

Lösungsblatt Physikalische Chemie

Prüfungstag 08.08.2012

Bitte beachten Sie

- Erlaubt sind alle schriftlichen Unterlagen, die Sie selbst mitgebracht haben.
- Erlaubt ist ein Taschenrechner.
- Alle Hilfsmittel, die nicht explizit erlaubt sind, sind verboten!
- Alle Arten von Informationsaustausch (elektronisch oder anders) sind verboten!
- Bitte schalten Sie ihr Mobiltelefon ab.
- Wenn Sie eine Frage haben, heben Sie die Hand. Ein Assistent kommt dann zu Ihnen.
- Dauer der Klausur ist **2 Stunden**.
- Für die Bestnote müssen nicht alle Aufgaben gelöst werden.
- Am Anfang jeder Aufgabe finden Sie jeweils die dafür erreichbare Maximalpunktzahl.
- Der Weg ist das Ziel; daher wird der Weg und nicht nur das Ergebnis bewertet.
- Kommentieren Sie bitte ihre Ansätze.
- Falls Sie wissen, dass Ihr Ergebnis falsch ist, schreiben Sie dies bitte dazu. So geben Sie uns zu verstehen, dass Sie sich des Fehlers bewusst sind. Dies wird in entsprechender Weise berücksichtigt.
- Zu jeder Rechnung gehört eine Einheitenkontrolle. Sollte diese fehlen kann nicht die volle Punktzahl erzielt werden.

Folgende Größen könnten bei der Lösung der Aufgaben hilfreich sein:

Avogadro-Konstante	N_A	$6.02214 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}$
Boltzmannkonstante	k_B	$1.38066 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$
Gaskonstante	R	$8.31451 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$
Elementarladung	e_0	$1.60218 \cdot 10^{-19} \text{C}$
Elektrische Feldkonstante	ϵ_0	$8.85419 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}}{\text{Vm}}$
Faraday-Konstante	F	$9.64853 \cdot 10^4 \frac{\text{C}}{\text{mol}}$
Dichte von Wasser	ρ_{H_2O}	$998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Viskosität von Wasser	η_{H_2O}	$0.9 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$
durchschnittliche Lipiddichte	$\bar{\rho}_{Lipid}$	$1.1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
durchschnittliche Proteindichte	$\bar{\rho}_{Prot}$	$1.4 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
durchsch. spezif. Volumen eines Proteins	\bar{V}_{Prot}	$0.73 \pm 0.02 \frac{\text{cm}^3}{\text{g}}$
durchsch. Gewicht einer Aminosäure	\bar{m}_{As}	115 Da
Svedberg	S	1S = 10^{-13} s
Masseneinheit Dalton	Da	1Da = $1.66 \cdot 10^{-27}$ kg

