

# Konzentrationsabhängigkeit der Grenzflächenspannung.

Anwendung der Maximaldruckmethode (Nasenmethode)

- A42 -

Versuch vom: 24. Juni 2011

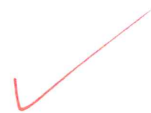
Tobias Reuz & Raphael Schmäger

Gruppe: 19

**SKIT**

Karlsruher Institut für Technologie  
Institut Physikalische Chemie

... **ein** **richtiges** **Masterprotokoll**  
**testen!**  
Betreuer: **April 2011 06/30**



## I Ziele und Durchführung.

Ziel des Versuchs ist es die Konzentrationsabhängigkeit der Grenzflächen-  
spannung zu bestimmen. Dazu verwendet man die sogenannte Blasenmethode.  
Die Konzentrationsabhängigkeit werde mit einer Methanol-Wasser-Gemisch unter-  
schiedlicher Konzentrationen bestimmt.

Bei der Blasenmethode wurde die Höhendifferenz der beiden Manometersäulen  
über die maximal-Stigöhe jeder Säule (rechte und linke), welche immer kurz  
vor dem Blasenaustritt aus der, in die Mischung eingetauchten, Kapillare, 10  
mal bestimmt und anschließend gemittelt. (siehe Auswertung). Folgender Vorgang wurde  
für unterschiedliche Molenbrüche durchgeführt.

## II Auswertung

### Teil 1: Tabelle

Die beigefügte (Excel-)Tabelle bietet einen Überblick über die gemessenen Werte, deren Fehler und deren berechneten Größen.

Zunächst müssen einige Werte den definierten Konstanten und vorgegebenen Messwerte gesetzt werden. Bei der Dichte von reinem Methanol und reinem Wasser handelt es sich um Werte bei  $T=20^\circ\text{C}$ . (Entnommen wurden diese aus der Vordruckbeschreibung). Für die gesamte Auswertung wollen wir annehmen, dass sich ~~die~~ in kleinen Temperaturbereichen, genauer gesagt zwischen  $T_1=20^\circ\text{C}$  und  $T_2=25^\circ\text{C}$ , die Dichte konstant verhält. Somit sei:  $\rho(20^\circ\text{C}) = \rho(23^\circ\text{C}) = \rho(25^\circ\text{C})$ . ... okay

Die Molaren Massen stammen aus Physik für Ingenieure (Details in Quellenangabe), Der Wert für die Erdbeschleunigung  $g$  stammt aus dem Kurslehrbuch Physikalische Chemie (auch hier, siehe Quellenangaben am Ende.).

Spalte 1 zeigt die gewünschten Zusammensetzungen des Methanol-Wassergemischs. In den nächsten 4 Spalten ist das real-angesetzte Mischungsverhältnis zu sehen. Für jeden Pipiervorgang wurde die Summe der Fehler der verwendeten Pipetten notiert.

### Teil 2: Berechnungen in der Tabelle

Der reale Massebruch <sup>-anteil</sup> berechnet sich durch:

$$w = \frac{\rho_M \cdot V_M}{\rho_M \cdot V_M + \rho_{H_2O} \cdot V_{H_2O}} \quad , M \text{ steht für Methanol}$$

Da  $V_M$  und  $V_{H_2O}$  fehlerbehaftete Größen sind ergibt sich für  $w$  eine Fehlerzahl nach der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung.

$$\Delta w = \sqrt{\left(\frac{\partial w}{\partial V_M} \cdot \Delta V_M\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial V_{H_2O}} \cdot \Delta V_{H_2O}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{p_M}{p_M \cdot V_M + p_{H_2O} \cdot V_{H_2O}} - \frac{p_M^2 \cdot V_M}{(p_M \cdot V_M + p_{H_2O} \cdot V_{H_2O})^2}\right)^2 \cdot \Delta V_M^2 + \left(\frac{p_M \cdot V_M \cdot p_{H_2O}}{(p_M \cdot V_M + p_{H_2O} \cdot V_{H_2O})^2}\right)^2 \cdot \Delta V_{H_2O}^2}$$

Analoges wurde für den Molbruch getan:

$$x_M = \frac{n_M}{n_M + n_{H_2O}} = \frac{\frac{p_M}{M_M} \cdot V_M}{\frac{p_M}{M_M} \cdot V_M + \frac{p_{H_2O}}{M_{H_2O}} \cdot V_{H_2O}} = \frac{c_1 \cdot V_M}{c_1 \cdot V_M + c_2 \cdot V_{H_2O}}$$

mit  $c_1 = \frac{p_M}{M_M}$  und  $c_2 = \frac{p_{H_2O}}{M_{H_2O}}$

$$\Rightarrow \Delta x_M = \sqrt{\left(\frac{c_1}{c_1 V_M + c_2 V_{H_2O}} - \frac{c_1^2 \cdot V_M}{(c_1 V_M + c_2 V_{H_2O})^2}\right)^2 \cdot \Delta V_M^2 + \left(\frac{-c_1 \cdot c_2 \cdot V_M}{(c_1 V_M + c_2 V_{H_2O})^2}\right)^2 \cdot \Delta V_{H_2O}^2}$$

Wie schon erwähnt, wurde die Höhendifferenz aus dem Wert der Höhe der Meniskusigkeit in rechter und linker Manometersäule bestimmt. Der in der Tabelle eingetragene Wert ist schon der Mittelwert aus 10 Messungen. Für weitere Details ist eine exemplarische Messreihe beigelegt.

Der Mittelwert berechnet sich wie folgt:

$$\bar{s} = \frac{1}{10} \cdot \sum_{i=1}^{10} d_i, \quad \text{wobei } d_i \text{ die einzelnen Differenzen sind.}$$

Standardabweichung:

$$\Delta s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^{10} (d_i - \bar{s})^2}$$

Die Dichte unserer Wasser-Methanol-Mischung wurde graphisch für unsere ausgerechneten Molbruchanteile bestimmt. Hier trat wieder die Näherung  $\rho(25^\circ\text{C}) = \rho(23^\circ\text{C})$  in Kraft. In der Spalte der Dichte wurde der Ablesefehler eingetragen.

