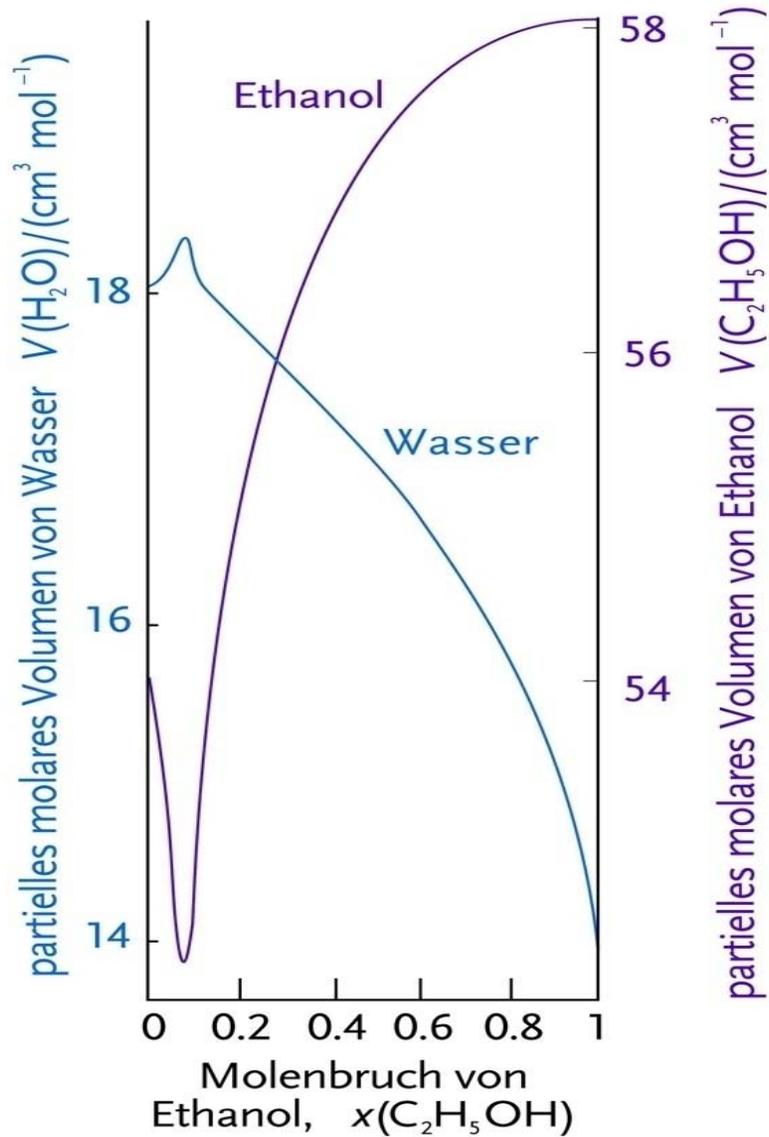
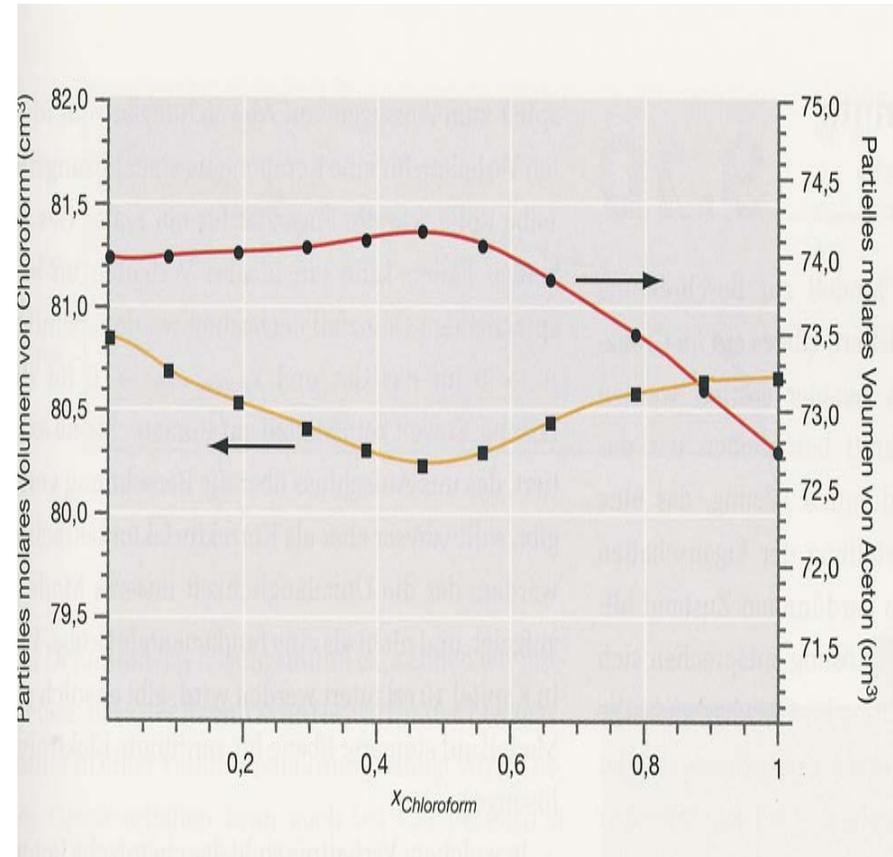


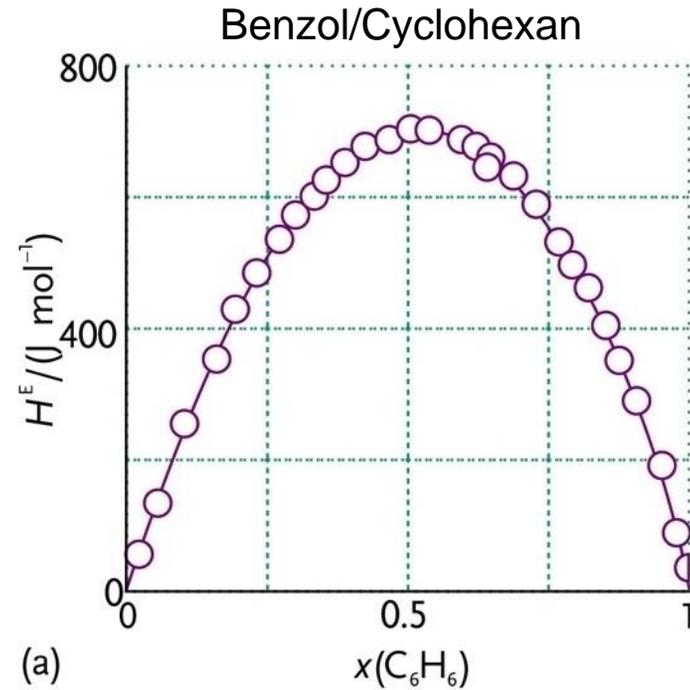
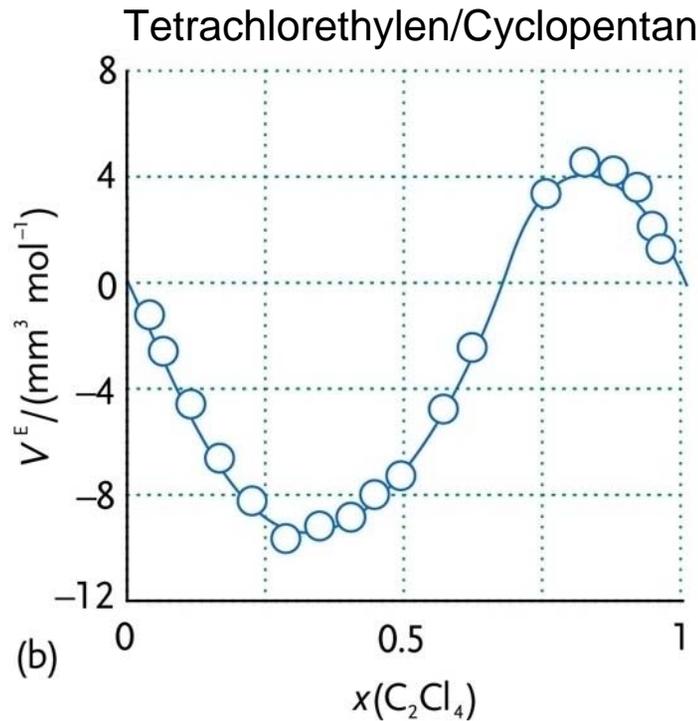
Partielle molare Volumina



Chloroform/Aceton



Exzessgrößen



$$\begin{aligned} \Delta V^E &= \Delta V_{\text{Mix}}(\text{real}) - \Delta V_{\text{Mix}}(\text{ideal}) = \\ &= n_1(\bar{V}_1^0 - V_{m,1}^0) + n_2(\bar{V}_2^0 - V_{m,2}^0) \\ &= n_1\Delta V_1^E + n_2\Delta V_2^E \end{aligned}$$

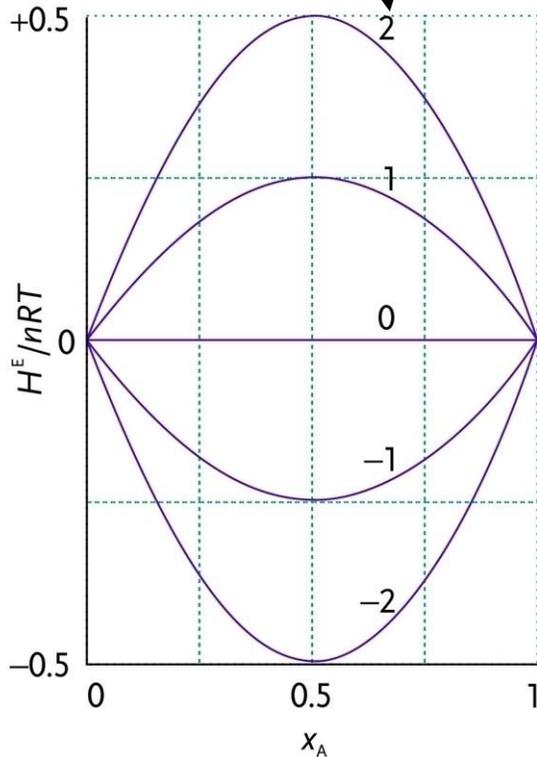
$$\begin{aligned} \Delta H^E &= \Delta H_{\text{Mix}}(\text{real}) - \Delta H_{\text{Mix}}(\text{ideal}) = \\ &= n_1\Delta H_1^E + n_2\Delta H_2^E \end{aligned}$$