1 Theorie (7 Punkte)

- Beschreiben Sie auf der Basis der Stosstheorie wieso die Reaktion 2. Ordnung $A + A \xrightleftharpoons[k_{-1}]{k_1} P$ das Gleichgewicht schneller erreicht als die Reaktion 2. Ordnung $A + B \xrightleftharpoons[k_{-1}]{k_1} P$ wenn die Anfangskonzentrationen $[A]_0$ und $[B]_0$ so gewählt werden, dass die Endkonzentrationen des Produktes $[P]_{t \rightarrow \infty}$ bei beiden Reaktionen gleich sind. (1 Pkt)
Bei $A+A$ führt jeder Stoss zu einer möglichen Reaktion, währenddessen bei $A+B$ ein Zusammenstoß von A mit A nicht zu einer Reaktion führt -> doppelt so schnelle Reaktion
- Vergleichen Sie die Gel-Elektrophorese mit der analytischen Ultrazentrifugation in Bezug zu Proteincharakterisierung (z. Bsp. Proteinmasse), und Proteinauftrennung unter Verwendung der physikalischen Grundlagen der Methoden. (1 Pkt)
Molekülmassenbestimmung nur durch analytische Ultrazentrifugation. Protein-Auftrennung durch SDS Gel, analytische Ultrazentrifugation braucht sauberes Material, keine Auftrennung möglich, Ultrazentrifugation braucht Masse zur Auftrennung, SDS Gel auch, aber nicht exakt. Auf dem SDS Gel wird das Protein geladen mit SDS und dann in einem E-Feld fortbewegt, in Ultrazentrifugation ist es die ω -Beschleunigung.
- Um das Membranpotential einer Zelle zu messen werden Elektroden mit hoher KCl Konzentration verwendet. Wieso? (1 Pkt) *hohe Konzentration, damit KCL das Membranpotential bestimmt, K^+ and Cl^- Ionen weil ähnliche Diffusionskoeffizienten und gleichwertig...*
- Die Wärmeleitfähigkeit ist gegeben durch $\kappa = \frac{1}{2} N_0 \lambda \langle v \rangle k_B$. Die Wärmeleitfähigkeit ist aber nicht von der Konzentration der Teilchen (N_0) abhängig. Wieso? (1 Pkt)
siehe Skript, d.h. bei Verdopplung der Konzentration N_0 wird die freie Weglänge halbiert und darum ändert sich nicht. Man kann die Wärmeleitfähigkeit auch anders schreiben mittels des Stossquerschnittes, dann fällt N_0 weg.
- Bei der Michaelis-Menten Kinetik mit $E + S \xrightleftharpoons[k_{-1}]{k_1} ES \xrightarrow{k_2} E + P$ wird die Näherung des stationären Zustandes für $[ES]$ angenommen, welcher annimmt, dass $\frac{d[ES]}{dt} = 0$ und somit $[ES](t) = \text{konstant}$ ist. Die Michaelis-Menten Gleichung ergibt aber $[ES](t) = \frac{[S](t)[E]_0}{K_M + [S](t)}$. Erklären Sie bitte diese anscheinende Diskrepanz. (1.5 Pkt)
Bei hoher Substratkonzentration $[S](t) > K_M$ wird $[ES](t) = \text{const}$ und dann stimmt die Näherung. Ansonsten nimmt man an, dass ES nur in sehr geringer Menge vorhanden ist. Dies ist richtig falls $[S](t)$ sehr gering und $[E]_0$ sehr gering, dann ist $[ES](t)$ viel kleiner als $[S](t)$ und $[P](t)$.
- Wieso ist eine Reaktion erster Ordnung mit Rückreaktion schneller im Gleichgewicht als dieselbe Reaktion ohne Rückreaktion (mit mathematischer Erklärung). Ist diese Beobachtung auch bei einer Reaktion zweiter Ordnung richtig? (1.5 Pkte)
Anhand der mathematischen Formeln der Reaktionsgeschwindigkeit sieht man sofort, dass die Exponenten der Reaktion mit Rückreaktion höher sind ($k_1 + k_{-1}$) vs. k_1 . Argumentativ, kann man schreiben, dass bei einer Reaktion mit Rückreaktion nicht alle Edukte reagieren müssen, um ins GG zu kommen.

2 Carbonic Anhydrase (1. Teil) (11 Punkte)

Das 29 kDa schwere Protein Carbonic Anhydrase (CA) katalysiert die Reaktion von Kohlendioxid (CO_2) und Wasser zu Bicarbonate (HCO_3^-) und Protonen (H^+). Die Messungen bei $\vartheta = 25^\circ\text{C}$ ergeben eine k_{cat} von 1×10^6 1/s und eine Michaelis-Menten Konstante K_M von 1.2×10^{-2} M.

- Schreiben Sie einen möglichen Reaktionsablauf indem Sie alle beteiligten Reaktanden einbeziehen. Nennen Sie auch die Ordnungen der Teilreaktionen. (1 Pkt)
Carbonic Anhydrase = E, Kohlendioxid = C, Wasser = W, Bicarbonate = B, Proton = H

$$E + C + W \xrightleftharpoons[k_{-1}]{k_1} E \cdot C \cdot W \xrightleftharpoons[k_{-2}]{k_2} E + B + P$$

2. Schreiben Sie alle dazugehörigen Differentialgleichungen auf. (1.5 Pkte)

$$\begin{aligned}\frac{d[E]}{dt} &= -k_1[E][C][W] + (k_{-1} + k_2)[E \cdot C \cdot W] - k_{-2}[E][B][P] \\ \frac{d[C]}{dt} &= \frac{d[W]}{dt} = -k_1[E][C][W] + k_{-1}[E \cdot C \cdot W] \\ \frac{d[ECW]}{dt} &= k_1[E][C][W] - (k_{-1} + k_2)[E \cdot C \cdot W] + k_{-2}[E][B][P] \\ \frac{d[B]}{dt} &= \frac{d[P]}{dt} = k_2[E \cdot C \cdot W] - k_{-2}[E][B][P]\end{aligned}$$

