

- Dem **Faserverlauf**. Beispiele: Die Fasern des M. *transversus abdominis* verlaufen rechtwinklig (quer = transvers) zur Körpermittellinie.
- Der **Lage** des Muskels. Der M. *temporalis* liegt nahe dem Os temporale (Schläfenbein).
- Der **Größe** bzw. **Länge** des Muskels. *Maximus* bedeutet der größte, *minus* bedeutet der kleinste, *longus* bedeutet der lange und *brevis* der kurze.
- Der **Zahl der Ursprünge**. Der M. *biceps brachii* besitzt zwei, der M. *triceps brachii* drei und der M. *quadriceps femoris* vier Ursprünge.
- Die **Muskelform**, z.B. beim M. *deltoides* (bedeutet dreieckig), M. *trapezius* (bedeutet trapezförmig) oder M. *serratus anterior* (bedeutet sägezahnförmig).
- Der **Lokalisation von Ursprung** (bzw. Ursprünge) und **Ansatz**, z.B. entspringen der M. *obturatorius externus* und der M. *obturatorius internus* an der Membrana obturatoria.

## Der Aufbau des Skelettmuskelgewebes

Der elementare Baustein des Skelettmuskelgewebes ist die **quergestreifte Muskelfaser** (■ Abb. 7.32). Sie ist eine riesige vielkernige Zelle, die bis zu 15 cm lang und ca. 0,1 mm dick werden kann und daher oft mit dem bloßen Auge zu erkennen ist.

Mehrere Muskelfasern sind durch stärkere Bindegewebssepten (Septum = Scheidewand) zu **Muskelfaserbündeln** zusammengefasst. Jeder einzelne anatomisch benannte Muskel (bestehend aus vielen Muskelfaserbündeln) besitzt eine äußere Bindegewebshülle, die mit der weiter außen aufliegenden **Muskelfaszie** (Muskelhülle) den Muskel in seiner anatomischen Form hält. Zusammen mit dem Bindegewebe, von dem jede Muskelfaser umgeben ist, und der Bindegewebshülle setzt sich die Muskelfaszie am Muskelende als **Sehne** fort, die dann in der Regel an einem Knochen ansetzt.

Der Skelettmuskel ist reich mit Nerven und Blutgefäßen versorgt. Im Allgemeinen begleiten eine Arterie und eine oder zwei Venen jeden Nerv, der durch das Bindegewebe in den Muskel eindringt; dort zweigen sich die zuführenden Gefäße in ein Kapillarnetz auf, das jede einzelne Muskelfaser umspinnt. Die rote Farbe verdankt der Muskel zum einen seinem Blutreich-tum, zum anderen aber auch dem roten Farbstoff **Myoglobin**, der ähnlich dem

**Hämoglobin** (■ 20.2.3) als Sauerstoffträger fungiert.

## Die Kontraktion des Skelettmuskels

Damit ein Skelettmuskel kontrahiert, muss er von einer **Nervenzelle** (*Neuron*) einen Reiz erhalten (■ 7.5.4). Dieser besondere Typ von Nervenzelle heißt **Motoneuron** (**motorisches Neuron**). Das Motoneuron kommt meist vom Rückenmark und teilt sich wie die Gefäße auf. Ein Ausläufer (**Axon**) nähert sich der Muskelfaserwand und tritt über eine weitverzweigte Synapse („Umschaltstelle“) als sog. **motorische Endplatte** in Kontakt mit der Zellmembran der Muskelfaser, dem **Sarkolemm**. Das Sarkolemm wird jedoch von der motorischen Endplatte nicht berührt. Vielmehr befinden sich dort Sekretbläschen (*synaptische Vesikel*) die einen chemischen Überträgerstoff enthalten, den **Neurotransmitter Acetylcholin**.

Kommt eine Nervenregung am Axonende an, dringen Calciumionen aus der Umgebung der motorischen Endplatte in das Axon ein und verursachen die Ausschüttung von Acetylcholin in den synaptischen Spalt, den Zwischenraum zwischen Motoneuron und Sarkolemm. Am Sarkolemm vereinigen sich die Acetylcholinmoleküle mit Rezeptoren. Dadurch verändert sich die Durchlässigkeit des Sarkolemm für Natrium- und Kaliumionen, wodurch die Erregung des Motoneurons auf die Myofibrillen der Skelettmuskelfaser weitergeleitet wird. Kontrahieren viele Myofibrillen gleichzeitig, verkürzt sich dadurch der gesamte Skelettmuskel.

Solange Acetylcholin im synaptischen Spalt ist, ist die Muskelfaser erregt. Erst wenn das Acetylcholin durch das Enzym **Acetylcholinesterase** gespalten ist, erreicht der Muskel wieder seinen Ruhezustand.

Eine **motorische Einheit** wird aus einem Motoneuron und der von ihm innervierten Gruppe von Muskelfasern gebildet. Ein einzelnes motorisches Neuron versorgt also viele Muskelfasern. Bei Muskeln, die einer äußerst präzisen Steuerung bedürfen, z.B. den Augenmuskeln, bilden weniger als zehn Muskelfasern eine motorische Einheit. In anderen Muskeln sind bis zu 2 000 Muskelfasern in einer motorischen Einheit zusammengefasst.

Nach der sog. **Alles-oder-Nichts-Regel** kontrahiert jede Muskelfaser einer motorischen Einheit maximal, sobald ein aus-

reichend starker Reiz die motorische Endplatte erreicht. Es gibt also keine „halbe“ Kontraktion einer motorischen Einheit.

Es kommt jedoch nicht zur Kontraktion aller motorischen Einheiten eines Muskels, da – von Krampfanfällen einmal abgesehen – das ZNS immer nur einen Teil der motorischen Einheiten eines Muskels zur selben Zeit reizt. In der nächsten Zehntelsekunde aktiviert das ZNS die nächste motorische Einheit, so dass die zuerst gereizte sich wieder erholen kann. Die abwechselnde Aktivierung von jeweils nur einem Teil der motorischen Einheiten eines Skelettmuskels verhindert, dass der Muskel frühzeitig ermüdet. Nur so sind Dauerleistungen wie langes Stehen und Tragen von Lasten möglich.

Wird eine motorische Einheit zweimal unmittelbar hintereinander gereizt, reagieren ihre Muskelfasern auf den ersten, jedoch nicht auf den zweiten Reiz. Nach dem ersten Reiz befindet sich die motorische Einheit in der **Refraktärperiode**, einer Art Schutzpause. Die Länge dieser Phase liegt im Bereich von 1 msec; danach reagiert die motorische Einheit wieder auf einen neuen Reiz.

## Der Energiestoffwechsel des Muskels

Obwohl ATP (■ 7.4.7) als unentbehrlicher Energielieferant für die Muskelkontraktion reichlich in jedem Skelettmuskel vorhanden ist, enthalten die meisten Muskelfasern nur für 5 bis 6 Sek. Daueraktivität genügend ATP. Sodann greift die Skelettmuskelfaser auf das energiereiche **Kreatinphosphat**-Molekül zurück. Durch die Spaltung von Kreatinphosphat können die ATP-Speicher rasch regeneriert werden. Damit hat der Muskel bei max. Arbeitsbelastung Energie für ca. 15 Sek.

Dauert die Muskelarbeit länger an, so erschöpft sich auch der Kreatinphosphatvorrat, und es muss **Glukose** (Traubenzucker) als Energieträger verstoffwechselt werden (■ 15.2.2). Im Skelettmuskel wird Glukose in ihrer Speicherform **Glykogen** gelagert, das bei Bedarf wieder zu Glukose gespalten werden kann und dann als Energielieferant zur Verfügung steht.

Die Glukose kann jedoch nicht direkt für die Regeneration von ATP herangezogen werden. Zuvor muss sie weiter zerlegt werden (■ Abb. 7.33)

- entweder – bei Sauerstoffmangel – über mehrere Reaktionen (**Glykolyse**) zum **Pyruvat** und weiter zum **Laktat** (Milchsäure)