

# Verdunstung und intermolekulare Bindungen

Peter Bützer, Markus Roth

## Inhalt

Einleitung/Theorie.....	1
Aufgabenstellung.....	2
Durchführung .....	2
Beobachtungen/Messungen .....	2
Simulation.....	3
Simulationsdiagramm.....	3
Zeitdiagramm .....	3
Dokumentation (Gleichungen, Parameter).....	3
Vergleich Messungen und Simulation .....	4
Interpretation .....	5

## Einleitung/Theorie

Verdunstung ist hier gemeint als Übergang einer Flüssigkeit vom flüssigen in den gasförmigen Zustand bei einer Temperatur unterhalb des Siedepunkts.

Die Verdunstung entzieht der Flüssigkeit Energie (Verdunstungswärme), das hat eine Abkühlung zur Folge.

Jeder Behälter, der eine Verdunstung zulässt, ermöglicht auch die Zufuhr von Energie von aussen. Folgedessen sind für die

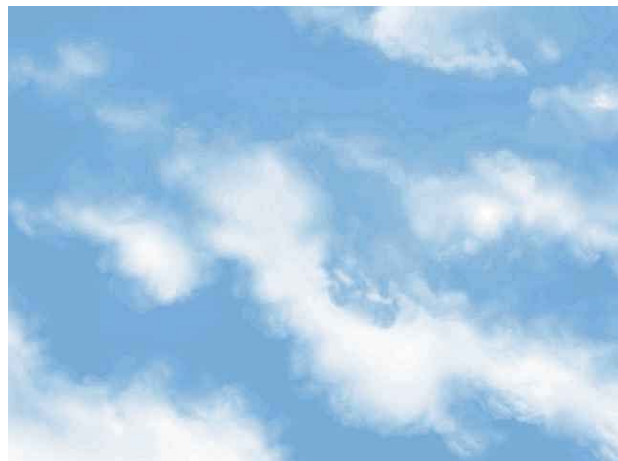


Abbildung 1: Die Wolken, eine sichtbare Folge der Verdunstung

Verdunstungsgeschwindigkeit zwei Prozesse ganz entscheidend: Die Energiezufuhr und die Energieabfuhr. Diese Verdunstungsgeschwindigkeit wird in der Praxis mit einer Verhältniszahl im Vergleich zu Diethylether ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{-O-CH}_2\text{CH}_3$ ) charakterisiert, der Verdunstungszahl (evaporation number) – eine Masszahl für die Flüchtigkeit.

Unter der Verdunstungszahl (VD) versteht man den Quotienten aus der Verdunstungszeit der zu prüfenden Flüssigkeit und derjenigen von Diethylether als Vergleichsflüssigkeit (Prüfbedingungen: Temperatur  $293 \pm 2$  K, relative Luftfeuchtigkeit  $65\% \pm 5\%$ ).

Beispiele von Verdunstungszahlen (VD) und Siedepunkten:

Pentan ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ ) <sup>1</sup> ; VD = 1,	Bp.: 36°C
n-Butanol ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ ) <sup>2</sup> ; VD= 33,	Bp.: 118°C
Diethylether ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{-O-CH}_2\text{CH}_3$ ); VD (Referenz) = 1,	Bp.: 35°C
Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ); VD ~80	Bp.: 100°C

Aus den Siedepunkten lassen sich die Verdunstungszahlen nicht direkt ableiten!

<sup>1</sup> Pentan, Total fluides, <http://www.totalsolvents.fr/library/file/1/114.pdf>, 2004-09-20

<sup>2</sup> n-Butanol, Römpp Lexikon Chemie – Version 2.0, Stuttgart/New York: Georg Thieme Verlag 1999

### Aufgabenstellung

Man messe die Verdunstungsgeschwindigkeit von verschiedenen Substanzen und beschreibe mit einem Modell den zeitlichen Verlauf.

Die Unterschiede von verschiedenen Substanzen sind zu begründen.

### Durchführung

Man bestimme die Verdunstungsgeschwindigkeit mit konstanter Verdunstungs-Oberfläche durch messen der Temperatur.