Modell der regulären Lösung

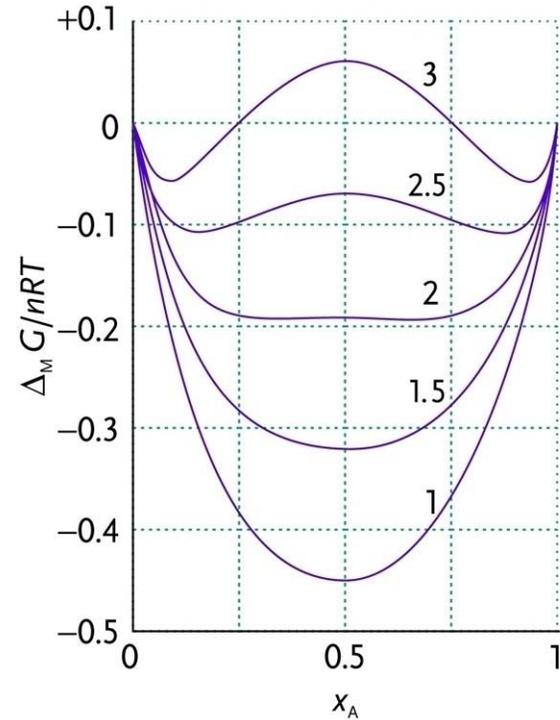
$$\Delta S^E = 0$$

$$\Delta H^E = n\beta RT x_A x_B$$

$$\Delta_M G = nRT(x_A \ln x_A + x_B \ln x_B + \beta x_A x_B)$$

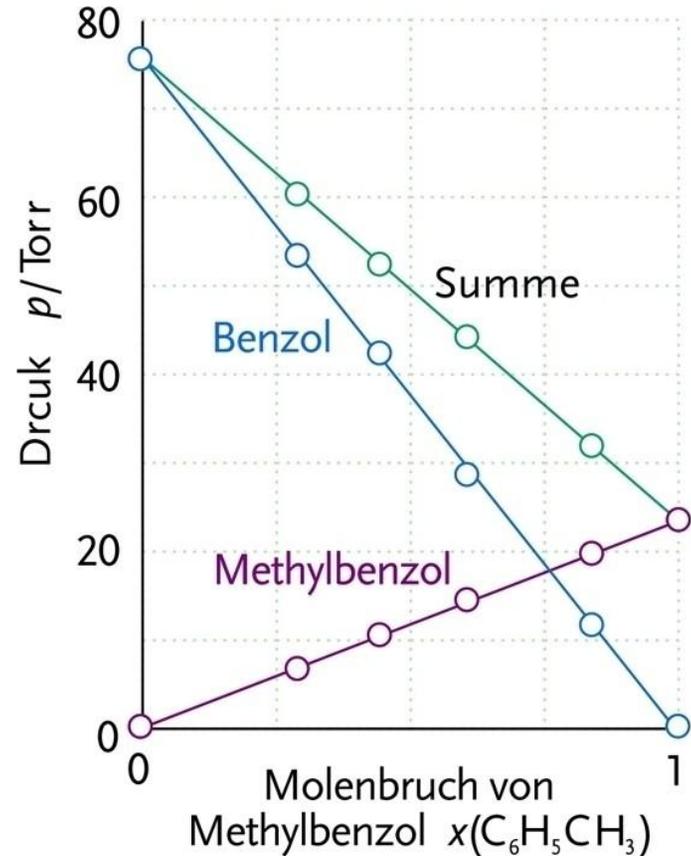
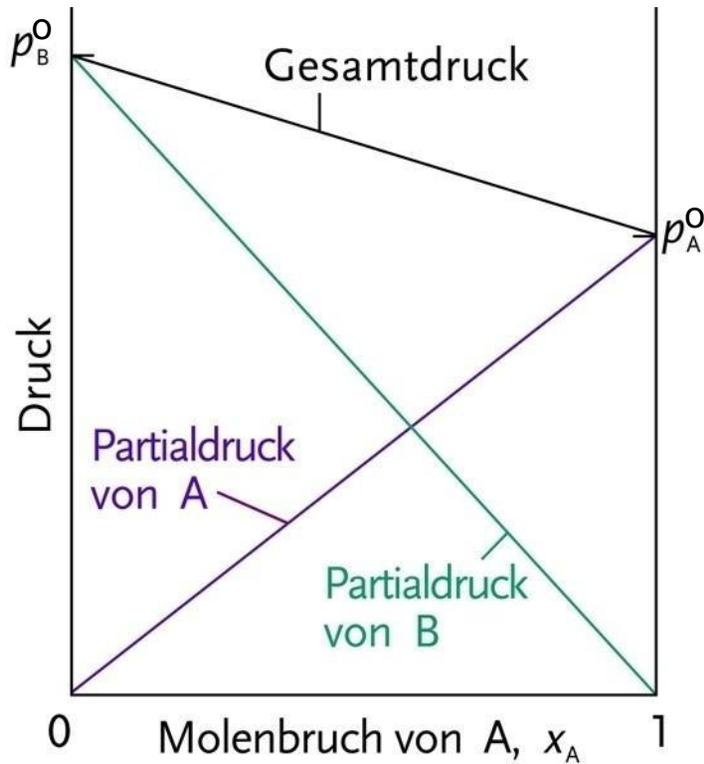


$$\beta \propto \varepsilon_{AB} - \frac{1}{2}(\varepsilon_{AA} - \varepsilon_{BB})$$



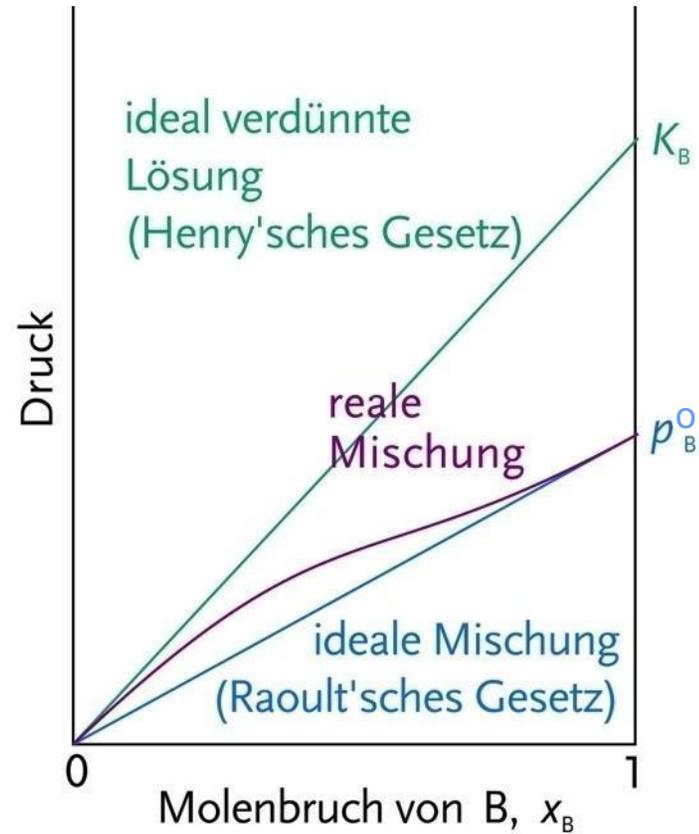
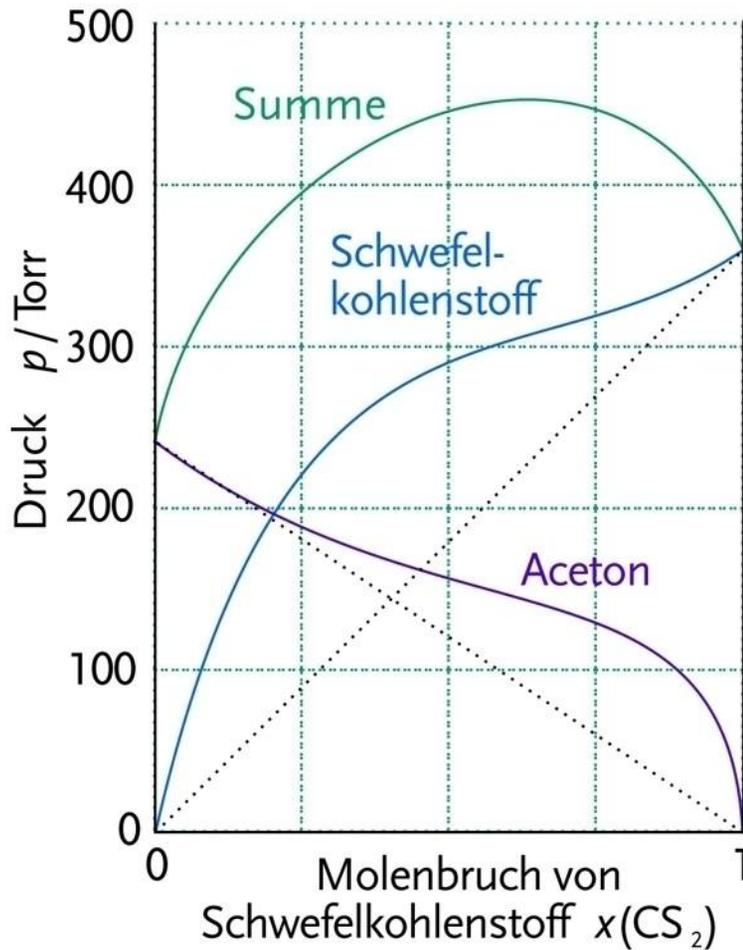
$\Delta_M G > 0 \Rightarrow$ Entmischung