3. Welche drei vernünftigen Annahmen kann man machen, um den Reaktionsverlauf und die dazugehörigen Differentialgleichungen zu vereinfachen? (1 Pkt)

$$\begin{aligned}H_2O \text{ und } H^+ \text{ Sättigung... } \frac{d[W]}{dt} &= \frac{d[P]}{dt} = 0 \\ \text{Kein Rückreaction... } k_{-2} &= 0 \\ \text{Näherung des stationären Zustandes... } \frac{d[ECW]}{dt} &= 0\end{aligned}$$

Für Aufgabenteil 4 - 8 wird nun angenommen, dass die besprochene Reaktion der Michaelis-Menten Kinetik folgt.

4. Wie gross ist die maximale Ratenkonstante der dazugehörigen pseudo 2. Ordnung Reaktion bei kleiner Substratkonzentration? (1 Pkt)

$$k = k_{cat}/k_M = 8.3 \times 10^7 \text{ s}^{-1}\text{M}^{-1}$$

5. Können Sie abschätzen ob diese Reaktion beinahe diffusionskontrolliert ist (total 3.5 Pkte)?

Diese Aufgabe lösen wir in fünf Unteraufgaben:

- (a) Sie müssen zuerst den Radius dieses Proteins abschätzen, in dem Sie die mittlere Dichte eines Proteins verwenden und annehmen, dass das Protein eine Kugel ist. (0.5 Pkte)

$1\text{Da} = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$ \therefore $29\text{kDa Protein ist } 4.8 \times 10^{-20} \text{ g schwer. Mit die mittlere Protein-dichte (Masse/Volumen) von } 1.4 \text{ g/cm}^3 \text{ und die Volumen eine Kugel haben wir } 1.4 \text{ g/cm}^3 = 4.8 \times 10^{-20} \text{ g}/\frac{4}{3}\pi r^3 \text{ oder}$

$$r = \sqrt[3]{\frac{\frac{3}{4}\pi \cdot 4.8 \times 10^{-20} \text{ g}}{1.4 \text{ g/cm}^3}} = 4.3 \times 10^{-9} \text{ m}$$

- (b) Unter der Annahme, dass das Protein kugelförmig ist, können Sie jetzt aus dem Radius den Diffusionskoeffizienten in Wasser bei $T = 25^\circ\text{C}$ bestimmen. Vergleichen Sie Ihren geschätzten Wert mit dem experimentell bestimmten Wert von $6 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$ und argumentieren Sie. (1 Pkt)

$$D = kT/6\pi\eta r = 5.6 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s} \text{ mit } \eta_{H_2O} = 0.9 \times 10^{-3} \text{ kg/m s}, k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}, T = 298 \text{ K}$$

- (c) Schätzen Sie den Radius von CO_2 . (0.5 Pkte)

$O=C=O$ hat ungefähr einen Radius von $0.1\text{-}0.2 \text{ nm}$.

- (d) Berechnen Sie jetzt mittels der ermittelten Diffusionskonstanten des Proteins (oder der gegebenen Diffusionskonstante von $6 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$), der gegebenen Diffusionskonstante von CO_2 von $1.8 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$, sowie der ermittelten Radien die diffusionslimitierte Rate, und vergleichen Sie diese mit der unter (4) berechneten Rate. (1 Pkt)

$$\begin{aligned}k_{diff} &= (D_E + D_C) 4\pi (r_E + r_C) N_A \\ &= (6 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s} + 1.8 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}) 4\pi (4.3 \times 10^{-7} \text{ cm} + 0.2 \times 10^{-7} \text{ cm}) 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}\end{aligned}$$

nicht ganz aber fast diffusionskontrolliert!!

- (e) Wieso könnte man die Diffusionskonstante vom Protein in (d) vernachlässigen (0.5 Pkte)?