Messung: Kunststoffpetrischale auf Styroporklotz (thermische Isolation) mit 8.8 cm Durchmesser, 20 ml Flüssigkeit und eingetauchter Temperatursonde (Stainless-Steel-Sonden, Vernier mit LabPro-Interface und LoggerPro Software).



Abbildung 2: Messanordnung

Zeit (s)	Temperatur °C	
	n-Butanol	Pentan
0	23.4	22.1
10	23.5	20.5
20	23.6	19.7
30	23.6	18.8
40	23.6	18.0
50	23.6	17.3
60	23.6	16.6
70	23.6	16.0
80	23.6	15.4
90	23.6	14.9
100	23.6	14.4
110	23.6	14.0
120	23.6	13.6
130	23.7	13.3
140	23.7	12.9
150	23.6	12.5
160	23.6	12.2
170	23.6	11.9
180	23.7	11.6
190	23.7	11.4
200	23.6	11.1
210	23.7	11.0
220	23.6	10.7
230	23.6	10.5
240	23.6	10.3
250	23.6	10.1
260	23.6	9.9
270	23.7	9.8
280	23.6	9.7
290	23.7	9.5
300	23.6	9.4
310	23.6	9.3
320	23.7	9.2
330	23.6	9.1
340	23.6	9.0
350	23.7	8.9
360	23.7	8.9

### Beobachtungen/Messungen

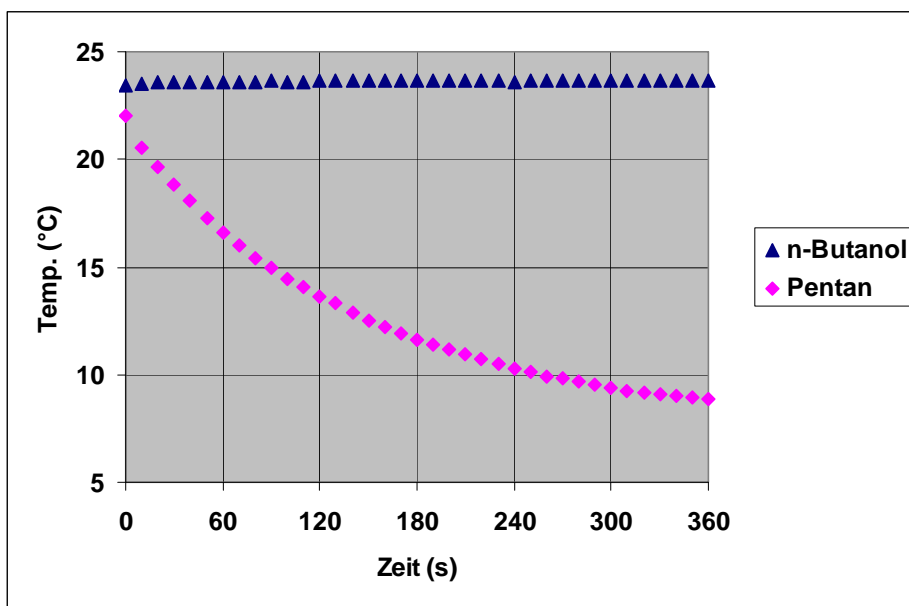


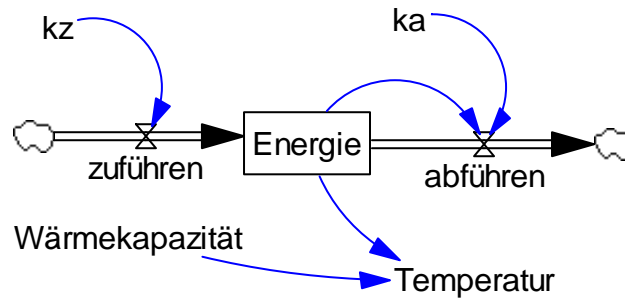
Abbildung 3: Messungen

## Simulation

### Simulationsdiagramm<sup>3</sup>

Die Simulation (Typ 1)<sup>4</sup> geht davon aus, dass:

1. Die Verdunstungsgeschwindigkeit und damit die Energieabnahme von der Temperatur der Flüssigkeit abhängig ist.
2. Die Energiezufuhr durch die Luft konstant ist.



