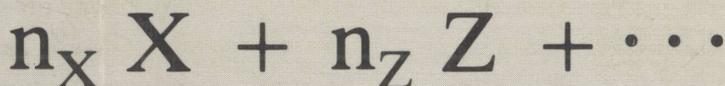
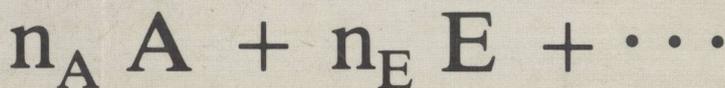


Hans-Eberhard Heyke

Grundlagen der Allgemeinen Chemie und Technischen Chemie

3. Auflage



$$K_C = \frac{[X]^{n_X} [Z]^{n_Z} \dots}{[A]^{n_A} [E]^{n_E} \dots}$$

Hüthig

H.-E. HEYKE
GRUNDLAGEN DER ALLGEMEINEN CHEMIE
UND TECHNISCHEN CHEMIE

1. Chemistry

2. Chemistry, Technical

06
HI
E.3

8462197

Grundlagen der Allgemeinen Chemie und Technischen Chemie

von

Hans-Eberhard Heyke
Prof. Dr. rer. nat. Dr. rer. pol.

Mit 95 Abbildungen und 35 Tabellen

3. Auflage



E8462197

DR. ALFRED HÜTHIG VERLAG HEIDELBERG

7915848

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Heyke, Hans-Eberhard:

Grundlagen der allgemeinen Chemie und
technischen Chemie/von Hans-Eberhard Heyke.

– 3. Aufl. – Heidelberg: Hüthig, 1983.

ISBN 3 - 7785 - 0939 - X

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten.

Bei Vervielfältigungen für gewerbliche Zwecke ist gemäß § 54 UrhG eine Vergütung an den Verlag zu zahlen, deren Höhe mit dem Verlag zu vereinbaren ist.

© 1983 DR. ALFRED HÜTHIG VERLAG GMBH, HEIDELBERG

Printed in Germany

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur dritten Auflage	11
Die Chemie und ihre Sprache	11
Übungsaufgaben	16
Teil I: Grundzüge der Allgemeinen Chemie	17
1. Aufbau der Elemente	19
1.1. Gesetz von der Erhaltung der Materie und Einsteinsches Gesetz über die Äquivalenz von Masse und Energie	19
1.2. Elementarteilchen	19
1.3. Die Atome	20
1.3.1. Atomkern und Nukleonen	20
1.3.2. Aufbau der Elemente – Kernfusion	24
1.3.3. Radioaktive Nuklide – Zerfallsgesetz	30
1.3.4. Kernspaltung – Kernreaktorvorgänge	34
Übungsaufgaben zu 1.1. bis 1.3.	42
1.4. Elektronenhülle und Periodensystem	47
1.5. Magnetochemie	63
Übungsaufgaben zu 1.4. und 1.5.	67
2. Die chemischen Bindungen	69
2.1. Ionenbindung	69
2.2. Elektronenpaarbindung	76
2.3. Metallbindung	91
2.4. Zwischenmolekulare Kräfte	98
2.5. Wasserstoffbrückenbindung	105
2.6. Komplexverbindungen	110
Übungsaufgaben zu 2.	118
3. Grundgesetze der Allgemeinen Chemie	123
3.1. Gesetze der Stöchiometrie	123
3.1.1. Gesetz der konstanten Proportionen	123
3.1.2. Gesetz der multiplen Proportionen	124
3.1.3. Gesetz der äquivalenten Proportionen	124
3.1.4. Gesetz von Avogadro	125
3.1.5. Die Gasgesetze	126
3.1.6. Osmotischer Druck	129
Übungsaufgaben zu 3.1.	131
3.2. Das Gibbssche Phasengesetz	133