Nun nächstes wird die Grenzflächenspannung von Wasser gegen Luft berechnet. Hierzu wird eine lineare Regression durch die gegebenen Werte aus der Versuchsdokumentation ( $\gamma$  bei verschiedenen Temperaturen) gemacht. Dadurch erhalten wir folgende Funktion:

$$\gamma_A = 0,02582 - 1,542 \cdot 10^{-4} \cdot T = a + b \cdot T$$

Einheiten?

Nun wollen wir  $\gamma_A(23^\circ\text{C})$  berechnen.  $T=23^\circ\text{C}$  war unser vor und nach dem Experiment gemessene Raumtemperatur. Wie in der Tabelle ersichtlich wollen wir für diesen Wert eine Abweichung von  $\pm 1,0\text{K}$  annehmen.

$$\Rightarrow \gamma_A(23^\circ\text{C}) = 0,02227 \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad \checkmark$$

Gauß'sche Fehlerfortpflanzung ergibt:

$$\Delta \gamma_A = \sqrt{\left(\frac{\partial \gamma_A}{\partial a} \Delta a\right)^2 + \left(\frac{\partial \gamma_A}{\partial b} \Delta b\right)^2 + \left(\frac{\partial \gamma_A}{\partial T} \Delta T\right)^2}$$

$$= \sqrt{\Delta a^2 + (T \Delta b)^2 + (b \cdot \Delta T)^2}$$

$$\Delta a = 3,7954 \cdot 10^{-5}$$

$$\Delta b = 1,6371 \cdot 10^{-6}$$

$$\Delta T = 1,0\text{K}$$

} Diese Werte sind aus der linearen Regression, welche Origin (v.8.5.16) gemacht hat. (siehe Schaubild)

$$\Rightarrow \Delta \gamma_A = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ m} \quad \checkmark$$

schön!

Unter Menisken steht außerdem  $h'$ . Dies ist die Eintauchtiefe der Kapillare, welche mit einer Schiebeline bestimmt wurde. Wir gehen hier von einem Fehler von 0,05 mm aus.

Nun können wir den Innenradius der Kapillare bestimmen.

$$\gamma_A = \frac{r}{2} (\rho_{H_2O} \cdot g \cdot \Delta h - \rho(c) \cdot g \cdot h')$$

$$\Rightarrow r = \frac{2\gamma_A}{\rho_{H_2O} \cdot g \cdot \Delta h - \rho_{H_2O} \cdot g \cdot h'}$$

mit  $\rho_{H_2O}(20^\circ C) = \rho_{H_2O}(23^\circ C)$  folgt:  $r = 4,22 \cdot 10^{-4} \text{ m}$

Fehler:  $\Delta r = \sqrt{\left(\frac{\partial r}{\partial \gamma_A} \Delta \gamma_A\right)^2 + \left(\frac{\partial r}{\partial (\Delta h)} \Delta (\Delta h)\right)^2 + \left(\frac{\partial r}{\partial h'} \Delta h'\right)^2}$

$$\Delta r = \sqrt{\left(\frac{2\Delta \gamma_A}{\rho_{H_2O} \cdot g \cdot (\Delta h - h')}\right)^2 + \left(-\frac{2\gamma_A \rho_{H_2O} \cdot g \cdot \Delta (\Delta h)}{(\rho_{H_2O} \cdot g \cdot (\Delta h - h'))^2}\right)^2 + \frac{2\gamma_A \cdot \rho_{H_2O} \cdot g \cdot \Delta h'}{(\rho_{H_2O} \cdot g \cdot (\Delta h - h'))^2}}$$

Zu guter Letzt können wir jetzt die Oberflächenspannung  $\gamma(c)$  in Abhängigkeit der Konzentration bestimmen.

$$\gamma = \frac{r}{2} (\rho_{H_2O} \cdot g \cdot \Delta h - \rho(c) \cdot g \cdot h')$$

$$\Rightarrow \Delta \gamma = \sqrt{\left(\frac{\partial \gamma}{\partial r} \Delta r\right)^2 + \left(\frac{\partial \gamma}{\partial \Delta h} \Delta (\Delta h)\right)^2 + \left(\frac{\partial \gamma}{\partial \rho(c)} \Delta \rho(c)\right)^2 + \left(\frac{\partial \gamma}{\partial h'} \Delta h'\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{1}{2} (\rho_{H_2O} \cdot g \cdot \Delta h - \rho(c) \cdot g \cdot h') \cdot \Delta r\right)^2 + \left(\frac{r}{2} \rho_{H_2O} \cdot g \cdot \Delta (\Delta h)\right)^2 + \left(-\frac{r}{2} g \cdot h' \Delta \rho(c)\right)^2 + \left(-\frac{r}{2} \rho(c) \cdot g \cdot \Delta h'\right)^2}$$

**Tabelle: Auswertung**

**Konstanten:** bei T=20°C Anmerkung: es wird die Dichte im Temperaturbereich von 20°C bis 25°C als Näherungsweise konstant angenommen.  
 bei T=20°C

- $\rho_{\text{Methanol}}$  7,91E+02 kg\*m<sup>-3</sup>
- $\rho_{\text{H}_2\text{O}}$  9,98E+02 kg\*m<sup>-3</sup>
- $M_{\text{Methanol}}$  3,20E-02 kg\*mol<sup>-1</sup>
- $M_{\text{H}_2\text{O}}$  1,80E-02 kg\*mol<sup>-1</sup>
- g 9,80665 m\*s<sup>-2</sup>

Quelle: Physik für Ingenieure  
 (siehe Quellenangabe)  
 Kurzlehrbuch PC

Fehler

- T 23 °C 1,0 K
- h' 4,35E-03 m 5,00E-05 m
- $\gamma_{\text{H}_2\text{O}}$  0,07227 Nm<sup>-1</sup> 1,6E-04 Nm<sup>-1</sup>
- r 4,22E-04 m 1,51E-06 m

