

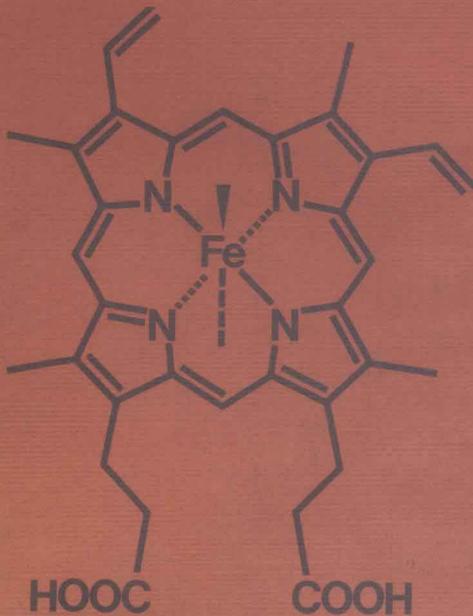
**Harold Rüdiger**

# Organische Chemie und Biochemie

**(Physiologische Chemie)**

**Lehrbuch der Chemie für Assistenzberufe  
der Medizin und Naturwissenschaften**

**Band 2**



**Hippokrates Verlag**

**Lehrbuch der Chemie**

Band 2: H. Rüdiger

Organische Chemie

und

Biochemie

(Physiologische Chemie)

# Lehrbuch der Chemie

für Assistenzberufe der Medizin und  
Naturwissenschaften

Band 1: H. Reuter,  
**Allgemeine und Anorganische Chemie**

Band 2: H. Rüdiger,  
**Organische Chemie und Biochemie**  
(Physiologische Chemie)

mit einem Vorwort von Professor G. Pulverer



**Hippokrates Verlag Stuttgart**

Harold Rüdiger

# **Organische Chemie und Biochemie**

**(Physiologische Chemie)**

Lehrbuch der Chemie für Assistenzberufe  
der Medizin und Naturwissenschaften  
Band 2



**Hippokrates Verlag Stuttgart**

---

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

**Lehrbuch der Chemie für Assistenzberufe der Medizin und Naturwissenschaften.** – Stuttgart: Hippokrates-Verlag.

Bd. 2. – Rüdiger, Harold: Organische Chemie und Biochemie (physiologische Chemie)

**Rüdiger, Harold**

Organische Chemie und Biochemie (physiologische Chemie). – 1. Aufl. – Stuttgart: Hippokrates-Verlag, 1978.

(Lehrbuch der Chemie für Assistenzberufe der Medizin und Naturwissenschaften; Bd. 2)

ISBN 3-7773-0419-0

---

apl. Prof. Dr. rer. nat. Hans Dieter Reuter, Med. Universitäts-Klinik Köln  
Prof. Dr. rer. nat. Harold Rüdiger, Institut für Pharmazie und Lebensmittelchemie  
der Universität Würzburg

**ISBN 3-7773-0419-0**

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe und der Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) ohne Genehmigung des Verlages veröffentlicht werden.

© Hippokrates Verlag GmbH, Stuttgart 1978. Printed in Germany 1978. Umschlag: Bruno Feuerbacher. Satz: Fotosatz – Maschinensatz E. Eisele, Stuttgart. Druck: Buchdruckerei Paul Schäuble, Stuttgart-Botnang.