Dampfdruck über idealen Mischungen

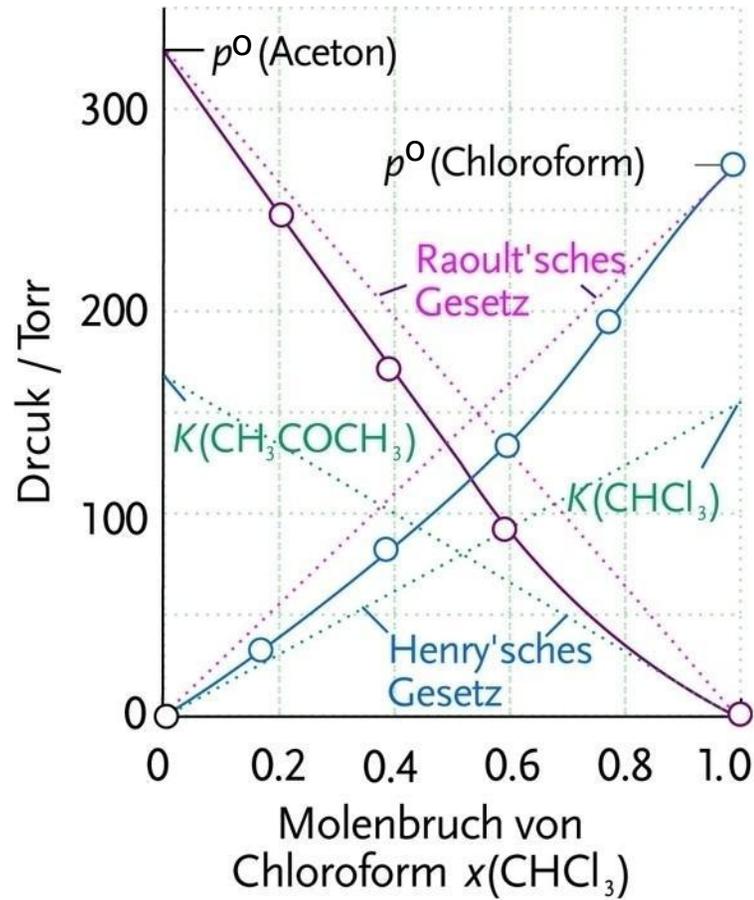


Raoult: $p_A = x_A p_A^o$ $p_B = x_B p_B^o$ $p = p_A + p_B$

Dampfdruck über realen Mischungen



Dampfdruck über realen Mischungen



Aktivität und Dampfdruck – Modell der regulären Lösung

Reguläre Lösung:

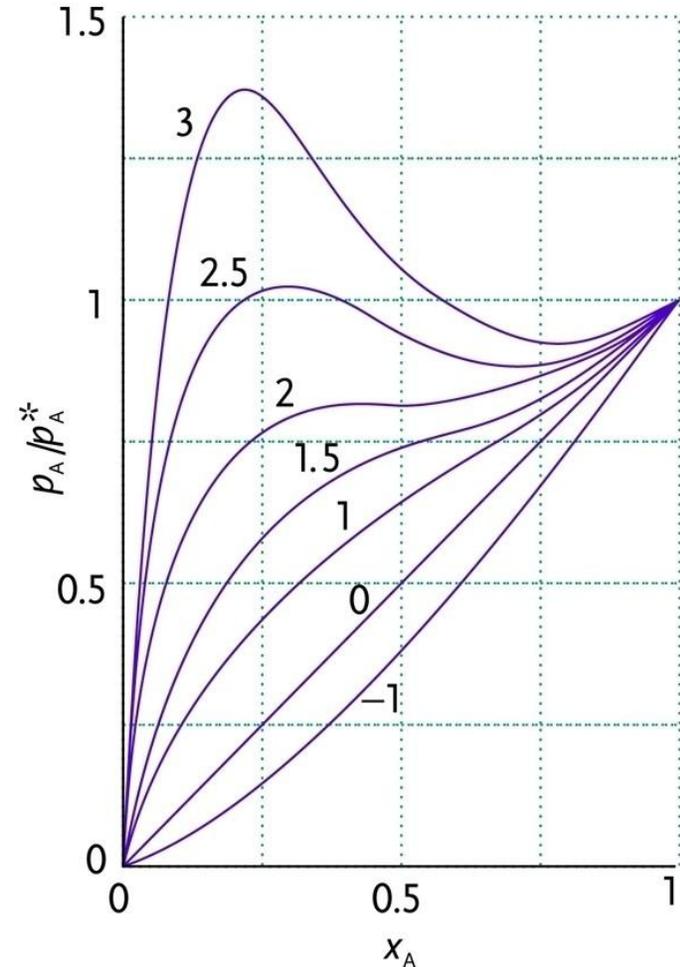
$$\Delta S^E = 0$$

$$\Delta H^E = \Delta_M H = nRT\beta x_A x_B$$

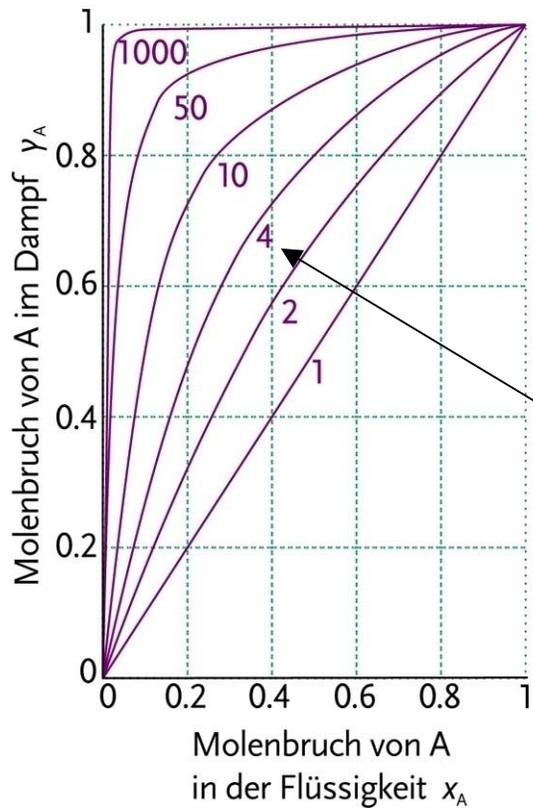
$$\begin{aligned}\Rightarrow \Delta_M G &= nRT(x_A \ln x_A + x_B \ln x_B + \beta x_A x_B) = \\ &= nRT(x_A \ln a_A + x_B \ln a_B)\end{aligned}$$

$$\Rightarrow \ln f_A = \beta x_B^2 \Rightarrow a_A = x_A e^{\beta(1-x_A)^2}$$

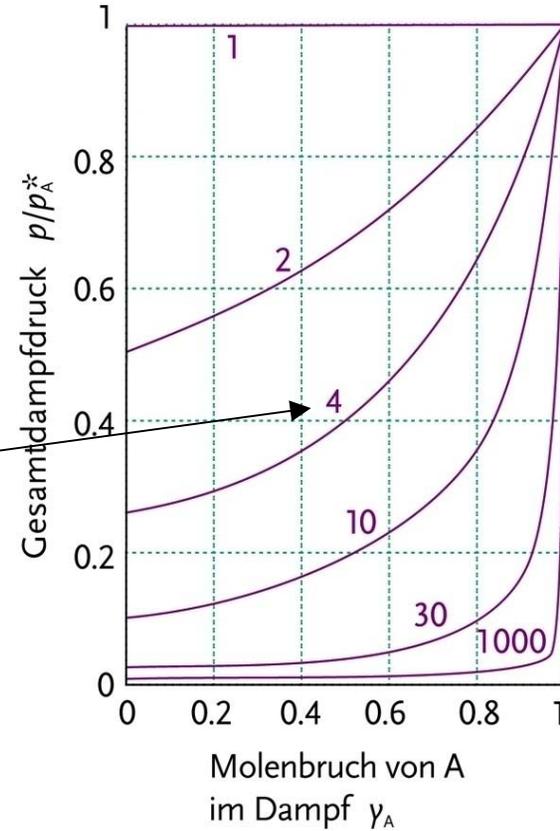
$$\Rightarrow p_A(\text{real}) = a_A p_A^o = x_A e^{\beta(1-x_A)^2} p_A^o$$



Dampfdruckdiagramm binärer Mischungen



$$\frac{p_A^o}{p_B^o}$$

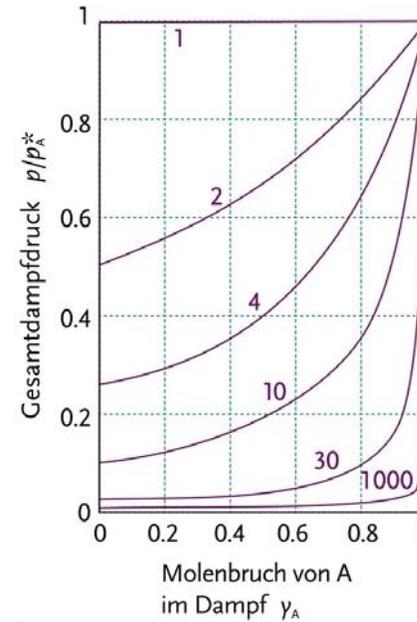
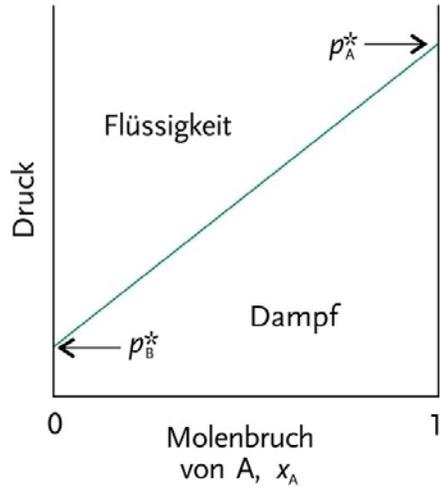