Übungsaufgaben zu 3.2.	137
3.3. Das Massenwirkungsgesetz	138
3.3.1. Grundlagen	138
3.3.2. Das Prinzip des kleinsten Zwanges von Le Châtelier	143
3.3.2.1. Einwirkung von Wärme auf physikalische Gleichgewichtssysteme	144
3.3.2.2. Einwirkung des Druckes	144
3.3.2.3. Einwirkung von Wärme auf chemische Gleichgewichtssysteme	144
3.3.2.4. Änderung des Reaktionsdruckes	145
3.3.2.5. Der Einfluß von Konzentrationsänderungen	145
3.3.3. Das Massenwirkungsgesetz bei Ionenreaktionen	146
3.3.3.1. Berechnung des p_H von starken Säuren und Basen	148
3.3.3.2. Berechnung des p_H -Wertes von schwachen Säuren und schwachen Basen	150
3.3.3.3. p_H -Berechnung von Pufferlösungen	153
3.3.3.4. p_H -Berechnung beim Abstumpfen einer Säure ...	154
3.3.3.5. Ostwaldsches Verdünnungsgesetz	154
3.3.4. Das Massenwirkungsgesetz in heterogenen Systemen	155
3.3.4.1. Fest-gasförmige Systeme	155
3.3.4.2. Fest-flüssige Systeme	156
3.3.4.3. Das Verteilungsgesetz von Nernst	156
3.3.4.4. Das Absorptionsgesetz von Henry und Dalton ...	157
Übungsaufgaben zu 3.3.	158
3.4. Kinetische Ableitung des Massenwirkungsgesetzes. Einführung in die Reaktionskinetik	163
Übungsaufgaben zu 3.4.	174
3.5. Thermochemie	176
Übungsaufgaben zu 3.5.	183
3.6. Gesetze der Elektrochemie	184
3.6.1. Die Gesetze von Faraday	184
3.6.2. Galvanische Zelle	186
3.6.3. Die Nernstsche Gleichung	189
3.6.4. Das Verhalten der Ionen in der flüssigen Phase bei Einwirken eines elektrischen Feldes	190
3.6.5. Polarisationserscheinungen	193
Übungsaufgaben zu 3.6.	196
Teil II: Ausgewählte Gebiete der Technischen Chemie	199
4. Batterien und Akkumulatoren	201
4.1. Primärzellen	202

4.1.1. Leclanché-Zelle	202
4.1.2. Aktivierbare Primärzellen – wärmeaktivierte Zellen oder Thermalbatterien	203
4.2. Akkumulatoren	204
4.2.1. Blei-Akkumulator	204
4.2.2. Nickel-Cadmium-Akkumulator	206
4.2.3. Brennstoffzellen	207
Übungsaufgaben zu 4.	209
5. Korrosion der Metalle	210
5.1. Das äußere Erscheinungsbild der Korrosion	210
5.2. Chemie der Korrosion	212
5.2.1. Wasserstoff-Korrosion	212
5.2.2. Sauerstoff-Korrosion	213
5.2.3. Korrosion durch andere Substanzen	215
5.3. Pourbaix-Diagramm	216
Übungsaufgaben zu 5.	219
6. Halbleiter	221
6.1. Herstellung von Halbleitern	224
6.1.1. Germanium	224
6.1.2. Silicium	225
6.1.3. Selen, Gallium und Indium	226
6.1.4. Anorganische Verbindungen	226
6.1.5. Organische Verbindungen	226
6.1.6. Zonenschmelzen	228
6.1.7. Dotierung	231
6.2. Chemismus der Halbleiter	233
6.2.1. Eigenhalbleiter	233
6.2.2. Störstellenhalbleiter	235
6.2.2.1. Störstellenhalbleiter durch Dotierung	235
6.2.2.1.1. Dotierung mit Donatoren	235
6.2.2.1.2. Dotierung mit Akzeptoren	236
6.2.2.2. Störstellenhalbleiter durch Fehlordnung	238
6.2.2.2.1. Schottky-Fehlordnung	239
6.2.2.2.2. Frenkel-Fehlordnung	240
6.2.2.2.3. Kanten- und Schraubenversetzungen	240
6.2.3. Das Massenwirkungsgesetz bei Halbleitern	240
6.2.3.1. Dotierte Halbleiter	241
6.2.4. Bändermodell	244
6.2.5. pn-Übergang	245
Übungsaufgaben zu 6.	246
7. Brennstoffe und Kraftstoffe	247

