



---

# Praktikumsanleitung zum Versuch „Muskel“

UNIVERSITÄT LEIPZIG  
MEDIZINISCHE FAKULTÄT  
CARL-LUDWIG-INSTITUT FÜR PHYSIOLOGIE

VERSION 2025

---

**Lerninhalte/Stichwörter:** *Unterschiede zwischen Skelettmuskel, Herzmuskulatur und glatter Muskulatur, direkte und indirekte Reizung, elektromechanische Kopplung, Latenzzeit, Kontraktionszeit, Erschlaffungszeit, Refraktärzeit, Summation von Einzelzuckungen, unvollständiger Tetanus, vollständiger Tetanus, Verschmelzungsfrequenz, motorische Einheit, kontraktiler Tonus der Skelettmuskulatur.*

*Gültigkeit des Alles-oder-Nichts-Gesetzes für die Muskelfaser bzw. den Gesamtmuskel, Minimalreiz (Reizschwelle), Maximalreiz, passive Muskeleigenschaften (Ruhedehnungskurve), isotonische, isometrische und auxotonische Kontraktion, Unterstützungs- und Anschlagszuckung, Arbeit des Muskels, Struktur der Sarkomere und molekulare Mechanismen der Kontraktion.*

## 1 Experimente am Kraftmessplatz

Die Experimente werden mit einer computergestützten Messapparatur am Probanden durchgeführt. Alle Versuche erfolgen mittels *indirekter* Reizung, d.h. externer Stimulation (durch Reizelektroden) von Muskeln über den versorgenden Nerv. Eine *direkte* Reizung entspräche demgegenüber der externen, aber unmittelbaren Reizung der betreffenden Muskeln unter Umgehung des versorgenden Nervs.

Für die Kraftmessung wird der Nervus ulnaris im Bereich des Ellenbogens mittels Reizelektroden stimuliert. Dies führt zur Kontraktion der innervierten Muskulatur an Hand und Unterarm, darunter des Musculus adductor pollicis („Daumenheranzieher“). Eine indirekte Reizung wurde bereits im Praktikum „Intensitäts–Dauer–Kurve und Leitgeschwindigkeit erregbarer Fasern“ verwendet. Zur Bestimmung der Nervenleitgeschwindigkeit wurde dort der Nervus medianus am Handgelenk bzw. Oberarm stimuliert um EMG-Signale an der Handinnenseite (Thenar) abzuleiten.

Zur Untersuchung der Kraftänderung durch Heranziehen des Daumens, ausgelöst durch Kontraktion des M. adductor pollicis, wird die rechte Hand eines Probanden flach aufgelegt, so dass der leicht abgespreizte Daumen auf der Sensoreinheit (Wägezelle) positioniert ist. Da die Lage des Daumens und der restlichen Finger während der Muskelkontraktion weitgehend unverändert bleibt (der Daumen kontrahiert gegen den festsitzenden Sensor), können mit dieser Messapparatur nur isometrische Kontraktionen abgebildet werden.

Zusätzlich zur Registrierung der Muskelkraft wird das Elektromyogramm (EMG) am Handrücken abgeleitet. Weitere vom N. ulnaris innervierte Muskeln der Hand (v.a. Musculi interossei, „Zwischenknochenmuskeln“) ermöglichen die unkomplizierte Positionierung der Ableitelektroden am Handrücken (hier: M. interosseus dorsalis I).

### 1.1 Einzelkontraktionen bei ansteigender Reizstromstärke

Die Einzelzuckung (Einzelkontraktion) stellt die Grundform der Muskeltätigkeit dar. Die zeitliche Auflösung der Einzelzuckung ergibt für Skelett-, Herz- und glatte Muskeln charakteristische Unterschiede (v.a. bzgl. der Kontraktionszeiten und Erschlaffungszeiten). Für den Skelettmuskel ist die Einzelzuckung nur bei phasischen Eigenreflexen bedeutsam. Willkürbewegungen entstehen durch Summation bzw. Superposition von Einzelzuckungen.

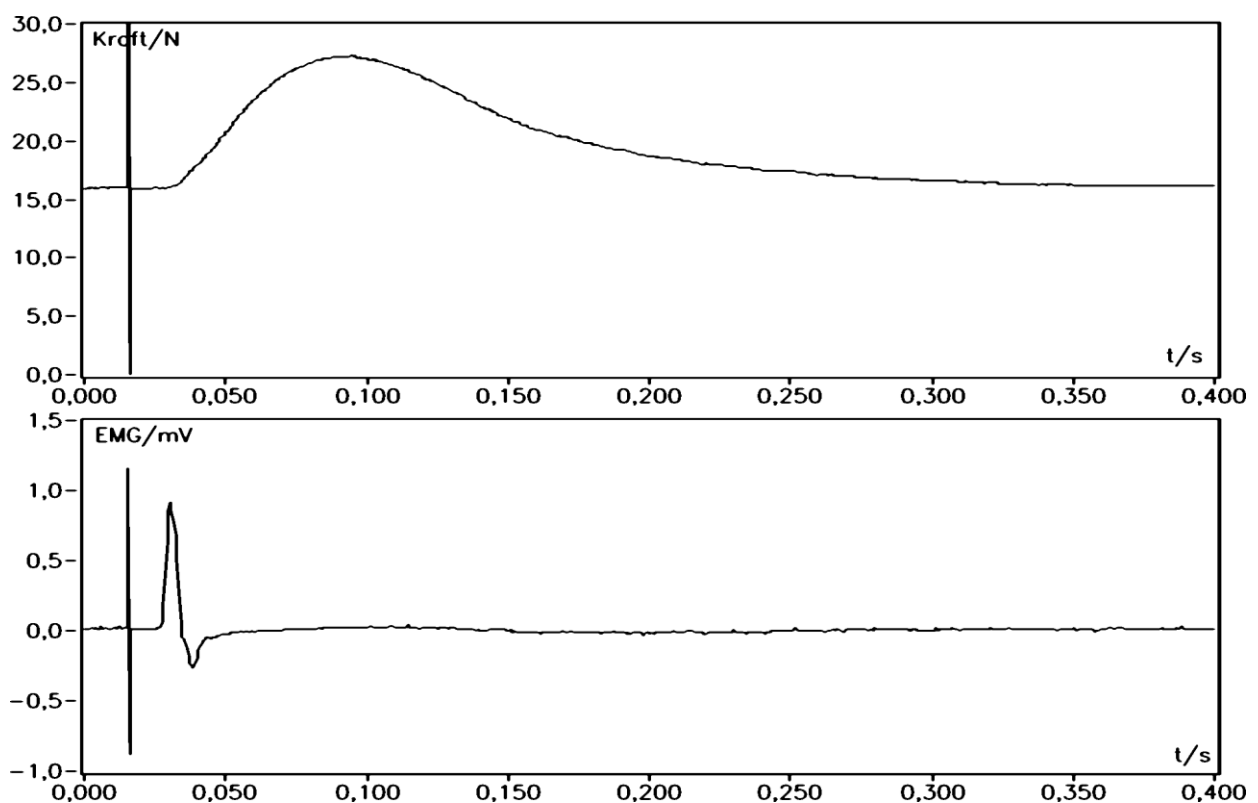
Die charakteristischen Parameter der Einzelzuckung sind:

**Latenzzeiten:** Die Latenzzeit  $T_L$  wird vom Reizzeitpunkt bis zum Beginn einer Kraftwirkung des Muskels gemessen. Sie setzt sich aus der elektrischen Latenzzeit  $T_{EL}$  (vom Reizbeginn bis zum EMG-Beginn) und der elektromechanischen Latenz  $T_{EM}$  (vom EMG-Beginn bis zum Beginn der Kraftwirkung) zusammen.

**Kontraktionszeit (Gipfelzeit):** Die Kontraktionszeit  $T_K$  wird vom Beginn der Kraftwirkung bis zum Zeitpunkt der maximalen Kraft gemessen.

**Erschlaffungszeiten:** Gemessen wird vom Zeitpunkt der maximalen Kraft bis zum Zeitpunkt, an dem die Kraft nur noch 50% ( $T_{E50}$ ) (Halberschlaffungszeit) bzw. 10% ( $T_{E10}$ ) ist.

Diese Werte, insbesondere  $T_K$ , bestimmen auch das Summationsverhalten des Skelettmuskels. Die Summe aus Kontraktionszeit  $T_K$  (auch als Gipfelzeit bezeichnet) und der Zeit bis zur vollständigen Erschlaffung ergibt die Dauer der Einzelzuckung. In Näherung kann die Dauer der Einzelzuckung auch als Summe von  $T_K$  und  $T_{E10}$  angegeben werden.



**Abbildung 1:** Einzelzuckung mit EMG.

Die Amplituden der Kraft sind definiert als die Differenz zwischen der Basislinie und dem Gipfel der Kraftkurven bei der jeweiligen Reizintensität. Der Minimalreiz entspricht der Reizschwelle, d.h. der Reizintensität, bei der erstmalig eine **deutliche** Kraftentwicklung sichtbar ist. Der Maximalreiz entspricht der Reizintensität, ab der keine weitere **deutliche** Kraftentwicklung auftritt (Beginn der Plateau-Phase).

Mit steigender Reizstromstärke vom unter-schweligen bis zu supramaximalen Reizen werden Einzelzuckungen registriert. Zur Einstellung der Reizstromstärke (Reizintensität) werden die Erkenntnisse des Praktikums „Intensitäts–Dauer–Kurve und Leitgeschwindigkeit erregbarer Fasern“ genutzt. Dort wurde mit abnehmender Reizdauer eine (exponentielle) Zunahme der Schwellenreizintensität beobachtet. Bei einer voreingestellten **Reizdauer von 0,1 ms (100  $\mu$ s)**, was deutlich unter der Chronaxie (Reizdauer bei doppelter Rheobase) des gereizten Nerven liegt (etwa im Bereich 0,5 bis 1,5 ms), ist daher mit effektiven Reizintensitäten  $>10$  mA zu rechnen.

**Protokoll:**

- Markieren Sie in Abb. 1 die Latenzzeiten  $T_L$ ,  $T_{EL}$ ,  $T_{EM}$ , die Kontraktionszeit  $T_K$  sowie die Erschlaffungszeiten  $T_{E50}$  und  $T_{E10}$ . Notieren Sie die experimentell ermittelten Werte:

$T_L =$  .....  $T_{EL} =$  .....  $T_{EM} =$  .....

$T_K =$  .....  $T_{E50} =$  .....  $T_{E10} =$  .....

Dauer der Einzelzuckung  $\sim T_K + T_{E10} =$  .....

- Ordnen Sie die folgenden Prozesse der elektrischen Latenzzeit  $T_{EL}$  sowie der elektromechanischen Latenzzeit  $T_{EM}$  zu:

(1) Erregung der Nervenfasern, (2) saltatorische Nervenleitung, (3) synaptische Übertragung an der motorischen Endplatte, (4) Erzeugung des Endplattenpotentials, (5) Erzeugung und Weiterleitung des Aktionspotentials im Muskel, (6) elektromechanische Kopplung

$T_{EL}$  : .....  $T_{EM}$  : .....

- Vergleichen Sie die Kontraktion von Skelett- und Herzmuskel (siehe ermittelter Wert oben bzw. Lehrbuch). Warum ist der Herzmuskel nicht tetanisierbar? Beachten Sie dabei das jeweilige Verhältnis von Aktionspotential- und Zuckungsdauer.

Skelettmuskel: AP-Dauer: ca. .... Zuckungsdauer: ca. ....

Herzmuskel: AP-Dauer: ca. .... Zuckungsdauer: ca. ....

Fehlende Tetanisierbarkeit des Herzmuskels aufgrund ...

- Bestimmen Sie den Minimal- und Maximalreiz aus Ihrer Messung (Steigende Reizserie)!

Minimalreiz: ..... Maximalreiz: .....

## 1.2 Muskelkraft bei unterschiedlicher Vordehnung

Eine bestimmte Vordehnung wird durch mehr oder weniger starkes Aufdrücken des Daumens auf den Sensor eingestellt. Mindestens 3 Messungen (schwaches, mittleres, starkes Aufdrücken des Daumens) sollen erfolgen. Die bei unterschiedlicher Vordehnung (Wert der Basislinie unmittelbar vor der Zuckung) und durch Einzelreizung ausgelösten Kraftamplituden (Differenz aus Basislinie und Gipfel der Zuckung) werden registriert und ausgewertet.

**Protokoll:**

- Übernehmen Sie die Werte für die Vordehnung (jeweilige Basislinie) und die Amplitude der Zuckung ins Protokoll:

Vordehnung (N):                    (1) ..... (2) ..... (3) .....

Amplitude der Zuckung (N):    (1) ..... (2) ..... (3) .....

- Wie verändert sich der Kraftzuwachs bei steigender Vordehnung?

.....

- Wird aus physikalischer Sicht bei diesem Experiment mechanische Arbeit verrichtet (Begründung)? Nennen Sie ein praktisches Beispiel für isometrische Muskelaktivität!

.....

### 1.3 Isotonische Kontraktionen, Hill-Kurve und Leistungskurve

Während *isometrische* Zuckungen durch eine Kraftentfaltung bei unveränderter Muskellänge gekennzeichnet sind, tritt bei *isotonischen* Zuckungen keine Kraftänderung auf – es herrscht ein Gleichgewicht zwischen aktiver Muskelkraft und Dehnungskraft (Vordehnung, Last) am Muskel. Gleichzeitig wird die Muskellänge verändert, d.h. der Muskel verkürzt sich und die zugehörige anatomische Struktur (z.B. der Daumen) verändert ihre Lage. Ein praktisches Beispiel für (näherungsweise) isotonische Kontraktionen ist das Heben einer Hantel mit konstantem Gewicht. *Auxotonische* Kontraktionen sind durch Änderung sowohl der Muskellänge als auch der Muskelspannung (Kraft) gekennzeichnet und treten bei den meisten alltäglichen Körperbewegungen auf.

Spezielle Messapparaturen (Myographen) ermöglichen die Erfassung isotonischer Muskeltätigkeit. Werte aus einem Experiment am Myograph, bei dem ebenfalls der M. adductor pollicis indirekt gereizt wurde, sind nachfolgend angegeben:

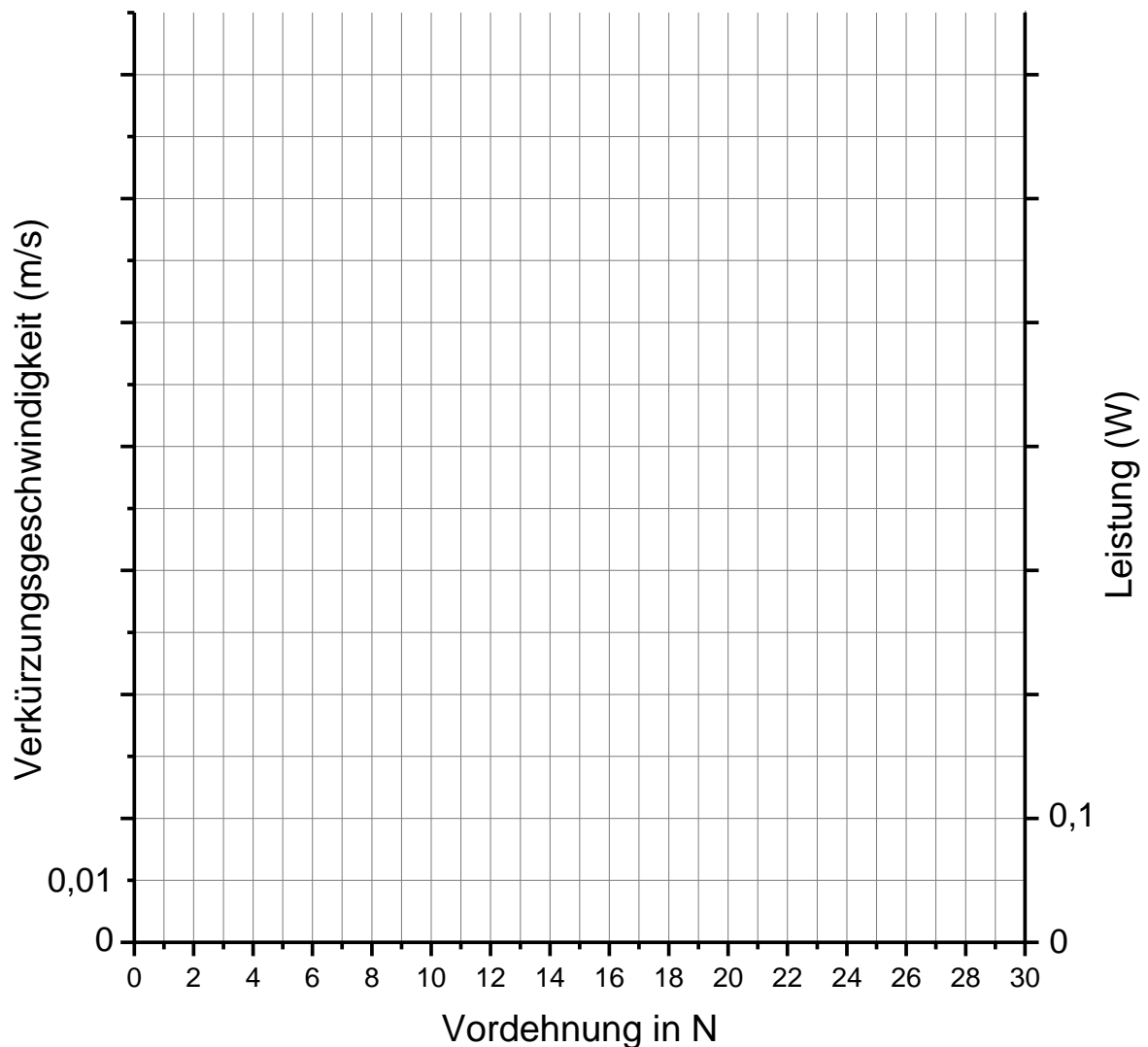
Vordehnung <b>F</b> in N	Muskelverkürzung <b>L</b> in mm	Verkürzungszeit <b>t</b> in s	Verkürzungsgeschwindigkeit <b>v = L / t</b> in m/s	Leistung <b>P = v * F</b> in Nm/s = W
2,5	5,4	0,045		
4,9	4,7	0,046		
7,2	3,8	0,052		
9,5	3,0	0,051		
11,9	2,1	0,051		
14,1	1,3	0,052		
16,5	1,0	0,058		
18,7	0,8	0,057		
19,9	0,6	0,056		
21,2	0,4	0,051		

**Tabelle 1:** Isotonische Kontraktionen in Abhängigkeit von der Vordehnung.

**Protokoll:**

- Berechnen Sie die Verkürzungsgeschwindigkeit  $v = L / t$  aus den Werten für die Muskelverkürzung  $L$  und der zugehörigen Verkürzungszeit  $t$ . Stellen Sie  $v$  in Abhängigkeit von der Vordehnung  $F$  als Graph (Abb. 2) dar. Der Verlauf dieses Graphen entspricht dem von Archibald V. Hill 1938 vorgestellten Zusammenhang von Verkürzungsgeschwindigkeit und Last bei isotonischen Zuckungen (*Hill-Kurve*).
- Berechnen Sie die Leistung  $P = v * F$  des Muskels aus der Kontraktionsgeschwindigkeit  $v$  und den Werten für die jeweilige Vordehnung  $F$ . Stellen Sie  $P$  in Abhängigkeit von der Vordehnung  $F$  als Graph (Abb. 2) dar. Diese *Leistungskurve* sollte einen Verlauf mit einem lokalen Maximum haben. Sie können die Hill- und Leistungskurve in einem gemeinsamen Diagramm darstellen (gemeinsame x-Achse:  $F$ ; y-Achse links:  $v$ ; y-Achse rechts:  $P$ ).
- Bei etwa wie viel Prozent der maximalen Vordehnung arbeitet der Skelettmuskel optimal, d.h. wird die maximale Leistung erreicht (siehe Lehrbuch)? Die maximale Vordehnung wird erreicht, wenn der Muskel sich nicht mehr verkürzen kann ( $L = 0$ ;  $v = 0$ ).

.....%

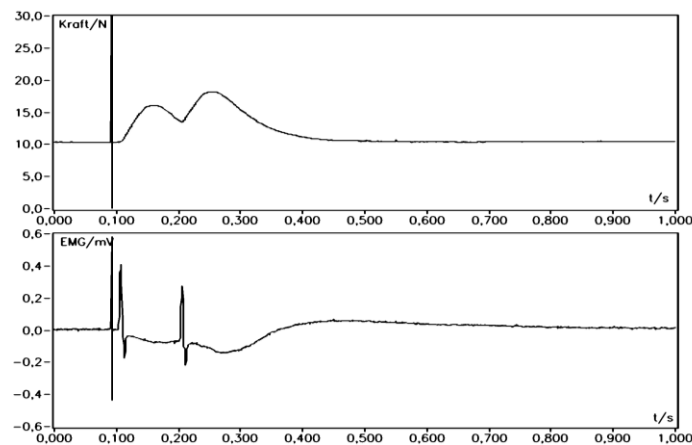


**Abbildung 2:** Diagramm für Hill-Kurve und Leistungskurve.

## 1.4 Doppelreiz – Superposition

Am N. ulnaris werden 2 Reize appliziert. Der zeitliche Abstand zwischen den beiden Reizen wird bei jedem Einzelversuch systematisch verkleinert (von 500 ms auf 1 ms). Bei genügend kleinem Reizabstand überlagern sich die 2 Zuckungen des M. adductor pollicis – man spricht von einer *Superposition*. Diese Superposition (Abb. 3) ist zunächst durch einen Zuwachs der Gesamtkraft des Muskels gegenüber der Einzelzuckung (*Twitch*) gekennzeichnet. Die bei Superposition von 2 Zuckungen auftretende Maximalkraft kann Werte erreichen, die das Doppelte der Kraft der Einzelzuckung übersteigen.

Bei sehr kurzem Reizabstand ( $< 5$  ms) bzw. hoher Reizfrequenz ( $> 200$  Hz) nimmt die maximal erreichbare Gesamtkraft wieder ab. Dieser Effekt steht im Zusammenhang mit dem teilweisen oder vollständigen Verlust der Erregbarkeit (während der 2. Reizung) durch die *relative* bzw. *absolute Refraktärität* im Muskel oder im versorgenden Nerv.



**Abbildung 3:** Superposition (Summierung der Kräfte) bei einem Doppelreiz (Reizabstand: 100 ms) und EMG.

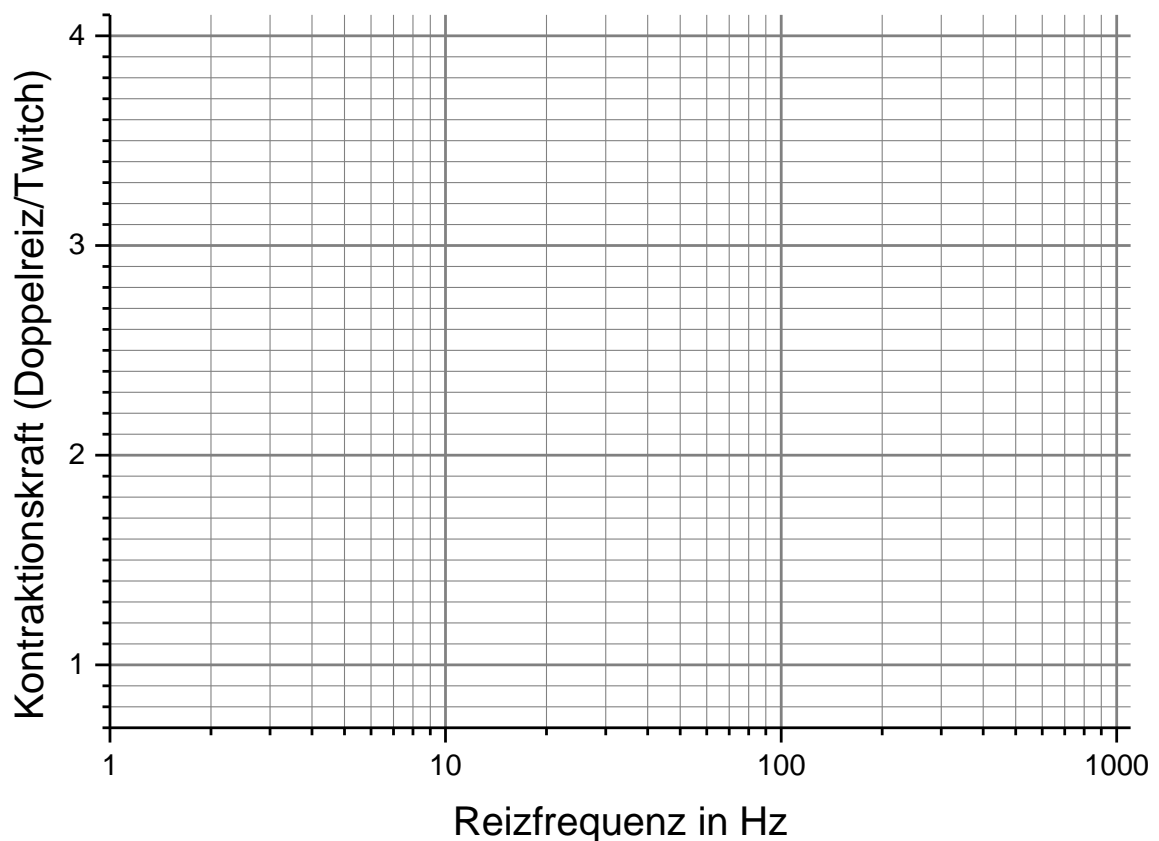
### Protokoll:

- Notieren Sie die Werte der Kontraktionskraft. Berechnen Sie das Verhältnis zwischen der maximalen Kraft beim jeweiligen Doppelreiz und der Kraft bei Einzelzuckung in Abhängigkeit vom Reizabstand. Einzelzuckungen (*Twitch*) sind bei einer Reizfrequenz von 2 Hz gegeben.
- Tragen Sie die berechneten Werte für die Kräfteverhältnisse Superposition/*Twitch* in Abb. 4 ein.
- Ab welcher Reizfrequenz treten im konkreten Versuch Anzeichen für (relative) Refraktärität auf?

.....

Reizfrequenz $f$ in Hz	Reizabstand $1/f$ in ms	max. Kontraktionskraft $F$ in N	Kontraktionskraftverhältnis <b>Doppelreiz/Twitch</b>
2	500		1
3	333		
5	200		
10	100		
20	50		
33	30		
50	20		
100	10		
200	5		
333	3		
500	2		
1000	1		

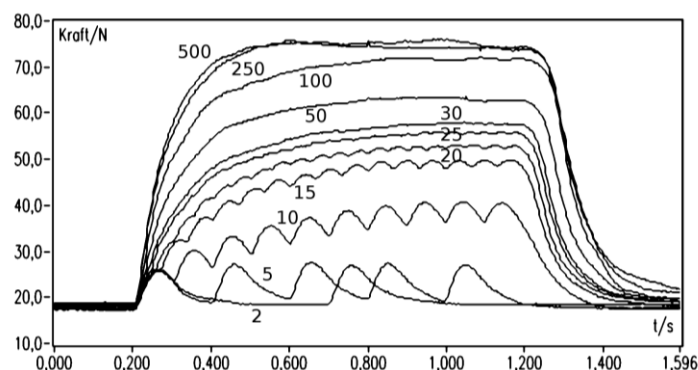
**Tabelle 2:** Doppelreiz.



**Abbildung 4:** Superposition-Twitch-Verhältnis in Abhängigkeit von der Reizfrequenz

## 1.5 Tetanus

Der N. ulnaris wird innerhalb einer Sekunde mehrfach gereizt. Der Reizabstand wird, in Analogie zum Versuch „Doppelreiz“, verringert, die Zahl der Reizungen nimmt allerdings zu (z.B. 10 Reize bei einem Reizabstand von 100 ms). Von einer genügend schnellen Reizfolge ab (Verschmelzungsfrequenz) lassen sich die zugeordneten Einzelzuckungen nicht mehr nachweisen (glatter Tetanus). In Abbildung 5 wird der glatte (vollständige) Tetanus bei einer Reizfrequenz von etwa 30 Hz erreicht. Ein unvollständiger Tetanus ist bei niedrigerer Reizfrequenz erkennbar (10 bis 25 Hz).



**Abbildung 5:** Tetanus: Die Zahlen neben den Kurven geben die Anzahl der Reize innerhalb der Sekunde (Reizfrequenz) an.

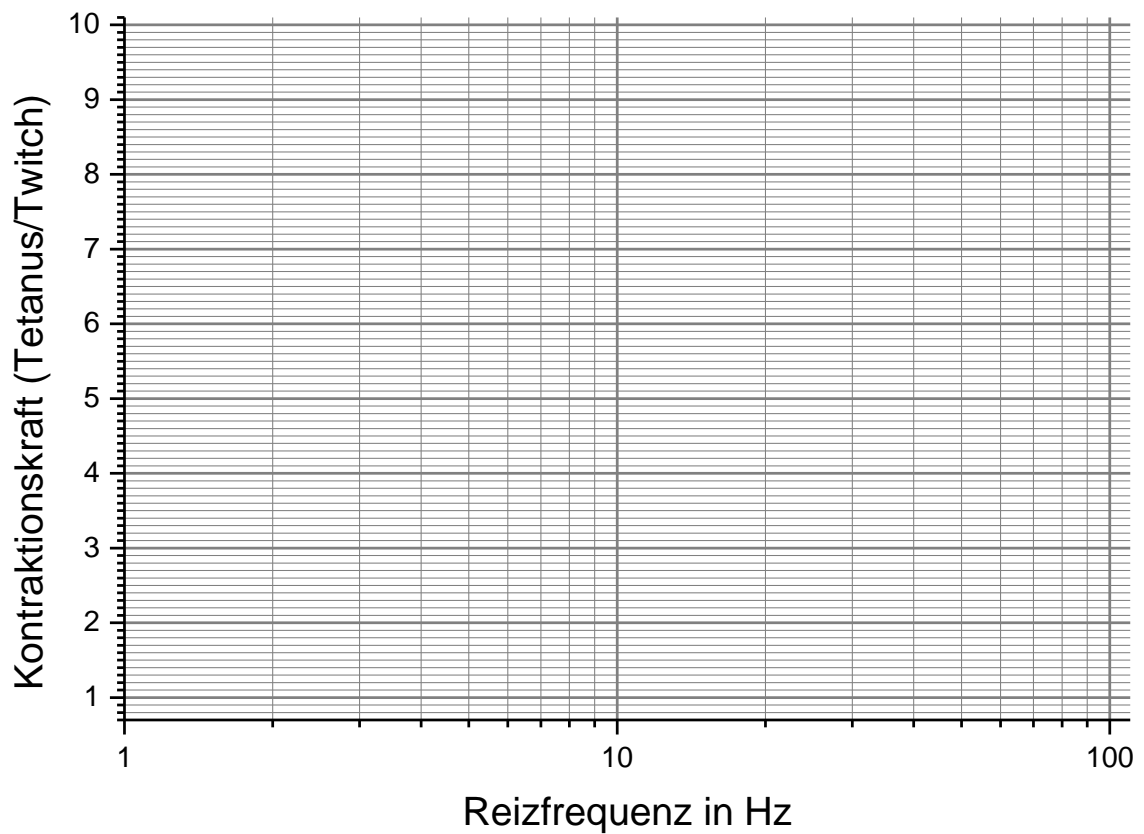
**Protokoll:**

- Notieren Sie die Werte der Kontraktionskraft. Berechnen Sie das Verhältnis zwischen der maximalen Kraft des Tetanus und der Kraft bei Einzelzuckung in Abhängigkeit von der Reizfrequenz. Einzelzuckungen (Twitch) sind bei einer Reizfrequenz von 2 Hz gegeben.
- Tragen Sie die berechneten Werte für die Kräfteverhältnisse Tetanus/Twitch in Abb. 6 ein.
- Ab welcher Reizfrequenz trat ein glatter Tetanus auf?

.....

Reizfrequenz <b>f</b> in Hz	max. Kontraktionskraft <b>F</b> in N	Kontraktionskraftverhältnis <b>Tetanus/Twitch</b>
2		1
5		
10		
15		
20		
30		
40		
50		
100		

**Tabelle 3:** Tetanus.



**Abbildung 6:** Tetanus-Twitch-Verhältnis in Abhängigkeit von der Reizfrequenz.



## 2 Arbeit – Ermüdung – Erholung: Messungen mit dem Handergometer

Die Kontraktion des Muskels, gemessen als Längen- oder Spannungsänderung, hängt vom jeweiligen Dehnungszustand (Sarkomerlänge) ab. Das gilt auch für die verrichtete mechanische Arbeit. Ermüdung mindert die Arbeitsfähigkeit, sie ist durch restituierende Prozesse (Erholung, Bedeutung der Versorgung mit Sauerstoff) reversibel. Da die Prozesse, die der Erholung dienen, Zeit erfordern, gewinnt die Arbeitsform, insbesondere die Arbeits-Pausen-Beziehung, Einfluss auf die Leistungsfähigkeit. Eine sehr wichtige Rolle spielt dabei aber auch der Anteil der isometrischen Spannungsentwicklung gegen die äußere Kraft, der in der Bilanz der Arbeit nicht in Erscheinung tritt, obwohl sie Energie verbraucht. Auf diesen Zusammenhängen fußen wichtige arbeitsphysiologische Folgerungen.

Die Untersuchungen erfolgen mit einem Handergometer. Dabei wird die Arbeit durch Faustschluss gegen eine pneumatisch erzeugte Kraft von 100 N verrichtet. Das Handergometer besitzt dafür einen beweglichen Handgriff, der von den Fingern der rechten Hand umschlossen wird, und einen feststehenden Griff als Widerlager, der der Handinnenseite anliegt.

**Zugkraft:** Das Handergometer ist mit einem pneumatischen Zylinder gekoppelt. Die Zugkraft am Handgriff wird über den Luftdruck im Zylinder variiert. **Überprüfen Sie den Luftdruck am Manometer: 100 N Zugkraft entsprechen 3.6 bar, gegebenenfalls muss aufgepumpt werden!**

**Netzschalter:** Das Gerät (ERGOSCAN 101) wird mit dem Schalter an der Rückseite des Elektronikteils eingeschaltet. Nach kurzem Selbsttest und Geräteabgleich ist das Gerät betriebsbereit.

**Display:** Die obere Zeile des Geräts zeigt die absolute Position des Handgriffs an. Nullsetzen erfolgt durch längere (1 s) Betätigung der *Reset*-Taste.

Die untere Zeile enthält den aufsummierten Anzeigewert. Mittels der Setup-Taste lässt sich dieser zwischen mm, Nm (J), cal und sek umschalten. Kurzes Drücken der *Reset*-Taste setzt diesen Wert auf Null.

**Arbeitsweg: Handgriff bis Anschlag ziehen und Arbeitsweg kontrollieren!** Mittels der Gewindespindel lässt sich der Arbeitsweg entsprechend der Handgröße verändern. Eine Umdrehung entspricht 1mm Wegänderung. Zur Entlastung den Handgriff dabei etwas anziehen! Handgriff jetzt loslassen und die *Reset*-Taste lange (1 s) betätigen. Handgriff wieder bis Anschlag ziehen und erneut den Arbeitsweg kontrollieren.

**Arbeitstakt:** Die blinkenden Balken im Display geben den Arbeitstakt vor. Voreingestellt ist eine Periodendauer von 2/3 s. Für einen anderen Takt die Setup-Taste betätigen, bis der Anzeigewert in sek in der unteren Zeile erscheint. Mit Up und Down lässt sich die gewünschte Periodendauer dann wählen.

### 2.1 Einfluss der Blutversorgung

#### 2.1.1 Durchführung bei normaler Blutzufuhr

Es wird ein Weg zwischen 20 und 40 mm eingestellt (möglichst bequemer Arbeitsabstand), danach Arbeit bis zur Erschöpfung. Aus dem vom Zähler angezeigten Weg und der Kraft (100 N) wird die Arbeit in Joule berechnet (Arbeit  $W_O$ ).

Die Hand wird aus dem Ergometer genommen und eine Erholungspause von 1 min eingelegt, danach Wiederholung des Versuches in gleicher Anordnung.

Der Proband hat vor dem nächsten Experiment eine Pause von 3 Minuten.

#### Protokoll:

- Bestimmen Sie die Arbeit jeweils bis zur vollständigen Ermüdung, vor ( $W_O$ ) und nach 1 min Pause (Erholungsarbeit  $W_E$ ).
- Berechnen Sie den Quotienten  $W_E/W_O$  und tragen alle Werte in Tab. 4 ein. Der Quotient  $W_E/W_O$  ist ein Maß für die Erholung.

#### 2.1.2 Durchführung bei gedrosselter arterieller Blutzufuhr

Um den Oberarm wird die Blutdruckmanschette gelegt und auf mind. 140 mm Hg aufgepumpt, so dass die A. brachialis sicher komprimiert ist. Durchführung des Versuches wie oben. Wenn der Ermüdungsschmerz zu

groß wird, muss die Manschette abgenommen werden. Das Abnehmen der Manschette bewirkt die schnelle Wiederherstellung der Arbeitsfähigkeit, die nach 1 min Pause mit dem Ergometer erneut zu prüfen ist (Arbeit  $W_{FIN}$ ).

**Protokoll:**

- Bestimmen Sie die Arbeit jeweils bis zur vollständigen Ermüdung, vor ( $W_M$ ) und nach 1 min Pause (Erholungsarbeit  $W_{ME}$ ). Berechnen Sie den Quotienten  $W_{ME}/W_M$  und tragen alle Werte in Tab. 4 ein.
- Vergleichen Sie den Grad der Erholung bei normaler und gedrosselter Blutzufuhr (ohne/mit Manschette).

$$W_E/W_O \dots W_{ME}/W_M$$

Einfluss der Blutversorgung				
Vorgang	Weg	Manschette	Arbeit in J	Grad der Erholung
Arbeit bis zur Erschöpfung	20 bis 40 mm	ohne	$W_O=$	—
1 Minute Pause	—	ohne	—	—
Arbeit bis zur Erschöpfung	gleicher Weg	ohne	$W_E=$	$W_E/W_O=$
3 Minuten Pause	—	ohne	—	—
Arbeit bis zur Erschöpfung	gleicher Weg	mit	$W_M=$	—
1 Minute Pause	—	mit	—	—
Arbeit bis zur Erschöpfung	gleicher Weg	mit	$W_{ME}=$	$W_{ME}/W_M=$
1 Minute Pause	—	ohne	—	—
Arbeit bis zur Erschöpfung	gleicher Weg	ohne	$W_{FIN}=$	—

**Tabelle 4:** Ergebnisse zur Muskelarbeit mit und ohne Blutdruckmanschette.

## 2.2 Einfluss der Arbeitsform

Die Versuche werden von einem anderen Probanden, ebenfalls mit der rechten Hand, durchgeführt. Der blinkende Balken in der Anzeige gibt den Arbeitstakt von 2/3 s oder 4 s vor. Jedes Signal wird mit einem Handschluss am Ergometer beantwortet, danach sofort wieder loslassen.

Beim Zeitabstand von 2/3 s soll die Hubhöhe 7 mm (für kleinere Hände 6 mm) betragen und damit der Leistung 1 Watt entsprechen. Arbeit bis zur vollständigen Ermüdung (Arbeit  $W_{2/3}$ ). Anschließend 1 min Pause.

Beim Zeitabstand 4 s soll die Hubhöhe 42 mm (für kleine Hände 36 mm) betragen, um die gleiche Leistung wie im ersten Versuchsteil zu erreichen. Arbeit bis zur Ermüdung (Arbeit  $W_4$ ). Der Versuch kann abgebrochen werden, wenn  $W_4 > 2 \cdot W_{2/3}$  und keine Ermüdung auftritt.

**Protokoll:**

- Bestimmen Sie die Arbeit jeweils bis zur vollständigen Ermüdung bei einem Arbeitstakt von 2/3 s sowie 4 s.
- Berechnen Sie den Quotienten  $W_{2/3}/W_4$  und tragen alle Werte in Tab. 5 ein.

Einfluss der Arbeitsform				
Vorgang	Weg	Takt	Arbeit in J	Arbeitsformquotient
Arbeit bis zur Erschöpfung	7 mm (6 mm)	2/3 s	$W_{2/3}=$	—
1 Minute Pause	—	—	—	—
Arbeit bis $W_4 > 2 \cdot W_{2/3}$	42 mm (36 mm)	4 s	$W_4=$	$W_{2/3}/W_4=$

**Tabelle 5:** Ergebnisse zur Muskelarbeit in Abhängigkeit vom Arbeitstakt.

### 3 Elektromyogramm (EMG)

Das Elektromyogramm (EMG) wird in der Sportmedizin und zur Diagnose neuromuskulärer Erkrankungen genutzt. Diagnostisch steht neben der Messung der Nervenleitgeschwindigkeit z.B. bei neuronaler Degeneration auch die Analyse von Muskelerkrankungen (Myopathien) im Vordergrund.

Der Punkt „**EMG**“ enthält technische und Anwendungshinweise zur Elektromyographie („**Überblick EMG**“). Für unterschiedliche Fragestellungen werden einerseits das Oberflächen-EMG und andererseits das Nadel-EMG genutzt. Unter dem Button „**Oberflächen-EMG**“ finden Sie zwei Anwendungsbeispiele. Der prinzipielle Aufbau einer Nadel-Elektrode sowie Patientendaten zu angeborenen Muskelerkrankungen sind unter „**Nadel-EMG**“ dargestellt.

Der Unterpunkt „**Patientendaten**“ (bei „Nadel-EMG“) enthält mehrere Beispielkurven und die jeweils zugehörigen Audiodateien von 3 Personen, die Sie abspielen und über Kopfhörer anhören. Sowohl für die gesunde Versuchsperson als auch die beiden Patienten (P010 und P016) gibt es Beschreibungen/Anamnesen, Befunde der aufgezeichneten Kurven und zugehörige Beurteilungen. Bei den Patienten (P010 und P016) wurden Myotonien (Muskelerkrankungen mit verzögerter Muskelentspannung) diagnostiziert. Die Diagnose bei Patient P010 lautet „Becker-Myotonie“; bei Patient P016 handelt es sich um eine „chondrodystrophische Myotonie Schwartz-Jampel“. Bei der autosomal rezessiv vererbten Muskeldystrophie Becker ist das Gen *CLCN1* betroffen; beim ebenfalls autosomal rezessiv vererbten Schwartz-Jampel-Syndrom liegen Mutationen im *HSPG2*-Gen vor. *HSPG2* kodiert für ein Strukturprotein (Perlecan) in der Basalmembran verschiedener Epithelien. *CLCN1* kodiert für ein Chlorid-Kanalprotein in Skelettmuskeln. Chlorid-Kanäle spielen für die Repolarisation (die Stabilisierung des Ruhemembranpotentials) in Skelettmuskelfasern eine wichtige Rolle. Zur medikamentösen Therapie der Patienten wurden die (z.T. off-Label use) Substanzen Mexiletin (Antiarrhythmikum mit struktureller Ähnlichkeit zu Lidocain; Patient: P010) und Carbamazepin (Antikonvulsivum; Patient: P016) eingesetzt. Beide Substanzen gelten als Inhibitoren (Blocker) spannungsabhängiger Natriumkanäle.

#### Protokoll:

- Rekapitulieren Sie das Prinzip der Signalentstehung des EMG (Stichwort: biphasisches Signal), das wir im Praktikum „Intensitäts–Dauer–Kurve und Leitgeschwindigkeit erregbarer Fasern“ bereits behandelt haben. Das EMG-Signal einer einzelnen Muskelfaser hat prinzipiell einen biphasischen Verlauf. Wie kommt dieser zustande (kurze Beschreibung oder Skizze)?

.....

- Welche(n) Vorteil(e) bieten bei diagnostischen EMG-Ableitungen Nadelelektroden gegenüber Oberflächenelektroden?

.....

- Warum führen Substanzen wie Mexiletin zur symptomatischen Besserung bestimmter Myotonien? Welche unerwünschten Wirkungen sind hierbei zu beachten?

.....