

# Physikalische Chemie II - FS18

v1

Gleb Ebert

7. August 2018

## Vorwort

Diese Formelsammlung basiert auf dem PVK von Alexander Malär (Juni 2018) und soll an der Prüfung verwendet werden können. Ich kann leider weder Vollständigkeit noch die Abwesenheit von Fehlern garantieren. Für Fragen, Anregungen oder Verbesserungsvorschlägen kann ich unter [glebert@student.ethz.ch](mailto:glebert@student.ethz.ch) erreicht werden. Die neuste Version dieser Zusammenfassung kann stets unter <https://n.ethz.ch/~glebert/> gefunden werden.

# 1 Einheiten

$$10000 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} = 1 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad 1 \frac{\text{m}^3}{\text{mols}} = 1000 \frac{\text{dm}^3}{\text{mols}} = 1 \frac{\text{l}}{\text{mols}}$$

$$1000 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad 1000 \frac{\text{cm}^3}{\text{g}} = 1 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \quad 1 \text{ \AA} = 10 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$[\omega] = \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad \text{Hz} = 2\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}} = \frac{2\pi}{60} \text{ RPM}$$

$$M = \frac{\text{mol}}{\text{l}} \quad J = \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^2} \quad V = \frac{\text{J}}{\text{C}}$$

# 2 Transportphänomene

Transport	Eigenschaft
Diffusion	Masse
Wärmeleitfähigkeit	Wärme / Energie
Visuosität	Impuls
Ionenleitfähigkeit	Ladung

→ Erzeugt durch Gradient der transportierten Eigenschaft.

## 2.1 Diffusion

**Def. 1:** Fluss einer Eigenschaft  $[J] = \frac{\text{Eigenschaf}}{\text{Zeit}}$   
 z.B.  $J = \frac{dj}{dt}$ ;  $J = \frac{dN}{dt}$

**Def. 2:** Flussdichte  $\Phi_x = \frac{J}{A}$ ;  $[\Phi] = \frac{[\text{Eigenschaft}]}{[\text{Zeit}][\text{Fläche}]}$

### 2.1.1 Erstes Fick'sches Gesetz

$$\Phi_i = -D * \frac{\partial N(x)}{\partial x}$$

$D$ : Diffusionskonstante  $[D] = \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$   
 $\partial x$ : Konzentrationsgradient  
 $N(x)$ : Verteilung der Teilchendichten im Raum

$$D = \frac{\lambda \langle v \rangle}{3} \quad \langle v \rangle = \sqrt{\frac{8k_B T}{\pi m}} \quad \text{mit} \quad \langle v \rangle \propto \sqrt{T}$$

$$\lambda = \tau \langle v \rangle = \frac{1}{N_0 \sigma} \quad \sigma = \pi(\tau_A + \tau_B)^2$$

$\tau$ : mittlere Zeit zwischen Stößen;  $\sigma$ : Stossquerschnitt  
 $\lambda$ : mittlere freie Weglänge

$$p = N_0 k_B T \quad N_0 = c N_A = \frac{p}{k_B T} \quad N \propto p$$

$T \uparrow \Rightarrow \langle v \rangle \uparrow \Rightarrow D \uparrow \Leftarrow \lambda \uparrow$   
 $D \uparrow \Rightarrow \Phi \uparrow \Rightarrow$  schnellere Diffusion

**GGW:**  $\frac{\partial N}{\partial x} = 0 \Rightarrow \Phi_x = 0$

## 2.1.2 Zweites Fick'sches Gesetz

$$\frac{\partial N(x,t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 N(x,t)}{\partial x^2}$$

einfache Lösungen unter Randbedingungen:  
 1)  $t = 0 \rightarrow$  alle Teilchen bei  $x = 0$   
 2) Diffusion kann bis  $\pm \infty$  gehen

$$N(x,t) = \frac{Z_0}{2A\sqrt{\pi Dt}} * e^{-\frac{x^2}{4Dt}}$$

**1D:**  $L_{Diff} = \sqrt{\langle R^2 \rangle} = \sqrt{2Dt}$   
**2D:**  $L_{Diff} = \sqrt{4Dt}$ ; **3D:**  $L_{Diff} = \sqrt{6Dt}$   
 $L$ : Diffusionslänge