7.1. Kohle	247
7.1.1. Entstehung der Kohle	247
7.1.2. Verwendung der Steinkohle	247
7.1.3. Verkokungsprodukte	250
7.1.4. Die Verbrennung und Vergasung der Kohle (bzw. des Kohlenstoffs)	250
7.1.4.1. Verfeuerung von Steinkohle	250
7.1.4.2. Generatorgas-Reaktion	252
7.1.4.3. Wassergas-Reaktion	255
7.1.4.4. Synthesegas-Reaktionen	256
7.2. Erdöl und Erdgas	256
7.2.1. Entstehung und Gewinnung des Erdöls	256
7.2.2. Herstellung von Kraftstoffen	258
7.2.3. Die Verbrennung von Methan und anderen Kohlenwasserstoffen	261
7.2.3.1. Methan	261
7.2.3.2. Andere Alkane	266
7.2.4. Das Klopfen im Motor	269
Übungsaufgaben zu 7.	275
8. Schmierstoffe	277
8.1. Bedeutung der Schmierstoffe – Arten der Reibung	277
8.2. Schmiermittel-Zusatzstoffe	279
8.2.1. Oxidationsinhibitoren	279
8.2.2. Korrosionsinhibitoren	282
8.2.3. Tenside	283
8.2.4. Viskositäts-Index-Verbesserer	285
8.2.5. Hochdruckzusätze	287
8.2.6. Stockpunktsverzögerer	289
8.2.7. Schaumverhütungszusätze	290
8.2.8. Farbstoffe und Geruchsüberdecker	290
8.3. Synthetische Schmierstoffe	291
8.4. Schmierfette	291
8.5. Gasförmige Schmierstoffe	291
8.6. Feststoffschmiermittel	292
8.7. Tribochemische Vorgänge bei der Reibung	293
Übungsaufgaben zu 8.	294
9. Kunststoffe – Plaste	295
9.1. Polyreaktion	295
9.2. Polykondensation	297
9.2.1. Polyester-Bildung	298
9.2.1.1. Polyveresterung	298

9.2.1.2.	Polyumesterung (Alkoholyse)	299
9.2.1.3.	Abspaltung von Chlorwasserstoff und Natriumchlorid	299
9.2.1.4.	Polyesterbildung mit Säureanhydriden	300
9.2.1.5.	Polyterephthalsäureglykolester	301
9.2.2.	Polyamid-, Polyimid- und Polybenzimidazol-Bindung	301
9.2.2.1.	Polyamidierung	301
9.2.2.2.	Polyimide	303
9.2.2.3.	Polybenzimidazole	303
9.2.3.	Polysulfid-Bildung	304
9.2.4.	Phenoplast-Bildung	304
9.2.5.	Aminoplast-Bildung	305
9.2.6.	Silicon-Bildung (Polysiloxane)	309
9.2.7.	Polykondensationen mit anderen elementorganischen Verbindungen	311
9.2.8.	Polysulfone	311
9.2.9.	Polyphenylenoxid	312
9.3.	Polyaddition	312
9.3.1.	Polyurethan-Bildung	312
9.3.2.	Polyhydantoine	314
9.3.3.	Polyepoxidierung	315
9.4.	Polymerisation	316
9.4.1.	Radikalketten-Polymerisation	316
9.4.1.1.	Reaktionsverlauf bei der Makromolekülbildung	316
9.4.1.2.	Telomerisation	323
9.4.1.3.	Übertragungsreaktionen mit Zusatzstoffen	324
9.4.1.4.	Redox-Polymerisation	326
9.4.2.	Ionenketten-Polymerisation	326
9.4.2.1.	Kationische Ionenkettenpolymerisation	327
9.4.2.2.	Anionische Ionenkettenpolymerisation	329
9.4.3.	Stereospezifische Polymerisation	330
9.4.4.	Einzelne Polymerisate	334
9.4.4.1.	Polymerisate aus der Polymerisation der C=C-Doppelbindung	334
9.4.4.2.	Polymerisate aus der Polymerisation der C=O-Doppelbindung	336
9.4.5.	Besondere Polymerisate	337
9.4.5.1.	Poly-p-xylylen	337
9.4.5.2.	Ionomere	337
9.4.6.	Reaktionen mit makromolekularen Verbindungen	340
9.5.	Die technischen Verfahren der Polyreaktion	341
9.5.1.	Polymerisation im homogenen System	341

