



BIO I 90.005/7

apollo

Nachrichtenblatt der Naturkundlichen Station der Stadt Linz

Folge 7

Linz, Frühling 1967

Schraubenmechanik der Eiweißmoleküle – eine neue erklärende Theorie der Lebensprozesse

Von Robert Jarosch

Der Hauptmotor bei allen Lebensvorgängen ist das Protoplasma, das in den einzelnen Zellen verschieden arbeitet. Das Protoplasma ist also lebentragender Stoff, der jeden Organismus aufbaut und sämtliche Lebensvorgänge bewirkt oder verursacht. Die auffallendste Erscheinung ist dabei die „Protoplasmaströmung“, eine selbsttätige bis jetzt nach den üblichen Forschungsmethoden noch nicht erklärbare Bewegung. Es galt überhaupt als fraglich, ob die restlose chemisch-physikalische Klärung dieses Lebensgeheimnisses möglich ist. Seit dem Jahre 1961 stehen die revolutionierenden Arbeiten Doktor Robert Jarosch' im Zeichen der Schraubenmechanik, einer an der Linzer Naturkundlichen Station begründeten Forschungsrichtung zur Aufklärung der Bewegungserscheinungen des Protoplasmas. Fachwissenschaftler verfolgen mit regem Interesse seine Forschungsergebnisse, die eine Kette von noch bestehenden biologischen Rätseln der Lösung zuführen werden.

Die Redaktion

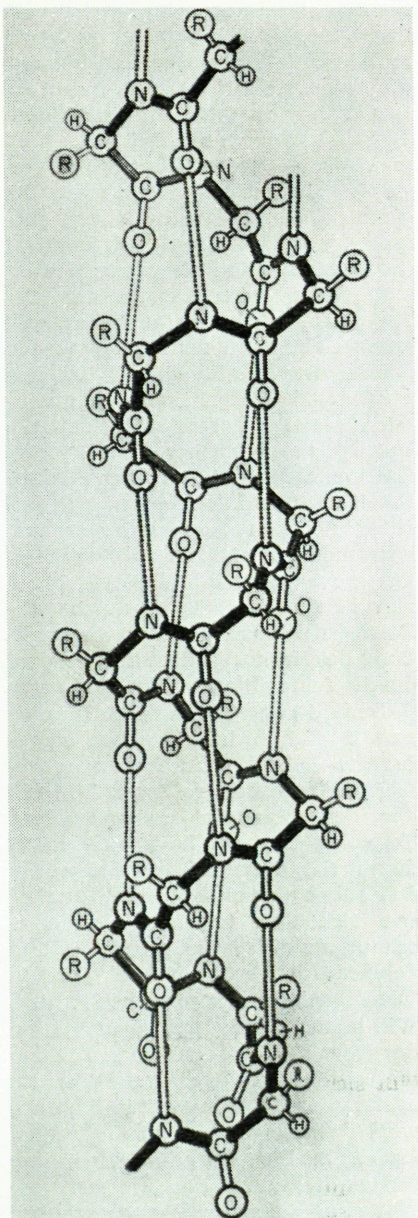


Abbildung 1: Die Alpha-Helix. Bei dieser in den meisten Eiweißkörpern vorliegenden Struktur wird die (dunkel gezeichnete) Polypeptidkette durch fast achsenparallele Wasserstoffbrücken stabilisiert. Eine Ganghöhe mißt 5,4 Å ($1 \text{ Å} = 10^{-8} \text{ cm}$). Aus Kendrew, 1962.