### Bsp. Diffusion im Zylinder aus den Übungen

**Bemerkung:** Proteinkomplex  
 $D_K \approx \frac{1}{2} D_P$

Annahme: Sphäre

$$D = \frac{k_B T}{6\pi\eta r} \propto \frac{1}{r}; \quad \tau_K \approx 2\tau_P; \quad M = \rho V \propto r^3$$

$$\Rightarrow m_K \approx 8m_P$$

$\eta \uparrow \Rightarrow$  zähflüssiger

### 2.1.3 Wärmetransport

$$\Phi_{\text{Wärme}} = -\kappa \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial Q}{\partial EA}$$

$\kappa$ : Wärmeleitfähigkeit;  $\kappa \uparrow \Rightarrow \Phi_{\text{Wärme}} \uparrow$   
 für **einatomige** Gase:

$$\kappa = \frac{\langle v \rangle k_B}{2\sigma} = \frac{N\lambda \langle v \rangle k_B}{2} \quad k_B = \frac{2\kappa}{3DN}$$

### 2.1.4 Viskosität

$$\eta = \frac{N\lambda \langle v \rangle m}{3} = \frac{\langle v \rangle m}{3\sigma} \quad [\eta] = \frac{\text{kg}}{\text{ms}} \quad \kappa = \frac{3}{2} \frac{\eta k_B}{m}$$

## 2.2 Transport durch Zellmembran

Im allgemeinen unterscheidet man zwischen folgenden Arten von Transport

- Diffusion hydrophober/lipophiler Moleküle
- Diffusion hydrophiler/lipophober Moleküle
- Proteinvermittelter Transport
  - passiver Transport
  - aktiver Transport

## 2.2.1 Aktiver Transport

Konzentration und Membranpotential aussen grösser.

- **primär:** Energie aus chemischen Reaktionen (ATP, ...)
- **sekundär:**  $V_m$ , Cotransport

### Bsp. sekundärer Glucose-Na<sup>+</sup>-Transport

$$\Delta G_{\text{Gluc}} > 0 \rightarrow \text{nicht spontan}$$

$$\Delta G_{\text{Na}^+} < 0 \rightarrow \text{spontan}$$

$$\Delta G_{\text{Gluc}} + \Delta G_{\text{Na}^+} = \Delta G_{\text{Total}} < 0$$

$$\Rightarrow \Delta G_{\text{Na}^+} < -\Delta G_{\text{Gluc}}$$

$$\Delta G \propto \Delta \mu$$

$$\Delta \tilde{\mu}_i = \Delta \mu_{i,therm./chem.} + \Delta \mu_{i,elek.} = RT \ln \left( \frac{c''}{c'} \right) + zF(\varphi'' - \varphi')$$

$z$ : Molekülladung;  $F$ : Faraday-Konstante;  $pH = -\log_{10}[H^+]$

### 2.2.2 Passiver Transport

Konzentration und Membranpotential innen grösser.

2-Phasensys.: H<sub>2</sub>O und Lipide → Sprung an Membrangrenze

$$\gamma = \frac{c'_m}{c'_w} = \frac{c''_m}{c''_w} \quad P = \frac{D\gamma}{d}$$

$\gamma$ : Verteilungskoeffizient (Verhältnis der Teilchendichte in Membran und im Wasser);  $d$ : Membrandicke;  $P$ : Permeabilitätskonstante;  
 $P \uparrow \Rightarrow \Phi \uparrow$

$$\Phi_{\text{innen}} = -D \frac{\partial c}{\partial x} \stackrel{\text{Ann.}}{=} -D \frac{c'_m - c''_m}{d} = -\frac{D\gamma}{d} (c'_w - c''_w)$$

$$\Phi_{\text{über}} = P(c'_w - c''_w) \quad \Phi_{\text{über}} = \Phi_{\text{innen}}$$

**Zeitliche Veränderung der Innenkonzentration:** Annahme, dass Aussenkonzentration konstant

$$V \frac{dc''_w(t)}{dt} = P(c'_w - c''_w)$$

$$V dc''_w(t) = PA(c'_w - c''_w) dt$$

$$\frac{dc''_w(t)}{(-c'_w - c''_w(t))} = -\frac{PA}{V} dt$$

$$\int \dots dc''_w = \int \dots dt$$

$$\int_{c''_w(0)}^{c''_w(t)} \frac{dc''_w(t)}{c''_w - c'_w} = -\int \frac{PA}{V} \int_0^t 1 dt$$

$$\ln \frac{c''_w(t) - c'_w}{c''_w(0) - c'_w} = -\frac{PA}{V} t$$

$$\Rightarrow c''_w(t) = c'_w (1 - e^{-\frac{PA}{V} t})$$

### 2.3 Osmose

Zwei Kompartimente mit unterschiedlichen Konzentrationen vom Osmolyten sind durch eine für das Lösungsmittel semipermeable Membran getrennt. **Osmose** ist der Fluss des Lösungsmittels vom Kompartiment mit der niedrigeren zu demjenigen mit der höheren Konzentration.

#### 2.3.1 Osmotischer Volumenfluss

$$J_V = L_p(\Delta p - \sigma k_B T \Delta N) \quad [J_V] = \frac{m^3}{m^2 s}$$

$$L_p \approx 10^{-7} \frac{m}{bar \cdot s}; \quad 0 < \sigma < 1 \text{ (bei 1 Membran undurchlässig)}$$

**GGW:**  $\Delta p = \sigma T R \Delta c$

#### 2.3.2 Teilchenflussdichte

$$\Phi = P \Delta N + N(1 - \sigma) J_V$$

Membran undurchlässig  $\rightarrow \sigma = 1 \Rightarrow \Phi = 0$

### 3 Membranpotential

$$\Phi_{Diff} = -D \frac{\partial N}{\partial x} \quad \Phi_{el} = -D \frac{qN}{k_B T} \frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{I}{qA}$$

Spannung:  $V = d\gamma = -Ed$  mit Potential  $\gamma$

#### Nernst-Planck-Gleichung

$$\Phi_{Total} = \Phi_{Diff} + \Phi_{el} = -D \left( \frac{\partial N}{\partial x} + \frac{qN}{k_B T} \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) = 0$$

**Nernst-Gleichung** (1 Ion):

$$V_m = \varphi_i - \varphi_a = \frac{RT}{F} \ln \frac{c^a}{c^i} = \frac{k_B T}{ze} \ln \frac{c^a}{c^i}$$

**Goldman-Gleichung** am Bsp.  $K^+, Na^+, Cl^-$ :

$$V_m = \frac{k_B T}{F} \ln \left( \frac{P_{K^+} c_{K^+}^a + P_{Na^+} c_{Na^+}^a + P_{Cl^-} c_{Cl^-}^i}{P_{K^+} c_{K^+}^i + P_{Na^+} c_{Na^+}^i + P_{Cl^-} c_{Cl^-}^a} \right)$$

$V_m$ : Membranpotential;  $P_i$ : Membranpermeabilitätskonstante

#### Gouy-Chapman-Theorie:

$$\varphi(x) = \varphi_0 e^{-\frac{x}{l_D}} \quad \varphi_0 = \frac{\sigma l_D}{\epsilon_0 \epsilon}$$

Debye-Länge:  $l_D = \frac{1}{F} \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon RT}{2c}} = \frac{1}{F} \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon RT}{2I}}$

$c$ : Ionenkonzentration;  $I$ : Ionenstärke

Plattenkondensator:  $c = \epsilon_0 \epsilon_1 \frac{A}{d}$

### 4 Transport durch und von Flüssigkeiten

#### 4.1 Braunsche Bewegung

$T \uparrow, \eta \uparrow, m \downarrow \Rightarrow$  Braun  $\uparrow$

### 4.2 Driftgeschwindigkeit

im GGW

$$\vec{F}_R = -f\vec{v}, \quad \vec{F}_{el} = q\vec{E} = z\epsilon_0 \vec{E}, \quad \vec{F}_R = -\vec{F}_{el} \Rightarrow v = \frac{qE}{f}$$

Reibungskoeffizient  $f = \frac{k_B T}{D} \quad [f] = \frac{kg}{s}$

**Annahme:** Teilchen ist Kugel

**Stoke-Einstein:**  $f = 6\pi\eta r$

$f \propto r \Rightarrow D = \frac{k_B T}{6\pi\eta r} \Rightarrow v = \frac{qE}{6\pi\eta r}$   $\eta$  ist der Wert des umgebenden Mediums (oft Wasser)

#### 4.3 SDS-Elektrophorese

SDS denaturiert Proteine; Ladung proportional zur Grösse

$$V_{Diff} = \frac{k_B T}{e} \frac{D_+ - D_-}{D_+ + D_-} \ln \left( \frac{c_1}{c_2} \right)$$

$V_{Diff}$ : Diffusionspotential

#### 4.4 Hagen-Poiseuille

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{\pi r^4}{8\eta} \frac{\Delta p}{\Delta z}$$

$$p = \rho L g \quad \frac{\eta}{t\rho} = K = \text{const.}$$

### 5 Sedimentation

Sedimentierende Teilche spüren drei Kräfte

- Gravitationskraft  $\vec{F}_G = m * \vec{g} = V \rho \vec{g}$
- Auftriebskraft (von verdrängter Wassermasse)  
 $\vec{F}_A = -m_{fl} * \vec{g} = -V \rho_{fl} \vec{g}$
- Reibungskraft  $\vec{F}_R = -f * v$

#### 5.1 Gravitative Sedimentation

**GGW:**  $\vec{F}_R + \vec{F}_G + \vec{F}_A = 0$

Sedimentationsgeschwindigkeit  $v_s = \frac{V(\rho - \rho_{fl})g}{f} = \text{const.}$

Sedimentationskoeffizient  $s = \frac{v_s}{g} = \frac{m(1 - \tilde{V}\rho_{fl})}{f}$   
 $[s] = S$  (1 Svedberg =  $10^{-13}s$ )

#### 5.2 Zentrifugation

$$a_{zp} = R\omega^2 \quad s = \frac{V(\rho - \rho_{fl})}{f}$$

### 5.3 Differentielle Ultrazentrifugation

$$v_s = \frac{dR}{dt}$$

$$s = \frac{\frac{dR}{dt}}{\omega^2 R} = \frac{V(\rho - \rho_{fl})}{f}$$

$$t = \frac{9}{2} \frac{\eta}{\omega^2 r^2} \ln \left( \frac{R_2}{R_1} \right)$$

#### 5.4 Massenbestimmung

Lambert-Beer:  $A_i \propto c$

##### 1) Analytische Ultrazentrifugation

$$m = \frac{s k_B T}{D(1 - \tilde{V}\rho_{fl})} \quad M = \frac{s R T}{D(1 - \tilde{V}\rho_{fl})} \quad s = \frac{\ln \left( \frac{R_2}{R_1} \right)}{\omega^2 (t_2 - t_1)}$$

**2) Gleichgewichts-Ultrazentrifugation:** Absorptionswerte können anstelle von Konzentrationen verwendet werden

$$m = \frac{2k_B T \ln \left( \frac{c_2}{c_1} \right)}{\omega^2 (1 - \tilde{V}\rho_{fl})(R_2^2 - R_1^2)}$$

**3) Diffusionsmethode:** Probleme: Kugel, Solvation Shell

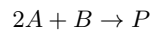
$$m = \tilde{\rho} V = \tilde{\rho} \frac{4}{3} \pi \left( \frac{k_B T}{D 6\pi\eta} \right)^3$$

$\tilde{\rho}$ : mittlere Protonendichte

**Vor- und Nachteile der Methoden:** Kugelannahme und  $\langle \tilde{v}, p \rangle$  führen je kleinen Fehler ein  $\rightarrow$  Stokes am ungenauesten; GGWUZF am besten, aber GGW-Einstellung kann lange dauern

	GGWUZF	AUZF	Stokes/E
Kugel	nein	nein	ja
$\langle \tilde{v}, p \rangle$	ja	ja	ja
D	nein	ja	ja

### 6 Kinetik



Reaktionsgeschwindigkeit  $v$

$$v = -\frac{1}{2} \frac{d[A](t)}{dt} = -\frac{d[B](t)}{dt} = \frac{d[P](t)}{dt} = k[A]^2[B]$$

$$[k] = \frac{1}{[\text{Konz.}]^{m-1} * s}$$

**Ordnung:** Summe der Exponenten; Experimentell zugänglich  
**Molekularität:** Wieviel Moleküle müssen gleichzeitig aufeinander treffen, damit die Reaktion stattfindet?  $\rightarrow$  Mechanismus  
**weit weg von GGW**  $\rightarrow$  keine Rückreaktion  $\rightarrow k_{-2} = 0$

### 6.1 Nullte Ordnung

unabhängig von Eduktkonzentration

Bsp.:  $A \xrightarrow{\text{Kat.}} B$   $\frac{d[A]}{dt} = -k_0$   
 $[A](t) = -k_0t + [A_0]$

