

Bemerkungen zur Theorie der Muskelkontraktion.

Von

Felix Reach.

Vor mehr als Jahresfrist erschien in diesem Archiv eine Veröffentlichung von J. Bernstein¹⁾, in der der Autor auch gegen eine Publikation von mir²⁾ polemisiert. Durch meine militärische Verwendung im Kriege abgehalten, komme ich erst jetzt dazu, einige Worte zu erwidern.

Ich hatte die Frage erörtert, inwiefern der Muskel eine kalorische Maschine sei. Dabei hatte ich ihn in mehrfacher Beziehung mit einem Verbrennungsmotor verglichen. Den bekannten Einwand gegen die thermische Muskeltheorie, den Fick aus dem zweiten Hauptsatze ableitet, lehnte ich ab, und zwar deshalb, weil ein grosses Temperaturgefälle im Muskel nicht nur möglich, sondern seine Annahme angesichts der tatsächlich stattfindenden Oxydationen kaum zu umgehen ist. Freilich lässt sich dieses grosse Temperaturgefälle nicht durch myothermische Messungen nachweisen; dies liegt jedoch daran, dass diese Messungen die offenbar räumlich und zeitlich eng begrenzten Temperaturveränderungen nicht genügend fassen können. Diesbezüglich hatte ich gesagt: „Man denke sich eine grosse Anzahl Verbrennungsmotoren und zwischen diese Motoren ein Thermometer gesteckt, dessen Querdurchmesser tausendmal so gross wäre als der Durchmesser eines einzelnen Motorzylinders. Es wird sicher niemand mit einer so ungeheuerlichen Versuchsanordnung, wie sie eben vergleichsweise skizziert wurde, das Temperaturgefälle dieser Motoren messen wollen.“ B. findet nun diesen Vergleich „wenig durchdacht“ und meint: „Es wäre nur erforderlich, die Zahl der

1) J. Bernstein, Experimentelles und Kritisches zur Theorie der Muskelkontraktion. Pflüger's Arch. Bd. 162 S. 1.

2) In: Fortschritte der naturwissenschaftlichen Forschung. Herausgegeben von Abderhalden Bd. 10 H. 3.

Motorzylinder so gross zu nehmen, dass ihr Gesamtquerschnitt tausendmal so gross wäre als der des Thermometers, dann würde letzteres sicherlich annähernd die mittlere Temperatur der Motorzylinder annehmen.“ Aber das ist es ja eben, dass das Thermometer nur die mittlere Temperatur der Motorzylinder annehmen würde, und dass auch die thermoelektrische Versuchsanordnung beim Muskel nur die Schwankungen der mittleren Muskeltemperatur anzeigt! Der Vergleich zwischen Muskel und Verbrennungsmotor sollte hier demonstrieren, dass eine derartige Versuchsanordnung über das für die Arbeitsleistung in Betracht kommende Temperaturgefälle nichts aussagen kann.

Die Veröffentlichung B.'s zeigt aber auch sonst, dass der Vergleich zwischen Muskel und Verbrennungsmotor geeignet ist, auf die Frage nach dem Zustandekommen der Muskelkontraktion einiges Licht zu werfen, wobei freilich diese Beleuchtung den Ausführungen B.'s nicht immer günstig ist. So führt er insbesondere neuerlich das Argument ins Treffen, das hohe Temperaturgefälle im Muskel wäre deshalb unmöglich, weil sein oberstes Niveau (T_1) hoch über der Gerinnungstemperatur des Muskels läge. Der Vergleich mit dem Verbrennungsmotor deckt die Schwäche dieser Argumentation auf. Es beträgt nämlich im arbeitenden Verbrennungsmotor die Anfangstemperatur ca. 2500° C.; der Schmelzpunkt des Gusseisens aber, aus dem die Motoren hergestellt werden, liegt bei ungefähr 1200° C.¹⁾.

B. meint ferner, nicht die Verbrennungstemperatur des Brennstoffes käme für das wirksame Temperaturgefälle in Frage, sondern einzig und allein die Temperatur des arbeitenden Körpers. Er zieht nun die Dampfmaschine zum Vergleiche heran und wirft den Vertretern der kalorischen Muskeltheorie vor, sie machten einen ähnlichen Fehler, als wenn man bei der Dampfmaschine die Verbrennungstemperatur der Kohle als das T_1 des Carnot'schen Satzes ansehen würde. Ich habe eben mit Rücksicht auf diese und andere Umstände zum Vergleich mit dem Muskel nicht die Dampfmaschine, sondern den Verbrennungsmotor herangezogen. Hier besteht die räumliche Trennung zwischen Feuerungsraum und eigent-

1) Auf diese Tatsache hat mich Herr Professor J. Rezek, der das Fach Maschinenkunde an der k. k. Hochschule für Bodenkultur in Wien vertritt, in dankenswerter Weise aufmerksam gemacht.

licher Kraftmaschine nicht; der gasförmige Inhalt des Zylinders ist der arbeitende Körper, und T_1 liegt daher viel höher als bei der Dampfmaschine.

Ich hatte bei meinem Vergleich darauf hingewiesen, dass im Verbrennungsmotor T_1 nur während eines kleinen Teils der Arbeit besteht, und dass beim Muskel die Annahme analoger Verhältnisse nicht unbegründet ist. Auch hiergegen polemisiert B.: „Die Wärme-
produktion bei der Zuckung des Muskels,“ meint er, „beschränkt sich nicht, wie Reach glaubt, auf die Zeit der elektrischen Potentialschwankungen (Aktionsströme), sondern erstreckt sich auf die ganze Dauer der Kontraktion. . . . Im glatten Muskel ist sie, wie ich kürzlich nachgewiesen habe, während der bis zu 30 Sekunden anhaltenden Kreszente am stärksten.“ Für den glatten Muskel ist es zunächst noch recht fraglich, ob die beobachtete Wärme-
produktion in allen Muskelementen gleichzeitig vor sich geht. Im übrigen liefert die frühere Arbeit B.'s²⁾, die er hier zitiert, keineswegs ein stichhaltiges Argument für die Behauptung: die Verbrennung erstrecke sich auf die ganze Kontraktionsdauer. B. hat den Temperaturverlauf im arbeitenden Muskel untersucht. Als annähernde Kurve der Wärmebildung sieht er die Kurve der Differentialquotienten der Temperatur an. Er betont jedoch in jener Publikation über den glatten Muskel wiederholt mit Recht, dass dabei noch eine Verschiebung in dem Sinne stattfindet, dass die Wärmebildung in Wirklichkeit rascher abläuft, als es diese Prüfungsmethode erscheinen lässt. Aber auch ohne Berücksichtigung dieser Verschiebung zeigt sich in B.'s Untersuchungen der überwiegend grössere Teil der Wärmebildung und das Temperaturmaximum in der ersten Hälfte der Kontraktion. Diese experimentellen Studien B.'s am glatten Muskel sprechen dafür, dass sich keineswegs das hohe Temperaturgefälle auf die ganze Zuckungsdauer erstrecken müsste. Es scheint also, dass auch in Beziehung auf den zeitlichen Ablauf der energie-spendenden Oxydationen ein Vergleich zwischen dem Muskel und dem Verbrennungsmotor in prinzipieller Hinsicht am Platze ist.

Berücksichtige ich dies alles und halte ich meinen Vergleich und B.'s Einwände einander gegenüber, so kann ich nicht zu der Einsicht kommen, dass mein Vergleich zu wenig durchdacht war.

1) J. Bernstein, Über den zeitlichen Verlauf der Wärmebildung bei der Kontraktion des Muskels. Pflüger's Arch. Bd. 159 S. 521.