$$y_A = \frac{x_A p_A^o}{p_B^o + x_A (p_A^o - p_B^o)}$$

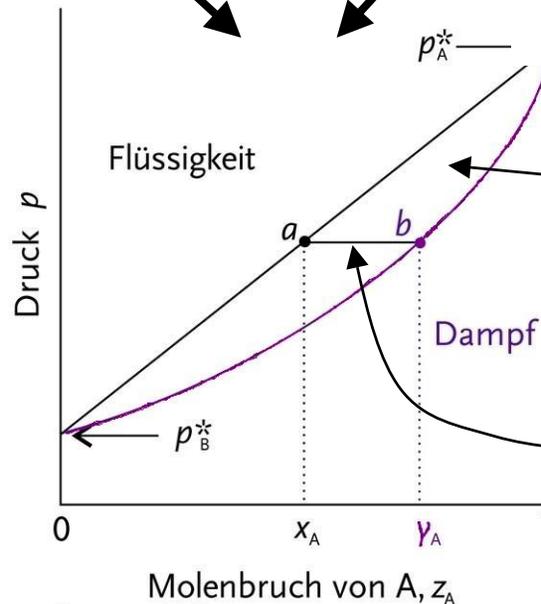


$$p_{ges} = \frac{p_A^o p_B^o}{p_A^o + (p_B^o - p_A^o) y_A}$$

Dampfdruckdiagramm binärer Mischungen



Dampfdruckdiagramm:
 $z = x_A = y_A =$
 Zusammensetzung



Zwei-Phasen-
Gebiet

Konnode
(engl.: tie-line)

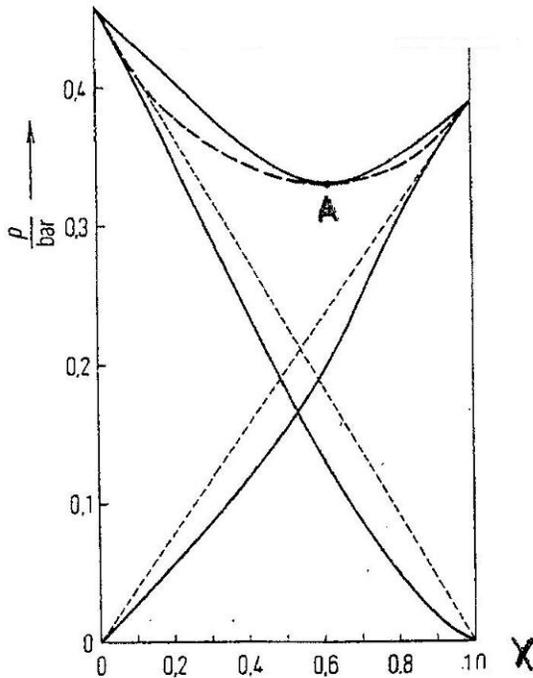
Dampfdruckdiagramm binärer Mischungen

Bsp: $f_1 < 1, f_2 < 1,$

Dampfdruckminimum

Beispiel: Propanon/ CHCl_3

$T = 308 \text{ K}$

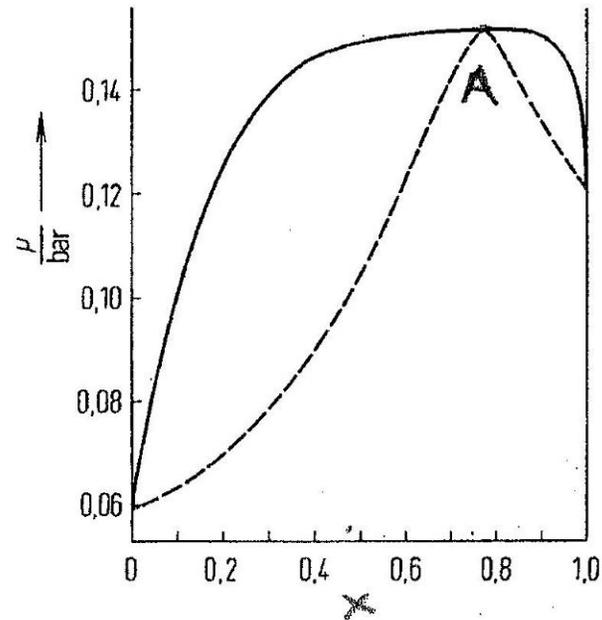


$f_1 > 1, f_2 > 1$

Dampfdruckmaximum

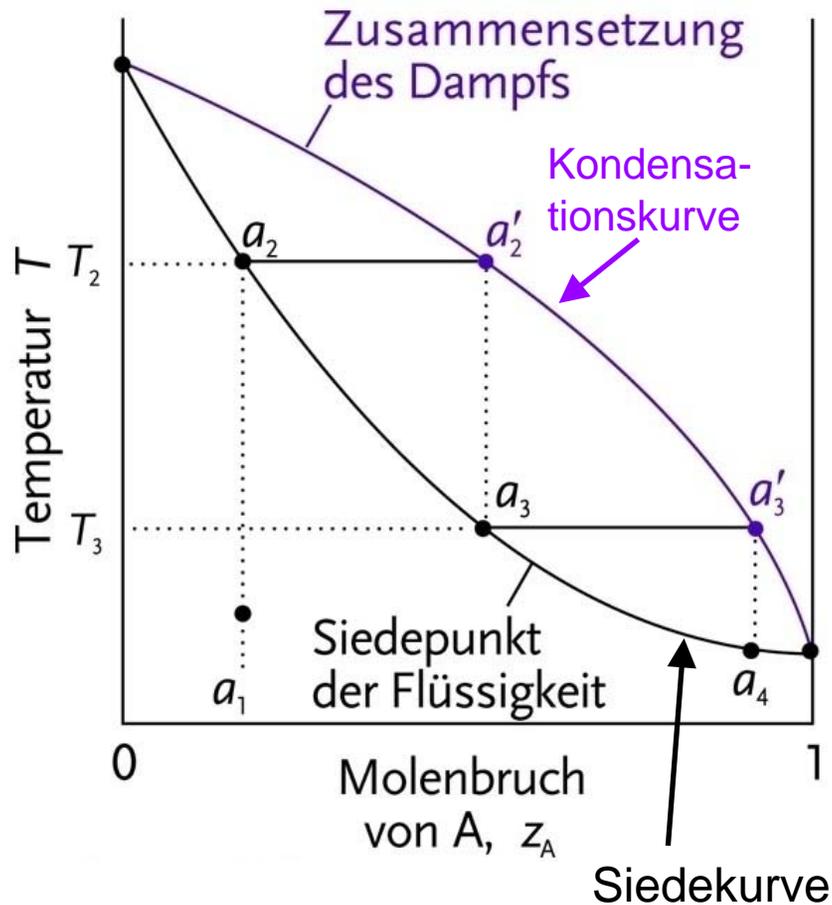
Beispiel: Ethanol/ CCl_4

$T = 293 \text{ K}$



A = Azeotroper Punkt (= Azeotrop): Zusammensetzung von Gasphase und Flüssigkeit identisch.

Siedediagramm binärer Mischungen



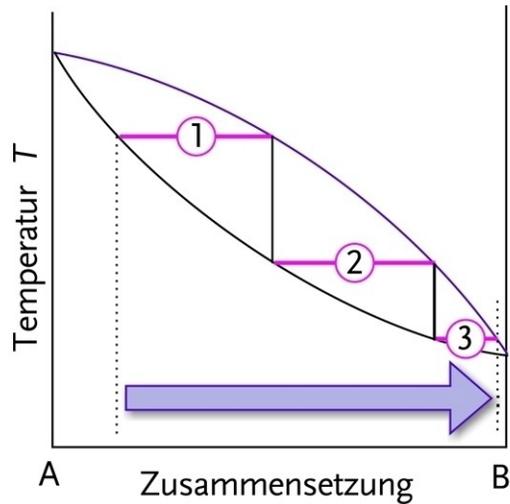
Destillation: ein Siede- und Kondensations-schritt ($a_1 \rightarrow a_2 \rightarrow a_2' \rightarrow a_3$)

Trennung einer flüchtigen Flüssigkeit von einem nicht flüchtigen, gelösten Stoff oder von einem Feststoff

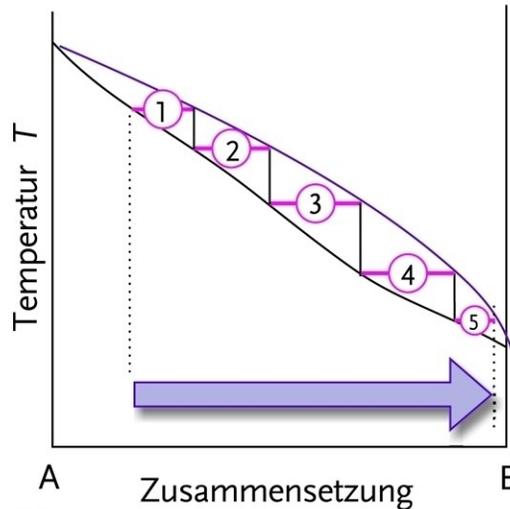
Rektifikation

Rektifikation = Abfolge von Siede- und Kondensations-
schritten zur Auftrennung von Mischungen mehrerer
flüchtiger Flüssigkeiten

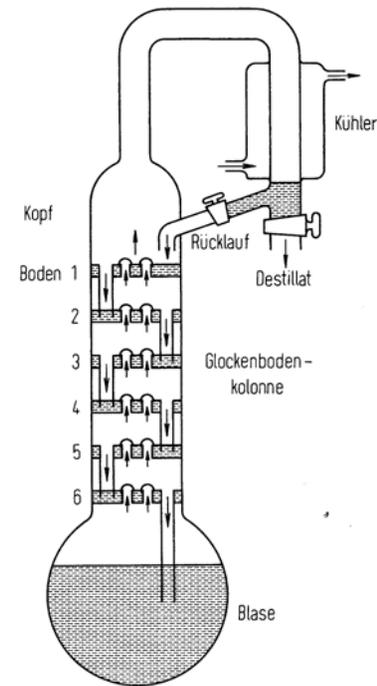
Rektifizier-Kolonnen:



(a)

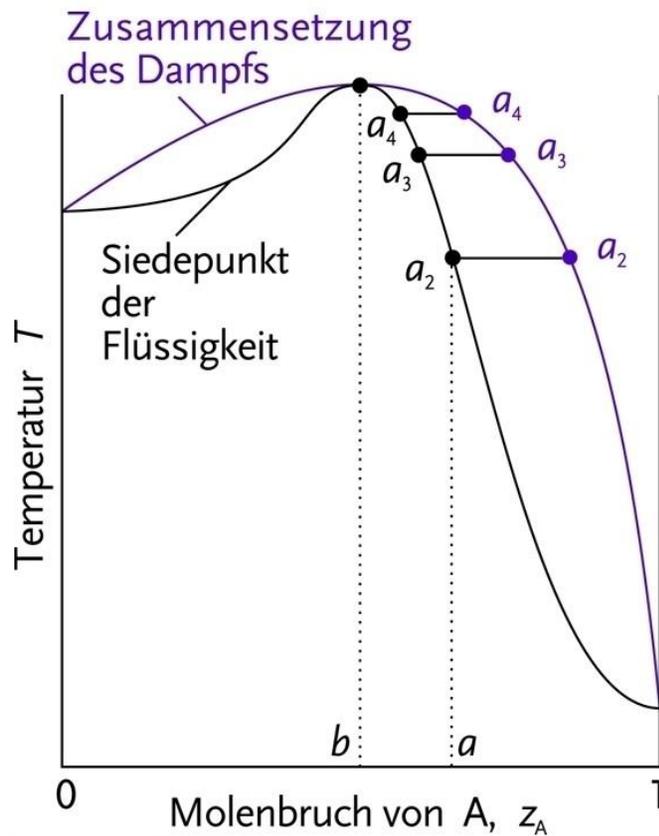


(b)

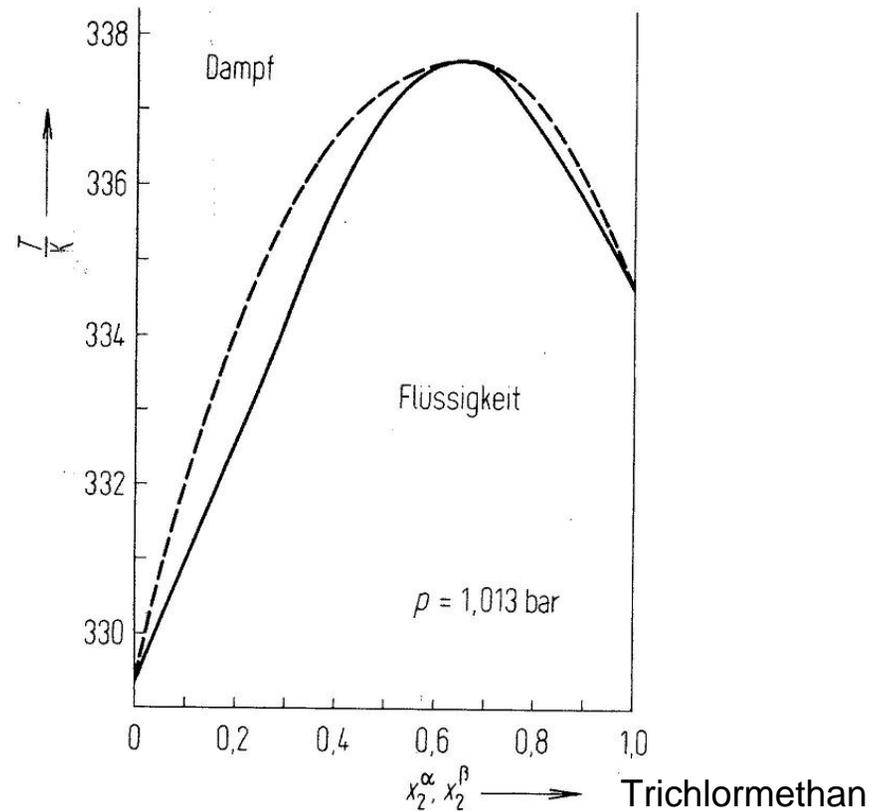


Trennleistung \leftrightarrow Zahl der theoretischen Böden

Siedediagramm mit Siedepunktsmaximum

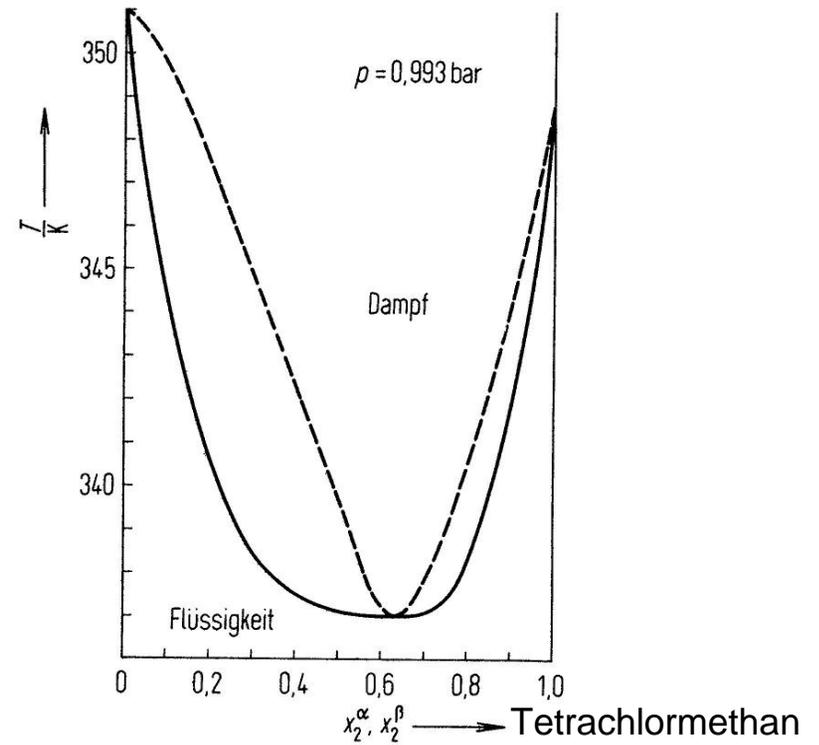
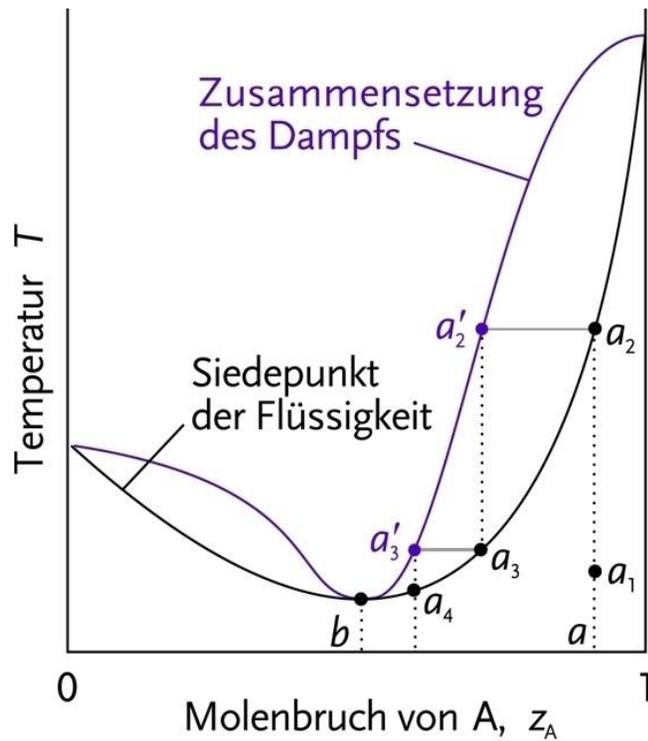


Beispiel: Propanon/Trichlormethan
 $p = 1 \text{ atm}$



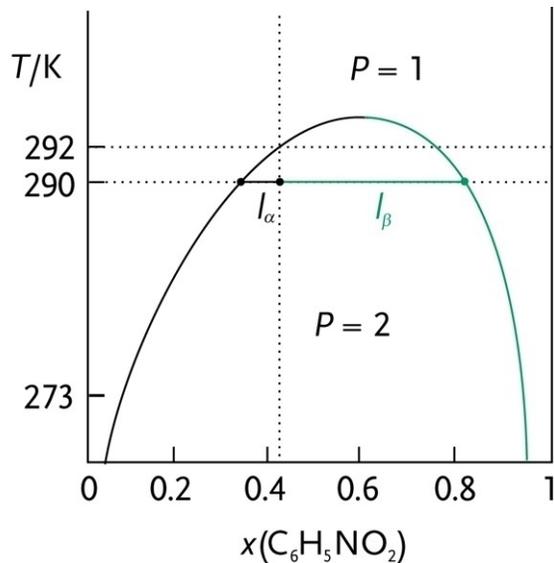
Siedediagramm mit Siedepunktminimum

Beispiel: Ethanol/Tetrachlormethan
 $p = 0.993 \text{ bar}$

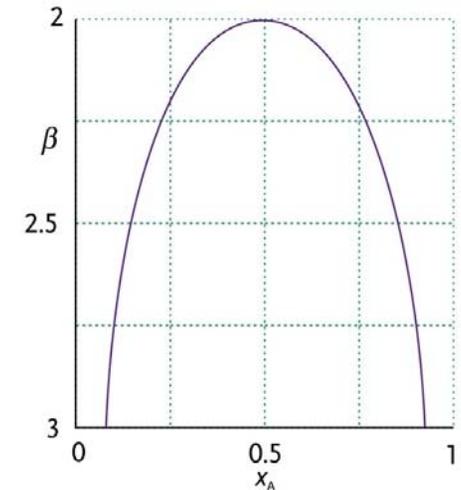
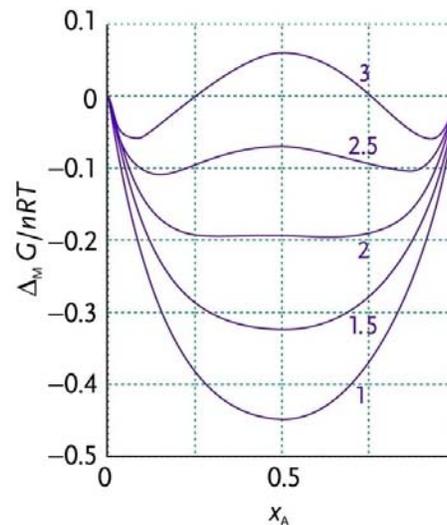