9.5.1.1. Substanz-Polymerisation	341
9.5.1.2. Lösungs-Polymerisation	342
9.5.1.3. Fällungs-Polymerisation	342
9.5.2. Polymerisation im heterogenen System	343
9.5.2.1. „Suspensions“-Polymerisation	343
9.5.2.2. Emulsions-Polymerisation	344
9.6. Besondere Anwendungsformen der Kunststoffe	347
9.6.1. Polymermischungen	347
9.6.2. Verstärkung von Kunststoffen	347
9.6.2.1. Polymere für faserverstärkte Kunststoffe	348
9.6.2.2. Verstärkungsfasern	349
9.7. Alterung von Kunststoffen	351
9.7.1. Allgemeiner Überblick über die Alterung von Kunststoffen ..	351
9.7.1.1. Die innere Kinetik der Makromoleküle	352
9.7.1.2. Die thermodynamischen Nichtgleichgewichtszu- stände der Hochpolymere	355
9.7.1.3. Beeinflussung von physikalischen Eigenschaften ..	356
9.7.1.4. Chemische Veränderungen an Polymeren	359
9.7.1.4.1. Thermische Energie	360
9.7.1.4.2. Ultraviolette Strahlungsenergie	360
9.7.1.4.3. Kernstrahlungsenergie	363
9.7.1.4.4. Sauerstoff	364
9.7.1.4.5. Wasser	366
9.7.1.4.6. Andere chemische Verbindungen	368
9.7.1.4.7. Kombinationen der verschiedenen Alterungseinflüsse	368
9.7.2. Die Alterung einzelner Kunststoffe	370
9.7.2.1. Übersicht über das thermische Verhalten	370
9.7.2.2. Alterung, insbesondere thermische Zersetzung, ausgewählter makromolekularer Stoffe	380
9.7.2.2.1. Polystyrol	380
9.7.2.2.2. Polyäthylen	384
9.7.2.2.3. Polytetrafluoräthylen	388
9.7.2.2.4. Polyvinylchlorid	388
9.7.2.2.5. Polyvinylalkohol	391
9.7.2.2.6. Polyvinylacetat	393
9.7.2.2.7. Polyacetal (Polyoxymethylen)	394
9.7.2.2.8. Polyamide	395
Übungsaufgaben zu 9.	397
Lösungen der Übungsaufgaben	399
Sachverzeichnis	500

Vorwort zur 3. Auflage

Ein Lehrbuch der Chemie, das hauptsächlich Studenten der Ingenieurwissenschaften oder der Technik, ganz allgemein also Studierende der Chemie erst in zweiter Linie ansprechen soll, muß vielerlei beachten. Da hindert nicht nur das äußerst unterschiedliche Schulchemiewissen, das von praktisch Null bis beachtlichen Kenntnissen gehen kann, die grundsätzliche Beantwortung der Frage nach dem Niveau, sondern die vielfältigen und häufig auch gegensätzlichen Interessenlagen der Nichtchemiestudenten erschweren die Auswahl des Lehrstoffes. So kann auch dieses Lehrbuch nur wieder ein von vielen Zweifeln geplagter Schritt auf diesem mühseligen Weg sein – im Gegensatz zu den klassischen Chemielehrbüchern für einen klar begrenzten klassischen Adressatenkreis. Und eine weitere Schwierigkeit ist zu berücksichtigen. Durch die vom zweiten Weltkrieg geschaffene politische Situation gibt es in den verschiedenen deutschsprachigen Ländern – und auch manchmal sogar innerhalb eines solchen Landes – keine unumstrittene Nomenklatur der Chemie. Daher war gelegentlich auf die kulturelle Kontinuität Rücksicht zu nehmen. Ferner müssen manchmal neben den SI-Einheiten auch die älteren wissenschaftlichen Einheiten berücksichtigt werden, um dem interessierten Studenten nicht den Zugang zur früheren wissenschaftlichen Literatur abzuschneiden.

