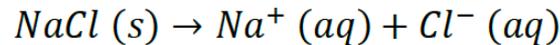


## Aufgabe 1: Phasengleichgewichte

90.0 g Kochsalz (Natriumchlorid,  $NaCl$ ,  $M = 58.44 \frac{g}{mol}$ ) werden bei  $0.00 \text{ }^\circ C$  in 20.0 kg flüssigem Wasser ( $H_2O$ ,  $M = 18.02 \frac{g}{mol}$ ) gelöst; das Volumen der Lösung beträgt 20.2 L.

- Berechnen Sie die **Osmolalität** ( $i \cdot b$ ) der Lösung.
- Ermitteln Sie den **Gefrierpunkt**  $T_f$  der Lösung.
- Berechnen Sie die **Osmolarität** ( $i \cdot c$ ) der Lösung.
- Ermitteln Sie den **osmotischen Druck**  $\Pi$  der Lösung.
- Berechnen Sie den Stoffmengenanteil (**Molenbruch**  $x$ ) der Lösemittels.
- Welchen **Dampfdruck**  $p^*$  besitzt die Lösung?

*Kochsalz dissoziiert in Wasser vollständig*



*und bildet mit Wasser eine ideale Lösung.*

*Reines Wasser gefriert bei  $0.00 \text{ }^\circ C$  und besitzt bei dieser Temperatur einen Dampfdruck von 610 Pa.*

## Aufgabe 1: Dampfdruck

Der Dampfdruck von flüssigem Wasser wird bei verschiedenen Temperaturen gemessen.

Temperatur $T$	Dampfdruck $p^*$
99.0 °C	97.7 kPa
92.0 °C	75.6 kPa

richtige Aussagen sind: (I) (II) (III) (IV) (V)

falsche Aussagen sind: (I) (II) (III) (IV) (V)

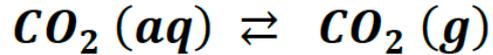
a) Sind folgende Aussagen **richtig** oder **falsch**?

- I Am Taupunkt ist der Partialdruck von Wasserdampf in der Luft größer als der Dampfdruck von flüssigem Wasser.
- II Am Taupunkt beträgt die relative Luftfeuchtigkeit immer 100 %.
- II Am Gefrierpunkt sind der Dampfdruck des flüssigen Wassers und der Dampfdruck des festen Wassers (Eis) gleich groß.
- IV Unterkühltes (metastabiles) Wasser bei  $-1^\circ\text{C}$  besitzt einen geringeren Dampfdruck als festes Wasser (Eis) bei  $-1^\circ\text{C}$ .

b) Berechnen Sie die **molare Verdampfungsenthalpie**  $\Delta_{vap}H^\circ$  von Wasser.

## Aufgabe 3: Desorption

In Wasser gelöstes Kohlendioxid kann desorbieren. Die Reaktion ist endotherm; die Gleichgewichtskonstante (Henry-Konstante) hat bei 10.0 °C einen Wert von 100 MPa.



Sind folgende Aussagen **richtig** oder **falsch**?

- I Der Vorgang der Desorption ist exochor und exotrop.*
- II Der Vorgang der Desorption ist exotherm und exergonisch.*
- III Der Vorgang der Desorption ist endotrop und endergonisch.*
- IV Bei Erhöhung der Temperatur nimmt die Henry-Konstante zu.*
- V Der Vorgang der Absorption (Umkehrung der Desorption) ist endochor und endotherm.*

## Aufgabe 4: Phasendiagramme

a) Sind folgende Aussagen **richtig** oder **falsch**?

I Bei idealen Mischungen sind die stetig fallend oder stetig steigend.

II Konoden in Schmelzdiagrammen sind immer Geraden.

III Die Gasphase besitzt bei idealen Mischungen immer eine unterschiedliche Zusammensetzung als die Flüssigphase.

IV Ein Azeotrop besitzt immer den niedrigst möglichen Siedepunkt einer Mischung.

V Gemenge zweier nicht-mischbaren Flüssigkeiten sieden immer bei einer niedrigeren Temperatur als die reinen Komponenten.

	ANTOINE-Gleichung
Propan $C_3H_8$	$\log\left(\frac{p}{\text{mbar}}\right) = 6.9546 - \frac{813.199\text{ °C}}{T + 247.990\text{ °C}}$
n-Butan $C_4H_{10}$	$\log\left(\frac{p}{\text{mbar}}\right) = 6.9339 - \frac{935.861\text{ °C}}{T + 238.730\text{ °C}}$
Wasser $H_2O$	$\log\left(\frac{p}{\text{mbar}}\right) = 8.19621 - \frac{1730.630\text{ °C}}{T + 233.426\text{ °C}}$

Propan ( $C_3H_8$ ) und Butan ( $C_4H_{10}$ ) bilden in Gasphase und Flüssigphase ideale Mischungen. Die Dampfdrücke der reinen Komponenten lassen sich mit Hilfe der ANTOINE-Gleichungen (siehe Anhang) berechnen.

b) Ermitteln Sie den **Siedepunkt** von Propan  $T_{vap,Propan}$  bei 200 kPa (2000 mbar).

c) Ermitteln Sie den **Siedepunkt** von Butan  $T_{vap,Butan}$  bei 200 kPa (2000 mbar).

d) Welche **Zusammensetzung**  $x_{Propan}$  hat eine flüssige Propan/Butan-Mischung, die bei 200 kPa (2000 mbar) eine Siedetemperatur von genau 0.00 °C besitzt?

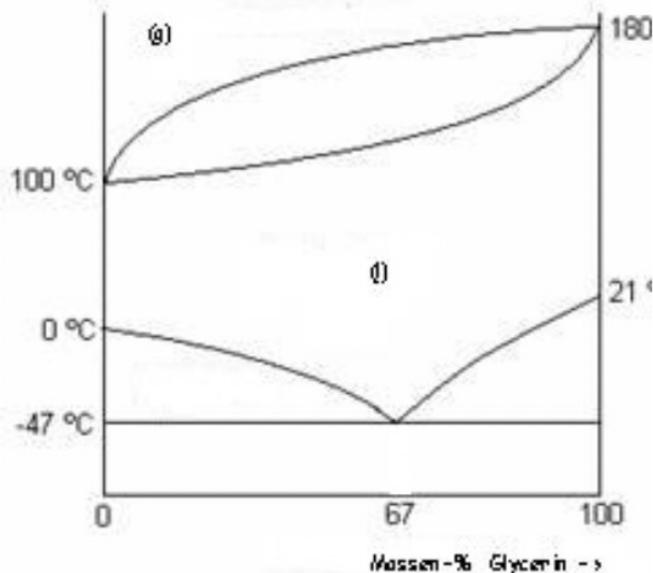
e) Welche **Zusammensetzung**  $y_{Propan}$  hat die Gasphase, welche mit dieser Mischung bei 0.00 °C im Gleichgewicht steht.

<i>richtige Aussagen sind:</i>	<b>(I)</b>	<b>(II)</b>	<b>(III)</b>	<b>(IV)</b>	<b>(V)</b>
<i>falsche Aussagen sind:</i>	<b>(I)</b>	<b>(II)</b>	<b>(III)</b>	<b>(IV)</b>	<b>(V)</b>
<i>Siedepunkt Propan:</i>					
<i>Siedepunkt Butan:</i>					
<i>Zusammensetzung Flüssigphase:</i>					
<i>Zusammensetzung Gasphase</i>					

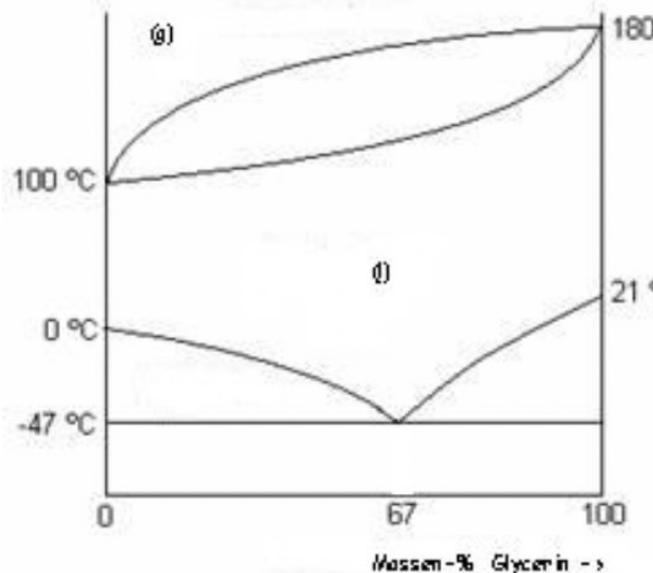
## Aufgabe 7: Phasendiagramme

Die Abbildungen zeigen das Phasendiagramm Wasser/Glycerin bei Standarddruck (100 kPa). Markieren Sie jeweils **eine(n)** der folgenden **Punkte/Linien/Flächen**:

Invarianter Punkt

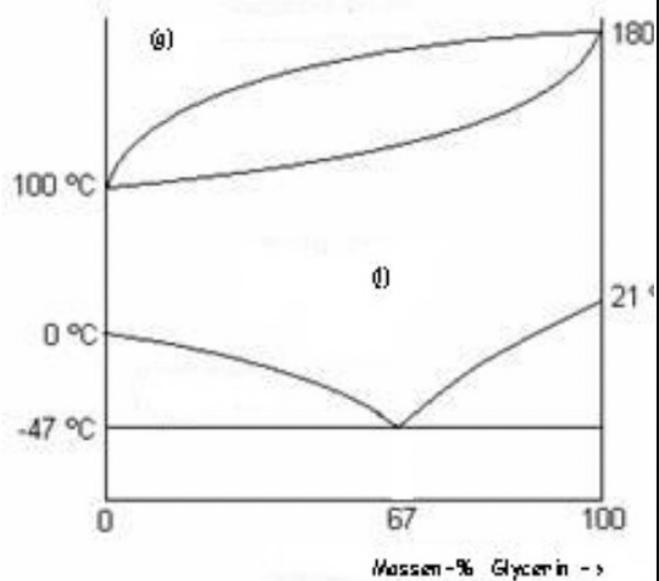


Taulinie

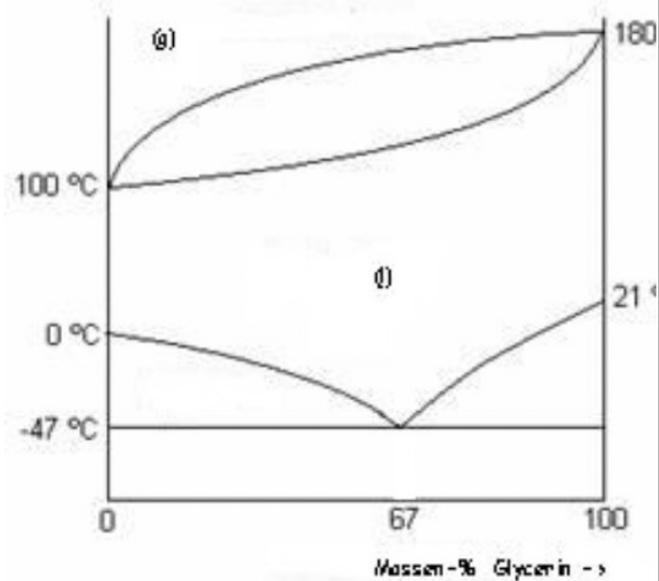




## Liquidus-Linie

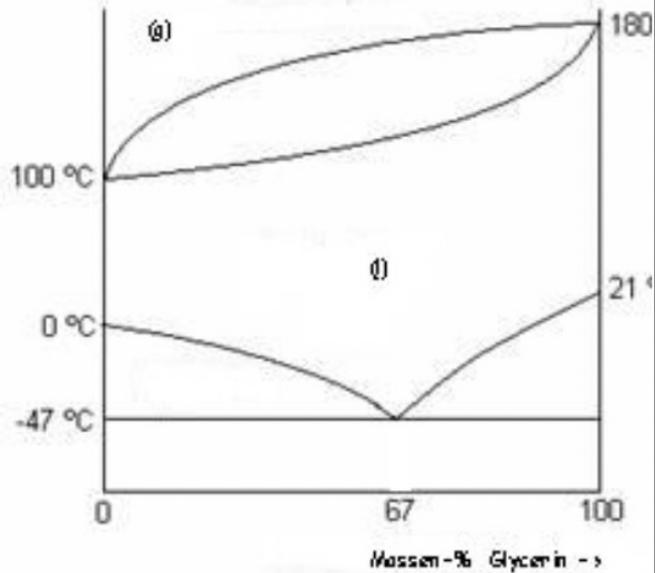


## Konode

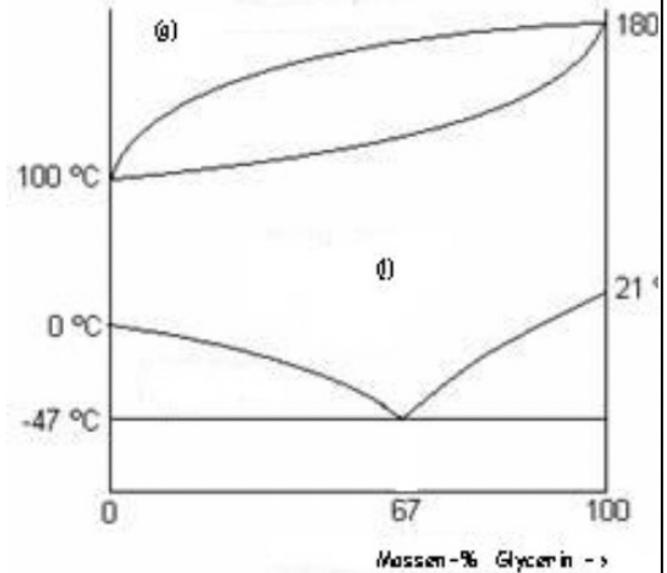




einphasiger Bereich: Glycerin (s)