### Zeitdiagramm

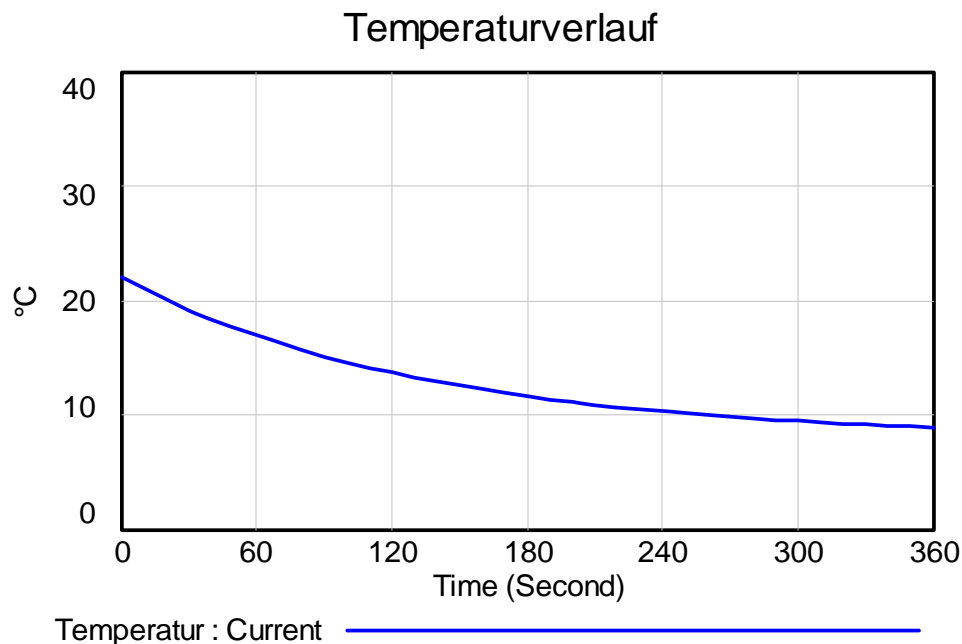


Abbildung 4: Simulation mit einem einfachen Modell; 1. Ordnung

### Dokumentation (Gleichungen, Parameter)

- (01)  $\text{abführen} = ka \cdot \text{Energie}$   
 Units: J/Second  
 Wärmeabfuhr an die Umgebung
- (02)  $\text{Energie} = \text{INTEG} (+\text{zuführen} - \text{abführen}, \quad 22)$  (Energie entspricht dem Wert der Anfangstemp. in °C, Wahl)  
 Units: J  
 Der Level muss Energie sein, denn diese kann fließen
- (03) FINAL TIME = 360

<sup>3</sup> Vensim © PLE, Simulationssoftware, Ventana Systems Inc., <http://www.vensim.com/download.html>, 2007-12-12

<sup>4</sup> Bützer Peter, Roth Markus, Die Zeit im Griff, Systemdynamik in Chemie und Biochemie, verlag pestalozzianum, Zürich 2006, S. 37ff, S.50ff, S.37ff

- Units: Second  
The final time for the simulation.
- (04) INITIAL TIME = 0  
Units: Second  
The initial time for the simulation.
- (05) ka= 0.0075 (entspricht dem exponentiellen Abfall)  
Units: 1/Second [0,0.1]  
Abkühlkonstante = Geschwindigkeitskonstante 1. Ordnung
- (06) kz= 0.06 (freier Parameter, bestimmt die Endenergie)  
Units: J/Second [0,0.1]  
Wärmezufuhr aus der Umgebung
- (07) SAVEPER = 10  
Units: Second [0,?]  
The frequency with which output is stored.
- (08) Temperatur= Energie/Wärmekapazität  
Units: °C  
Die Temperatur kann kein Level sein sie ist nicht eine extensive, sondern intensive Grösse
- (09) TIME STEP = 1  
Units: Second [0,?]  
The time step for the simulation.
- (10) Wärmekapazität= 1  
Units: J/°C  
Die Wärmekapazität ist eine Materialeigenschaft, sie ist hier 1 gesetzt.
- (11) zuführen= kz  
Units: J/Second  
Wärmezufuhr aus der Umgebung

### Vergleich Messungen und Simulation

Messung von 15 ml Pentan ( $C_5H_{12}$ ) in einer Aluschale mit einer Vertiefung in der Mitte (besserer Kontakt der Temperatursonde mit der Flüssigkeit).

