

}essentials{

Kevin Maik Jablonka

Grundlagen der Thermodynamik für Studierende der Chemie

Die wichtigsten Themen
der physikalischen Chemie



Springer Spektrum

essentials

essentials liefern aktuelles Wissen in konzentrierter Form. Die Essenz dessen, worauf es als „State-of-the-Art“ in der gegenwärtigen Fachdiskussion oder in der Praxis ankommt. *essentials* informieren schnell, unkompliziert und verständlich

- als Einführung in ein aktuelles Thema aus Ihrem Fachgebiet
- als Einstieg in ein für Sie noch unbekanntes Themenfeld
- als Einblick, um zum Thema mitreden zu können

Die Bücher in elektronischer und gedruckter Form bringen das Expertenwissen von Springer-Fachautoren kompakt zur Darstellung. Sie sind besonders für die Nutzung als eBook auf Tablet-PCs, eBook-Readern und Smartphones geeignet. *essentials*: Wissensbausteine aus den Wirtschafts-, Sozial- und Geisteswissenschaften, aus Technik und Naturwissenschaften sowie aus Medizin, Psychologie und Gesundheitsberufen. Von renommierten Autoren aller Springer-Verlagsmarken.

Weitere Bände in dieser Reihe <http://www.springer.com/series/13088>

Kevin Maik Jablonka

Grundlagen der Thermodynamik für Studierende der Chemie

Die wichtigsten Themen der
physikalischen Chemie

 Springer Spektrum

Kevin Maik Jablonka
Technische Universität München
München, Deutschland

ISSN 2197-6708

essentials

ISBN 978-3-658-17020-2

DOI 10.1007/978-3-658-17021-9

ISSN 2197-6716 (electronic)

ISBN 978-3-658-17021-9 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Spektrum

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2017

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Spektrum ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Was Sie in diesem *essential* finden können

- Die thermodynamische Beschreibung von Prozessen aufbauend auf den Hauptsätzen der Thermodynamik.
- Die Bedeutung wichtiger Zustandsfunktionen wie der Inneren Energie U und besonders der Entropie S und die experimentelle Bestimmung dieser Größen.
- Das Konzept des Idealen und des Realen Gases und die Berechnung der Änderung von Zustandsgrößen im Rahmen dieser Konzepte.
- Die Bedeutung des CARNOT-Prozesses für den Wirkungsgrad von Wärmekraftmaschinen und die Antwort auf die Frage warum der Kühlschrank Strom benötigt.
- Die physikalische Grundlage der Luftverflüssigung.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Die vier Hauptsätze der phänomenologischen Thermodynamik	3
2.1	Freiheitsgrade	3
2.2	Systeme	4
2.3	Nullter Hauptsatz	5
2.4	Erster Hauptsatz	6
2.5	Zweiter Hauptsatz	7
2.6	Dritter Hauptsatz	8
3	Transportgrößen und Wärmekapazität	11
3.1	Arbeit	11
3.2	Wärme	13
3.3	Wärmekapazität	14
3.4	Wärmekapazität und Freiheitsgrade	15
3.5	Temperaturabhängigkeit der Wärmekapazität	16
4	Entropie	17
4.1	Reversible und irreversible Prozesse	17
4.2	Entropie als Maß für die Anzahl an Mikrozuständen	18
4.3	Entropie in isolierten Systemen	20
4.4	Entropie als Maß für die Güte der Energie	20
4.5	Clausische Ungleichung	21
4.6	Hydrophober Effekt	25
4.7	Temperaturabhängigkeit der Entropie	26

5	Carnot-Prozess	29
5.1	Die idealisierte Wärmekraftmaschine	29
5.2	Carnot Zyklus	30
5.3	Carnot-Wirkungsgrad	32
5.4	Kältemaschine	34
6	Zustandsfunktionen und Zustandsänderungen	35
6.1	Zustandsänderungen	35
6.2	Innere Energie als totales Differenzial	36
6.3	Enthalpie	37
6.4	Wärmekapazität bei konstantem Druck	38
7	Thermochemie	39
7.1	Bildungsenthalpien	39
7.2	Satz von Hess	40
7.3	Kirchhoffscher Satz	40
7.4	Kalorimetrie	41
7.5	Freie Energie	42
7.6	Freie Enthalpie	43
7.7	Charakteristische Funktionen und Guggenheim-Schema	44
7.8	Gibbsche Fundamentalgleichungen	46
8	Ideales Gas	49
8.1	Das Modell des Idealen Gases	49
8.2	Gasgesetze	49
8.3	Das Ideale Gasgesetz	50
8.4	Ideales Gasgemisch	51
8.5	Zustandsänderungen beim idealen Gas	52
8.6	Zustandsänderungen im Überblick	58
9	Reale Gase	59
9.1	Kompressionsfaktor	59
9.2	Virialansatz	60
9.3	Van-der-Waals-Gleichung	60
9.4	Ausschließungsvolumen	62
10	Zweiphasengebiet	65
10.1	Der kritische Punkt	66
10.2	Joule-Thomson-Effekt	68
	Literatur	75

Das vorliegende *essential* richtet sich vorwiegend an Studierende der Chemie mit Grundkenntnissen in der Differenzial- und Integralrechnung, die im Stile eines Tutoriums einen Überblick über die wichtigsten Themen der Thermodynamik im Bachelorstudium erhalten möchten.

Der Überblick kann aufgrund der Kürze des *essentials* nicht vollständig sein: Die Reaktionskinetik wird hier nicht behandelt – auch das chemische Gleichgewicht sowie Mehrkomponentensysteme werden nicht angesprochen. Die kinetische Gastheorie wird ebenso wie die statistische Thermodynamik vollständig ausgeklammert. Das *essential* will vielmehr die Grundlagen für eine weitere Vertiefung in die physikalische Chemie schaffen und enthält deshalb auch an einigen Stellen Exkurse in Themen des aktuelleren wissenschaftlichen Diskurses.

Dies ist üblicherweise ein Großteil des Stoffes, der in einer Veranstaltung wie „Einführung in die physikalische Chemie“ präsentiert wird. Für einen vertieften Einstieg in die Materie gibt es eine Reihe empfehlenswerter Lehrbücher:

- McQuarrie, D. A. & Simon, J. D. *Physical Chemistry: A Molecular Approach*. (University Science Books, 1997).
- Atkins, P. & de Paula, J. *Physical Chemistry*. (Oxford, 2014). (Die Originalversion ist deutlich lesenswerter als die deutsche Übersetzung).
- Wedler, G. & Freud, H.-J. *Lehrbuch der Physikalischen Chemie*. (Wiley-VCH, 2012).
- Keeler, J. *Why do chemical reactions happen?* (Oxford University Press, 2003).
- Atkins, P. W. *The Laws of Thermodynamics: A Very Short Introduction*. (Oxford University Press, 2010).
- Müller, I. & Müller, W. H. *Fundamental of Thermodynamics and Applications*. (Springer, 2009).
- Kittel, C. & Krömer, H. *Thermodynamik*. (Oldenburg Verlag, 2000).