Molekulare Prozesse der Muskelarbeit

Autor(en): **Frese, Walter**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **96 (1978)**

Heft 26: **SIA-Heft, 3/1978: Dimensionierungsprobleme bei Heizungsanlagen**

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-73714

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

[3] *EMPA. Eisenbahnlärmmessungen in Eschlikon (TG), im Hinblick auf das von der Barbe AG ausgearbeitete Lärmmodell.* Untersuchungsbericht, Dübendorf, Juni 1977.

[4] *Klein N.:* «Lärmprobleme bei der Planung der Neubaustrecke Mannheim–Stuttgart.» «Die Bundesbahn», Heft 3, 1977.

[5] *Scherrer H.U.:* «Umweltplanung.» Vorlesungs-Skriptum. ETH Zürich, 1971/77.

[6] *Schultz T.J.:* «Development of an Acoustic Rating Scale for Assessing Annoyance caused by Wheel/Rail Noise in Urban Mass Transit.» Cambridge (Massachusetts), February 1974.

Adresse des Verfassers: *H.U. Scherrer,* dipl. Ing. ETH/SIA, Lehrbeauftragter für «Umweltplanung» an der ETHZ, c/o Barbe AG, Ingenieur- und Planungsbüro, Zollikerstrasse 128, 8008 Zürich.

Molekulare Prozesse der Muskelarbeit

Die Synchrotron-Strahlung, ursprünglich nur ein «Abfallprodukt der Hochenergie-Physik», verschafft erstmals Einblick in die letzten Ursachen der Muskeltätigkeit. Mit ihrer Hilfe verfolgen Wissenschaftler des *Max-Planck-Instituts für medizinische Forschung in Heidelberg* die molekularen Prozesse, die der Muskelarbeit zugrundeliegen: «Ruderbewegungen» von Molekülen, in deren Verlauf chemische Energie in mechanische Arbeitsleistung umgewandelt wird.

Als Strahlungsquelle dient den Biologen das *Deutsche Elektronen-Synchrotron* (DESY) in *Hamburg,* eines der grössten seiner Art. In ihm werden Elektronen längs einer kreisförmigen Bahn von hundert Metern Durchmesser auf Energien von mehr als sieben Milliarden Elektronenvolt beschleunigt. Sie erreichen dabei fast Lichtgeschwindigkeit und werden dann zur Erzeugung von Elementarteilchen auf Proben geschossen.

Die Synchrotron-Strahlung fällt bei solchen Versuchen als Nebenprodukt an, weil die Elektronen, während sie auf der Kreisbahn umlaufen, ständig Energie in Form elektromagnetischer Wellen abgeben. Die Intensität dieser Strahlung wächst mit der Geschwindigkeit der Elektronen sehr stark an. Zugleich rückt dabei auch ihr Intensitätsmaximum aus dem sichtbaren Licht über Ultraviolett in den Bereich der Röntgenstrahlen: Dadurch wandelt sich das Synchrotron gewissermassen zu einer Röntgenröhre – deren Strahlungsleistung die einer gewöhnlichen Röntgenröhre jedoch um das Fünfzig- bis Hundertfache übertrifft.

Als solche «Super-Röntgenröhren» stellen Synchrotrone für zahlreiche Forschungszwecke – von der Atom- und Festkörperphysik bis zur Chemie und Molekularbiologie – ein wertvolles Hilfsmittel dar. Da die bestehenden Anlagen nur nebenbei als Strahlungsquellen dienen können, wollen die Max-Planck-Gesellschaft und andere Forschungseinrichtungen demnächst in Berlin ein Synchrotron bauen, das speziell für die Anwendung der Synchrotron-Strahlung gedacht ist (Schweiz. Bauzeitung, Heft 19, 1978).

Am DESY steht für solche «Nebenzwecke» schon seit längerem ein Strahlenlabor zur Verfügung, das vom *European Molecular Biology Laboratory* (EMBL) eingerichtet wurde, und das auch von den Wissenschaftlern anderer Institute benutzt wird. *Kenneth C. Holmes,* Geschäftsführender Direktor des Instituts, *Roger Goody* und *Hans Georg Mannherz* untersuchen dort – gemeinsam mit *Gerd Rosenbaum* vom EMBL – die molekularen Prozesse, die der Muskelbewegung zugrundeliegen.

