

E 2688 FX

laser + elektro- optik 4

DM 12,50
Stuttgart
November 1981
13. Jahrgang



Erste deutschsprachige
Fachzeitschrift für Laser, Elektro-Optik
und Strahlentechnik

Industrielle Anwendungen · Materialbearbeitung
Chemie · Nachrichten- und
Messtechnik · Medizin · Umweltforschung

Robert Schwankner*

Versuch's und beweise es: Nr. 8 Try and Prove it: No. 8

Asymmetrie

The last experiment of this series deals with the fundamental asymmetry in nature-chirality. History on generation, mechanisms and large-audience experiments in laser-polarimetry are discussed.

lichtung manche meinen lechts und rinks kann man
nicht velwechsern, werch ein illtum!

ernst jandl [1]

Bild 1 zeigt uns einen kleinen Ausschnitt der Asymmetrie unserer Welt. Die meisten in freier Natur vorkommenden Schnecken sind rechtsgewunden. Linksgewundene Exemplare treten äusserst selten – wohl als Ergebnis spontaner Mutation – auf, da nur gleichgeartete, aber nie zwei zueinander symmetrische Schnecken sich paaren können. Die Asymmetrie liegt nicht in der unterschiedlichen anatomischen Natur der Individuen bedingt, sondern in deren Verteilung, die mit 10000:1 abgeschätzt wird. Diese Asymmetrie durchzieht die gesamte Natur, so existieren von den ca. 20 natürlichen vorkommenden Aminosäuren jeweils zwei zueinander spiegelbildliche Typen, die man aus historischen Gründen als D-, L-Form bzw. heute als R-, S-Form bezeichnet (vergleiche Bild 5). Die D- und L-Form sind zueinander chiral, das heisst, sie verhalten sich z.B. wie der linke zum rechten Handschuh, sie sind spiegelsymmetrisch, können aber durch keine geometrische Operation zur Deckung gebracht werden. Mit **verschwindenden** Ausnahmen baut die gesamte belebte Natur das organische Leben, also biogenes Protein auf der L-Form der Aminosäuren auf. Bild 2 zeigt die berühmte Arbeit: «Production of Some Organic Compounds under Possible Primitive Earth Conditions» des Amerikaners S.L. Miller aus dem Jahre 1955 [2]. Ihm gelang es in einem Wasserdampfkreislauf (Bild 3) unter Funkenentladung in einer

Methan-Ammoniakatmosphäre, den Gasen der Urerde Aminosäuren, also Grundbausteine des Lebens zu erhalten. Miller erhielt bei dem, vereinfacht durch Bild 4, wiedergegebenen komplexen Reaktionsablauf nicht nur ein ganzes Spektrum von Organika, sondern die sich darunter findenden Aminosäuren, entstanden 1:1 in ihrer D- und L-Form. Es lag also ein sog. razemisches Gemisch vor, bei welchem die beiden optischen Antipoden (D- u. L-Form = Bild und Spiegelbild) gleichmässig vertreten waren. Wie es zur Festlegung des Lebens auf jeweils eine der beiden möglichen Formen, nämlich L bei Aminosäuren und D bei Zuckern im razemischen Urozean, kam, ist immer noch Gegenstand interdisziplinärer Untersuchungen. Ergebnisse der theoretischen Physik (Paritätsverletzung bei der schwachen Wechselwirkung) [3] weisen darauf hin, dass ein Einkoppeln einer Elementarteilchenasymmetrie in die Chemie der Ursuppe einen der beiden Antipoden diskriminiert haben könnte, und neuere experimentelle Belege lassen sich dafür im Bereich der betainduzierten Radiolyse aromatischer Aminosäuren finden [4]. Es wird auch schon die These diskutiert, ob die D-L-Verteilungsasymmetrie nur ein Abdruck einer wesentlich tiefer gehenden Asymmetrie im Kosmos der Materie-/Antimaterieverteilungsasymmetrie darstellt [5]. In einer Spiegelwelt, in der die Antimaterie dominiert, müssen somit folgerichtig die Proteine aus D-Aminosäuren geknüpft sein, und Antibiotika auf Proteinbasis wären dort, im Gegensatz zu unserer Welt, auf L-Basis zu synthetisieren.

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

Aus Lewis Carroll: Alice im Wunderland

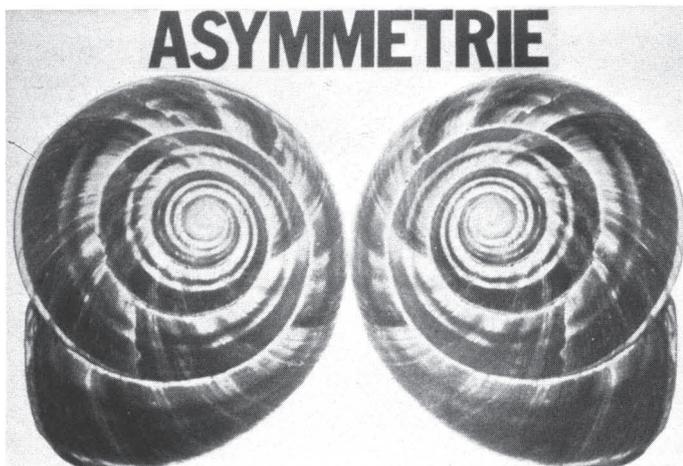


Bild 1 Spontane Mutationen linksgewundener Schnecken im Verhältnis 1:10000. Paaren können sich aus anatomischen Gründen nur gleichartige, nicht aber symmetrische Individuen...

JOURNAL OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY

(Registered in U. S. Patent Office) (Copyright, 1955, by the American Chemical Society)

VOLUME 77

MAY 12, 1955

NUMBER 9

[CONTRIBUTION FROM THE GEORGE HERBERT JONES LABORATORY OF THE UNIVERSITY OF CHICAGO]

Production of Some Organic Compounds under Possible Primitive Earth Conditions¹

By STANLEY L. MILLER^{1a,b}
RECEIVED NOVEMBER 29, 1954

Bild 2 Stanley Millers erste Publikation zur abiogenen Aminosäurebildung [2].

*Wissenschaftliches Studienteam, Scheibenstr. 18, 8220 Traunstein.

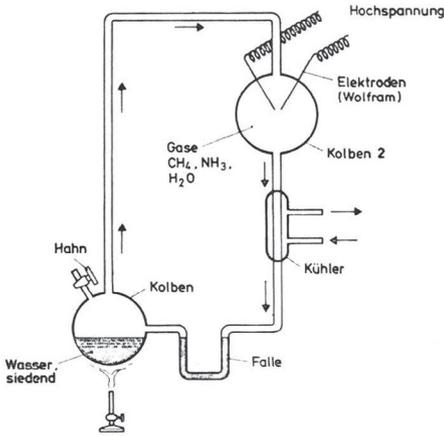


Bild 3 Der Wasserdampfkreislauf von S.L. Miller [2]

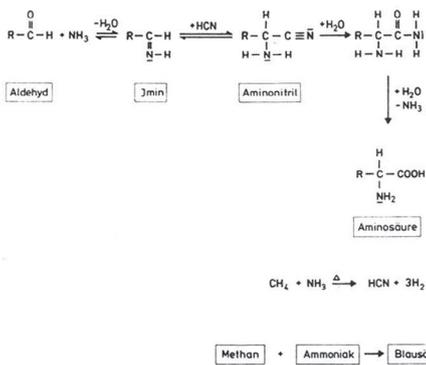


Bild 4 Die Strecker-Synthese: Ein stark vereinfachendes Schema zur Deutung der Aminosäurebildung in der «Ursuppe».

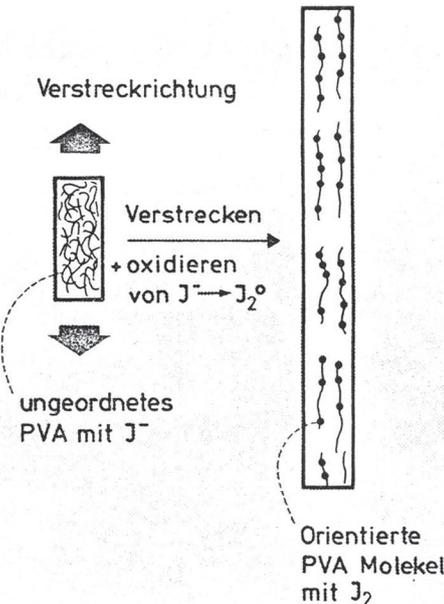


Bild 6a Ordnung der PVA-Ketten durch Verstrecken, Oxidation des Jodids zu I₂

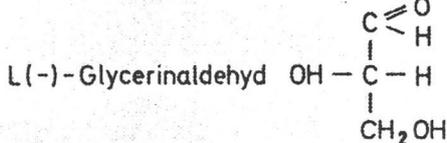
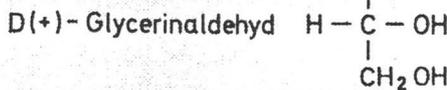
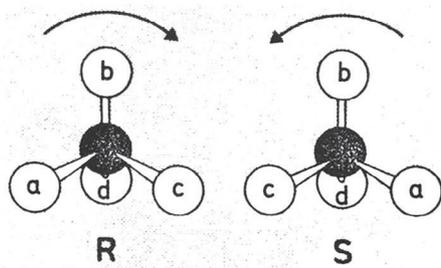


Bild 5 Die Konfigurationsvorzeichen optischer Antipoden wurden früher per Definition an D- und L-Glycerinaldehyd durch Strukturanalogie sowie strukturanaloger Synthese orientiert. Das R-S-System wurde 1951 von Cahn, Ingold und Prelog eingeführt. Man gibt den 4 Liganden eine Prioritätsabfolge, ordnet sodann den Liganden niedrigsten Ranges nach hinten an und zählt das verbliebene «Steuerrad» ab. R (rectus) = «Rechtswanderung». S (sinister) = «Linkswanderung». Rangfolge: 1. Reihung nach Ordnungszahl z.B. (O > C). 2. Wenn zwei liegende gleiche OZ z.B. (CH₃ < CHO), dann wird nachstehendes Atom untersucht. 3. Zwei Atome höheren Ranges haben Vorrang (CO₂H > CHO). 4. Eine Doppelbindung wird wie zwei Einfachbindungen betrachtet.



Bild 7 Jakobus Henricus van't Hoff (1852–1911), Träger des ersten Nobelpreises für Chemie (1901) (Photo: Deutsches Museum, München)

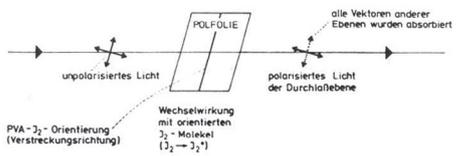


Bild 6b Linearpolarisation parallel zur Verstreckungsrichtung

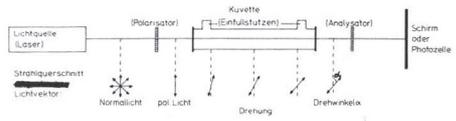


Bild 8 Schematischer Aufbau eines Laserpolarimeters

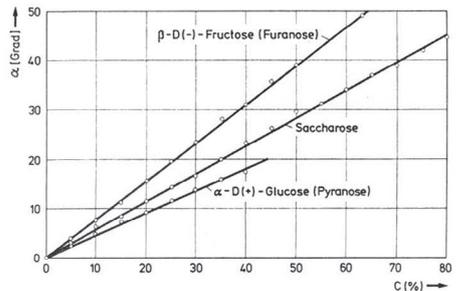


Bild 9 Konzentrations-Drehwinkel-Diagramm für ausgewählte Zucker

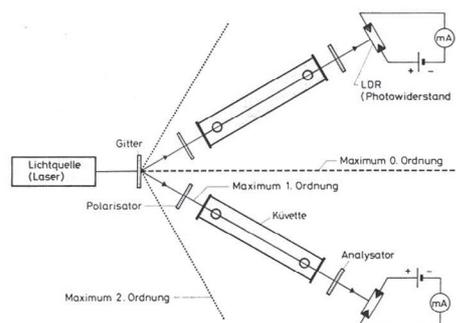


Bild 10 Mehrstrahlpolarimeter mit Rowland-Gitter

Historische Bemerkungen

Louis Pasteur stellte bei der Untersuchung von Weinsäure (einer in D- und L-Form vorkommenden Substanz) fest, dass aus dieser ein unter geeigneten Bedingungen erzeugtes Natriumammoniumsalz in zwei hemiedrischen Formen kristallisiert. Durch mechanische Auslese konnte er die Kristalle unter der Lupe in zwei zueinander sich spiegelbildlich verhaltende Kristalltypen trennen. Beide so erhaltenen Kristallhäufchen testete er dann auf optische Aktivität. Unter optischer Aktivität verstehen wir, dass die Polarisationssebene linear polarisierten Lichts beim Durchgang eines optisch aktiven Körpers bzw. dessen Lösung gedreht wird, was man durch eine geeignete polarimetrische Anordnung sichtbar machen kann (vgl. Bild 8). Während das synthetisierte Weinsäuresalz («Pasteurs Starthäufchen») in Lösung gebracht keine optische Aktivität aufwies, taten dies die beiden Lösungen, die aus den ausgelesenen Kristallhäufchen hergestellt wurden. Bezogen auf ihre Konzentration mit gleichem Betrag, jedoch in unterschiedlicher Richtung, also links- und rechtsdrehend, das Kennzeichen optischer Antipoden.

Damit begannen sich Chemiker architekturengleich für den detaillierten chemischen Aufbau der Moleküle zu interessieren. Unabhängig voneinander gelang es 1874 van't Hoff (Abb. 7) und Le Bel, geleitet durch chemische Intuition und Phantasie, aufzuzeigen, dass das asymmetrische Verhalten vieler Kohlenstoffverbindungen, also deren optische Aktivität sich mit einem Tetraedermodell des Kohlenstoffs erklären lässt. In der Tat, bei den obig besprochenen, für das Leben unabdingbaren Aminosäuren sind um ein Kohlenstoffatom (Tetraederzentrum) vier verschiedene Liganden (= Atome bzw. Atomgruppen) angeordnet: H, R (= organischer Rest), NH_2 , CO_2H . Je nach der Reihenfolge der Anordnung ergeben sich bei vier verschiedenen Liganden zwei Antipoden (D, L-Form), zwei chirale Tetraeder, die man leicht mit einigen Zündhölzern und etwas Knetmasse als zentrales C-Atom feststellen kann (vgl. Bild 5).

Van't Hoff's Buch «Die Lagerung der Atome im Raume» brachte ihm einige lesenswerte Kontroversen mit damaligen Chemiegrößen, insbesondere aber mit dem «Donnerer aus der Waisenhausstrasse zu Leipzig, Hermann Kolbe, ein, der bereits so wichtige Gestalten wie Kekulé und Baeyer als «chemische Sozialdemokraten» verunglimpfte:

«Ein Dr. J. H. van't Hoff, an der Thierarzneischule zu Utrecht angestellt, findet, wie es scheint, an exakter chemischer Forschung keinen Geschmack. Er hat es bequemer erachtet, den Pegasus zu besteigen (offenbar der Thierarzneischule entlehnt) und in seiner «La Chimie dans l'Espace» zu verkünden, wie ihm auf dem durch kühlen Flug erklimmen chemischen Parnass die Atome im Weltenraume gelagert erschienen sind. Die prosaische chemische Welt fand an diesen Halluzinationen wenig Geschmack, deshalb unternahm es Dr. F. Herrmann, Assistent am landwirthschaftlichen Institute zu Heidelberg, durch eine deutsche Bearbeitung denselben weitere Verbreitung zu geben... Solche vom Hexenglauben und Geisierklopfen nicht weit entfernte Behandlung wissenschaftlicher Fragen hält auch Wislicenus für statthaft.»

Am 24.11.1877 reagierte Wislicenus in einem Brief an Kolbe:

«...Die Nachricht, dass auch ich einen Angriff von Ihnen zu erwarten habe, ist mir von mehreren Seiten zugekommen – mündlich wie schriftlich – seit Beginn des Jahres 1876. Ich hatte demnach wohl allen Grund zu der Annahme, dass Sie wiederholt Ihre bezügliche Absicht ausgesprochen haben müssen, war daher gar nicht verwun-

dert, als ein mich besuchender Herr, der vorher in Leipzig war, mir scherzhaft (ich suche aus dem Gedächtnis möglichst genau zu recapitulieren) wesentlich folgendes sagte: Ich habe auch von Kolbe einen schönen Gruss an Sie. Sie stehen auch auf seiner schwarzen Liste und werden demnächst drankommen...

... Sie können unmöglich das van't Hoff'sche Schriftchen studiert haben, ein Studium muss aber der berechtigten Kritik vorausgehen. Es ist Ihnen ein solches Studium der Abhandlung, die sich streng mathematisch auf der Annahme von Elementaratomen und der Vierwerthigkeit des Kohlenstoffatoms aufbaut, wahrscheinlich der Mühe nicht werth gewesen. Wie hätten Sie mir sonst – Hinneigung zum Spiritismus – dem jungen van't Hoff seine Stellung an der Thier-Arzneischule, dem Übersetzer Herrmann, der mein Assistent war & lediglich aus äusseren dringenden Gründen an das landwirthschaftliche Institut in Heidelberg übergang, diese Beziehung vorhalten können! Ich habe nie daran gezweifelt, dass es der heilige Eifer für die Wahrheit sei, der Ihnen die Feder bei Ihren Kritiken führt, andererseits bedauere ich, dass Sie dabei die Möglichkeit eigenen Irrthums, welche ja jeder zugeben muss, durchaus nicht zuzugeben scheinen. Ich habe oft theilweise auf Ihrer Seite gestanden, wenn Sie Ihre Mahnrufe erschallen liessen, aber auch nur theilweise & auch nicht jedes mal. Schneidiger Schärfe sittlichen Anspruches fordere ich aber von Jedem, der in ihm voranstehen will, das Bestreben, sich in der Gedankenwelt des Gegners zurecht zu finden & nicht mit dem Anathem der Gedankenlosigkeit wohl erwogene, nur ihm selbst nicht geläufige Anschauungen der Anderen zu brandmarken...»

Sei's drum «... So unangenehm solche Streitereien für die Betroffenen auch sein mögen, so haben sie doch stets den grossen Vorzug, dass sie den Beteiligten ein beträchtliches Aufsehen in der Fachwelt sichern: Van't Hoff war nach dieser Kontroverse ein berühmter Mann. Im September 1877 wurde er zum Lektor der Chemie an der Universität Amsterdam ernannt. Seine Laufbahn war damit gesichert...», resümiert der Chemiehistoriker Otto Krätz [5].

Erzeugung von polarisiertem Licht

In folgendem sei eine zeitgemässe Form der Polarisation von monochromatischem Licht, besonders eignet sich hier natürlich der He-Ne-Laser als Lichtquelle, vorgestellt. Normallicht besteht, frontal betrachtet, aus einem Ensemble von Schwingungen, deren elektrischer Vektor (E) jede Lage annehmen kann. Unter Linearpolarisation versteht man, dass nur eine Polarisationsrichtung ausgefiltert, die anderen unterdrückt werden (vgl. Bild 6).

Zur Herstellung von Pol-Folien löse man einige Spatelspitzen PVA (Polyvinylalkoholpulver, Wacker-Chemie Burghausen) in ca. 100ml Wasser. Diese Lösung wird mit wässriger Kaliumiodidlösung versetzt, die Mischung in einer flachen Schale mit glatter Oberfläche der Abdunstung überlassen. Die entstandene transparente Folie wird mit einem Messer vorsichtig herausgelöst und in Streifen von etwa 4 cm Breite geschnitten, [7]. Ein derartiger Streifen wird über einer Heizplatte (Abstand halten) etwa auf die vierfache Länge ausgezogen. Dadurch erfahren die PVA-Moleküle eine Längsorientierung. In einem Standzylinder im Abzug wird eine Chloratmosphäre erzeugt, in die wir den verstreckten Streifen (mit Wasser anfeuchten) einhängen (siehe Bild 6a). Nach wenigen Minuten ist das Iodid durch Cl_2 zum I_2 oxidiert worden. Das gebildete I_2 setzt sich entlang der durch das Verstrecken streng orientierten PVA-Moleküle kettenförmig an. Bild 6b zeigt, dass Licht, dessen Vektor (E) parallel zu den «Jodketten» liegt, absorbiert wird, da es I_2 - I_2^x -Übergänge anregt und so letztlich in Wär-

me umgewandelt wird. Dies gilt auch für jede vektorielle Zerlegungskomponente gleicher Richtung. Nicht absorbiert hingegen wird im Idealfall Licht, dessen E-Vektor senkrecht zu den PVA-I₂-Ketten liegt. Das den Filter verlassende Licht ist eine linear polarisierte Schwingung, deren E-Vektor senkrecht zur ursprünglichen Verstreckungsrichtung steht. Schaltet man zwei derartige Polfilter hintereinander und verdreht ihre Verstreckungsachsen gegeneinander, so treten hinter dem zweiten Filter Maxima (wenn die Verstreckungsrichtungen parallel stehen) und Minima (wenn die Verstreckungsrichtungen senkrecht aufeinander fallen) an Intensität durchtretenden Lichts auf. Experimentell kann man dies einem grossen Auditorium mit einem Taschenlampenlaser (z.B. Polytec) demonstrieren, wenn man die erste Polfolie (Polarisator) mit Doppelklebefolie an der Strahlaustrittsöffnung fixiert und die zweite frei manipulierbar in der Hand behält. Die Hörsaalwand dient als Schirm [3]!

Wechselwirkung optisch aktiver Moleküle mit polarisiertem Licht

Im linear polarisierten Licht schwingt der E-Vektor in einer Richtung, wie wir bei der Erzeugung betont haben. E kann man sich jedoch nach dem Medieneintritt zerlegt denken, in zwei mit entgegengesetztem Drehsinn umlaufende Vektoren gleichen Betrags (e_1, e_2). Es durchlaufen sozusagen zwei Schrauben entgegengesetzt zirkular polarisierten Lichts das Medium. Durch unterschiedlich lange und intensive Wechselwirkung der «Linksschraube bzw. der Rechtsschraube» mit den optisch aktiven Molekülen ergibt sich bei der theoretischen Rekombination der Teilschwingungen e_1, e_2 beim Medienaustritt eine Drehung der Polarisationssebene des austretenden gegenüber dem eintretenden linear polarisierten Licht.

Eigentlich ist auch dies eine nicht ganz korrekte Beschreibung, denn das austretende Licht ist letztlich elliptisch polarisiert. Hier geht nämlich noch ein, dass die beiden «Schrauben» nicht nur unterschiedlich schnell aufgrund ihrer unterschiedlichen Wechselwirkung durch das Medium geleitet werden, sondern zudem noch unterschiedlich «schrumpfen». Das Medium weist einen unterschiedlichen Absorptionskoeffizienten für links- und rechtszirkularpolarisiertes Licht auf. Das Achsenverhältnis der austretenden elliptischen Schwingungen unterscheidet sich jedoch bei geringen Durchtrittsstrecken nur minimal, es liegt also eine zirkularpolarisierte Schwingung mit den «Achsen» e_1', e_2' vor, deren Kombination im Vektordiagramm E' den austretenden Lichtvektor liefert, dessen Polarisationssebene, in Näherung, gegenüber E um α gedreht ist (siehe Bild 8) [7]. Liegen optisch inaktive Medien vor (z.B. Wasser), wird jeder mikroskopische, sich durch zufällige Orientierung ergebende Drehbeitrag durch ein statistisch vorhandenes Spiegelbild wieder aufgehoben. In racemischen Lösungen, wo Bild- und Spiegelmoleküle in gleicher Anzahl vorliegen, gilt ähnliches – auch hier tritt nach aussen keine optische Aktivität auf. Ausser von Vampiren kennen wir von allen Dingen Spiegelbilder, und so leuchtet ein, dass wenn wir künstlich (z.B. Pasteurs Ausleseverfahren) einen reinen Antipoden auflösen, eine Drehung der Polebene beobachtet wird, da ja in der Lösung (H_2O leistet keinen Beitrag) kein einziges Spiegelbild des Antipoden vorhanden ist, ja bei chiralen Molekülen (Chiralität ist eine molecular intrinsic property!) auch durch statistisch geometrische Anordnung ein Bild nicht ins Spiegelbild überführt werden kann.

Polarimetrie

Nehmen wir an, ein Arzneimittelhersteller will ein bestimmtes Oligopeptid synthetisieren, das in unserer Materienwelt auf D-Aminosäure-

basis als Antibiotikum wirksam ist. Bei der Chemosynthese der einzelnen Aminosäuren fällt D: L wie 1:1 an, und die Natur liefert nur die L-Form. Er wendet also Mikroorganismen an, welchen er das Razemat der Aminosäure vorsetzt, diese nehmen in ihren Stoffwechsel nur die natürliche L-Form auf. In der verbleibenden D-Form erhalten wir somit unser Ausgangsprodukt. Um diese Prozesse zu überwachen oder um z.B. den Zuckergehalt im menschlichen Harn festzustellen bzw. eine Rohrzuckerraffinade auf ihren Gehalt zu untersuchen, benötigt man ein Polarimeter, das über den Grad der Drehung Aussagen über die Zusammensetzung des Mediums machen kann (siehe Bild 9) [8].

Linear polarisiertes Licht tritt durch eine Küvette mit der Lösung der optisch aktiven Substanz. Je nach Wegstrecke und Konzentration des Untersuchungsmediums wird eine charakteristische Drehung um α erzielt. Man spricht hier übrigens von «natürlicher Drehung», da sich im Fall der optischen Aktivität der Drehbeitrag bei Rücklauf des Strahls im Medium **im Gegensatz** zur Anordnung beim Faraday-Effekt aufhebt! Die beiden Polfilter sind zunächst um 90° gegeneinander verdreht – kein Licht trifft auf die Photozelle. Fällt der «gedrehte Lichtvektor» auf den zweiten Filter auf (Analysator), tritt gemäss Komponentenzerlegung ein Teil durch den Analysator. Man muss diesen jetzt um α so lange nachstellen, bis wieder Dunkelheit am Schirm erreicht ist.

Ableitung der Drehwinkelbeziehung

Der Drehwinkel ist bei const. Lichtweg proportional zur Konzentration (siehe Bild 9) und bei const. Konzentration proportional zur Schichtdicke. Ausserdem hängt der Drehwinkel noch in komplexer Form von der Temperatur sowie der Wellenlänge (Rotationsdispersion) des Lichtes ab. Die meisten Literaturdaten beziehen sich nicht auf die elegante, einfach zu justierende He-Ne-Laseranordnung sondern auf die NaD-Linie (genauer auf das nicht aufgelöste Liniendublett). Es gilt folgender Zusammenhang im Bereich der Zuckerchemie [3]:

$$\frac{\text{Messwert-He-Ne}}{\text{Messwert-NaD}} = 0,86$$

Die Beziehung zur Ermittlung der Drehkonstante lautet:

$$[\alpha]_{\lambda}^{\delta} = \frac{100 \alpha}{l c}$$

(α in Altgrad; l in dm; c in Gramm in 100 ml Lösung, d. h. bei der Bereitung **auf 100 ml auffüllen!** δ in Grad Celsius; λ in nm)

Die experimentelle Anordnung lässt sich beliebig erweitern, so kann z.B. im Mehrstrahlbetrieb (im Einzel- oder Differenzstrahlmodus) entlang dem Maxima erster und zweiter Ordnung polarimetriert werden, wobei, wie Bild 10 zeigt, mit einem Laser (1 mW) mehrere Polarimetrieäste versorgt werden können. Schaltet man einen Faradaymodulator in den Strahlengang des Polarimeters, so kann der Drehwinkel auf elektrooptischem Wege und daher wesentlich genauer als die mechanische Skalierung kompensiert und damit festgestellt werden.

Anwendungen zu experimentellen Arbeiten in der Zuckerchemie mit dem He-Ne-Laserpolarimeter zur Mutarotation und Rohrzuckerinvasion entnehme man [9, 10].

Literatur:

- [1] Jandl E.: Laut und Luise RUB 9823 (2) Philip Reclam jun. Stuttgart 1975.
- [2] Miller, S.L. «Production of Some Organic Compounds under Possible Primitive Earth Conditions». *Journal of the American Chemical Society* 9 (1955), 2351–2361, vergl. auch: Robert Schwankner, G. SEXTL., M. EISWIRTH: Das Experiment: «Abiogene Bildung von Aminosäuren» *Biologie in unserer Zeit* 10 (1980), 23–28.
- [3] Schwankner R.: *Laseranwendungen in der Experimentalchemie – Ein Praktikum*, Carl Hanser Verlag, München–Wien 1975.
- [4] Garay, A.S.: «Origin and Role of Optical Isomery on Life». *Nature* Vol. 219 (1968), 338–340.
- [5] Krätz O.: «Das Portrait: Jacobus Henricus van't Hoff 1852–1911», *Chemie in unserer Zeit* 8 (1974), 135–42.
- [6] Braun M.: «Herstellung von Polarisationsfolien – ein Demonstrationsexperiment», *Praxis der Naturwissenschaften Chemie* 22 (1973), 186–187.
- [7] Köber F.: *Grundlagen der Komplexchemie*, Salle-Sauerländer-Verlag Aarau, Berlin-Frankfurt/M., München–Salzburg 1979.
- [8] Flüge J.: *Grundlagen der Polarimetrie*, Walter de Gruyter–Verlag, Berlin 1970.
- [9] Schwankner R.: «Das Laserpolarimeter – Ein neuer Versuchsaufbau zur Behandlung der optischen Aktivität und einige experimentelle Anwendungen», *Praxis der Naturwissenschaften Chemie* 25 (1976), 263–270.
- [10] Schwankner R.: in Brauner, L., F. Bukatsch: *Das kleine pflanzenphysiologische Praktikum*, 9. Auflage 125–132, VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1980.

Nach acht Experimenten für «try and prove it», einer Serie, die auf Anregung und Unterstützung von H.K. Koebner zustande kam, habe ich, ein Student der Chemie und Geschichte der Naturwissenschaften (mit «literarischem» Drang) versucht, anhand von technically sweet experiments, bei denen der Laser den attraktiven Rahmen stellt, einen Streifzug durch Facetten moderner Physik und Chemie abseits von verstaubten Praktikumsvorschriften zu bieten.

Eine Portion Wissenschaftsgeschichte auf Basis von Histörchen sollte belegen, dass Wissenschaftler «Menschen wie Du und ich sind» und sich ebenso in der gleichnamigen lebenswerten Rubrik des «reader's digest» finden können. Die Naturwissenschaft verträgt heitere Seitensprünge!

Wenn Sie davon mehr suchen, so finden Sie genau noch 45(!) + 26 davon in:

Robert Schwankner: Laseranwendungen in der Experimentalchemie – Ein Praktikum
Carl Hanser Verlag München-Wien 1978

Robert Schwankner: Radiochemie-Praktikum
Reihen Universitätstaschenbücher, Nr. 1068, Ferdinand Schöningh, Paderborn-München-Wien-Zürich 1980

Des weiteren lade ich Sie ein, die Abteilung Chemie des Deutschen Museums in München zu besuchen, der ich als freier Mitarbeiter angehöre. Sie können dort 5 oder 8 Try-and-Prove-it-Experimente bewundern!

Es ist mir ein Bedürfnis, allen Lesern zu danken, die in diesen zwei Jahren das Gespräch mit mir gesucht haben. Robert Schwankner