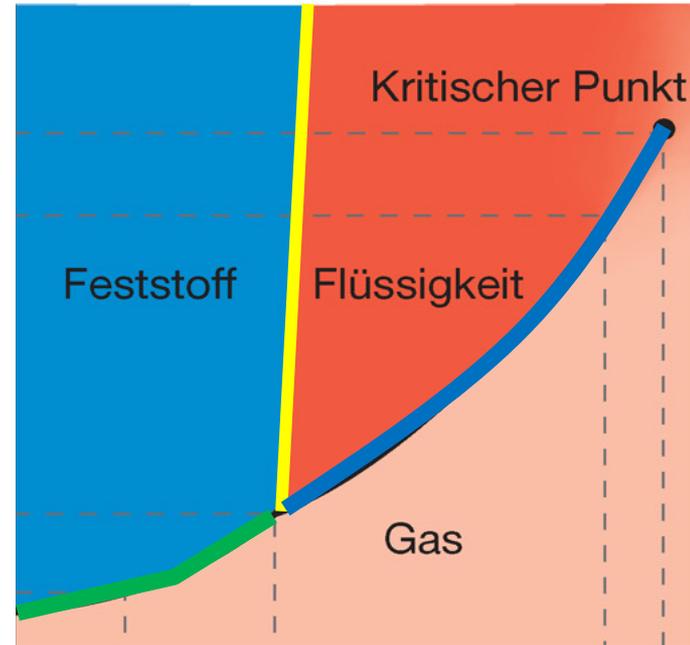
einphasiger Bereich: Wasser (s)



3 Punkte, davon erreicht:



**PCIII-2,3**  
**Wie stark ist die  
Fluchttendenz einer  
Komponente?**





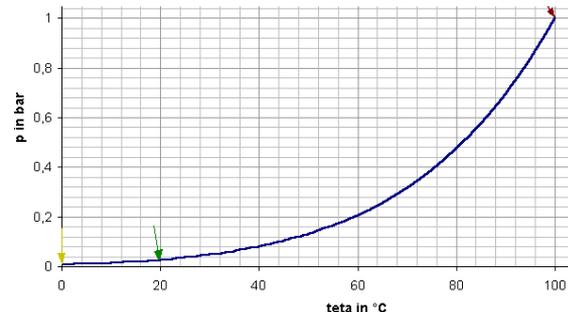
# Klausur- vorbereitung

**Wie hoch ist der  
Dampfdruck?**

$$\frac{dp^*}{dT} = \frac{\Delta_{vap}H}{T_{vap} \Delta_{vap}V}$$

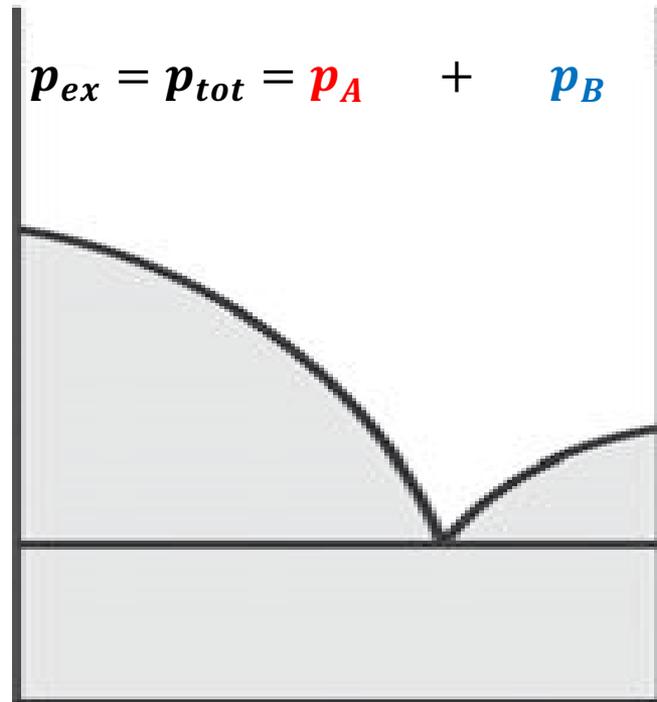
$$p_2^* = p_1^* \exp \left[ -\frac{\Delta_{vap}H}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \right]$$

$$\log p^* = A - \frac{B}{C + T}$$





Wie sieht Siedediagramme aus bei einer **Mischungslücke** in der Flüssigphase

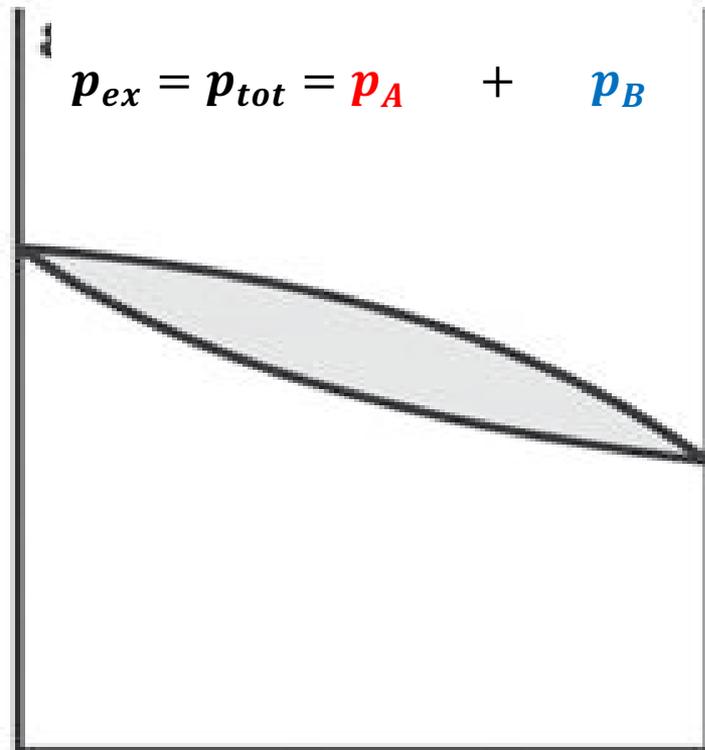


$$p_{tot} = p_A^* + p_B^* \quad y_A = \frac{p_A^*}{p_{tot}}$$

**#DALTONschesGesetz**



Wie sieht Siedediagramme aus bei **idealer Mischbarkeit** in der Flüssigphase



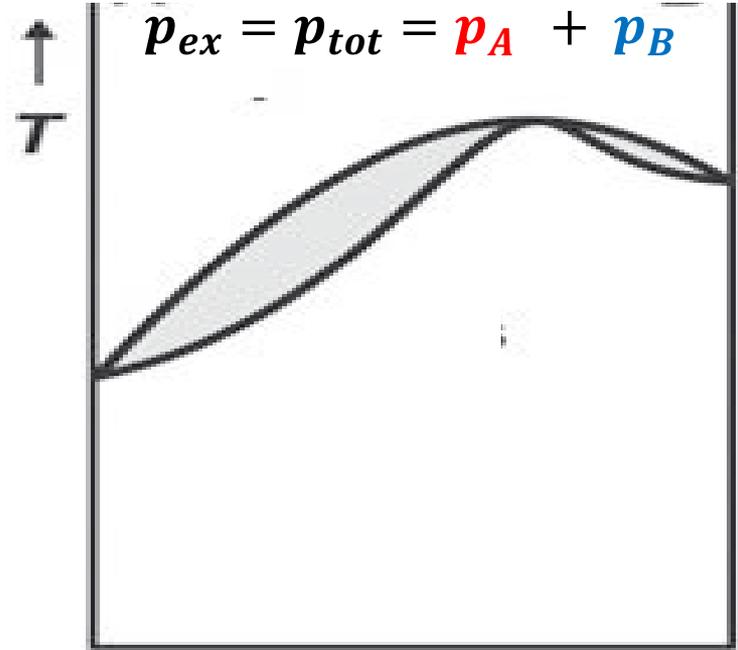
#DALTONschesGesetz

#RAOULTschesGesetz

$$p_{tot} = p_A^* \cdot x_A + p_B^* \cdot x_B \quad y_A = \frac{p_A^* \cdot x_A}{p_{tot}}$$



Wie sieht Siedediagramme aus bei nicht-idealer **Mischbarkeit** in der Flüssigphase



#Aktivitätskoeffizient

#DALTONschesGesetz

#RAOULTschesGesetz

$$p_{tot} = p_A^* \cdot x_A \cdot \gamma_A + p_B^* \cdot x_B \cdot \gamma_B$$

$$y_A = \frac{p_A^* \cdot x_A \cdot \gamma_A}{p_{tot}}$$



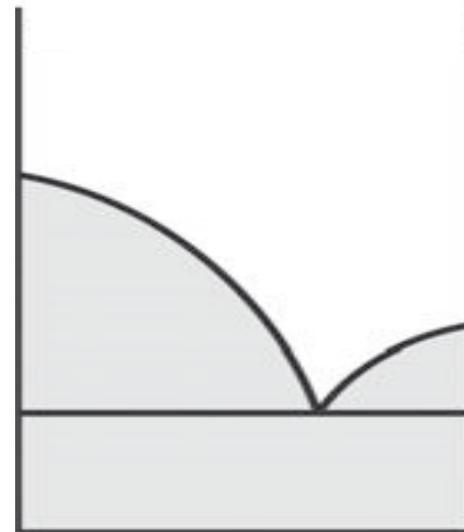
Wie berechnen wir ein Siedediagramm bei einer **Mischungslücke** in der Flüssigphase ?

(1) Siedetemperatur  
der reinen Komponenten

$$p_{tot} = p_A^* + p_B^* \quad p_{ex} = 100 \text{ kPa}$$

$T / ^\circ\text{C}$	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
$p / \text{kPa}$	30	36	44	52	61	70	85	99	115	132	152	174

$T / ^\circ\text{C}$	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
$p / \text{kPa}$	10	12	16	20	25	30	39	48	58	70	85	102



$$x_B = 1$$

$$x_A = 1$$



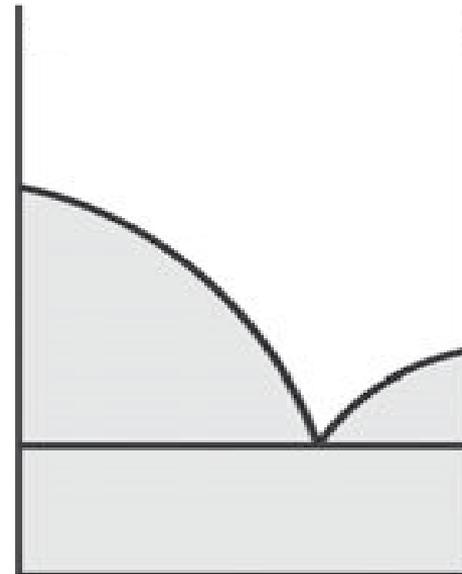
Wie berechnen wir ein Siedediagramm bei einer **Mischungslücke** in der Flüssigphase ?

(2) Siedetemperatur  
des Gemenges

$$p_{tot} = p_A^* + p_B^* \quad p_{ex} = 100 \text{ kPa}$$

$T / ^\circ\text{C}$	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
$p / \text{kPa}$	30	36	44	52	61	70	85	99	115	132	152	174

$T / ^\circ\text{C}$	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
$p / \text{kPa}$	10	12	16	20	25	30	39	48	58	70	85	102



$$x_A = 0.5$$



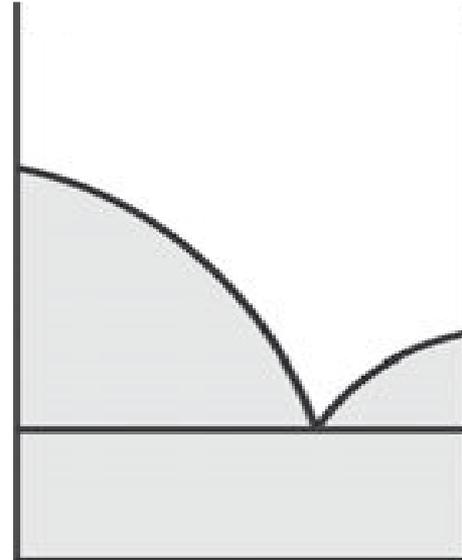
Wie berechnen wir ein Siedediagramm bei einer **Mischungslücke** in der Flüssigphase ?