Kurze Belichtungszeiten

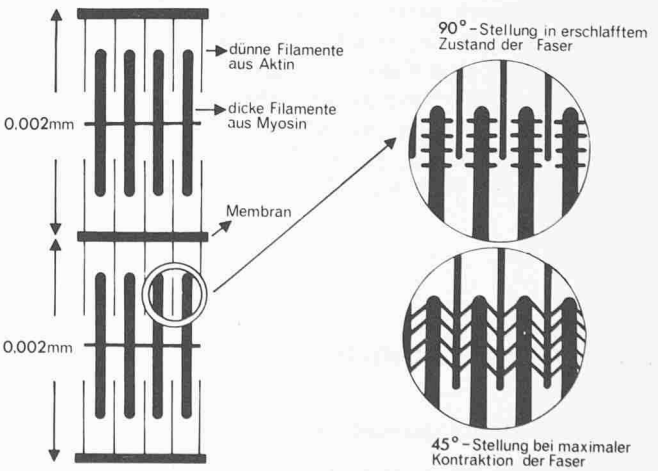
Es geht dabei um *Röntgen-Strukturanalysen,* ursprünglich ein Verfahren der Kristallographie, das man schon seit längerem auch verwendet, um den Bau *organischer Makromoleküle* aufzuklären: Diese Moleküle werden mit Röntgenstrahlen «beleuchtet», die an ihnen gebeugt und dann auf einem Film aufgefangen werden; man erhält so ein *Beugungsbild,* aus dem sich der Bau des fraglichen Moleküls rekonstruieren lässt.

Mit herkömmlichen Röntgenröhren durchgeführt, erfordern solche Strukturanalysen allerdings Belichtungszeiten von vielen Stunden. «Das spielt, solange es nur um rein statische Analysen an einzelnen Molekülen geht, keine Rolle», erläutert Holmes. «Im Fall der molekularen Muskeltätigkeit liegen die Dinge jedoch anders. Hier nämlich handelt es sich um dynamische Prozesse, also darum, die Bewegung und Wechselwirkung von makromolekularen Strukturen aufzuklären: Um diese Vorgänge in einzelnen Phasen festzuhalten, benötigt man möglichst kurze Belichtungszeiten – und dementsprechend intensive Röntgenstrahlung, wie sie nur ein Synchrotron liefert.»

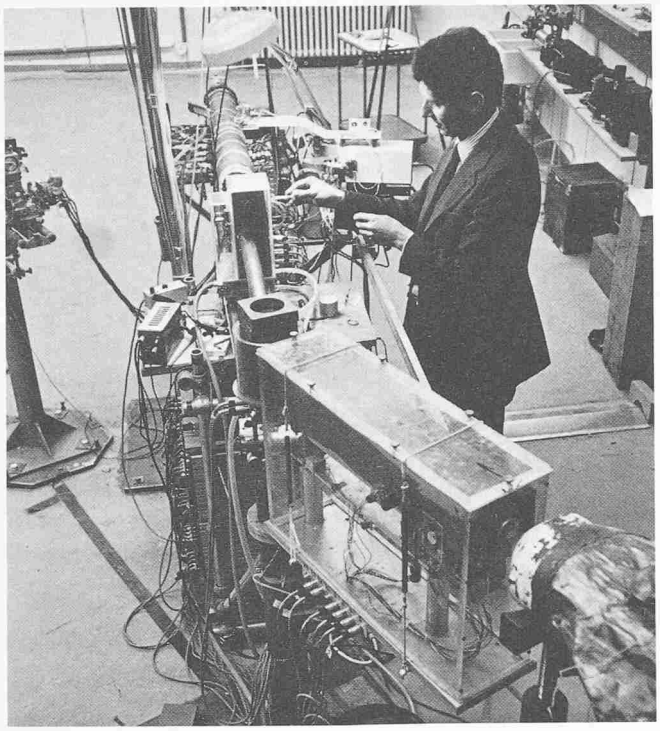
Die Untersuchungsobjekte der Heidelberger Biologen sind isolierte Muskelfasern aus dem Flugmuskel der Riesen-Wasserwanze *Lethocerus maximus.* Diese Fasern, die den Muskel in seiner Längsrichtung durchziehen, gleichen in ihrem Feinbau ganz denen des menschlichen Skelettmuskels: Sie bestehen aus kettenartig aneinandergereihten Elementen, den Sarkomeren, die jeweils zwei tausendstel Millimeter lang sind und über Membranen aneinandergrenzen.

Gleitende Filamente

Die Sarkomere stellen die kleinsten Arbeitseinheiten eines Muskels dar. Sie enthalten in ihrem Innern zwei Sorten von Filamenten, von fadenförmigen Strukturen unterschiedlicher Dicke, die parallel zur Achse des Sarkomers und damit zur Richtung der Muskelfaser verlaufen. Die dünneren dieser Filamente ragen als Bündel – etwa den Borsten eines Pinsels vergleichbar – von den Membranen aus ins Innere des Sarkomers: Dort schieben sie sich mit ihren Enden zwischen



Links: Schematischer Längsschnitt durch zwei Sarkomere mit ineinanderragenden Bündeln aus dünnen und dicken Filamenten. Rechts oben ein Ausschnitt aus der Kontaktzone: In erschlafftem Zustand der Muskelfaser ragen die Köpfe der Myosin-Moleküle senkrecht aus den dicken Filamenten heraus. Diese Köpfe binden sich auf Nervensignale hin an die dünnen Filamente, spalten den «Brennstoff» ATP – Adenosintriphosphat – und klappen in eine 45°-Stellung um. Dabei ziehen sie, wie im Schema unten rechts, die dünnen Filamente an sich vorbei



Der «Prüfstand», auf dem die Arbeitsweise von isolierten Muskelfasern verfolgt wird. Durch eine Vakuumröhre wird die Synchrotron-Strahlung aus dem Ringkanal des Synchrotrons in das Labor geleitet. Sie läuft durch einen Monochromator – vorne im Bild –, der die geeignete Wellenlänge ausfiltert, dann weiter über die Muskelfasern und schliesslich auf einen Film

die Enden der dickeren Filamente, die von der Mitte des Sarkomers nach beiden Richtungen verlaufen und so eine Art «Steckverbindung» zwischen den beiden Bündeln aus dünnen Filamenten herstellen.

Damit enthält jedes Sarkomer also zwei solcher «Kontaktzonen», in denen dicke und dünne Filamente ineinander ragen. Und genau in diesen Zonen spielen sich die Prozesse ab, um deren Aufklärung es geht. Denn die Kontraktion – die Verkürzung – eines Muskels entsteht dadurch, dass die beiden Filamenttypen ineinandergleiten: Die dünneren werden an den dicken vorbei zur Mitte des Sarkomers gezogen, das sich dadurch verkürzt. Da dasselbe in allen übrigen Sarkomeren geschieht, verkürzt sich die Muskelfaser – und schliesslich, mit allen Fasern, der gesamte Muskel.

Welche Kräfte bewirken nun aber das Ineinandergleiten der Filamente? «Diese entscheidende Frage», so Holmes, «konnte bisher nur hypothetisch beantwortet werden, und zwar durch das sogenannte *Querbrücken-Modell*. Erst jetzt, mit Hilfe der Synchrotron-Strahlung, ist es möglich, die Muskeltätigkeit auf molekularer Ebene unmittelbar zu verfolgen. Dabei sprechen schon die ersten Befunde dafür, dass das theoretische Bild zutrifft, dass die Querbrücken tatsächlich existieren.»

Wechselspiel von Myosin und Aktin

Das Querbrücken-Modell schreibt den dicken Filamenten die wesentliche Rolle bei der Muskelkontraktion zu. Die dicken Filamente nämlich bestehen aus Myosin, einem Eiweiss, dessen lange, fadenförmige Moleküle an einem Ende zwei «Köpfe» tragen. Diese Moleküle liegen so aneinander, dass ihre Köpfe jeweils seitlich aus den Enden der dicken Filamente herausragen – dort, wo die dünnen Filamente enden, die aus Aktin bestehen.

Die Köpfe der Myosin-Moleküle besitzen nun zwei wichtige Fähigkeiten: Zum einen können sie den universellen chemischen Energiespeicher ATP – Adenosintriphosphat – in Adenosindiphosphorsäure und anorganisches Phosphat zerlegen und dabei dessen Energie freisetzen, zum anderen können sie sich an die Aktin-Moleküle der dünnen Filamente anheften.

Die beiden Mechanismen verbindet das Querbrücken-Modell zu folgendem Reaktionsablauf: Die Myosin-Köpfe, die in erschlafftem Zustand der Muskeln senkrecht aus den dicken Filamenten herausragen, binden sich auf entsprechende Nervensignale hin an die dünnen Aktin-Filamente. Dann zerlegen sie ATP, setzen also dessen chemische Energie frei – und klappen dabei in eine 45°-Stellung um, wobei sie die dünnen Filamente an sich vorbeiziehen: In dieser Phase wird also chemische Energie unmittelbar in mechanische Arbeit umgewandelt. Nach dieser «Ruderbewegung» lösen sich die Köpfe wieder vom dünnen Filament, schwingen in die Ausgangsposition zurück, und derselbe Ablauf beginnt von neuem. Weil sich an diesem «Tauziehen» zahlreiche Moleküle gleichzeitig beteiligen, werden die dünnen Filamente ruckfrei tiefer zwischen die dicken gezogen.

Zwei Phasen dieses zyklischen Prozesses konnten die Biologen mit Hilfe der Synchrotron-Strahlung bereits im Bild festhalten: Die 90°-Position der Querbrücken, also der Myosin-Köpfe, in erschlafftem Zustand der Muskelfasern sowie die 45°-Position während maximaler Spannung. Ziel ihrer weiteren Arbeiten ist ein lückenloser Beweis. Er dürfte gelingen, wenn demnächst auch der *Elektronen-Speicherring* (DORIS) als Strahlungsquelle zur Verfügung steht. Denn DORIS, der dem Deutschen Elektronen-Synchrotron angeschlossen ist, liefert noch intensivere Strahlung als DESY und erlaubt daher, die «Belichtungszeiten» noch weiter zu senken – und so die «rudernden» Moleküle in allen Phasen zu erfassen.

Weltraumprojekte der USA

Weltraum und Erde Gegenstand der Untersuchungen

(AD) Von den 25 Satellitenstarts, die von der amerikanischen Weltraumbehörde NASA für 1978 vorgesehen sind, gehen allein 15 auf «fremde Rechnung». Bei ihnen handelt es sich um wissenschaftliche und anwendungstechnische Projekte staatlicher und privater Organisationen in den Vereinigten Staaten, ausländischer Institutionen, wie der *Europäischen Weltraumbehörde* (ESA), sowie der Regierungen *Grossbritanniens*, *Kanadas* und *Japans*. Die NASA fungiert in einer Reihe von Fällen lediglich als Dienstleistungsunternehmen.

Es zeugt von der wirtschaftlichen Bedeutung der mit Hilfe der Raumfahrt bereits erarbeiteten *Anwendungstechniken*, dass *nur noch neun der 25 Flugkörper reine Forschungssatelliten* sind. Die übrigen 16 sind bereits *routinemässig verwendete*, ständig weiter verbesserte Satelliten für die *Wetterbeobachtung*, für die *Messung von Umweltbedingungen*, die *Fernerkundung der Erde (Landsat-C)* und als *Nachrichtensatelliten* für kommerzielle und militärische Zwecke.

Sonden zur Venus

Mit Spannung warten die Wissenschaftler darauf, was die beiden *Pionier-Venus-Sonden* melden werden, die nach dem Start