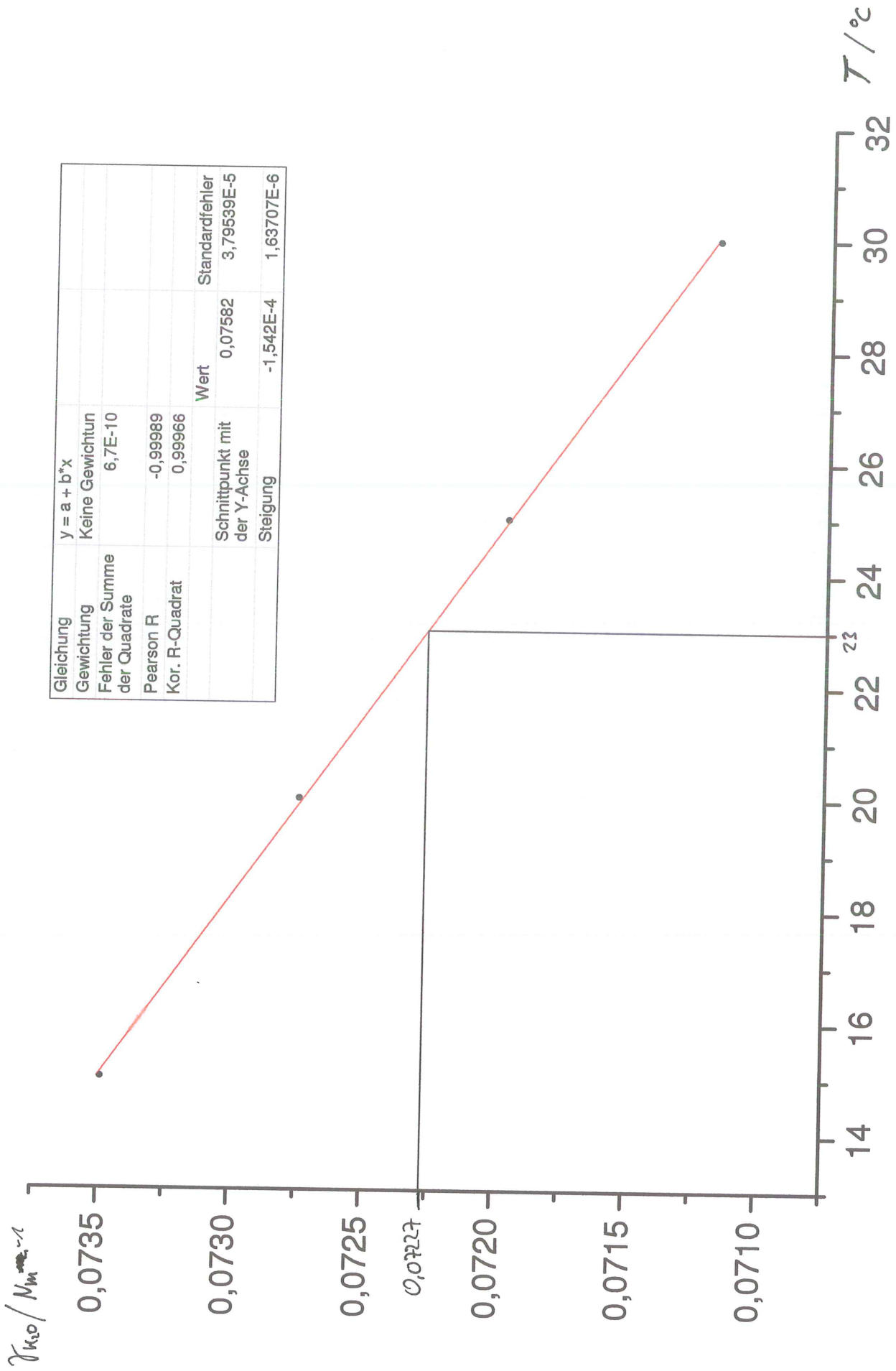
**Messwerte:**

**Methanol**

$w_{\text{M,soil}} / \%$	$V_{\text{H}_2\text{O}}$		Volumen / ml		reale Massebruch / 1		Molenbruch / 1		Höhendifferenz / m		Dichte H <sub>2</sub> O-CH <sub>4</sub> O / kg*m <sup>-3</sup>		Oberflächenspannung / Nm <sup>-1</sup>	
	Wert	Fehler	$V_{\text{Methanol}}$	Fehler	Wert	Fehler	Wert	Fehler	Mittelwert	Stabw.	Wert	Ablesefehler	Wert	Fehler
0	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0393	8,23E-04	998,2	0,00	7,22E-02	1,72E-03
5	37,50	0,13	2,50	0,08	5,02E-02	1,44E-03	2,89E-02	8,46E-04	0,0344	6,99E-04	989	1,00	6,22E-02	1,46E-03
15	32,70	0,08	7,30	0,08	1,50E-01	1,35E-03	9,05E-02	8,69E-04	0,0287	4,83E-04	973	1,00	5,05E-02	1,02E-03
25	28,20	0,08	11,80	0,08	2,49E-01	1,30E-03	1,57E-01	9,22E-04	0,0253	6,75E-04	959	1,00	4,36E-02	1,41E-03
50	17,80	0,10	22,20	0,03	4,97E-01	1,44E-03	3,57E-01	1,33E-03	0,0205	5,27E-04	916	1,00	3,41E-02	1,10E-03
75	8,00	0,05	32,00	0,18	7,60E-01	1,53E-03	6,41E-01	1,94E-03	0,0168	6,32E-04	856	1,00	2,70E-02	1,31E-03
100	0,00	0,00	-	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,0132	6,32E-04	791	1,00	2,01E-02	1,31E-03

sehr schön!