(3) Gasphase über dem siedenden Gemenge

$$p_{tot} = p_A^* + p_B^* \quad p_{ex} = 100 \text{ kPa}$$

$T / ^\circ\text{C}$	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
$p / \text{kPa}$	30	36	44	52	61	70	85	99	115	132	152	174

$T / ^\circ\text{C}$	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
$p / \text{kPa}$	10	12	16	20	25	30	39	48	58	70	85	102



$$y_A = \frac{p_A^*}{p_{tot}}$$



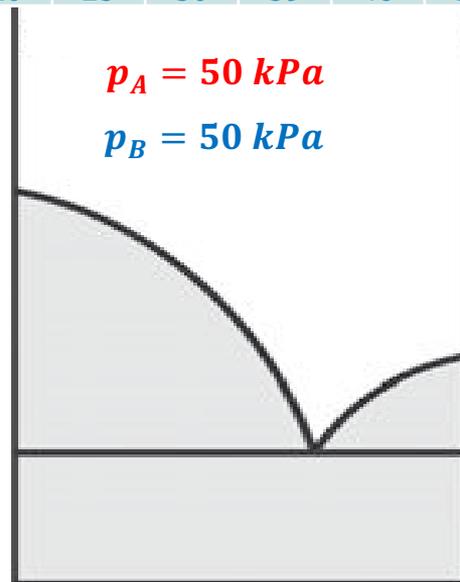
Wie berechnen wir ein Siedediagramm bei einer **Mischungslücke** in der Flüssigphase ?

(4) Kondensationstemperatur  
einer Gasmischung

$$p_{tot} = p_A^* + p_B^* \quad p_{ex} = 100 \text{ kPa}$$

$T / ^\circ\text{C}$	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
$p / \text{kPa}$	30	36	44	52	61	70	85	99	115	132	152	174

$T / ^\circ\text{C}$	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
$p / \text{kPa}$	10	12	16	20	25	30	39	48	58	70	85	102



$$y_A = 0.5$$

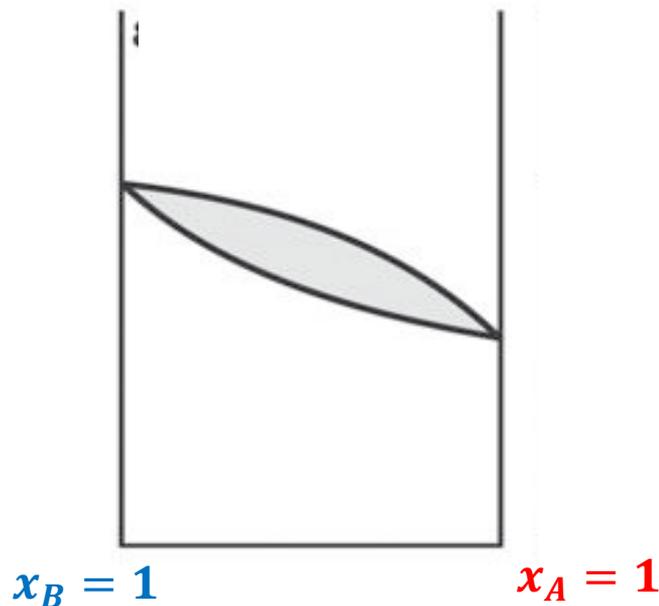
Wie berechnen wir ein Siedediagramm bei **idealer Mischbarkeit** der Flüssigphase ?

(1) Siedetemperatur  
der reinen Komponenten

$$p_{tot} = p_A^* \cdot x_A + p_B^* \cdot x_B \quad p_{ex} = 100 \text{ kPa}$$

$T / ^\circ\text{C}$	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98	100
$p / \text{kPa}$	60	72	78	85	92	100	108	120	125	135	146	157	168

$T / ^\circ\text{C}$	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98	100
$p / \text{kPa}$	40	50	54	58	63	68	73	80	85	91	98	105	113



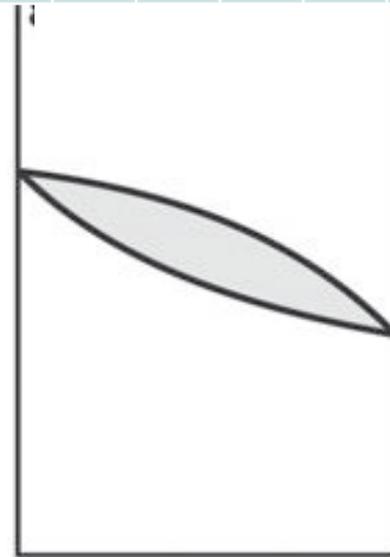
Wie berechnen wir ein Siedediagramm bei **idealer Mischbarkeit** der Flüssigphase ?

(2) Siedetemperatur  
einer Mischung

$$p_{tot} = p_A^* \cdot x_A + p_B^* \cdot x_B \quad p_{ex} = 100 \text{ kPa}$$

$T / ^\circ\text{C}$	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98	100
$p / \text{kPa}$	60	72	78	85	92	100	108	120	125	135	146	157	168

$T / ^\circ\text{C}$	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98	100
$p / \text{kPa}$	40	50	54	58	63	68	73	80	85	91	98	105	113



$$x_A = 0.5$$

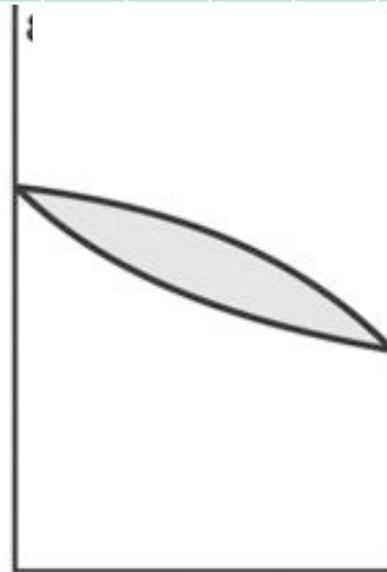
Wie berechnen wir ein Siedediagramm bei **idealer Mischbarkeit** der Flüssigphase ?

(3) Gasphase über  
der siedenden Mischung

$$p_{tot} = p_A^* \cdot x_A + p_B^* \cdot x_B \quad p_{ex} = 100 \text{ kPa}$$

$T / ^\circ\text{C}$	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98	100
$p / \text{kPa}$	60	72	78	85	92	100	108	120	125	135	146	157	168

$T / ^\circ\text{C}$	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98	100
$p / \text{kPa}$	40	50	54	58	63	68	73	80	85	91	98	105	113



$$y_A = \frac{p_A^*}{p_{tot}}$$

$$x_A = 0.5$$



In einem Behälter befinden sich bei 100°C und 1 bar 1 g Stickstoff (N<sub>2</sub>; M= 28.01 g/mol) und 1 g Wasser (H<sub>2</sub>O, M=18.02 g/mol). Das Wasser liegt bei diesen Bedingungen komplett gasförmig vor.

Die Gasmischung wird isobar abgekühlt.

Welchen **Partialdruck**  $p_{\text{H}_2\text{O}}$  hat der Wasserdampf?

Bei welcher **Temperatur**  $T_{\text{tau}}$  beginnt das Wasser zu kondensieren?

	ANTOINE-Gleichung
<i>Wasser</i> <i>H<sub>2</sub>O</i>	$\log\left(\frac{p}{\text{mbar}}\right) = 8.19621 - \frac{1730.630 \text{ }^\circ\text{C}}{T + 233.426 \text{ }^\circ\text{C}}$



Der Dampfdruck von Essigsäureethylester wird bei verschiedenen Temperaturen gemessen.

- a) Zeichnen Sie eine **Auftragung nach Clausius-Clapeyron**
- b) Ermitteln Sie die **molare Verdampfungsenthalpie  $\Delta_{vap} H$**  von Essigsäureethylester.

Temperatur	Dampfdruck
60 °C	55.79 kPa
65 °C	66.95 kPa



Aceton und Essigsäureethylester bilden in Gasphase und Flüssigphase ideale Mischungen. Die Dampfdrücke der reinen Komponenten lassen sich mit Hilfe der ANTOINE-Gleichungen (siehe Anhang) berechnen.

- Skizzieren Sie das **Siedediagramm** von Aceton/Ester bei einem Druck von 1 bar.
- Welche **Zusammensetzung**  $x_{Aceton}$  hat eine **flüssige** Aceton/Ester-Mischung, die bei einem Druck von 1 bar eine Siedetemperatur von 65°C besitzt?
- Welche **Zusammensetzung**  $y_{Aceton}$  hat die **Gasphase**, welche mit dieser Mischung bei 65°C im Gleichgewicht steht.

	ANTOINE-Gleichung
Aceton $C_3H_6O$	$\log\left(\frac{p}{\text{mbar}}\right) = 7.24204 - \frac{1210.595 \text{ }^\circ\text{C}}{T + 229.664 \text{ }^\circ\text{C}}$
Essigsäureethylester $C_4H_8O_2$	$\log\left(\frac{p}{\text{mbar}}\right) = 7.22669 - \frac{1244.951 \text{ }^\circ\text{C}}{T + 217.881 \text{ }^\circ\text{C}}$



Wasser und Stickstoff verhalten sich in der Gasphase wie ideale Gase und bilden eine ideale Mischung.

In einem Behälter 1 befindet sich 1 mol gasförmiges Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) bei  $125^\circ\text{C}$  und 1 bar.

In einem Behälter 2 befindet sich 1 mol gasförmiger Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) bei  $125^\circ\text{C}$  und 1 bar.

Beide Behälter werden verbunden und die Gase mischen sich.

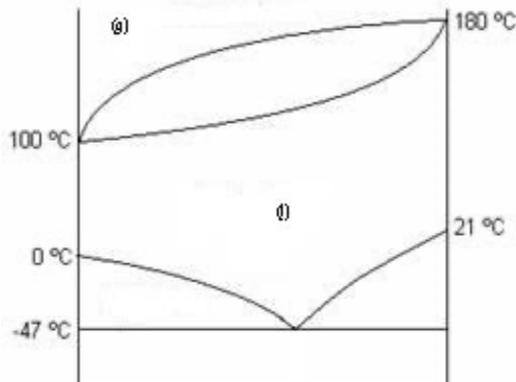
Markieren Sie die richtigen Aussagen (bitte **ankreuzen**)

- Die Dichte der Gasmischung ist größer als die Dichte des Gases in Behälter 2.
- Während des Mischens der Gase erhöht sich die Entropie des Systems.
- Während des Mischens der Gase erhöht sich die freie Enthalpie des Systems.
- Während des Mischens der Gase erhöht sich die Enthalpie des Systems.
- In der Mischung ist die mittlere Translations-Energie der Wassermoleküle größer als die mittlere Translations-Energie der Stickstoffmoleküle.
- In der Mischung ist die mittlere Geschwindigkeit der Wassermoleküle größer als die mittlere Geschwindigkeit der Stickstoffmoleküle.



Die Abbildung zeigt das Phasendiagramm des Systems Glycerin/Wasser bei 1 bar.

- a) Kennzeichnen Sie den gesamten Existenzbereich der **homogenen flüssigen Phase** im Diagramm (Farbe I).
- b) Kennzeichnen Sie den gesamten Existenzbereich des **reinen festen Glycerins** im Diagramm (Farbe II).



Markieren Sie die richtigen Aussagen (bitte **ankreuzen**)

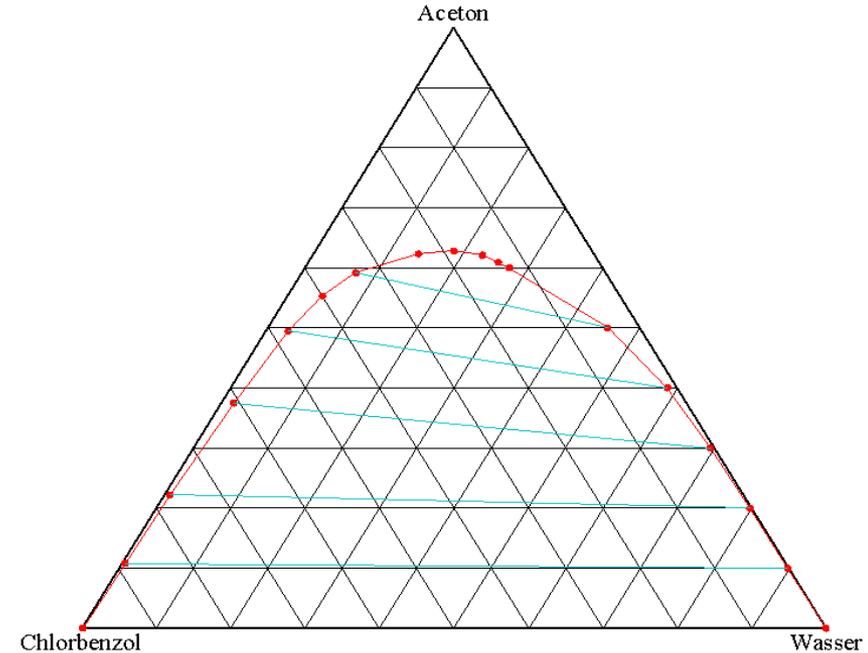
- Wasser und Glycerin haben im flüssigen Zustand eine Mischungslücke.
- Wasser und Glycerin haben im festen Zustand eine Mischungslücke.
- Eine Mischung mit  $x_{\text{Wasser}}=0.9$  besitzt eine niedrigere Gefriertemperatur als reines Wasser.
- Eine Mischung mit  $x_{\text{Wasser}}=0.9$  besitzt eine niedrigere Siedetemperatur als reines Wasser.
- Eine Mischung mit  $x_{\text{Glycerin}}=0.9$  besitzt eine niedrigere Gefriertemperatur als reines Glycerin.
- Eine Mischung mit  $x_{\text{Glycerin}}=0.9$  besitzt eine niedrigere Siedetemperatur als reines Glycerin.