Die Chemie und ihre Sprache

Die Lehre von den Stoffen und den Stoffänderungen gilt als traditionelle Definition für die Chemie.

Aus heutiger Sicht macht diese Begriffsbestimmung aber wohl zu wenig die Stellung und die Bedeutung der Chemie im Gebäude unserer Wissenschaften deutlich. Daher könnte man diese „Lehre von den Stoffen und Stoffänderungen“ vielleicht auch wie folgt formulieren:

Die Chemie als eine der Grundwissenschaften ist die Lehre von der Materie, ihrem Aufbau, ihren Eigenschaften und ihren Reaktionen.

Den hier verwendeten Begriff ‘Materie’ wollen wir als einen Oberbegriff sehen, wobei fünf Merkmale dieser ‘Materie’ besonders charakteristisch sind: Raum, Masse, Energie, Information und Ordnung.

Ungewohnt sind zunächst die beiden letzten Begriffe. Doch was ist es anderes als *Information*, wenn ein Molekül „weiß“, daß es mit einem bestimmten Molekül reagieren kann, aber mit einem anderen nicht? Aber auch der Begriff *Ordnung* ist selbst dem mit der Chemie noch nicht so Vertrauten einleuchtend: Man denke nur an das Periodensystem, das ist die Ordnung der Elemente, oder an die verschiedenen Ordnungen bei den Kohlenwasserstoffen, Alkoholen, Säuren usw.

Die Chemie hat sich im Laufe der Zeit wie viele andere Wissenschaften von Einzelbeobachtungen aus entwickelt, konnte also erst mit zunehmenden Erkenntnissen geordnet werden. Heute stellt zwar die systematische Darstellung der Chemie in ihren Grundlagen kein besonders Problem für das Lehren dar, aber die herkömmliche Gliederung in Teilgebiete, die anschließend gegeben wird, geht nicht unwesentlich auf die mannigfaltigen Bedürfnisse der Menschen im Laufe der historischen Entwicklung zurück. Diese „Unordnung“ macht die folgende Aufzählung der chemischen Arbeitsgebiete deutlich, die weder vollständig sein, noch scharf umgrenzte Disziplinen definieren kann.

Die „organische Chemie“ ist die Chemie der Kohlenstoffverbindungen, die „anorganische Chemie“ die aller übrigen Elemente, wobei sich allerdings in neuerer Zeit immer mehr eine Aufgliederung in eine „Chemie des jeweiligen Elementes“ bemerkbar macht, z.B. „Chemie des Siliciums“, „Chemie des Bors“ usw. Die „physikalische Chemie“ sucht alle Erscheinungen zu erfassen, die auf den Grenzgebieten zur Physik zutage treten, und erschließt physikalische Methoden für die gesamte Chemie. Die „analytische Chemie“ befaßt sich mit der qualitativen Identifizierung und quantitativen Bestimmung von Stoffen und die „synthetische“ oder „präparative Chemie“ mit der Herstellung neuer Substanzen. Um die Erforschung gemeinsamer und genereller Grundlagen bemühen sich die „theoretische“ und „allgemeine Chemie“.

Die „technische Chemie“ beschäftigt sich einerseits mit der technischen Durchführung chemischer Prozesse, andererseits mit der Anwendung der Chemie in den technischen Bereichen, wo der Ingenieur seine Domäne besitzt. Zur Unterscheidung der „Technischen Chemie“ des Chemikers“ von der „Technischen Chemie“ des Ingenieurs“ sollte letztere als „Technochemie“ bezeichnet werden. Überschneidungen zwischen den Disziplinen, die überall vorhanden sind, treten besonders häufig zwischen der „technischen Chemie“ und den einzelnen „chemischen Technologien“ auf. Die „industrielle Chemie“ sucht die Zusammenhänge zwischen der Chemie und den wirtschafts- und sozialwissenschaftlichen Bereichen der Industrie zu ergründen. Man kann sie auch als einen Zweig der umfassenderen „Chemoökonomie“ und „Technoökonomie“ ansehen.

Die „Biochemie“ beschäftigt sich mit den Problemen der Chemie in der Pflanzen-, Tier- und Menschenwelt, sie wird weiter aufgespalten in Teildisziplinen wie „Agrikultur“- oder „Agrar-Chemie“, „physiologische Chemie“, „klinische Che-

mie“, „medizinische Chemie“, pharmazeutische Chemie“, „Molekularbiologie“, „Genchemie“, „Psychochemie“, ökologische Chemie“ oder „chemische Ökologie“ u.a.

„Geochemie“, die Chemie der Erde, und „kosmische Chemie“, die Chemie des Weltalls, sind Beispiele für weitere Spezialisierungen. Als letztes sei noch die „Kernchemie“ genannt, welche die Chemie der Atomumwandlungen behandelt.

Wenn sich Menschen verständigen wollen, dann benötigen sie ein gemeinsames Verständigungsmittel, gemeinhin eine Sprache. Um Chemie verstehen zu können, muß man also ihre Sprache lernen. Darüber hinaus muß man auch ihre Phänomene, ihre Erscheinungen, verstehen, denn nur teilweise sind sie dem Menschen aus seinem Alltagsleben vertraut. Diese Schwierigkeit, das Erkennen und wissenschaftliche Durchdringen der Phänomene und das Lernen der besonderen Sprache der Chemie, überwindet der Lernende nicht leicht, denn es ist eben anders als beim Erlernen einer Fremdsprache, bei der die Phänomene schon bekannt sind. Eher wäre noch ein Vergleich zum Erlernen der Muttersprache zu ziehen, aber hier bleibt der Schwierigkeitsgrad im Erkennen der Erscheinungen zunächst niedrig. Am Anfang dieses Buches müssen also, um eine Verständigung in der Chemie einzuleiten, einige allgemeine und zugleich grundlegende Phänomene und einige Sprachregeln stehen. Diese ersten Sprachregeln werden von Zeit zu Zeit zu erweitern sein. Kein Zweifel sollte darüber bestehen, daß der Lernprozeß insgesamt recht schwierig ist und erst nach intensivem Studieren zu „rhetorischen“ Höhen führt.

In unserer Welt beobachten wir *Materie* [chemiesprachlich also ein Ausdruck, den wir, wie wir oben gesehen haben, für den klassischen Begriff Stoff oder Stoffe verwenden können], die einen *einheitlichen*, und solche, die einen *uneinheitlichen* Eindruck macht. Einheitliche Materie in einem begrenzten Raum bezeichnen wir als „*homogenes System*“, uneinheitliche Materie in einem begrenzten Raum als „*heterogenes System*“. Ein heterogenes System wird also aus zwei oder mehreren homogenen Teilen [=Teilsystemen] aufgebaut sein.

Wenn wir an die drei hauptsächlichsten Aggregatzustände der Materie (fest, flüssig, gasförmig) denken, können wir z.B. verschiedene einfache *binäre* heterogene Systeme unterscheiden (binär bedeutet hier zwei homogene Teilsysteme):

1. fest – fest
2. fest – flüssig
3. fest – gasförmig
4. flüssig – flüssig
5. flüssig – gasförmig

Ein heterogenes System aus zwei gasförmigen Teilsystemen existiert nicht, weil sich Gase immer miteinander vermischen, also stets nur ein einziges gasförmiges Teilsystem bilden.

Die homogenen Teilsysteme werden als *Phasen* bezeichnet.

Eine *Phase* kann nun aus einem *reinen* Stoff oder aus einem (homogenen) *Gemisch* reiner Stoffe bestehen. Flüssige wie ebenfalls feste Phasen, die aus einem (homogenen) Gemisch reiner Stoffe bestehen, werden auch als *Lösungen* bezeichnet, vor allem dann, wenn ein Bestandteil überwiegt. Die verschiedenen Stoffe unterscheiden sich durch ihre Eigenschaften wie Zusammensetzung, Schmelzpunkt, Siedepunkt, Farbe, Härte, elektrische Eigenschaften, Reaktionsvermögen usw. Eine Aufgliederung der reinen Stoffe führt zu *Verbindungen* und *Elementen*, wobei die Verbindungen ihrerseits wieder aus Elementen, den „Grundstoffen der Materie“, zusammengesetzt sind.