Lineare Regression - Grenzflächen-Spannung von Wasser gegen Luft





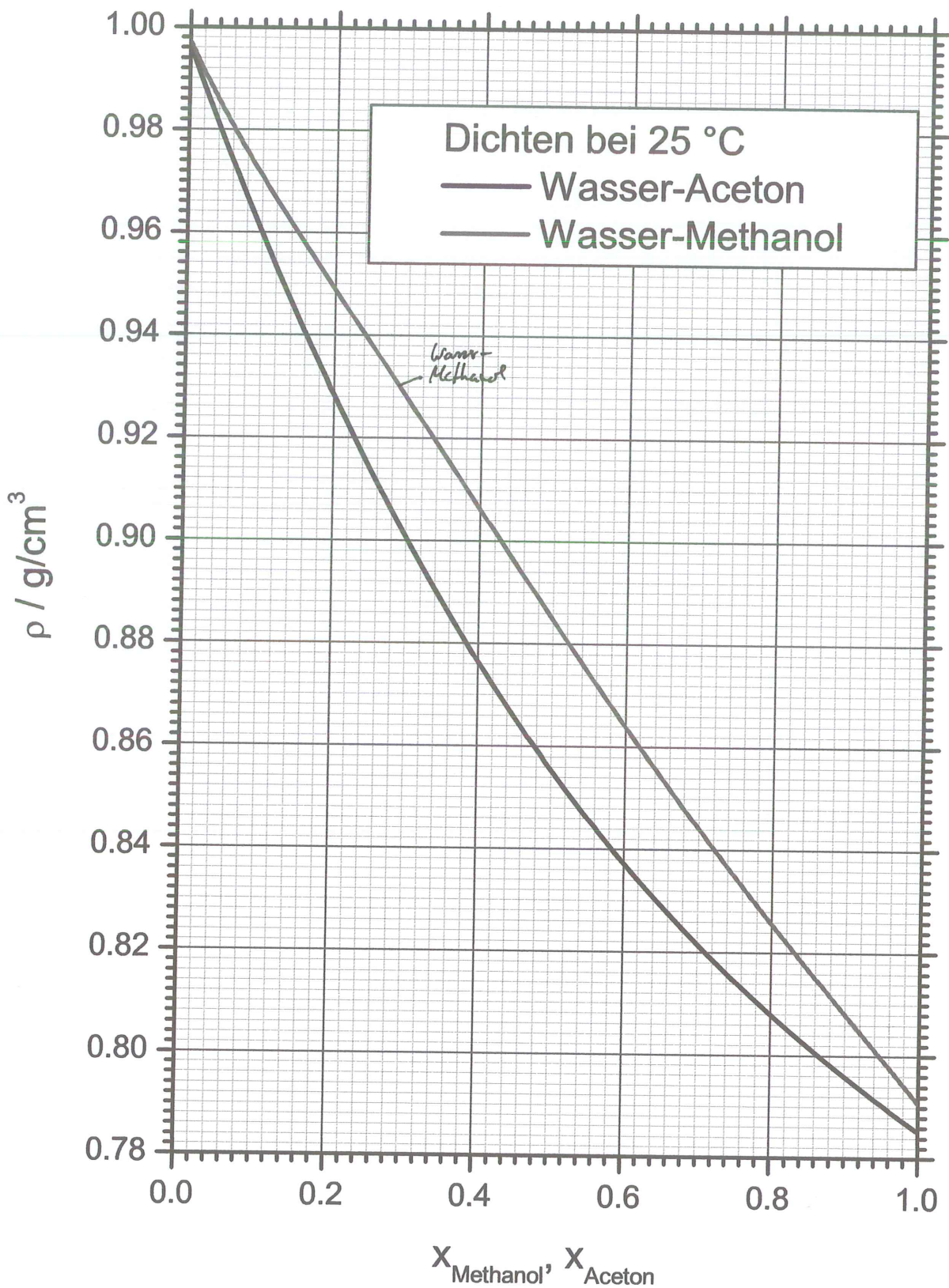


Abbildung 3:

## Teil 2: Aufgaben

Aufgabe 1) Die Oberflächenspannung wurde nun gegen den Mennebruch aufgetragen. Siehe Schaubild.

Aufgabe 2) a) Die Bestimmung der Szyzkowitschen Gleichung wurde mit Origin (Version 8.5.0.1.6) durchgeführt.

$$\gamma(x_D) = \gamma_A - a \cdot \ln(b x_D + 1)$$

Daraus ergeben sich, wie im Schaubild auch zu erkennen ist, folgende Werte für die Parameter a und b:

$$a = \cancel{0,01385} \pm \cancel{0,00135} \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$b = \cancel{41,31536} \pm \cancel{13,68867} \frac{1}{\text{g}} \quad (\text{Einheitslos})$$

$$a = 0,0138 \pm 3,438 \cdot 10^{-4} \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$b = 41,856 \pm 3,0883 \frac{1}{\text{g}} \quad (\text{Einheitslos})$$

b) Gibbsche Adsorptionsthermie

$$a = \frac{kT}{\sigma^0} \quad \text{und} \quad b = K$$

$$\theta = \frac{\Gamma \cdot A}{n_{0,\text{max}}} \quad \Rightarrow \quad \Gamma = \frac{\theta n_{0,\text{max}}}{A} \quad \text{mit} \quad n_{0,\text{max}} = \frac{A}{N_A \cdot \sigma^0}$$

$$\Rightarrow \Gamma = \frac{\theta}{N_A \cdot \sigma^0} \quad \text{mit} \quad \theta = \frac{K \cdot x_M}{1 + K \cdot x_M}$$

$$\Gamma = \frac{K \cdot x_M}{(1 + K \cdot x_M) (N_A \cdot \sigma^0)} = \frac{b x_M}{(1 + b x_M) (N_A \cdot \frac{kT}{a})}$$

$$\text{mit} \quad N_A \cdot k_B = R \quad \neq \neq$$

$$\Rightarrow \frac{bx_M}{(1+bx_M)\left(\frac{RT}{a}\right)} = \frac{a \cdot b \cdot x_M}{RT(1+bx_M)} = T$$

Der Fehler ergibt sich nun durch:

$$\begin{aligned} \Delta T &= \left[ \left( \frac{\partial T}{\partial a} \Delta a \right)^2 + \left( \frac{\partial T}{\partial b} \Delta b \right)^2 + \left( \frac{\partial T}{\partial x_M} \Delta x_M \right)^2 + \left( \frac{\partial T}{\partial T} \Delta T \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= \left[ \left( \frac{bx_M}{RT(1+bx_M)} \cdot \Delta a \right)^2 + \left( \left( \frac{ax_M}{RT(1+bx_M)} - \frac{abx_M^2 \cdot RT}{(RT(1+bx_M))^2} \right) \right)^2 \Delta b^2 \right. \\ &\quad \left. + \left( \frac{ab}{RT(1+bx_M)} - \frac{ab^2x_M \cdot RT}{[RT(1+bx_M)]^2} \right)^2 \cdot \Delta x_M^2 + \left( \frac{-abx_M}{T^2 R(1+bx_M)} \right)^2 \cdot \Delta T^2 \right]^{\frac{1}{2}} \end{aligned}$$