Die Abbildung zeigt das GIBBSsche Dreiecksdiagramm des Systems Chlorbenzol/Wasser/Aceton (alle Angaben in Mol-%).

a) 2 mol Chlorbenzol, 12 mol Aceton und 6 mol Wasser werden gemischt.  
Ermitteln Sie die **Zusammensetzungen** aller vorliegenden Phasen

b) 2 mol Chlorbenzol, 2 mol Aceton und 16 mol Wasser werden gemischt.  
Ermitteln Sie die **Zusammensetzungen** aller vorliegenden Phasen





1 Liter Acetylen (Ethin;  $C_2H_2$ ) wird bei 1 bar und  $150\text{ }^\circ\text{C}$  stöchiometrisch mit trockener Luft (20 %  $O_2$ , 80 %  $N_2$ ) verbrannt.

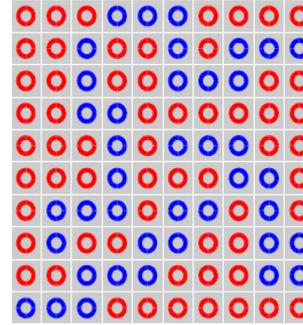
Bei welcher **Temperatur  $T_{\text{dew}}$**  des Abgases kondensiert das darin enthaltene Wasser ?

Reaktand	Bildungsenthalpie $H_f^\circ$	Normalentropie $S^\circ$
$O_2$ (g)	0 kJ/mol	205,0 J/(mol·K)
$N_2$ (g)	0 kJ/mol	191,5 J/(mol·K)
$CO_2$ (g)	- 393,77 kJ/mol	213,86 J/(mol·K)
$C_2H_2$ (g)	+ 226,7 kJ/mol	200,8 J/(mol·K)
$H_2O$ (g)	- 241,83 kJ/mol	188,72 J/(mol·K)

$\vartheta$	20 °C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C	90°C	100°C	110°C	120°C
$p^0$ / mbar	23,4	43,2	70,0	123,3	199,2	311,5	473,6	701,1	1013,2	1432,6	1985,4



# Wie gut vertragen sich die Komponenten A und B?



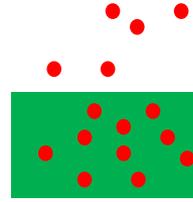
$$\Delta_{mix}V = 0$$

$$\Delta_{mix}H = 0$$

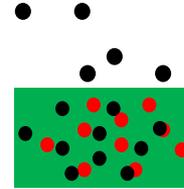
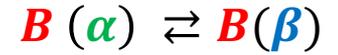
$$\Delta_{mix}H = RT \chi x_A x_B$$

$$\Delta_{mix}S = -R (x_A \ln(x_A) + x_B \ln(x_B))$$

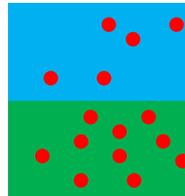
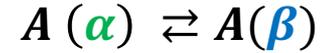
# Wie ist die Komponente B zwischen zwei Phasen verteilt?



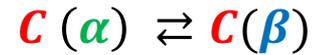
$$\frac{p_B}{x_B} = K_H$$



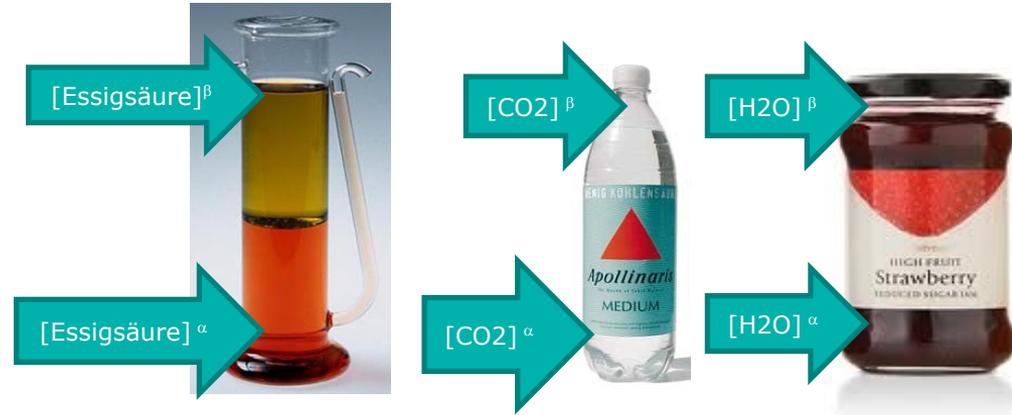
$$\frac{p_A}{x_A} = p_A^*$$



$$\frac{c_C^E}{c_C^R} = K_N$$



# Wie ist die Komponente B zwischen zwei Phasen verteilt?

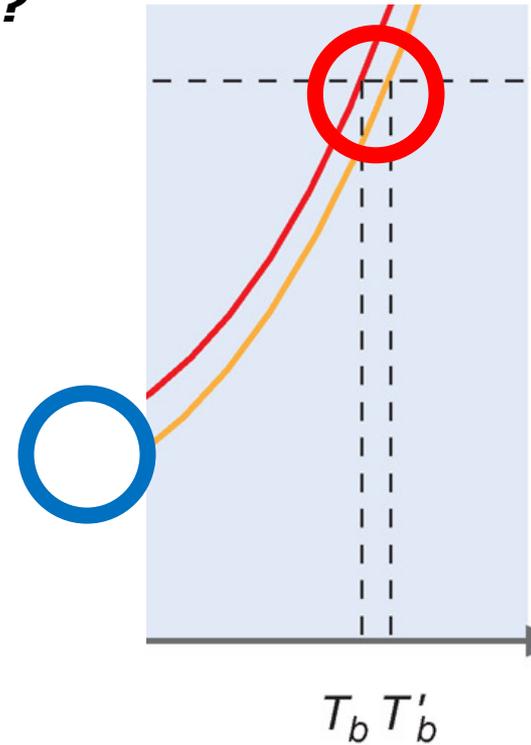


$$\frac{c_C^E}{c_C^R} = K_N$$

$$\frac{p_B}{x_B} = K_H$$

$$\frac{p_A}{x_A} = p_A^*$$

# Wann siedet und gefriert eine Lösung?



$$\Delta p_A = x_B \cdot p_A^*$$

$$\Delta T_{vap} = k_{eb} b_B i$$

$$\Delta T_{fus} = -k_{kr} b_B i$$



Aus 120 g Harnstoff ( $\text{O}=\text{C}(\text{NH}_2)_2$ ;  $M = 60$  g/mol ) und 1000 g Wasser werden bei  $25^\circ\text{C}$  1,10 Liter Lösung hergestellt.

Berechnen Sie den **Gefrierpunkt**  $T_E$  der Harnstoff-Lösung .

Berechnen Sie den **osmotischen Druck**  $\Pi$  einer Kochsalz-Lösung, welche zu dieser Harnstoff-Lösung isotonisch ist.

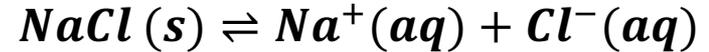
*Die kryoskopische Konstante von Wasser beträgt  $1,86 \text{ K kg/mol}$ .*

*Harnstoff dissoziiert in Wasser nicht ( $i=1$ ) ; Kochsalz dissoziiert in Wasser vollständig ( $i=2$ ).*



Wie viel **Gramm Kochsalz** (NaCl) müssen in 1 kg Wasser gelöst werden, um den Siedepunkt von 100°C auf 105 °C zu erhöhen?

Kochsalz dissoziiert in Wasser vollständig in Natriumionen und Chloridionen

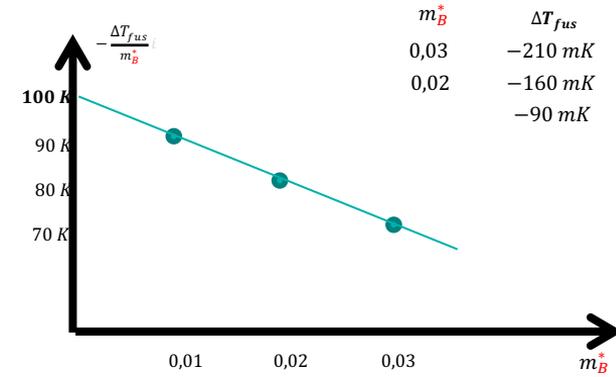
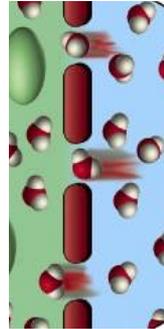


$$\Delta T = -b_{\text{NaCl}} \cdot i \cdot k_{kr}$$
$$b_{\text{NaCl}} = \frac{\Delta T}{k_{kr} \cdot i} = \frac{5}{0.513 \cdot 2} = 4.87 \frac{\text{mol}}{\text{kg}}$$
$$m = 4.87 \frac{\text{mol}}{\text{kg}} \cdot 58.44 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 285 \text{ g}$$



# Welcher osmotische Druck herrscht in einer Lösung?

$$\Pi = c_B R T i$$



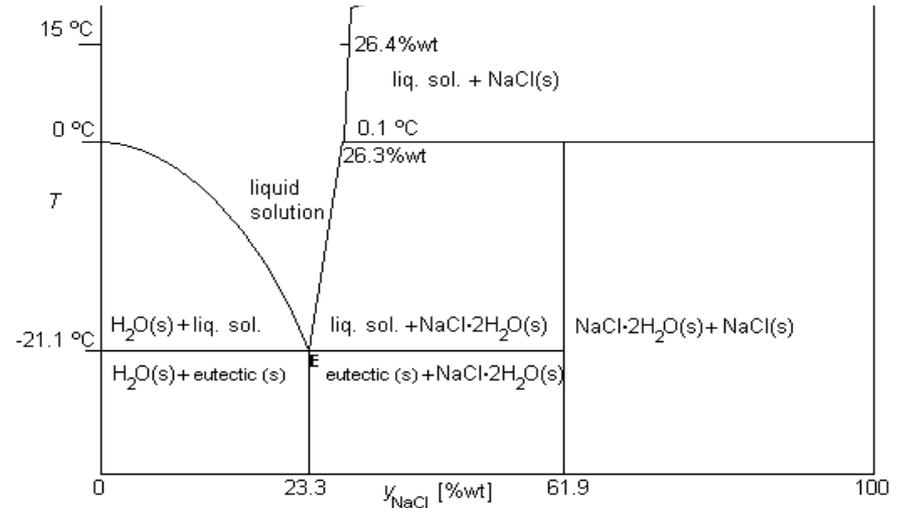


20 g eines Polymers werden bei 35 °C in Toluol (ideale Lösung) zu einer Lösung von 1 Liter aufgelöst.

Die Lösung zeigt einen osmotischen Druck von 2,73 mbar. Berechnen Sie die (mittlere) **Molmasse**  $\langle M \rangle$  des Polymers



# Wie lesen wir Phasendiagramme?





Zeichnen Sie das **Phasendiagramm des Systems Natrium/Kalium**, markieren Sie die **homogenen Bereiche**, die **Liquidus-** und **Soliduslinie** sowie die **invarianten Punkte**.

Natrium schmilzt bei  $98\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; reines Kalium schmilzt bei  $63\text{ }^{\circ}\text{C}$

Natrium und Kalium sind im flüssigen Zustand unbegrenzt mischbar.

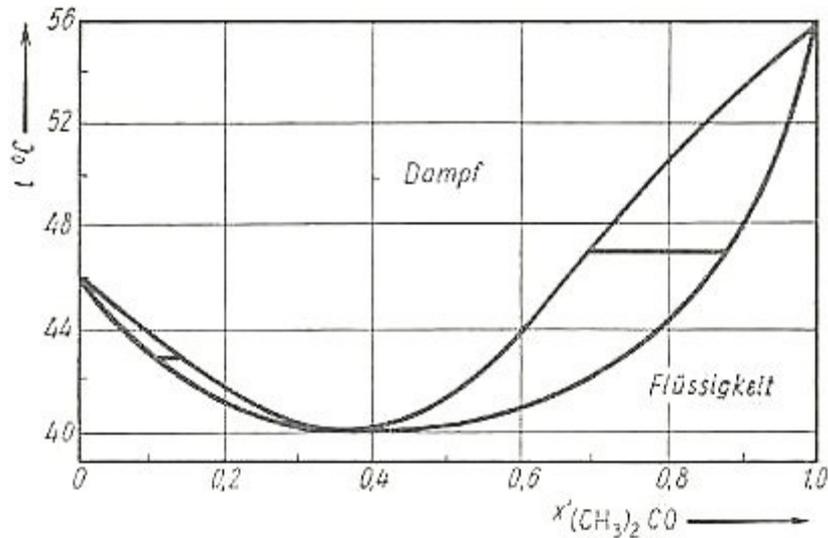
Im festen Zustand sind Natrium und Kalium nicht mischbar.

Natrium und Kalium bilden eine stöchiometrische Verbindung, welche bei  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$  in festes Natrium und eine Schmelze mit  $60\%$  Natriumgehalt zerfällt.

Eine Schmelze mit  $33,3\%$  Natrium besitzt mit  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  den tiefsten Erstarrungspunkt aller Natrium/Kalium-Schmelzen.



# Wie lesen wir Phasendiagramme?



Reines  $\text{CS}_2$  hat bei einem Druck von 1 bar einen Siedepunkt von  $46^\circ\text{C}$

Das System  $(\text{CH}_3)_2\text{CO} / \text{CS}_2$  zeigt eine positive Abweichung vom Raoult'schen Gesetz.

