

Forschung, Wissenschaft

Leben und Werk von Werner Kuhn* 1899-1963

Hans Kuhn

Max-Planck-Institut für Biophysikalische Chemie, Postfach 2841, D-3400 Göttingen-Niklausberg



Abb. 1: Werner Kuhn (1949)

Das Lebenswerk von Werner Kuhn ist so vielseitig, und seine Arbeiten haben eine Ausstrahlung auf so unterschiedliche Bereiche, dass es mir unmöglich ist, in der zur Verfügung stehenden Zeit dem Inhalt und der Bedeutung dieser Arbeiten auch nur einigermaßen gerecht zu werden. Sie umfassen Probleme der Kernphysik, der physikalischen Chemie, technologi-

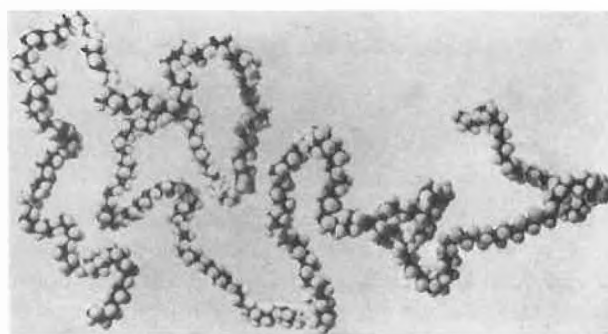


Abb. 2: Zufallsgestalt eines Fadenmoleküls

sche Prozesse, Probleme der Biophysik und Physiologie und der Geophysik.

Ich möchte daher so vorgehen, dass ich die wissenschaftliche Denk- und Arbeitsweise von Werner Kuhn, wie ich sie im Kontakt mit ihm erlebt habe, darzustellen versuche, um so an einem kleinen Ausschnitt aus seinem gewaltigen Werk ein möglichst lebhaftes Bild seines Wirkens zu geben. (Ich bitte um Verständnis dafür, dass bei diesem Vorgehen naturgemäss gemeinsame Arbeiten von Werner Kuhn und mir eingehender als andere besprochen werden). Von da aus möchte ich dann die entscheidenden Zielsetzungen im Lebenswerk von Werner Kuhn betrachten, was dieses Werk in heutiger Sicht bedeutet, welche Impulse die Arbeiten ausgelöst, welche Gebiete sie in besonders hohem Mass bereichert haben.

Als ich Werner Kuhn vor 42 Jahren in Basel fragte, ob ich bei ihm doktorieren dürfe, er war damals 43-jährig, drückte er mir zur Einführung eine Arbeit in die Hand mit dem Titel «Über die Gestalt fadenförmiger Moleküle in Lösungen» [1]. Es war die Arbeit, deren Erscheinen vor genau 50 Jahren zum Anlass für die heutige Tagung gewählt wurde und zwar auf Grund einer Anregung von *Alexander Silberberg*. Etwas später gab mir Werner Kuhn die Korrekturfahnen einer Arbeit mit *Franz Grün* [2] zum Lesen. In der ersten Arbeit ging Werner Kuhn davon aus, dass ein Fadenmolekül (Abb. 2) wegen der freien Drehbarkeit um die Bindungen als Achsen eine Vielzahl energie-

* Nach einem Vortrag, gehalten am Werner-Kuhn-Symposium, das von der Schweizerischen Chemischen Gesellschaft am 23. März 1984 in Basel veranstaltet wurde.

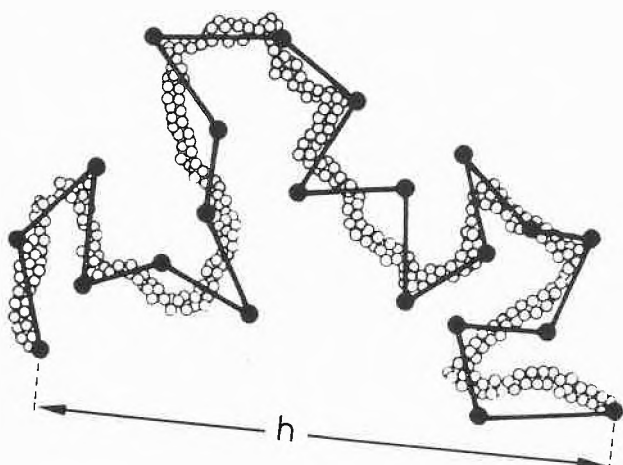


Abb. 3: Fadenmolekül und Modell aus statistischen Fadenelementen

gleicher Konfigurationen annehmen kann. Um zu einer sinnvollen Beschreibung dieser Formenvielfalt zu gelangen, verglich Werner Kuhn die zufällige Form eines Moleküls mit einem Irrweg (Abb. 3), indem er sich die wirkliche Molekülkette durch ein Modell ersetzt dachte, eine Kette aus sogenannten statistischen Fadenelementen. Die Richtung jedes statistischen Fadenelementes ist dem Zufall überlassen, jede Richtung ist apriori gleich wahrscheinlich. Für den Abstand h zwischen den beiden Fadenenden kann dann nach der Gaußschen Statistik eine Wahrscheinlichkeitsverteilung angegeben werden. Es kann nach der Wahrscheinlichkeit dW gefragt werden, dass dieser Abstand zwischen h und $h + dh$ liegt (Abb. 4). Der Mittelwert des Abstandsquadrats ist gleich LA , wobei A die Länge des Elements, L die Länge des Molekülfadens ist.*

In der Arbeit von Werner Kuhn und Franz Gr $\ddot{u}$ n wurde das Problem der Verteilungsfunktion des Abstandes h einer Kette von N Fadenelementen der Länge A exakt behandelt. Ferner wurde unter anderem gezeigt, wie man aus der optischen Anisotropie eines Fadenelements auf die optische Anisotropie des Gesamtmoleküls schliessen kann, oder auf die eines Netzwerks von Fadenmolekülen, d.h. zum Beispiel auf die Dop-

* In der unter [1] zitierten Arbeit dachte sich Werner Kuhn das Fadenmolekül in eine beliebige Zahl N genügend langer Fadenstücke unterteilt und bezeichnete den Abstand zwischen den Enden eines Fadenstückes als Länge des statistischen Fadenelements. Die hier gegebene Darstellung (Festlegung von N und A , indem verlangt wird, dass neben der Bedingung $NA^2 = h^2$ auch die Bedingung $NA = L$ gilt), wurde später [4] eingeführt, um zu einer Beschreibung zu gelangen, die die tatsächlichen Verhältnisse auch bei fast ganz entknäuelten Molekülen noch näherungsweise richtig wiedergibt. (Diese Festlegung ist z.B. für die Überlegungen zu Abb. 22 und 23 wichtig). Ein anderer Weg, das zu erreichen, wurde später von Kratky und Porod durch Einführen der Persistenzlänge eingeschlagen.

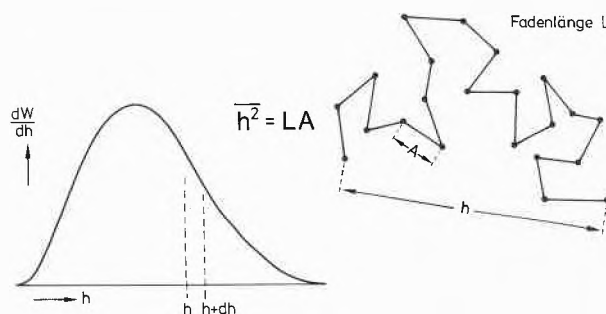


Abb. 4: Verteilungsfunktion des Abstandes h zwischen den Fadenenden

pelbrechung, die auftritt, wenn man ein Stück Kautschuk dehnt.

Werner Kuhn stellte sich nun vor die Aufgabe, zu untersuchen, was geschieht, wenn Fadenmoleküle in eine strömende Lösung gebracht werden (Abb. 5a), wenn wir uns also vorstellen, dass sich die Platte rechts mit der Geschwindigkeit v nach oben bewegt.

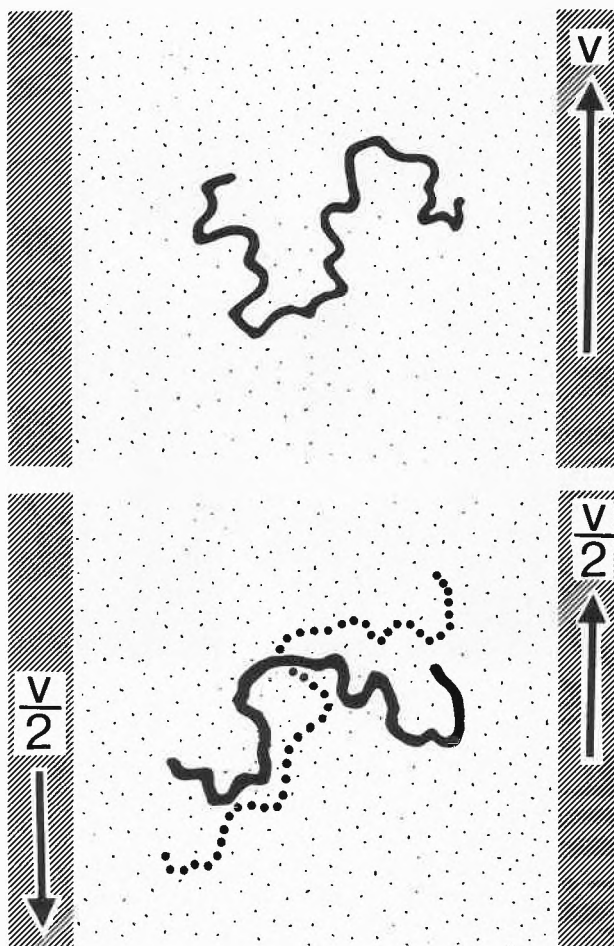


Abb. 5: Fadenmolekül in Flüssigkeit mit Strömungsgefälle
a) Der Schwerpunkt nimmt die Geschwindigkeit der ihn umgebenden Flüssigkeit an
b) Bewegung des Moleküls in einem Koordinatensystem, welches die Translation des Fadenschwerpunktes mitmacht

Um zu sehen, was passiert, ist es einfacher, das Koordinatensystem mit dem Molekül mitwandern zu lassen (Abb. 5b). Es bewegt sich dann die Platte links mit der Geschwindigkeit $v/2$ nach unten, die Platte rechts mit der Geschwindigkeit $v/2$ nach oben. Das Molekül wird herumgewirbelt, gestreckt und wieder zusammengestaucht (hier in zwei Phasen gezeichnet), es wird durch Brownsche Bewegung seiner Teile dauernd

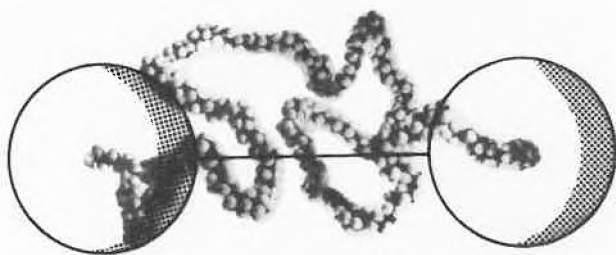


Abb. 6: Hantelmodell als Ersatz für Fadenmolekül

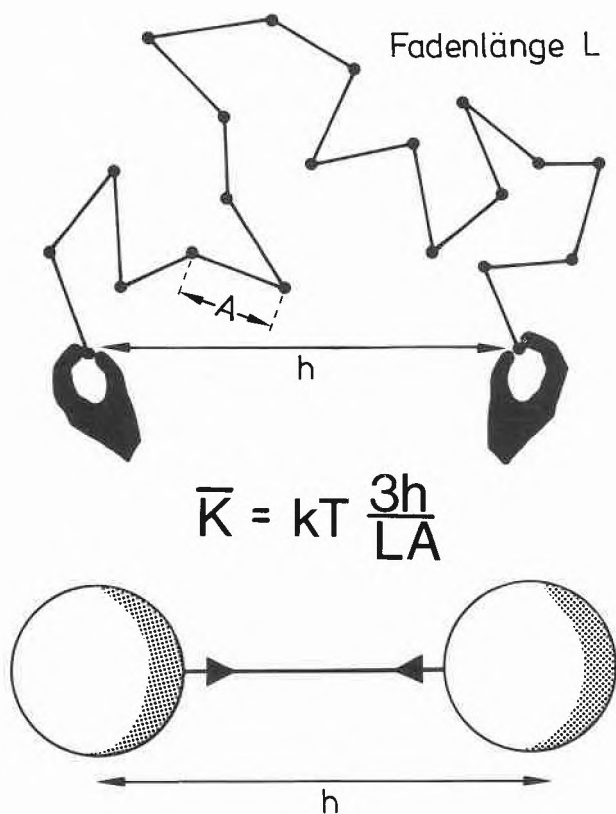


Abb. 7: Kraft $\bar{K}$, mit der die Fadenenden bzw. Hantelkugeln zusammengezogen werden

in seiner Form verändert, und dieser komplizierte Vorgang sollte nun vernünftig vereinfacht beschrieben werden. Diese anscheinend hoffnungslose Situation wusste Werner Kuhn durch einen genialen Einfall zu meistern. Er dachte sich das Molekül durch ein entsprechendes Hantelmodell ersetzt, mit den Hantelkugeln in den Fadenenden (Abb. 6). Könnten wir das Molekül an den Enden festhalten (Abb. 7) so hätte der Molekülfaden wegen seiner Brownschen Bewegung die Tendenz, sich mit der Kraft K zusammenzuziehen (k ist die Boltzmannsche Konstante, T die absolute Temperatur). Die Kraft würde zunehmen, wenn wir den Abstand h vergrößerten. Diese Rückstellkraft hat ihre Ursache darin, dass der Molekülfaden im gestreckten Zustand weniger Realisierungsmöglichkeiten hat. Im Kautschuk sind solche Fäden zu einem Netz verknüpft. Beim Strecken nehmen die Abstände h zu. Die Rückstellkraft K wächst, und das ist die Ursache für die Kautschukelastizität, wie das Werner Kuhn kurz nach Erscheinen seiner ersten Fadenmolekulararbeit gezeigt hatte [3].

Würden wir nun die Enden des Moleküls loslassen, so würden sie sich wie die zwei Teilchen (Hantelkugeln) verhalten, die mit der Kraft K zusammengezogen und wegen der Brownschen Bewegung dauernd herumgestossen werden. Der Abstand h würde sich dauernd ändern. Die Verteilungsfunktion von h und natürlich der Mittelwert des Abstandsquadrates wären wie beim richtigen Molekül.

In den Hanteln denkt man sich den hydrodynamischen Reibungswiderstand, den das Molekül beispielsweise einer Rotation entgegensetzt, konzentriert.

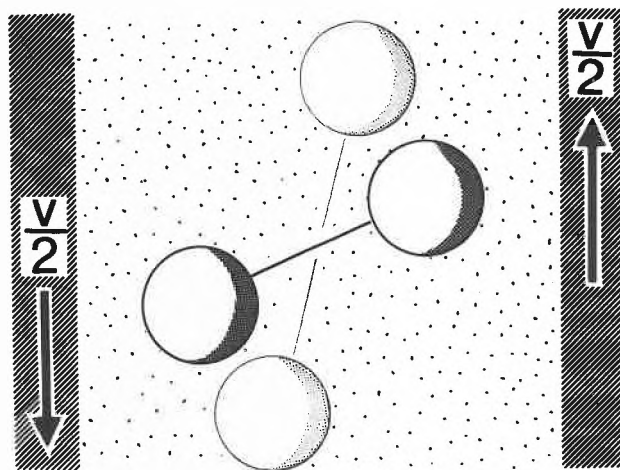


Abb. 8: Hantel in Flüssigkeit mit Strömungsgefälle. Bewegung in einem Koordinatensystem, welches die Translation der Hantelmitte mitmacht

Bringen wir nun das Modell in die strömende Lösung (Abb. 8), so werden die Kugeln zusätzlich in der Strömung mitgezogen, die Kugel rechts nach oben, die

Kugel links nach unten. Andererseits ziehen sich die Kugeln gegenseitig an und sind der Brownschen Wärmebewegung ausgesetzt. Das Modell wirbelt in der Lösung umher, es wird abwechselnd gestreckt und dann wieder zusammengestaucht usw., (was in Abb. 8 in zwei Phasen dargestellt ist). Es war nun einfach, eine geschlossene Lösung für die Verteilungsfunktion des Abstandes h in Abhängigkeit von der Richtung zum Strömungsgefälle zu finden [4].

Dieses Vorgehen von Werner Kuhn ist typisch für seinen Weg, ein komplexes Problem in den Griff zu bekommen, und ich sehe darin eines der ganz wichtigen Dinge, die er uns auch heute zu sagen hat: Die Theoretiker versuchen meistens ein komplexes Problem dadurch anzusteuern, dass sie es in seiner ganzen Komplexität formal zu fassen suchen, um dann zunächst vor einem unlösbaren Problem zu stehen. Sie versuchen dann das Problem durch Weglassen dieses und jenes Terms lösbar zu machen. Es wird also ein möglichst allgemeingültiges Formelgebäude aufgestellt, das aber dann nachträglich, um zu einem Vergleich mit der Erfahrung zu gelangen, in physikalisch oft schwer überschaubarer Weise so vereinfacht werden muss, dass vom ursprünglichen Gebäude wenig übrigbleibt. Werner Kuhn ging umgekehrt so vor, dass er vom drastisch gegenüber der Wirklichkeit vereinfachten Modell ausging, das das physikalisch Wesentliche wiederzugeben vermochte, aber andererseits noch so einfach war, dass die interessanten Konsequenzen aus dem Modell mathematisch konsequent abgeleitet werden konnten. Dieses Modell untersuchte er dann in allen Einzelheiten, indem er daraus neue experimentell prüfbare Konsequenzen ableitete. Werner Kuhn wollte die Rechenergebnisse in jedem Teilschritt überschauen und hatte daher zu einer Berechnung mit elementaren Mitteln grösseres Vertrauen als zu mehr abstrakten mathematischen Formalismen.

Er war also bemüht, die Untersuchung am Modell exakt durchzuziehen, die Konsequenzen aus dem Modell detailliert zu verfolgen. Das hat den Vorteil, dass man unmittelbar sieht, was wichtig ist und die Grenzen in der sinnvollen Beschreibung durch das Modell unmittelbar durchschaut. Er vermied durch sein Vorgehen den Aufwand einer überflüssigen Verallgemeinerung, der nur ablenkt vom Ziel der theoretischen Untersuchung, eine möglichst umfassende Deutung bestimmter Erscheinungen und eine Voraussage neuer Erscheinungen zu geben.

In dem erwähnten Modell für das Fadenmolekül wird das Molekül im Strömungsgefälle orientiert und bei zunehmendem Strömungsgefälle verstärkt entknäult. Das hat zur Folge, dass die Lösung anisotrop wird, es tritt eine Strömungsdoppelbrechung auf: der Brechungsindex für Licht, das in der Richtung schwingt, in der die Moleküle gestreckt werden und grössere Verweilzeiten haben, ist anders als der Brechungsindex für Licht, das in der Richtung senkrecht

dazu schwingt. Wegen der zusätzlichen Dehnung des Moleküls mit wachsendem Strömungsgefälle nimmt die Strömungsdoppelbrechung stärker als proportional zum Strömungsgefälle zu [4] (Abb. 9a). Der Effekt konnte durch Vergleich mit Messwerten von Signer und Mitarbeitern [5] (Punkte) bestätigt werden.

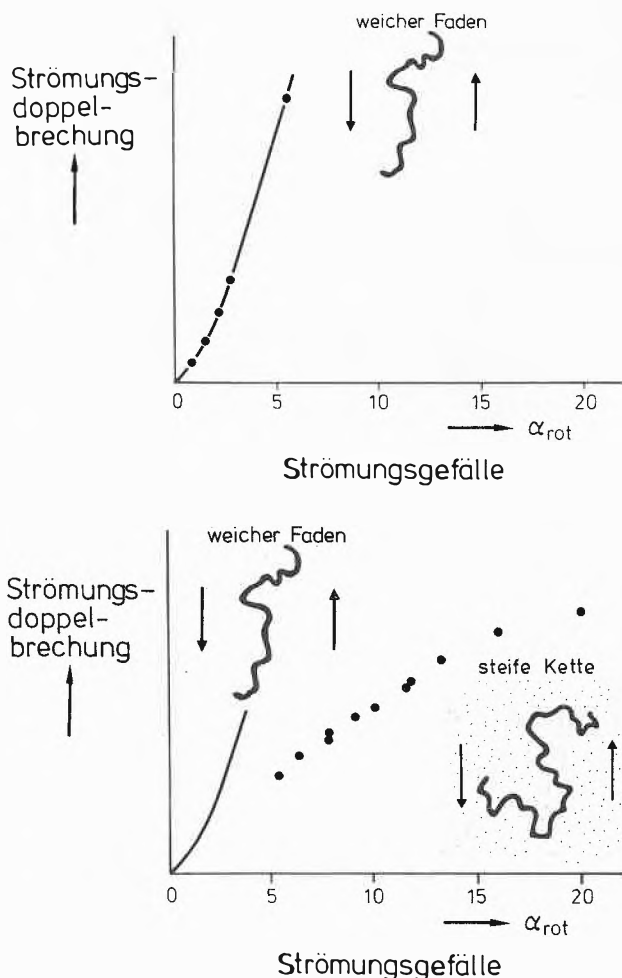


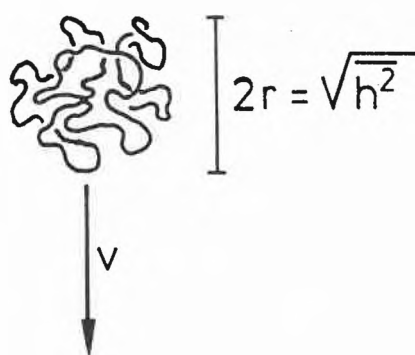
Abb. 9: Strömungsdoppelbrechung einer Lösung leicht deformierbarer Fadenmoleküle (a) und einer Lösung von Fadenmolekülen mit grosser Formzähigkeit (b). $\alpha_{rot} = q/4D_{rot}$, q Strömungsgefälle D_{rot} Rotationsdiffusionskonstante

Es ist mir eine grosse Freude zu sagen, dass Rudolf Signer, der damals in Bern die Messtechnik der Strömungsdoppelbrechung entwickelt und mit ihr Wichtiges für die Bestätigung der Theorien von Werner Kuhn beigetragen hatte, immer noch bei guter Gesundheit in der Nähe von Bern lebt.

Beim Vergleich der Theorie mit der von Signer und Mitarbeitern gemessenen Strömungsdoppelbrechung fand ich auch Fälle, in denen die Strömungsdoppelbrechung nicht überproportional, sondern ganz im Gegensatz zur Theorie schwächer als proportional anstieg (Abb. 9b), und ich dachte, dass das nur auf der Beschränkung der freien Drehbarkeit um die Bindungen als Achsen beruhen könnte, dass also die Molekü-

le so steif seien, dass sie nicht Zeit haben, beim Herumwirbeln in der Lösung gestreckt und dann wieder zusammengestaucht zu werden, ein Effekt, der sich umso stärker auswirken muss, je kürzer die Molekülkette, je kleiner also das Molekulargewicht ist. Dieser Gedanke war etwas ketzerisch, weil damals Einfachbindungen als praktisch frei um die Bindungsachsen drehbar betrachtet wurden.

Als ich mit dem Vorschlag und dem experimentellen Befund zu Werner Kuhn ging, war ich beeindruckt von seiner unmittelbaren Bereitschaft, die theoretische Vorstellung zu modifizieren, um mit den experimentellen Befunden in Einklang zu kommen. Die enge Bezogenheit seines Denkens auf das Experiment hat mich auch später immer wieder beeindruckt. Er versuchte sofort, aus der Formzähigkeit, die sich aus dieser experimentellen Feststellung ergab, quantitativ auf die Energiebarrieren für die Beschränkung der freien Drehbarkeit zu schliessen, und es ergaben sich plausible Werte. Wir konnten auf die Makrokonstellationswechselzeit schliessen, die Zeit, die der Molekülknäuel braucht, um seine Gestalt wesentlich zu verändern. Sie ist bei relativ kurzen Molekülketten und kleiner Lösungsmittelviskosität durch die Formzähigkeit des Molekülfadens bestimmt, im anderen Fall durch Knäuelgrösse und Lösungsmittelviskosität. In diesen Untersuchungen war es wichtig, die Grösse des hydrodynamischen Widerstandes abzuschätzen, den der Molekülfaden der strömenden Lösung entgegensetzt. Es ist einfacher, sich die Problematik am Fall der Sedimentationsgeschwindigkeit eines Fadenmoleküls im künstlichen Schwerfeld der Ultrazentrifuge zu überlegen (Abb. 10). Bei genügend grossem Molekulargewicht ist das Knäuel praktisch undurchspült,

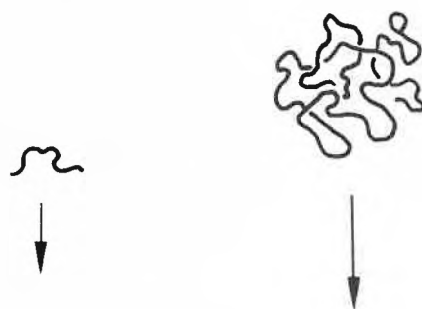


$$K = 6\pi\eta r v$$

$$s = \frac{v}{g} \sim \sqrt{\text{Molmasse } M}$$

Abb. 10: Sedimentation eines undurchspülten Fadenmolekülknäuels

der Reibungswiderstand ist etwa so gross wie bei einer Kugel vom Radius r , wobei $2r$ dem Knäueldurchmesser entspricht, also etwa gleich $\sqrt{h^2}$. Der Reibungswiderstand einer Kugel, die sich mit der Geschwindigkeit v in einer Flüssigkeit der Viskosität η bewegt, ist nach dem Gesetz von Stokes $6\pi\eta r v$. Die Reibungskraft setzt sich mit der Schwerkraft im künstlichen Schwerfeld ins Gleichgewicht, und damit ergibt sich für die Sedimentationskonstante (Sedimentationsgeschwindigkeit v geteilt durch künstliche Schwerebeschleunigung g) eine Proportionalität mit $\sqrt{\text{Molmasse } M}$. Bei einer kurzen Kette ist das Knäuel durchspült; der Reibungswiderstand müsste also etwa proportional der Kettenlänge zunehmen und die Schwerkraft auch, also müsste s praktisch unabhängig von M sein [4] (Abb. 11). Die genauere Berechnung des Reibungswiderstandes ist sehr schwierig, man steht vor einem



durchspült
 s unabhängig
von M

undurchspült
 $s \sim \sqrt{M}$

Abb. 11: Sedimentation einer kurzen Kette (durchspült) und eines stark geknäuelten Fadens (undurchspült)

kaum lösbares hydrodynamisches Problem, das man aber durch Versuche mit makroskopischen Modellen aus Draht beantworten kann (Abb. 12a), die man durch eine viskose Flüssigkeit fallen lässt und die Fallzeit abstoppt [7].

Lässt man ein Drahtmodell in einer viskosen Flüssigkeit fallen, in der eine Markierung angebracht ist, so ist der Grad der Durchspülung auch leicht zu sehen (Abb. 12b).

Beim Auftragen der aus Versuchen an makroskopischen Modellen gewonnenen Sedimentationskonstante s gegen $\sqrt{\text{Molmasse}}$ fand man eine Gerade, und das konnte durch Vergleich mit experimentellen Daten bestätigt werden (Abb. 13, eingezeichnete Messpunkte). Aus dem Ordinaten-Abschnitt ergab

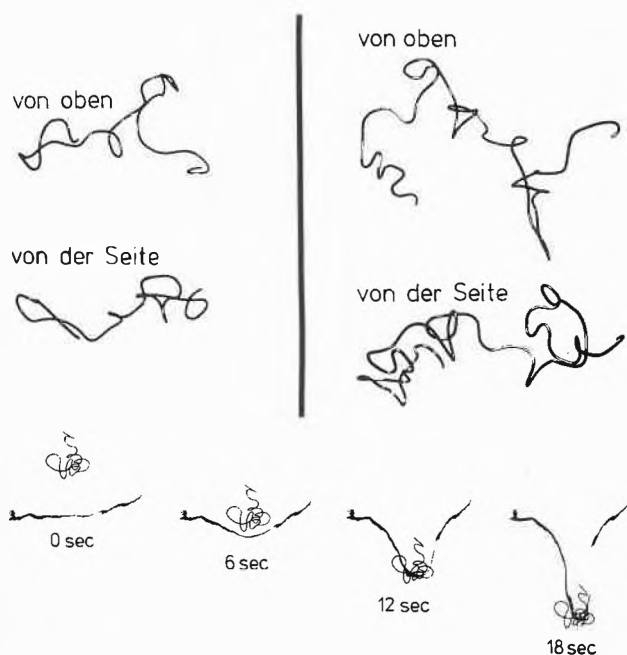


Abb. 12: a) Drahtmodelle von Fadenmolekülen
b) Drahtmodell zu verschiedenen Zeiten beim Fallen in einer viskosen Flüssigkeit
(nach L. Eckert, unveröffentlicht).

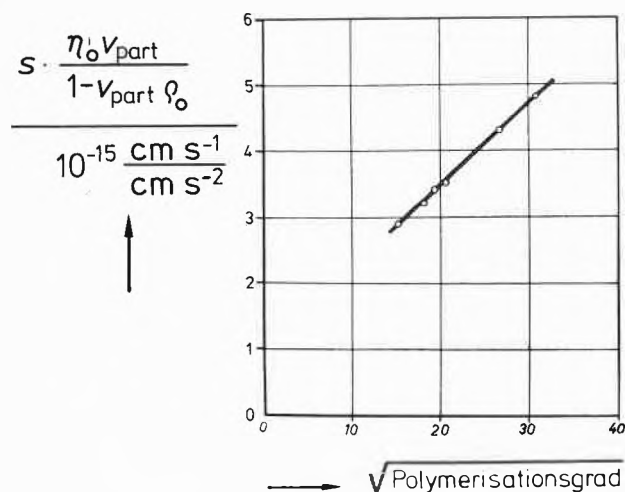


Abb. 13: Sedimentationskonstante s (Sedimentationsgeschwindigkeit/Beschleunigung im künstlichen Schwerfeld) in Abhängigkeit von der Wurzel aus dem Polymerisationsgrad. Acetylzellulose in Aceton. Theoretische Gerade, Messpunkte nach E.O. Kramer und J.B. Nicols. η_0 Viskosität, ρ_0 Dichte des Lösungsmittels, v_{part} partielles Volumen des Gelösten

sich die Dicke des Molekülfadens. Sie stimmt in den untersuchten Fällen mit der wahren Dicke ungefähr überein, und das zeigte, dass die hydrodynamische Betrachtungsweise von Werner Kuhn gerechtfertigt war, die Vorstellung, dass man im Modell das Lösungsmittel in befriedigender Näherung als Konti-

nuum betrachten kann, dem man die makroskopische Viskosität zuschreibt.

Diese Betrachtungsweise war damals durchaus nicht trivial (ich komme darauf zurück). Es war daher interessant, die betrachtete Sedimentationsgeschwindigkeit hochverdünnter Lösungen, also isolierter Fadenmoleküle mit der Sedimentationsgeschwindigkeit konzentrierter Lösungen zu vergleichen. In den Letzteren sind die Moleküle ineinandergeknäuel, und die Sedimentationsgeschwindigkeit sollte daher ganz im Gegensatz zum Fall hochverdünnter Lösungen nicht mehr von der Molekülgrösse abhängig sein, und das ist auch der Fall (Abb. 14). Man kann hier sehr leicht

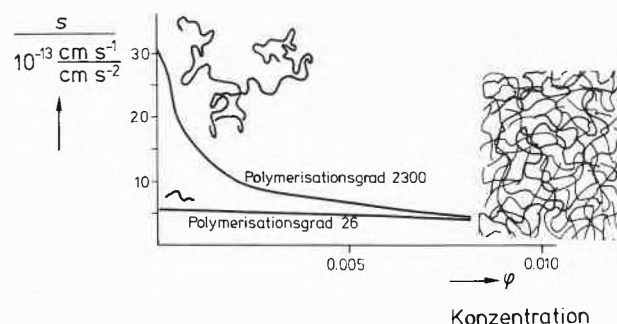


Abb. 14: Sedimentationskonstante s in Abhängigkeit von der Konzentration

aus makroskopischen Modellen auf die Sedimentationsgeschwindigkeiten der watteartig ineinander verschlungenen Molekülfäden schliessen, und es wird, wie Peter Baertschi [9] fand, befriedigende Übereinstimmung festgestellt mit dem Messwert in der Ultrazentrifuge oder mit dem gemessenen Widerstand, den ein Gel der Durchströmung von Lösungsmittel entgegensetzt. Kleinere Poren sind durchlässiger als nach der Hydrodynamik zu erwarten, in Übereinstimmung mit einem theoretischen Ansatz von Werner Kuhn [10].

Von ganz besonderem Interesse war nun für Werner Kuhn die Viskosität verdünnter Lösungen von Fadenmolekülen. Er war schon in seiner ersten Fadenmolekül-Arbeit von der Vorstellung des undurchspülten Knäuels ausgegangen und hatte die Viskosität mit der Viskosität η der Suspension von Kugeln verglichen, für die nach Einstein [11] gilt $\eta = \eta_0 (1 + 2,5\varphi)$, wo η_0 die Viskosität des reinen Lösungsmittels ist, φ der Volumenbruch, d.h. das Verhältnis des Volumens, das von den Kugeln eingenommen wird zum Volumen der Suspension (Abb. 15). Daraus folgt für die Viskositätszahl $[\eta]$ die Beziehung in Abb. 15 (C Konzentration (Masse gelöster Substanz/Volumen)).

Auf der Basis hydrodynamischer Rotationsversuche an makroskopischen Modellen konnte die Viskosität viel besser theoretisch behandelt werden. Die zuneh-

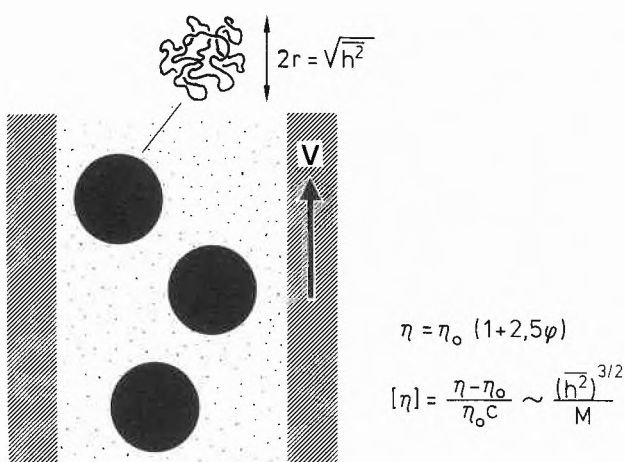


Abb. 15: Viskosität einer Suspension von Kugeln. Undurchspülter Knäuel als Kugel approximiert

mende Durchspülung der Knäuel mit abnehmender Molekülgrösse konnte im einzelnen verfolgt werden. In diesem Zusammenhang war die Frage der Erweiterung der Einsteinschen Beziehung auf anisotrope Teilchen wichtig. Das Problem, wie sich die Brownsche Rotationsbewegung auf die Energiedissipation in der strömenden Lösung auswirkt, war eine harte Nuss. Es zeigte sich [12], dass durch die Brownsche Bewegung ein wichtiger Anteil zur Energiedissipation hinzutritt, der in allen vorangehenden Theorien unberücksichtigt geblieben war. Ich erinnere mich mit Freude an diese Zeit intensiver Zusammenarbeit. Ich hatte in einer Be-

Nitrozellulose in Aceton

aus Diffusion: $A = 19 \text{ nm}$
 $d_h = 1,4 \text{ nm}$

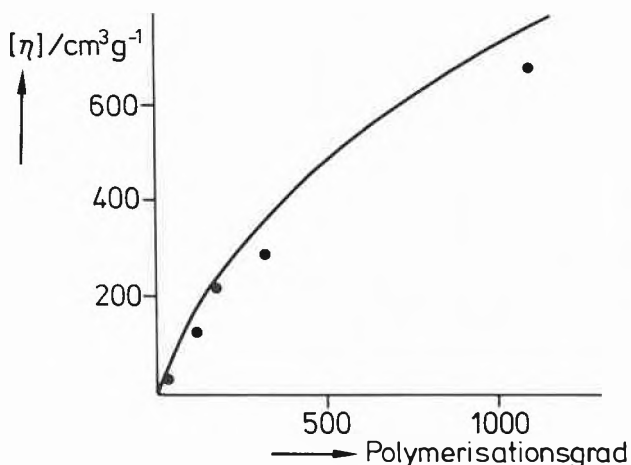


Abb. 16: Spezifische Viskosität in Abhängigkeit vom Polymerisationsgrad. Nitrozellulose in Aceton. Theoretische Kurve (festgelegt durch die aus Diffusionsmessungen stammenden Werte von A und d_h).

rechnung der Viskosität einer verdünnten Suspension von Stäbchen diesen Zusatzterm intuitiv eingeführt und ging mit dem Ansatz zu Werner Kuhn. Wir überlegten dann beide sehr lange, und es kam zu der witzigen Situation, dass ich Werner Kuhn zu überzeugen versuchte, mein Ansatz sei falsch und sein früherer Ansatz sei richtig, und Werner Kuhn gerade die umgekehrte Auffassung hatte. Er stellte später immer wieder neu die Frage: ist das so richtig, machen wir keinen Denkfehler. Er suchte immer wieder nach noch einfacheren Modellfällen, um die Denkschwierigkeiten zu überwinden. Ich erlebte damals besonders deutlich, wie tief er nachdachte, wie er nicht nachgab, bis er die Sache verstanden hatte.

Für die Viskosität verdünnter Lösungen von Hochpolymeren ergab sich auf Grund dieser theoretischen Überlegungen und Versuche an makroskopischen Modellen eine befriedigende Theorie der Viskosität verdünnter Lösungen von Makromolekülen. Das zeigt Abb. 16 am Beispiel von Lösungen von Nitrozellulose in Aceton [7]. Aus Diffusionsmessungen wurden die angegebenen Werte für die Länge des statistischen Fadenelements (A) und die hydrodynamisch effektive Fadendicke d_h erhalten. Mit diesen Werten konnte man die Viskositätszahl ausrechnen. Sie ist hier gegen den Polymerisationsgrad, die Zahl der Mo-

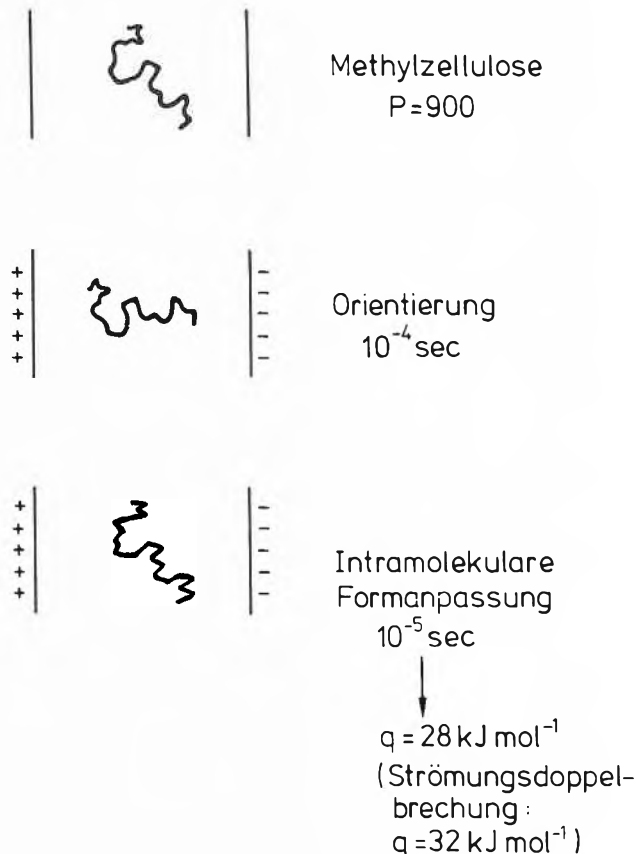
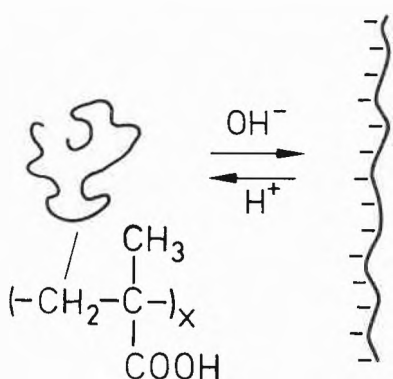


Abb. 17: Dielektrische Relaxation im elektrischen Feld durch Orientierung und intramolekulare Formanpassung

nomeren in der Kette, aufgetragen. Die experimentellen Punkte liegen gut auf der theoretischen Kurve. Ähnlich wie aus der Strömungsdoppelbrechung konnte aus der Viskosität bei grossem Strömungsgefälle (dem nicht Newtonschen Verhalten der hochpolymeren Lösung) auf das Ausmass der Entknäuelung, und damit auf die Formzähigkeit des Moleküls geschlossen und die Vorstellungen erhärtet werden [6]. Es war in diesem Zusammenhang interessant, nach dem Verhalten von Fadenmolekülen im elektrischen Feld zu fragen. Wenn sie steif sind, orientieren sie sich als Ganzes, wenn sie kleine Formzähigkeit besitzen, können sie sich schneller durch interne Bewegungen nach dem Feld richten (Abb. 17). Aus dem Relaxationszeitspektrum lässt sich auf die Grösse der Formzähigkeit schliessen. Dieser Gedanke ist später von Werner Kuhn mit *P. Moser* und *H. Majer* [13] verfolgt worden. Es zeigte sich im Fall von Methylzellulose, dass der Wert für die Schranke der freien Drehbarkeit (q) sehr gut mit dem Wert aus der Strömungsdoppelberechnung übereinstimmt.

Es war auch sehr interessant, nach anderen Möglichkeiten Ausschau zu halten, wie man Fadenmoleküle entknäueln könnte. Wenn man zu einer hochverdünnten Lösung von Polyacrylsäure oder Polymethacrylsäure Alkali zusetzt, so nimmt die Viskositätszahl enorm, um beispielsweise einen Faktor 25 zu; die Moleküle müssen sich also durch die Coulombsche Abstoßung der Carboxylatgruppen gewaltig strecken.



$$[\eta] = 100 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$$

$$[\eta] = 2500 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$$

Abb. 18: Entknäuelung durch Aufladung und Knäuelung durch Entladen

Werner Kuhn konnte mit *Othmar Künzle* und *Aharon Katchalski*, der später im Flughafen von Tel Aviv auf so tragische Weise ums Leben kam, zeigen, dass der Effekt auf einer praktisch vollständigen Entknäuelung beruht (Abb. 18). Die Vorgänge konnten im einzelnen auf dem Modell erklärt werden [14].

Wenn man solche Ketten zu einem Netz verknüpft, er-

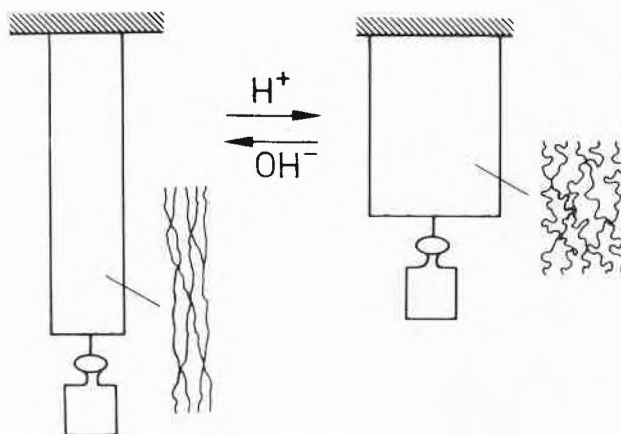


Abb. 19: Polyacrylsäuremuskel

hält man ein Material, das sich wie das Einzelmolekül bei Alkalizusatz aufweitet und bei Säurezusatz schrumpft, das also ähnliche Eigenschaften wie ein Muskel hat (Abb. 19). Werner Kuhn hat zusammen mit *Bartolomäus Hargitay* [15] solche künstlichen Muskeln hergestellt, eingehend untersucht und gezeigt, dass ein solcher künstlicher Muskel gleiches Gewicht heben kann wie ein natürlicher Muskel, wenn man sich beim Vergleich auf das gleiche Trockengewicht bezieht. Der Energieumsatz ist etwa derselbe, es wird also mit ähnlichem Wirkungsgrad freie chemische Energie in mechanische Energie umgesetzt.

Einen anderen interessanten Effekt hat Werner Kuhn in dieser Zeit mit *Alexander Silberberg* genau studiert: Eine verdünnte Lösung zweier verschiedener Hochpolymerer (Polystyrol und Äthylcellulose in Benzol), die sich in zwei Phasen aufteilt [16]. Bei Anlegen eines

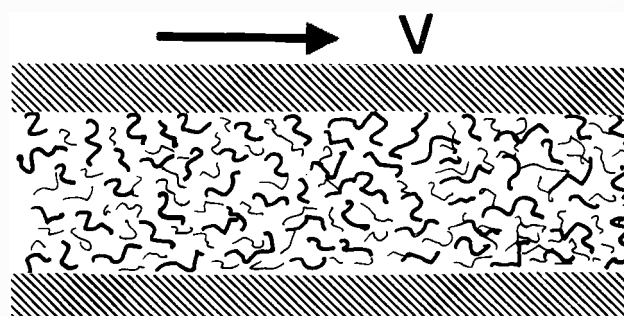
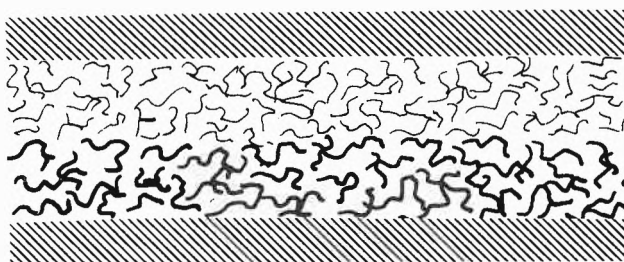


Abb. 20: Übergang vom Zweiphasensystem zum Einphasensystem durch Anlegen eines Strömungsgefälles

Strömungsgefälles, das nicht gross sein muss, geht interessanterweise das Zweiphasensystem in ein Einphasensystem über (Abb. 20).

Eine weitere damals studierte interessante Möglichkeit der Entknäuelung von Fadenmolekülen besteht darin, dass man am Ende des Fadens eine geladene Gruppe anbringt und den Faden in einem elektrischen Feld wandern lässt [17], oder, was auf dasselbe hinausläuft, wenn man das Ende fixiert und das Molekül in eine Strömung bringt (Abb. 21). Bei schwacher

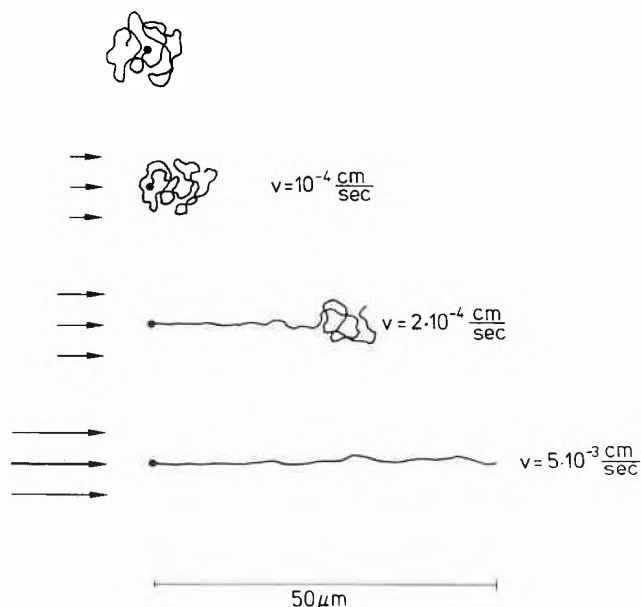
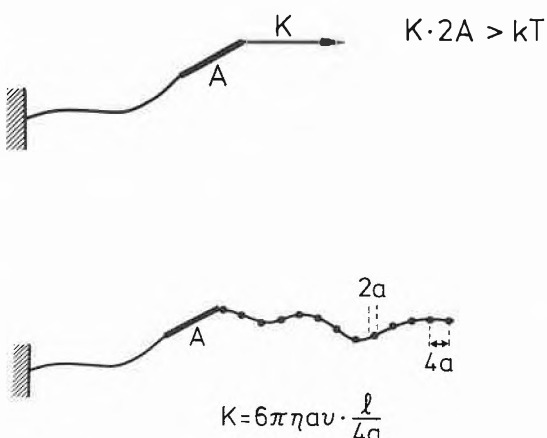


Abb. 21: Entknäuelung in der Strömung am Beispiel einer DNA Doppelhelix von 50 µm Fadenlänge



$$v = \frac{kT}{3\pi\eta a^2} = 5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \quad (\text{für DNA})$$

Abb. 22: Hydrodynamische Kraft zum Strecken des Fadens, abgeschätzt unter Zugrundelegung des Perlenkettenmodells

Strömung wird das Knäuel nur geringfügig deformiert, bei stärkerer Strömung entknäuelte sich der Faden vom Fixpunkt aus. Der Fadenabschnitt am fixierten Ende steht unter dem stärksten Zug, da er das ganze restliche Molekül gegen die Strömung festhalten muss. Mit wachsender Strömung entknäuelte sich schliesslich der ganze Faden.

Bei einem DNA-Doppelstrang von 50 µm Länge sollte nach der damals entwickelten Theorie die vollständige Entknäuelung schon bei einer winzigen Strömungsgeschwindigkeit von 0,05 mm/s. erreicht sein. Man hat also hier einen sehr empfindlichen Sensor für Strömungen. Man kann den Wert leicht abschätzen. Für ein herausgegriffenes Fadenelement (Abb. 22) muss die Energie zur Orientierung, also Kraft K mal Weg $2A$ grösser als kT sein. K entspricht dem hydrodynamischen Widerstand des Kettenstückes. Mit einer Modellvorstellung von Werner Kuhn aus dem Jahr 1932 [18], dem Perlenkettenmodell, kann man K leicht abschätzen (Abb. 22). Da auch für das letzte Element die Energie zum Orientieren noch nicht klein gegen kT sein darf, ergibt sich für die Strömungsgeschwindigkeit v zum völligen Strecken der Wert in Abb. 22. Umgekehrt kann man fragen, wie schnell sich ein gestreckter Faden zusammenzieht (Abb. 23), wenn zur Zeit Null das eine Ende losgelassen wird und das andere weiterhin festgehalten bleibt. Es ergibt sich für x in Abhängigkeit von t die einfache Beziehung, die in Abb. 23 wiedergegeben ist.

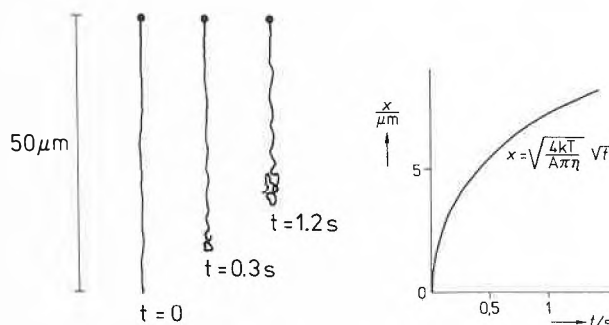


Abb. 23: Fadenende unten wird zur Zeit $t = 0$ losgelassen. Nach dem Modell von Abb. 22 ist $x = \sqrt{\frac{4kT}{\pi A \eta}} \sqrt{t}$.

Seit kurzem kann man dieses Verhalten direkt im Mikroskop mit elektronischer Bildverstärkung sichtbar machen und im Film darstellen, und zwar mit DNA-Molekülen, die fluoreszierende Farbstoffe tragen. Das ist von Yanagida et al. in Kyoto gezeigt worden [19]. Ich möchte einen Ausschnitt aus dem Film zeigen, den mir Herr Yanagida freundlicherweise zur Verfügung gestellt hat, weil man darin einen so direkten Nachweis für die Richtigkeit der Modellvorstellungen von Werner Kuhn sieht.

Im Film sieht man die geknäuelten Fadenmoleküle,

wie sie herumdifundieren und die Form wechseln. Durch Auswertung des Films kann man die Verteilungsfunktion des Abstandes H angeben (Punkte in Abb. 24a), und sie stimmt mit der Theorie (Kurve in Abb. 24a) überein; das gilt auch für den Mittelwert des Verhältnisses von Längenabmessung H zu Querabmessung des Knäuels. Die Längsabmessung ist im Mittel 2,1 mal so gross wie die Querabmessung. Die Theorie über die Verteilungsfunktionen der äusseren Abmessungen der Knäuel wurde ebenfalls in den 40er Jahren in Basel entwickelt [20]. Der Film zeigt DNA-Molekülfäden, die in der Strömung gestreckt wurden und an 2 Punkten fixiert sind; durch Lichteinwirkung werden sie plötzlich an einer Stelle aufgespalten und ziehen sich dann in der vorausberechneten Weise zusammen. Beim Auswerten des Films ergeben sich nach [19] die Messpunkte in Abb. 24b. Sie liegen im Mittel gut auf der theoretischen Kurve nach Abb. 23.

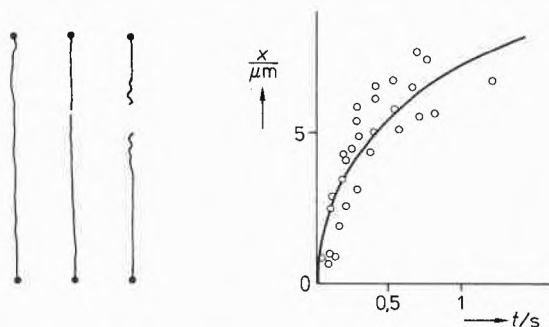
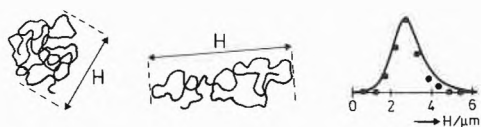


Abb. 24: a) Fadenknäuel in Brownscher Bewegung und Verteilungsfunktion von H

Kurve: theoretisch. Punkte: Experimentell nach Yanagida et al durch Auswertung eines Films

b) Gestreckter Faden bricht und zieht sich zusammen. Kurve theoretisch nach Abb. 23. Punkte: Experimentell nach Yanagida et al., durch Auswerten eines Films

Werner Kuhn war damals, Ende der 40er Jahre, der Auffassung, dass eine gewisse Abrundung im Verständnis der Makromoleküle erreicht sei. Er trug vielerorts mit grosser Begeisterung in seiner engagierten, überzeugenden Art über das hydrodynamische Verhalten von Fadenmolekülknäueln, der Formzähigkeit von Molekülfäden und über die makroskopischen Modellversuche vor.

Man kann sich fragen, was heute von all dem übriggeblieben ist. Die Arbeit, deren 50jährigen Jubiläums wir gedenken, wird allgemein als Ausgangspunkt für ein quantitatives Verständnis hochpolymerer Stoffe anerkannt. Die späteren Arbeiten über das hydrody-

namische Verhalten von Fadenmolekülen, für die sich Werner Kuhn so engagiert hat, sind fast vergessen. Wie ist das zu verstehen?

Zwei Jahre nach Erscheinen der Arbeiten mit den Versuchen an Drahtmodellen erschien eine Arbeit von Kirkwood und Riseman [21]. Darin wurde ebenfalls die Sedimentation und Viskosität von Fadenmolekülen betrachtet und die Auffassung vertreten, dass der Reibungsfaktor fast 100 mal kleiner sei als nach dem hydrodynamischen Modell zu erwarten, dass also das Makromolekül durch das Lösungsmittel sozusagen hindurch schlüpfen kann. Die Behauptung erschien unsinnig; die Untersuchungen in Basel hatten ja gezeigt, dass keine grossen Abweichungen vom hydrodynamischen Verhalten vorhanden sind.

Und doch hat gerade die Arbeit von Kirkwood und Riseman aus heutiger Sicht das Rennen gemacht. 1953 veröffentlichte Flory sein Buch «Principles of Polymer Chemistry» [22a]. Das Buch, in der Geburtsstunde der Molekularbiologie erschienen, hatte eine kolossale Wirkung. Flory ging in seinem Buch bei der Besprechung der Sedimentation und Viskosität verdünnter Lösungen von Fadenmolekülen von der Arbeit von Kirkwood und Riseman aus, führte aber anstelle dieser fast 100 mal zu grossen Schlüpfrigkeit einen mit der hydrodynamischen Betrachtung übereinstimmenden Strömungswiderstand des Molekülfadenelements ein. Er nahm also an, wie Werner Kuhn und ich es getan hatten, dass Molekülknäuel durch hydrodynamische Modellvorstellungen einigermaßen zu beschreiben seien, ging aber von diesem korrigierten Kirkwood-Riseman-Modell aus. Das Modell beruht darauf, dass man die hydrodynamische Wechselwirkung der Fadenteile des kompliziert geknäuelten Gebildes rechnerisch, als Perlenkette approximiert, zu erfassen versuchte, was natürlich bei einem so komplizierten Gebilde nur mit groben Vernachlässigungen möglich war. Trotzdem führte die Rechnung in der Interpretation von Flory zu einem Ergebnis, das in den wesentlichen Punkten mit dem Ergebnis der makroskopischen Modellversuche übereinstimmte — die ja gerade gemacht wurden, um Unsicherheiten im Rechenansatz auf einfachste Weise zu umgehen. Der Rechenansatz von Kirkwood und Riseman erwies sich später bei der Anwendung auf andere Fälle als sehr fruchtbar. Ich möchte hier die Viskositätszahl im limes grosser Molekulargewichte betrachten, wo sich auf Grund der Rotationsversuche an Drahtmodellen der Ausdruck in Abb. 25 ergibt. Das Modell von Kirkwood und Riseman (Betrachtung des Knäuels als Perlenkette) ergibt einen etwas grösseren Zahlenwert (3,6), das etwa gleichzeitig von Debye und Bueche [23] vorgeschlagene Modell (Betrachtung des Knäuels als Schwamm) einen 3mal so grossen Wert (9,2). In der empirischen Formel von Flory steht der Zahlenwert 2,1. In seinem späteren Buch [22b] korrigierte Flory den Zahlenwert auf den Wert 2,6, der mit dem

$[\eta] = 2,6 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} (\overline{h^2})^{3/2} / M$	Drahtmodell- versuche
3,6	Knäuel als Perlenkette (Kirkwood, Riseman)
9,2	Knäuel als Schwamm (Debye, Bueche)
2,1	empirisch (Flory 1953)
2,6	empirisch (Flory 1969)

Abb. 25: $[\eta]$ bei grosser Molmasse M . Zahlenfaktor nach verschiedenen Ansätzen

Wert aus den makroskopischen Modellversuchen genau übereinstimmt. Die Flory-Formel geniesst grosse Popularität. In den Büchern von Flory wurde die vor 50 Jahren erschienene Arbeit von Werner Kuhn ausführlich diskutiert, doch fehlt jeder Hinweis auf die darauffolgenden Arbeiten über das hydrodynamische Verhalten der Fadenmoleküle, und in der modernen Hochpolymerenliteratur findet man den Namen von Werner Kuhn nur noch selten. Ich finde das sehr schade, da damit auch seine spezifische Art, die Dinge vorurteilsfrei anzupacken, nicht mehr als Impuls wirkt und formale Betrachtungsweisen, mechanisches Anwenden von Formalismen, beliebter werden. Es scheint mir gerade heute wichtig, das Vorgehen von Werner Kuhn vor Augen zu haben: völlig unbenommen an ein Problem heranzutreten und nichts, mögen noch so hohe Autoritäten dahinterstehen, unbesehen hinzunehmen, das Problem genau zu durchdenken, immer wieder neu zu durchdenken und bei diesem Vorgehen ganz andere Aspekte zu entdecken und zu durchdringen.

Damals, zur Zeit des Weltkriegs, hat sich der fehlende Informationsaustausch mit dem Ausland in jeder Beziehung sehr erschwerend ausgewirkt. Beispielsweise führte eine in Basel entwickelte Theorie der Licht-

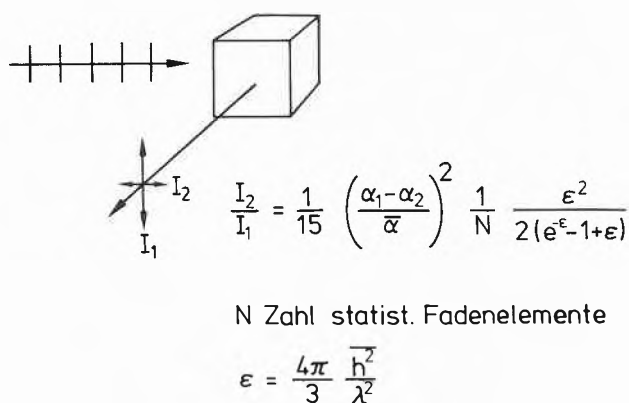


Abb. 26: Streulicht-Depolarisation (α_1 bzw. α_2 Polarisierbarkeit des Fadenelements parallel bzw. senkrecht zu seiner Achse, $\bar{\alpha} = (\alpha_1 + 2\alpha_2)/3$)

streuung von Fadenmolekülen in Lösung zu einer Beziehung [24a], die, wie sich später herausstellte, mit einer von Debye [24b] gleichzeitig in USA gewonnenen Beziehung identisch war. Die Debye-Beziehung ist heute allgemein bekannt, die Basler Bemühungen waren umsonst. Auch die Beziehung in Abb. 26 für die Depolarisation des Streulichts einer Fadenmoleküllösung, die nützlich sein könnte, blieb unbemerkt. Die Fadenmoleküle, die Werner Kuhn damals in den 40er Jahren so ausserordentlich engagiert bearbeitet hat, waren in der Zeit, als ich das grosse Glück hatte, in seinem Institut arbeiten zu können (bis 1953), keineswegs das einzige Thema, das sein Interesse in Anspruch nahm.

Werner Kuhn hatte kurz vorher eine Theorie der fraktionierten Destillation für den Fall entwickelt, dass der Dampf in einem engen Rohr hoch steigt und die Flüssigkeit an dessen Wand zurück fliesst [25] (Abb. 27a).

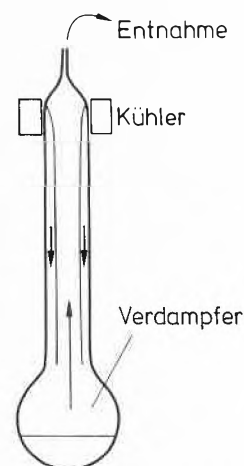


Abb. 27: a) Destillationskolonne, die auf dem Haarnadelgegenstromprinzip beruht

b) Destillationsanlage, die auf Grund einer Idee von Werner Kuhn entwickelt wurde. Im Bau und in Funktion

Er erkannte, dass bei strengem Einhalten der Bedingungen (Temperatur, Strömungsgeschwindigkeit, Rücklaufverhältnis) die Trennstufenzahl viel höher gemacht werden kann als in üblichen Kolonnen. Auf Grund genauen Durchdenkens aller Gegebenheiten entwarf er Kolonnen für die Isotopentrennung, die er zuerst mit Kaspar Ryffel, dann mit Peter Baertschi, Peter Massini und Max Thürkauf für die Gewinnung

von schwerem Wasser entwickelte [26]. Heute werden Destillationsanlagen, die auf der Basis dieser Ideen zu industrieller Reife weiterentwickelt wurden, weltweit eingesetzt (Abb. 27b). Die destillative Isotopentrennung führte Werner Kuhn zur Frage nach den molekularen Ursachen der Dampfdruck-Isotopie-Effekte, einem Problem, zu dessen Lösung er mit *Peter Baertschi* Grundsätzliches beitrug [27].

Die Überlegungen zum Destillationsproblem hatten ihn auf den Gedanken gebracht, dass die hohe Konzentrationsleistung der Niere auf dem gleichen Prinzip beruhen könnte, und er versuchte den entscheidenden Effekt mit *Kaspar Ryffel* und später mit *Bartholomäus Hargitay* [28] an einem Modell zu realisieren, indem er zwei lange schmale Kammern durch eine Membran trennte, die für das Lösungsmittel durchlässig, für den gelösten Stoff undurchlässig war (Abb. 28). Die beiden Kammern verband er rechts mit

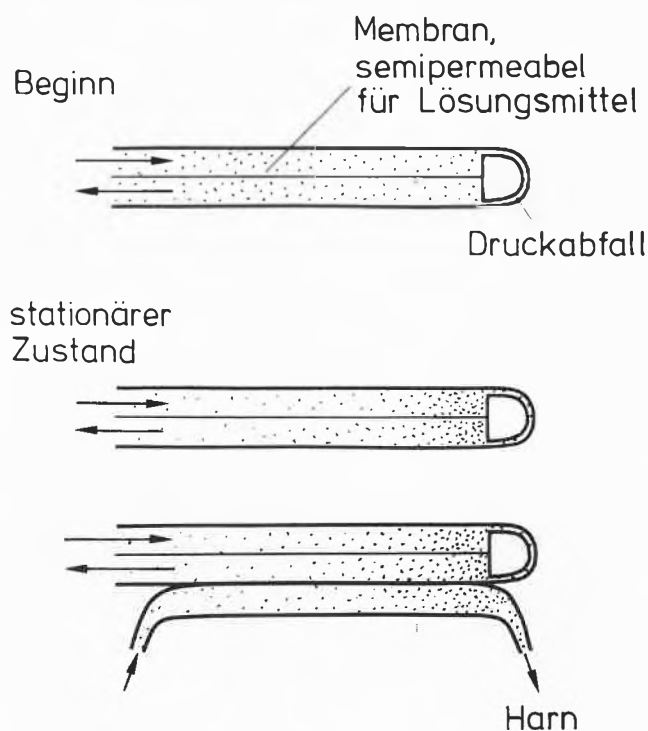


Abb. 28: Modell für Nierenfunktion als Beispiel des Haarnadelgegenstromprinzips

einer Kapillare. Man gibt links eine verdünnte Lösung zu, die nun sehr langsam durch die obere Kammer von links nach rechts strömt, über die Kapillare in die untere Kammer gelangt und dort von rechts nach links strömt. Die Kapillare sorgt für einen Druckabfall zwischen oberer und unterer Kammer. Der Überdruck beträgt z.B. 1/3 bar. An jeder Stelle der Membran stellt sich ein kleiner Konzentrationsunterschied ein, weil das Lösungsmittel von oben nach unten ge-

presst wird. Wegen der langsamen Strömung (oben nach rechts, unten nach links) ergibt sich nach genügend langer Zeit eine starke Konzentrationszunahme von links nach rechts. Man kann also mit einem kleinen Überdruck, der im Gleichgewicht zu einer winzigen Konzentrationszunahme führt, eine praktisch beliebig hohe Konzentration erreichen, wenn man nur die Trennkammer lang genug macht. Um dem biologischen Fall besser zu entsprechen, muss noch eine weitere Kammer angebracht werden (Abb. 28, unten).

Die spezielle Form des Gegenstromprinzips, die hier und bei der Destillation im dünnen Rohr angewendet ist, nannte Werner Kuhn Haarnadel-Gegenstromprinzip. Werner Kuhns Theorie vom Mechanismus der Nierenfunktion ist heute allgemein anerkannt.

Später erkannte Werner Kuhn, dass zum Auffüllen der Schwimmblase der Fische ein Mechanismus dient, der auf demselben Prinzip beruht. Bei Tiefseefischen ist in der Schwimmblase, die sie zur Höhenjustierung brauchen, Luft unter einem Druck von 200 bar. Das wird so erreicht, dass gelöster Sauerstoff und Stickstoff nach diesem Prinzip durch Vervielfältigung eines kleinen Aussalzeffektes auf immer höhere Konzentrationen gebracht wird, bis die Sättigungskonzentration unter dem vorhandenen hydrostatischen Druck von 200 bar erreicht ist [29].

Ich möchte auf 2 weitere Arbeitsrichtungen, die Werner Kuhn in den 40er Jahren ebenfalls beschäftigt haben, nachher zurückkommen, nämlich auf die Frage der Struktur des Erddinner und auf Fragen, die mit der optischen Aktivität von Stoffen und mit dem biologischen Alterungsprozess zusammenhängen. Es wird Ihnen vielleicht Mühe machen, zu verstehen, wie Werner Kuhn einerseits so gründlich im Durchdenken komplexer Sachverhalte und andererseits so vielseitig sein konnte. Ich finde, dass in beidem, seiner Art Probleme anzupacken und was ihn zu dieser Vielseitigkeit geführt hat, das Wichtige liegt, das er uns auch heute noch zu sagen hat. Es wäre ganz falsch zu denken: heute ist alles ganz anders, da muss man mühsam eine Lücke im Forschungsdschungel erhaschen, und damals konnte man eben noch herumspringen und bald hier, bald dort eine Lücke finden. Die Vielseitigkeit in den Arbeiten von Werner Kuhn beruht genau auf dem Gegenteil vom glücklichen Erhaschen einer Lücke, sie beruht darauf, dass Werner Kuhn mit Tiefe und Gründlichkeit ein Problem bis in die letzten Konsequenzen durchdachte. Heute kann die Art seines Vorgehens zwar kaum mehr zu einer solchen Breite der Forschung führen, aber sein Vorgehen hat an Aktualität dennoch nichts verloren. Alle Themen, die Werner Kuhn bearbeitet hat, stehen im engen logischen Zusammenhang. Er hat nie plötzlich mit etwas völlig Neuem angefangen. Was völlig neu erscheint, entstand aus dem Vorangehenden, durch konsequentes Verfolgen einer Idee. Er erkannte ein Prinzip, den Kern eines komplizierten Sachverhaltes, mit einem ge-

nialen Weitblick, der wenigen gegeben ist, und das tiefe Durchdenken dieses Prinzips führte ihn in verschiedenste Bereiche. Er war davon überzeugt, dass sorgfältiges und konsequentes Ueberlegen neben genauer Kenntnis der speziellen Gegebenheiten mehr zur Lösung eines wissenschaftlichen Problems beiträgt als umfangreiches Fachwissen. Dadurch ist sein Mut und seine Selbstsicherheit zu verstehen, mit der er ohne jedes Zögern auf Gebieten, die ihm zunächst völlig fremd waren, zu arbeiten begann. Werner Kuhn hat nie auf Vorrat eine theoretische oder experimentelle Methode gelernt, sondern dann, wenn er sie für ein konkretes wichtiges Problem dringend brauchte. Heute ist es ja vielfach anders — man lernt früh das Anwenden aufwendiger Methoden, und es passiert leicht, dass man irgendein Problem für eine Methode sucht, statt sich bemüht, ein möglichst wichtiges Problem zu lösen.

In seiner Rektoratsrede hat Werner Kuhn [30] deutlich gemacht, wie die einzelnen speziellen Gebiete sich zunächst getrennt entwickeln können und müssen, um sich dann bei neuen, zunächst nicht vorhergesehenen Aufgaben zusammenzufinden, wie also die Lösung eines speziellen Problems auf einem Teilgebiet durch detaillierte Einzeluntersuchung zum Erreichen allge-

meiner Ziele verschiedenster Wissenschaftsbereiche entscheidend sein kann.

Besser als aus Worten sehen wir das, wenn wir die wichtigsten Etappen im Leben von Werner Kuhn kurz betrachten.

Werner Kuhn wurde am 6. Februar 1899 in Maur am Greifensee geboren, wo sein Vater Pfarrer war. Wir sehen ihn in Abb. 29 (rechts) mit Bruder und Schwester vor dem Pfarrhaus. Um diese Zeit hat er angefangen, Raupen zu züchten und zu verfolgen, wie sie zu Schmetterlingen wurden. Seine Beobachtungsgabe und sein unermüdliches Fragen und Ueberlegen sind dem Vater, wie sein Bruder schrieb, schon früh aufgefallen. Seine Experimentierlust und sein Grundsatz: «Man muss alles probieren» stempelten ihn bald zum Naturwissenschaftler. Abb. 30 zeigt ihn als 13-



Abb. 29: Werner Kuhn mit älterem Bruder und Schwester vor dem elterlichen Pfarrhaus



Abb. 30: Werner Kuhn 13 Jahre alt



Abb. 31: Werner Kuhn 17 Jahre alt

jährigen. Er besuchte die Literarabteilung des Kantonalen Gymnasiums in Zürich. Die Aufnahme der Abb. 31 wurde an seinem 17. Geburtstag gemacht. Nach der Maturität im Oktober 1917 begann er sein Studium der Chemie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule. 1921 erhielt er das Diplom als Ingenieur-Chemiker. Er wurde dann Assistent am Physikalisch-Chemischen Institut der Universität Zürich bei *Victor Henri* und promovierte dort 1923 mit einer Arbeit über die photochemische Zersetzung des Ammoniaks, für die er eine besondere Auszeichnung erhielt [31]. Die Wechselwirkung von Licht mit der Elektronenhülle von Atomen und Molekülen faszinierte ihn, und so reizte es ihn, zu *Niels Bohr* nach Kopenhagen zu gehen. Wir sehen ihn in Abb. 32 in



Abb. 32: Werner Kuhn mit Freunden in Kopenhagen (Mitte)

der Mitte einiger Kollegen. Bei *Bohr* arbeitete er 2 Jahre als *Rockefeller*-Stipendiat. Er war sehr beeindruckt von der einfachen, stets nach anschaulichen Bildern und nach möglichst klaren und übersichtlichen Modellvorstellungen suchenden Denkweise Bohrs. Das Bohrsche Korrespondenzprinzip, die Erkenntnis, dass man sich viele Prozesse in gequantelten Systemen an klassischen Ersatzmodellen klar machen kann, hat seine Denkweise geprägt. Es entstand seine wichtige Arbeit über die Summenbeziehung für die Gesamtstärke der von einem Zustand ausgehenden Absorptionsbanden [32].

Um uns den Inhalt dieser Beziehung klar zu machen, denken wir uns ein Atom oder Molekül durch einen gedämpften Oszillator ersetzt, ein Teilchen der Masse und Ladung eines Elektrons, das mit einer elastischen Kraft an eine Gleichgewichtslage gebunden ist und auf das eine Reibungskraft wirkt (Abb. 33a). Im elektrischen Feld der Lichtwelle wird der Oszillator angeregt, am stärksten, wenn die anregende Frequenz ν mit der Eigenfrequenz des Oszillators ν_0 übereinstimmt. In Abb. 33a ist die absorbierte Leistung gegen ν aufgetragen. Die Lage des Maximums hängt also von ν_0 ab, die Breite der Absorptionsbande von der Dämpfungskonstante, aber die schraffierte Fläche

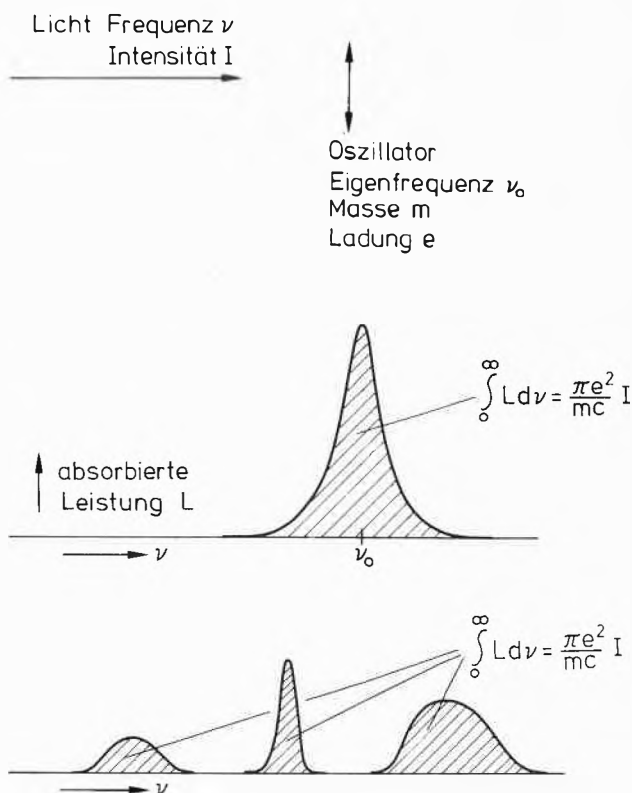


Abb. 33: Summensatz im Falle der Beteiligung von nur einem Elektron am Absorptionsprozess. Die Summe der Flächen der Absorptionsbanden des Moleküls (b) ist gleich der Fläche, die von der Absorptionsbande des klassischen Oszillators eingenommen wird (a).

hängt nur von der Bestrahlungsintensität I , der Lichtgeschwindigkeit c , der Ladung e und der Masse m des Elektrons ab.

Betrachten wir nun ein wirkliches Atom oder Molekül im Grundzustand, in dem einfachheitshalber nur *ein* Elektron am Absorptionsprozess beteiligt sein soll. Es treten dann mehrere Übergänge auf. Man hat mehrere Absorptionsbanden.

Der Summensatz von Werner Kuhn sagt aus, dass die Summe der schraffierten Flächen (Abb. 33b) gleich der Fläche sei, die wir vorhin betrachtet haben. Das Integral über alle Absorptionsbanden bleibt erhalten. Entsprechendes gilt für ein Vielelektronensystem. Werner Kuhn hat diesen Satz aus dem Korrespondenzprinzip in einer ganz einfachen kurzen Überlegung erhalten. Der Satz wurde später unabhängig von *Thomas* [33a] gefunden. Der Thomas-Kuhn'sche Summensatz hat für die Heisenbergsche Formulierung der Quantenmechanik eine wichtige Rolle gespielt. *Heisenberg* stellte in seiner epochemachenden Arbeit [33b] eine Beziehung auf, die mit dem Summensatz übereinstimmte, was er dort vermerkte. Die *Heisenbergsche* Arbeit erschien 1925 im selben Band der Zeitschrift für Physik, 2½ Monate nach der Ar-

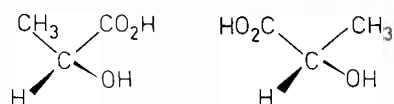
beit von Werner Kuhn eingereicht, was die Intensität und Faszination der grossen Kopenhagener Zeit in der Physik erkennen lässt. *Heisenberg* erhielt, etwas vereinfacht geschrieben, die Beziehung

$$4\pi m \sum_i |a_{0-i}|^2 \omega_{0-i} = h$$

wo a_{0-i} das Übergangsmoment und ω_{0-i} die Kreisfrequenz des i -ten Übergangs darstellt. Wird h (das *Planck'sche Wirkungsquantum*) auf die andere Seite gebracht, so entsteht dort der quantenmechanische Ausdruck für die Summe der Oszillatorenstärken. Diese Summe ist gleich 1, wie nach dem Summensatz von Werner Kuhn zu fordern war.

In Kopenhagen fand Werner Kuhn seine Gattin *Caroline Laursen*. Aus der glücklichen Ehe gingen die beiden Töchter *Erika* und *Sigrid* hervor.

Werner Kuhn habilitierte sich 1927 an der Universität Zürich für Physikalische Chemie mit einer Arbeit über die Stärke der anomalen Dispersion in Dämpfen von Kalium, Thallium und Cadmium [34]. Er arbeitete dann von 1927 bis 1930 an der Universität Heidelberg bei *Karl Freudenberg*, einem organischen Chemiker, der sich für Zucker und damit auch für optische Aktivität interessierte. Werner Kuhn wurde mit dem Problem konfrontiert, dass man die Konfiguration aller Zucker aufeinander und auf die Konfiguration der Milchsäure zurückführen kann, aber nicht wisse, ob d-Milchsäure sterisch gemäss Abbildung 34 links oder rechts gebaut sei. Er dachte nun daran, dass man jede absorbierende oder polarisierbare Gruppe im Sinn des Korrespondenzprinzips durch einen klassischen Oszillator ersetzt denken könnte und dass diese Ersatzoszillatoren in einem solchen Molekül asymmetrisch gekoppelt sein müssen.

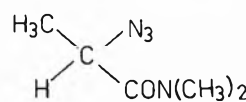


d-Milchsäure ?

Abb. 34: Absolute Konfiguration von Milchsäure. Nach dem Modell der gekoppelten Oszillation muss die d-Milchsäure der Form links entsprechen.

Er überlegte nun in aller Sorgfalt, was passieren müsse, wenn man ein solches Modell aus Ersatzoszillatoren in das Feld einer Lichtquelle bringt, wie die Ersatzoszillatoren gekoppelte Schwingungen ausführen und wie es dadurch zur Beeinflussung des Feldes der Lichtquelle, zur zirkularen Doppelbrechung und zum Zirkulardichroismus, kommen muss. So entstand seine bekannte Theorie der optischen Aktivität [35], die ihn später zu der Aussage führte, dass die Form links der d-Milchsäure entspricht [36]. Er gab dadurch eine

Antwort auf eine Frage, die die Chemiker seit Pasteur immer wieder beschäftigt hatte. Er überlegte sich in Heidelberg, dass beim Bestrahlen eines Razemats mit zirkular polarisiertem Licht, dessen Wellenlänge in den Bereich einer Absorptionsbande fällt, der eine Antipode etwas stärker absorbieren muss und sich daher auch schneller photochemisch zersetzen sollte als der andere, dass also durch Bestrahlen von Razematen die Erzeugung optisch aktiver Stoffe möglich sein müsse. Das gelang ihm und seinen Mitarbeitern *Braun* und *Knopf* tatsächlich, und so konnte zum ersten Mal eine optisch aktive Verbindung, allerdings nur in winziger Konzentration, aus inaktivem Razemat photochemisch hergestellt werden [37] (Abb. 35).



in Hexan

Abb. 35: Herstellung einer optisch aktiven Substanz durch photochemische Zersetzung

In Kopenhagen hatte er schon daran gedacht, dass die Betrachtungen mit den klassischen Ersatzoszillatoren, die sich für Prozesse in der Elektronenhülle so gut bewährt hatten, auf Atomkerne übertragbar sein müssten. Wenn man ein Natriumatom anregt, so sendet es ein Lichtquant aus, und dieses Lichtquant kann von

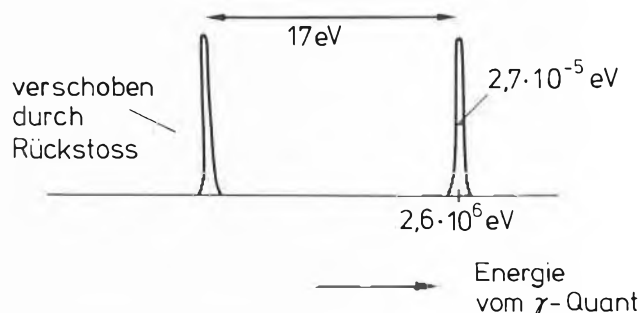


Abb. 36: a) Emission und Resonanzabsorption von γ Strahlen
b) γ Linienbreite und Rückstossverschiebung in heutiger Sicht

einem anderen Natriumatom wieder absorbiert werden, man hat die Resonanzabsorption. Er dachte sich nun, ob ein entsprechender Versuch nicht auch möglich wäre, wenn man das von einem angeregten Kern emittierte γ -Quant auf eine Substanzprobe mit gleichen, nicht angeregten Kernen auffallen lässt und schaut, ob man die Resonanzabsorption beobachten kann. Treu seinem Grundsatz «man muss alles probieren», ging Werner Kuhn für ein paar Monate zu *Rutherford* ins kernphysikalische Labor in Cambridge und versuchte, dort seine Idee zu realisieren, indem er Kerne von ^{208}Pb der γ -Strahlung aussetzte, die von angeregten Kernen von ^{208}Pb ausgesandt wird (die benötigten angeregten Kerne erhielt er als Produkt des natürlichen Zerfalls von Thorium C'') (Abb. 36a). Das Resultat war negativ [38].

Mössbauer hat 30 Jahre später ein ähnliches Experiment gemacht und ein positives Ergebnis erhalten [39]. Es interessiert natürlich, wie nahe Werner Kuhn daran war, den *Mössbauer*-Effekt zu entdecken.

Werner Kuhn führte das Experiment aus, weil er vorher, 1927, eine Theorie über das Zustandekommen der γ Strahlung aufgestellt hatte, die auf der Annahme beruhte, dass zwei Teilchen im Kern einen klassischen Oszillator bilden, der als Hertz'scher Dipol strahlt [40]. Er hatte sich überlegt, dass das emittierende γ -Quant einen Rückstoss am Kern erzeugt; aber nach seiner Theorie musste die Emission des Quants so schnell erfolgen, die Linienbreite also so gross sein, dass die Resonanzbedingung zwischen Emission und Absorption auch nach Verschiebung durch den Rückstoss noch ausreichend erfüllt war. In heutiger Sicht (Abb. 36b) ist die Linie um den Faktor 10^5 schmäler als damals angenommen worden war; die Resonanzbedingung ist wegen des Rückstosses also bei weitem nicht mehr erfüllt. Die entscheidende Idee von *Mössbauer* lag darin, zu merken, dass der Kern elastisch an das Gitter gebunden sei und dass daher die Rückstossenergie gequantelt sei, das γ -Quant also mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auch rückstossfrei emittiert und absorbiert werden könne. Man fragt sich, warum Werner Kuhn bei seinem tiefen Nachdenken und seiner Verwurzelung mit der Korrespondenz von klassischem und gequanteltem Oszillator auf diesen Punkt nicht hingewiesen hat, aber in der damaligen Sicht war die Aufhebung der Resonanzbedingung durch den Rückstoss, wie schon erwähnt, nicht das entscheidende Problem.

Die andere Möglichkeit, dass Werner Kuhn auch auf Grund einer falschen Theorie die rückstossfreie Resonanzabsorption hätte finden können, war auch nicht gegeben, da die Kerne von Emitter und Absorber in seinem Experiment in einer unterschiedlichen Umgebung vorlagen, was zu einer Linienverschiebung ausserhalb der Resonanz führen musste.

Von Heidelberg siedelte Werner Kuhn 1930 nach Karlsruhe über, wo er bis 1936 als ausserordentlicher



Abb. 37: Werner Kuhn 32jährig

Professor tätig war. (Abb. 37 stammt aus dem Jahr 1931.) Die erste Arbeit über die Fadenmoleküle fällt in diese Zeit. Das Interesse an den Fadenmolekülen geht auf die Zeit in Heidelberg zurück, als Werner Kuhn im Zusammenhang mit den Untersuchungen über die optische Aktivität die Hydrolyse der Polysaccharide [41] studierte und so in die Problematik der Molekülgestalt hochmolekularer Stoffe hineinkam. 1936 folgte Werner Kuhn dem Ruf auf das Ordinariat der Universität Kiel. Hier kam er auf seine Versuche zur photochemischen Erzeugung optisch-aktiver Stoffe zurück. Er dachte, dass man das gleiche Prinzip anwenden könnte, um Isotope zu trennen. Er bestrahlte Chlordioxid mit einer geeigneten Absorptionslinie, und es gelang ihm und seinen Mitarbeitern *Martin* und *Eldau* eine schwache photoche-

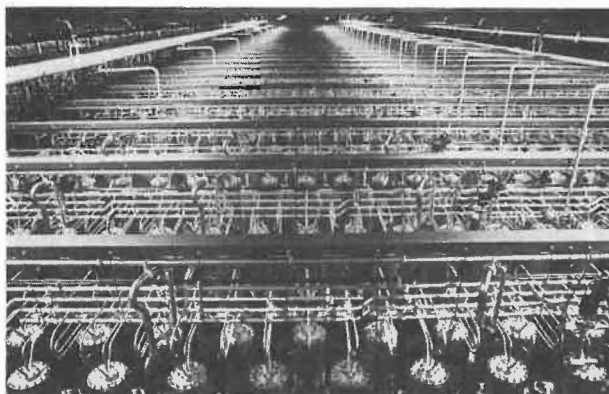
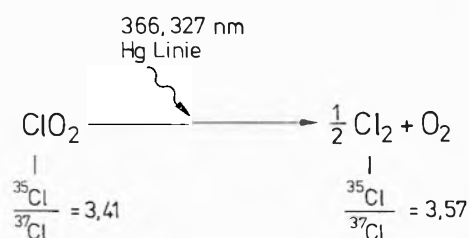


Abb. 38: a) Anreicherung von Isotopen durch selektive photochemische Zersetzung
b) Anlage zur Isotopentrennung durch Ultrazentrifugen unter Anwendung des Haarnadelgegenstromprinzips

mische Anreicherung von Isotopen nachzuweisen [42] (Abb. 38a). Die Verfahren zur photochemischen Isotopentrennung sind heute, wo mit dem Laser leicht hohe spektral scharfe Anregungsenergien zur Verfügung stehen, sehr aktuell. Damit war sein Interesse an Problemen der Isotopentrennung geweckt. Er dachte mit *Hans Martin* an die Möglichkeit, Isotope in der Ultrazentrifuge anzureichern und einen winzigen Einzeleffekt durch Anwendung des Multiplikationsprinzips in der Haarnadelgegenstromvorrichtung zu verstärken [43]. Das Prinzip haben wir uns vorhin am Beispiel der Destillation betrachtet, die *Werner Kuhn* kurz danach zu interessieren begann. Heute werden Ultrazentrifugen, die nach dem *Kuhn/Martin*'schen Multiplikationsprinzip arbeiten, in grosser Zahl in industriellen Trennanlagen zur Anreicherung von Uran-235 eingesetzt (Abb. 38b).

Werner Kuhn litt in diesen Jahren sehr unter dem politischen Druck und half, wo er konnte, seinen vom Nationalsozialismus bedrängten Bekannten. Als Ausländer und Nichtmitglied der Partei wurde es für ihn sehr schwierig. Es war deshalb für ihn und seine Frau eine Befreiung, als er 1939 einem Ruf auf das Ordinariat für physikalische Chemie der Universität Basel folgen konnte.

In Basel entwickelte er neben den Arbeiten, die ich schon erwähnt habe, Projekte, die im Zusammenhang mit vorangehenden Untersuchungen über optische Aktivität standen. Er studierte mit *Rudolf Rometsch* [44] optisch aktive Diphenylene als besonders einfachen Fall zur Berechnung der absoluten Konfiguration.

Mit *Kurt Weil* und *Karl Vogler* [45] untersuchte er den optischen Reinheitsgrad der Aminosäuren von Haaren, da er sich dachte, dass sich mit zunehmendem Alter des Individuums die falschen Antipoden ansammeln und dass der Alterungsprozess damit zusammenhänge. Er stellte sich vor, dass als Abwehr dagegen die falschen Antipoden mit metabolisch inaktivem Material wie Haar abgestossen würden. Er hatte vorher versucht, seine Vorstellungen zum biologischen Alterungsprozess in quantitativen Ansätzen zu formulieren [46], die auch heute von Interesse sind. Man wird allerdings an die Stelle des Verlusts an optischer Reinheit sicher den Informationsverlust auf der Nukleinsäureebene setzen.

Das Modell der klassischen Ersatzoszillatoren, das für das Verständnis der optischen Aktivität so wichtige Ergebnisse gebracht hatte, benutzte *Werner Kuhn* zur Behandlung der Lichtabsorption der Polyene [47]. Er ordnete jeder Doppelbindung einen klassischen Oszillator zu und untersuchte die Schwingungen des Systems gekoppelter Oszillatoren. Ich versuchte gleichzeitig, von einem anderen Ausgangspunkt auszugehen, indem ich ein π -Elektronensystem als Elektronengas betrachtete; so konnten die Spektren der Cyaninfarbstoffe und Polyene berechnet werden, ohne

dass anpassungsfähige Parameter eingeführt werden mussten. Die starke kurzwellige Verschiebung der Absorptionsbande beim Übergang vom Cyaninfarbstoff zum entsprechenden Polyen konnte auf eine Instabilität im Molekülgerüst zurückgeführt werden, die sich im Auftreten einer Bindungslängenalternanz auswirkt. Damit konnte die ursprüngliche Annahme bei der Ansätze begründet werden [48] (Abb. 39). Die

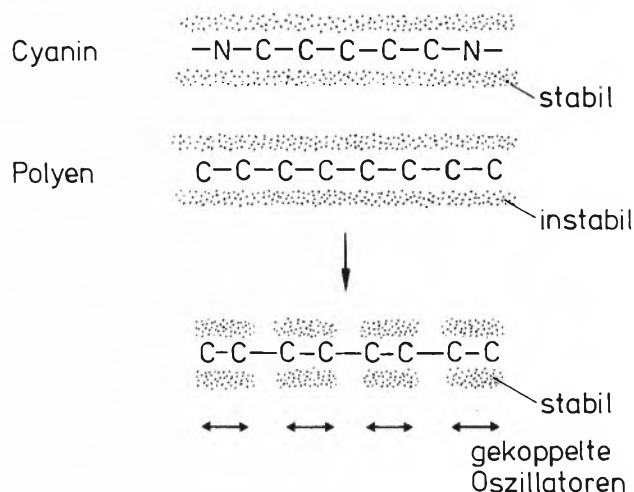


Abb. 39: Bindungsausgleich bei Cyaninen, Bindungslängenalternanz bei Polyenen. Polyen als System gekoppelter klassischer Oszillatoren

Vorstellung von *Werner Kuhn* und mir, dass ein langkettiges Polyen gleich starke Bindungsalternanz aufweist wie Butadien, stand im Widerspruch zu der damaligen allgemeinen Auffassung, wonach ein Bindungsausgleich auftreten müsse [49]. Heute ist die betrachtete Instabilität im Zusammenhang mit der Diskussion der Leitungsmechanismen in organischen Festkörpern wie Polyazetylen (Solitonen-Leitung) sehr aktuell. Man nennt sie *Peierls* Instabilität. (*Peierls* hat 5 Jahre später das gleiche Instabilitätsphänomen diskutiert [50]). Moderne Quantenchemiker, die sich mit den Polyenen und ähnlichen Verbindungen befasst haben, kennen die alten Arbeiten nicht mehr. Es interessiert kaum noch, wie einfach man das Entscheidende am Zustandekommen der Spektren der π -Elektronensysteme erfassen kann. Es besteht die Gefahr, bei immer komplizierteren Ansätzen, die in der Substanz kaum Neues enthalten, das Wesentliche total aus den Augen zu verlieren. *Werner Kuhn* hat immer wieder gezeigt, wie man sich einem Problem mit Augenmass, durch Orientierung am Konkreten, nähern muss.

Gleichzeitig entwarf *Werner Kuhn* in diesen Jahren eine Theorie über den Zustand des Erinnerns. An diesem Problem, das so total von den bisherigen Interessengebieten von *Werner Kuhn* abzuweichen scheint, möchte ich sein Vorgehen, seinen Forschungsstil nochmals klar zu machen versuchen.

Hochpolymere Stoffe, wie nicht vulkanisierter Kaut-

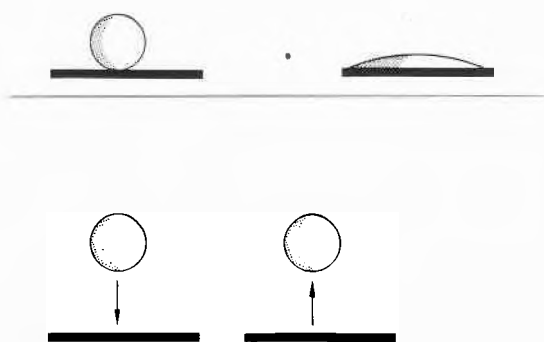


Abb. 40: Viskoelastisches Verhalten
Fließen bei langsamer Deformation (oben)
Springen bei schneller Deformation (unten)

schuk, haben die Eigenschaft, allmählich zu fließen, sich bei kurzzeitiger Deformation aber elastisch zu verhalten (Abb. 40). Werner Kuhn hat sich für dieses Phänomen seit Beginn seiner Arbeiten über die Kautschukelastizität interessiert. Bei langsamer Beanspruchung haben die Fadenmoleküle Zeit, sich zu arrangieren, bei schneller Beanspruchung sind die Moleküle ineinander verhakt und nur kurze Fadenstücke frei. Bei der Fortpflanzung von Wellen benimmt sich je nach Frequenz der gleiche Stoff wie eine Flüssigkeit oder wie ein fester, elastischer Stoff. Wenn wir in einem solchen Stoff ein gleichmässiges Temperaturgefälle von unten nach oben anbringen (Abb. 41a und b)

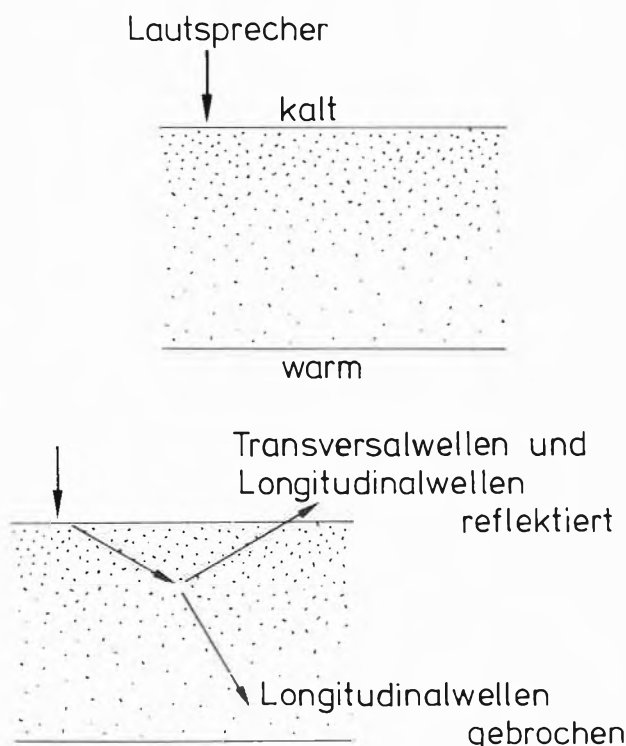


Abb. 41: Temperaturgefälle in viskoelastischem Material
a) Anregung
b) Reflexion und Brechung von Wellen

und oben mit einer geeigneten Frequenz anregen, so pflanzen sich bis zu einer bestimmten Tiefe Longitudinal- und Transversalwellen fort (der Stoff verhält sich in diesem Bereich als Festkörper); dann tritt in bestimmter Tiefe Reflexion der Transversal- und Longitudinalwellen auf, und die Longitudinalwellen werden gebrochen. Der Stoff verhält sich unterhalb dieser Zone für die untersuchte Frequenz als Flüssigkeit [51].

Aus diesen Überlegungen heraus hat Werner Kuhn den Schluss gezogen, dass man aus der Reflexion und Brechung von Erdbebenwellen in bestimmter Tiefe nicht unbedingt auf eine Phasengrenze in dieser Tiefe schliessen darf und dass das Erdinnere aus homogener Urmaterie bestehen könnte, also nicht aus diskreten Schalen. Er hat in einer Arbeit mit dem Basler Vulkanologen A. Rittmann die Vorstellung dadurch begründet, dass im Verlauf der Entstehung des Erdballs aus heisser Solarmaterie die Transportvorgänge im Erdinneren so langsam verlaufen mussten, dass die für die Ausbildung eines Eisenkerns nötigen Stofftransportvorgänge in der verfügbaren Zeit nicht stattgefunden haben konnten [52].

Ob sich diese Vorstellung durchsetzen wird, ist nicht klar (es wird heute vorwiegend angenommen, dass sich die Uerde eher allmählich durch Ansammlung von kosmischem Staub aufgebaut hat), aber unabhängig davon beeindruckt der geniale Gedanke und der Mut alteingesessene Vorstellungen in Frage zu stellen.

In den 50er Jahren studierte Werner Kuhn mit Peter Läger und anderen die Vorgänge an ultrafeinporigen Membranen [53] und mit Heinz Majer die Gefrierpunktserniedrigung in Gelen [54], die durch die Netzwerkstruktur, in der sich nur ultrakleine Kriställchen bilden können, beeinflusst wird. Mit einer Reihe weiterer Mitarbeiter hat er seine verschiedenen Theorien ausgebaut. Insbesondere hat er sich mit seinen künstlichen Muskelmodellen eingehend beschäftigt. Dabei konnte er nachweisen, dass bei idealen experimentellen Bedingungen die freie chemische Energie vollständig in mechanische Arbeit umgewandelt werden kann und dass umgekehrt beim Strecken eines Polyacrylsäuregels Protonen freigesetzt werden, d.h., dass mechanische in chemische Energie umgewandelt wird [55].

1955 bekleidete Werner Kuhn das Amt des Rektors der Basler Universität. Abb. 42 zeigt ihn zusammen mit Niels Bohr bei der Ehrenpromotion von Niels Bohr durch die Basler Universität, Abb. 43 mit seinem langjährigen Mitarbeiter Hans Martin, anlässlich seiner eigenen Ehrenpromotion in Kiel 1959.

Werner Kuhn starb am 27. August 1963 an Herzversagen, mitten in seinem fruchtbaren Schaffen im Alter von 64 Jahren. Er hatte unter zahlreichen Ehrungen den Marcel Benoist-Preis erhalten, und war Ehren-



Abb. 42: Ehrenpromotion von Niels Bohr (2. von links) und Werner Kuhn als Rektor (3. von links), 1955



Abb. 43: Werner Kuhn mit Hans Martin bei der Ehrenpromotion von Werner Kuhn in Kiel, 1959

doktor der Universitäten Kiel und Heidelberg und Mitglied mehrerer Akademien.

Werner Kuhn hat theoretische und experimentelle Probleme mit derselben Selbstsicherheit und Unvoreingenommenheit in Angriff genommen. Er war ein Meister der Improvisation, und dadurch gelang ihm die Lösung heikler experimenteller Probleme mit geringem Aufwand und einfachsten Mitteln. Werner Kuhn delegierte wenig. Ungefähr jeder Mitarbeiter war an einem anderen Projekt tätig. Er hatte keinen grossen Mitarbeiterstab, der seine Ideen weiter trug. Da Werner Kuhn ein Problem so unmittelbar anpackte und es durch gründliches Nachdenken ohne viel Literatur-Studium vorantrieb, fanden sich Autoren, die ähnliche Gebiete bearbeiteten, oft nicht zitiert, und das hemmte manchmal die Verbreitung seiner Arbeiten, obgleich ihm wichtig war, seine Ideen anderen mitzuteilen.

Werner Kuhn war begeistert von seiner Arbeit. Er trug seine Ideen mit grossem Engagement vor und wusste seine Zuhörer zu fesseln. Die erbarmungslose Konsequenz der logischen Schlüsse aus seinen Ideen führte oft zu Konfrontationen. Die Arbeit, deren wir nach 50 Jahren gedenken, beginnt mit der Feststellung, dass die von Staudinger vertretene Vorstellung,

dass Moleküle wie Kautschuk oder Zellulose in Lösung langgestreckte starre Fäden seien, durch die von Staudinger selbst veröffentlichten Experimente ausgeschlossen wurden. Das musste zu Schwierigkeiten führen, die noch Jahre später beim 60. Geburtstag von Staudinger ihren dichterischen Ausdruck «die Kuhn'schen Knäuel sind uns hier ein Greuel» fanden.

Mein zentrales Anliegen war es, zum Ausdruck zu bringen, was Werner Kuhn für uns heute ist. Ich versuchte die Arbeiten, die vergessen wurden, und die nach meiner Meinung auch jetzt noch viel Sprengkraft haben, etwas in Erinnerung zu rufen. Noch wichtiger erscheint es mir, seine Art Probleme zu sehen und anzupacken, wissenschaftliche Aufgaben zu lösen, besonders jüngeren Forschern nahe zu bringen.

Der Mut und die Unvoreingenommenheit, mit der Werner Kuhn in ein neues Gebiet einstieg mit der Grundüberzeugung, dass nicht umfangreiches Fachwissen, sondern Gründlichkeit im Durchdenken eines Problems und genaue Kenntnis der speziellen Verhältnisse entscheidend sind, war mir Richtschnur für die eigene Arbeit. Ebenso seine Tendenz, zu versuchen, den Kern der Sache durch Entwerfen eines sinnvoll vereinfachenden Modells zu erfassen, das Prinzipielle dadurch einzufangen, dass man einen speziellen Fall möglichst tiefgreifend durchdenkt statt imponierende



Abb. 44: Werner Kuhn (1960)

allgemeine, aber im konkreten Fall nutzlose Formalismen aufzustellen.

Ich habe mich immer sehr bemüht, die Orientierung am Vorgehen von Werner Kuhn an meine Mitarbeiter weiterzugeben, die Tradition zu wahren. Ich glaube daher, dass es nicht Zufall ist, dass von meiner Arbeitsgruppe, ohne mein Zutun, zwei äusserst wichtige Entwicklungen ausgegangen sind, die Erfindung und Entwicklung des Farbstofflasers durch *Fritz-Peter Schäfer* und die Einzelkanalmesstechnik durch *Erwin Neher*. Der Farbstofflaser ist deshalb so wichtig, weil er die moderne Laserspektroskopie erst ermöglicht hat und, wie sich vor ganz kurzer Zeit gezeigt hat, in der Picosekundenspektroskopie zu entscheidenden neuen Möglichkeiten führt. Die Einzelkanalmesstechnik hat in der Neurophysiologie und in der gesamten Membranphysiologie einen Umschwung gebracht.

Herr *Schäfer* ist ganz im Geiste von Werner Kuhn vorgegangen, nicht nur, indem er am klassischen Oszillator überlegt hat, wie ein Farbstofflasereffekt zustande kommen müsste, sondern im ganzen weiteren Vorgehen, im exakten Durchdenken jeder Idee und im genauen Durchdenken der experimentellen Realisation. Er sagte mir öfters, mit welchem Gewinn er die Arbeiten von Werner Kuhn gelesen habe.

Werner Kuhn hat immer wieder gezeigt, wie man durch geschicktes Überlegen mit einfachsten Mitteln zu Grenzen experimenteller Realisierbarkeit vorantreiben kann. In diesem Sinne habe ich nach Wegen zur Manipulation in der molekularen Dimension gesucht, zur Konstruktion molekular dimensionierter elektrischer und optischer Systeme und zum Ankoppeln der künstlichen Systeme an die Biomembran, und Herr *Neher* hat mit seiner Einzelkanalmesstechnik ein ausserordentlich nützliches Werkzeug für das Manipulieren im molekularen Bereich geschaffen.

Das reiche und erstaunlich vielfältige Werk von Werner Kuhn ist aus einem starken Bedürfnis entstanden, die Naturvorgänge um uns und in uns zu ergründen, und aus dem Bewusstsein, dass dieses Ziel nur durch sehr detaillierte Einzeluntersuchungen erreicht werden kann.

In seiner Rektoratsrede hat Werner Kuhn am Beispiel der Fadenmoleküle gezeigt, wie hier die Forschungsergebnisse auf einem engen Spezialgebiet die biologischen Wissenschaften entscheidend beeinflusst haben, und wie in dieser Weise — ich zitiere den Schlusssatz seiner Rektoratsrede «auf einem Spezialgebiet bestimmte Vorstellungen entwickelt und gefestigt werden und diese Vorstellungen zusammen mit dem, was auf allen anderen Wissensgebieten vor sich geht, zur langsamen Wandlung unserer Lebensbedingungen und unserer gesamten Vorstellungswelt beitragen».

Werner Kuhn hat an diesem Prozess in unvergleichlich vielfältiger und tiefgreifender Weise teilgenommen.

Literaturverzeichnis

- 1 W. Kuhn: Koll. Z. 68, 2 (1934).
- 2 W. Kuhn und F. Grün: Koll. Z. 101, 248 (1942).
- 3 W. Kuhn: Koll. Z. 76, 258 (1936).
- 4 W. Kuhn und H. Kuhn: Helv. Chim. Acta 26, 1394 (1943).
- 5 R. Signer und H. Gross: Helv. Chim. Acta 17, 59 (1934).
- 6 W. Kuhn und H. Kuhn: Helv. Chim. Acta 28, 1533 (1945); 29, 71 (1946); 29, 609, 830 (1946); J. Coll. Sci. 3, 11 (1948); Chimia 2, 173 (1948).
- 7 H. Kuhn und W. Kuhn: J. Polymer Sci. 5, 519 (1950); 9, 1 (1952); H. Kuhn, W. Kuhn und A. Silberberg: J. Polymer Sci. 14, 193 (1953); W. Kuhn, H. Kuhn und P. Buchner: Ergebn. Exakt. Naturwiss. 25, 1 (1951).
- 8 H. Mosimann: Helv. Chim. Acta 26, 61 (1943); E.O. Kraemer and J.B. Nichols: in Th. Svedberg and K.O. Pederson, The Ultracentrifuge, Oxford University Press London, 1940, S. 93.
- 9 P. Baertschi: Helv. Chim. Acta 34, 1324 (1951).
- 10 W. Kuhn: Z. El. Ch. 55, 207 (1951).
- 11 A. Einstein: Ann. d. Physik 17, 549 (1905); 19, 289 (1906); 34, 591 (1911).
- 12 W. Kuhn und H. Kuhn: Helv. Chim. Acta 28, 97 (1945).
- 13 W. Kuhn und H. Kuhn: Helv. Chim. Acta 27, 493 (1944); W. Kuhn, P. Moser und H. Majer: Helv. Chim. Acta 44, 770 (1961); W. Kuhn: Helv. Chim. Acta 31, 1092, 1259 (1948); 33, 2057 (1950).
- 14 W. Kuhn, O. Künzle und A. Katchalsky: Bull. Soc. Chim. Belg. 57, 421 (1949); Helv. Chim. Acta 31, 1994 (1948); A. Katchalsky, A. Künzle und W. Kuhn: J. Polym. Sci. 5, 283 (1950).
- 15 W. Kuhn: Exper. 5, 318 (1949); W. Kuhn und B. Hargitay: Exper. 7, 1 (1951); Angew. Chem. 63, 283 (1951); W. Kuhn, B. Hargitay, A. Katchalsky und H. Eisenberg: Nature 165, 514 (1950); W. Kuhn: Z. angew. Physik 4, 108 (1952).
- 16 A. Silberberg und W. Kuhn: Nature 170, 450 (1952); Polymer Sci. 13, 21 (1954).
- 17 W. Kuhn und H. Kuhn: Helv. Chim. Acta 27, 493 (1944).
- 18 W. Kuhn: Z. Physikal. Chem. [A] 161, 1 (1932).
- 19 M. Yanagida, Y. Hiraoka und I. Katsura: Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology 47, (2) 177 (1982).
- 20 J. Weidmann, H. Kuhn und W. Kuhn: J. Chimie Physique 50, 226 (1953); H. Kuhn: Exper. 1, 28 (1945). Helv. Chim. Acta 31, 1677 (1948).
- 21 J.G. Kirkwood und J. Risemann: J. Chem. Phys. 16, 565 (1948); 17, 442 (1949).
- 22 a) P.J. Flory: Principles of Polymer Chemistry, Cornell University Press, Ithaca, New York 1953, p. 610.
b) P.J. Flory: Statistical mechanics of chain molecules, Interscience 1969, p. 37.
- 23 P. Debye und A.M. Bueche: J. Chem. Phys. 16, 573 (1948).
- 24 a) H. Kuhn: Helv. Chim. Acta 29, 432 (1946);
b) P. Debye: J. Phys. Coll. Chem. 51, 18 (1947).
- 25 W. Kuhn: Helv. Chim. Acta 25, 252 (1942).
- 26 W. Kuhn und K. Ryffel: Helv. Chim. Acta 26, 1693 (1943); P. Baertschi, W. Kuhn und H. Kuhn: Nature 171, 1018 (1953); W. Kuhn, P. Baertschi und M. Thürkuf: Exper. suppl. 8, 30 (1960).
- 27 P. Baertschi und W. Kuhn: Helv. Chim. Acta 40, 1084 (1957).
- 28 W. Kuhn und K. Ryffel: Hoppe-Seyler's Zeitschrift physiol. Chemie 276, 145 (1942); B. Hargitay und W. Kuhn: Z. Elektrochem. 55, 539 (1951).
- 29 W. Kuhn und H.J. Kuhn: Z. Elektrochem. 65, 426 (1961); W. Kuhn, A. Ramel, H.J. Kuhn und E. Marti: Exper. 19, 497 (1963).
- 30 W. Kuhn: Rektoratsrede «Die Gestalt grosser Moleküle als Beispiel für das Wesen spezieller und allgemeiner Forschung» 1955, Basler Universitätsreden, Heft 36.
- 31 W. Kuhn: Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences 177, 956 (1923); Inaugural-Dissertation Zürich 1926.
- 32 W. Kuhn: Z.f.Phys. 33, 408 (1925).
- 33 a) W. Thomas: Naturwissenschaften 13, 627 (1925).
b) W. Heisenberg: Z.f.Physik 33, 879 (1925).

- 34 *W. Kuhn*: Det Kgl. Danske Videnskabernes Selskab. Mathematisk-fysiske Meddelelser 7, 12 (1926); *Z. f. Phys.* 38, 440 (1926).
- 35 *W. Kuhn*: *Naturwissenschaften* 19, 854 (1931); Theorie und Grundsätze der optischen Aktivität. Abschnitt der von Karl Freudenberg herausgegebenen «Stereochemie», Verlag Deuticke 1932; *Ann. Review of Physical Chemistry* 9, 417 (1958).
- 36 *W. Kuhn*: *Z. phys. Chem. (B)* 31, 23 (1935).
- 37 *W. Kuhn* und *E. Braun*: *Naturwissenschaften* 17, 227 (1929); *W. Kuhn* und *E. Knopf*: *Z. phys. Chem. (B)* 7, 292 (1930).
- 38 *W. Kuhn*: *Philosophical Magazine*, 8, 625 (1929).
- 39 *R.L. Mössbauer*: *Z. Physik* 151, 124 (1958); *Naturwissenschaften* 45, 538 (1958); *Z. Naturforsch.* 14a, 211 (1959).
- 40 *W. Kuhn*: *Z. f. Phys.* 43, 56 (1927); 44, 32 (1927); 52, 151 (1928).
- 41 *W. Kuhn*: *Ber. d. Deutschen Chemischen Gesellschaft* 63, 1503 (1930); *K. Freudenberg, W. Kuhn, W. Dürr, F. Bolz* und *G. Steinbrunn*: *Ber. d. Deutschen Chemischen Gesellschaft* 63, 1510 (1930); *K. Freudenberg* und *W. Kuhn*: *Ber. d. Deutschen Chemischen Gesellschaft* 65, 484 (1932); *W. Kuhn*: *Z. physikal. Chem. (A)* 159, 368 (1932); *W. Kuhn, C.C. Molster* und *K. Freudenberg*: *Ber. d. Deutschen Chemischen Gesellschaft* 65, 1179 (1932).
- 42 *W. Kuhn* und *H. Martin*: *Naturwissenschaften* 20, 772 (1932); *W. Kuhn, H. Martin* und *K.H. Eldau*: *Z. f. physik. Chemie (B)* 50, 213 (1941).
- 43 *H. Martin* und *W. Kuhn*: *Z. Elektrochem.* 47, 216 (1941); *Z. phys. Chem. (A)* 189, 219 (1941).
- 44 *W. Kuhn* und *R. Rometsch*: *Helv. Chim. Acta* 27, 1080 (1944); *Helv. Chim. Acta* 27, 1346 (1944); 29, 1483 (1946).
- 45 *K. Weil* und *W. Kuhn*: *Helv. Chim. Acta* 27, 1648 (1944); 29, 748 (1946); *W. Kuhn* und *K. Vogler*: *Z. Naturforschung* 6b, 232 (1951).
- 46 *W. Kuhn*: *Forsch. und Fortschr.* 14, 91 (1938); *Naturwissenschaften* 26, 289 (1938); *Z. Altersforschung* 1, 325 (1939); *Exper.* 11, 429 (1955).
- 47 *W. Kuhn*: *Helv. Chim. Acta* 31, 1780 (1948).
- 48 *H. Kuhn*: *Chimia* 2, 11 (1948), 4, 203 (1950); *H.D. Försterling, W. Huber* und *H. Kuhn*: *International Journal of Quantum Chemistry* 1, 225 (1967). *H.D. Försterling* und *H. Kuhn*: *Moleküle und Molekülanhäufungen*, Springer Verlag, Heidelberg, 1983, S. 97.
- 49 *J.E. Lennard-Jones*: *Proc. Roy. Soc. [London]* (A) 158, 280 (1937); *C.A. Coulson*: *Proc. Roy. Soc. [London]* A 169, 413, (1939); *R.S. Mulliken*: *J. Chem. Physics* 7, 364 (1939).
- 50 *R.E. Peierls*: *Quantum Theory of Solids*, Oxford Clarendon Press 1955 S. 118.
- 51 *W. Kuhn*: *Angew. Chem.* 52, 289 (1939); *W. Kuhn* und *O. Künzle*: *Helv. Chim. Acta* 30, 839 (1947); *W. Kuhn*: *Die Makromolekulare Chemie* 6, 224 (1951); *W. Kuhn* und *S. Vielhauer*: *Geochimica et Cosmochimica Acta* 3, 169 (1953); *Z. physikal. Chemie* 202, 124; 161 (1953).
- 52 *W. Kuhn* und *A. Rittmann*: *Geologische Rundschau* 3, 215 (1941); *W. Kuhn*: *Exper.* 2, 391 (1946); *Naturwissenschaften* 33, 311 (1946); *Exper.* 4, 23 (1948); *Naturwissenschaften* 30, 689 (1942).
- 53 *W. Kuhn, R. Bloch* und *P. Läger*: *Kolloid-Zeitschrift* 193, 1 (1963); *W. Kuhn* und *P. Läger*: *Helv. Chim. Acta* 45, 22 (1962).
- 54 *W. Kuhn, E. Peterli* und *H. Majer*: *Z. Elektrochemie* 62, 3, 296 (1958); *W. Kuhn, R. Bloch* und *P. Moser*: *Exper.* 18, 197 (1962).
- 55 *W. Kuhn* und *M. Thürk*: *Kolloid Zeitschrift* 184, 114 (1962); *W. Kuhn, I. Toth* und *G. Ebner*: *Nature* 195, 1164 (1962); *W. Kuhn, I. Toth* und *H.J. Kuhn*: *Helv. Chim. Acta* 45, 2325 (1962); *W. Kuhn, S. Müller, H.J. Kuhn* und *A. Eisenberg*: *Makromolekulare Chemie* 62, 40 (1963); *W. Kuhn, A. Ramel* und *D.H. Walters*: *Chimia* 12, 123 (1958); *W. Kuhn*: *Chimia* 12, 297 (1958); *W. Kuhn, H.J. Kuhn, D.H. Walters* und *G. Ebner*: *Z. Elektrochem.* 64, 5 (1960); *D.H. Walters, W. Kuhn* und *H.J. Kuhn*: *Nature* 189, 4762 (1961); *W. Kuhn, G. Ebner, H.J. Kuhn* und *D.H. Walters*: *Helv. Chim. Acta* 44, 325 (1961).