Flüssige Mischungen mit Mischungslücken

(i) Obere kritische Mischungstemperatur: Hexan/Nitrobenzol



Beschreibung durch Modell der regulären Lösung



Bestimmung der koexistierenden Phasen:

$$\partial \Delta_M G / \partial x = 0 \Rightarrow \ln \frac{x}{1-x} + \beta(1-2x) = 0$$

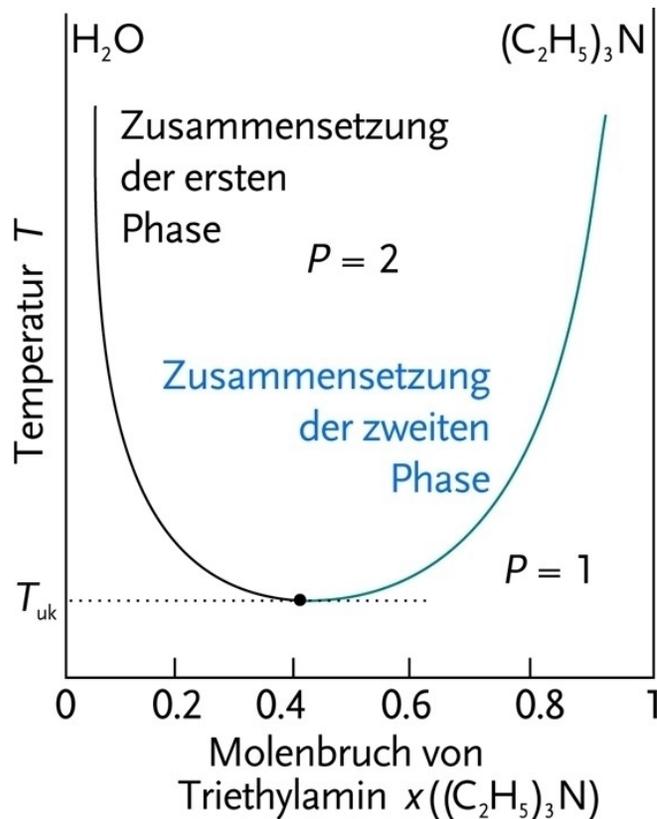
Abnahme von β



Zunahme von T

Flüssige Mischungen mit Mischungslücken

(ii) Untere kritische Mischungstemperatur: Wasser/Triethylamin

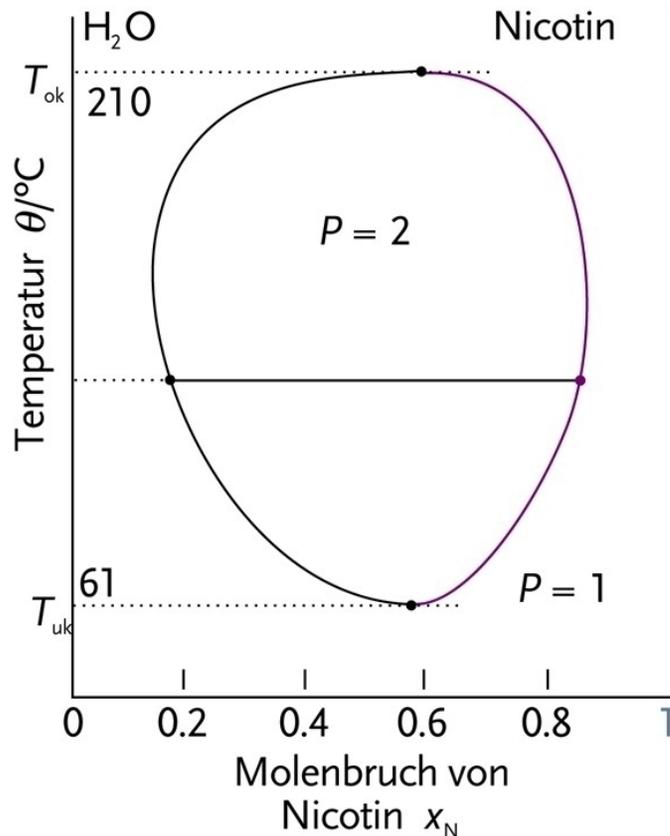


Bildung eines schwach gebundenen Komplexes bei niedrigen Temp.

Zerfall des Komplexes bei hohem Temperaturen

Flüssige Mischungen mit Mischungslücken

(iii) Obere und Untere kritische Mischungstemperatur: Wasser/Nikotin bei hohem Druck



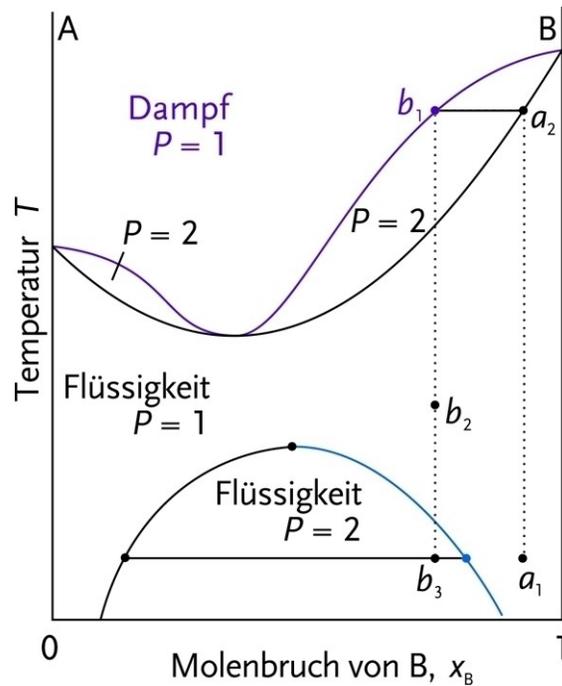
Bildung eines schwach gebundenen Komplexes bei niedrigen Temp.

Zerfall des Komplexes bei Temperaturerhöhung

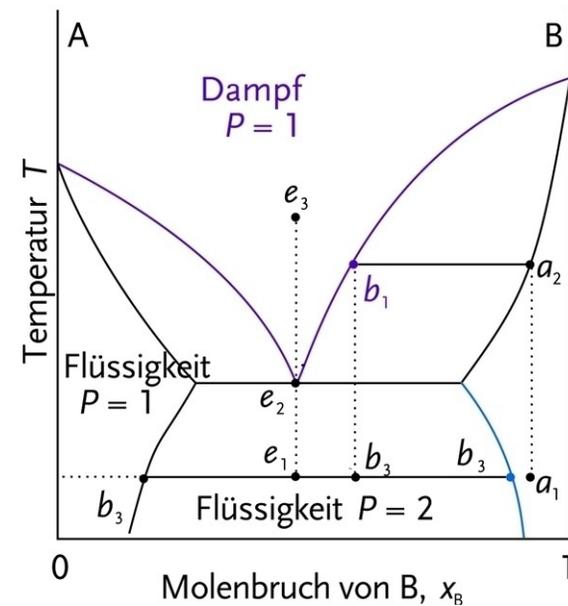
Dominanz der kinetischen Energie über Molekül-WW bei hohen Temp.

Siedediagramme von Mischungen mit Mischungslücken

„Repulsive WW“ \Rightarrow $\left\{ \begin{array}{l} \text{Siedepunktminimum} \\ + \\ \text{Mischungslücke} \end{array} \right.$



$T_{OK} < \text{Siedetemperatur}$



$T_{OK} > \text{Siedetemperatur}$

Tab. 1.6-2. Leitfähigkeit κ verschiedener Stoffe.

Leiter	$\frac{T}{K}$	$\frac{\kappa}{\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}}$	Leitfähigkeit zurückzuführen auf
Al	273	$4.00 \cdot 10^5$	Elektronenleitung
Au	273	$4.85 \cdot 10^5$	Elektronenleitung
Cu	273	$6.45 \cdot 10^5$	Elektronenleitung
Hg	273	$1.06 \cdot 10^4$	Elektronenleitung
Graphit	273	$1.2 \cdot 10^{-3}$	Elektronenleitung
NaCl-Schmelze	1173	3.77	Ionenleitung
KCl-Schmelze	1173	2.40	Ionenleitung
sehr reines H_2O_{fl}	273	$1.58 \cdot 10^{-8}$	Ionenleitung infolge geringfügiger Eigendissoziation
destilliertes H_2O_{fl}	273	10^{-6} bis 10^{-5}	Ionenleitung infolge Dissoziation von Spuren von Salzen u. Kohlensäure
wäßrige 1M KCl-Lösung	293	$1.02 \cdot 10^{-1}$	Ionenleitung infolge vollständiger Dissoziation des KCl
wäßrige 0.1M KCl-Lösung	293	$1.17 \cdot 10^{-2}$	Ionenleitung infolge vollständiger Dissoziation des KCl
wäßrige 1M NaCl-Lösung	291	$0.74 \cdot 10^{-1}$	Ionenleitung infolge vollständiger Dissoziation des NaCl
wäßrige 1M HCl-Lösung	298	$3.32 \cdot 10^{-1}$	Ionenleitung infolge vollständiger Dissoziation des HCl
wäßrige 1M KOH-Lösung	291	$1.84 \cdot 10^{-1}$	Ionenleitung infolge vollständiger Dissoziation des KOH
wäßrige 1M CH_3COOH -Lösung	291	$1.3 \cdot 10^{-3}$	Ionenleitung infolge teilweiser Dissoziation des CH_3COOH
reine CH_3COOH	273	$5 \cdot 10^{-9}$	Ionenleitung infolge geringfügiger Eigendissoziation
reines Benzol	293	$5 \cdot 10^{-14}$	Ionenleitung infolge Dissoziation von Wasserspuren
Diamant	288	$2 \cdot 10^{-15}$ bis $3 \cdot 10^{-14}$	—
Glimmer (Muskovit)	293	$3.3 \cdot 10^{-16}$	—