Im Gleichgewicht enthält die Gasphase über einer siedenden Flüssigkeit stets mehr Aceton als die Flüssigphase

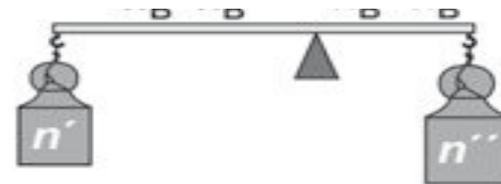
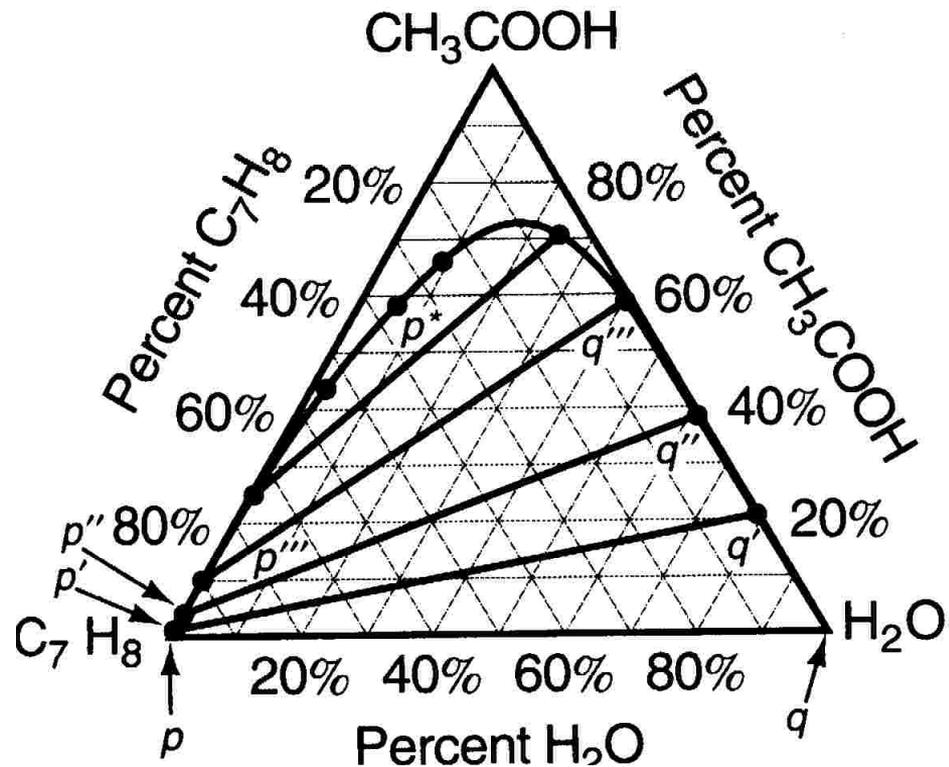
Eine Mischung aus  $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$  und  $\text{CS}_2$  lässt sich durch Destillation nicht in die reinen Komponenten auftrennen.

Das Azeotrop aus  $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$  und  $\text{CS}_2$  besitzt einen konstanten Siedepunkt.

Eine Mischung aus 3 mol  $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$  und 4 mol  $\text{CS}_2$  ist bei  $45^\circ\text{C}$  gasförmig

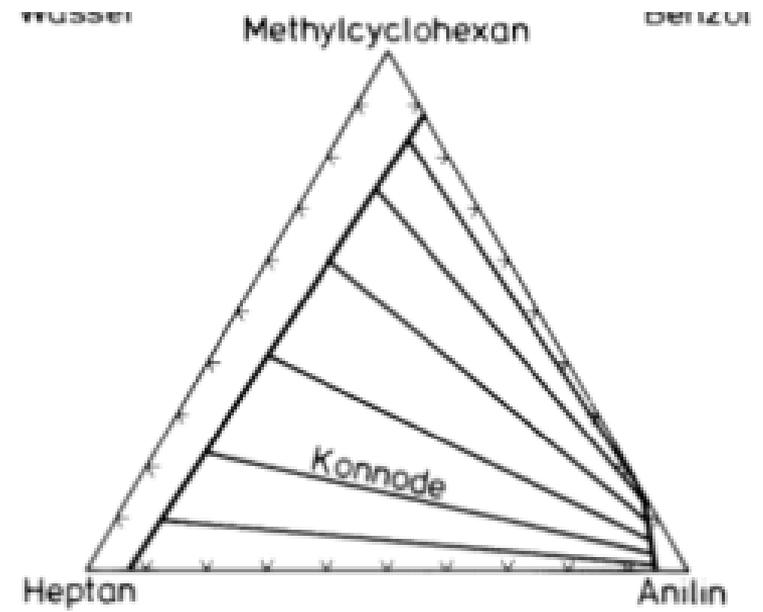


# Wie lesen wir das Gibbs'sche Dreiecksdiagramm?





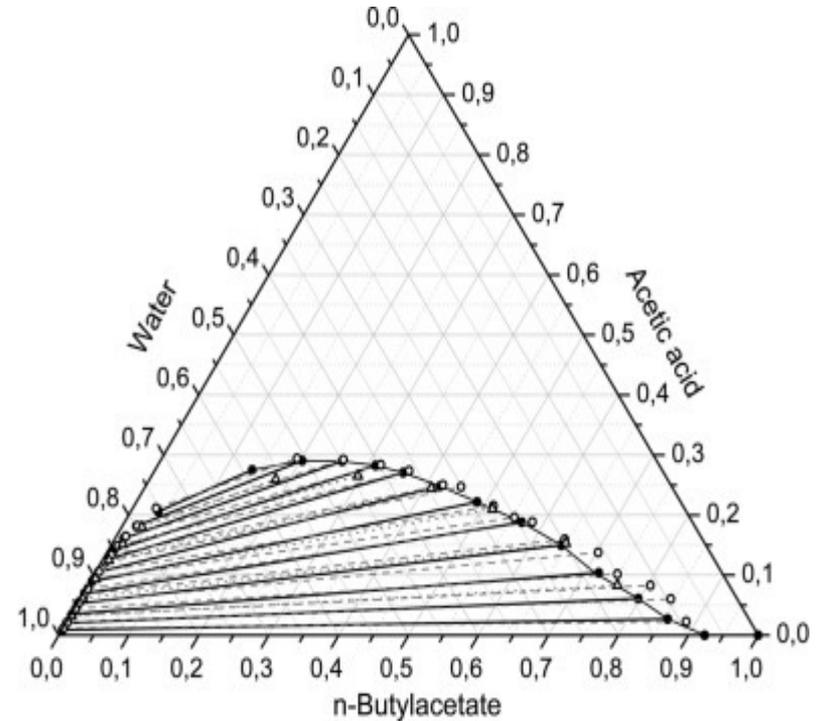
8 kg Heptan und 4 kg Methylcyclohexan werden gemischt. Zu dieser homogenen Mischung werden 5 kg Anilin gegeben. Ermitteln Sie die **Zusammensetzung der entstehenden Phasen**. (Skizze im Diagramm)





Wasser (A) / Butylacetat (B) / Essigsäure (C)

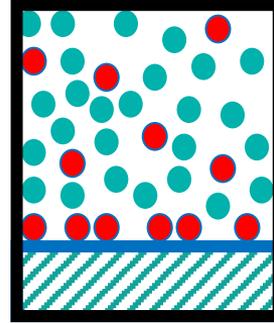
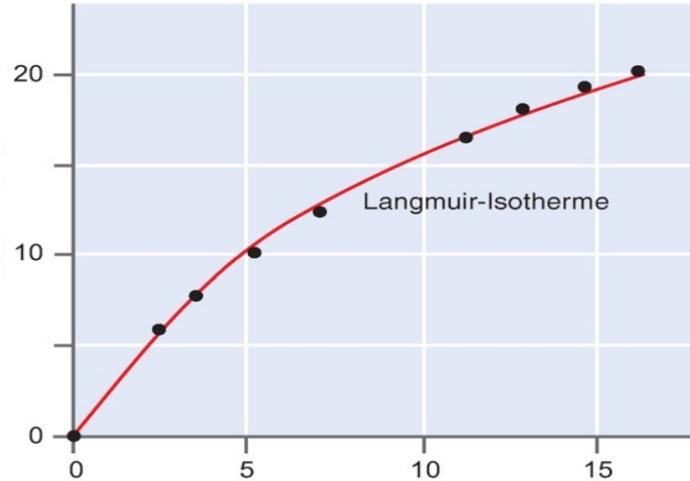
4 mol Essigsäure werden mit 4 mol Butylacetat gemischt. Anschließend werden 12 mol Wasser hinzugegeben.



60 % W, 20 % A, 20 % M

# Wie beschreiben wir die Adsorption?

$$a = a_{\infty} \frac{[A]}{K_L + [A]}$$



$$\frac{1}{a} = \frac{1}{a_{\infty}} + \frac{K_L}{a_{\infty}} \frac{1}{[A]}$$

$$A_{\text{spez}} = a_{\infty} N_A A_{\text{Adsorbateilchen}}$$

# Musterklausur

## Aufgabe 2: Mischphasen-Thermodynamik

Ethanol und Methanol bilden ideale Mischungen. In der Gasphase verhalten sich die beiden Stoffe wie ideale Gase.

In einem Behälter 1 befinden sich 1 mol gasförmiges Ethanol bei  $100^{\circ}\text{C}$  und 1 bar.

In einem Behälter 2 befinden sich 1 mol gasförmiges Methanol bei  $100^{\circ}\text{C}$  und 1 bar.

Beide Behälter werden verbunden und die Gase mischen sich.

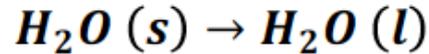
- Berechnen Sie die **Dichte**  $\rho$  der Mischung.
- Ist der Prozess **endotherm** oder **exotherm** (bitte ankreuzen)?
- Ist der Prozess **endotrop** oder **exotrop** (bitte ankreuzen)?
- Ist der Prozess **endergonisch** oder **exergonisch** (bitte ankreuzen)?

# Musterklausur

## Aufgabe 3: Phasendiagramm eines Einkomponentensystems

Bei 1 bar und 273.15 K schmilzt festes Eis vollständig zu flüssigem Wasser

(*Daten von Wasser und Eis siehe Anhang*)):



Der Prozess ist endotherm mit einer molaren Enthalpieänderung von  $+6.0 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$ .

- Berechnen Sie die **molare Entropieänderung**  $\Delta_{fus}S$  bei diesem Prozess.
- Berechnen Sie die **molare Volumenänderung**  $\Delta_{fus}V$  bei diesem Prozess
- Berechnen Sie den **Schmelzpunkt**  $T'_{fus}$  von Eis bei einem Druck von 10 MPa.



# Musterklausur

## Aufgabe 4: Berechnung eines idealen Zweikomponentensystems

Ethanol und Methanol bilden in Gasphase und Flüssigphase ideale Mischungen. Die Dampfdrücke der reinen Komponenten lassen sich mit Hilfe der ANTOINE-Gleichungen (siehe Anhang) berechnen.

- Bei welcher **Temperatur**  $T_{cond}^{\circ}(\text{Ethanol})$  kondensiert reines gasförmiges Ethanol bei Standarddruck?
- Bei welcher **Temperatur**  $T_{cond}^{\circ}(\text{Methanol})$  kondensiert reines gasförmiges Methanol bei Standarddruck?
- Welche **Zusammensetzung**  $x_{\text{Ethanol}}$  hat eine flüssige Ethanol/Methanol-Mischung, die bei Standarddruck eine Siedetemperatur von  $70^{\circ}\text{C}$  besitzt?
- Welche **Zusammensetzung**  $y_{\text{Ethanol}}$  hat die Gasphase, welche mit dieser Mischung bei  $70^{\circ}\text{C}$  im Gleichgewicht steht.
- Skizzieren Sie das **Siedediagramm** von Methanol/Ethanol bei Standarddruck



# Musterklausur

## Aufgabe 5: kolligative Eigenschaften

Reines Wasser besitzt einen Gefrierpunkt von  $0.00\text{ °C}$ ; eine Limonade (= Lösung von Saccharose in Wasser) gefriert erst bei  $-1.00\text{ °C}$ .

- Berechnen Sie die **Osmolalität** der Saccharose in der Limonade?
- Ermitteln Sie den **osmotischen Druck  $\Pi$**  der Limonade bei  $37\text{ °C}$ .

*Saccharose dissoziiert in Wasser nicht und bildet eine ideale Lösung.*

*Für die Rechnung (Stoffdaten siehe Anhang) kann die Osmolalität der Lösung gleich ihrer Osmolarität gesetzt werden.*

# Musterklausur

## Aufgabe 6: Phasendiagramm eines 3K Systems

Nachfolgende Abbildung zeigt das Gibbssche Dreiecksdiagramm des Systems Heptan ( $C_7H_{16}$ ) / Anilin ( $C_6H_5-NH_2$ ) / Methylcyclohexan ( $C_6H_{11}-CH_3$ ) bei  $25^\circ C$  und  $100\text{ kPa}$ .

Die Skalierung des Diagramms erfolgte in Massen-%; Im zweiphasigen Bereich (Bereich zwischen den Binodalen) sind einige Konnoden gezeichnet.

25 kg Heptan und 25 kg Methylcyclohexan werden gemischt. Zu dieser homogenen Mischung werden 25 kg Anilin gegeben.

Ermitteln Sie die **Zusammensetzung der entstehenden Phasen**. (Skizze im Diagramm)



# Musterklausur

TRUSSET

Methylcyclohexan

DEHICUI

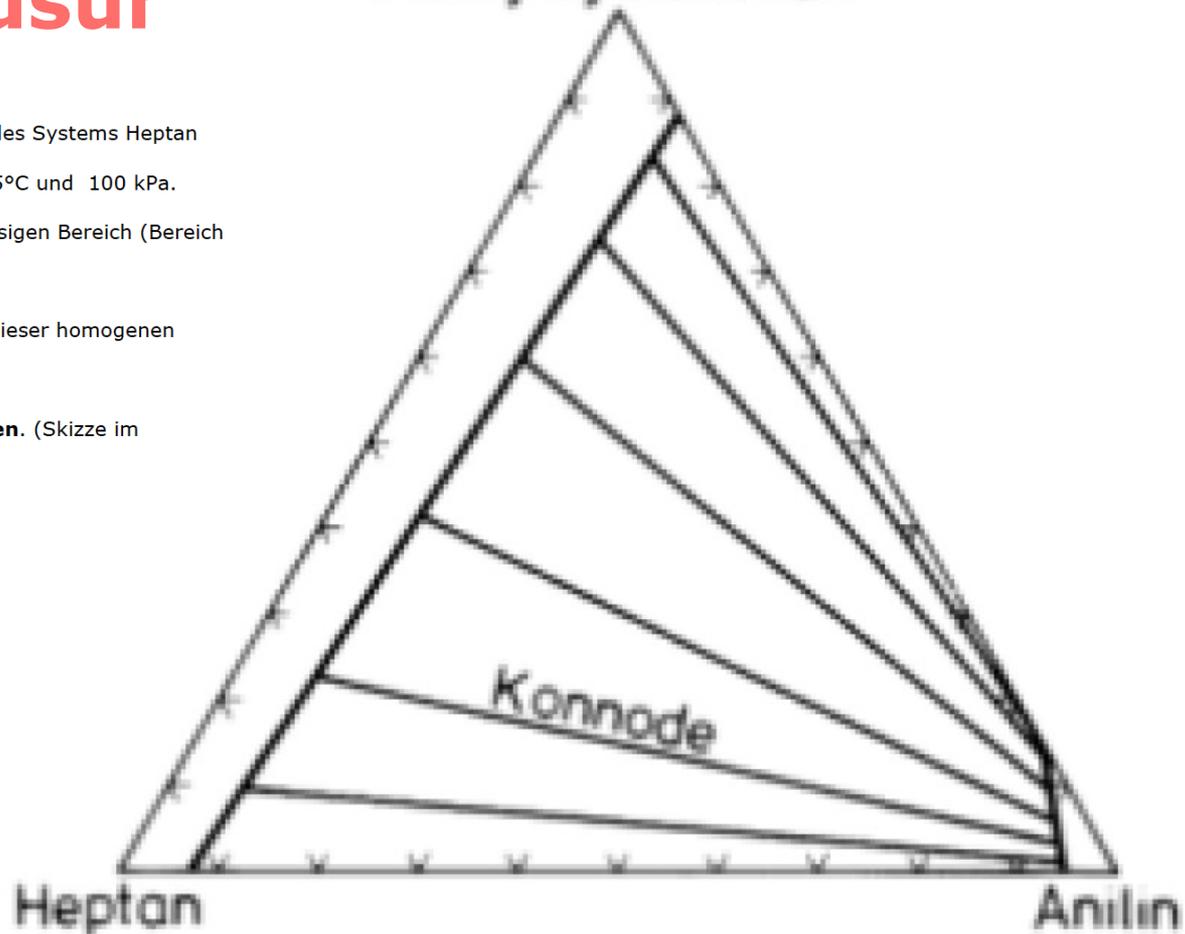
## Aufgabe 6: Phasendiagramm eines 3K Systems

Nachfolgende Abbildung zeigt das Gibbs'sche Dreiecksdiagramm des Systems Heptan ( $C_7H_{16}$ ) / Anilin ( $C_6H_5-NH_2$ ) / Methylcyclohexan ( $C_6H_{11}-CH_3$ ) bei  $25^\circ C$  und  $100\text{ kPa}$ .

Die Skalierung des Diagramms erfolgte in Massen-%; Im zweiphasigen Bereich (Bereich zwischen den Binodalen) sind einige Konnoden gezeichnet.

25 kg Heptan und 25 kg Methylcyclohexan werden gemischt. Zu dieser homogenen Mischung werden 25 kg Anilin gegeben.

Ermitteln Sie die **Zusammensetzung der entstehenden Phasen**. (Skizze im Diagramm)



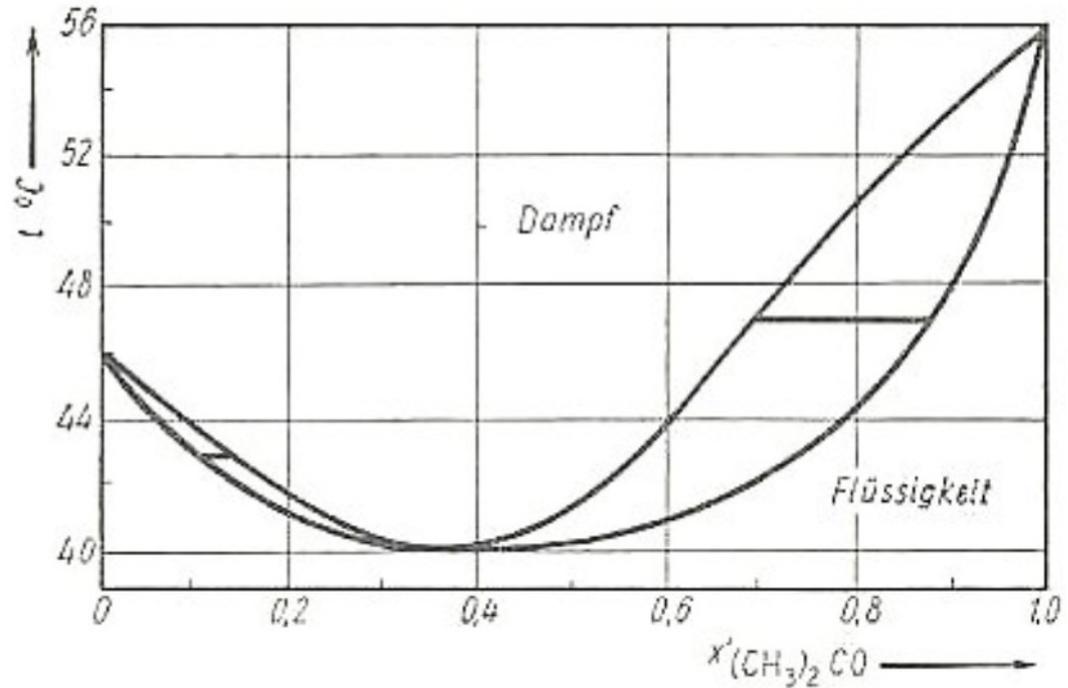


## Aufgabe 7: Phasendiagramm eines 2K Systems

Aceton (  $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$  ) und Schwefelkohlenstoff (  $\text{CS}_2$  ) sind in der flüssigen Phase unbegrenzt mischbar (keine Mischungslücke).

Das System zeigt bei einem Druck von 1 bar folgendes Siedediagramm

(t: Temperatur in  $^\circ\text{C}$  /  $x'$ : Stoffmengenanteil von Aceton)



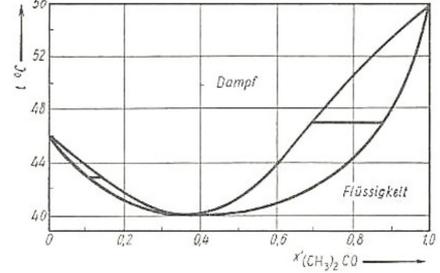
# Musterklausur

Kennzeichnen Sie folgende Aussagen als richtig oder falsch  
(alle Aussagen beziehen sich auf einen Druck von 100 kPa)

	richtig	falsch
Reines $\text{CS}_2$ hat bei einem Druck von 1 bar einen Siedepunkt von 56 $^\circ\text{C}$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$ / $\text{CS}_2$ zeigt eine negative Abweichung vom Raoult'schen Gesetz.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Im Gleichgewicht enthält die Gasphase über einer siedenden Flüssigkeit stets mehr $\text{CS}_2$ als die Flüssigphase	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eine Mischung aus $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$ und $\text{CS}_2$ lässt sich durch Destillation nicht in die reinen Komponenten auftrennen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Azeotrop aus $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$ und $\text{CS}_2$ besitzt keinen konstanten Siedepunkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eine Mischung aus 3 mol $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$ und 3 mol $\text{CS}_2$ ist bei 45 $^\circ\text{C}$ gasförmig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3 Punkte, davon erreicht:

# Musterklausur



Kennzeichnen Sie folgende Aussagen als richtig oder falsch  
(alle Aussagen beziehen sich auf einen Druck von 100 kPa)

	richtig	falsch
Reines CS <sub>2</sub> hat bei einem Druck von 1 bar einen Siedepunkt von 56 °C		
Das System (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO / CS <sub>2</sub> zeigt eine negative Abweichung vom Raoult'schen Gesetz.		
Im Gleichgewicht enthält die Gasphase über einer siedenden Flüssigkeit stets mehr CS <sub>2</sub> als die Flüssigphase		
Eine Mischung aus (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO und CS <sub>2</sub> läßt sich durch Destillation nicht in die reinen Komponenten auftrennen.		
Das Azeotrop aus (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO und CS <sub>2</sub> besitzt keinen konstanten Siedepunkt		
Eine Mischung aus 3 mol (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO und 3 mol CS <sub>2</sub> ist bei 45 °C gasförmig		

## Aufgabe 8: Schmelzdiagramm

**Aluminium (Al)** und **Calcium (Ca)** bilden zwei feste stöchiometrische Verbindungen  **$\text{Al}_4\text{Ca}$**  und  **$\text{Al}_2\text{Ca}$** .

**$\text{Al}_2\text{Ca}$**  schmilzt kongruent bei 1 350 K;  **$\text{Al}_4\text{Ca}$**  schmilzt inkongruent bei 960 K.

Mischkristalle zwischen den Komponenten und den stöchiometrischen Verbindungen existieren nicht.

Die Abbildung zeigt das Phasendiagramm des System Al/Ca im Bereich von 300 K bis 1400 K. Auf der Abszisse („x-Achse“) ist der Stoffmengenanteil an Calcium angegeben.

- Markieren und bezeichnen Sie die **invarianten Punkte** im Diagramm.
- Formulieren Sie die **peritektische Reaktion**, an der  $\text{Al}_2\text{Ca}$  beteiligt ist.
- Formulieren Sie die **eutektische Reaktion**, an der reines Aluminium beteiligt ist.
- 5 mol Calcium und 5 mol Aluminium werden bei 1 200 K zu einer homogenen Mischung aufgeschmolzen; die Schmelze wird anschließend auf 900 K abgekühlt. Ermitteln Sie **Menge** und **Zusammensetzung** der bei 900 K vorliegenden Phase(n).



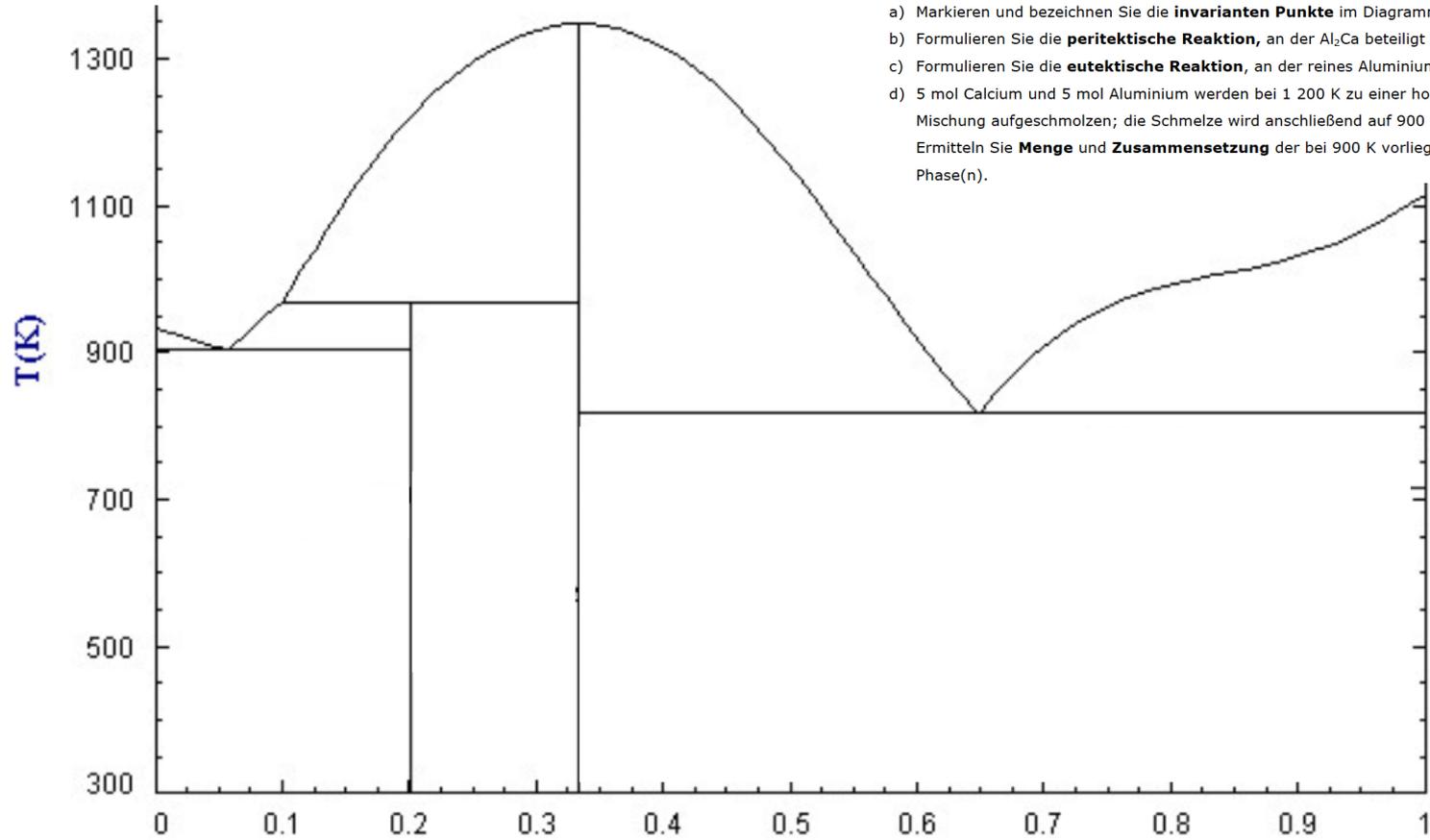
# Musterklausur

**Aluminium (Al)** und **Calcium (Ca)** bilden zwei feste stöchiometrische Verbindungen **Al<sub>2</sub>Ca** und **Al<sub>3</sub>Ca**.