Die Sprache der Chemie hat für jedes Element ein Elementsymbol geschaffen, das sich aus dem Namen, ggf. dem lateinischen Namen, ergibt und zukünftig aus zwei Buchstaben bestehen soll, die international verbindlich sind (s. Tabelle 1.7). Jedes neu entdeckte metallische Element soll die Endung -ium erhalten. Auf die Sprachregeln für die Verbindungen wird später eingegangen.

Wie wir oben gesehen haben, unterschied schon die traditionelle Definition der Chemie Stoffe und Stoffänderungen. Welche einfachen Klassifizierungsmöglichkeiten der *Stoffänderungen* oder *Reaktionen* existieren?

- I.) 1.a) $A \rightarrow X$
 b) $A + B \rightarrow Y + Z$
 2.a) $A \rightleftharpoons X$
 b) $A + B \rightleftharpoons Y + Z$

Im Falle I. 1 verlaufen die Reaktionen nur von der linken zur rechten Seite, aber nicht wieder zurück. Solche Reaktionen bezeichnet man als *nichtumkehrbare* oder *irreversible* Reaktionen. Beim Fall I. 2 ist es anders. Die Reaktionen verlaufen sowohl von links nach rechts als auch von rechts nach links. Hier handelt es sich um *umkehrbare* oder *reversible* Reaktionen. Statt der zwei Pfeile (\rightleftharpoons) sind auch noch die beiden folgenden Schreibweisen üblich: \rightleftharpoons oder $=$. Ein solches „Gleichheitszeichen“ in einer chemischen Reaktion bedeutet also eine reversible Reaktion.

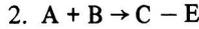
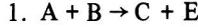
II.) Eine weitere Klassifizierung von chemischen Reaktionen richtet sich nach der Zahl der an einer Reaktion beteiligten Stoffarten:

1. $A \rightarrow X$
2. $A + B \rightarrow Y$
3. $A + B + C \rightarrow Z$

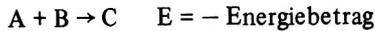
1. Der Stoff A wandelt sich in den Stoff X um. Wir bezeichnen einen solchen Vorgang als *monomolekulare Reaktion*, weil nur eine Stoffart an ihr beteiligt ist.
2. Die Stoffe A und B reagieren miteinander zum neuen Stoff Y in einer sogenannten *bimolekularen Reaktion*.

3. Wenn drei Stoffe (A, B, C) an einer Umsetzung beteiligt sind, sprechen wir von einer *trimolekularen Reaktion*.

III.) Bei der dritten Klassifizierungsmöglichkeit werden die Energieumsetzungen berücksichtigt (E = Energie).

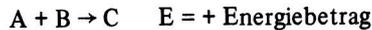


III.1. Reaktionen, bei denen Energie abgegeben wird, werden als *exotherme* Reaktionen bezeichnet. Die Energie erhält hier ein positives Vorzeichen, wenn sie in die Reaktionsgleichung mit hineingeschrieben wird. Wählt man eine andere, gleichfalls übliche Schreibweise für solche Reaktionen

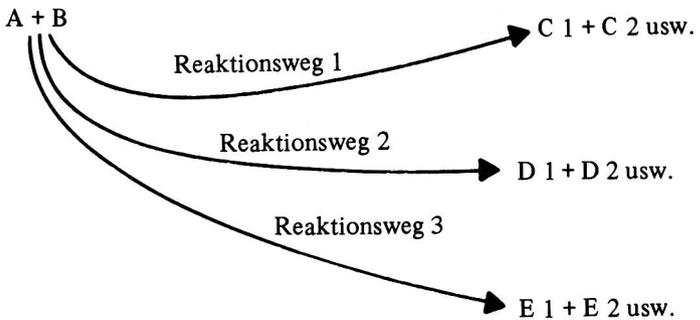


d.h. die Energie wird für sich, auch in derselben Zeile, geschrieben, dann erhält eine exotherme Reaktion ein negatives Vorzeichen für den Energiebetrag.