Weil $D_C \gg D_E$. Die Reaktionsrate ist dann vor allem abhängig vom kleinen Molekule, das diffundiert schnell

6. Was sind die maximalen Reaktionsgeschwindigkeiten der Carbonic Anhydrase bei einer Enzymkonzentration von $1 \mu\text{M}$ und $10 \mu\text{M}$. Interpretieren Sie die Resultate. (1 Pkt)

$v_{max} = k_{cat}[E]_0 = 1 \times 10^6 \text{ s}^{-1} \cdot 1 \times 10^{-6} \text{ M} = 1 \text{ M/s}$ (oder 10 M/s). *vmax proportional zu der Enzymkonzentration, jedes Enzym ist mit Substrat geladen und arbeitet.*

7. Bei welcher Konzentration von CO_2 ist die Reaktionsgeschwindigkeit $\frac{1}{2}v_{max}$ bei einer Enzymkonzentration von $1 \mu\text{M}$ und $10 \mu\text{M}$. Interpretieren Sie die Lösungen zueinander? (1 Pkt)
Bei $[C] = K_M = 1.2 \times 10^{-2} \text{ M}$. Das v_{max} ist abwesend in der Formel und spielt daher keine Rolle. Bei 10mal höherer Enzymkonzentration wird eben auch das v_{max} und $\frac{1}{2} v_{max}$ 10 mal höher, aber es braucht immernoch gleichviel C.
8. Wenn während der Reaktion von 1 ml 1 nM Carbonic Anhydrase durch konstante Zufuhr die CO_2 Konzentration bei 50 mM konstant gehalten wird, wieviel Bsicarbonate entsteht nach 10 Minuten? (1 Pkt)
 $v = \frac{k_{cat}[C][E]_0}{K_M + [C]} = 8 \times 10^{-4} \text{ M/s}$
*in 10 min: $v \cdot 10 \text{ min} \cdot 60 \text{ s/min} = 0.48 \text{ M}$
 in 1ml: $0.48 \text{ M} \cdot 0.001 \text{ l} = 4.8 \times 10^{-4} \text{ mol}$*

3 Inhibitoren von Carbonic Anhydrase (2. Teil) (5 Punkte)

Die Michaelis-Menten Reaktion der Carbonic Anhydrase wurde in Aufgabe zwei besprochen ($k_{cat} = 1 \times 10^6 \text{ 1/s}$, $K_M = 1.2 \times 10^{-2} \text{ M}$ bei $T = 25^\circ\text{C}$). Es gibt Carbonic Anhydrase Inhibitoren, die als Medikamente gegen Glaucoma eingesetzt werden. Wir schauen uns die folgenden zwei Inhibitoren an:

	Löslichkeit in Wasser	Transcorneal Permeabilität	K_I
Methasolamide	4 mM	0.5 cm/h	7 nM
Ethoxzolamide	0.04 mM	20 cm/h	0.5 nM

- Vergleichen Sie die aufgelisteten Eigenschaften der Inhibitoren und kommentieren Sie. (1 Pkt) *M ist 100 mal wasserloeslicher als E, aber 40 mal weniger permeable durch die Cornea und 7 mal weniger potent in der Inhibierung*
- In der Krystallstruktur sieht man, wie der Inhibitor Methasolamide in der Naehe des Zn^{2+} Ions bindet, welches die aktive Stelle des Enzymes ist. Aufgrund dieser strukturbioologischen Daten, um was für einen Inhibitor handelt es sich? (0.5 Pkte)
Kompetitiver Inhibitor, da an aktive Stelle gebunden.
- Aufgrund der in (2) bestimmten Typ von Inhibitor, bestimmen Sie die apparenten Grössen v'_{max} und K'_M bei einer Methasolamidekonzentration von $7 \mu\text{M}$ und einer Enzymkonzentration von $1 \mu\text{M}$ (Falls Sie keine Antwort für (2) geben konnten, so wählen Sie einen beliebigen Typ von Inhibitor für diese Rechnung). (1 Pkt)
bei kompetitiven Inhibitor ist $v'_{max} = v_{max} = k_2 E_0 = 1 \text{ M/s}$ das

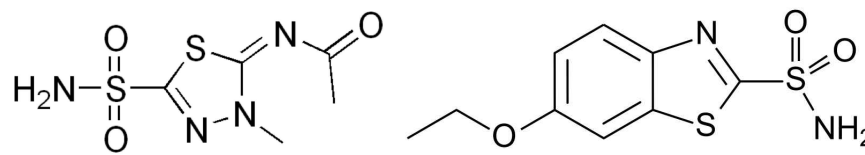
$$K'_M = K_M \left(1 + \frac{c_I}{K_I}\right) = 1.2 \times 10^{-2} \text{ M} \left(1 + \frac{7 \times 10^{-6} \text{ M}}{7 \times 10^{-9} \text{ M}}\right) = 12 \text{ M}$$