**Al<sub>2</sub>Ca** schmilzt kongruent bei 1 350 K; **Al<sub>3</sub>Ca** schmilzt inkongruent bei 960 K.

Mischkristalle zwischen den Komponenten und den stöchiometrischen Verbindungen existieren nicht.

Die Abbildung zeigt das Phasendiagramm des System Al/Ca im Bereich von 300 K bis 1400 K. Auf der Abszisse („x-Achse“) ist der Stoffmengenanteil an Calcium angegeben.



- Markieren und bezeichnen Sie die **invarianten Punkte** im Diagramm.
- Formulieren Sie die **peritektische Reaktion**, an der  $\text{Al}_2\text{Ca}$  beteiligt ist.
- Formulieren Sie die **eutektische Reaktion**, an der reines Aluminium beteiligt ist.
- 5 mol Calcium und 5 mol Aluminium werden bei 1 200 K zu einer homogenen Mischung aufgeschmolzen; die Schmelze wird anschließend auf 900 K abgekühlt. Ermitteln Sie **Menge** und **Zusammensetzung** der bei 900 K vorliegenden Phase(n).

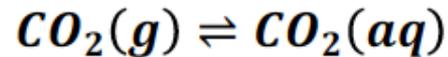
# Musterklausur

## Aufgabe 9: Absorption als Phasengleichgewicht

In ein evakuiertes 50.0 L Gefäß werden bei 25°C 1.00 L reines Wasser und 49.00 L reines gasförmiges Kohlendioxid (Anfangsdruck: 5.00 MPa) gebracht.

Ein Teil des Kohlendioxids absorbiert aus der Gasphase in die Flüssigphase. Der Kohlendioxiddruck in der Gasphase erniedrigt sich dadurch; die Temperatur bleibt konstant bei 25°C.

Nach Einstellung des Absorptions-Gleichgewichts



beträgt der Gleichgewichts-Kohlendioxiddruck in der Gasphase 4.92 kPa.

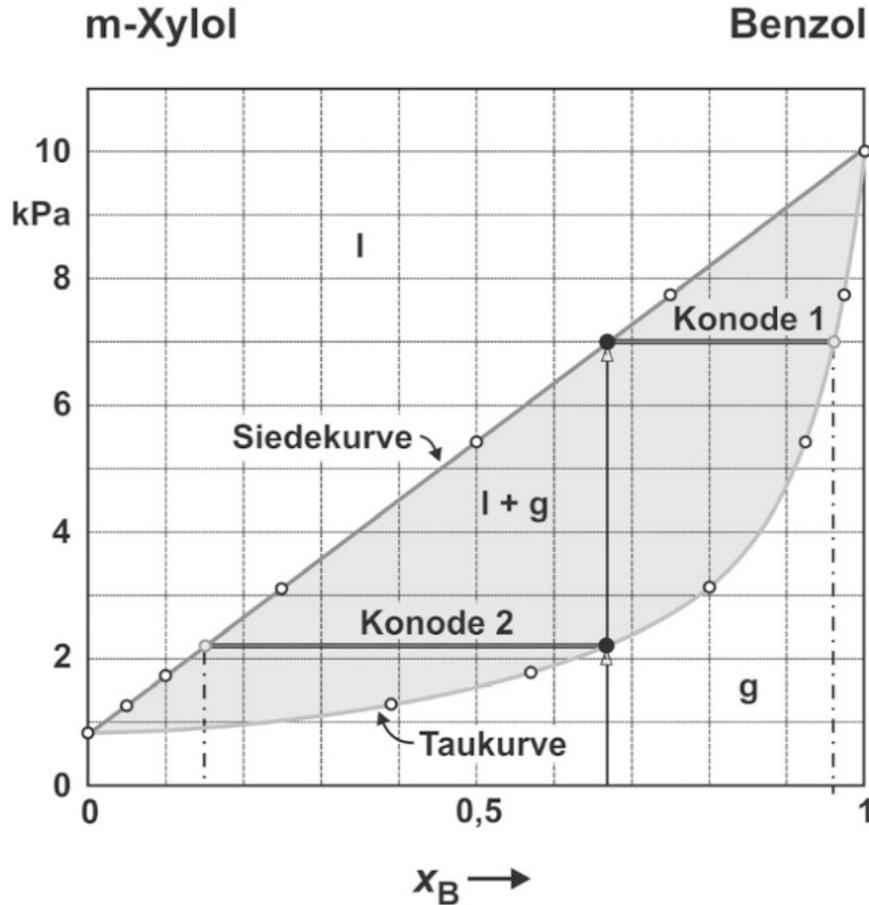
Ermitteln Sie die **HENRY-Konstante**  $K_H$  von Kohlendioxid bei 25°C.



### **Thermodynamische Daten und Konstanten:**

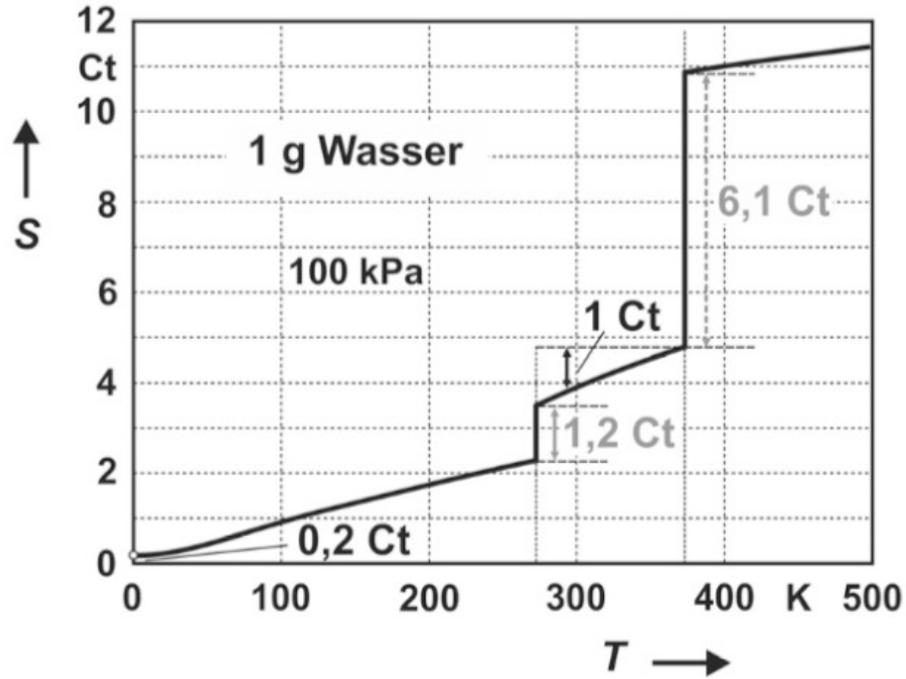
		<i>Molmasse</i>	<i>ANTOINE-Gleichung</i>
<i>Ethanol</i>	$C_2H_5OH$	$M = 46.07 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$	$\ln\left(\frac{p}{\text{mbar}}\right) = 18.93 - \frac{3665.4 \text{ }^\circ\text{C}}{T + 226.37 \text{ }^\circ\text{C}}$
<i>Methanol</i>	$CH_3OH$	$M = 32.04 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$	$\ln\left(\frac{p}{\text{mbar}}\right) = 19.22 - \frac{3845.7 \text{ }^\circ\text{C}}{T + 247.38 \text{ }^\circ\text{C}}$

		<i>Molmasse</i>	<i>Dichte bei 0°C und 1 bar</i>
<i>Eis</i>	$H_2O (s)$	$18 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$	$0.918 \frac{\text{kg}}{\text{L}}$
<i>Wasser</i>	$H_2O (l)$	$18 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$	$0.999 \frac{\text{kg}}{\text{L}}$



## Richtig oder Falsch?

- *Das 2KS ist ideal.*
- *Benzol ist der Leichtsieder.*
- *Die Gasphase ist an Xylol angereichert.*



**Berechnen Sie aus dem Diagramm die molare Schmelzwärme von Eis**



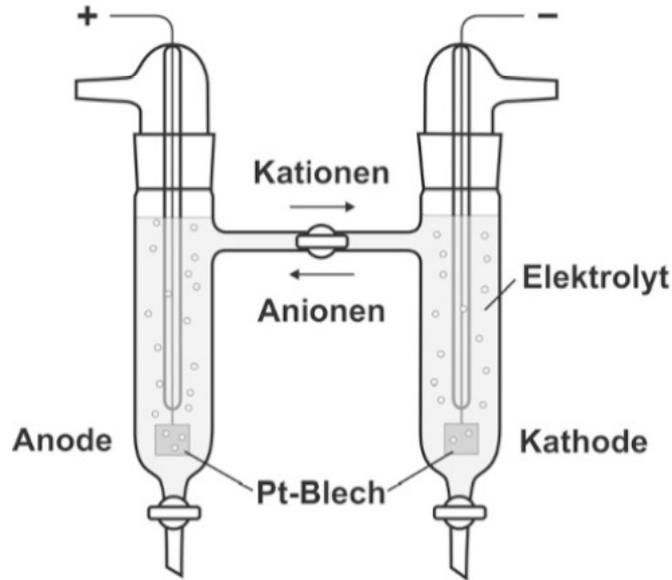
**Ermitteln Sie das  
Geschwindigkeitsgesetz**



Nr.	$c_B / \text{kmol m}^{-3}$	$c_{B'} / \text{kmol m}^{-3}$	$c_{B''} / \text{kmol m}^{-3}$	$r / \text{mol m}^{-3} \text{s}^{-1}$
1	0,2	0,2	0,2	3,2
2	0,3	0,2	0,2	4,8
3	0,2	0,3	0,2	7,2
4	0,3	0,2	0,4	9,6



## Richtig oder Falsch?



**1 M KOH**

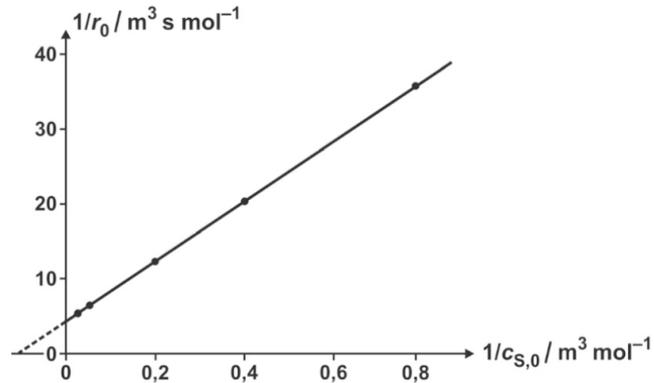
- *Kationen und Anionen wandern gleich schnell.*
- *Es entsteht doppelt soviel Wasserstoff wie Sauerstoff.*
- *Am Minuspol entsteht Wasserstoff.*

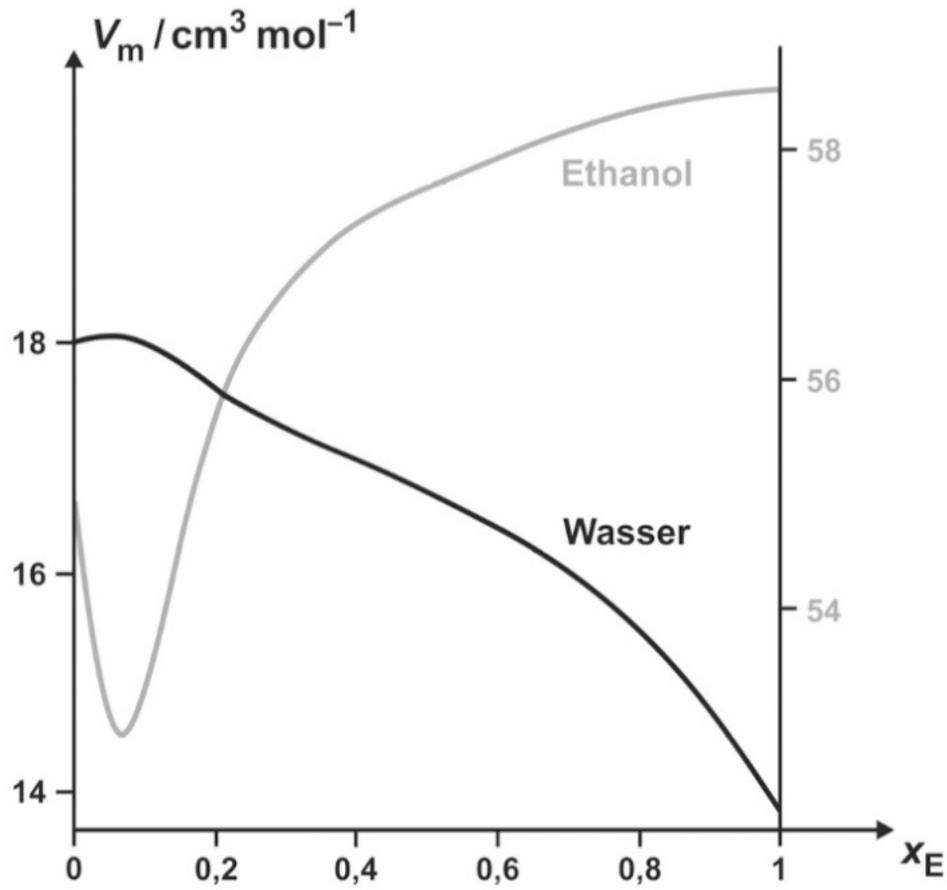


$c_{S,0}/(\text{mmol L}^{-1})$	$r_0/(\text{mol L}^{-1} \text{s}^{-1})$
1,25	$2,78 \cdot 10^{-5}$
2,50	$4,98 \cdot 10^{-5}$
5,00	$8,13 \cdot 10^{-5}$
20,00	$1,54 \cdot 10^{-4}$
40,00	$1,89 \cdot 10^{-4}$

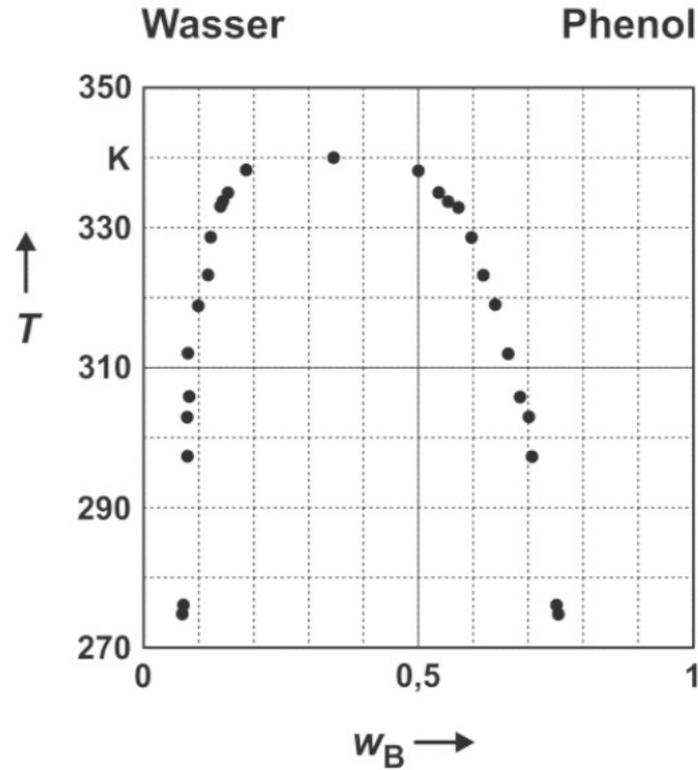
$1/c_{S,0}/(\text{m}^3 \text{mol}^{-1})$	$1/r_0/(\text{m}^3 \text{s mol}^{-1})$
0,8	36,0
0,4	20,1
0,2	12,3
0,05	6,5
0,025	5,3

**Berechnen Sie die Michaelis-Menten-Konstante**





**An welchen Punkten sind die Steigungen der Kurven vom Betrage her identisch?**



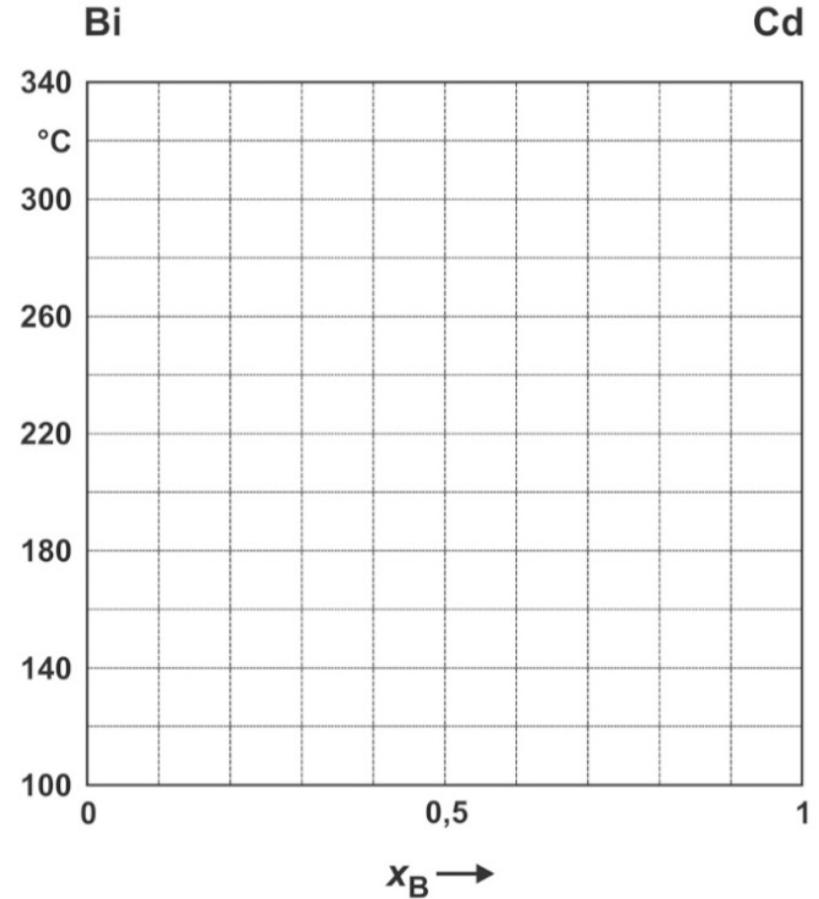
## Richtig oder Falsch?

- *Das 2KS verhält sich ideal.*
- *Die Mischung der Komponenten ist exotherm.*
- *Die Mischung der Komponenten ist exotrop.*



# Skizzieren Sie das Schmelzdiagramm

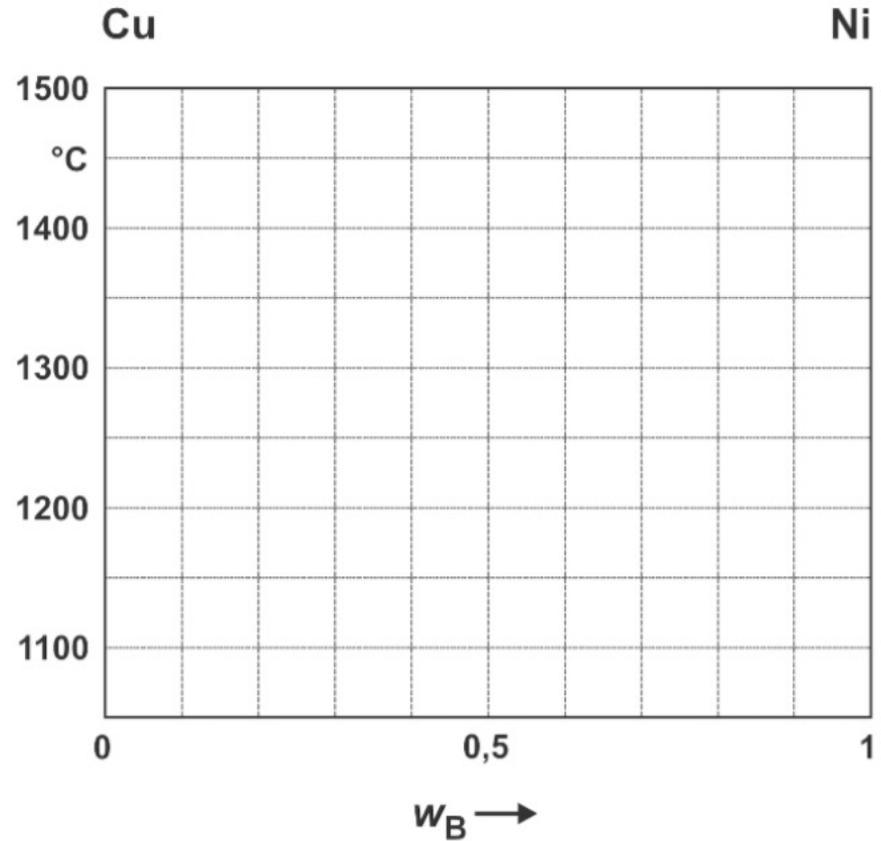
$x_B$	Schmelztemperatur $\vartheta_{s1}/^{\circ}\text{C}$	Erstarrungstemperatur $\vartheta_{l1s}/^{\circ}\text{C}$
0	271	271
0,05	261	146
0,1	250	146
0,2	231	146
0,3	211	146
0,4	187	146
0,5	158	146
0,55	146	146
0,6	164	146
0,7	211	146
0,8	251	146
0,9	284	146
0,95	301	146
1,0	321	321





# Skizzieren Sie das Schmelzdiagramm

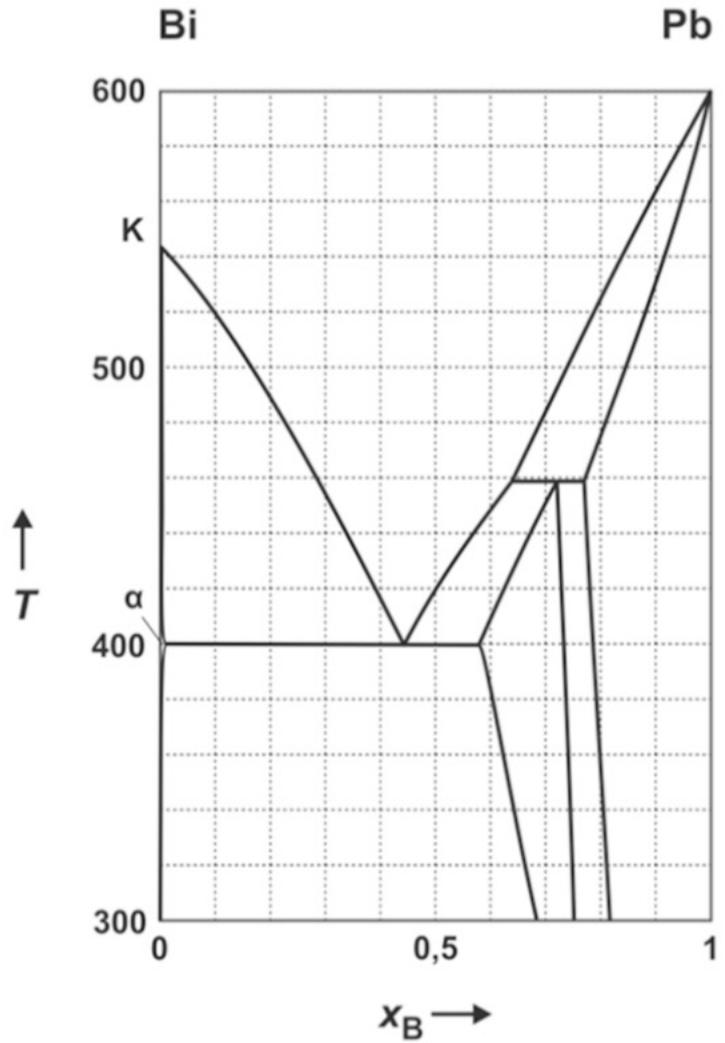
$w_B$	Schmelztemperatur $\vartheta_{sl}/^{\circ}\text{C}$	Erstarrungstemperatur $\vartheta_{ls}/^{\circ}\text{C}$
0	1085	1085
0,1	1105	1138
0,2	1129	1190
0,3	1157	1233
0,4	1190	1276
0,5	1223	1310
0,6	1262	1343
0,7	1300	1371
0,8	1343	1400
0,9	1400	1424
1,0	1452	1452





$w_B^l$	$w_B^g$	$\vartheta / ^\circ\text{C}$
0,00	0,00	100,0
0,01	0,12	96,8
0,03	0,26	92,5
0,05	0,34	89,8
0,10	0,46	86,1
0,20	0,53	83,1
0,30	0,58	81,6
0,40	0,62	80,6
0,50	0,66	79,7
0,60	0,70	79,0
0,70	0,76	78,5
0,80	0,82	78,2
0,90	0,90	78,1
0,97	0,97	78,2
1,00	1,00	78,3

***Skizzieren Sie das  
Siedediagramm***



***Diskutieren Sie das Schmelzdiagramm***