

Aus dem
Veterinär-Anatomischen Institut
der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

**Histomorphometrische Befunde am M. gluteus medius von Pferden
ausgewählter deutscher Warmblutrassen
-Selektionskriterium für die sportliche Veranlagung ?**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doctor medicinae veterinariae (Dr. med. vet.)
durch die Veterinärmedizinische Fakultät
der Universität Leipzig

eingereicht von
Frederic Bünger
aus Uelzen

Leipzig, 1999

Mit Genehmigung der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

Dekan: Prof. Dr. J. Gropp

Betreuer: Prof. Dr. F. V. Salomon

Gutachter: Prof. Dr. F. V. Salomon, Veterinär-Anatomisches Institut
der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig
Prof. Dr. J. G. Ferguson, Chirurgische Tierklinik
der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig
Dr. B. Bade

Tag der Verteidigung: 21.12.1999

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Liste der Abkürzungen	
1. Einleitung	1
2. Literaturübersicht	3
2.1 Synonyme Terminologie für Muskelfasertypen	3
2.2 Der M. gluteus medius als Substrat morphometrischer Untersuchungen	4
2.3 Beziehungen zwischen der Muskelfasertypenkomposition und sportlicher Leistung	6
2.4 Einflußfaktoren auf die Fasertypenzusammensetzung	12
2.4.1 Training	12
2.4.2 Genetische Faktoren	18
2.4.3 Die Lokalisation des Biopatientnahmeortes	21
2.4.4 Lebensalter	22
2.4.5 Geschlecht	23
3. Material und Methoden	24
3.1 Material	24
3.2 Methoden	24
3.2.1 Muskelbiopsie	24
3.2.2 Histochemische Aufbereitung	26
3.2.3 Mikroskopische Auswertung	29
3.2.4 Einteilungskriterien	29
3.2.5 Mathematische Auswertung	30
3.2.6 Biometrie	31
3.2.7 Einteilung der Pferde	32

4.	Ergebnisse	34
4.1	Rassen	35
4.2	Dressur- und Springpferde	43
4.3	„Gekörte“ und „Nicht gekörte“ Hengste	47
4.4	Nachkommen verschiedener Väter	51
5.	Diskussion	59
5. 1	Analyse der Fasertypenkomposition von Pferden verschiedener Zuchtgebiete	59
5. 2	Die Einteilung anhand der Eignung für sportliche Disziplinen	67
5. 3	Die Kategorisierung der Hengste hinsichtlich des Körurteils	74
5. 4	Das Muskelfasertypenspektrum im Bezug zur väterlichen Abstammung	76
5. 5	Nutzung morphometrischer Untersuchungen als Selektionskriterium	78
5. 6	Schlußfolgerungen	80
6.	Zusammenfassung	82
6. 1	Summary	84
7.	Literaturverzeichnis	86
8.	Anhang	
	Danksagung	

Liste der Abkürzungen

Abb.	Abbildung
abs.	absolut(e)
Anz.	Anzahl
ATP	Adenosintriphosphat
ATPase	Adenosintriphosphatase
CaCl ₂	Calciumchlorid
et al.	lat. et alii
Fl.	Fläche
FTG	engl. fast-twitch-glycolytic
FTO	engl. fast-twitch-oxidative
gek.	gekört
int.	engl. intermediate
INT	Intermediärtyp-Fasern
Kap.	Kapitel
Lfd. Nr.	Laufende Nummer
m-ATPase	Myosin-Adenosintriphosphatase
M	molar
M.	lat. Musculus
Mm.	lat. Musculi
min	Minute(n)
ml	Milliliter
mmol/l	Millimol/Liter
NADH ₂	Nikotinamid-Adenin-Dinukleotid
NADHOX	NADH-Oxidoreduktase
r	Korrelationskoeffizient
rel.	relativ(e)
S	Standardabweichung
SF	Standardfehler
STO	engl. slow-twitch-oxidative
Tab.	Tabelle
u.	und
VIDS	engl. video image diagnostic system

1. Einleitung

Die Frage nach der Vorhersagbarkeit physiologischer Leistungen anhand von muskelbiptischen Untersuchungen beschäftigt die Wissenschaft seit Jahrzehnten. Es sind zahlreiche Studien mit Sportlern verschiedener Disziplinen durchgeführt worden, die als Resultat variierende Muskelfasertypenspektren oder Faserquerschnittsflächen aufwiesen. Die Interpretationen solcher Ergebnisse haben dazu geführt, daß die Befunde von Muskelbiptaten im Leistungssport des Menschen als Selektionskriterium benutzt wurden. Auch zur Kontrolle des erreichten Trainingsniveaus ist die Muskelbiptie häufig als Verlaufsuntersuchung eingesetzt worden.

Im Pferdesport sind Zusammenhänge zwischen Muskelfasertypenanteilen und der Leistungskapazität bei Rennpferden (SNOW u. GUY 1981; WOOD et al. 1988) und Distanzpferden (SNOW et al. 1981; HODGSON 1983; RIVERO et al. 1993 c, RIVERO et al. 1995 b; RIVERO 1996 a) des öfteren aufgezeigt worden. Somit bestehen für diese Disziplinen bereits Beurteilungsmöglichkeiten anhand der Fasertypenkomposition.

Zahlreiche Pferderassen sind im Bezug auf ihre Einsatzsparten hinsichtlich der Muskelfasertypenzusammensetzung und der Faserquerschnittsfläche untersucht worden (LINDHOLM u. PIEHL 1974; HARTIKKA 1980; SNOW u. GUY 1980). Als Ergebnis wurden Unterschiede zwischen Pferden verschiedener Rassen und signifikante Korrelationen zwischen Fasertypenparametern und Verwendungszweck der Pferde publiziert.

Im Bereich der deutschen Warmblut-Pferdezucht existieren keinerlei muskelbiptische Studien. Deshalb sollen die Daten der vorliegenden Untersuchung einen Überblick über die Qualität einiger morphologischer Muskelcharakteristika bei Pferden ausgewählter deutscher Warmblut-Zuchtgebiete ermöglichen.

Eine Früherkennung des vorhandenen Leistungspotentials für eine spezielle Leistungsrichtung wäre auch bei Warmblut-Pferden sehr nützlich für einen adäquaten

Trainingsbeginn. Deshalb soll an Pferden, die laut ihres Stammbaumes, insbesondere des Zuchtwertes ihrer Vorfahren, eine Spezialisierung für den Dressur- bzw. Springsport aufweisen, analysiert werden, ob sich diese leistungsorientierte Zucht auf ausgewählte Muskelparameter auswirkt.

Um an die Methode der Nutzung der muskelbiptischen Analyse als Selektionskriterium für Leistungspferde (RIVERO u. CLAYTON 1996) anzuknüpfen, sollen die Daten in dieser Studie hinsichtlich der Ergebnisse der Körungsvorauswahlen bzw. der Körungen ausgewertet werden, welche über die zukünftige züchterische Nutzung eines jeden vorgestellten Hengstes entscheiden.

In der Literaturübersicht wird beabsichtigt, einen Überblick über die aktuellen Forschungsergebnisse zu geben, welche die Zusammenhänge zwischen Muskelfasertypenkomposition und humanem und equinem Leistungssport betreffen. Außerdem sollen die Einflußfaktoren auf die Fasertypenzusammensetzung und die Muskelfaserquerschnittsfläche beim Pferd im Vergleich zum Menschen dargestellt werden.

2. Literaturübersicht

2.1 Synonyme Terminologie für Muskelfasertypen

Als Folge von histochemischen Untersuchungsmethoden unter Verwendung von Enzymen verschiedener Gruppen hat sich in den letzten Jahrzehnten eine variierende Nomenklatur für die Muskelfasertypen entwickelt. SALOMON et al. (1981) erörtern die Entstehung der unterschiedlichen Bezeichnungen nach der Reaktion von Oxidoreduktasen, Transferasen und Hydrolasen und stellen sie in einem Schema einander gegenüber. Dieses Schema dient in Kombination mit einer Übersicht von SNOW und GUY (1980) und der Terminologie einiger anderer Autoren (Tab. 1) als Leitfaden für die differierende Nomenklatur bei der Fasertypendifferenzierung.

Tab. 1: Variierende Bezeichnungen für Muskelfasertypen

Nomenklatur					Autoren
STO	FTO	FTG			SALOMON et al. (1981)
ST	FTH	FT			LINDHOLM und PIEHL (1974)
I	IIA	IIB			BROOKE und KAISER (1970)
ST interm.	FT red	FT white			BARNARD et al. (1971)
SO	FOG	FG			PETER et al. (1972)
ST	FTa	FTb			SALTIN et al. (1977)
β R	α R	α W			ASHMORE und DOERR (1971) a,b
I	IIA	IIAB	IIB	IIC	RIVERO und CLAYTON (1996)

Die eingehende Charakterisierung der einzelnen Muskelfasertypen, besonders im Hinblick auf ihre physiologischen Eigenschaften und die Energiegewinnung erfolgt in der Dissertation von BEER (1999).

2.2 Der M. gluteus medius als Substrat morphometrischer Untersuchungen

An der Beckengliedmaße liegt das funktionelle Hauptgewicht der Eigenmuskulatur auf der dynamischen Seite, indem sie vor allem die motorischen Kräfte zur Vorwärtsbewegung zu liefern hat (SEIFERLE u. FREWEIN 1992, S. 515). Die stärksten Muskelmassen liegen im Bereich des Hüft- und Kniegelenkes und werden zur Hauptsache von den Streckern dieser beiden Gelenke gebildet. Der M. gluteus medius, oder auch mittlerer Kruppenmuskel, stellt beim Pferd laut SEIFERLE und FREWEIN (1992, S. 544) den dicksten Muskel des ganzen Körpers dar. Er entspringt mit einer kräftigen dreieckigen Lendenzacke, deren Spitze bis zum Lendenwirbel reicht, in einer muldenförmigen Vertiefung aus der Eigenaponeurose des M. longissimus lumborum, sodann an der Facies glutea des Darmbeinflügels, den Darmbeinwinkeln, am Kreuzbein, am Ligamentum sacroiliacum dorsale und an der Unterseite der Fascia glutea. Mit seiner Hauptmuskelzacke endigt er an der Pars caudalis des Trochanter major.

Seiner Funktion nach ist er der stärkste Strecker des Hüftgelenks, dessen Kraftentfaltung im Stützbein vor allem in einer Schubwirkung auf den Rumpf nach vorne zur Geltung kommt. Durch seine Verbindung mit dem M. longissimus lumborum ist er beim Erheben der Vorhand auf die Nachhand in Aktion (SEIFERLE u. FREWEIN 1992, S. 501).

LINDHOLM und PIEHL (1974) empfehlen den M. gluteus medius aufgrund seiner großen Bedeutung für die Vorwärtsbewegung als Entnahmestelle für Muskelbiopsien. RIVERO und CLAYTON (1996) berichten von einer tausendfachen, komplikationslosen Biopsieentnahme aus diesem Muskel und nennen ihn einen bedeutenden propulsiven, in der Bewegung sehr aktiven Muskel der Hinterhand. SALOMON et al. (1983) schätzen den M. gluteus medius wegen seiner guten Zugänglichkeit und seiner Repräsentanz für aktive Muskelfunktionen. Unter diesen Aspekten war der Muskel in den letzten zwei Jahrzehnten morphologisches Substrat für zahlreiche Untersuchungen beim Pferd.

In der folgenden Literaturübersicht beziehen sich die Ausführungen beim Pferd, soweit nicht anders dargestellt, auf den M. gluteus medius (Abb. 1).

Abb. 1: Muskeln des Hüft-, Knie-, und Sprunggelenkes der linken Hintergliedmaße des Pferdes



1 = M. gluteus medius, (SEIFERLE u. FREWEIN 1992, S. 545, Abb. 480)

2.3 Beziehungen zwischen der Muskelfasertypenkomposition und sportlicher Leistung

Untersuchungen der Muskelfasertypenzusammensetzung in der Oberschenkelmuskulatur von Langstrecken-, Mittelstrecken- und Kurzstreckenschwimmern zeigen ein unterschiedliches Faserprofil. Die Langstreckenschwimmer besitzen den höchsten prozentualen Anteil an STO-Fasern sowie an prozentualer STO-Faserfläche und weisen dabei die niedrigsten Kraftwerte auf (GERARD et al. 1986). Bei Einteilung in Gruppen von Schwimmern mit 50 % oder mehr STO-Fasern und Schwimmern mit weniger als 50 % STO-Fasern entwickeln erstere signifikant niedrigere Kraftwerte.

Ein hoher Gehalt an langsam-kontrahierenden Muskelfasern wird häufig mit einer guten Ausdauerleistung in Verbindung gebracht. FLYNN et al. (1987) fanden heraus, daß Triathleten einen hohen Anteil an STO-Fasern in den Mm. gastrocnemius, vastus lateralis und deltoideus besitzen. Eine signifikante Korrelation besteht zwischen dem prozentualen STO-Faseranteil und Leistung bei Distanzläufnern (FARREL et al. 1993). Nach einem Vergleich des Faserspektrums des M. vastus lateralis von Gewichthebern, Langstreckenläufern und inaktiven Kontrollpersonen konstatieren STARON et al. (1984), daß bei den Läufern ein signifikant höherer Typ I-Faseranteil präsent ist. Zweifellos verrichten letztere im Gegensatz zu den Gewichthebern und den Kontrollpersonen die höchste Ausdauerleistung.

Bei Distanzpferden ermittelte RIVERO (1996 a) anhand der Muskelfasertypenkomposition von mehreren Biopaten aus dem M. gluteus medius ihre Leistungsfähigkeit. Die exzellenten Distanzpfede besitzen einen höheren STO- und FTO-Faseranteil sowie größere Faserdurchmesser, damit weniger FTG-Fasern und eine höhere oxidative Kapazität. Der Erkennbarkeit der leistungsfähigsten Distanzpfede dient demnach die Kombination eines hohen Verhältnisses von langsam- zu schnellkontrahierenden Muskelfasern mit einem hohen Typ IIA/IIB-Faserverhältnis. Diese Resultate korrespondieren optimal mit der Reihenfolge der Muskelfaserrekrutierung während der Arbeit und sollten für equine Ausdauersportler sehr nützlich sein. Studien über den Verbrauch von Muskelglykogen bei physischer Aktivität lassen während der meisten Belastungsarten eine Rekrutierung der Fasern

von Typ I über Typ IIA zu Typ IIB erkennen (SNOW et al. 1982; HODGSON et al. 1983). Als Fazit präsentiert RIVERO (1996 a) die Empfehlung, diese Methode der Einschätzung der Leistungskapazität als eine nützliche Hilfe für den Vergleich und die Selektion von Pferden dieser Disziplin zu nutzen, weil Muskelfasercharakteristika limitierende Faktoren für die Leistung von Distanzpferden darstellen.

RIVERO et al. (1993 c) folgern aus anderen Untersuchungen, daß Fasertypenkomposition und Faserdicke in Skelettmuskeln bei Pferden in direktem Bezug zur Leistungsfähigkeit stehen.

Über bestehende Beziehungen zwischen Leistungsvermögen und Muskelcharakteristika bei Distanzpferden wurde des öfteren berichtet (SNOW et al. 1981; HODGSON et al. 1983; RIVERO et al. 1995 b). Im Gegensatz dazu fanden ESSEN-GUSTAVSSON et al. (1984) keine differierenden Werte für Muskelfaserkomposition, Faserquerschnittsfläche und Enzymaktivitäten, als sie Distanzpferde verschiedener Leistungen nach den Wettbewerben biopsierten.

Die oxidative Enzymaktivität, eingeschätzt anhand der Citratsynthetaseaktivität, zeigt eine unterschiedliche Intensität im M. vastus lateralis und M. gastrocnemius bei Athleten verschiedener Sportarten. Ausdauertrainierte Geher präsentieren, gefolgt von Mittelstreckenläufern, über untrainierte Kontrollpersonen bis zu Hochsprungathleten die höchste oxidative Kapazität (BOROS-HATFALUDY et al. 1986). Die glykolytische Enzymaktivität dagegen, ermittelt durch Messungen der Aldolaseaktivität, besitzt den höchsten Wert bei Sprintern gefolgt von Hochspringern.

Bezüglich der höheren oxidativen Kapazität der Muskulatur bei Leistungspferden sind sich GOTTLIEB et al. (1988) und RIVERO et al. (1995 b) einig. Erstere verglichen bei Pferden die Enzymaktivitäten im Anschluß an verschiedene Arten der Belastung. Einerseits mußten sie eine Zugleistung bei niedriger Geschwindigkeit erbringen und andererseits hatten die Pferde ein Laufbandprogramm mit kontinuierlich ansteigender Geschwindigkeit zu absolvieren. Die Ergebnisse lassen die Wichtigkeit einer hohen oxidativen Kapazität für beide Leistungsvarianten erkennen. RIVERO et al. (1995 b) entdeckten diese Tatsache bei Distanzpferden, die eine gute Leistung erbrachten. Die Pferde mit einer geringeren Leistungsfähigkeit

zeigten im Gegensatz dazu eine höhere anaerobe Kapazität. Diese Beobachtungen decken sich auch mit Aussagen von SNOW und VALBERG (1994) über eine bestehende Beziehung zwischen Parametern, die die oxidative Kapazität des Muskels beschreiben, und der Leistung von Ausdauerpferden.

Nach Auffassung von LOPEZ-RIVERO et al. (1990) sollte die oxidative Kapazität jedoch bei Pferden separat eingeschätzt und nicht als Kriterium für die Fasertypenklassifikation benutzt werden. Die genannten Autoren meinen, daß die kontraktile Kapazität einer Muskelfaser nicht ihr oxidatives Profil bestimmt. Eine Fasertypisierung sollte aufgrund der m-ATPase- Aktivität vorgenommen werden, da diese Eigenschaft zur Molekularstruktur der kontraktile Proteine in Beziehung steht.

Auch bei Rennpferden sind bereits Beziehungen zwischen Leistungsvermögen und Muskelcharakteristika aufgezeigt worden (SNOW u. GUY 1981; WOOD et al. 1988). Zur Beurteilung des Potentials eines Athleten, ungeachtet der Spezies, hinsichtlich kürzerer aber intensiverer Leistungen, werden oft die schnell-kontrahierenden Muskelfasern herangezogen. ESSEN-GUSTAVSSON und LINDHOLM (1985) differenzieren exzellente und durchschnittliche Standardzucht-Trabrennpferde voneinander, indem sie den leistungsfähigeren Pferden einen höheren Anteil von Typ IIA- und einen geringeren Anteil von Typ IIB-Fasern zuschreiben. Bei Leichtathleten zeigt sich anhand von Biopsaten des M. vastus lateralis eine signifikante Korrelation zwischen prozentualen Anteil schnell-kontrahierender Muskelfasern und Kraft sowie Geschwindigkeit (TIHANYI et al. 1982).

Daß Muskelleistung durch die Skelettmuskelfaserkomposition beeinflusst wird, folgern BOSCO et al. (1983) aus einer Studie, in der sie bei männlichen Leichtathleten die Flugzeit während 60 Sekunden kontinuierlichen Auf- und Abspringens ermittelten. Dabei korrelieren im M. vastus lateralis während der ersten 15 Sekunden die mechanische Kraft mit dem Anteil schnell-kontrahierender Muskelfasern.

Individuen, die mit einem höheren prozentualen Anteil von schnell-kontrahierenden Muskelfasern ausgestattet sind, entwickeln bei einer gegebenen Geschwindigkeit ein größeres Drehmoment und mehr Kraft (FITTS u. WIDRICK 1996). Dabei bewegen

sich beim Menschen die erreichten mittleren Krafterhöchstwerte für die Fasertypen IIB, IIA und I im Verhältnis von 10:5:1.

Im Gegensatz zum deutlich überwiegenden Anteil an Publikationen, in denen für Geschwindigkeitsleistungen von kurzer Dauer ein hoher Anteil an schnell-kontrahierenden Muskelfasern verantwortlich gemacht wird, berichten VIITASALO und BOSCO (1982) davon, daß Männer mit einer überwiegenden Anzahl von langsam-kontrahierenden Muskelfasern im M. vastus lateralis bei der Durchführung von vertikalen Sprüngen eine größere Höhe erreichen, als solche mit überwiegend schnell-kontrahierenden Fasern.

MACKOVA et al. (1986) veröffentlichten, daß Elite-Sprint-Radfahrer im M. vastus lateralis ein Verhältnis der schnell-kontrahierenden zu langsam-kontrahierenden Muskelfasern von 2:3 im Gegensatz zu 3:2 bei Nicht-Athleten besitzen. Mit diesem Resultat widersprechen sie jedoch der Mehrzahl der wissenschaftlichen Studien. Die Sportler wiesen in dieser Untersuchung signifikant größere mittlere Faserdurchmesser auf. Eine hohe positive Korrelation zwischen isometrischer Stärke und Prozentsatz FTG-Fasern wurde ebenfalls erkannt. Weiterhin existierte eine positive Korrelation zwischen maximalem Sauerstoffverbrauch und prozentualem STO-Faseranteil und dem mittleren Durchmesser von FTG-, FTO- und STO-Fasern.

Von großer Bedeutung für eine hohe Kontraktionsleistung stellt sich eine möglichst große Faserquerschnittsfläche dar, weil diese signifikant positiv mit der erreichten Kraft korreliert (MILLER et al. 1993). Die mittlere Muskelfaserquerschnittsfläche von Nicht-Sportlern war in Untersuchungen von OELZ et al. (1986) um 36 % kleiner als die Querschnittsfläche von Langstreckenläufern.

Als besonders wichtig schätzen SLEIVERT et al. (1995) die Größe der Typ II-Fasern ein, da sie ihrer Meinung nach, als Typ II/ Typ I-Faserflächen-Verhältnis ausgedrückt, als einzige Variable in Beziehung zu Kraft steht. Die größten schnell-kontrahierenden Muskelfasern im M. vastus lateralis im Vergleich zu Mittelstreckenläufern und Kontrollgruppen hatten in dieser Studie Volleyballspieler.

In dem intensiv beanspruchten M. biceps brachii von amerikanischen Eliterudern stellt sich das Faserquerschnittsflächenverhältnis von schnell-kontrahierenden Muskelfasern zu den langsam-kontrahierenden im Vergleich zum M. vastus lateralis größer dar. Der Grund dafür sind auch hier größere schnell-kontrahierende Fasern im M. biceps brachii (CLARKSON et al. 1982).

Ebenso sind TESCH et al. (1985) der Meinung, daß Muskelstärke zum Teil durch die Fasertypenkomposition determiniert ist und berichten von einer Korrelation zwischen Kraft und der prozentualen Muskelfaserquerschnittsfläche der schnell-kontrahierenden Muskelfasern. Während Kajak-Fahrer im Vergleich zu Ringern und Rollstuhlbasketballathleten weniger schnell-kontrahierende Muskelfasern im M. deltoideus aufweisen, besitzen die Fasern der Rollstuhlbasketballathleten die größte Faserquerschnittsfläche (TESCH u. KARLSSON 1983).

PRINCE et al. (1976) verglichen Biopsate des M. vastus lateralis von Gewichthebern mit denen von Langstreckenläufern und Nicht-Sportlern. Sie resümieren, daß die Gewichtheber eine deutliche Hypertrophie der schnell-kontrahierenden Muskelfasern aufweisen, wobei sie allerdings prozentual weniger FOG-Fasern besitzen.

Auch beim Pferd wird vorgeschlagen, daß eventuell physiologische Faktoren, wie der Anteil der schnell-kontrahierenden Fasertypen, die limitierende Rolle für die Trittfrequenz spielen könnten (MERO et al. 1981).

Einige Autoren berichten über signifikante Beziehungen zwischen Muskelfasercharakteristika und Bewegungsvariablen bei Pferden. PERSSON et al. (1991) untersuchten 30 Standardzucht-Traber, die auf einem Laufband bewegt wurden. Dabei ergaben sich signifikante positive Korrelationen zwischen der Trittlänge und den prozentualen Anteilen von Typ I- und Typ IIA-Fasern. Die Trittlänge korrelierte negativ mit dem Typ IIB-Fasergehalt, während die Trittfrequenz nur eine positive Beziehung zum Prozentsatz der Typ IIA-Muskelfasern aufwies. Diese Ergebnisse scheinen zu belegen, daß längere Trabtritte durch die Rekrutierung von Typ IIA-Fasern erreicht werden, welche von einer aeroben Energiebereitstellung abhängig sind (VALBERG u. ESSEN-GUSTAVSSON 1987; RIVERO u. CLAYTON 1996). Zur Schlußfolgerung der genannten Autoren ist zu

bemerken, daß eine kürzere Trittlänge bei gleichbleibender Geschwindigkeit zu einer Erhöhung der Trittfrequenz führt, welche als Trittzahl pro Sekunde definiert ist. Um eine Erhöhung der Trittfrequenz bei größerer Trittlänge zu erreichen, muß die Geschwindigkeit erhöht werden. RIVERO und CLAYTON (1996) interpretieren die Ergebnisse von PERSSON et al. (1991) dahingehend, daß sie die Trittlänge als bestimmenden Faktor für die Geschwindigkeit und den aeroben Energieverbrauch ansehen, welche beide bereits mit der Fasertypenkomposition von Standardzucht-Trabern während eines Laufbandtrainings an der Laktatgrenze in positive Beziehung gebracht worden sind.

Aus einer Studie von RONEUS et al. (1995), die ebenfalls an Trabern der Standardrasse durchgeführt wurde, geht die Existenz einer negativen Korrelation zwischen der relativen Typ IIB-Faseranzahl und der Dauer der Standphase hervor. Die Standphase ist die Phase des Trabtrittes, in welcher der Huf des Pferdes Kontakt zum Boden besitzt und somit die Phase, in welcher das Pferd den Körper nach vorn beschleunigen kann (CLAYTON 1989).