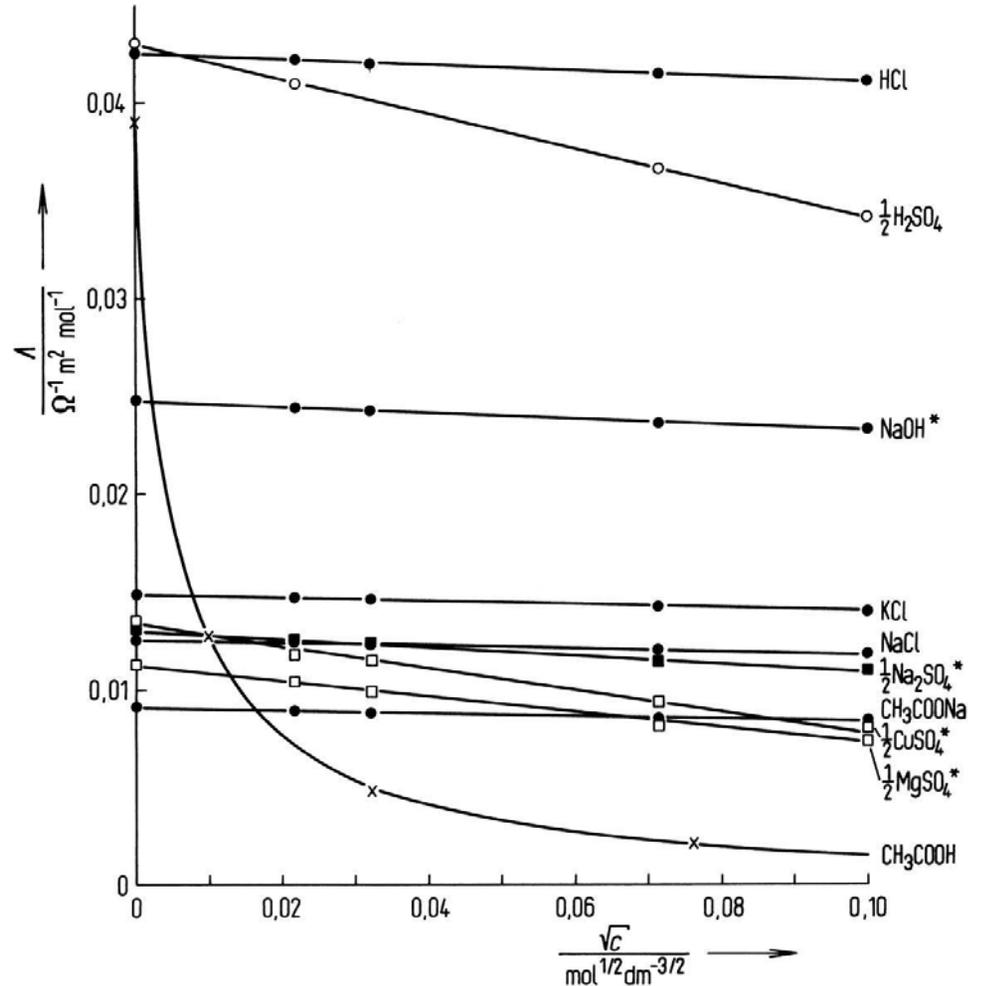
Konzentrationsabhängigkeit der Leitfähigkeit

Kohlrauschsches Quadratwurzel-Gesetz:

$$\Lambda_c = \Lambda_o - k\sqrt{c}$$

Experiment: T=281 K; * T=288 K

Empirisches Quadratwurzelgesetz
sehr gut erfüllt für kleine c.
Ausnahme: Essigsäure



Gesetz der unabhängigen Ionenwanderung

Tab. 1.6-3. Prüfung des Gesetzes der unabhängigen Ionenwanderung ($T = 298\text{K}$; Λ in $\Omega^{-1}\text{cm}^2\text{mol}^{-1}$).

	$\Lambda(\text{KCl})$ $\Lambda(\text{K}^+) - \Lambda(\text{Na}^+)$	$\Lambda(\text{NaCl})$ $\Lambda(\text{K}^+) - \Lambda(\text{Na}^+)$	$\Lambda(\text{KI})$ $\Lambda(\text{K}^+) - \Lambda(\text{Na}^+)$	$\Lambda(\text{NaI})$ $\Lambda(\text{K}^+) - \Lambda(\text{Na}^+)$	$\Lambda(\text{KClO}_4)$ $\Lambda(\text{K}^+) - \Lambda(\text{Na}^+)$	$\Lambda(\text{NaClO}_4)$ $\Lambda(\text{K}^+) - \Lambda(\text{Na}^+)$
$c =$ 0.1 mol dm^{-3}	128.96 22.22	106.74	131.11 22.33	108.78	115.20 16.77	98.43
$c \rightarrow$ 0 mol dm^{-3}	149.86 23.41	126.45	150.38 23.44	126.94	140.04 22.56	117.48

	$\Lambda(\text{KI})$ $\Lambda(\text{I}^-) - \Lambda(\text{ClO}_4^-)$	$\Lambda(\text{KClO}_4)$ $\Lambda(\text{I}^-) - \Lambda(\text{ClO}_4^-)$	$\Lambda(\text{NaI})$ $\Lambda(\text{I}^-) - \Lambda(\text{ClO}_4^-)$	$\Lambda(\text{NaClO}_4)$ $\Lambda(\text{I}^-) - \Lambda(\text{ClO}_4^-)$
$c =$ 0.1 mol dm^{-3}	131.11 15.91	115.20	108.78 10.35	98.43
$c \rightarrow$ 0 mol dm^{-3}	150.38 10.34	140.04	126.94 9.46	117.48

Gesetz streng gültig nur für molare Grenzleitfähigkeiten:

$$\Lambda_0 = \nu_+ \Lambda_{0+} + \nu_- \Lambda_{0-} = \nu_+ z_+ u_{0+} F + \nu_- z_- u_{0-} F$$

Konzentrationsabhängigkeit der Leitfähigkeit

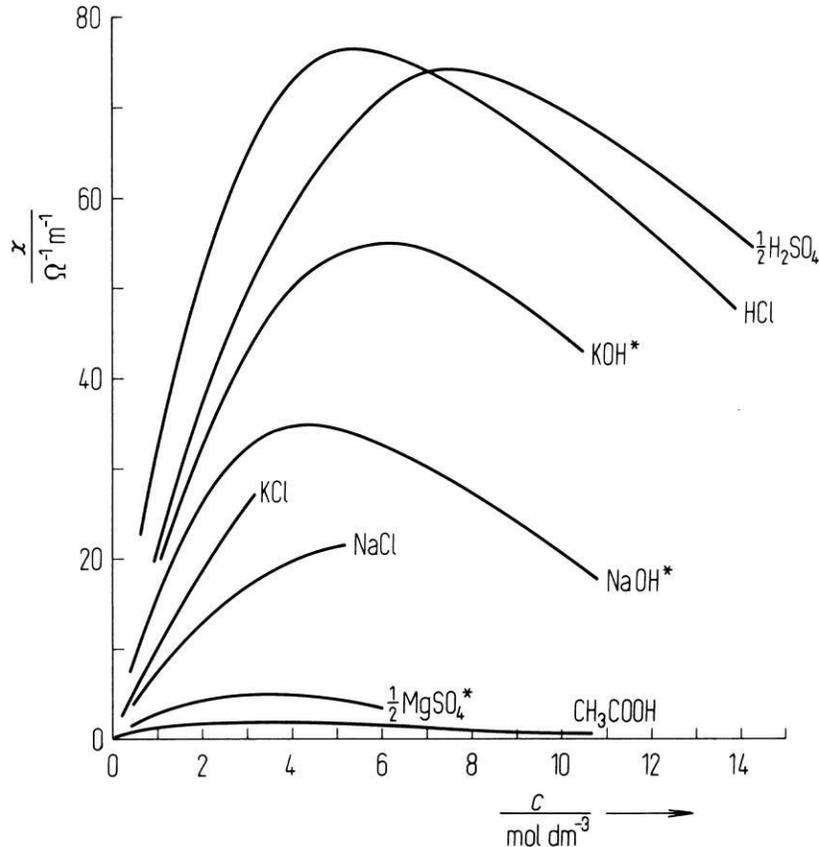
Vorhersage:

$$\kappa = Fc(v_+z_+u_+ + v_-z_-u_-) = \text{const} \cdot c$$

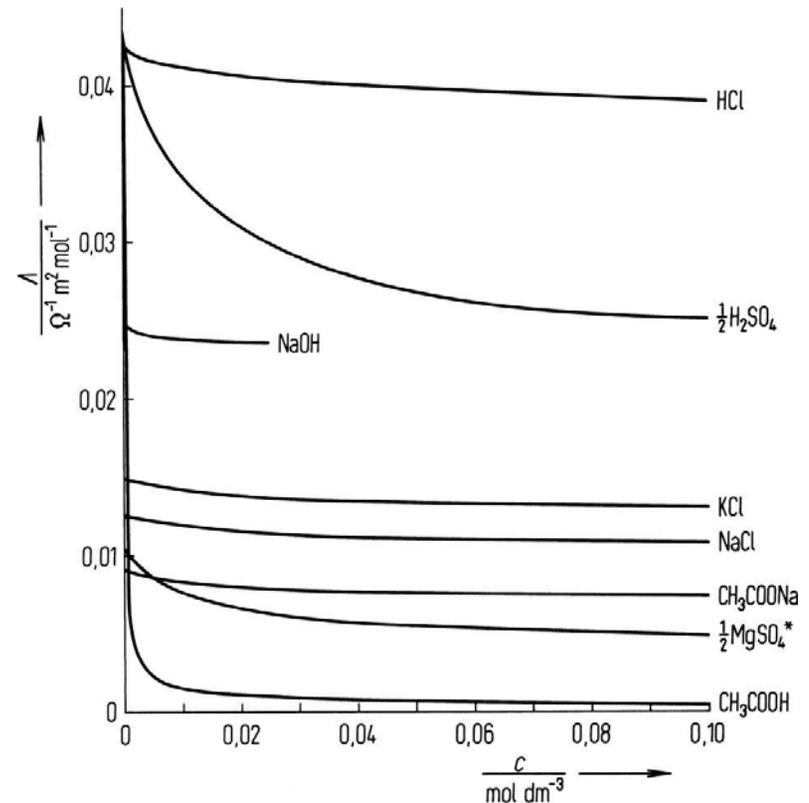
$$\Lambda = \nu_+\Lambda_+ + \nu_-\Lambda_- \neq f(c)$$

1. Kohlrausch-Gesetz der unabhängigen Ionenwanderung

Experiment: T=281 K; * T=288 K

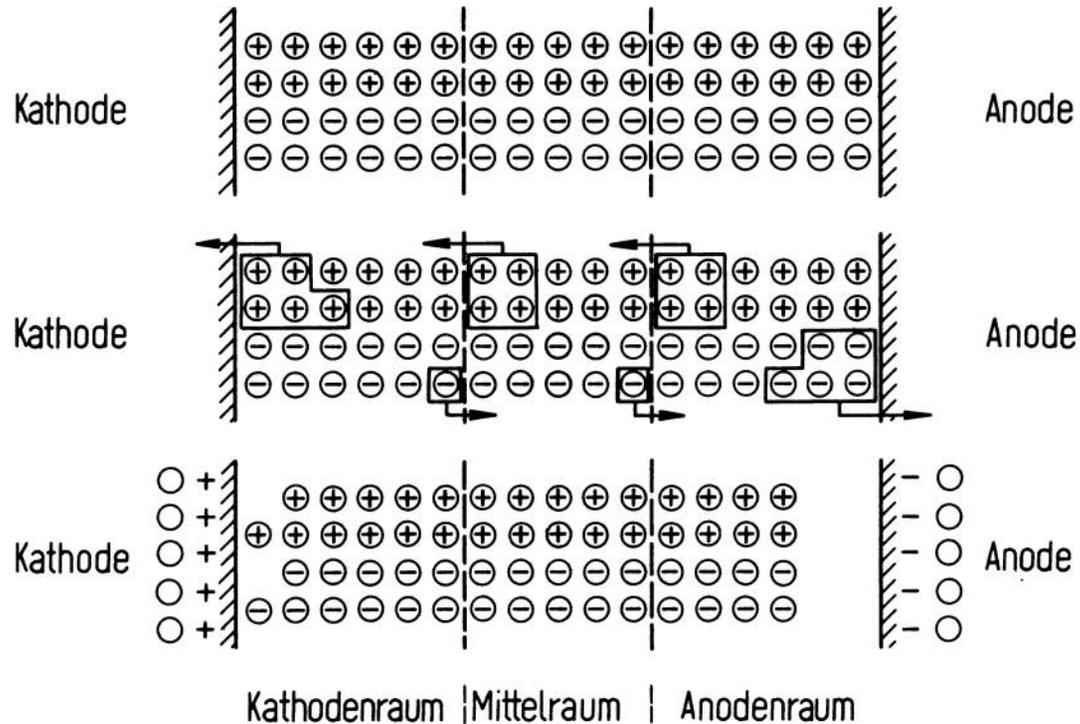


Experiment: T=281 K; * T=288 K



Bestimmung von Ionenleitfähigkeiten

Prinzip der Hittdorfschen Überföhrungszahlen



Unterschiedliche Ionenbeweglichkeiten \Rightarrow Unterschiedlicher Anteil der Ionen an der Gesamtleitfähigkeit \Rightarrow Unterschiedlicher Elektrolytverbrauch in den Elektrodenräumen \Rightarrow Rückschluss auf Λ_+ und Λ_- .

Molare Ionengrenzleitfähigkeiten und ihre Interpretation

Molare Ionengrenzleitfähigkeiten Λ_0^+ und Λ_0^- in wässrigen Lösungen bei 298 K

Ion	$r_+(Salz)$	Λ_0^+	Ion	Λ_0^-
	nm	$\Omega^{-1} \text{ cm}^2 \text{ mol}^{-1}$		$\Omega^{-1} \text{ cm}^2 \text{ mol}^{-1}$
H ⁺		349,8	OH ⁻	198,6
Li ⁺	0.068	38,7	F ⁻	55,4
Na ⁺	0.097	50,1	Cl ⁻	76,4
K ⁺	0.133	73,5	Br ⁻	78,1
Rb ⁺	0.147	77,8	I ⁻	76,8
Cs ⁺	0.167	77,2		
Ag ⁺		61,9	NO ₃ ⁻	71,5
			ClO ₃ ⁻	64,6
NH ₄ ⁺		73,6	BrO ₃ ⁻	55,7
N(CH ₃) ₄ ⁺		44,9	ClO ₄ ⁻	67,4
N(C ₃ H ₅) ₄ ⁺		32,7	HCO ₃ ⁻	44,5
N(C ₃ H ₇) ₄ ⁺		23,4		
N(C ₄ H ₉) ₄ ⁺		19,5	HCOO ⁻	54,6
			CH ₃ COO ⁻	40,9
1/2 Be ²⁺		45	C ₂ H ₅ COO ⁻	35,8
1/2 Mg ²⁺		53,1	C ₃ H ₇ COO ⁻	32,6
1/2 Ca ²⁺		59,5		
1/2 Sr ²⁺		59,5	1/2 SO ₄ ²⁻	80,0
1/2 Ba ²⁺		63,6	1/2 CO ₃ ²⁻	69,3
1/2 Cu ²⁺		56,6		
			1/3 Fe(CN) ₆ ³⁻	100,9
1/3 La ³⁺		69,7		
1/3 Ce ³⁺		69,8	1/4 Fe(CN) ₆ ⁴⁻	110,5

i) Modellvorhersage:

$$\Lambda_{0+(-)} \propto \frac{1}{r_{+(-)}(Salz)}$$

Leitfähigkeit nimmt mit dem Ionenradius zu!

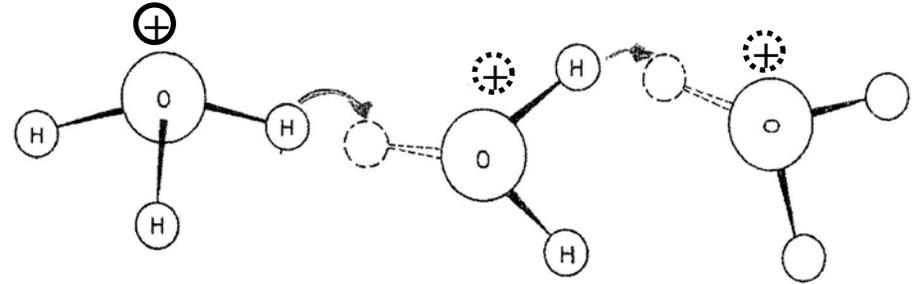
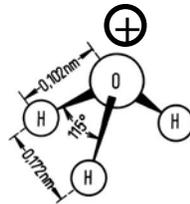
ii) Extrem hohe Leitfähigkeit von H⁺ und OH⁻

Mechanismus?

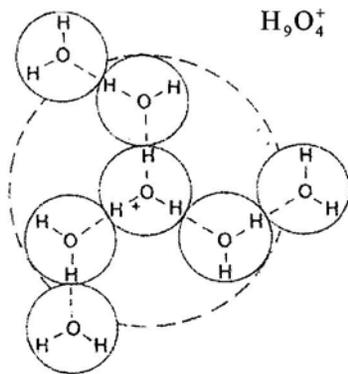
Grotthuß-Mechanismus der schnellen Protonenleitung

Ursprüngliche Vorstellung: schnelle Bindungsumlagerung des H_3O^+ -Ions

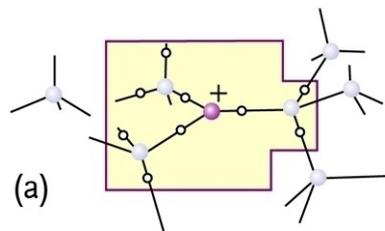
Zentrale Einheit:
 H_3O^+ -Ion



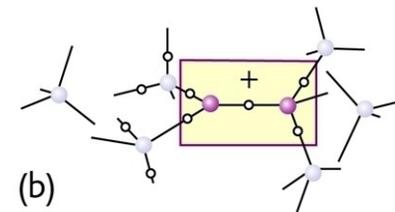
Derzeitige Vorstellung: Strukturdiffusion des H_9O_4^+ -Ions



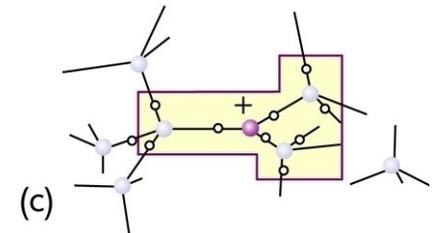
Zentrale Einheit:
 H_9O_4^+ -Ion



Geschw.best. Schritt:
„Dissoziation“ eines
schwach gebundenen
 H_2O



Zwischenzustand mit
„falscher“ Symmetrie



Rotation und
Bindungsum-
organisation

Mechanismus: quantenmech. Tunneleffekt