# Inhaltsverzeichnis

## Organische Chemie und Biochemie (Physiologische Chemie)

Geleitwort	9
Vorwort	11
<b>1 Einleitung</b>	<b>13</b>
<b>2 Beschreibung der Stoffklassen</b>	<b>15</b>
2.1 Kohlenwasserstoffe	15
2.1.1 Alkane	15
Reaktionen der Alkane	18
Cycloalkane	18
Erdöl	20
2.1.2 Alkene	20
Konjugierte Diene	24
2.1.3 Alkine	25
2.1.4 Aromaten	26
Reaktionen	27
Benzolderivate und andere Aromaten	29
2.1.5 Fragen zu 2.1	32
2.2 Verbindungen mit Sauerstoff- und Schwefelfunktionen	32
2.2.1 Alkohole	32
Herstellung	33
Reaktionen	34
2.2.2 Phenole	35
2.2.3 Thiole und deren Derivate	37
2.2.4 Aldehyde und Ketone	38
Herstellung	39
Wichtige Carbonylverbindungen	40
Reaktionen	41
2.2.5 Kohlenhydrate	43
Stereoisomerie	44
Monosaccharide	45
Reaktionen der Kohlenhydrate	47
Modifizierte Kohlenhydrate	49
Disaccharide	50
Polysaccharide	51
2.2.6 Carbonsäuren	52
Herstellung	53
Derivate	54
Kohlensäure	55
Mehrfunktionelle Säuren	55
2.2.7 Lipide (Fette und Lipoide)	59
2.2.7.1 Fette	59
2.2.7.2 Phospholipoide	60
2.2.7.3 Seifen	61

2.2.7.4	Andere Lipoide	62
	Terpene	62
	Steroide	63
2.2.8	Fragen zu 2.2	64
2.3	Verbindungen mit Stickstoff-Funktionen	64
2.3.1	Amine	64
	Reaktionen	65
	Herstellung	67
2.3.2	Andere Stickstoff-Verbindungen	68
2.3.3	Farbstoffe	68
2.3.4	Fragen zu 2.3	70
2.4	Spektroskopische Untersuchungsverfahren	70
2.4.1	Sichtbare und UV-Spektren	70
2.4.2	Andere Methoden der Strukturforschung	73
2.4.3	Fragen zu 2.4	74
2.5	Heterocyclen	74
2.5.1	Fünfring-Heterocyclen	75
2.5.2	Sechsring-Heterocyclen	77
2.6	Nucleinsäuren	79
2.6.1	Aufbau	79
2.6.2	Desoxyribonucleinsäure (DNA)	82
2.6.3	Ribonucleinsäure (RNA)	83
2.6.4	Genetischer Code	84
2.6.5	Fragen zu 2.6	86
2.7	Aminosäuren	86
2.7.1	Physikalische Eigenschaften	90
2.7.2	Reaktionen	91
2.7.3	Herstellung	93
2.7.4	Peptidsynthese	93
2.7.5	Natürlich vorkommende Peptide	94
2.7.6	Nichtbiologische Aminosäuren	95
2.7.7	Fragen zu 2.7	96
2.8	Proteine	96
2.8.1	Vorkommen und Funktion	96
2.8.2	Aufbau	96
2.8.3	Reinigung von Aminosäuren und Proteinen	98
2.8.4	Struktur von Proteinen	105
	Primärstruktur	105
	Sekundär- und Tertiärstruktur	109
	Quartärstruktur	110
2.8.5	Immunologie	112
	Gewinnung von Antikörpern	112
	Analytische Techniken	113
	Antigene	116
	Antikörper	117
2.9	Aufbau der Zelle	118
2.9.1	Prokaryonten	118
2.9.2	Eukaryonten	119
2.9.3	Membranen	120
	Membranwirksame antimikrobielle Wirkstoffe	121
2.10	Enzyme	124
2.10.1	Allgemeine Prinzipien	124

2.10.2	Einteilung von Enzymen	125
	Coenzyme	127
2.10.3	Maßeinheiten in der Enzymologie	131
2.10.4	Enzymkinetik	132
	Reaktionsordnung	133
	Michaelis-Menten-Beziehung	134
	pH-Abhängigkeit der Enzymaktivität	136
	Temperaturabhängigkeit der Enzymaktivität	136
	Enzymhemmung	137
2.10.5	Regulation des Stoffwechsels	139
	Regulation auf der Ebene der Enzymaktivität	139
	Isoenzyme	140
	Blutgerinnung und Komplementsystem	140
	Regulation auf der Ebene der Enzymsynthese	141
2.10.6	Enzymatische Analyse	142
	Endwertmethoden	142
	Enzymaktivitätsbestimmung	144
2.10.7	Enzyme in Diagnose und Therapie	145
2.10.8	Arzneistoffwechsel	147
2.10.9	Fragen zu 2.10	150
<b>3</b>	<b>Stoffwechsel</b>	<b>151</b>
	Energiereiche Verbindungen	152
3.1	Abbau	154
3.1.1	Abbau von Kohlenhydraten	154
	Glycolyse	154
	Citronensäurezyklus	158
	Anaplerotische Wege	160
	Pentosephosphatweg	160
3.1.2	Abbau von Fetten	161
	Ketonkörper	163
3.1.3	Abbau von Proteinen	164
3.1.3.1	Proteolyse	164
3.1.3.2	Abbau von Aminosäuren	164
	Stoffwechselstörungen	166
3.1.3.3	Biogene Amine	168
3.1.4	Abbau von Nucleinsäuren	170
3.1.5	Atmungskette	171
	Aktiver Transport	172
3.2	Biosynthesen	174
3.2.1	Photosynthese	174
3.2.2	Gluconeogenese	176
3.2.3	Biosynthese von Glycogen und anderen Kohlenhydraten	178
	Aufbau mikrobieller Zellwände	179
	Antibiotica mit Wirkung auf die Mureinbiosynthese	180
3.2.4	Biosynthese von Fetten und Lipoiden	182
	Fettsäuren	182
	Fette	183
	Phosphoglyceride	184
	Isoprenoide und Steroide	185
3.2.5	Biosynthese von Aminosäuren und Proteinen	188
	Aminosäuren	188

8		
	Proteine	191
	Hemmstoffe der Proteinbiosynthese	195
3.2.6	Biosynthese von Nucleinsäuren	198
	Mononucleotide	198
	Purinnucleotide	198
	Pyrimidinnucleotide	200
	Desoxyribonucleotide	201
	Polymere Nucleinsäuren	203
	Hemmstoffe der Synthese polymerer Nucleinsäuren	203
<b>4</b>	<b>Vitamine</b>	<b>206</b>
4.1	Fettlösliche Vitamine	206
4.2	Wasserlösliche Vitamine	209
<b>5</b>	<b>Hormone</b>	<b>211</b>
5.1	Wirkungsmechanismen	211
5.2	Hierarchie der Hormone	213
5.3	Spezielle Hormone	213
<b>6</b>	<b>Antworten zu den Fragen</b>	<b>219</b>
<b>7</b>	<b>Wichtige Abkürzungen</b>	<b>226</b>
<b>8</b>	<b>Physikalische und physikalisch-chemische Einheiten, Begriffe und Konstanten</b>	<b>228</b>
<b>9</b>	<b>Häufig wiederkehrende Fremdwörter und Fremdwörterbestandteile</b>	<b>229</b>
<b>10</b>	<b>Sachverzeichnis</b>	<b>231</b>
<b>11</b>	<b>Inhaltsverzeichnis von Band 1</b>	<b>243</b>

## Geleitwort

Das Fachgebiet der Anorganischen und Organischen Chemie sowie der Biochemie stellt einen Eckpfeiler im Ausbildungsplan für Assistenzberufe im Medizinisch-technischen Laboratorium bzw. in der Radiologie dar. Meiner Erfahrung nach bereitet gerade dieses Fachgebiet den Lernenden große Schwierigkeiten, da bei Schuleintritt oft die notwendigen Grundvoraussetzungen fehlen. Das vorliegende Lehrbuch, das auf langjährigen Lehrerfahrungen fußt, soll und kann dazu beitragen, diese Schwierigkeiten zu meistern. Allen Schülerinnen und Schülern an MTA-Lehranstalten sei die Lektüre des vorliegenden Lehrbuches wärmstens empfohlen.

Herbst 1977

*G. Pulverer*  
Leiter der MTA-Lehranstalt  
der Universitätskliniken Köln



## Vorwort

Das vorliegende Lehrbuch der Organischen und Biochemie (Physiologische Chemie) soll der Ausbildung von medizinisch-technischen und anderen technischen Assistenten dienen. Es entstand aufgrund von Unterrichtserfahrungen mit Studenten der Medizin, Biologie und Pharmazie, die der Autor an den Universitäten Köln und Würzburg sammeln konnte.

Die beiden Fachgebiete Organische und Biochemie wurden wegen ihrer engen Verflechtung nicht voneinander getrennt dargestellt. Auf den Organisch-chemischen Teil des Buches, in den auch Kapitel über die wichtigsten Naturstoffklassen eingearbeitet sind, folgt, beginnend mit einem Kapitel über Nucleinsäuren, der mehr biochemisch ausgerichtete Teil.

Die gebotene Kürze machte es notwendig, auf viele erwähnenswerte Punkte zu verzichten. So wurden geschichtliche Zusammenhänge nur sehr kurz gestreift und Namen von Autoren meist weggelassen, wenn nicht eine Reaktion nur unter diesem Namen bekannt ist. Ebenso wurde im allgemeinen auf etymologische Erklärungen von fremdsprachlichen Fachausdrücken im Text verzichtet. Technische Prozesse und Reaktionsmechanismen fanden ebenfalls kaum Berücksichtigung.

Die Besprechung des Stoffwechsels mußte sehr kurz ausfallen. Trotzdem wurde Wert darauf gelegt, wenigstens diejenigen Stoffwechselwege darzustellen, die therapeutisch einflußbar sind. Einem Usus der Biochemie folgend, wurden Namen von organischen Säuren und ihren Salzen synonym gebraucht, d. h. wenn von Brenztraubensäure oder Zitronensäure die Rede ist, sind meist Anionen gemeint, ohne daß man sich auf einen bestimmten Dissoziationsgrad festlegen will. Häufige Querverweise sollen es erleichtern, allgemeinere Zusammenhänge zu erkennen. Einzelne Kapitel werden mit einer Liste von Fragen zu dem betreffenden Stoffgebiet abgeschlossen. Die Antworten finden sich am Ende des Textes. In diesen Fragen soll nicht der Wissensstoff abgefragt werden, sondern es soll ein Einstieg zur Anwendung des erworbenen Wissens geboten werden. Nicht jedes Kapitel eignet sich gleichermaßen dazu, derartige Fragen zu formulieren.

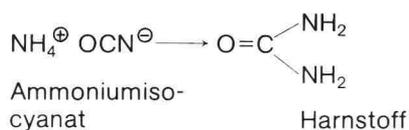
Dem Buch beigelegt ist eine Liste mit den gebräuchlichen, vor allem in der Biochemie üblichen Abkürzungen, eine Liste mit physikalischen und physikalisch-chemischen Einheiten und Konstanten und eine kurze Aufstellung von oft wiederkehrenden Fremdwortbestandteilen. Nicht in diese Liste aufgenommen wurden die Namen von Substanzen und Namen, deren etymologische Erklärung nichts zu ihrem Verständnis beiträgt. Ein Sachverzeichnis schließlich soll es gestatten, das Buch auch als Nachschlagewerk zu benutzen.

Würzburg, Dezember 1977  
*H. Rüdiger*



# 1 Einleitung

Organisch-chemische Verbindungen wie Zucker und Alkohol kennt die Menschheit schon seit undenklichen Zeiten. Eine systematische Suche nach neuen Substanzen begann allerdings erst gegen Ende des 18. Jahrhunderts (*Scheele*). Zu Beginn des 19. Jahrhunderts war das Tatsachenmaterial soweit angewachsen, daß man einen grundlegenden Unterschied zwischen „organischen“, d. h. von Organismen produzierten, und „anorganischen“, d. h. der leblosen Natur entstammenden Verbindungen, machen zu können glaubte. Der Begriff der *Organischen Chemie* tauchte erstmalig 1807 auf (*Berzelius*). In dieser Begriffsbestimmung steckte noch die alte Vorstellung von einer „Lebenskraft“ (*vis vitalis*) der Organismen, die grundsätzlich andere Verbindungen hervorbringen sollte als die unbelebte Natur. 1828 gelang es jedoch, aus einem bekannten anorganischen Salz, dem Ammoniumcyanat, eine bekannte, bislang der Organischen Chemie zugerechnete Verbindung, den Harnstoff, herzustellen (*Wöhler*):



Damit hatte sich das Konzept von der *vis vitalis* als unrichtig erwiesen.

Die Synthese organisch-chemischer Verbindungen aus anorganischen ist heute keine Besonderheit mehr, sie wird in Technik und Labor in großem Maßstab getätigt. Aus praktischen Gründen hat man die Einteilung in Anorganische und Organische Chemie weiterhin beibehalten. Die Mehrzahl der chemischen Elemente und deren Verbindungen rechnet man der Anorganischen Chemie zu. Die Orga-

nische Chemie ist die Domäne der Verbindungen aus Kohlenstoff und wenigen anderen Elementen. Die Zahl der organischen Verbindungen übersteigt die der anorganischen um ein Mehrfaches, weil Kohlenstoff mit verschiedensten anderen Elementen, vor allem aber auch mit sich selbst, Verbindungen von z. T. außerordentlicher Molekülgröße aufbauen kann.

Die Chemie hat sich mittlerweile in weitere Spezialgebiete aufgespalten, die aber untereinander in engem Kontakt geblieben sind. Die ursprüngliche Organische Chemie beschäftigt sich mit der Isolierung und Strukturklärung von Stoffen, die in der belebten Natur vorkommen. Das Schwergewicht der Organischen Chemie liegt heute auf anderen Gebieten, aber der Zweig der *Naturstoffchemie* ist lebendig geblieben. Die wichtigen kleineren Grundmoleküle sind inzwischen längst bekannt, daher liegt der Schwerpunkt der Naturstoffchemie bei komplizierteren Verbindungen, von denen einige, wie die Antibiotica oder die Alkaloide, starkes medizinisches Interesse beanspruchen.

Die Naturstoffchemie sah ihre Aufgabe zunächst in einer Bestandsaufnahme. Allmählich begann man sich auch für Wirkungsweise und Funktion der aus Organismen stammenden Substanzen zu interessieren. Dieser Zweig der Chemie erhielt den Namen *Physiologische Chemie* (von medizinischer Seite) oder *Biochemie* (von chemischer Seite). Beide Namen werden heute synonym für das gleiche Fach gebraucht. Heute ist man über Umwandlungen der kleineren Biomoleküle in Organismen gut informiert, wenn auch noch manche Frage offen blieb. Das Schwergewicht der heutigen Biochemie liegt auf Vorgängen, die sich auf dem makromolekularen Niveau abspielen, vor allem soweit sie Regulations- und Differenzierungsvorgänge betreffen.



## 2 Beschreibung der Stoffklassen

### 2.1 Kohlenwasserstoffe

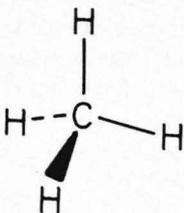
Kohlenstoffverbindungen verdanken ihre Vielfalt der Tatsache, daß Kohlenstoffatome untereinander unbeschränkt kettenförmige Moleküle bilden können. Sie können weiterhin untereinander Mehrfachbindungen (Doppel- und Dreifachbindungen) ausbilden. Schließlich kann Kohlenstoff sowohl mit elektropositiven (Metalle, Wasserstoff) als auch mit elektronegativen (Halogene, Sauerstoff) Elementen (Halogene, Sauerstoff) sehr vielfältige Verbindungen eingehen (s. Bd. 1, S. 32).

Ähnliche Homologen des Kohlenstoffs, Silicium und Germanium, können das nur in sehr beschränktem Maße.

Die Vielfalt der Kohlenstoffverbindungen wird durch die Möglichkeit vermehrt, daß die Ketten linear oder in verschiedener Weise verzweigt sein können.

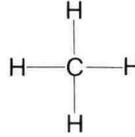
#### 2.1.1 Alkane (Paraffine)

Alkane bilden mit den Alkenen und Alkinen (s. S. 20 u. 25) die Klasse der aliphatischen Kohlenwasserstoffe. Alkane sind die am einfachsten gebauten Kohlenwasserstoffe; sie enthalten nur C-H- und C-C-Einfachbindungen. Das einfachste Alkan ist *Methan* ( $\text{CH}_4$ ). Es besteht aus einem C-Atom und 4 H-Atomen, die durch 4 gleichartige Bindungen miteinander verknüpft sind<sup>1)</sup>.

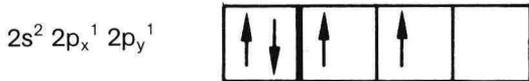


<sup>1)</sup> Einfache Striche symbolisieren Bindungen, die in der Papierebene liegen, gestrichelt gezeichnete Bindungen verlaufen nach hinten, keilförmig gezeichnete nach vorn.

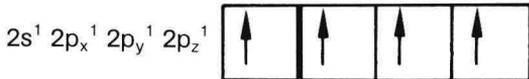
Man schreibt die Formel oft vereinfacht, wenn auch nicht korrekt, indem man sie in die Papierebene projiziert.



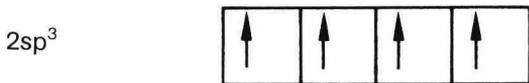
Im Grundzustand des Kohlenstoffs befinden sich die Elektronen der 2. Schale in folgenden Orbitalen:



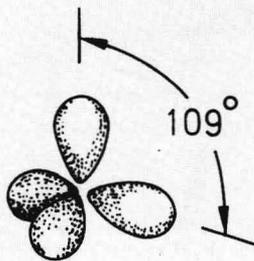
Um eine Bindung auszubilden, wird ein Elektron aus dem s-Orbital in ein p-Orbital „promoviert“, der Zustand wird jetzt durch



beschrieben. Anschließend vermischen sich die Elektronenzustände, sie „hybridisieren“, d. h. sie geben ihre Unterschiede zugunsten eines neuen, allen gemeinsamen Zustandes auf, des  $2sp^3$ -Zustandes.

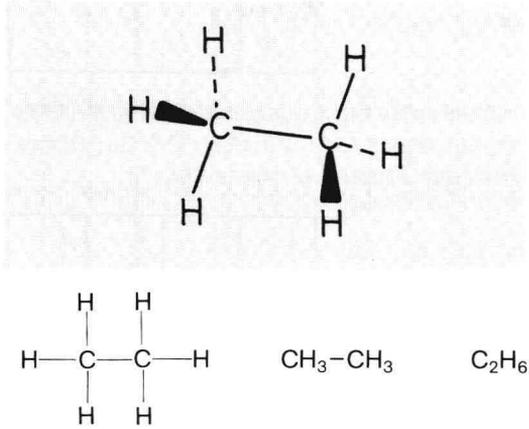


Die Bindungen in einem  $sp^3$ -Hybrid sind nach den 4 Ecken eines Tetraeders (regelmäßige dreiseitige Pyramide) gerichtet und bilden untereinander Winkel von  $109^\circ$ .

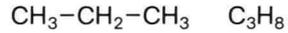
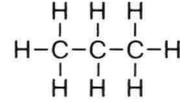
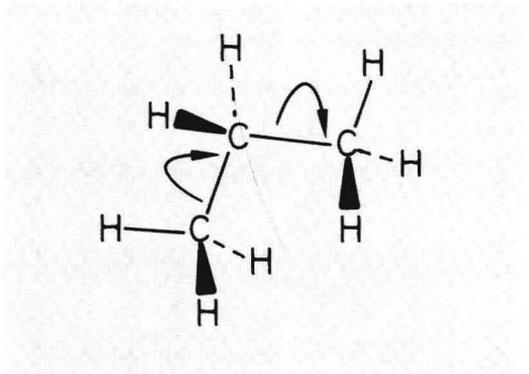


Methan ist unpolar (s. Bd. 1, S. 37), daher kaum in Wasser löslich und flüchtig. Bei Raumtemperatur ist es ein Gas (Siedepunkt  $-162^{\circ}\text{C}$ , Schmelzpunkt  $-183^{\circ}\text{C}$ ). In der Natur kommt es als Reaktionsprodukt von mikrobiellen Prozessen vor (Sumpf-, Grubengas), in der Technik wird es in großem Umfang durch Crackprozesse (Aufspalten höherer Kohlenwasserstoffe durch Hitzebehandlung) hergestellt.

Denkt man sich ein Kohlenstoffatom mit nur drei Wasserstoffatomen besetzt und kombiniert das so entstandene *Methylradikal* (Methylrest) mit einem zweiten derselben Art, so kommt man zu dem nächst höheren Homologen, dem *Ethan* (früher Äthan, jetzt auch in der deutschen Fachliteratur dem angelsächsischen Sprachgebrauch angeglichen)



Das nächst höhere Homologe heißt *Propan* und besteht aus 3 Kohlenstoffatomen, die in einer gewinkelten Kette angeordnet und mit Wasserstoffatomen abgesättigt sind.



Propan

Atomgruppierungen („Reste“) sind um Einfachbindungen fast frei drehbar, daher muß man sich die gezeigte Struktur nicht starr, sondern flexibel vorstellen. Es sind alle Strukturen erlaubt, wenn auch nicht gleich wahrscheinlich, bei denen sich Winkel und Abstände der Bindungen zueinander nicht ändern.

Nur noch das folgende Homologe, das *Butan*,  $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ ,  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ , besitzt einen *Trivialnamen*, d. h. einen Namen, der sich geschichtlich ergeben hat und nicht künstlich aus der Struktur abgeleitet wurde. Bei den folgenden Homologen bedient man sich einer *systematischen Nomenklatur* und benennt die Verbindungen nach den griechischen und lateinischen Zahlwörtern: Pentan ( $\text{C}_5\text{H}_{10}$ ), Hexan ( $\text{C}_6\text{H}_{14}$ ), Heptan, Octan, Nonan, Decan, Undecan usw. Alkane haben die allgemeine Strukturformel  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ . Auf jedes Kohlenstoffatom entfallen zwei Wasserstoffatome, an den beiden Kettenenden wird jeweils ein zusätzliches Wasserstoffatom zur Absättigung gebraucht.

Alkane oder Paraffine kommen im Erdgas (niedere Homologe) und als Hauptbestandteil des Erdöls (höhere Homologe) vor. Sie sind wie Methan unpolare Verbindungen, ihre Siedepunkte steigen mit der Kettenlänge an. Bis zum Butan sind die Verbindungen bei Raumtemperatur gasförmig, von Pentan bis Heptadecan flüssig, darüber fest.

*Strukturisomerie*

Die bisher beschriebenen Alkane besitzen eine fortlaufende Kette ohne Verzweigung; sie gehören der Gruppe der Normal-Alkane oder *n-Alkane* an. Bereits Butan kann aber auch in einer verzweigten Form vorkommen: