

## Der histologische Aufbau der quergestreiften Muskulatur der Wirbeltiere aus „hellen“ und „trüben“ Muskelfasern.<sup>1)</sup>

Mit 2 Farbentafeln

von

**August Knoblauch.**

Bekanntlich zeigt das Fleisch unseres Schlachtviehs, des Wildes und Geflügels, sowie der Froschschenkel und Fische, die in unsere Küche kommen, sowohl im rohen wie im gekochten Zustand nicht die gleiche Farbe. Wir unterscheiden vielmehr das helle Kalb- und Schweinefleisch von dem dunklen Ochsen- und Hammelfleisch, das helle Brustfleisch der Poularde und des Welsches von dem dunklen Brustfleisch der Taube usf. Auch die Wissenschaft hat seit langem dieser verschieden starken Färbung der quergestreiften Muskulatur der Wirbeltiere ihre Aufmerksamkeit zugewandt. Anatomie und Histologie haben uns über die topographische Verteilung der blassen und roten Muskeln am Säugetier- und Vogelskelett (Kaninchen, Taube) aufgeklärt und haben nachgewiesen, daß blasser und roter Muskelfasern auch in demselben Muskel — sei es in geschlossenen Faserbündeln (Schwein) oder innig miteinander durchmischt (Kröte, Rochen) — vorkommen können. Gleichzeitig haben uns auch experimentelle Physiologie und physiologische Chemie zwei

<sup>1)</sup> Zugleich Besprechung der in den Abhandlungen der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft Band 31, Heft 2, 1912 erschienenen Arbeiten: „Über helle und trübe Muskelfasern bei Wirbeltieren und beim Menschen“ von Dr. W. Ewald, — „Über helle und trübe Muskelfasern im menschlichen Herzen, unter besonderer Berücksichtigung der spezifischen Muskelsysteme des Herzens“ von Dr. P. Schaefer, — „Über helle und trübe Muskelfasern beim Pferd“ von Dr. P. Schaefer.

verschiedene Arten von quergestreiften Muskeln kennen gelehrt, die sich durch den Ablauf der Kontraktion bei elektrischer Reizung, durch ihr chemisches Verhalten, ihren Stoffwechsel und andere Eigenschaften ausreichend voneinander unterscheiden, und die als flinke und träge Muskeln bezeichnet werden. Der flinke Muskel spricht auf faradische Reize außerordentlich schnell an, ermüdet aber auch ebenso schnell, während der träge Muskel sich verhältnismäßig langsam kontrahiert, aber erst nach geraumer Zeit das Phänomen der Ermüdung zeigt, so daß er allein zu ausdauernder Arbeitsleistung befähigt erscheint. Es lag nahe, die beiden anatomisch- und physiologisch-differenten Arten der quergestreiften Muskeln zueinander in Beziehung zu setzen, und in der Tat hat es sich ergeben, daß — wenigstens bei Säugetieren und Vögeln — die blassen (hellen) Muskeln zugleich die flinken, die roten (trüben) Muskeln zugleich die trägen sind.

Von diesen bekannten Tatsachen ausgehend und auf Grund der klinischen Analyse einer seltenen, in ihrem Wesen bis dahin unaufgeklärten Krankheit des Menschen, der Myasthenie, habe ich in den Jahren 1908 und 1909 in einer Reihe von Arbeiten die Ansicht vertreten, daß sich auch an der quergestreiften Muskulatur, deren funktionelle Leistung seither als eine einheitliche aufgefaßt worden ist, das biologische Grundgesetz der Arbeitsteilung zeigt, indem die flinke Muskulatur hauptsächlich die Bewegung einleitet, während die träge Muskulatur die eingeleitete Bewegung ausdauernd fortsetzt.

Vergleichend-biologische Betrachtungen schienen mir die Richtigkeit meiner Anschauung zu bestätigen. Sie ließen erkennen, daß das Verhalten der Wirbeltiere in ihren Bewegungen dem relativen Mengenverhältnis der flinken (blassen) und trägen (roten) Fasern der Skelettmuskulatur entspricht. So sind z. B. bei gleichem morphologischem Bau der Extremitätenmuskeln die braunen Frösche, *Rana fusca* Rösel, deren Muskulatur vorwiegend helle Fasern enthält, befähigt, plötzlich aufzuspringen und sich kurze Zeit springend fortzubewegen, während die Erdkröte mit vorwiegend roter Muskulatur sich langsam in Bewegung setzt und langsam und träge, aber mit großer Ausdauer dahinkriecht. Die Schenkelmuskulatur der Hühnervögel, deren schwerer, starker Körper mit kräftigen Beinen mehr dem

Leben auf der Erde als dem Flug angepaßt ist, erscheint rot, während das Brustfleisch des Truthahns und des Haushuhns, die nur gelegentlich einmal rasch auffliegen, um sich alsbald wieder niederzulassen, weiß ist. Im Gegensatz hierzu ist das Brustfleisch der ausdauernd fliegenden Taube rot, wie auch die Flugmuskulatur der Fledermäuse, *Plecotus auritus* L., die sich vom Anbruch der Dämmerung bis zum Morgengrauen in ständigem, nur durch kurze Ruhepausen unterbrochenem Fluge bewegen, durch ein besonders dunkles Rot ausgezeichnet ist. Und wie verschieden ist das Verhalten des Kälbchens und der Kuh, des Lämmchens und des Schafes auf der Weide. Während die Kuh — mit ihrem dunklen Fleisch — in bedächtigem Schritt ständig fressend und wiederkäuend<sup>1)</sup> langsam dahinschreitet und nur selten eine lebhaftere Bewegung macht, führt das Kälbchen — mit seinem weißen Fleisch — immer wieder seine schnellen, anmutigen Sprünge aus, aber stets nur kurz, um alsbald wieder bedächtig hinter seiner Mutter herzulaufen. Und wie tollt das Lämmchen auf der Weide; wie schnellt es im Sprung in die Höhe, während das Schaf nur durch den anspringenden Hund vorübergehend zu einem schnelleren Lauf anzutreiben ist.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Auffallend dunkelrote Farbe der gesamten Kaumuskulatur der Wiederkäuer im Gegensatz zu der wesentlich helleren Kaumuskulatur der rasch zubeißenden und hastig schlingenden Raubtiere.

<sup>2)</sup> Ganz analoge Beziehungen sind zwischen den Bewegungen der Wirbellosen und dem histologischen Aufbau ihrer Muskulatur vorhanden. So ist z. B. von unseren beiden großen Schwimmkäfern, deren Extremitätenmuskulatur deutliche Strukturunterschiede erkennen läßt (Rollett), der pflanzenfressende Kolbenwasserkäfer, *Hydrous piceus* L., der in beharrlichem Dahinkriechen zwischen dem Pflanzengewirr die Algen abweidet, ein langsamer und schwerfälliger Schwimmer (träge Muskulatur), während der räuberische Gelbrand, *Dytiscus marginalis* L., durch seine Lebhaftigkeit und durch die Geschicklichkeit, mit der er schnell dahinschwimmende Fische anfällt, ausgezeichnet ist (flinke Muskulatur). Der aufgescheuchte Flußkrebs, *Potamobius astacus* L., dessen Scheren- und Schwanzmuskulatur eine ganz verschiedene Struktur aufweisen (Knoll), schwimmt durch rasche Schläge mit dem Schwanz blitzschnell durch das Wasser, aber nur eine kurze Strecke weit, um alsbald in einem Versteck Schutz zu suchen (flinke Muskulatur). In die Hand genommen reckt er die weitgeöffneten Scheren drohend in die Höhe, schließt sie langsam, sobald man dazwischenfaßt, und hält sie alsdann lange Zeit mit großer Kraft fest geschlossen (träge Muskulatur). Bei den Muscheln — Auster, *Ostrea edulis* L., (G. Schwalbe), Kammuschel, *Pecten varius* L., (v. Ihering) — zeigen die Muskeln bzw.

Meine Auffassung führt notgedrungen zu der Annahme einer weiten Verbreitung der flinken Fasern in der gesamten quergestreiften Muskulatur, und zwar ist a priori zu erwarten, daß je nach der Art der Arbeitsleistung, die von den einzelnen Muskeln zu verrichten ist, auch ihr histologischer Aufbau aus flinken und trägen Fasern ein sehr verschiedener sein wird.

Die Annahme, daß zur Einleitung der allerersten Bewegung das Vorhandensein heller Fasern unerläßlich ist, und ihr tatsächliches Vorherrschen in der Skelettmuskulatur des Kalbes, während beim erwachsenen Rind die trüben Fasern überwiegen, machen es wahrscheinlich, daß alle trüben Fasern der quergestreiften Muskulatur sich aus hellen Fasern entwickeln. Dies könnte als Anpassung an die veränderte Lebensweise des heranwachsenden Individuums geschehen: als Folge der Differenzierung der Funktion, der Dauerarbeit, würde alsdann eine „funktionelle Differenzierung“ der quergestreiften Muskulatur eintreten.<sup>1)</sup>

Mochten auch die angeführten Tatsachen und Beobachtungen zu Gunsten meiner Auffassung sprechen,<sup>2)</sup> so fehlte doch vor allem der exakte Nachweis des Vorhandenseins heller und trüber Fasern in der gesamten Skelettmuskulatur der Wirbeltiere und des Menschen; es fehlte der Nachweis, daß bei Dauerarbeit die trüben Muskelfasern an Masse tatsächlich zunehmen. Dieser Nachweis war damals nicht zu erbringen, weil es gänzlich an Methoden fehlte, um durch die mikroskopische Färbetechnik beide Faserarten in einwandfreier Weise voneinander unterscheidbar darzustellen. Man war vielmehr hauptsächlich auf die Untersuchung frischer Zupfpräparate und Gefrierschnitte unter Zusatz von Essigsäure angewiesen, wobei infolge der in den

---

Muskelbündel, die bei herannahender Gefahr das plötzliche Schließen der Schalen bewirken (flinke Muskulatur), einen anderen histologischen Bau wie diejenigen, welche die geschlossenen Schalen andauernd geschlossen halten (träge Muskulatur).

<sup>1)</sup> A. Knoblauch „Die Arbeitsteilung der quergestreiften Muskulatur usw.“. Biologisches Zentralblatt, Bd. 28, 1908, S. 476.

<sup>2)</sup> Sie ist inzwischen in die neueste (8.) Auflage von „Gegenbaurs Lehrbuch der Anatomie des Menschen“ von M. Fürbringer, 1909, übergegangen, während M. Lewandowsky in seinem „Handbuch der Neurologie“, 2. Bd., 1911, sie gänzlich ablehnt.

trüben Fasern etwas später eintretenden Aufhellung beide Faserarten sich vorübergehend voneinander unterscheiden lassen. Alle Methoden der modernen Fixierungs-, Einbettungs- und Färbetechnik versagten vollständig, indem sie gleichmäßig gefärbte Fasern lieferten, deren Zugehörigkeit zur trüben oder hellen Muskulatur nur dann mit Sicherheit erkannt werden konnte, wenn beide Faserarten sich durch Größe, Form oder Anordnung ausreichend voneinander unterschieden.

Bei dieser Sachlage hat sich mein damaliger Mitarbeiter am städtischen Siechenhause W. Ewald die Aufgabe gestellt, vor allem eine geeignete Methode zur Darstellung der trüben und hellen Muskelfasern im gefärbten mikroskopischen Schnitt ausfindig zu machen, und in mehrjähriger Arbeit, die zugleich neue und interessante, unsere Kenntnis von der Struktur des quergestreiften Muskels erweiternde und vertiefende Resultate gezeitigt hat, ist es ihm gelungen, die schwierige Aufgabe zu lösen.

Nach Ewalds Untersuchungen sind es feinste Körnchen (Granula), deren Einlagerung in das Sarkoplasma die trüben Fasern eben trüb erscheinen läßt, und die in den hellen Fasern fast gänzlich fehlen. Diese interstitiellen Körnchen sind in ihrer chemischen Konstitution, die freilich noch keineswegs aufgeklärt ist, verschieden: teils sind sie myelinartig, teils enthalten sie eiweiß-, teils fettartige Substanzen. Alle drei Arten von Körnchen sind aber in höher konzentriertem Alkohol und in Xylol löslich, also in Flüssigkeiten, die bei der üblichen Einbettung in Zelloidin und Paraffin unentbehrlich sind, und die vielfach auch als Lösungsmittel der angewandten Farbstoffe, bzw. zur Entwässerung der Präparate vor ihrem Einschluß in Kanadabalsam u. dgl. dienen. Es durften also unter keinen Umständen stärkerer Alkohol oder Xylol mit den zur Untersuchung bestimmten Muskelstückchen oder Schnitten in Berührung gebracht werden, wenn die Auflösung der zur Beurteilung des Fasercharakters wichtigen Körnchen, die bei Anwendung der seitherigen Methoden stets erfolgt, vermieden werden sollte. Deshalb hat Ewald bei seinen Arbeiten ausschließlich Formolgefrierschnitte verwandt und die fertigen Schnitte in Glycerin-Hausenblase eingeschlossen, was eine vorherige Entwässerung unnötig macht. Er hat ferner die

Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung der einzelnen Körnchenarten benützt, um durch geeignete Farbstoffe (Sudan, Alizarinblau, Eisenlack u. a.) die Körnchen selbst zu färben und auf diese Weise die körnchenreichen trüben von den körnchenarmen hellen Fasern unterscheidbar darzustellen.

Welche ausgezeichneten Resultate die Ewaldsche Methode liefert, zeigen die beigelegten, nach Lumière-Aufnahmen<sup>1)</sup> des Verfassers reproduzierten Vierfarbendrucke (Taf. III und IV Fig. 1 bis 3). Wie ein zierliches Mosaik, regellos zusammengefügt aus helleren und dunkleren bunten Steinchen von zweierlei Größe, erscheint uns bei einer schwachen Vergrößerung der mikroskopische Querschnitt durch einen Krötenmuskel. Bei zehnfach stärkerer Vergrößerung läßt der Schnitt durch einen menschlichen Muskel erkennen, daß die intensivere Färbung der trüben Fasern, die sich hier in der Größe von den hellen Fasern nicht unterscheiden, durch die Tinktion der eingelagerten Körnchen bedingt ist. Am Brustmuskel der Taube sehen wir die größeren, trapezförmigen hellen Fasern palisadenartig am Rand der Faserbündel um die blaugefärbten, kleineren, polygonalen trüben Fasern in charakteristischer Weise gruppiert. So erkennen wir, daß die beiden Faserarten sich unter Umständen durch Größe, Form oder Anordnung auf dem Muskelquerschnitt voneinander unterscheiden (Kröte, Taube), daß dies aber keineswegs immer der Fall ist (Mensch).

In allen Klassen der Wirbeltiere — sowohl bei Fischen, Amphibien und Reptilien als auch bei Vögeln und Säugern — hat Ewald mit seiner Methode ausnahmslos in sämtlichen von ihm untersuchten Skelettmuskeln beide Faserarten festgestellt, und vor allem hat er auch für die menschliche Muskulatur den unwiderleglichen Nachweis erbracht, daß sie — was seither von der Mehrzahl der Anatomen bestritten wurde — aus hellen und trüben Fasern aufgebaut ist.

Trotzdem bezeichnet Ewald seine Methode nicht als elektive Färbung der trüben Fasern. Es hat sich nämlich bei der

---

<sup>1)</sup> Eine größere Anzahl seiner farbigen Mikrophotogramme von Muskelpräparaten in 50 bis 2000facher Linearvergrößerung hat Ewald bei dem ersten Empfangsabend im Museum am 11. Juni 1910 demonstriert. Fünfzehn dieser Lumière-Aufnahmen, sowie neun weitere Tafelfiguren und eine farbige Textabbildung sind seiner Arbeit beigegeben.\*

Untersuchung pathologischen Materials ergeben, daß im krankhaft veränderten Muskel, z. B. bei schweren Kachexien (Tuberkulose, Karzinom), im Verlauf akuter Infektionskrankheiten (Typhus) usw., neben anderen Veränderungen auch zahlreiche Körnchen auftreten, die sich in gleicher Weise wie die für die trübe Muskulatur charakteristischen interstitiellen Granula mit denselben Farbstoffen färben. Aus diesem wichtigen Befund ergibt sich, daß die Anwendung der Ewaldschen Methode sich auf die Untersuchung normalen Muskelmaterials bei Mensch und Tier zu beschränken hat.

Von allen quergestreiften Muskeln des Körpers ist neben der Respirationsmuskulatur das Herz der am ausdauerndsten arbeitende Muskel; schlägt es doch von der ersten Kontraktion im embryonalen Leben an unaufhörlich bis zum Tode — allerdings mit Ruhepausen zwischen den einzelnen Kontraktionen. Im Einklang hiermit erwies sich der Herzmuskel bei Anwendung der früheren Methoden ausschließlich aus trüben Fasern aufgebaut. Nach meiner Theorie mußte aber, selbst wenn man annehmen wollte, daß die erste Herzbewegung zu einer Zeit der embryonalen Entwicklung einsetzt, in der die kontraktile Substanz noch nicht zu Muskelgewebe differenziert ist, der Herzmuskel auch helle Fasern enthalten; denn ihre Aufgabe mußte es sein, nach jeder Ruhepause die Herzaktion aufs neue einzuleiten. Seit längerer Zeit wurde auch die Vermutung ausgesprochen, daß im Herzmuskel ein besonderes System heller Fasern vorhanden sein müsse, und aus Gründen, die sich aus dem Rhythmus der Herzaktion herleiten lassen, wurde dieses „Reizleitungssystem“ in die Herzscheidewand und in die Übergangsstelle von der oberen Hohlvene in den rechten Vorhof verlegt.

Mein Sekundärarzt P. Schaefer hat nun unter Anwendung der Ewaldschen Methode den Herzmuskel untersucht und das aus theoretischen Erwägungen hergeleitete Postulat des Vorhandenseins heller Muskelfasern im Menschen- und Säugetierherzen richtig befunden. Über die Ergebnisse seiner interessanten Untersuchungen berichtet Schaefer in der ersten seiner beiden Arbeiten unter Beifügung von acht instruktiven Vierfarbendruckern nach eigenen Lumière-Aufnahmen.

In seiner zweiten Arbeit (mit vier farbigen Tafelabbildungen und zwei Textfiguren) verfolgt Schaefer die Aufgabe, festzustellen, inwieweit die Art der Arbeitsleistung von Einfluß auf den histologischen Aufbau der Skelettmuskulatur aus hellen und trüben Fasern ist. Als offenbar sehr geeignetes Objekt zur Klärung dieser Frage hat der Verfasser die Muskulatur des Pferdes gewählt, und zwar hat er verschiedene Kategorien von Pferden, deren Arbeitsleistung eine grundverschiedene ist, in seine Untersuchungen einbezogen: das schnelle Vollblutpferd, das einförmig „arbeitende“ Karussellpferd, das Herrschaftswagen- und das Droschkenpferd, das schwere Arbeitspferd u. a. Auch hier hat die Anwendung der Ewaldschen Methode zu interessanten Ergebnissen geführt, und es hat sich erwiesen, daß die Gesamtmasse der trüben und hellen Muskulatur je nach der Art der geleisteten Arbeit bei verschiedenen Individuen eine verschiedene ist.

Ein Vergleich der beigegeführten Abbildungen (Taf. IV Fig. 4 u. 5) läßt deutlich erkennen, daß in dem gleichen Muskel beim Rennpferd die hellen, beim Karussellpferd die trüben Fasern überwiegen. Es zeigt sich hierin die Anpassung der histologischen Struktur des Muskels an die Dauerarbeit beim Karussellpferd. Denn, obwohl Untersuchungen noch ausstehen, ist a priori zu erwarten, daß bei den Wildpferden, die zum Schutz vor verfolgenden Raubtieren mehr auf Schnelligkeit als auf Ausdauer in der Flucht angewiesen sind, in analoger Weise wie beim Vollblutpferd die hellen Muskelfasern überwiegen.

Hatte sich Ewald bei Anwendung seiner Methode auf kleine Formolgefrierschnitte beschränken müssen, so ist es Schaefer durch eine Modifikation der Methode — Einbettung der Muskelstückchen in eine zähflüssige wässrige Wasserglaslösung — gelungen, erheblich größere Schnitte anzufertigen, deren er zu seinen Untersuchungen der Herzmuskulatur bedurfte. Damit hat die Ewaldsche Methode eine Verbesserung erfahren, die ihre Anwendung nicht nur erleichtert, sondern auch einen wesentlich besseren Überblick über größere Muskelausschnitte ermöglicht.

Schaefers Arbeiten haben zunächst die Brauchbarkeit der Ewaldschen Methode zur Klärung einzelner anatomisch-

und entwicklungsgeschichtlich-interessanter Fragen erwiesen. Aber noch viele Probleme bleiben offen. Unter ihnen mag — neben dem Studium der Verbreitung beider Faserarten in der Skelettmuskulatur des Menschen — die Frage nach dem Übergang der hellen zur trüben Muskulatur in der ontogenetischen Entwicklung eine der interessantesten sein. So viel ich weiß, ist nicht bekannt, zu welchem Zeitpunkt das weiße Kalbfleisch zum dunklen Rindfleisch wird, und es ist mir selbst nicht gelungen, aus dieser Übergangsperiode Muskelstückchen zur Untersuchung zu erhalten. Unsere Metzger pflegen die Kälber nur bis zur sechsten Woche und junge Rinder erst vom zweiten Jahre an zu schlachten; in der Zwischenzeit soll das Fleisch „nicht schmackhaft“ sein. Ein uralter Ritus der Juden verbietet sogar die Schächtung des Rindviehs in dieser Zeit und den Genuß des „unreinen“ Fleisches. Es liegt nahe, als Ursache der minderen Schmackhaftigkeit des Fleisches älterer Kälber, die wahrscheinlich den Anlaß zu dem alten jüdischen Schächtverbot gegeben hat, die Umwandlung der hellen in trübe Muskelfasern anzunehmen.

### Tafelerklärung.

Tafel III und IV. Nach W. Ewalds Methode zur Darstellung der hellen und trüben Muskelfasern gefärbte Muskelquerschnitte (Lumière-Aufnahmen).

Fig. 1. Kröte, Wadenmuskel (*M. gastrocnemius*). Sudanfärbung. 50fache Vergrößerung.

Die Muskulatur ist im ganzen hell rotbraun getönt. Von den größeren, heller gefärbten Muskelfasern heben sich die kleineren, dunkler gefärbten scharf ab. Die ersteren entsprechen den hellen, die letzteren den trüben Muskelfasern. Ihr dunklerer Farbenton ist durch die Färbung der in den trüben Fasern eingelagerten, feinsten Körnchen (Granula) bedingt. Die Granula selbst treten bei der schwachen Vergrößerung nicht hervor. Beide Faserarten sind innig miteinander durchmischt.

Fig. 2. Mensch, Zwerchfell. Sudan-Hämatoxylinfärbung. 500fache Vergrößerung.

Die dunkler gefärbten trüben Fasern lassen bei der stärkeren Vergrößerung erkennen, daß ihre Tinktion durch die Einlagerung zahlreicher Granula bedingt ist, die den roten Sudanfarbstoff aufgenommen haben. Die Kerne sind gleichzeitig durch Hämatoxylin gefärbt. Beide Faserarten

sind innig miteinander durchmischt; auffällige Größenunterschiede sind nicht vorhanden.

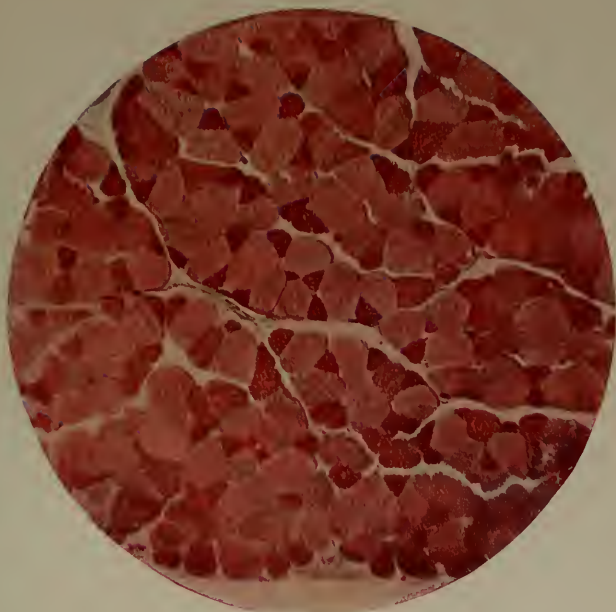
Fig. 3. Taube, Brustmuskel (*M. pectoralis major*). Alizarinblaufärbung. 140fache Vergrößerung.

Die hellen Muskelfasern sind ungefärbt geblieben; die trüben Fasern haben einen blauen Farbenton angenommen. Beide Faserarten sind außerdem durch Größe, Form und Lage voneinander unterschieden. Die hellen Fasern sind viel größer und meist trapezförmig; die trüben sind kleiner und polygonal. Die hellen Fasern liegen ferner meist palisadenartig an den Rändern der einzelnen Faserbündel; nur vereinzelt sind sie im Innern der Bündel zu finden, während die trüben Fasern die kompakte Masse eines jeden Faserbündels ausmachen. Die Muskelkerne lassen sich durch die Alizarinblaufärbung nicht darstellen.

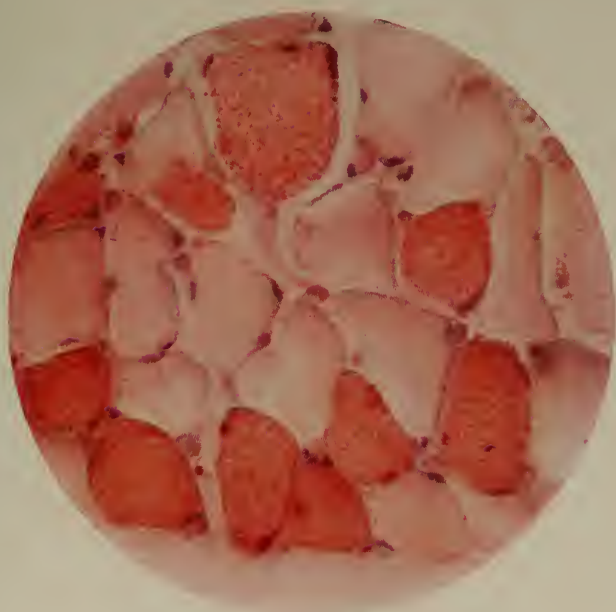
Fig. 4 und 5. Pferd, Bauchmuskel (*M. rectus abdominis*). Sudan-Hämatoxylinfärbung. 90fache Vergrößerung.

Derselbe Muskel ist das eine Mal einem Rennpferd, das andere Mal einem Karussellpferd entnommen. In beiden Schnitten unterscheiden sich die trüben von den hellen Fasern nur durch die intensivere Färbung. Ein Vergleich der beiden Präparate miteinander läßt deutlich erkennen, daß beim schnellen Rennpferd (Fig. 4) die hellen, beim langsamen Karussellpferd (Fig. 5) die trüben Muskelfasern überwiegen (Anpassung der histologischen Struktur des Muskels an die Dauerarbeit beim Karussellpferd). Beide Faserarten sind innig miteinander durchmischt.

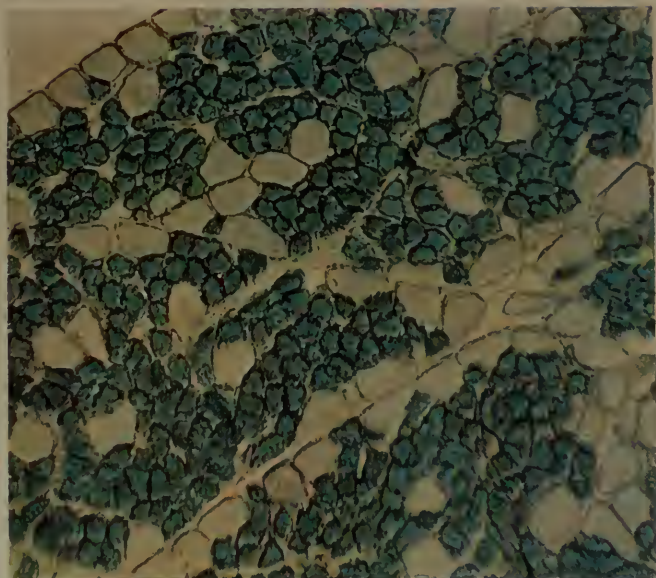
(Fig. 1 bis 3 nach Ewald, Fig. 4 und 5 nach Schaefer).



1



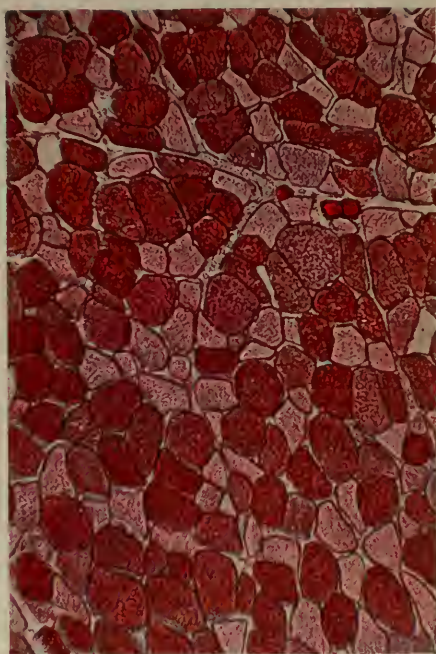
2



3



4



5

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Bericht über die Senckenbergische naturforschende Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1912

Band/Volume: [1912](#)

Autor(en)/Author(s): Knoblauch August

Artikel/Article: [Der histologische Aufbau der quergestreiften Muskulatur der Wirbeltiere aus „hellen“ und „trüben“ Muskelfasern. 245-254](#)