Konstanten<sup>†</sup>:  $R = 8,31447 \frac{J}{K \cdot mol}$  ;  $\Delta x_M = 0$

$0^\circ C \hat{=} 273,15 K \Rightarrow T = \cancel{296,3 K} 296,15 K$  ✓

$$T(x_M = 0,1) = 4,52 \cdot 10^{-6} \frac{mol}{m^2}$$

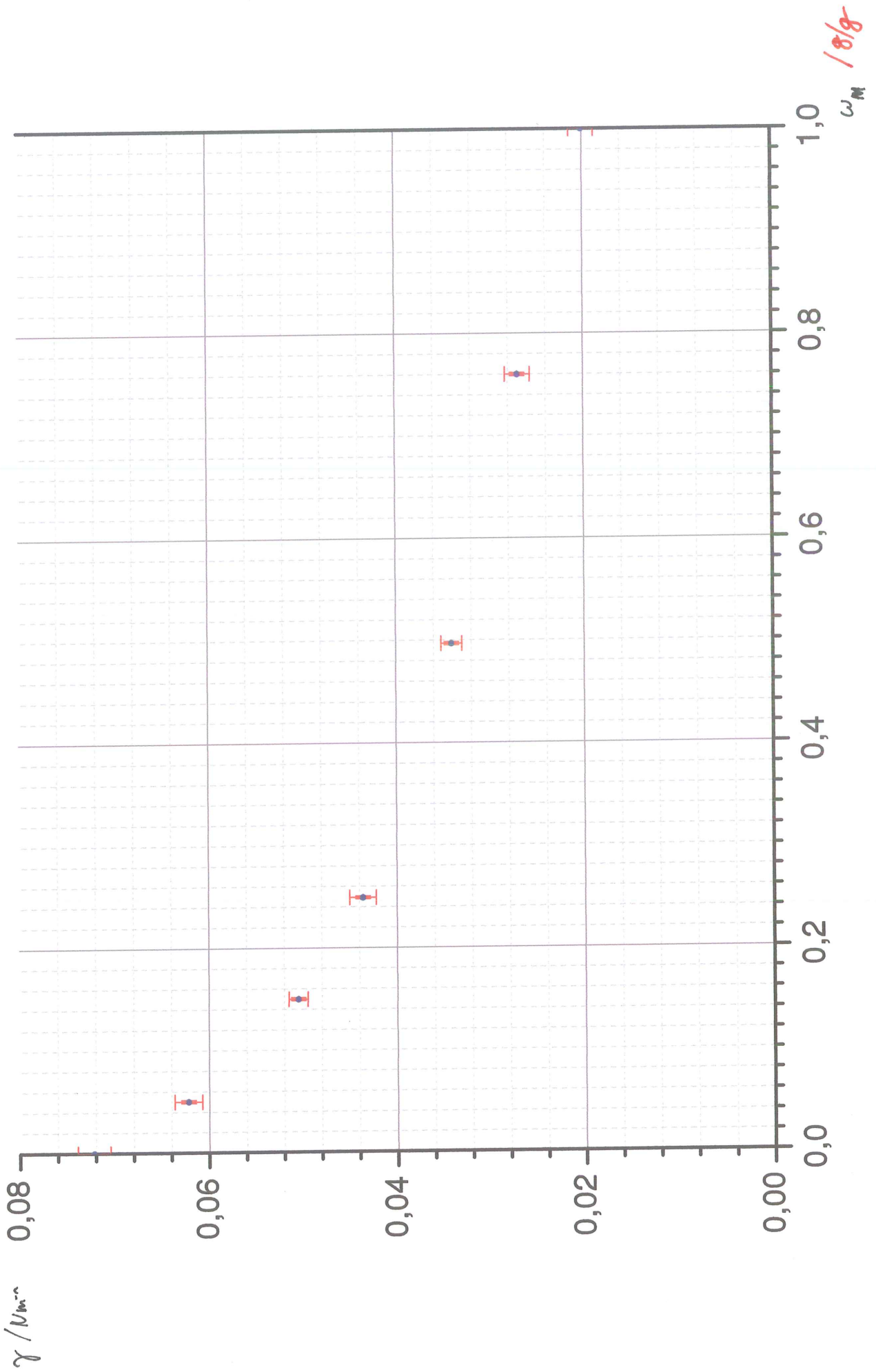
$$T(x_M = 0,5) = 5,35 \cdot 10^{-8} \frac{mol}{m^2}$$

