

}essentials{

Thomas Hecht

Thermodynamik
(nicht nur) für
Chemietechniker



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 Fachwissen von Springerautor*innen kompakt zur Darstellung. Sie sind besonders für die Nutzung als eBook auf Tablet-PCs, eBook-Readern und Smartphones geeignet. *essentials* sind Wissensbausteine aus den Wirtschafts-, Sozial- und Geisteswissenschaften, aus Technik und Naturwissenschaften sowie aus Medizin, Psychologie und Gesundheitsberufen. Von renommierten Autor*innen aller Springer-Verlagsmarken.

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

Thomas Hecht

Thermodynamik (nicht nur) für Chemietechniker



Springer Spektrum

Thomas Hecht
Carl-Engler-Schule
Karlsruhe, Deutschland

ISSN 2197-6708
essentials

ISSN 2197-6716 (electronic)

ISBN 978-3-658-34775-8

ISBN 978-3-658-34776-5 (eBook)

<https://doi.org/10.1007/978-3-658-34776-5>

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

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert durch Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2021

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

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

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.

Planung/Lektorat: Désirée Claus

Springer Spektrum ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

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

Was Sie in diesem *essential* finden können

- Die Hauptsätze der Thermodynamik
- Durchgerechnete Beispiele
- Mathematik ohne Differential- und Integralrechnung

Inhaltsverzeichnis

1 Grundlagen und Grundbegriffe	1
1.1 Thermodynamik	1
1.2 Systeme und Vorzeichenkonvention	1
1.3 Chemische Thermodynamik	4
2 Nullter Hauptsatz	7
3 Erster Hauptsatz	11
3.1 Innere Energie	14
3.2 Mechanische Arbeit und Volumenarbeit	17
3.3 Reversible und irreversible Volumenarbeit	18
3.4 Energie und Wärme	24
3.5 Spezifische und molare Wärmekapazität	25
3.6 Wärmekapazitäten von Gasen	28
3.7 Gaskonstante, Wärmekapazität und Freiheitsgrade von Gasen ...	31
3.8 Adiabatische Kompression und Expansion	35
3.9 Reaktionsenergie und Reaktionsenthalpie	38
3.10 Reaktionsenergie	40
3.11 Reaktionsenthalpie	41
3.12 Bestimmung von Reaktionswärmen	43
3.13 Satz von HESS	47
3.14 BORN-HABER-Kreisprozess	49
3.15 Bildungs- und Zersetzungsenthalpien	53
3.16 Berechnung von Bildungs- und Reaktionsenthalpien	55
3.17 Temperaturabhängigkeit der Enthalpie	57

4	Zweiter Hauptsatz	61
4.1	Entropie	63
4.2	Nullpunktsentropie und Standardentropie	64
4.3	Reaktionsentropie	65
4.4	Enthalpie und Freie Enthalpie	66
4.5	Exergone und endergone Vorgänge	69
4.6	Temperaturabhängigkeit der freien Enthalpie	70
4.7	Konzentrationsabhängigkeit der freien Enthalpie	73
4.8	Gleichgewichtskonstante	78
5	Dritter Hauptsatz	83
6	Zum Schluss und zum Weiterlesen	85



1.1 Thermodynamik

Die Thermodynamik hat ihre sprachlichen Wurzeln – wie so viele Begriffe der Naturwissenschaften – im Altgriechischen und setzt sich aus den Wörtern θερμός (thermós, warm) und δύναμις (dýnamis, Kraft) zusammen. Der Beginn der Thermodynamik als (ingenieur)wissenschaftliche Disziplin liegt im frühen 19. Jahrhundert. Zunächst war die Thermodynamik vor allem ein Gebiet für Physiker und Ingenieure. Nahezu alle heute bekannten Antriebsmaschinen wurden in diesem Jahrhundert entwickelt – Nikolaus OTTO (1867) und Rudolf DIESEL (1892) sind sicherlich die heute bekanntesten. Zu dieser Zeit war Thermodynamik vor allem als Wärmelehre bzw. Theorie der Wärmekraftmaschinen zu sehen. Auch der Begriff der Volumenarbeit wurde in diesem Jahrhundert entwickelt.

Je nach Sichtweise lassen sich die Ursprünge aber auch weiter in der Vergangenheit suchen (und finden): Das p - V -Diagramm zur Darstellung und Untersuchung thermodynamischer Vorgänge wird James WATT zugeschrieben und bereits im ersten Jahrhundert n. Chr. entwarf Alexander von HERON in Alexandria die erste bekannte und dokumentierte Wärmekraftmaschine der Geschichte, die jedoch lange in Vergessenheit geriet: Erst rund anderthalb Jahrtausende später wurden in Frankreich und England wieder Dampfmaschinen eingesetzt.

1.2 Systeme und Vorzeichenkonvention

Energie kann von einer Form in eine andere umgewandelt und von einem Ort an einen anderen transportiert werden. Physiker, Chemiker und Ingenieure sind meist nicht an den gleichen Arten von Energie und nicht an den gleichen Orten

interessiert, von bzw. zu denen Energie transportiert wird, aber eines haben alle gemeinsam: Sie wollen wissen, *wie viel* Energie transportiert oder umgewandelt wird. Dazu machen Sie das gleiche wie ein Buchhalter: Sie bilanzieren. Der Bilanzraum ist hier aber keine Firma und auch kein Privatkonto, gezählt werden keine Währungseinheiten. Der Bilanzraum des Thermodynamikers wird als System bezeichnet und ist der Teil des Universums, der gerade von Interesse ist. Das kann ein Kühlschrank, ein Motor, ein Drehhalskolben oder ein Becherglas sein. So unterschiedlich Systeme auch sein können, gibt es nur eine ziemlich überschaubare Anzahl von Kategorien, die sich eigentlich nur in der Durchlässigkeit ihrer Systemgrenzen unterscheiden. „Durchlässigkeit“ bezieht sich hierbei auf Energie und auf Materie, es existieren die Grundtypen

- *offenes*,
- *geschlossenes* und
- *abgeschlossenes* System.

In Abb. 1.1 ist links ein offenes System zu sehen, in dem sowohl Stoff- als auch Energieaustausch möglich ist, also zum Beispiel ein Kochtopf auf einer Herdplatte oder ein Becherglas. Das System in der Mitte ist geschlossen, es verhindert den Stoffaustausch. Dabei könnte es sich zum Beispiel um einen Dampfkochtopf handeln oder einen Autoklaven. Das System rechts ist abgeschlossen, es findet also weder Stoff- noch Energieaustausch mit der Umgebung statt, was (zumindest angenähert) in einer Thermosflasche realisiert ist.

Wer genau hingeschaut hat, dem ist vielleicht aufgefallen, dass in der Abbildung oben für die Energie das Symbol Q verwendet wird. Mit Q ist in der Regel die Wärmeenergie gemeint, im abgeschlossenen System oben würde also nur der Austausch von Wärmeenergie verhindert. Gibt es auch andere Energieformen, die relevant sind? Die gibt es in der Tat, und zwar dann, wenn die Systemgrenzen

Abb. 1.1 Grundtypen thermodynamischer Systeme (links: offen, mitte: geschlossen, rechts: abgeschlossen)