Die chemische Analyse der Lebewesen ist heute schon weit fortgeschritten, und mit Recht hat man unser Jahrhundert als das der Biochemie bezeichnet. Bei dieser Sachlage wird besonders der Nichtfachmann erstaunt sein, wenn er beim Durchblättern eines modernen Lehrbuches der Physiologie oder physiologischen Chemie findet, wie wenig man über die den charakteristischen Lebensprozessen wie Bewegung, Wachstum, Vermehrung, Formbildung, Reizbarkeit u. a. zugrunde liegenden Vorgängen eigentlich weiß. Man begnügt sich meist nur mit der Feststellung, daß es sich hier um enzymatisch gesteuerte Vorgänge handle, wobei bis heute schon mehr als tausend verschiedene Enzyme aus den Zellen isoliert werden konnten. Es sind dies Eiweißstoffe mit sehr hohem Molekulargewicht, die in ganz spezifischer Weise die Fähigkeit haben, andere Stoffe chemisch umzuwandeln und damit den für das Leben charakteristischen Stoffwechsel durchzuführen. Trotz der ungeheuren

Wissensmenge, die hier erarbeitet worden ist, gehört sowohl das sinnvolle Zusammenwirken der Enzyme wie auch der Mechanismus ihrer Aktivität zu den bis heute ungelösten Grundfragen der Biochemie. Früher hatte man die geheimnisvolle Fähigkeit der belebten Materie einer besonderen Lebenskraft zugeschrieben. Die letzten Jahre der Forschung haben aber gezeigt, daß molekulare Strukturen höchste Bedeutung haben und man berechtigt ist, das biologische Geschehen als eine Funktion der makromolekularen Strukturen aufzufassen. Extremer formuliert, könnte man auch sagen: Die Lebensprozesse sind die Bewegungen der riesigen Eiweißmoleküle.

Der bedeutende amerikanische Chemiker L. Pauling und seine Mitarbeiter fanden auf Grund der Röntgen-Strukturanalyse schon 1950, daß die Polypeptidkette in den Eiweißmolekülen meist eine charakteristische schraubige Gestalt annimmt (Alpha-Helix, Schraube erster Ordnung, Abb. 1), die durch annähernd ach-

senparallele Wasserstoffbrücken stabilisiert wird. Wie dann von M. F. Perutz in Cambridge und seiner Schule gezeigt werden konnte, ist die Alpha-Helix im Eiweißmolekül des Hämoglobins und Myoglobins in spezifischer Weise gefaltet, so daß das Molekül einem etwa kugelförmigen Knäuel gleicht (Abb. 2). Eine ähnliche Faltung der Alpha-Helix wird für andere „globuläre“ Eiweißmoleküle angenommen. Für faserige Eiweißstoffe, wie das Keratin der Haare und der Hornsubstanz, wurde von Crick (1952) wie auch unabhängig von Pauling und Corey (1953) eine Struktur vorgeschlagen (Abb. 3), in der den Alpha-Helices höher geordnete Schrauben (Schrauben zweiter Ordnung) überlagert sind, die sich gegenseitig umwinden. Die Gestalt dieser Superschrauben wird durch eine spezifische Wiederholung in der Folge der Aminosäure-Bausteine entlang der Polypeptidkette bedingt.

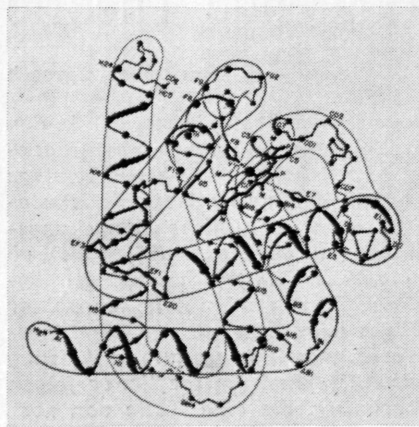


Abbildung 2: Charakteristische Faltung der Alpha-Helix im Myoglobin, dem globulären Eiweiß der roten Muskelfarbe. Aus Perutz, 1964.

Genauen Beobachtern der Natur ist schon seit langem bekannt, daß viele Lebewesen, besonders die niederen Bakterien und Algen, einen auffälligen Schraubenbau zeigen. Schon mit dem Lichtmikroskop sind manche Schraubenstrukturen auch im Inneren der Zellen zu erkennen, z. B. die Chromosomen. In neuester Zeit gelang es mit Hilfe des Elektronenmikroskopes viele weitere Zellstrukturen als schraubig nachzuweisen, so die Aktin- und Myosinfibrillen des Muskels, Bakteriengeißeln, Schwänze von Bakteriophagen, „Mikroröhrchen“ im Protoplasma u. a. Es lag nun nahe, einen unmittelbaren Zusammenhang zwischen der schraubigen Molekülgestalt und der Struktur der Lebewesen bzw. des Protoplasmas anzunehmen. Eine Möglichkeit besteht darin, daß zwischen den sich umwindenden Schrauben zweiter Ordnung (vgl. Abb. 3) Unterschiede in der Ganghöhe auftreten, wodurch aus mechanischen Gründen eine in-

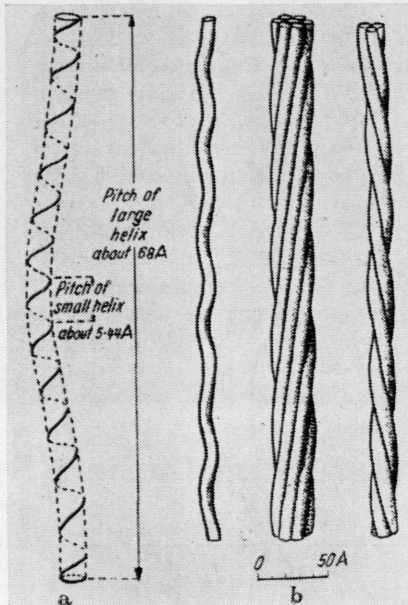


Abbildung 3: Die Alpha-Helix (in a eingezeichnet) ist im Keratin, dem Eiweiß der Haare und des Horns von einer Schraube zweiter Ordnung überlagert. Mehrere Schrauben dieser Art umwinden sich gegenseitig (b, schwächer vergrößert als a). Aus Pauling und Corey, 1953.

nere Spannung entstehen muß, die eine Schraube dritter Ordnung erzeugt (Abb. 4a, b). Durch Umwindung dieser Schrauben können auf die gleiche Weise auch Schrauben höherer Ordnung entstehen. Mit aus Stahldraht gebauten Modellen lassen sich so viele Eigenschaften der Bakteriengeißeln, Aktinfibrillen und Mikroröhrchen des Protoplasmas nachahmen und verstehen. Diese

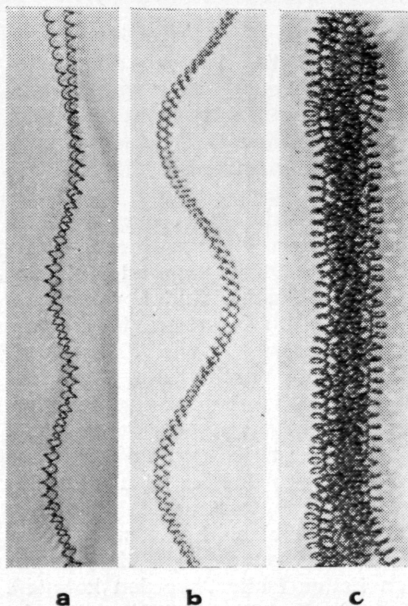


Abbildung 4: Schraubenmechanische Entstehung einer Eiweißfibrille. Beim Auftreten eines Ganghöhenunterschiedes an gegenseitig umwundenen Schrauben der zweiten Ordnung entsteht eine Schraube dritter Ordnung (a, b). Mehrere gegenseitig umwundene Schrauben bilden zum Beispiel eine Bakteriengeißel oder ein „Mikroröhrchen“ des Protoplasmas (c).

Theorie wurde aber noch nicht bestätigt. Auf vielen elektronenmikroskopischen Aufnahmen scheinen nämlich die höheren Schraubenstrukturen aus globulären Untereinheiten aufgebaut zu sein, und Pauling hatte bereits 1953 vorgeschlagen, daß sich schraubige Eiweißfibrillen aus globulären Untereinheiten (Monomeren) polymerisieren könnten, wenn die Richtungen der polar angeordneten Bindungskräfte (Abb. 5a, Pfeile) nicht parallel liegen, sondern einen Winkel zueinander einnehmen. Demnach wären es also sekundäre Bindungen zwischen den globulären Eiweißmolekülen, die die höhere Organisation bedingen sollen (Abb. 5c, d). Wie wir aber weiter unten sehen werden, ist diese Auffassung mit den dynamischen Fähigkeiten der genannten Strukturen kaum zu vereinbaren. Es läßt sich nämlich im Lichtmikroskop oft direkt beobachten, daß die Eiweißschrauben schnell um ihre Längsachse rotieren können. Bei den Schraubengeißeln der Bakterien fand man bis zu 90 Rotationen pro Sekunde. Die Protoplasmabewegung erscheint als eine Verschiebung entlang der rotierenden Schrauben (Mikroröhrchen), ähnlich wie sich etwa eine Schraubenmutter entlang der rotierenden Schraube verschiebt. Im Dunkelfeld kann man bei gewissen Zellen die Rotationen oft deutlich erkennen. Die Muskelbewegung wird heute als eine Verschiebung der Aktinfibrillen gegenüber den Myosinfibrillen aufgefaßt und kann – ohne Fibrillenkontraktion – durch einfache Rotation der Aktinschrauben verstanden werden. Der aktive Stofftransport, z. B. bei der Aufnahme von Nahrungstoffen durch die Darmwand oder bei der Ausscheidung des Harnes in der Niere, – wird durch feine Plasma-Ausstülpungen (Mikrovilli) besorgt, in deren Inneren man erst kürzlich Mikroröhrchen gefunden hat, die im Leben wahrscheinlich schnell rotieren. Die mit der Schraubenrotation verbundene Torsionsspannung läßt sich schön durch das Umsichselbstwinden der Schrauben demonstrieren – ähnlich wie sich eine tordierte Telefonschnur um sich selbst windet – und gelegentlich direkt an Protoplasmafortsätzen mikroskopisch beobachten. Wie kann es nun aber zur Rotation der Eiweißschrauben kommen? Dazu läßt sich folgender einfache Versuch ausführen: Ein Gummiring (Abb. 6a) wird durchschnitten und die beiden Enden in Richtung der durch den Kreismittelpunkt des Ringes verlaufenden Achse auseinandergezogen (b). Dabei tordiert sich das Gummiband um eine ganze Drehung (c), und es entsteht eine Torsionsspannung. Der Gummiring entspricht einer einzigen Windung einer elastischen

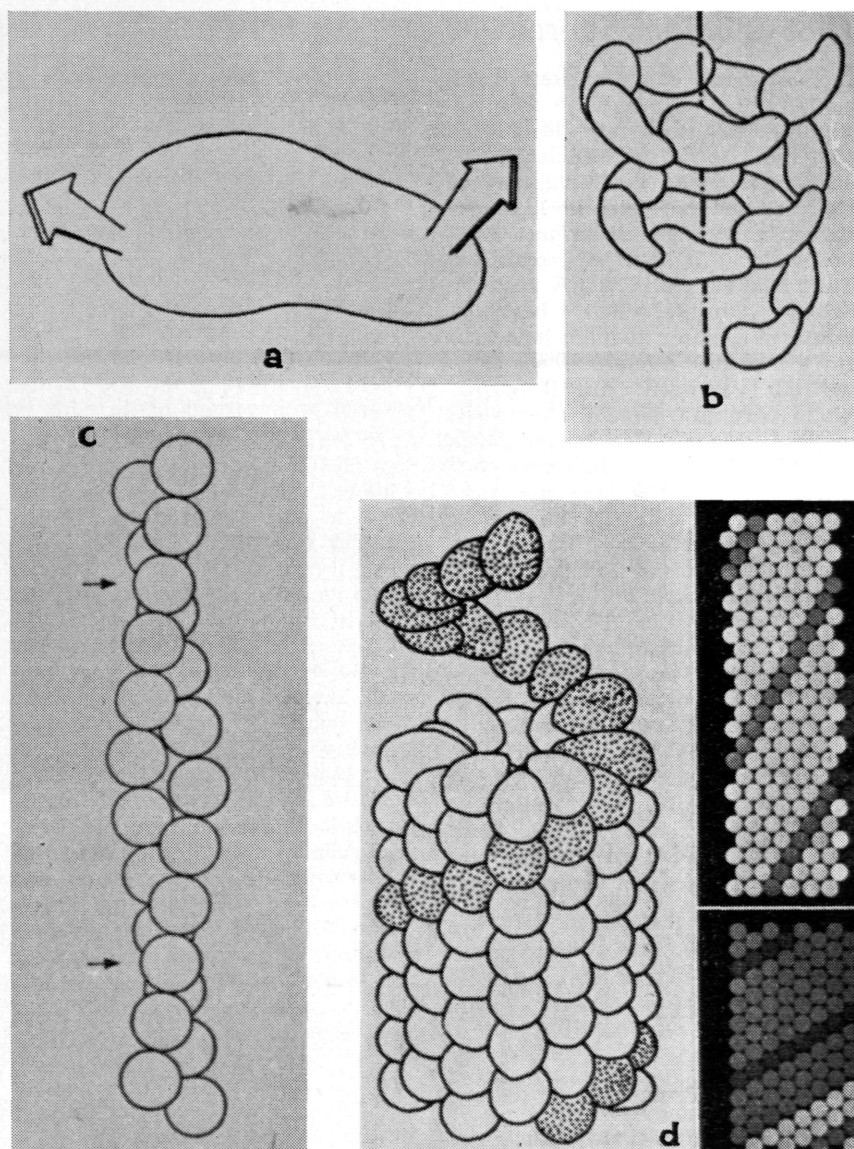


Abbildung 5: Traditionelle Vorstellungen vom Aufbau einer Eiweißfibrille aus linear angeordneten globulären Untereinheiten. a, b aus Pauling, 1953; c Muskeleiweiß Aktin, aus Hanson und Lowy, 1963; Bakteriophagenschwanz, aus Kellenberger und Boy de la Tour, 1964.

Schraube, die durch Überdehnung ausgezogen wird (Abb. 6d). Durch die vielen Windungen der Schraube summieren sich die Spannungen der Einzelwindungen zu einer starken Torsionsspannung, die die Rotation des einen Schraubenendes bewirkt, wenn das andere fixiert ist (e). Eine geringere Torsionsspannung entsteht natürlich auch dann, wenn die Schraube nicht ganz ausgezogen wird, sondern nur eine kleine Änderung der Ganghöhe erleidet. Jede periodische Ganghöhenänderung wird periodische Torsionsspannungen und Rotationen nach sich ziehen. Nun sind Ganghöhenänderungen bis zu etwa 7 Prozent auch an der Alpha-Helix möglich und können nach Pauling und Corey durch Wechselwirkungen mit den Seitenketten (in Abb. 1 durch R bezeichnet) ausgelöst werden. Auch an den höheren Schraubenordnungen wurden Ände-

rungen der Ganghöhe bereits mehrfach beschrieben, so an Bakteriengeißeln, Aktinfibrillen und Bakteriophagenschwänzen (vgl. die Anordnung der Teilchen in Abb. 5d, rechts). An den Chromosomen ist ein „Spiralisations-Zyklus“ schon lange bekannt. Die oben besprochenen Rotationen dieser schraubigen Protoplasmastrukturen finden nun ihre einfache Erklärung durch die bei den Änderungen der Ganghöhe auftretenden Torsionsspannungen. Die Anzahl der maximal in einer Richtung möglichen Rotationen ist bestimmt durch die Anzahl der Schraubenwindungen. Da man die Länge der Eiweißschrauben z. B. der in Abbildung 5 dargestellten Strukturen gut kennt, läßt sich die maximale Anzahl der Rotationen leicht berechnen, und man gelangt zu Werten, die um ein Vielfaches kleiner sind, als die

tatsächlich beobachteten. Daraus folgt, daß die Vorstellung vom Aufbau der Protoplasmaschrauben aus globulären Untereinheiten (Abb. 5) falsch ist. Wenn man dagegen die Anzahl der Rotationen für durchgehende Alpha-Helices berechnet (Abb. 3, 4), so kommt man infolge der bedeutend größeren Windungszahlen zu annähernd richtigen Werten. Die im Elektronenmikroskop sichtbaren „globulären Untereinheiten“ der Protoplasmaschrauben sind zum Teil wahrscheinlich die bei der Präparation denaturierten Windungen der Schrauben zweiter Ordnung. Dabei ist es gut denkbar, daß die Monomeren, d. h. die Bausteine für die höhere Struktur, in einem globulären Zustand vorliegen, daß sie sich aber bei der Polymerisation fibrillär umordnen.

Durch die Zurückführung der Bewegungsaktivität schon auf die Alpha-Helices erscheinen nun auch die Aktivitäten dieser Monomeren und anderer globulärer Eiweißmoleküle in einem neuen Licht. Die bei den Rotationen der Eiweißschrauben erzeugten Schwingungen dürften nämlich höchst bedeutungsvoll sein für die eingangs erwähnten enzymatischen Fähigkeiten dieser Moleküle. In Versuchen mit schnellrotierenden Modellschrauben kann man demonstrieren, daß sich die Teilchen des umgebenden Mediums an bestimmten Schwingungsknoten ansammeln, und es ist wahrscheinlich, daß die sogenannten „aktiven Zentren“, das sind jene relativ kleinen Bereiche der Oberfläche des Enzymmoleküls, an denen allein chemische Umsetzungen erfolgen können, analoge Ursachen haben.

Noch ein kurzes Wort zur Energetik. Wie man heute weiß, verdichtet sich die im Verlauf des Stoffwechsels aus dem Kohlehydratabbau stammende chemische Energie in einer hochenergetischen Verbindung, dem Adenosintriphosphat (ATP), das stets im Protoplasma vorkommt. Beim Zerfall

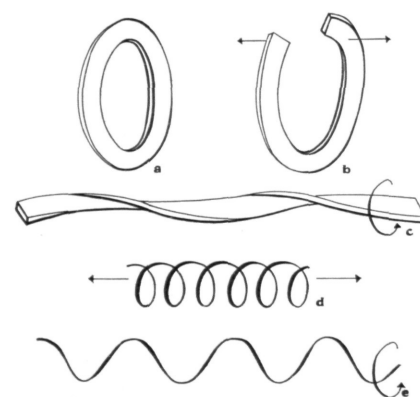


Abbildung 6: Mechanische Entstehung einer Torsionsspannung durch Ganghöhenänderung an einer elastischen Schraube. Erklärung im Text.

dieser Substanz in ein Phosphat und Adenosindiphosphat (ADP) wird relativ viel Energie frei und setzt sich in Bewegungs- und Arbeitsenergie um. Man kann annehmen, daß diese Energie bei der Ganghöhenänderung in die Alpha-Helices gleichsam hineingepumpt wird. Vermutlich ist dies die Folge von Ladungsänderungen an den Seitenketten, wobei Kationen eine wichtige Rolle spielen. Genauere Aussagen über Einzelheiten dieses Vorganges sind derzeit noch nicht möglich.

Wir sehen also die Eiweißkörper durch ihre komplizierten makromolekularen Schraubenstrukturen in die Lage versetzt, chemische Energie in Bewegungsenergie umzuwandeln. Erst so können sie die verschiedenen Lebensfunktionen ausführen, die zusammen das Wunderbare eines Lebewesens ergeben.

Zitierte Literatur:

- Crick, F. H. C., 1952: Nature (London) 170, 882.
Hanson, J., and J. Lowy, 1963: J. Mol. Biol. 6, 46.
Kellenberger, E., and E. Boy de la Tour, 1964: J. Ultrastructure Research 11, 545.
Kendrew, J. C., 1961: Scientific American 205, 96.
Pauling, L., R. B. Corey, and H. H. Branson, 1951: Proc. Nat. Acad. Sci. USA 37, 205.
Pauling, L., 1953: Disc. Faraday Soc. 13, 170.
Pauling, L., and R. B. Corey, 1953: Nature (London) 171, 59.
Perutz, M. F., 1964: Dansk Tidsskr. Farm. 38, 113.

Gibt es in Linz Skorpione?

Das Echo auf diese im Heft 6 gestellte Frage und auf die folgende Rundfunkreportage am 28. Jänner 1967 war gut. Alle gemeldeten Beobachtungen zeigen eindeutig, daß es sich bei den bis jetzt in Linz gefundenen Exemplaren um mit Obst- und Gemüseimporten eingeschleppte Tiere handelt. Dabei wurde auch die Selbstmordangelegenheit bestätigt. Deutsche Landser konnten in Afrika ein grausames Schauspiel als Zeitvertreib verfolgen: Ein Ring aus Wolle wird mit Benzin übergossen und angezündet. Der in die Mitte dieses Ringes gesetzte Skorpion läuft diesen Feuerkreis entlang und sticht sich schließlich selbst in den Rücken des Kopf-Brust-Stückes. Das gleiche wird Reisenden in Südeuropa und Südamerika vorgeführt.

Eine Frau aus Linz berichtete von einem „Skorpensammler“ in Südtirol (Klausen), namens Kasper, der noch vor dem ersten Weltkrieg den Lebensunterhalt für seine fünfköpfige Familie im Sammeln von Skorpionen und durch den Verkauf von „Skorpenöl“, ein Heilmittel gegen Rheuma und Ischias, fand. (Ein Liter Olivenöl mit ein bis zwei Zentimeter Bodensatz Skorpione angesetzt.)

den, der auch für die Wiener Großbauten (Ringstraßenbauten) dieser Zeit herangezogen worden ist. Es ist das der obermiozäne (tortonische) Nulliporenkalk des Leithagebirges, kurz *Leithakalk* genannt, der vorwiegend aus verschiedenen Lithothamnien, das sind kalkausscheidende Meeresalgen, oder aus deren wieder verfestigten Zerstörungsprodukten besteht. Demnach umfassen die Leithakalke alle Übergänge von mehr massigen Kalken bis zu kalkreichen Sandsteinen. Die Leithakalke bilden einen Mantel um das Leithagebirge und werden heute noch an zahlreichen Stellen abgebaut.

Den noch aufliegenden Kostenvorschlägen, in die die Allgemeine Sparkasse in entgegenkommender Weise Einblick gewährt hat, kann entnommen werden, daß man folgende Arten von Leithakalken verwendet hat: Breitenbrunner Stein für das Hauptgesims, Mannersdorfer Stein für die Attika, ferner Margarethenstein, harter Kaiserstein und Goiszer Stein (nach einer freundlichen Mitteilung von Herrn Hochschulprofessor A. Kieslinger ist Goisz die ungarische Bezeichnung für das heutige Jois im Burgenland) für die jonischen Dreiviertelsäulen und Kapitäle, die Fensterverzierungen im ersten und zweiten Stock und andere Einzelheiten. Die Herkunft des auch erwähnten „Monostorer Steines“ für die Vasen und die mittlere Hauptfigurengruppe auf der Attika konnte nicht ermittelt werden. Die Säulen und deren Sockel (1**) beiderseits des Einganges geben einen guten Einblick in das helle weißfleckige Gestein der Leithakalke. Der rechte Sockelquader enthält eine gut sichtbare Austernschale.

Anlässlich der Renovierung bzw. des Ausbaues der großen Schalterhalle im Innern 1950 bis 1952 sind die Sockel unterhalb der Auslagenfenster zum Teil mit dem grobgemusterten, hier geschliffenen *Weinsberger Granit* (2) des unteren Mühlviertels verkleidet worden, während die beiden Kugeln am Eingang, die Stufen und das Fundament aus ungeschliffenem, feinkörnigem *Mauthausener Granit* (3) aus der Zeit der Erbauung erhalten sind.

Der Auffassung der Erbauungszeit entsprechend, ist auch im Innern ein bunter Prunk aus Marmor entfaltet worden, der uns am Eingang zwischen Einlaufstelle und Portierloge, in der anschließenden Vorhalle zu den Stiegenaufgängen und vor der Falltür zur neuen Schalterhalle entgegentritt. Der Blick fällt dabei auf zwölf Säulen, deren helle, gelbbraune bis rosarote bunte Schäfte aus einer groben, rissigen und schwach geaderten *Kalkbreccie* (4) (im Voranschlag als M 1 bezeichnet) bestehen. Ihre

Gesteinskundlicher Lehrpfad*

Von Hermann Kohl

3. Fortsetzung der Beschreibungen Linzer Bauwerke: Promenade

Um langatmige Wiederholungen zu vermeiden, wird darauf verzichtet, alle schon in den Folgen 1, 2 oder 6 beschriebenen Gesteine wieder zu erfassen. Dafür sollen aber einige repräsentative Gebäude mit reicher Natursteindekoration eingehender beschrieben werden.

Zunächst begegnen wir, vom Taubenmarkt kommend, am **Juweliergeschäft Zerrmayr**, Promenade 3, einem schwarzen, nur wenig weiß gesprenkelten Gestein, das bei genauer Beobachtung eine ganze Reihe von Fossileneinschlüssen erkennen läßt. Das im Handel als „*Belgischer Granit*“ bezeichnete Gestein hat allerdings mit einem Granit nichts zu tun und ist vielmehr ein

bituminöser paläozoischer (aus dem Erdaltertum stammender) belgischer Kalkmergel mit entsprechenden kleinen kalzitischen Versteinerungen. Zahlreich treten runde *Crinoiden*-teilchen (Glieder von Seelilien) sowie gekammerte *Großforaminiferen* in runden und länglichen Anschnitten (z. B. unterhalb der Uhr) auf und an einigen Stellen wabenartige Gebilde, die wohl als *Schwamm*fragmente zu deuten sind. Einen interessanten Vergleich zu diesem Sedimentgestein gestattet die daneben stehende Wetterstation Geyer, deren Sockel aus einem schwarzen, feinkristallinen Tiefengestein, einem schwedischen *Gabbro*, besteht.

Allgemeine Sparkasse in Linz

Zu den gesteinskundlich interessanten Bauten der Linzer Promenade gehört die Allgemeine Sparkasse. Die Fassade des 1886 bis 1892 errichteten Gebäudes zeigt eindrucksvoll die Merkmale eines repräsentativen Neubarockbaues der Gründerzeit. Die für diese Zeit übliche, besonders reiche Fassadendekoration ist zum Großteil in jenem Naturstein ausgeführt wor-

* Herr Hochschulprofessor Dr. Kieslinger (Wien), Herr Dr. Schadler (Linz), Herr Prof. Dunzendorfer (Rohrbach), Herr Direktionsrat Sturm der Allgemeinen Sparkasse in Linz sowie die Linzer Steinmetzfirma Steller und Vornehm und die Union-Baugesellschaft Wien haben durch wertvolle Auskünfte die folgende Beschreibung unterstützt, wofür ihnen der gebührende Dank ausgesprochen sei. Die in den Werken A. Kieslingers „Die nutzbaren Gesteine Salzburgs“ und „Die nutzbaren Gesteine Kärntens“ genannten Beispiele werden mit „A. Kieslinger/Salzburg“ bzw. „Kärnten“ zitiert.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Apollo](#)

Jahr/Year: 1967

Band/Volume: [07](#)

Autor(en)/Author(s): Jarosch Robert

Artikel/Article: [Schraubenmechanik der Eiweißmoleküle - eine neue erklärende Theorie der Lebensprozesse 1-4](#)