- Unter der Annahme, dass der relative Unterschied der Wasserlöslichkeit der beiden Inhibitoren (Tabelle oben) umgekehrt proportional zum relativen Unterschied des Membran-Wasser Verteilungsgleichgewichts ist, berechnen Sie den relativen Unterschied der Permeabilitaetzkoeffizienten der beiden Inhibitoren. Vergleichen Sie Ihren berechneten Wert mit den ermittelten Werten in der Tabelle für transcorneale Permeabilität. (1 Pkt)

$$\frac{\gamma_{\text{Methasolamide}}}{\gamma_{\text{Ethoxzolamide}}} = \frac{1}{100} \rightarrow P_{\text{Ethoxzolamide}} = 100 P_{\text{Methasolamide}}$$

aber experimentel gibt es nur 40 fachen Unterschied. Ist aber fast o.k.

- Bitte begründen Sie den aus der Tabelle entnommenen grossen Unterschied im Permeabilitätskoeffizienten von Faktor 40 der beiden Inhibitoren qualitativ mittels den chemischen Strukturen in Abbildung 1. (1 Pkt)
E hat einen aromatischen Ring und ist daher viel hydrophober als M.....



Methazolamide

Ethoxzolamide

Abbildung 1:

4 Das Molekulargewicht des Membranproteins Cytochrome C oxidase (5 Punkte)

Das 252 Aminosäuren grosse Membranprotein Cytochrome C Oxidase von *P. dentificans* wird mit dem Detergenz LDAO aus der Membran gelöst und formt jetzt einen Detergenz-Membranprotein Komplex.

1. Erklären Sie bitte, wieso dieses Protein oder dieser Protein-Detergenzkomplexe unter einem elektrischen Feld in der SDS-Gel Elektrophorese wandert. Gilt die Nernst-Planck-Gleichung für die Proteinflussdichte bei der SDS-Gel Elektrophorese, und wenn ja in welchem Zusammenhang ist diese relevant? (1 Pkt)

SDS bindet an das Protein, entfaltet das Protein evtl. und drückt ihm die negative Ladung auf (bei allen Proteinen bindet etwa gleich viel SDS per residue). Im Falle eines Membranproteins ist es viel komplexer, weil SDS evtl. Detergenz ersetzt, und das Membranprotein nicht unbedingt entfaltet wird. Natürlich gilt die Nernst-Planck Gleichung. Wenn man das Gel zu langsam laufen laesst, oder zu lange rumstehen hat, gibt es Diffusion. Das E. Feld ist aber so stark, dass die Diffusion nach Fick eher klein ist (Unschärfe der Banden)

2. Kann man mit der SDS-Gel Elektrophorese herausfinden, in welchem molekularen Zustand (z. Bsp. Monomer oder Dimer) Cytochrome C Oxidase existiert (mit Erklärung)? (0.5 Pkte)

Nein, mit einem SDS Gel kann man im Allgemeinen den molekularen Zustand eines Proteins nicht bestimmen. Das Protein kann durch das SDS entfaltet werden. Bei einem Membranprotein kann das SDS auch das Detergenz ersetzen und das Protein im gefalteten Zustand belassen.

3. Die Sedimentationsgeschwindigkeit des Membranprotein-Detergenzkomplexes von Cytochrome C Oxidase wird nun in der analytischen Ultrazentrifuge in Wasser bei $T = 300\text{ K}$ gemessen. Der dazugehörige Sedimentationskoeffizient ist $s = 5.0\text{ S}$ und der Diffusionskoeffizient ist $9 \times 10^{-7}\text{ cm}^2/\text{s}$. Unter der Annahme, dass der Komplex ein Protein typisches spezifisches Volumen hat, berechnen Sie bitte das Molekulargewicht des Membranprotein-Detergenz Komplexes. (0.5 Pkte)

$$m = \frac{sRT}{D(1 - \tilde{V}_{\text{Protein}}\rho_{\text{Wasser}})} = \frac{5.0 \times 10^{-13}\text{ s} \cdot 1.38 \times 10^{-23}\text{ J/K} \cdot 300\text{ K}}{(9.0 \times 10^{-11}\text{ m}^2/\text{s})(1 - 7.3 \times 10^{-4}\text{ m}^3/\text{kg} \cdot 1000\text{ kg/m}^3)} = 8.52 \times 10^{-23}\text{ kg}$$

