

# Spiegelsymmetrie

Von Robert J. Schwankner

*„Möchtest Du in der spiegelbildlichen Welt leben Kitty? Vielleicht würdest Du dort keine Milch bekommen können, oder die Spiegelmilch würde Dir nicht schmecken.“*

(Lewis Carroll: Alice im Wunderland)

Objekte, die mit ihrem Spiegelbild nicht deckungsgleich sind (Abb. 1) — wie etwa die linke und rechte Hand —, bezeichnet man nach Lord Kelvin (1893) als chiral (griech. cheir = Hand). Chiralität ist die Folge eines Mangels an Symmetrie: Jedes Objekt, das weder eine Symmetrieebene noch ein Inversionszentrum noch eine Drehspiegelachse besitzt, ist chiral.

Augenfällige Asymmetrien in der Häufigkeit des Auftretens einer der beiden möglichen chiralen Spezies finden sich in der belebten Natur (Abb. 2). Zum Beispiel besitzen fast alle Schnecken ein rechtsgewundenes Haus. Linksgewundene Schnecken (Abb. 3) treten als Mutanten auf, sind jedoch extrem selten. Da sich nur Schnecken mit gleichsinniger Windung paaren können, ist es sehr unwahrscheinlich, daß die wenigen linksgewundenen Exemplare einen Partner zur Vermehrung finden.

Im molekularen Bereich stößt man auf noch auffälligere Asymmetrien. So bestehen Proteine, die Grundsubstanzen aller Lebewesen, ausschließlich (Abb. 4) aus asymmetrischen L-Aminosäuren, nie aus den spiegelbildlichen D-Formen. Lebewesen benutzen zwar D-Aminosäuren für bestimmte spezielle Zwecke, in Proteinen wurden jedoch keine gefunden. Andererseits sind gerade D-Aminosäuren Konstituenten mancher Antibiotika.

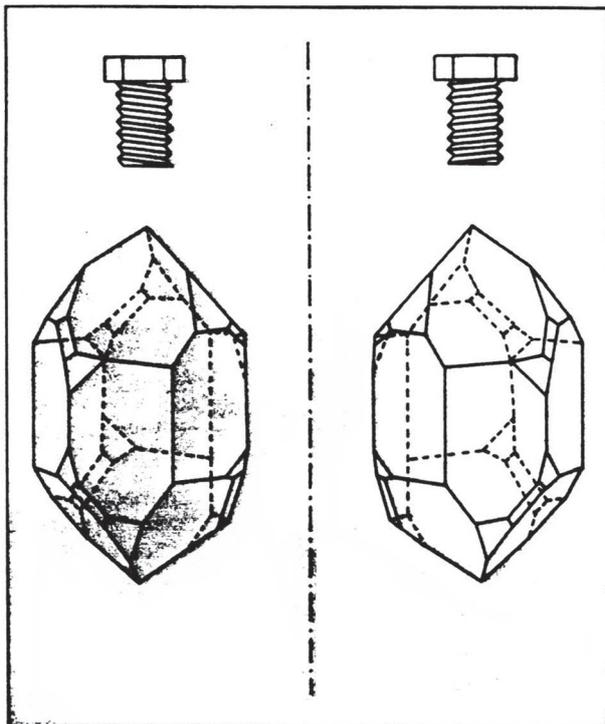
Die Erklärung dafür, daß sich das Leben auf eine der beiden möglichen Aminosäure-Formen festgelegt hat,

ist keineswegs trivial, denn die Synthese chiraler Moleküle aus achiralen Vorstufen führt in Abwesenheit anderer chiraler Einflüsse (z. B. Katalysatoren) immer zu einem racemischen Gemisch (1 : 1) der beiden Konfigurationen, die zueinander spiegelbildlich (enantiomer) sind.

Neuerdings glaubt man einer möglichen Ursache im Sturz der Paritätserhaltung bei bestimmten physikalischen Vorgängen auf der Spur zu sein. Unter Paritätserhaltung versteht man, daß das Spiegelbild eines physikalischen Prozesses ebenfalls ein gleich wahrscheinlicher Vorgang ist.

Man glaubte lange Zeit, daß die Spiegelung eine absolute Symmetrie der Natur darstellt; d. h. eine „Spiegelwelt“ wäre physikalisch nicht von der ursprünglichen Welt zu unterscheiden, und es wäre unmöglich, eine absolute Definition von rechts und links zu geben. Übliche Angaben wie „rechtsherum bedeutet im Uhrzeigersinn“ sind nutzlos, da sie auf Konventionen beruhen. Einem Wissenschaftler in einem weit entfernten Sonnensystem könnte man per Funk die Begriffe rechts und links auf diese Art nicht übermitteln. Ein Gedankenexperiment soll dies belegen: Läßt

Abb. 1. Chirale Objekte: Schrauben, Quarz-Kristalle.



## ASYMMETRIE



Abb. 2. Links- und rechtsgewundene Schnecken stellen zwei chirale Alternativen für die Natur dar.

Abb. 3. ...tatsächlich treten linksgewundene Individuen (hier *Helix pomatia*) nur äußerst selten als spontane Mutation auf, da aus morphologischen Gründen sich nur gleichsinnig gewundene Individuen paaren können.



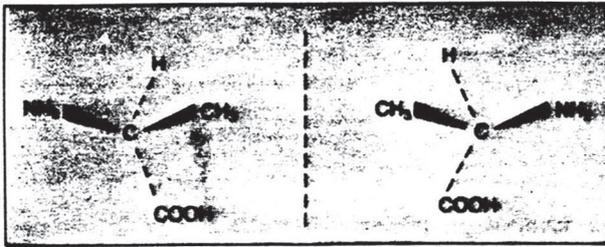


Abb. 4. L- und D-Form der Aminosäure Alanin; in unserem Körper kommt sowohl im Bau- wie Betriebsstoffwechsel ausschließlich die L-Form vor.

man ein geladenes Teilchen, etwa ein Elektron, in das elektrische Feld eines Kondensators so eintreten, wie dies Abb. 5 demonstriert, so findet man tatsächlich, daß auch das spiegelsymmetrische Experiment existiert [1].

Ende der fünfziger Jahre wurde von Theoretikern vorausgesagt und schließlich experimentell bestätigt, daß dies bei bestimmten Umwandlungsprozessen radioaktiver Atomkerne (bei der sog. „schwachen Wechselwirkung“) nicht gelten muß, zwar kann man sich das Spiegelbild vorstellen, aber das Experiment liefert eben nicht das erwartete spiegelbildliche Resultat.

Zum ersten Mal war man einer Bewertung der Natur bei spiegelsymmetrischen Möglichkeiten auf die Spur gekommen.

Richard Feynman, ein führender Theoretiker, kommentierte dies mit dem Ausspruch: „Gott hat die Welt eben nur beinahe symmetrisch gestaltet, damit wir auf seine Perfektion nicht eifersüchtig werden...“

Durch das in Abb. 6 dargestellte Experiment, das die Aussendung von Elektronen aus orientierten radioaktiven  $^{60}\text{Co}$  Cobalt-Atomkernen zeigt, könnte man einem Gesprächspartner in einer fernen Galaxis, der einen vergleichbaren experimentellen Aufwand treibt, nun erstmals den Unterschied zwischen links und rechts absolut klarmachen. — Orientiert man die  $^{60}\text{Co}$  Cobalt-Kerne entsprechend ihrem magnetischen Moment bei tiefer Temperatur mit Hilfe eines starken Magnetfelds, so stellt man eine Anisotropie bezüglich der Emission von  $\beta$ -Teilchen fest. Kehrt

Abb. 5. Experiment und seine Spiegelvariante. Beide existieren: Schießt man ein Elektron in ein Kondensatorfeld, so wird es unabhängig von der Eintrittsrichtung gleichsinnig abgelenkt (Flugbahn gestrichelt gezeichnet); Experiment und Spiegelvariante liefern ein identisches Resultat.

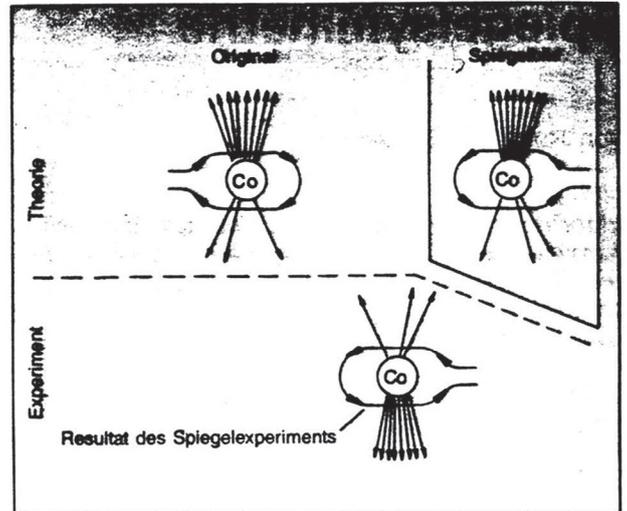
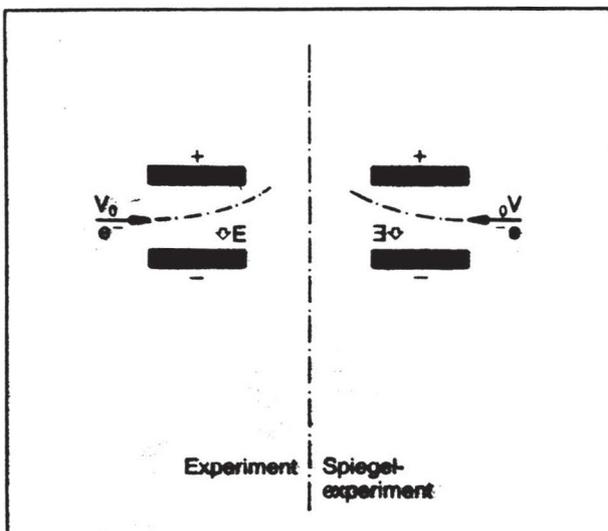


Abb. 6. Bei der Abstrahlung von Elektronen (Negatronen) aus orientierten radioaktiven  $^{60}\text{Co}$  Cobalt-Kernen liefert das Spiegel-experiment (d. h. Umpolung des Magnetfelds) ein nicht identisches Resultat (nach [3]).

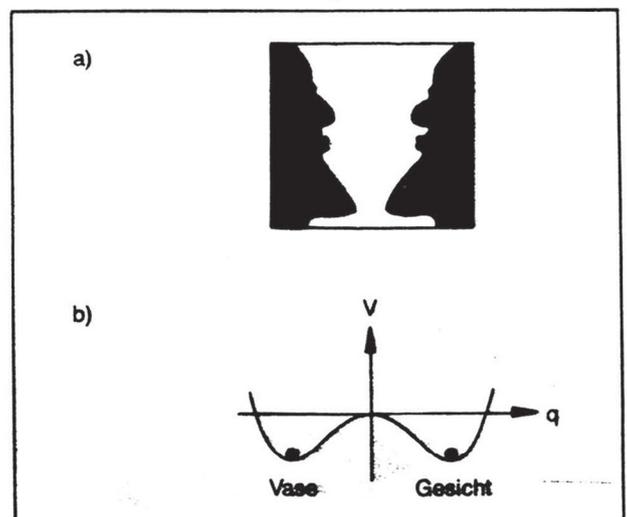
man den Feldvektor (durch Umkehrung des Vorzeichens des Spulenstroms in Abb. 6) um, so wird nicht die theoretisch geforderte Spiegelbildsituation beobachtet. —

Nun aber zurück zur molekularen Asymmetrie unseres Körpers. Durch Experimente mit simulierten Planetenatmosphären (Methan, Ammoniak, Wasserdampf) ist bekannt, daß unter Einwirkung elektrischer Entladung (Blitze) oder UV-Licht (damals gab es noch keine Ozonschutzschicht!) Aminosäuren gebildet werden, die sich in einer „Ursuppe“ ansammeln. Aber es entstehen immer beide spiegelbildlichen (chiralen) Formen (vgl. Abb. 4) in gleicher Häufigkeit [2].

Warum hat sich das Leben aber auf eine Form festgelegt?

Nun ein Grund könnte sein, daß die bei radioaktiven Zerfallsprozessen auftretenden Asymmetrien (Abb. 6) eine der beiden Aminosäuretypen bevorzugt zersetzt haben.

Abb. 7. Sehen Sie eine Vase oder ein Gesicht? Durch spontane Symmetriebrechung entscheidet das Ihr Gehirn bei der neuronalen Verrechnung der visuellen Information. Sie können aber auch entscheiden, was Sie sehen, wenn sie „Vase“ oder „Gesicht“ vorsehen, also eine kleine Unsymmetrie vorgeben [5]. Analog war wohl die Situation in der Ursuppe, als das Leben sich auf D- oder L-Aminosäuren festlegen mußte.



Erste Laborbefunde aus den siebziger Jahren scheinen dies zu belegen [4]. Eine Abschätzung unter der Berücksichtigung des natürlichen Radioaktivitätspiegels, der auf unserer Erde immer (unabhängig von Diskussionen. . .) existiert hat und existiert, ergaben rechnerisch einen Überhang an D-Aminosäuren im Urmeer.

Betrachten Sie Abb. 7a: Sehen Sie eine Vase oder zwei Gesichter? Durch spontane Symmetriebrechung interpretiert Ihr Gehirn den visuellen Eindruck so oder so [5].

Aus zwei spiegelsymmetrischen gleich wahrscheinlichen Ausgangsmöglichkeiten wird durch entsprechende neuronale Verrechnung eine Auswahl getroffen.

Aus vollständig symmetrischen Situationen können so unsymmetrische Zustände resultieren, wie in Abb. 7b dargestellt. Abb. 7a ist symmetrisch (in bezug auf Spiegelung an der eingezeichneten Achse) und stabil. Dagegen besitzt 7b die gleiche Symmetrie, ist jedoch instabil. Die Kugel kann mit gleicher Wahrscheinlichkeit nach rechts oder links rollen; sie wird aber in einem der beiden Täler ankommen. Die Symmetrie des Ausgangszustandes ist jetzt „versteckt“. Einen solchen Vorgang bezeichnet man als spontane Symmetriebrechung. Hier liegt auch die Erklärung dafür, warum in der Natur fast nur rechtsgewundene Schnecken vorkommen (Abb. 2, 3). Eine Population, die aus gleichen Mengen der beiden Formen besteht, wäre evolutionär nicht stabil. Ist nun der Ausgangszu-

stand nicht ganz symmetrisch, etwa bei der Wechselwirkung natürlicher Radioaktivität ( $\beta$ -Zerfall) mit den Aminosäuren der Ursuppe, so hat eine der beiden Formen einen leichten Vorsprung und kann sich in der Evolution schließlich durchsetzen. . . .

Dies mag eine Begründung dafür sein, daß wir nur auf der Basis von L-Aminosäuren aufgebaut sind und die Spiegelform bisher auf das Auftreten in den Spiegelwelten der science-fiction-Literatur beschränkt ist. Experimentell gesichert ist jedoch, daß eine durch „D“ gegen „L“-Austausch erzeugte „Spiegelmilch“ tatsächlich für uns nicht bekömmlich wäre. . . .

#### Literatur

- [1] R. Schwankner, *Laseranwendungen*. Hanser, München-Wien 1978
- [2] R. Schwankner und G. Sestl / M. Eiswirth, *Abiogene Bildung von Aminosäuren*. *BiuZ* 10, 23 (1980)
- [3] C. S. Wu und E. Amber, *Phys. Rev.* 105, 1413 (1957)
- [3] A. S. Garay, *Nature* 219, 338 (1968)
- [5] H. Haken, *Synergetics*. Springer, Berlin-Heidelberg-New York 1977
- [6] R. Schwankner und M. Eiswirth, *Laser-Projektionschemie* (Praxis Schriftenreihe Chemie Bd. 43). Aulis, Köln 1985

#### Anschrift des Verfassers:

Dr. Robert J. Schwankner, Dipl.-Chem., Institut für Physikalische Chemie der Ludwig-Maximilians-Universität, Sophienstr. 11, 8000 München 2