### 6.2 Erste Ordnung

ein Edukt

$A \xrightarrow{k} B$   $\frac{d[A]}{dt} = -k[A]$   
 $\ln\left(\frac{[A]}{[A_0]}\right) = -kt$   $[A](t) = [A]_0 e^{-kt}$   
 $t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{k}$   $\tau = \frac{1}{k}$

t: Halbwertszeit;  $\tau$ : Lebenszeit (bis nur noch  $\frac{1}{e}$  der Ursprungskonzentration vorhanden sind)

### 6.3 Pseudo Erste Ordnung

Bsp.: Aspirin +  $H_2O \rightarrow \dots$   $-\frac{d[\text{Asp.}]}{dt} = k[\text{Asp.}][H_2O]$   
 mit  $k' = k[H_2O]$   $\Rightarrow -\frac{d[\text{Asp.}]}{dt} = k'[\text{Asp.}]$   
 $[H_2O] = 55M = \dots \frac{1}{s}$

### 6.4 Erste Ordnung mit Rückreaktion

$A \xrightleftharpoons[k_{-1}]{k_1} B$   $\frac{d[A]}{dt} = -\frac{d[B]}{dt} = -k_1[A] + k_{-1}[B]$   
 GGW:  $[A] = \text{const.}$   $\Rightarrow 0 = -k_1[A] + k_{-1}[B]$   
 $\Rightarrow k_1[A] = k_{-1}[B]$   $\Rightarrow \frac{k_1}{k_{-1}} = \frac{[B]}{[A]} = K$   
 $\tau = \frac{1}{k_1 + k_{-1}}$

K: Gleichgewichtskonstante der Reaktion

### 6.5 Zweite Ordnung

zwei Edukte

Bsp.:  $2A \rightarrow B$   $-\frac{1}{2} \frac{d[A]}{dt} = k_2[A]^2$   
 $\tau = \frac{1}{[A]_0 k_2}$   $\frac{1}{[A]} - \frac{1}{[A_0]} = k_2 t$

### 6.6 Diffusionskontrollierte Reaktion

Stoßrate = Reaktionsrate; Resultat in  $\frac{\text{m}^3}{\text{mol s}} \xrightarrow{*1000} \frac{\text{dm}^3}{\text{mol s}} = \frac{1}{\text{mol s}}$   
 $A + B \rightarrow AB$   $k_{Diff} = (D_A + D_B) * 4\pi(r_A + r_B)N_A$   
 $[k_{Diff}] = \frac{l}{\text{mol} * s}$   $10^9 < k_{Diff} < 10^{11}$

### 6.7 Parallelreaktion

$P_1 \leftarrow A \rightarrow P_2$   $\frac{d[A]}{dt} = -(k_1 + k_2)[A]$   
 $(k_{eff} = k_1 + k_2)$   $[A](t) = [A_0]e^{-k_{eff}t}$   
 $\frac{d[P_i]}{dt} = k_i[A]$   
 $\Rightarrow \frac{d[P_i]}{dt} = k_i[A_0]e^{-k_{eff}t}$   
 $\int d[P_i] = k_i[A_0] \int_0^t e^{-k_{eff}t} dt$   
 $[P_i] = \frac{k_i[A]_0}{k_{eff}} (1 - e^{-k_{eff}t})$

### 6.8 Folgereaktion

$A \xrightarrow{k_1} B \xrightarrow{k_2} C$   $\frac{d[A]}{dt} = -k_1[A]$   
 $\frac{d[B]}{dt} = k_1[A] - k_2[B]$   
 $\frac{d[C]}{dt} = k_2[B]$   
 $[A](t) = [A]_0 e^{-k_1 t}$

**Annahme:** Stationärer Zustand für B (oft bei instabilen Zwischenprodukten)

$\frac{d[B]}{dt} \approx 0 \Rightarrow k_1[A] = k_2[B]$   
 $\Rightarrow [B] = \frac{k_1}{k_2}[A] = \frac{k_1}{k_2}[A]_0 e^{-k_1 t}$   
 $\Rightarrow \frac{d[C]}{dt} = k_1[A]_0 e^{-k_1 t}$

### 6.9 Temperaturabhängigkeit

$A + B \xrightarrow{k(T)} C$   $T \uparrow \Rightarrow k \uparrow$   
**Arrhenius:**  $k(t) = A e^{-\frac{E_a}{RT}}$

$E_a = R \ln\left(\frac{k_2}{k_1}\right) \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1}$   $\ln(k(t)) = \ln(A) - \frac{E_a}{RT}$

$\ln(k(t)) - \frac{1}{T}$ -Plot mit Steigung  $-\frac{E_a}{R}$ , Achsenabschnitt  $\ln(A)$

### 6.10 Theorie des Übergangszutands

Reaktion mit instabilem Zwischenprodukt / Übergangszutand  $AB^*$

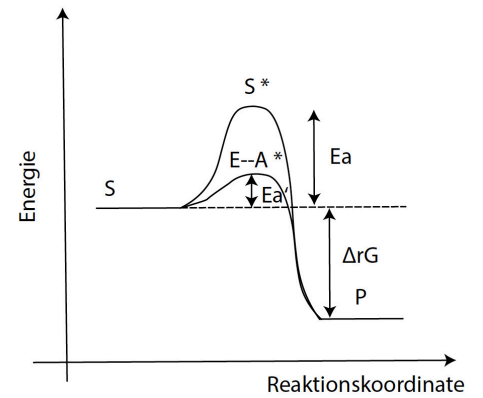
$A + B \xrightleftharpoons{K^*} AB^* \xrightarrow{k^*} P$   
 $\frac{k_1}{k_{-1}} = K^* = e^{-\Delta G_0^*/RT}$   
 $k(T) = \frac{k_B T}{h} * e^{\Delta S_0^*/R} * e^{-\Delta H_0^*/RT}$

Plank'sche Konstante  $h = 6.626 070 040 \times 10^{-34} \frac{J}{s}$

### 6.11 Michaelis-Menten (Enzymreaktion)

$k_2 = k_{cat}$ : Umsatzrate in  $\frac{1}{s}$ ; **Annahme 1:** kein  $k_{-2}$

$E + S \xrightleftharpoons[k_{-1}]{k_1} ES \xrightarrow{k_2} P$   
 $\frac{d[E]}{dt} = \frac{d[S]}{dt} = -k_1[E][S] + k_{-1}[ES]$   
 $\frac{d[ES]}{dt} = k_1[E][S] - k_{-1}[ES] - k_2[ES]$   
 $\frac{d[P]}{dt} = k_2[ES]$



**Annahme 2:** stationärer Zustand für ES  $\frac{d[ES]}{dt} \approx 0$   
 $\Rightarrow$  Michaelis-Menten-Konstante

$$\frac{[E][S]}{[ES]} = \frac{k_{-1} + k_2}{k_1} = K_M$$

**Annahme 3:**  $[E]_0 = [E] + [ES]$

$$v_P = \frac{k_2[S][E]_0}{K_M + [S]}$$

$v_{max} = k_2[E]_0$   
 $\rightarrow v_P = \frac{v_{max}[S]}{K_M + [S]}$   
 Fall 1:  $[S] \gg K_M$   $v_P = \frac{v_{max}[S]}{[S]} = v_{max}$   
 Fall 2:  $[S] \ll K_M$   $v_P = \frac{v_{max}[S]}{K_M}$   
 Fall 3:  $[S] = K_M$   $v_P = \frac{v_{max}}{2}$

Fall 1: Reaktion 0. Ordnung; Fall 2: Reaktion 1. Ordnung

### 6.11.1 Lineweaver-Burk

Linearisierung der Michaelis-Menten Gleichung:

$$\frac{1}{v_p} = \frac{1}{v_{max}} + \frac{K_M}{v_{max}} \frac{1}{[S]}$$

In einem  $\frac{1}{v_p} - \frac{1}{[S]}$ -Plot findet man eine Gerade mit Steigung  $\frac{K_M}{v_{max}}$  und Achsenabschnitt  $\frac{1}{v_{max}}$ .

### 6.11.2 Inhibition

Art	$v'_{max}$	$K'_M$
keine	$v_{max} = k_2[E]_0$	$K_M = \frac{k_{-1} + k_2}{k_1}$
kompetitiv	$v_{max}$	$K_M(1 + \frac{[I]}{K_I})$
unkompetitiv	$\frac{v_{max}}{1 + \frac{[I]}{K_I}}$	$\frac{K_M}{1 + \frac{[I]}{K_I}}$
nicht-kompetitiv	$\frac{v_{max}}{1 + \frac{[I]}{K_I}}$	$K_M$

## 7 Bindungslängen

Bindung	Länge [pm]
$C - C$	154
$C - H$	109
$C = O$	148