Fehler:  $\Delta T_{0,1} = 1,31 \cdot 10^{-7} \frac{mol}{m^2}$

$$\Delta T_{0,5} = 1,35 \cdot 10^{-7} \frac{mol}{m^2}$$

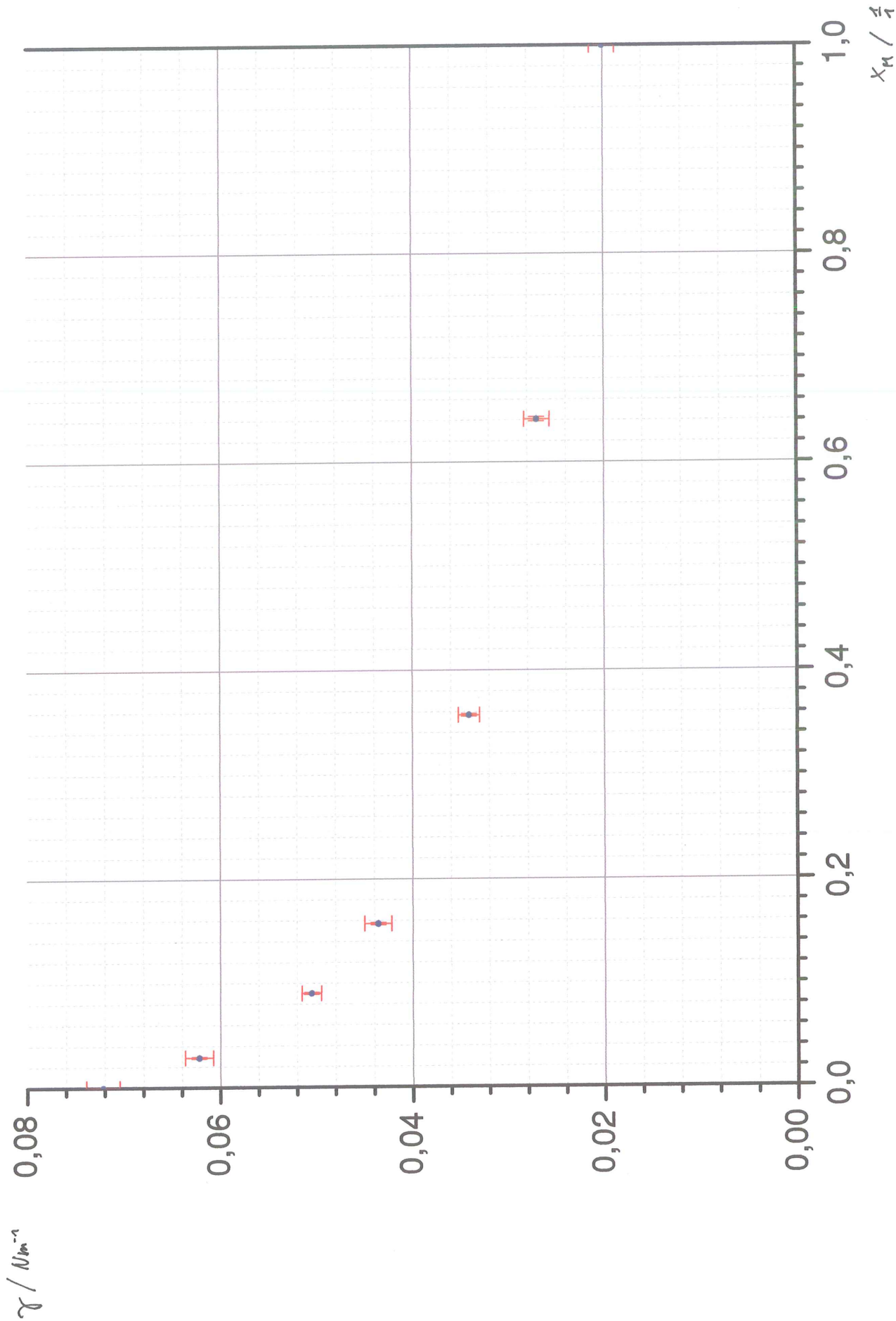
<sup>†</sup>Quelle: Hunekebuch Physikalische Chemie, gemessen siehe Quellenangabe

Auftragung: Oberflächenspannung gegen Kambruch (Methanol)

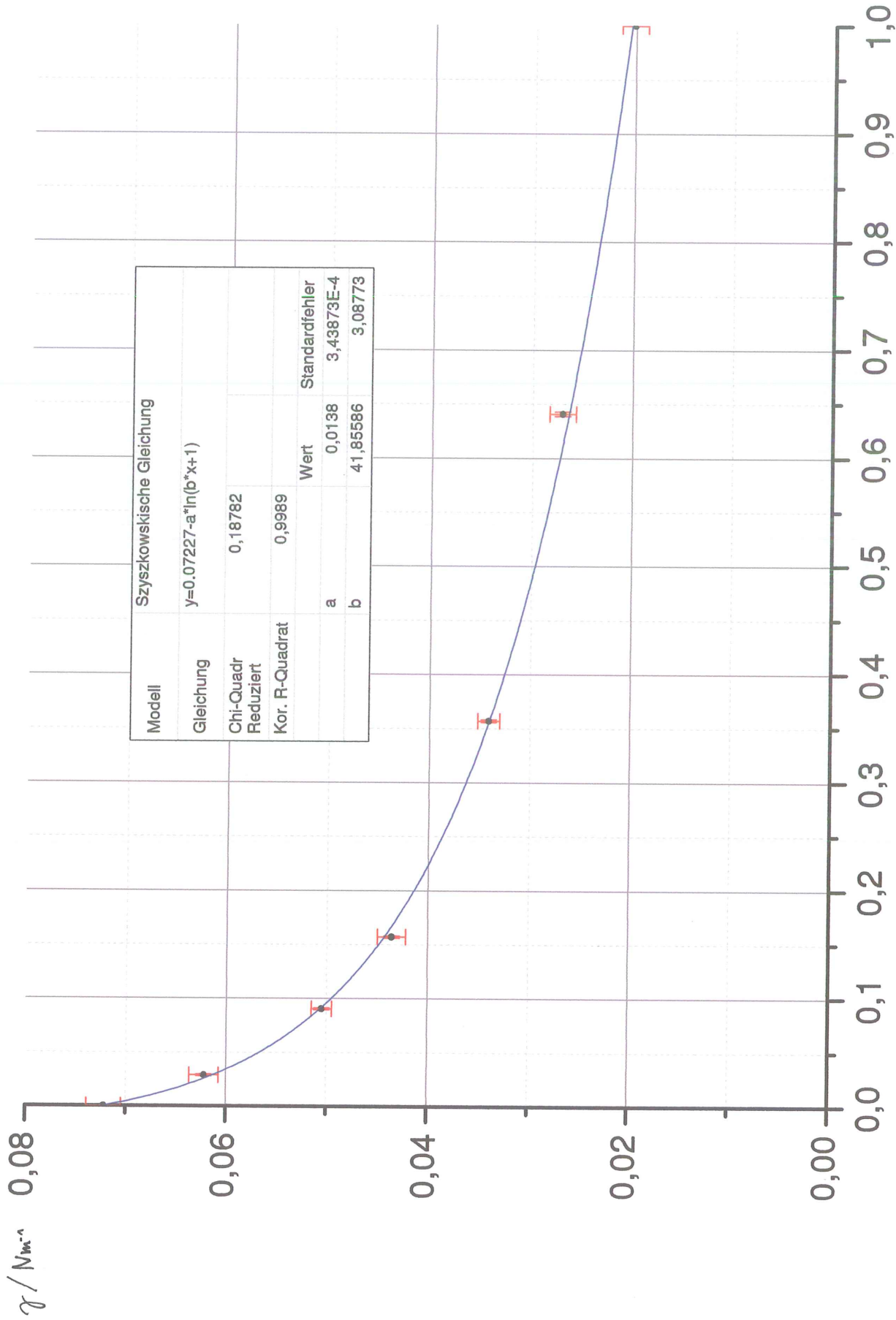


18/8

Auswertung: Oberflächenspannung  $\sigma_{\text{SG}}$  - Molebruch (Methode)