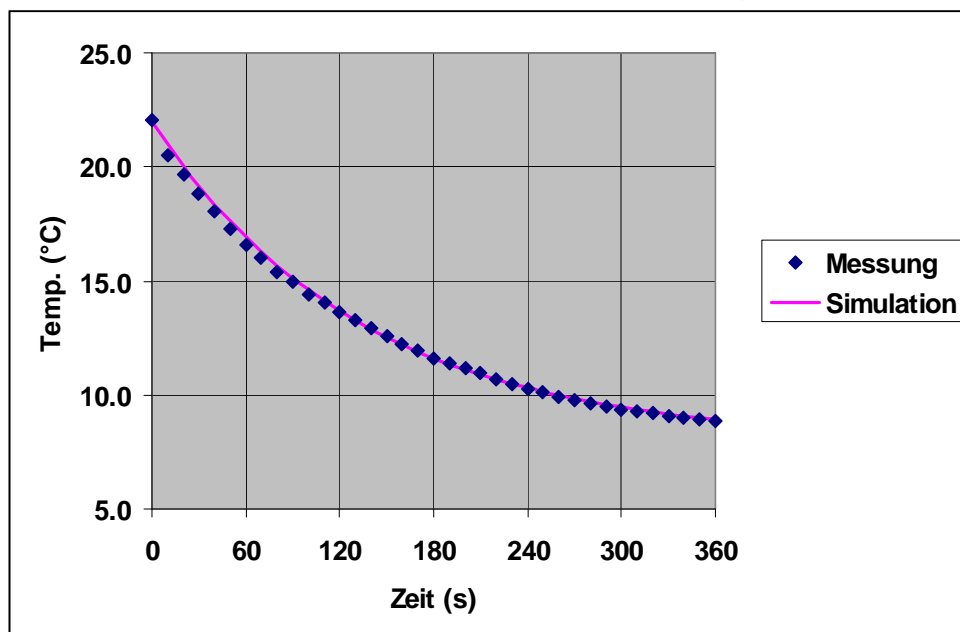


Abbildung 5: Vergleich von Messungen und Simulation für Pentan

## Interpretation

Das Modell beschreibt die Verdunstung sehr gut. Die Abnahme der Flüssigkeitsmenge, und damit der Wärmekapazität, mit der Verdunstung wurde noch nicht berücksichtigt, was die kleine Abweichung der beiden Kurven erklärt.

n-Butanol verdunstet nur sehr langsam. Die Wärmezufuhr entspricht etwa der Wärmeabfuhr dieser Versuchsanordnung.

Eine Erklärung für die Unterschiede der Verdunstungsgeschwindigkeiten von Pentan (Molmasse 72 g/mol) und n-Butanol (Molmasse 74 g/mol) lässt sich mit den Molmassenunterschieden nicht erklären. Einzig die Unterschiede in der molekularen Struktur können eine Erklärung liefern. Pentan kann an 12 Stellen van der Waals-Bindungen machen, n-Butanol nur an 9 Stellen, dafür zusätzlich 1 Wasserstoffbrückenbindung. Diese letztere Bindung ist ca. 5-10 mal stärker, als eine van der Waals-Bindung. Von den wechselseitigen Bindungen entspricht n-Butanol also etwa einem Molekül mit 18 nur van der Waals Bindungen wie Nonan mit einer Verdunstungszahl von abgeschätzt ca. 30.

**“Every model has to be compared to the real world and, if you can’t do that, then don’t believe the model”.**

Freeman John Dyson, englischer/US-amerikanischer Physiker und Mathematiker (1923 -)