RIVERO und CLAYTON (1996) sprechen von einer negativen Korrelation zwischen der Dauer des Auffußens und dem Durchmesser der Muskelfasern und umgekehrt von einer positiven Korrelation zwischen der Schrittfrequenz und der Fasergröße bei Andalusiern. Sie erklären ersteren Zusammenhang ebenfalls damit, daß die Pferde in der Phase des Auffußens, die Möglichkeit haben, den Körper nach vorne schnellen zu lassen. Das sollte Tieren mit größeren Muskelfaserquerschnitten leichter fallen, da die entwickelte Kraft einer Muskelfaser direkt proportional zu ihrem Durchmesser ist (HILL 1950).

2.4 Einflußfaktoren auf die Fasertypenzusammensetzung

2.4.1 Training

Durch systematisches Training können zielgerichtete Anpassungsvorgänge der Muskelfasern induziert werden, deren morphologische Ausprägung von der Belastungsintensität abhängt (SALOMON et al. 1983). Zahlreiche Autoren berichten über eine Transformationsfähigkeit ausschließlich bei den schnell-kontrahierenden Muskelfasern im Sinne einer metabolischen Differenzierung (PETTE u. STAUDTE 1973; PIEPER u. SCHMIDT 1981; GOLLNICK 1981). So führt zum Beispiel Ausdauertraining bei Menschen im M. vastus lateralis zu einer Transformation von Muskelfasern des Typs FTG zu FTO, jedoch nicht zur Beeinflussung des STO-Faseranteils (MARTIN et al. 1989; ADAMS et al. 1993; WANG et al. 1993).

KRAEMER et al. (1995) sind der Meinung, daß belastungsspezifische Kompositionsvariationen erfolgen, wobei immer eine Transformation von IIb- zu IIa-Fasern stattfindet und diese nach Ausdauertraining quantitativ am größten ist.

Auch nach Sprint-Training beim Menschen erkennt man im M. vastus lateralis einen Anstieg des FTa-Faseranteils auf Kosten der FTb-Fasern, was bei den Athleten zur Steigerung der Kraft und der Geschwindigkeit führt (LINOSSIER et al. 1997). Diese Autoren berichten allerdings auch über die Möglichkeit der unidirektionalen Fasertransformation, die in einem Anstieg des STO-Faseranteils resultiert.

MELICHNA et al. (1994) verglichen Indizes der Muskelmorphologie des M. vastus lateralis von 44 untrainierten und 105 trainierten Athleten verschiedener Sportarten. Bei Ausdauerathleten war das Verhältnis der glykolytischen zu den oxidativ-kontrahierenden Muskelfasern signifikant niedriger als bei untrainierten Kontrollpersonen und Kraftsportlern.

Berichte über Fasertransformationen beim Pferd entsprechen größtenteils der Theorie der metabolischen Differenzierung. Gut trainierte Traber der Standardrasse besitzen einen höheren Anteil von Typ IIA-Fasern und einen geringeren Anteil von Typ IIB-Fasern als inaktive Traber (ESSEN-GUSTAVSSON u. LINDHOLM 1985).

Dieselbe Art der Muskelfaserkompositionsänderung wird von GOTTLIEB et al. (1989) nach Untersuchungen an Trabern, von RIVERO et al. (1991) als Folge einer Studie mit Andalusiern und Arabern unter verschiedenen Trainingsintensitäten und von MISUMI et al. (1995) nach Durchführung eines Trainingsprogramms mit jungen Vollblütern, bestehend aus einer Kombination von Renn- und Schwimmtraining, beschrieben.

Auch RONEUS et al. (1992) interpretieren ihre Befunde, wonach im Training stehende Trabrennpferde im Vergleich zu untrainierten weniger Typ IIB-Fasern und dementsprechend ein höheres Typ IIA/IIB-Verhältnis besitzen, als Anpassung an das Training.

Eine Erhöhung der relativen Typ I- Faseranzahl im M. vastus lateralis des Menschen, parallel zu einer Typ IIB-Faser-Verminderung, ohne Alteration der Typ IIA-Faserfraktion als Reaktion auf ein 15-wöchiges intermittierendes Krafttrainingsprogramm werden von SIMONEAU et al. (1985 a) angeführt. Eben solche Fasertransformationen weisen Standardzucht-Traber nach mehreren Monaten intensiven Renntrainings auf (RONEUS et al. 1994).

Ebenfalls möglich ist eine Transformation von oxidativen Fasern zu glykolytischen als Folge von Inaktivität (STARON et al. 1984) oder als Resultat eines Trainingsprogrammes, welches nicht geeignet ist, die oxidative Energiegewinnungskapazität zu steigern (ASHMORE u. DOERR 1971 a; ASHMORE et al. 1972; SALOMON et al. 1980; FITTS u. WIDRICK 1996). GUNN (1975) zeigt dieses Phänomen in einer Studie an Vollblutpferden und Greyhounds.

Die Hypertrophie der verschiedenen Muskelfasern wird oft als Folge von sportlicher Aktivität aufgezeigt. Sie steht in positiv korrelativer Beziehung mit einer erhöhten Kontraktionsgeschwindigkeit (JAKOWLEW 1978). So führen WANG et al. (1993) zum Beispiel als Ergebnis eines Krafttrainingsprogramms an, eine Zunahme der Faserquerschnittsfläche bei allen Fasertypen beobachtet zu haben. Dabei verursacht das Training ein Wachstum der intrazellulären Komponenten proportional zum Anstieg der Muskelfasergröße. Die genannten Autoren, wie auch LINOSSIER et al. (1997) und KRAEMER et al. (1995), stellen diese Hypertrophie parallel zu

Fasertypenkompositionsänderungen dar, wobei letztere die Reaktionen der Muskelfasern auf unterschiedliche Arten der Belastung untersuchten. Die Resultate zeigen eine Querschnittsvergrößerung der Fasertypen I, IIA und IIC nach intensivem Krafttraining mit einem Anstieg des Kraftpotentials und eine Größenzunahme der Fasertypen I und IIC nach Ausdauertraining. Werden die beiden Trainingsarten jedoch kombiniert, bleiben jegliche Effekte aus.

Beim Pferd werden neben bereits genannten Fasertypentransformationen differierende Angaben bezüglich der Faserquerschnittsflächenänderung gemacht. GOTTLIEB et al. (1989) referieren im Anschluß an eine Studie mit Trabern nach Trainingsintervallen in submaximaler Geschwindigkeit, aber unter einer Zugbelastung stehend, über eine Zunahme der Typ IIA-Faserquerschnittsfläche. Dem stellen ESSEN-GUSTAVSSON und LINDHOLM (1985) eine geringere Querschnittsfläche dieser Faserfraktion bei trainierten Trabrennpferden gegenüber.

Aus anderen Publikationen geht hervor, daß zwar eine Faserhypertrophie erfolgt, diese aber mit keinerlei Transformationen einhergeht. KUZON et al. (1990) legen diese Erkenntnisse nach Untersuchungen an Fußballspielern dar und schließen daraus, daß dieser Sport eine Adaption an Ausdauer- und Höchstleistung verursacht.

TAYLOR und BRASSARD (1981) führten mit Standardzucht-Trabern ein tägliches Intervall-Trainingsprogramm über 8 Wochen durch. Dabei wurden 4 Pferde je 5 mal über 700 Meter und 6 mal über 1000 Meter mit je 5 Minuten Erholungspause beansprucht. Die Autoren berichten, daß keinerlei Änderungen in der prozentualen Fasertypenzusammensetzung der verschiedenen untersuchten Skelettmuskeln stattgefunden haben, sondern eine Vergrößerung der Faserquerschnittsfläche aller Muskelfasertypen zu beobachten war. ST-Fasern nahmen um 13-17 %, FTH-Fasern ebenfalls um 13-17 % und FT-Fasern sogar um 21-29 % zu. Als Fazit folgern die Verfasser, daß sich die Muskelfaserfläche bei verstärkter Aktivität ziemlich schnell ändern kann und daß die FT-Fasern die größte Anpassung an Intervall-Training von hoher Intensität vollziehen.

Studien am M. vastus lateralis von Kraftsportlern (HORTOBAGYI et al. 1993; ROMAN et al. 1993) und Aerobic-Kraftsportlerinnen (CRESS et al.1991) nach

intensiven Krafttrainingseinheiten stellen eine alleinige Umfangsvermehrung der schnell-kontrahierenden Muskelfasern als Resultat vor.

Mit diesen Ergebnissen gehen Berichte über Faserquerschnittsflächenzunahmen lediglich der Typ IIA-Fasern bei Pferden konform, nachdem sie auf einem Hochgeschwindigkeitslaufband gearbeitet worden sind (ESSEN-Gustavsson et al. 1989).

RIVERO et al. (1995 a) sprechen von geringen Veränderungen durch Training, wobei eine signifikante Hypertrophie der Muskelfasern mit höchster oxidativer Kapazität (Typ I und Typ IIA) die schnellste Folge eines Ausdauertrainings zu sein scheint, nachdem LOPEZ-RIVERO et al. (1992 a) noch von keinerlei Faserquerschnittsflächenunterschieden zwischen trainierten und untrainierten Andalusiern sowie Arabern berichtet haben.

RIVERO et al. (1996 b) untersuchten 2-3 Jahre alte Vollblut-Pferde nach einem 8-monatigen intensiven Trainingsprogramm auf einem Hochgeschwindigkeitslaufband. Dabei konnten die Autoren weder während der Trainingsphase noch danach Veränderungen bezüglich der Fasertypenkomposition oder der Faserquerschnittsflächen feststellen.

SJODIN et al. (1982) maßen bei Mittelstrecken- und Langstreckenläufern die Geschwindigkeit, bei der die Laktat-Blutkonzentration 4 mmol/l (VOBLA) erreichte. Nach einem vierzehnwöchigen Trainingsprogramm, auf der Basis der jeweils für einen Läufer ermittelten Geschwindigkeit, wurde diese erneut bestimmt. Die Änderung der VOBLA korreliert nach dieser Studie negativ mit dem Mittelwert der Laktatakkumulation während der letzten 15 Minuten des Laufbandtrainings. Die Änderung der genannten Geschwindigkeit korreliert jedoch positiv mit dem prozentualen STO-Faseranteil im M. vastus lateralis. SJODIN et al. (1982) folgern daraus, daß gleichmäßige Trainingseinheiten im Bereich der VOBLA in der Lage sind diese zu steigern und daß die Muskelfasertypenkomposition ein Indikator für das Trainingspotential sein könnte.

Resultate, die an Standardzucht-Trabern gewonnen wurden, legen dem Betrachter ebenfalls einen Zusammenhang zwischen der Blut-Laktat-Konzentration, der Trabgeschwindigkeit und der relativen STO-Anzahl nahe (RONEUS et al. 1994).

Des Weiteren zeigen Pferde, die durch einen hohen Anteil von Typ IIB-Fasern gekennzeichnet sind, eine niedrigere oxidative Kapazität und sind betreffend der Energieproduktion stärker auf die Glykolyse mit nachfolgender Laktat-Akkumulation angewiesen als Pferde mit einem hohen Typ IIA-Faseranteil (VALBERG et al. 1985). Die differierenden metabolischen Eigenschaften der Muskelfasertypen indizieren, daß die Art der Muskelfaserrekrutierung einen signifikanten Effekt auf die intramuskuläre Substratutilisation haben könnte.

Die selektive Rekrutierung der Muskelfasern erfolgt in spezifischer Weise, die von der Gangart, der Geschwindigkeit und der Aktivitätsdauer abhängig ist (RIVERO u. CLAYTON 1996). Dabei werden in einem rekrutierten Muskel nicht notwendigerweise alle Muskelfasern stimuliert, da es nicht immer erforderlich ist, die maximale Kraft aufzubringen. Die variierende Stimulation funktioniert über α -Motorneuronen. Typ I-Fasern werden von den Motorneuronen mit dem geringsten Umfang und dementsprechend der niedrigsten Aktivierungsschwelle innerviert, während solche mit dem größten Umfang für Typ IIB-Fasern zuständig sind. Die Erhaltung des Gleichgewichts sowie Aktivitäten niedriger Intensität erfordern nur die Rekrutierung der Typ I-Fasern, welche relativ ermüdungsresistent sind. Bei steigender Geschwindigkeit der Bewegungen werden infolge einer benötigten größeren Kraftentwicklung Fasern des Typs IIA beansprucht. Die sehr kräftigen Kontraktionen für hohe Geschwindigkeiten beziehungsweise für Sprünge resultieren laut RIVERO und CLAYTON (1996) aus der zusätzlichen Beanspruchung von Typ IIB-Muskelfasern.

LINDNER (1990) stellt die Abhängigkeit der Laktatproduktion eines Skelettmuskels von seiner neuromotorischen Stimulation als auch von der Rekrutierung verschiedener Muskelfasertypen aufgrund der Belastungsintensität und -dauer dar. Er berichtet, daß die Laktatkonzentration im Blut oder Plasma von Pferden nach Belastung in den Disziplinen Distanzreiten und Fahren selten mehr als 10 mmol/l beträgt, während sie bei Gallop- und Trabrennpferden sowie Vielseitigkeitspferden in

der Regel deutlich über 20 mmol/l liegt. Nach Springprüfungen liegen die Laktatkonzentrationen in der Regel zwischen 3 und 8 mmol/l Blut. Nach Angaben des letztgenannten Autors ergaben Messungen von Laktatkonzentrationen im Blut von Dressurpferden nach Trainingseinheiten und bestimmten Lektionen nur einen geringen Anstieg über den Ruhewert von etwa 1,5 mmol/l Blut.

DUDLEY et al. (1983) führten eine Studie durch, um die Reaktion von Menschen auf eine maximale Belastung bezüglich der Blutammoniak- und Laktatkonzentration feststellen zu können. Dazu teilten sie die Probanden auf der Basis des Gehalts von langsam-kontrahierenden Muskelfasern in zwei Gruppen ein. Als Ergebnis postulieren die Untersucher die Existenz einer umgekehrten Beziehung zwischen dem Prozentsatz langsam-kontrahierender Fasern und dem Blutammoniakgehalt sowie einer positiven Korrelation von der Blutammoniak- und der Blutlaktatkonzentration. Daraus läßt sich eine wichtige Rolle der STO-Fasern für die Höhe des Blutammoniakgehalts nach intensiver physischer Aktivität herleiten.

Um den Umsatz von energiereichen Phosphaten in Muskelfasern bestimmen zu können, biopsierten KATZ et al. (1986) die Kniegelenksstrecker von Menschen vor, während und nach der Durchführung von isometrischen Kontraktionen bis zur Ermüdung. Sie deckten dabei eine positive Korrelation zwischen dem prozentualen Anteil schnell-kontrahierender Fasern und der mittleren ATP-Umsatzrate nach der körperlichen Anstrengung auf. Negativ korreliert waren der Anteil schnell-kontrahierender Fasern und die Kontraktionsdauer bis zur Ermüdung.

Außerdem besteht eine hohe positive Korrelation zwischen der Muskelfasertypenkomposition und der, mithilfe magnetischer Resonanz ermittelten, Relaxationszeit. KUNO et al. (1988) zeigten, daß höhere Anteile von schnell-kontrahierenden Muskelfasern mit längeren Relaxationszeiten assoziiert sind, was wiederum darauf hinweist, daß auch die einzelne schnell-kontrahierende Faser eine längere Entspannungszeit aufweist als eine langsam-kontrahierende.

Die Abhängigkeit der Substratutilisation von der Art der Muskelfaserrekrutierung sehen auch MARIN et al. (1992). Sie zeigen einen positiven Zusammenhang zwischen der Glukoseverstoffwechslung in Muskelglykogen und dem Typ I-

Faseranteil sowie ihrer Querschnittsfläche auf. Negative Korrelationen bestehen zwischen der Größe der Typ II-Faserfraktion sowie ihrer Faserquerschnittsfläche und der Glukoseverstoffwechslung in Fettgewebstriglyzeride.

Die Menge der eingelagerten Triglyzeride hängt ebenso von der Tierspezies wie von der Fasertypenzusammensetzung ab (GORSKI 1992). Sie werden in den roten schnell-kontrahierenden und in geringerem Umfang in langsam-kontrahierenden Muskelfasern, aber nicht in weißen schnell-kontrahierenden Fasern während lang andauernder Trainingseinheiten mobilisiert. Dabei beschleunigt eine Reduktion der verfügbaren Kohlehydratreserven die Mobilisierung der Muskeltriglyzeride. Außerdem wird ihre Nutzung durch die Trainingsintensität bestimmt (HULTMAN 1995; MARTIN 1996). Bei Intensitäten von unter 60 % VO₂max avanciert Fett zum dominanten Substrat während kontinuierlicher Aktivität. Das bewirkt eine Rekrutierung der Typ I-Fasern, welche die niedrigste Aktivierungsschwelle besitzen. Zwischen 70 und 100 % VO₂max werden vorwiegend Kohlehydrate und darüber hauptsächlich Glykogen zur Energiegewinnung herangezogen.

Eine positive Korrelation zu dem prozentualen Anteil von Typ II-Fasern ist selbst für Allantoin nachgewiesen worden (RASANEN et al. 1993). Diese Aussage stützt sich auf Untersuchungen an Trabrennpferden und Finnischen Trabern, die nach der Arbeit auf einem Laufband sowie auf der Rennbahn bioptiert wurden. Die Autoren schließen ihre Publikation mit dem Fazit, daß der Abbau von ATP während und nach physischer Aktivität voranschreitet, bis Allantoin produziert wird.