Bestimmung der Parameter der Szyszkowskischen Gleichung



Molenbruch Methanol  $x_M / 1$

# Nichtlineare Kurvenanpassung (szyszkowski (User)) (27.06.2011 17:09:54)

## Hinweise

Beschreibung:	Nichtlineare Kurvenanpassung		
Benutzername	raphael		
Betriebszeit	27.06.2011 17:09:54		
Modell	szyszkowski (User)		
Anzahl der Parameter			2
Anzahl der abgeleiteten Parameter			0
Anzahl der Datensätze			1
Gleichung	$y=0.07227-a*\ln(b*x+1)$		
Statusbericht	Neuer Analysebericht		
Spezielle Eingabe			

## Eingabedaten

	Abh/Unabh	Daten	Bereich	Gewichtungstyp	Gewichtete Daten
D1	x Unabh	[Book5]Sheet1!A	[1:7]		
	y Abh	[Book5]Sheet1!D1	[1:7]	Instrumental	[Book5]Sheet1!B

## Parameter

		Wert	Standardfehler
D1	a	0,0138	3,43873E-4
	b	41,85586	3,08773

Chi-Quadr Reduziert = 0,187819069051

COD(R<sup>2</sup>) = 0,99908690217155

Iterationen durchgeführt = 3

Gesamte Iteration in der Sitzung = 3

Fit konvergiert. Der Chi-Quadrat-Toleranzwert von 1E-9 wurde erreicht.

## Statistik

	D1
Anzahl der Punkte	7
Freiheitsgrade	5
Chi-Quadr Reduziert	0,18782
Fehler der Summe der Quadrate	0,9391
Kor. R-Quadrat	0,9989
Fit-Status	Erfolgreich(100)

Fit-Status Code :

100 : Fit konvergiert. Der Chi-Quadrat-Toleranzwert von 1E-9 wurde erreicht.

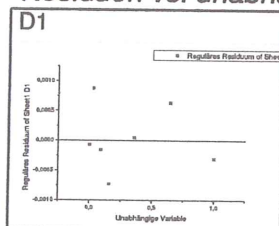
## Zusammenfassung

	a		b		Statistik	
	Wert	Standardfehler	Wert	Standardfehler	Chi-Quadr Reduziert	Kor. R-Quadrat
D1	0,0138	3,43873E-4	41,85586	3,08773	0,18782	0,9989

## ANOVA

		DF	Summe der Quadrate	Mittelwert der Quadrate	F-Wert	Prob>F
D1	Regression	2	8591,40391	4295,70196	22871,48998	2,39808E-10
	Residuum	5	0,9391	0,18782		
	Unberichtigte Gesamtsumme	7	8592,34301			
	Korrigierte Gesamtsumme	6	1028,47178			

## Residuen vs. unabhängige Diagramme



Aufgabe 3) Platzbedarf:  $\sigma^0$

$$a = \frac{kT}{\sigma^0} \quad \Rightarrow \quad \sigma^0 = \frac{k_B \cdot T}{a} = 2,96 \cdot 10^{-19} \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \Delta \sigma^0 &= \sqrt{\left(\frac{\partial \sigma^0}{\partial T} \Delta T\right)^2 + \left(\frac{\partial \sigma^0}{\partial a} \Delta a\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{k_B}{a} \cdot \Delta T\right)^2 + \left(-\frac{k_B \cdot T}{a^2} \cdot \Delta a\right)^2} = 7,45 \cdot 10^{-21} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Wie viele partien auf  $1 \text{ cm}^2$ ?

$$\Rightarrow N = \frac{A}{\sigma^0} = \frac{1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{\sigma^0} = 3,38 \cdot 10^{19} \text{ Teilchen}$$

$$\begin{aligned} \Delta N &= \sqrt{\left(\frac{\partial N}{\partial \sigma^0} \Delta \sigma^0\right)^2} = \left| -\frac{A \cdot \Delta \sigma^0}{\sigma^{02}} \right| = \frac{A \cdot \Delta \sigma^0}{\sigma^{02}} \\ &= 8,50 \cdot 10^{12} \text{ Teilchen} \end{aligned}$$

Temperaturabhängigkeit von  $b = K$

$$\theta = \frac{K \cdot x_M}{1 + K x_M} \quad \Leftrightarrow \quad K = \frac{1}{x} \cdot \frac{\theta}{1 - \theta}$$

Da  $\theta \sim T \sim \frac{1}{T} \Rightarrow K \sim \frac{1}{T}$  für  $\theta \in [0,1]$

Somit erhalten wir für  $b (=K)$  eine antiproportionale Temperaturabhängigkeit.

---

\*  $k_B = 1,38065 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$  (Quelle: Kirelehrbuch PC, ...)



### III Zusatzfragen

#### Frage 1:

Am kritischen Punkt gibt es keinen Unterschied zwischen flüssiger und gasförmiger Phase mehr. Dort existiert nur noch eine Phase und deshalb auch keine Oberflächenspannung mehr.

Schon Eötvös hat dies festgestellt und eine Regel zur Berechnung der Oberflächenspannung in Abhängigkeit der Temperatur aufgestellt.

#### Frage 2:

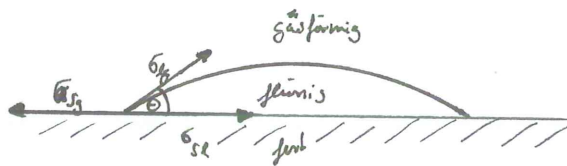
Erhöht sich der Druck, so bildet sich an der Kapillare eine Blase mit steigendem Radius. Die Blase nimmt Kugelgestalt an, da dies ihr energiegunstigster Zustand ist. Sind Innen- und Außendruck gleich, so ist auch der Radius der Blase gleich dem der Kapillare. Erhöht sich der Druck nur minimal, so weist die Blase ab. Deswegen kann man ohne schlechtes Gewissen  $r_{\text{Kapillare}} \approx r_{\text{Blase}}$  setzen.

#### Frage 3:

$\sigma$ ↑	Quecksilber	$(476 \cdot 10^{-3} \frac{\text{N}}{\text{m}})$
	Wasser	$(72,75 \cdot 10^{-3} \frac{\text{N}}{\text{m}})$
	Benzol	$(28,9 \cdot 10^{-3} \frac{\text{N}}{\text{m}})$
	Diäthylether	$(17,0 \cdot 10^{-3} \frac{\text{N}}{\text{m}})$

Quelle: Wedler

Frage 4: Benetzung bedeutet, dass eine Flüssigkeit und im Kontakt mit einem Festkörper (Oberfläche) steht und der Benetzungswinkel kleiner  $90^\circ$  ist.



Für die Benetzungsspannung muss folgender Zusammenhang gelten:

$$\sigma_{sg} = -\sigma_{sl} = \sigma_{sg} - \sigma_{sl} = \sigma_{sg} \cdot \cos \theta \quad \text{wobei } \sigma_{sl} \text{ die Haftspannung ist.}$$

Ist der Winkel  $\theta$  größer  $90^\circ$  so spricht man von Nichtbenetzung.

Frage 5:

Kapillaraktive Stoffe senken die Oberflächenspannung herab. Zum Beispiel Tenside, welche in Spülmitteln ihren Einsatz finden oder gar Mineralschaumstämmplanken sind stark kapillaraktiv.

Auch unser verwendeter Methanol, verhält sich mit Wasser kapillaraktiv. Weitere Beispiele sind zwar bekannt, würden aber um den Rahmen dieses Protokolls sprengen.

#### IV Kritische Diskussion

Schon in der Auswertung wurde oft <sup>auf</sup> einfließende Fehlergrößen eingeschrieben. Diese wurden nach bestem Wissen abgelesen oder geschätzt. Es kann gut möglich sein dass der ein oder andere Wert <sup>(Faktor)</sup> größer oder kleiner anfallen müsste.

Bei der Durchführung gestalteten sich Luftbläschen in der Manometerflüssigkeit / in den Manometersäulen als störend beim ablesen der Höhe.

außerdem war es schwer die genaue Höhe vor dem Umsprung abzulesen.

Ein anderes Fehlerpotential haben wir eventuell durch die Annahme, dass die Dichte im Bereich von 20°C bis 25°C konstant sei, selbst hervorgerufen. Jedoch sollte dieser Fehler vernachlässigbar sein.

Abschließend würde ~~ich~~ <sup>wir</sup> noch gerne einen Vorschlag machen. Wir sind der Meinung die Berechnung eines Wertes ~~für~~ ~~von~~ ~~für~~ für den Fehler von  $T^1$  hätte genügt; also für  $x_{H_2} = 0,1$  oder  $x_{H_2} = 0,5$ .

## V Quellenangabe

- Peters, W. Atkins, Julio de Paula, Physikalische Chemie, Wiley-VCH, 2007
- —   "       —                 , Kurzlehrbuch Physikalische Chemie, Wiley-VCH, 2005
- Wedler, Lehrbuch der Physikalischen Chemie, Wiley-VCH, Erlangen, 2004
- Versuchsentwürfen
- Herzog, Martin, Stroher, Physik für Ingenieure, 9. Auflage, Springer-Verlag

Exemplarische Messreihe

Höhe / mm		Differenz Höhe /mm	Mittelwert / mm	Std Abw. / mm
links	rechts			
22	60	38	39,3	0,823
34	73	39		
44	84	40		
55	94	39		
65	105	40		
76	116	40		
86	124	38		
99	139	40		
112	152	40		
125	164	39		
63	96	33	34,4	0,699
81	116	35		
90	125	35		
101	135	34		
110	144	34		
118	152	34		
128	162	34		
136	171	35		
147	182	35		
158	193	35		
18	47	29	28,7	0,483
25	54	29		
32	61	29		
39	68	29		
46	75	29		
52	80	28		
60	88	28		
67	96	29		
74	103	29		
81	109	28		

5%

links:

15%

links rechts

~~6,3~~  
~~7,1~~  
 8,1  
 9,0  
 10,1  
 11,3  
 11,8  
 12,8  
 13,6  
 14,7  
 15,8

links  
~~180~~  
~~250~~  
~~320~~  
~~390~~  
~~460~~  
 52  
 60  
 67  
 76  
 81

links 25%

links 50%

17  
 23  
 29  
 35  
 41  
 47  
 59  
 65  
 70  
 76  
 82

14  
 19  
 20  
 23  
 26  
 32  
 35  
 42  
 45  
 49

75% links

100% links

12  
 14  
 16  
 19  
 22  
~~26,7~~ 26  
 29  
 31,2  
~~33,5~~ 34  
~~36~~  
 38

13  
 14,5  
 17  
 19  
 20  
 24  
 26  
 28  
 29,5  
 31

5%

results ✓

- 960
- ~~1~~
- 11.6
- 12.5
- 13.5
- 14.4
- 15.2
- 16.2
- 17.1
- 18.1
- 19.3

1cm = 10mm

15%

results ✓

- 47
- 54
- 61
- ~~75~~ 75
- 75
- 80
- 88
- 96
- 103
- 109

25%

results

- 42
- 48.5
- 55
- 61
- 67
- 73
- 84
- ~~84~~
- 94
- 101
- 107

50%

results

- 34
- 37
- 40
- 44
- 47
- 53
- 56
- ~~62~~
- 65
- 70

75% results

- 29
- 31.5
- 34
- 36
- 39
- 43
- 45
- 47
- 50
- ~~55~~

100% results

- 27
- 28
- 30
- 32
- 34
- 37
- 39
- 40
- 43
- 44

*Handwritten signature*