III.2. *Endotherme* Reaktionen sind solche, denen Energie von außen zugeführt werden muß. Das Vorzeichen ist negativ. Wird die Energierechnung wieder für sich ausgeführt, dann erhält der Energiebetrag ein positives Vorzeichen, also

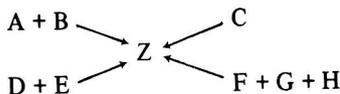


IV.) Eine vierte Schematisierung von chemischen Reaktionen ergibt, daß Reaktionen nicht nur in einer Richtung verlaufen müssen, d.h. daß dieselben Ausgangsstoffe (häufig schon als Edukte bezeichnet) zu verschiedenen Endstoffen (meist als Produkte bezeichnet) führen können:



Dieses Phänomen der verschiedenen Reaktionswege, hervorgerufen und/oder gelenkt durch unterschiedliche Reaktionsbedingungen, ist wirtschaftlich von großer Tragweite, wie wohl leicht einsichtig sein dürfte.

V.) Auch ökonomisch, ja sogar rechtlich (z.B. patentrechtlich) bedeutsam ist die Klassifizierung V:



Ein Endprodukt ist auf verschiedenen Reaktionswegen zugänglich.

Übungsaufgaben

1. Was ist ein System?
2. Wie bezeichnet man uneinheitliche Materie in einem begrenzten Raum?
3. Was ist eine Phase?
4. Die homogenen Systeme der im folgenden genannten Materie, die sich in abgegrenzten Räumen befinden soll, sind zu kennzeichnen: a) Luft, b) Meerwasser, c) Milch, d) Auto, e) Mensch, f) Granit, g) Heizöl, h) Haus, i) Johannisbeere.
5. Die in Aufgabe 4 genannten Systeme sind zu ordnen: I. Gasförmige Phase, II. gasförmige und flüssige Phasen, III. gasförmige und feste Phasen, IV. nur eine flüssige Phase, V. mehrere flüssige Phasen, VI. eine feste Phase, VII. mehrere feste Phasen, VIII. flüssige und feste Phasen, IX. gasförmige, flüssige und feste Phasen.
6. Stelle ein Ordnungsschema auf: Phase, Verbindung, homogenes System, Element, heterogenes System, Materie, reiner Stoff, homogenes Gemisch, homogenes Teilsystem.
7. Welches Symbol haben die folgenden Elemente: a) Wasserstoff, b) Kohlenstoff, c) Sauerstoff, d) Stickstoff, e) Eisen, f) Aluminium, g) Natrium, h) Kalium, i) Calcium?
8. Welches Element ist: a) B, b) Ba, c) Br, d) Cl, e) Cr, f) Cs, g) Mg, h) Mn, i) Mo, j) S, k) Se, l) Si, m) Zn, n) Sn?
9. Ein anderer Ausdruck für nichtumkehrbare Reaktionen ist zu nennen.
10. Die reversiblen Reaktionen sind zu kennzeichnen: a) $A + B \rightarrow C$, b) $A + B \rightleftharpoons C$, c) $A + B + C \leftarrow D + E$, d) $A = Z$, e) $A + B \rightleftharpoons C + D$.
11. Was versteht man unter einer monomolekularen Reaktion?
12. Die bimolekularen Reaktionen sind zu kennzeichnen: a) $A + B \rightarrow C$, b) $A + B \rightarrow C + D + E$, c) $A \rightarrow B$, d) $A \rightarrow B + C$, e) $A + B \rightarrow C + D$, f) $A + B + C \rightarrow D$.
13. Was sind exotherme Reaktionen?
14. Die endothermen Reaktionen sind zu kennzeichnen ($E = \text{Energie}$): a) $A + B = C + E$, b) $A + B = C$, $E = - \text{Energiebetrag}$, c) $A + B = C$, $E = + \text{Energiebetrag}$, d) $A + B = C - E$, e) $A + B = C + D - E$, f) $A + B = C + D$, $E = - \text{Energiebetrag}$, g) $A + B = C + D$, $E = + \text{Energiebetrag}$, h) $A + B = C + D + E$.