4. Können Sie aus dem in (3) bestimmten Wert den molekularen Zustand (z. Bsp. Monomer oder Dimer) von Cytochrome C Oxidase aufgelöst in Detergenzien bestimmen? (0.5 Pkte)

Aus der Aminosäurezusammensetzung ergibt sich $252\text{ aa} \cdot 115\text{ Da/aa} \cdot 1.66 \times 10^{-27}\text{ kg/Da} = 4.8 \times 10^{-23}\text{ kg}$ pro Monomer. As gäbe ein dimer, aber es hat ja noch Detergenzien da, wahrscheinlich etwa die Hälfte. Mit anderen Worten, man kann nicht sicher den Molekularen Zustand bestimmen.

5. Mittels der analytischen Ultrazentrifuge ist es möglich die exakte Masse nur des Membranproteins zu bestimmen. Erklären Sie bitte, wie man den Detergenzanteil in der Messung eliminieren kann. (0.5 Pkte)

Wenn das Detergenz die gleiche Dichte hat wie das Medium, sedimentiert dieses wie das Medium und ist daher neutral und trägt deshalb nichts zur Masse vom Protein-Detergenzkomplex bei.

6. Mit einer Lösungsmitteldichte von $\rho = 1.054\text{ g/cm}^3$ wurde der Membranprotein-Detergenzkomplex von Cytochrome C Oxidase in der analytischen Ultrazentrifuge bei $T = 300\text{ K}$ und $\nu = 6400\text{ rpm}$ mittels Gleichgewichtszentrifugation gemessen (Mayer et al., 1999). Die dazugehörige Messung ist

unten gezeigt (Abbildung 2). Die Absorption der Cytochrome C Oxidase (respektive, des an die Oxidase gebundenen Chromophores, y-Achse) wurde entlang des Zentrifugenbeckers (x-Achse, r ist der Radius weg von der Zentrifugenachse) gemessen. Entnehmen Sie zwei von Ihnen ausgesuchte Punkte und bestimmen Sie das Molekulargewicht von Cytochrome C Oxidase. (2 Pkte)

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{2\ln\left(\frac{N_2}{N_1}\right)kT}{\omega^2 (1 - \tilde{V}_{\text{Protein}}\rho_{\text{Lösungsmittel}}) (r_2^2 - r_1^2)} \\
 &= \frac{2\ln(0.8/0.1) \cdot 1.38 \times 10^{-23} \text{J/K} \cdot 300 \text{K}}{(2\pi 6400/60 \text{ 1/s})^2 (1 - 0.73 \text{ cm}^3/\text{g} \cdot 1.054 \text{ g/cm}^3) ((7.1 \times 10^{-2} \text{ m})^2 - (6.85 \times 10^{-2} \text{ m})^2)} \\
 &= 4.8 \times 10^{-23} \text{ kg} \quad (3.2 \times 10^{-23} \text{ kg})
 \end{aligned}$$

Ist also ein Monomer.

7. Nehmen Sie an, dass um Mitternacht ein Stromausfall passiert, kurz bevor die Messung gemacht worden wäre. Sie kommen am nächsten Morgen um 0900 Uhr ins Labor und bemerken dass die Zentrifuge gestoppt hat. Können Sie jetzt noch die Absorbtionsmessungen machen? Wie erwarten Sie, würde diese aussehen? (0.5 Pkte)

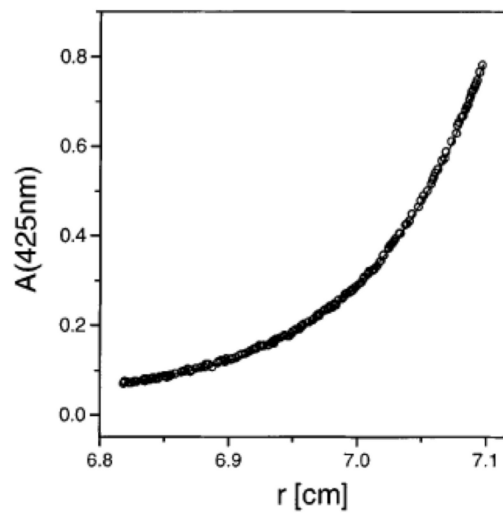


Abbildung 2: