

Zeitschrift: Prisma : illustrierte Monatsschrift für Natur, Forschung und Technik
Band: 2 (1947)
Heft: 1

Artikel: Über die Gestalt von Molekülen
Autor: Kuhn, Werner
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-653290>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 06.10.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Über die Gestalt von Molekülen

Von Prof. Dr. Werner Kuhn

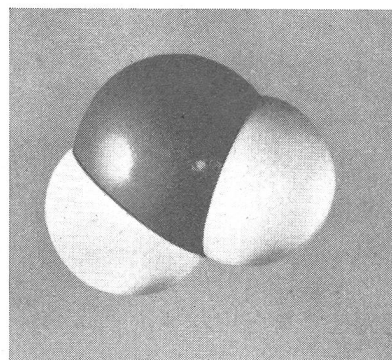


Bild 1: Wasser (H_2O)

1. Existenz und absolute Größe der Moleküle

Wir gelangen in einfacher Weise zum Begriff des Moleküls, wenn wir nach dem Ergebnis und der möglichen Grenze der fortgesetzten Teilung eines Stückes Materie, beispielsweise eines Stückes Zucker fragen. Wir können ein Zuckerstück halbieren, die Hälfte wieder halbieren und sofort. Es ist eine sehr alte Frage, ob sich dieser Prozeß ins Unbegrenzte fortsetzen läßt oder nicht. Die Antwort, die wir heute auf diese Frage geben, lautet, daß sich die Teilung gar nicht beliebig fortsetzen läßt, ohne daß schließlich die Eigenschaft, beispielsweise Zucker zu sein, verloren geht. Die kleinsten Partikel, bis zu welchen die mechanische Zerteilung des Zuckerstückes fortgesetzt werden kann, ohne daß die Eigenschaft der Bruchstücke, Zucker zu sein, verloren geht, sind die *Moleküle*.

Ein Modell des Moleküls von Rohrzucker ist in Bild 6 (siehe Titelbild) anschaulich gemacht, ein Modell des Wassermoleküls in Bild 1. Die Figuren lassen erkennen, daß die Moleküle ihrerseits wieder zusammengesetzte Gebilde sind; sie sind aus Atomen aufgebaut, das Rohrzuckermolekül insgesamt aus 45 Atomen, das Wassermolekül aus nur 3 Atomen.

Es sei beiläufig bemerkt, daß es mit geeigneten Mitteln gelingt, die Moleküle in kleinere Bruchstücke, eben in die Atome zu zerlegen; es sind dazu meistens größere Kräfte notwendig und es hört, wenn eine solche Zerlegung eintritt, der Zucker gänzlich auf, Zucker zu sein und das Wasser hört bei der entsprechenden Zerlegung auf, Wasser zu sein.

Nachdem wir gesehen haben, daß das Molekül die kleinste Partikel ist, bis zu welcher ein Stoff, ohne seine Eigenschaften wesentlich zu ändern, aufgeteilt werden kann, wollen wir jetzt über diese Grenze und damit über die absolute Größe der Moleküle einige Zahlen mitteilen.

Wir können beispielsweise angeben, daß sich in einem mit Wasser gefüllten Trinkglas ungefähr $3 \cdot 10^{24}$ Wassermoleküle befinden. $3 \cdot 10^{24}$ ist eine 3 mit 24 angehängten Nullen. Um uns diese Zahl

und damit die absolute Kleinheit der Moleküle anschaulich zu machen, wählen wir die nachstehenden drei Beispiele.

Das leere Wasserglas soll mit diesen $3 \cdot 10^{24}$ Wassermolekülen gefüllt werden. Nehmen wir an, wir brächten es fertig, in einer Sekunde 100 Millionen Moleküle ins Glas hineinzutun, in der nächsten Sekunde ebensoviel und sofort, so zeigt eine einfache Überlegung, daß es in diesem Falle 1000 Millionen Jahre dauern würde, bis das Wasserglas gefüllt wäre.

Ein zweites Beispiel, welches ebenfalls die Kleinheit der Moleküle anschaulich macht, erhalten wir, wenn wir uns vorstellen, daß wir den Inhalt desselben Glases in den Rhein gießen, denselben mit dem Rheinwasser und nachher mit dem in sämtlichen Seen und Meeren des Erdballs vorhandenen Wasser gründlich durchmischen und zum Schluß von irgendwoher, aus dem Gelben Meer, aus der Nordsee oder aus dem Indischen Ozean wieder ein Glas voll Wasser heraus schöpfen. Es zeigt sich, daß in dem irgendwo herausgeholt Glas Wasser einige hundert bis tausend von den ursprünglich in dem Glas enthaltenen Wassermolekülen wieder dabei sind. Wir können also, beiläufig bemerkt, ganz sicher sein, daß in einem Glas Wasser, welches wir heute trinken, Hunderte von Wassermolekülen dabei sind, welche beispielsweise einmal von Alexander dem Großen oder von Julius Cäsar oder einem beliebigen anderen, der vor zwei- bis dreitausend Jahren gelebt hat, getrunken worden sind.

Ein drittes Beispiel steht in näherer Beziehung zum Problem der Fadenmoleküle, mit deren Gestalt wir uns nachher befassen werden. Stellen wir uns wieder ein mit einer Flüssigkeit gefülltes Trinkglas vor. Machen wir aus dem Inhalt eine etwa 1 cm dicke Schnur, so wird die Länge der Schnur verhältnismäßig kurz, im vorliegenden Beispiel etwa 1 m lang. Machen wir aus derselben Substanzmenge einen Faden von nur 1 mm Dicke, so wird die Länge desselben größer, im vorliegenden Beispiel etwa 100 m; bei einer Dicke von $\frac{1}{10}$ mm würde die Länge des Fadens gleich 10 km

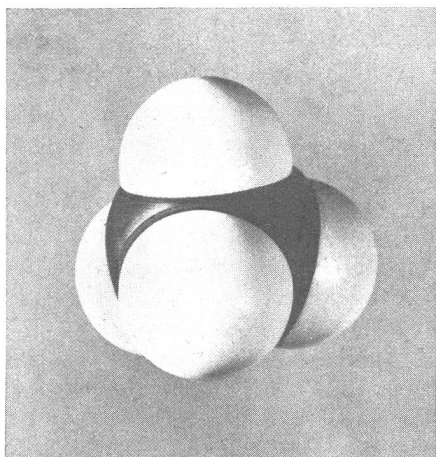


Bild 2: Methan (CH_4)

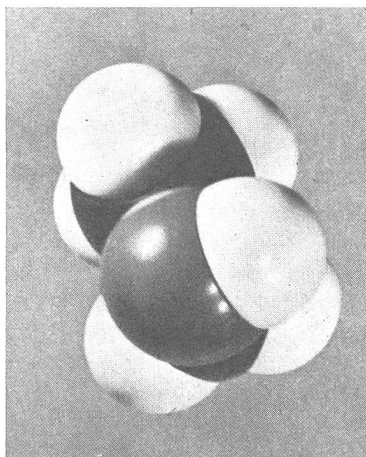


Bild 3: Alkohol (C_2H_5OH)

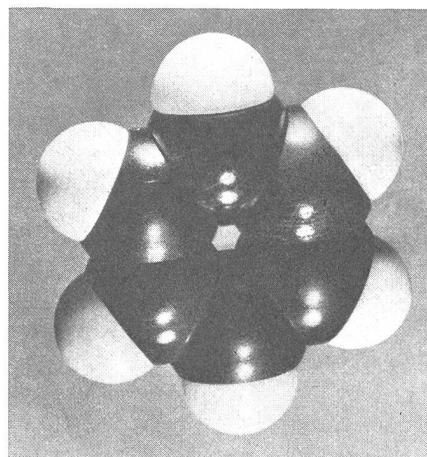


Bild 4: Benzol (C_6H_6)

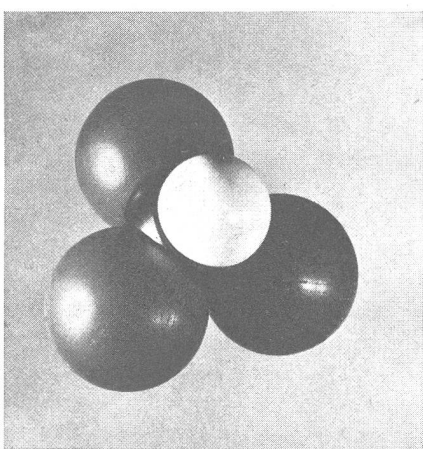


Bild 5:
Chloroform
($CHCl_3$)

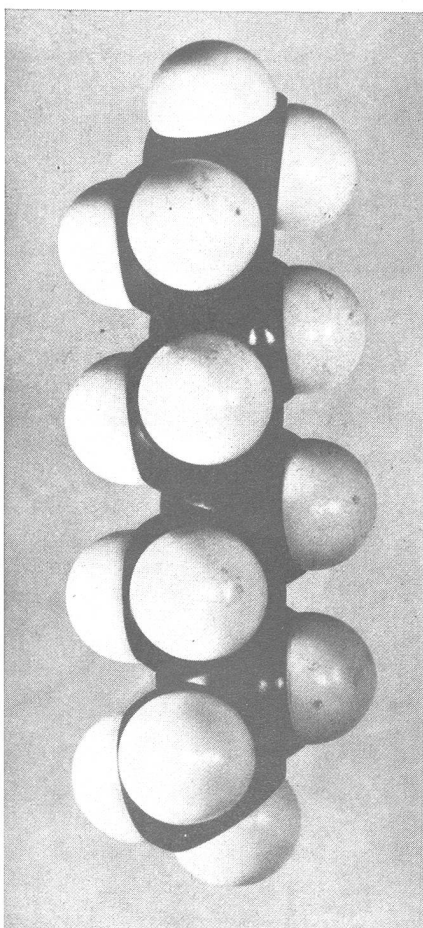


Bild 7:
Normal-Octan
(C_8H_{18})
Zickzackform

werden. Geben wir nun dem Faden die Dicke eines Wasser- oder Zuckermoleküls, so zeigt es sich, daß dann ein Faden von einer Länge entstehen würde, welche mehrere tausend mal größer ist als die Länge der Bahn, welche die Erde während eines Jahres bei ihrem Umlauf um die Sonne herum zurücklegt.

Angesichts der ungeheuren Kleinheit der Moleküle, welche durch diese Beispiele deutlich gemacht wurde, ist es ganz ausgeschlossen, Feststellungen über die Größe der Moleküle oder über ihre Form durch unmittelbare, zum Beispiel visuelle Beobachtungen zu machen. Erschwerend für solche Beobachtungen kommt nämlich noch hinzu, daß beispielsweise die Wassermoleküle im Trinkglas durchaus nicht ruhig liegen, sondern daß sie sich zum Beispiel bei Zimmertemperatur je mit einer Geschwindigkeit von etwa 650 m/sec bewegen, die schwereren Rohrzuckermoleküle etwas langsamer, mit einer mittleren Geschwindigkeit von etwa 150 m pro Sekunde.

Trotzdem wir nicht in der Lage sind, die Bewegung und die genaue Form des einzelnen Moleküls unmittelbar zu verfolgen, sind die gemachten Angaben über die Existenz und Größe der Moleküle durch verschiedene Methoden, welche alle im Laufe der letzten sechzig Jahre entwickelt worden sind, sichergestellt. Die Zahl der in einem mit Wasser gefüllten Trinkglas enthaltenen Wassermoleküle läßt sich mit einer Genauigkeit von weniger als ein Promille angeben.

Es gibt eine ganze Anzahl von untereinander unabhängigen Methoden, durch welche die Molekülgröße bestimmt werden kann (Wärmeleitung in Gasen, Sedimentationsgleichgewicht in Lösungen, Gitterkonstante [Röntgenstrahlen], elektrisches Elementarquantum, Radioaktivität [Zählung von α -Teilchen], Lichtzerstreuung [Himmelsblau], Diffusionskonstante von Kugeln mit

bekanntem Radius). Nur auf *eine* Methode, nämlich auf die Methode des Sedimentationsgleichgewichts wollen wir kurz hinweisen, weil diese Methode auch für die Bestimmung der Größe von komplizierten, aus vielen Atomen zusammengesetzten Molekülen brauchbar ist.

Das Prinzip dieser Methode steht in engem Zusammenhang mit der vorhin gemachten Bemerkung, daß sich die Moleküle in einer Flüssigkeit oder in einem Gase mit recht großer Geschwindigkeit bewegen, und zwar die leichteren Moleküle wie Wasser (Bild 1) mit größerer Geschwindigkeit als die größeren und schwereren Moleküle wie Rohrzucker (Bild 6, Titelbild). Diese sogenannte thermische Bewegung der Moleküle, welche beispielsweise die in der Luft vorhandenen Moleküle daran verhindert, alle auf den Boden des Gefäßes, in welchem die Luft eingeschlossen ist, hinabzusinken und dort liegen zu bleiben. Das Ausmaß, in welchem dieses Absinken verhindert wird, ist um so größer, je schneller sich die Moleküle bewegen, es ist also größer bei den ganz kleinen und leichten Molekülen, und weniger groß bei den großen Molekülen, welche sich ja langsamer bewegen. Dieser Hinweis zeigt, daß man durch Untersuchung des Absinkgleichgewichts, welches sich in einem natürlichen oder künstlichen Schwerefeld einstellt, Aufschluß über die thermische Geschwindigkeit und damit über die Größe einer bestimmten Sorte von Molekülen bekommen kann. Durch diese und durch die andern angeführten Methoden ist es gelungen, die absolute Größe der verschiedensten Sorten von Molekülen zu bestimmen, wobei die Feststellung besonders wichtig ist, daß die verschiedenen Methoden übereinstimmend zu den selben Zahlenwerten geführt haben.

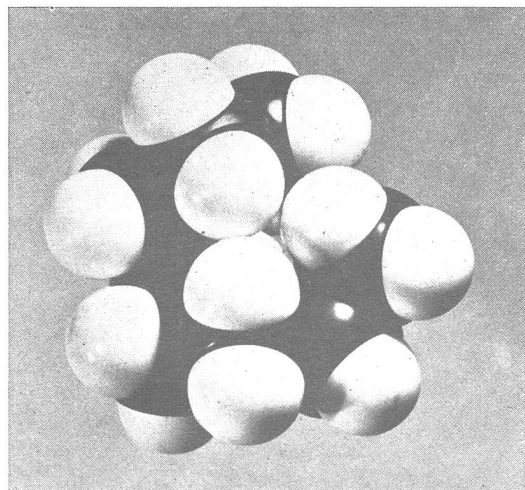
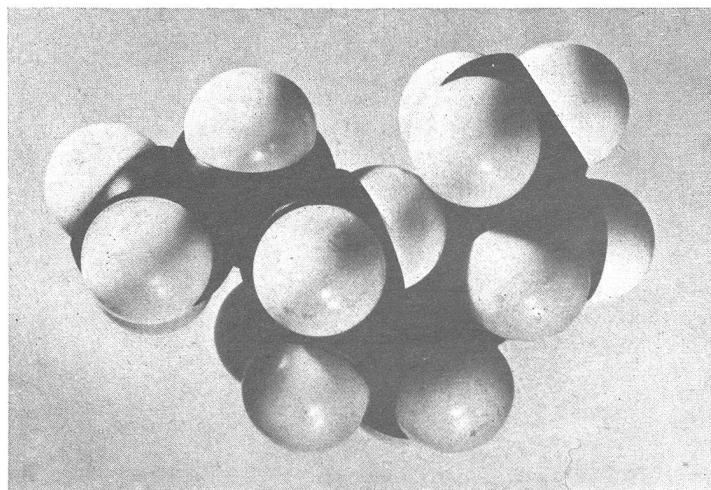
2. Gestalt der Moleküle

a. Kleine Moleküle

Aussagen über die Gestalt der einzelnen Moleküle sind naturgemäß zuerst bei den einfachen Molekülen möglich geworden, das heißt bei solchen Molekülen, welche nur aus zwei oder ganz wenigen Atomen zusammengesetzt sind. Ein solches Beispiel ist uns im Falle des Wassers begegnet, einem Molekül, welches aus 3 Atomen, nämlich einem Sauerstoffatom und zwei Wasserstoffatomen aufgebaut ist (Bild 1).

Unter den verschiedenen Bestimmungsmethoden (Spektroskopie, Dielektrizitätskonstante, Elektronenbeugung, Stereochemie, Röntgenstrahlen, Lichtzerstreuung, Kerreffekt) erlangte die Spektroskopie, das heißt die Untersuchung des von den Molekülen absorbierten oder ausgesandten Lichtes, ganz besondere Bedeutung und Genauigkeit. Ebenso wichtig ist die Untersuchung insbesondere der festen Stoffe mit Hilfe der Röntgenstrahlen, in neuerer Zeit auch mit Hilfe der Elektronenbeugung. In allen Fällen tritt zu den erwähnten physikalischen Methoden die chemische Untersuchung über die Entstehung und das sonstige Verhalten der Moleküle hinzu. Der Anteil, welchen die Untersuchung der chemischen Eigenschaften für die Bestimmung der Molekülgestalt besitzt, wird dabei um so unentbehrlicher, je mehr wir von den ganz einfachen Molekülen wie Wasser, zu den komplizierteren, aus vielen Atomen aufgebauten organischen Molekülen wie Rohrzucker übergehen. In dem letzteren Falle (Rohrzucker) müssen wir ja, um ein naturgetreues Modell machen zu können, die Lage und Abstände der sämtlichen 45 Atome, aus denen das Molekül besteht, kennen. In diesem

Bild 8 links: *Normal-Octan* (C_8H_{18}), *Spiralform*. Bild 9 rechts: *Normal-Octan* (C_8H_{18}), *nahezu ringförmige Konstellation*.



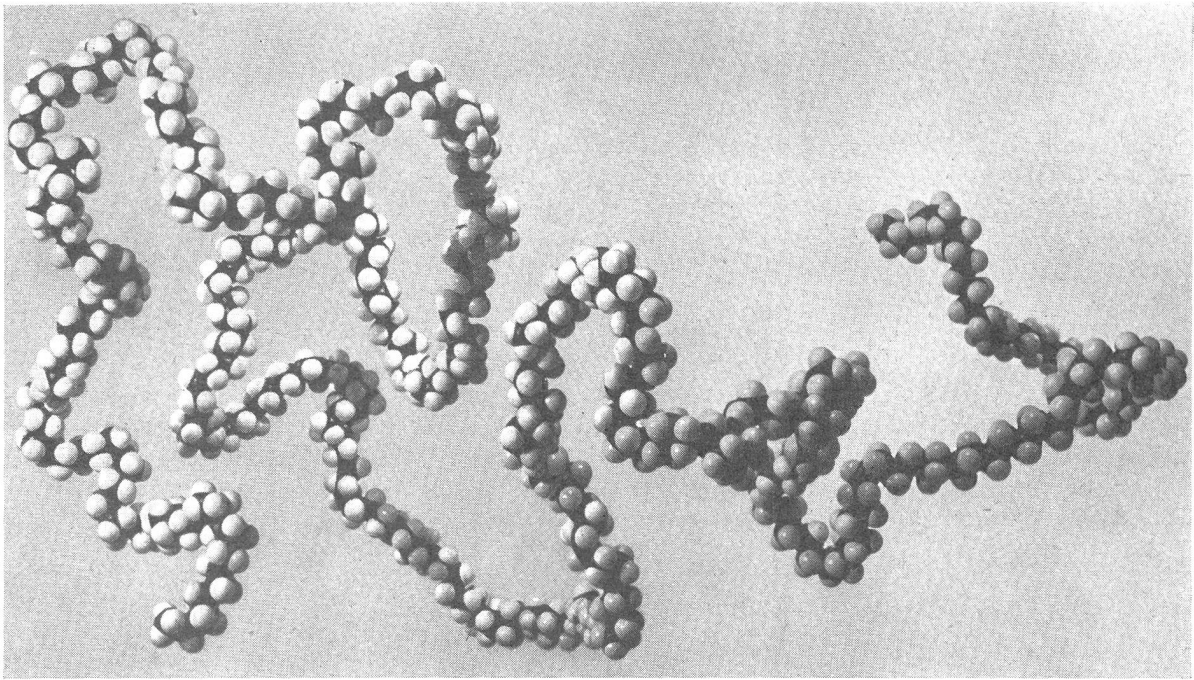


Bild 10: Eine der statistisch wahrscheinlichen Konstellationen eines Hydrobunamoleküls von der Formel $C_{500}H_{1002}$

Fall hat erst die wechselseitige Ergänzung physikalischer und chemischer Methoden die Lösung des Problems, das heißt den Aufbau des in Bild 6 veranschaulichten Modells ermöglicht.

Es ist auf Grund solcher Forschungen und Erfahrungen möglich, für die meisten einfachen Moleküle naturgetreue Modelle anzugeben, welche die Verknüpfung der Atome, deren Abstände und relative Lage im Molekül richtig wiedergeben. Die Bilder 1–6 zeigen eine Anzahl solcher Modelle, nämlich außer den schon erwähnten Molekülen von Wasser und Rohrzucker die von Methan, von Alkohol, Benzol, Chloroform. Die Erfahrung zeigt, daß jeder Atomsorte eine bestimmte, nahezu konstante Größe (ein Atomradius) zukommt. Die chemische Erfahrung, insbesondere die sogenannte Stereochemie (Raumchemie) zeigt ferner, daß beispielsweise die Kohlenstoffatome in organischen Verbindungen unter bestimmten Winkeln aneinandergereiht werden.

Auf Grund eines sehr umfangreichen, physikalische und chemische Erfahrungen umfassenden Tatsachenmaterials können wir also bei den einfachen Molekülen sehr genaue Modelle herstellen, trotzdem die Form des einzelnen Moleküls aus den erwähnten Gründen einer unmittelbaren Beobachtung bisher nicht zugänglich ist.

b. Komplizierte Moleküle

Die schon erwähnte Tatsache, daß die in den Molekülen miteinander verbundenen Atome in der Regel nicht einfach in gerader Linie ange-

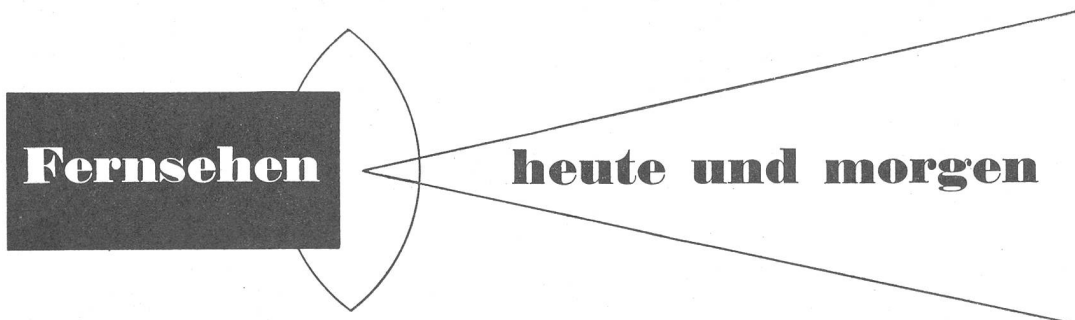
ordnet sind, daß die Moleküle also gewinkelte Gebilde sind, zieht beim Übergang zu den komplizierteren Molekülen interessante Folgerungen nach sich. Es zeigt sich nämlich, daß die Winkelung bei komplizierteren Molekülen gar nicht so eindeutig ist. Wir betrachten zu diesem Zweck ein Molekül von Octan. Chemisch besteht dieses Molekül aus 8 Kohlenstoffatomen, welche zusammen eine Kette bilden, und 18 Wasserstoffatomen, welche seitlich an die Kohlenstoffatome angeheftet sind (Bild 7). Dabei zeigt es sich aber, daß das Molekül nicht nur die Form einer nahezu geraden Zickzackkette (Bild 7), sondern auch die Form einer Spirale (Bild 8) oder nahezu eine ringförmige (Bild 9) Gestalt, oder weitere, von den gezeigten Bildern irgendwie abweichende Formen annehmen kann. Dabei können wir jede dieser Gestalten, welche wir als *Konstellationen* des Octanmoleküls bezeichnen, in die andern Konstellationen überführen, ohne das Molekül zerreißen zu müssen. Die Möglichkeit solcher Konstellationsänderungen beruht auf einer insbesondere der Kohlenstoffbindung eigenen Beweglichkeit oder *Drehbarkeit*.

Auf Grund der genannten Drehbarkeit hat man sich weiter vorzustellen, daß ein herausgegriffenes Molekül (etwa das Molekül Bild 7) seine Gestalt nicht während langer Zeit behält; es ändert vielmehr seine Form, etwa unter Übergang in Bild 8 oder 9 innert kürzester Zeit, wird es doch in der Flüssigkeit von seinesgleichen, die sich mit einer Geschwindigkeit von einigen hundert Me-

tern pro Sekunde bewegen, fortwährend angestoßen. Dabei sind, wie die Beispiele der Bilder 7 bis 9 zeigen, die Gestaltänderungen, welche ein Octanmolekül erfahren kann und erfährt, ohne seine Eigenschaft, ein Octanmolekül zu sein, einzubüßen, erheblich. Diese Unterschiede werden, wie man leicht erkennt, um so größer, je komplizierter die Moleküle werden. Bild 10 zeigt ein Molekül von Hydrokautschuk, welches aus 500 in einer Kette angeordneten Kohlenstoffatomen und 1002 seitlich an diese Kohlenstoffkette gebundenen Wasserstoffatomen besteht. Hier ist die Anzahl von Konstellationen, welche ein solches Riesenmolekül annehmen kann und auch ohne Widerstreben der Reihe nach annimmt, unüberschaubar groß. Man kann hier sofort sagen, daß es unter vielen Milliarden von Molekülen, welche

die gleiche Zusammensetzung besitzen und welche also auch die gleiche Gestalt annehmen könnten, keine zwei Individuen geben wird, welche genau dieselbe Konstellation haben, und wenn wir zwei Individuen gleicher Gestalt doch finden sollten, so wird die Gleichheit wegen der raschen und unkontrollierbaren Wärmebewegung nur für einen winzigen Bruchteil einer Sekunde erhalten bleiben. Es stellt sich bei diesen sogenannten hochmolekularen Substanzen, deren Moleküle aus flexibeln Ketten bestehen, das Problem der Molekülgestalt in einer ganz neuen Form. Es wird keinen Zweck haben, die Form des einzelnen Molekülindividuums bestimmen oder definieren zu wollen; wir werden vielmehr versuchen müssen, *Aussagen über die mittlere Gestalt dieser Moleküle zu machen.*

Schluß folgt



Das Fernsehen steht im Mittelpunkte des allgemeinen Interesses. Aus England, den Vereinigten Staaten und auch aus anderen Ländern kommen Berichte über Fortschritte auf diesem Gebiet, so daß auch in der Schweiz die Frage nach der Einführung der Television immer wieder gestellt wird. – In der hier beginnenden Aufsatzreihe sollen daher der gegenwärtige Stand des Fernsehens, sowie jene Probleme behandelt werden, die sich für seine künftige Entwicklung und allgemeine Einführung stellen.

Von Paul Bellac

Die meisten menschlichen Erfindungen sind in der Natur vorgezeichnet. Wer denkt etwa daran, daß wir in unseren Sehorganen das Vorbild einer Televisionsanlage finden können? Bekanntlich besitzt unser Auge eine Linse, die das Bild der Außenwelt auf die Netzhaut wirft. Diese ist mit zahlreichen lichtempfindlichen Organen, den Sebstäbchen und Zapfen dicht bedeckt, die durch den Lichteindruck gereizt werden. Alle diese Hunderttausende von winzigen Organen sind über Nervenfasern mit den zugehörigen Hirnzellen verbunden, wo sie den Eindruck des geschauten Bildes bewußt werden lassen. Wir sehen also in Wirklichkeit kein zusammenhängendes Bild, sondern ein Mosaik aus vielen, einzelnen Bildpunkten.

Die Bildzerlegung

Die modernen Fernsehapparate arbeiten nach einem ähnlichen Prinzip. Auch sie zerlegen vorerst das Bild in zahlreiche einzelne Bildpunkte, deren Helligkeitswerte aber nicht – wie beim Auge – mit Hilfe zahlreicher Fernleitungen dem Empfänger zugeleitet, sondern in parallelen Zeilen der Reihe nach übertragen werden. Am Empfangsort setzt man sie dann in der gleichen Anordnung zusammen, so daß sie wieder den Anblick des ursprünglichen Bildes ergeben. Dabei kommt uns die «Trägheit» des Gesichtssinnes zu Hilfe. Im Auge bleiben Lichteindrücke etwa $\frac{1}{10}$ Sekunde lang bestehen, bevor sie verblassen. Wenn wir daher die einzelnen Bildpunkte nur