5894,77	21215,3%	8,68
4,19	6071,30	21186,5%	8,71
4,21	7357,48	22665,0%	8,90
4,22	11190,05	27108,4%	9,32
4,25	17578,19	32717,5%	9,77
4,28	16099,64	30774,4%	9,69
4,32	25360,83	36841,6%	10,14
4,37	51012,03	49788,8%	10,84
4,43	776482,98	180873,1%	13,56
4,50	785427,18	170157,0%	13,57
4,60	307700,20	99303,8%	12,64
4,69	32979,53	29888,6%	10,40
4,80	58022,99	37485,7%	10,97
4,92	55702,73	34083,4%	10,93
5,05	68433,60	35267,2%	11,13
5,30	251521,29	59685,8%	12,44
5,56	1338233,81	122616,9%	14,11
5,84	187143,29	40272,3%	12,14
6,11	2042924,56	116869,1%	14,53
6,40	291197,37	38602,7%	12,58

Berechnung des Druckverlaufs (ideales Verhalten vorausgesetzt)

T [K]	K _p [bar]	p ₀	p _{abs}	K _p (vT-Gerade)	p _{abs} (vT-G.)
293,00	39,16	448,17	509,70	37,82	508,71
283,00	28,87	432,88	485,28	27,88	484,43
273,00	20,82	417,58	461,67	20,10	460,95
263,00	14,64	402,28	438,87	14,14	438,26
253,00	10,01	386,99	416,89	9,67	416,39

Berechnung des Druckverlaufs (Kondensation berücksichtigt)

T [K]	p(N ₂ O ₄) [mbar]	K _p [bar]	p(NO ₂)	p _{ges}	K _p (vT-G.)	p(NO ₂)	p _{ges}
200,0	0,64	0,71	0,67	1,32	0,68	11,70	12,35
210,0	1,91	1,29	1,57	3,49	1,25	16,20	18,12
220,0	5,16	2,24	3,40	8,56	2,16	21,80	26,96
230,0	12,76	3,69	6,86	19,62	3,56	28,62	41,38
240,0	29,27	5,83	13,06	42,33	5,63	36,75	66,02
250,0	62,83	8,88	23,62	86,45	8,58	46,30	109,13

Δp/mbar = 5

ΔT/K = 1

Fehlerrechnung (HT-Gerade)

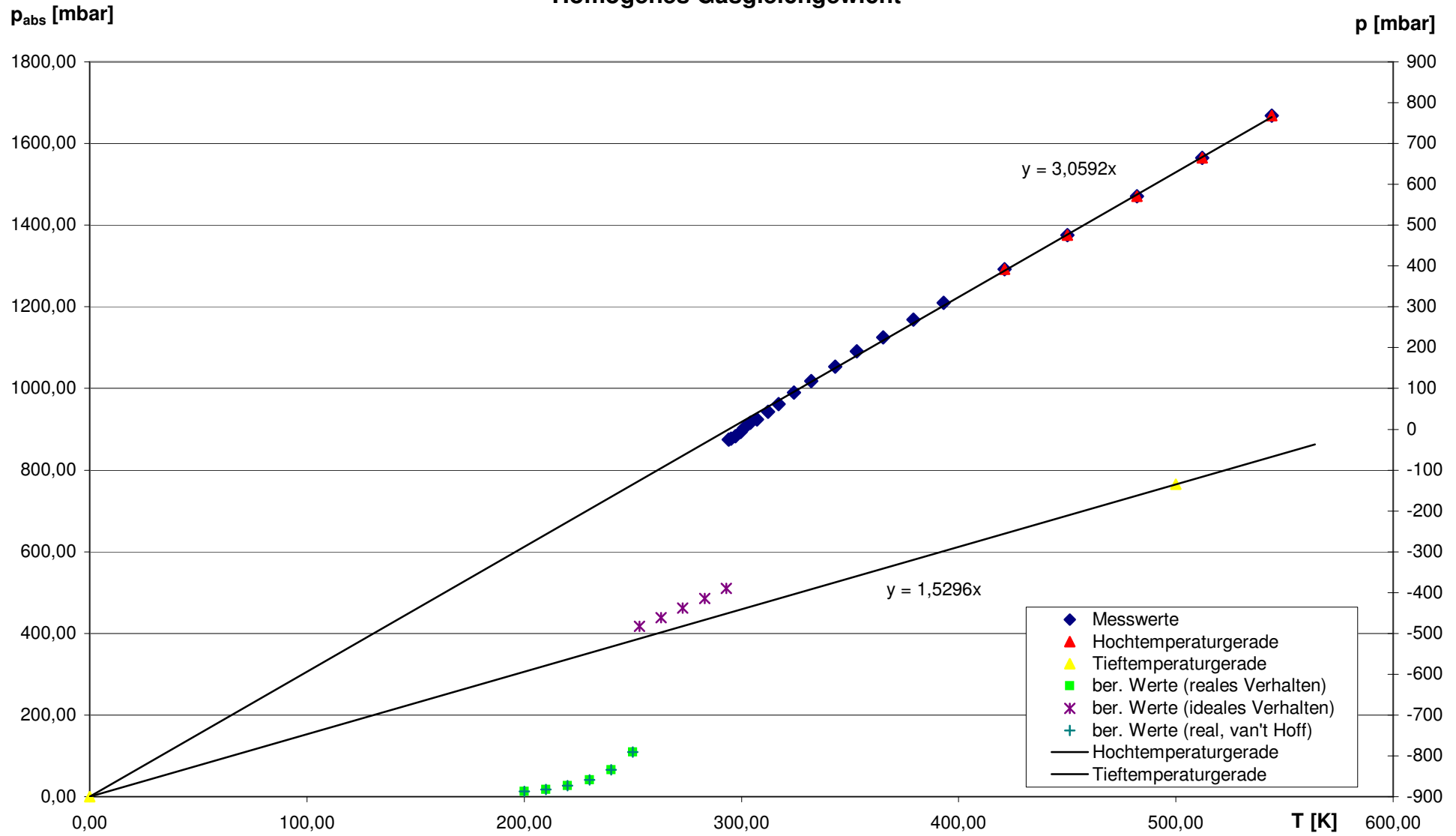
T	478	573	668	771
Δm	0,01789	0,01670	0,01573	0,01482
Δm/2	0,00895	0,00835	0,00787	0,00741

HT-Gerade:	p = 3,0592T - 897,37
TT-Gerade:	p = 1,5296T - 897,37

Punkte auf TT-Gerade:

T	0	500
p	-897,37	-132,57
p _{abs}	0	764,8
ΔH=	21,014	kJ/mol

Homogenes Gasgleichgewicht



ln K_p

van't Hoffsche Auftragung für K_p