2.4.2 Genetische Faktoren

Der Prozentsatz schnell-kontrahierender Muskelfasern im M. gluteus medius variiert signifikant zwischen Pferden verschiedener Rassen und diese Unterschiede stehen zur Sprint-Geschwindigkeit der jeweiligen Rasse in Beziehung (SNOW u. GUY 1980). So weisen zum Beispiel Quarterhorses mit 93 % den höchsten Anteil genannter Fasern auf. Während Vollblüter 87 %, Araber 85 % und Ponies 77 %

erreichen, zeigen schwere Jagdpferde mit 75% den geringsten Anteil schnell-kontrahierender Fasern, nur gefolgt von Eseln mit 70 %. Damit übereinstimmend präsentieren GREENE et al. (1995) mit einem Wert von 40 % höhere relative Typ I-Faseranzahlen bei Maultieren als bei Pferden (21 %), jedoch geringere Typ IIA- (39 % gegen 47 %) und geringere Typ IIB-Faseranteile (21 % gegen 32 %).

Nach LINDHOLM und PIEHL (1974) besitzen Pferde von Ausdauer-Rassen unter 65 % schnelle Fasern, wogegen diese Faserfraktion bei Trabern der Standardrasse 70 bis 85 % ausmacht. Das Vorhandensein differierender Muskelfasertypenzusammensetzung bei Pferden verschiedener Rassen zeigen GALISTEO et al. (1992) anhand von Untersuchungen an Andalusiern und Arabern auf. Bei letzteren sind signifikant höhere Anteile von Typ I- und Typ IIA-Fasern, aber weniger Typ IIB-Fasern präsent.

In Biopäten von chilenischen Zugpferden befindet sich mit 49 %, entnommen in einer Tiefe von sechs Zentimetern, ein hoher Prozentsatz an Typ I-Fasern, was nach RIVERO et al. (1996 a) die Art von Arbeit reflektiert, für die diese Tiere eingesetzt werden: Dauerbelastungen bei niedriger Intensität.

HARTIKKA (1980) entdeckte bei Finnischen Pferden einen Anteil von 70 % langsam-kontrahierenden Muskelfasern im Gegensatz zu 10 bis 30 % bei Standardrassen.

Vergleichbare Berichte existierten auch über menschliche Rassenunterschiede bezüglich des Fasertypenspektrums. Untersuchungen von AMA et al. (1986) an Menschen zeigen, daß zwischen schwarzen Afrikanern und Kaukasiern desselben Geschlechts signifikante Unterschiede bezüglich der Muskelfasertypenzusammensetzung des M. vastus lateralis bestehen. Danach besitzen Kaukasier eine höhere relative Typ I-Faseranzahl und einen niedrigeren prozentualen Typ IIA-Faseranteil, während betreffend der Typ IIB-Faseranzahl kein Unterschied auffällt.

LITTLE und JOHNSON (1986) führen als Ergebnis ihrer Untersuchungen an, daß in der Handmuskulatur von kenianischen Hirten die langsam-kontrahierende Muskelfaserfraktion dominiert.

BOUCHARD et al. (1986) stellten Forschungen an, um den Grad der Heritabilität der Fasertypenkomposition beim Menschen aufzudecken. Für den prozentualen Anteil der Typ I-Fasern ergaben sich Korrelationskoeffizienten von 0,33 für Brüder, von 0,52 für dizygote Zwillinge und von 0,55 für monozygote Zwillinge.

Auch KOMI et al. (1977) berichten nach Untersuchungen an monozygoten und dizygoten Zwillingen von einem vorherrschenden genetischen Einfluß auf die Muskelfasertypenzusammensetzung.

SIMONEAU und BOUCHARD (1995) empfehlen weitere Studien, um die Tatsache interpretieren zu können, daß die Skelettmuskulatur von 25 % der in Nordamerika lebenden Kaukasier entweder weniger als 35 % oder mehr als 65 % Typ I-Fasern besitzt. Sie warnen vor Fehlinterpretationen der phänotypischen Varianzen, welche ihrer Meinung nach zu 40 % durch Umweltfaktoren beeinflusst werden können. Die Autoren sind der Meinung, daß etwa 15 % der Typ I-Faservarianzen beim Menschen auf Fehler bei der Muskelbiopsie und technische Abweichungen zurückzuführen sind, während genetische Faktoren die verbleibenden 45 % der phänotypischen Varianz ausmachen.

LINDMAN et al. (1990) dagegen führen die interindividuellen Unterschiede der Muskelfasertypenkomposition bei Menschen wiederum auf genetische Faktoren zurück.

Noch deutlicher sprechen diesen Sachverhalt RIVERO et al. (1996 c) aus. Sie berichten, daß Pferde, die verschiedenen Blutlinien angehören, signifikante Unterschiede in der Muskelfaserzusammensetzung aufweisen. Bei Andalusiern zeigt die mütterliche Blutlinie einen hochsignifikanten Einfluß auf den Anteil der Typ I- und IIB-Fasern. Weiterhin hat die väterliche Blutlinie bei Arabern und Andalusiern einen signifikanten Einfluß auf den Anteil der Typ IIA-Fasern. Die Autoren schließen aus ihren Ergebnissen, daß beim Pferd die Anteile der verschiedenen Muskelfasertypen signifikant mit genetischen Faktoren korreliert sind.

2.4.3 Die Lokalisation des Bioplatentnahmeortes

Die anatomischen Variationen und die differierenden funktionellen Aufgaben von verschiedenen Muskeln spiegeln sich auch in den Anteilen der Muskelfasertypen und ihren Dimensionen wider (TRAVNIK et al. 1995). Bereits 1980 konnten SNOW und GUY (1980) verdeutlichen, daß bei Pferden verschiedene Muskeln auch unterschiedliche Fasertypenzusammensetzungen aufweisen. Auch SERRANO et al. (1996) berichten über differierende Faseranteile des M. gluteus medius und des M. gluteus profundus beim Pferd.

Untersuchungen zur oxidativen Kapazität der Quadrizepsmuskulatur beim Pferd zeigen die höchsten Werte im tiefsten Muskel der Gruppe, dem M. vastus intermedius und in den tiefsten Anteilen der anderen Quadrizeps-Muskeln, wo die größte relative Anzahl von Typ I-Fasern lokalisiert ist (ARMSTRONG et al. 1992).

Innerhalb des M. gluteus medius variiert die Fasertypenkomposition in Abhängigkeit von der Entnahmetiefe, während sie in gleichbleibender Tiefe über die Fläche des Muskels relativ uniform ist (RIVERO et al. 1992; LOPEZ-RIVERO et al. 1993).

Mit zunehmender Entnahmetiefe steigt der Gehalt an Muskelfasern des Typ I an, der Typ IIB-Faseranteil jedoch sinkt (KLINE u. BECHTEL 1988; LOPEZ-RIVERO 1992 b; RIVERO et al. 1993 b; SERRANO et al. 1996). Die relative Typ IIA-Faseranzahl bleibt dabei unverändert. Die mittlere Faserquerschnittsfläche der Typ I- und IIA-Fasern nimmt vom oberflächlichsten zum tiefsten Entnahmeort zu, während die der Typ IIB-Fasern kleiner wird. Die genannten Autoren wie auch HERMANSON (1997) gehen davon aus, daß die Fasertypenkomposition von verschiedenen Portionen desselben Muskels als Ausdruck von unterschiedlichen Funktionen zu verstehen ist. Im M. extensor carpi radialis zum Beispiel findet sich ein am passiven Trageapparat beteiligtes Kompartiment, welches einen hohen Anteil von Typ I-Fasern aufweist, während ein proximaler Muskelbezirk für kraftvolle Kontraktionen zur Verfügung steht und so an der Vorwärtsbewegung beteiligt ist.

Die Abhängigkeit der Fasertypendifferenzierung von der Blutgefäßversorgung eines Muskels wird in der Dissertation von BEER (1999) eingehend behandelt.

2.4.4 Lebensalter

Bezüglich der Veränderungen, die sich aufgrund des fortschreitenden Lebensalters im Fasertypenspektrum manifestieren, existieren verschiedene sich zum Teil widersprechende Publikationen. Einerseits besitzen beim Menschen ältere Individuen einen höheren prozentualen Anteil Typ I-Fasern im M. vastus lateralis und M. gastrocnemius als jüngere (MELICHNA et al. 1990; TRAPPE et al. 1995). Dabei ist mit zunehmendem Alter eine Hypertrophie der Typ I- und Typ II-Fasern zu erkennen (ANIANSOON et al. 1992), welche aufgrund eines Verlustes von motorischen Einheiten zustande kommt.

Diese Vergrößerung der Faserquerschnittsfläche zeigt sich auch bei andalusischen und arabischen Pferden (RIVERO et al. 1993 a). Die relative Typ I-Faseranzahl nimmt im Verlauf des Lebens von der Geburt bis zu 24 Jahren um 100 % zu, während sich der Anteil der Typ IIB-Fasern um 40-50 % reduziert. Desweiteren erhöht sich die relative Typ IIA-Faseranzahl bis zum Alter von drei Jahren.

Andererseits sprechen KLINE und BECHTEL (1990) nach Untersuchungen an Standardzucht-Trabern während des ersten Lebensjahres von einer sich unwesentlich verändernden Fasertypenkomposition.

Einige Autoren berichten darüber, daß der Typ I-Faseranteil im M. vastus lateralis von Menschen durch das Altern nicht beeinflußt wird, sondern nur eine Verkleinerung der schnell-kontrahierenden Muskelfasern auffällt (GRIMBY 1995; HORTOBAGYI et al. 1995; LEXELL 1995; PROCTOR et al. 1995).

MANTA et al. (1996) untersuchten die Fasertypenzusammensetzung der Mm. quadriceps femoris, biceps brachii und deltoideus bei Menschen. Sie konstatieren ebenfalls die Existenz einer progressiven, altersbezogenen Reduktion des Durchmessers der Typ II-Fasern. Weiterhin interessant ist ihr Befund, welcher zu erkennen gibt, daß in allen untersuchten Muskeln eine Dominanz von Typ II-Fasern in der Peripherie herrscht, die weder durch das Altern noch durch das Geschlecht beeinträchtigt wird.

GALISTEO et al. (1992) schließen sich nach einer Studie mit Andalusier- und Araberpferden der Meinung an, nach welcher die Typ I-Faserportion nur unbedeutend variiert. Zwischen Biopstaten von Pferden im Alter von 10 bis 520 Tagen waren diesbezüglich kaum Schwankungen zu erkennen, während sich jedoch in dieser Untersuchung eine Erhöhung des Typ IIA-Faseranteils auf Kosten der Typ IIB-Fasern ergab.

RONEUS et al. (1992) führten Forschungen an 3-4 jährigen Standardzucht-Trabern durch, um den Einfluß des Trainings von dem des steigenden Alters differenzieren zu können. Dafür verglichen sie Pferde, die seit einem Alter von 18 Monaten kontinuierlich trainiert worden waren mit solchen, die erst mit 3 Jahren an die Arbeit genommen wurden. Biopsien wurden teilweise bereits als Fohlen und dann in jährlichem Abstand bis zu einem Alter von 3-4 Jahren entnommen. Die Ergebnisse zeigen in der früher trainierten Gruppe das Vorhandensein einer höheren oxidativen Kapazität der Muskulatur sowie eines niedrigeren Typ IIB-Faseranteils. Daraus schließen die Autoren, daß Veränderungen im Sinne einer metabolischen Differenzierung, die zu einem hohen Typ IIA/IIB-Faserverhältnis führen, durch Training verursacht werden und nicht dem Wachstum zugeschrieben werden können.

2.4.5 Geschlecht

SIMONEAU et al. (1985 b) berichten von einem geringeren Typ I-Fasergehalt desselben Muskels bei Männern im Gegensatz zu Frauen. Neben gleichen Befunden gewannen SIMONEAU und BOUCHARD (1989) in ihren Untersuchungen auch größere Werte für die mittleren Muskelfaserquerschnittsflächen aller Fasertypen bei Männern.

FREILICH et al. (1995) bringen die größere Kraft des männlichen Geschlechts für eine gegebene Muskeldicke mit größeren Faserflächen des Typs IIB in Verbindung, MILLER et al. (1993) mit generell größeren Querschnittsflächen der Muskelfasern. Auch für Pferde existieren Publikationen, die Unterschiede zwischen den Geschlechtern erkennen lassen. So besitzen Hengste laut RONEUS et al. (1991) und RIVERO et al. (1993 a) ein höheres Typ IIA/IIB-Faserverhältnis als Stuten.

3. Material und Methoden

3.1 Material

Es standen 64 klinisch gesunde Warmblut-Hengste im Alter von 24 bis 30 Monaten zur Verfügung. Alle Hengste befanden sich im Besitz von Hengstauzüchtern und wurden im Hinblick auf die Körung aufgezogen. Im Winter wurden sie im Stall gehalten, während sie den Rest des Jahres freien Weidegang genossen. Der Entnahmezeitpunkt der Muskelbiopsate wurde in den Monat Juli gelegt, so daß die Hengste gut entwickelt, jedoch untrainiert waren.

Die 64 Hengste entstammten fünf deutschen Warmblutzuchtgebieten, darunter befanden sich 33 Hannoveraner, 10 Westfalen, 9 Trakehner, 9 Holsteiner und 3 Oldenburger Pferde.

3.2 Methoden

3.2.1 Muskelbiopsie

Zu Beginn der Probenentnahme wurde eine intravenöse Sedation mit 0,2 ml Domosedan pro 100 Kilogramm Körpergewicht durchgeführt. Die Biopsatentnahme erfolgte aus dem linken M. gluteus medius. Der Entnahmeort wurde aufgesucht, indem man eine gedachte Linie zwischen dem Tuber coxae und dem Trochanter major zog (LOPEZ-RIVERO et al. 1993). In zehn Zentimetern Entfernung vom Tuber coxae wurde auf der genannten Linie eine etwa 3 mal 3 Zentimeter große Fläche rasiert, gereinigt und desinfiziert (Abb. 2). Subkutan und subfaszial wurde diese Fläche mit 5 Millilitern Mepivacain infiltriert. Die Durchführung einer Hautinzision erfolgte mit einem sterilen Einmalskalpell, wonach die Muskelbiopsie mithilfe der Muskelbiopsiekanüle nach BERGSTRÖM (1962) entnommen werden konnte.

Abb. 2: Lokalisation des Biopatientnahmeortes



Die Biopsiekanüle wurde 5 Zentimeter tief, erkenntlich an der oberflächlich eingravierten Zentimeterskala, eingeführt. Zur Wundabdeckung wurde ein Sprühverband aufgetragen. Als Infektionsprophylaxe erhielten die Pferde 40000 Internationale Einheiten Penicillin pro Kilogramm Körpergewicht sowie 10 ml Tetanusserum intramuskulär verabreicht.

Die jeweils entnommene Muskelprobe wurde unter einer Präparierlupe zu einem Würfel geschnitten, bevor sie mit senkrecht verlaufender Faserrichtung auf eine Korkscheibe aufgeblockt und zum Schutz vor Gefrierschäden mit Talkum bedeckt wurde. Nun wurde die Probe zur Konservierung in flüssigem Stickstoff bei -196 Grad Celsius schockgefroren. Nach der Verpackung in einem ebenfalls abgekühlten Aluminiumbeutel erfolgte die Lagerung in flüssigem Stickstoff bis zur histologischen Aufbereitung.

3.2.2 Histochemische Aufbereitung

Von jedem Muskelblock wurden mit Hilfe eines Gefriermikrotoms bei -20 Grad Celsius 8 Schnitte angefertigt, wovon jeder eine Dicke von 10 Mikrometern besaß. Diese Kryostatschnitte wurden auf einen Objektträger aufgebracht. Zur Typisierung der Muskelfasern fand die Saure Kreuzkombination von ATP-ase- und NADHOX-Reaktion nach ZIEGAN (1979) bei pH 4,1 Anwendung.

Saure Kreuzkombination nach ZIEGAN (1979):

NADHOX-Reaktion nach SPANNHOF (1967)

- 4,0 mg NADH_2
0,8 ml Phosphatpuffer (0,1 M; pH 7,4)
1,0 ml Nitrotetrazoliumblau (1mg/ml, wäßrige Lösung)
in 1,2 ml Aqua bidest lösen
- 30 min bei 37 Grad Celsius in einer feuchten Kammer inkubieren
- zweimal spülen (Zimmertemperatur, Aqua bidest)

Fixation nach MEIJER (1970)

- 5 min in einem frisch zubereiteten 4 Grad Celsius temperierten Fixans (pH > 6,3) aus:
1% Paraformaldehyd
2% kristallinem CaCl_2
6% Dextran
- dreimal spülen (4 Grad Celsius, Aqua bidest)

Saure Präinkubation

- einmal spülen (Zimmertemperatur, Aqua bidest)
- 5 min in einer 0,2 M Essigsäure-Azetat-Pufferlösung (pH 4,1) bei Zimmertemperatur inkubieren

- dreimal spülen (Zimmertemperatur, Aqua bidest)

ATPase-Reaktion nach MEIJER (1970)

- 600 mg Gelantine in 40 ml 0,1 M Tris-Maleat-Puffer (pH 7,2) lösen
- 25 mg ATP
- 3 ml wäßrige Bleinitratlösung (1,5%)
- 5 ml Calciumchloridlösung (1%)
- 1 ml H₂O
- hinzufügen (pH 7,2)
- 60 min im hängenden Tropf bei 37 Grad Celsius inkubieren
- dreimal spülen (Zimmertemperatur, Aqua bidest)
- in Ammoniumsulfidlösung (1%) visualisieren
- in Glycerin-Gelantine eindecken

Aufgrund der sauren Kreuzkombination erfolgte eine Differenzierung der Fasertypen in:

STO-Fasern = slow-twitch-oxidative fibers

= braune Fasern mit kräftiger, blauschwarzer

Granulation als Ausdruck der Formazanniederschläge

FTO-Fasern = fast-twitch-oxidative fibers

= graublaue Fasern mit kräftiger, blauschwarzer Granulation als

Ausdruck hoher oxidativer Stoffwechselkapazität

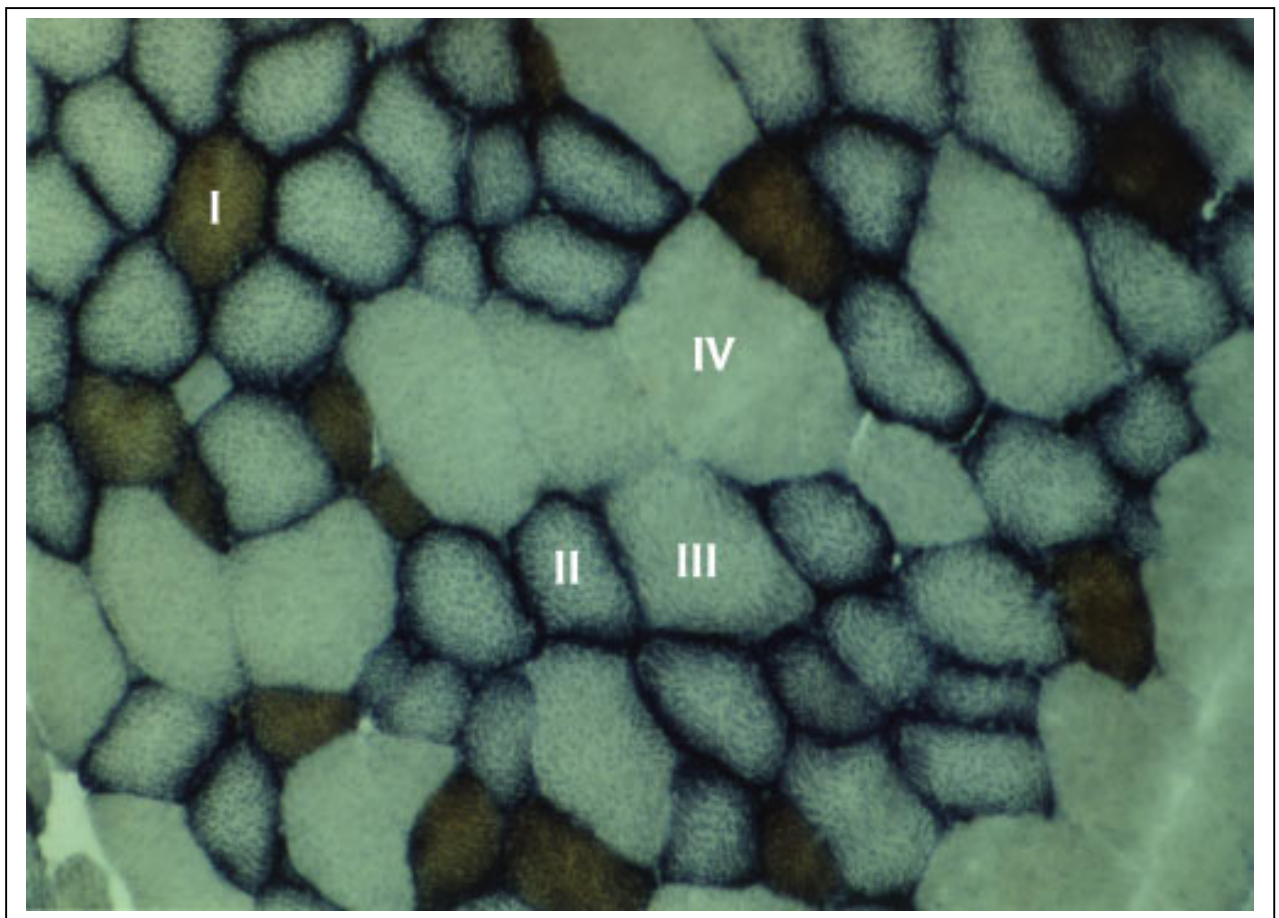
FTG-Fasern = fast-twitch-glycolytic fibers

= sich blaß darstellende Muskelfasern mit geringer blauschwarzer

Granulation als Ausdruck geringer oxidativer Stoffwechselkapazität

Alle Fasern, welche die Kriterien der schnell kontrahierenden Muskelfasern aufwiesen, aber weder eindeutig als FTO-Fasern noch zweifelsfrei als FTG-Fasern klassifiziert werden konnten, wurden als Intermediärtyp eingestuft. Dieser Typ entspricht einer Übergangsform zwischen den beiden erstgenannten Fasertypen (RIVERO u. CLAYTON 1996; RIVERO 1996 b).

Abb. 3: Fasertypendifferenzierung nach der sauren Kreuzkombination nach ZIEGAN (1979), Vergrößerung 3,2 x 20



I = STO-, II = FTO-, III = INT-, IV = FTG-Faser

3.2.3 Mikroskopische Auswertung

Die histochemisch bearbeiteten Kryostatschnitte wurden mit Hilfe eines Lichtmikroskopes begutachtet. Aus den 8 Schnittpräparaten wurde das zur Auswertung am besten geeignet erscheinende nach folgenden Kriterien ausgewählt: senkrecht getroffene Faserquerschnittsfläche, gut erhaltene Muskelfaserbündel, stattgefundenene Reaktion, keine Gefrierschäden. Der selektierte Schnitt wurde unter Verwendung des halbautomatischen VIDS- Bildanalyse-Systems V ausgewertet.

Innerhalb ihrer Bündelstruktur wurde die jeweilige absolute Fasertypenanzahl der STO-, FTO-, Intermediär- und FTG-Fasern bestimmt und die Fläche der gezählten Faserquerschnitte in Quadratmikrometern ermittelt. In Anlehnung an SNOW und GUY (1980) wurden für jeden Hengst mindestens zweihundert Muskelfasern ausgemessen. Begonnene Zählungen an einzelnen Muskelfaserbündeln wurden nach Erreichen der Mindestanzahl stets beendet.

3.2.4 Einteilungskriterien

Die Hengste wurden anhand ihrer Abstammungsnachweise nach verschiedenen Rassen, sowie in die sportlichen Kategorien Dressur- und Springpferde eingeteilt. Für letztgenannte Auswertung wurden nur Pferde verwendet, deren Vater und Muttervater in ihrem Zuchtwert laut „Jahrbuch Zucht 1997“ eine deutliche Spezialisierung aufweisen (DEUTSCHE REITERLICHE VEREINIGUNG e.V. 1997). Bei Nachkommen von Junghengsten, die noch nicht mit einem Zuchtwert versehen waren, wurde auf weitere Generationen zurückgegriffen.

Des weiteren wurden die Hengste anhand des Körergebnisses der verschiedenen, jeweils zuständigen Verbandskörungen der Jahre 1996 und 1997 kategorisiert.

Hengste mit derselben paternalen Abstammung wurden jeweils zu einer Gruppe zusammengefaßt, um den Einfluß der Vatertiere auf die verschiedenen

Muskelfasertypencharakteristika untersuchen zu können. Hierzu wurden nur väterliche Blutlinien herangezogen, die mit mindestens drei Nachkommen in dieser Studie vertreten waren.

3.2.5 Mathematische Auswertung

Die mathematische Analyse wurde unter Verwendung von Microsoft-Excel '97 durchgeführt. Anhand der Gesamtfaseranzahl und der absoluten Fasertypenanzahlen wurden die relativen Fasertypenanzahlen (%) der vier Muskelfasertypen für jeden Hengst ermittelt. Aus den gemessenen Muskelfaserquerschnittsflächen wurde für jeden Fasertyp der arithmetische Mittelwert sowie die Summe dieser Mittelwerte als mittlere Gesamtfaserfläche errechnet. Mithilfe dieser Werte wurden jeweils die relativen Faserflächenanzahlen (%) für die einzelnen Muskelfasertypen ermittelt.

Um die Relation der Faserquerschnittsflächen von schnell kontrahierenden und langsam kontrahierenden Muskelfasern zueinander einschätzen zu können, wurde ein entsprechender Quotient gebildet. Dazu war es nötig einen Mittelwert aus den mittleren Faserquerschnittsflächen der FTO-, Intermediärtyp- und FTG-Fasern zu errechnen und diesen durch den mittleren Wert der STO-Faserfläche zu dividieren. Dieser Quotient wurde F/S-Quotient genannt.

$$\frac{\text{FTO } (\mu\text{m}^2) + \text{INT } (\mu\text{m}^2) + \text{FTG } (\mu\text{m}^2)}{3} * \frac{1}{\text{STO } (\mu\text{m}^2)} = \text{F/S-Quotient}$$

Das Verhältnis zwischen der FTO- und der FTG-Faseranzahl wurde durch die Berechnung eines FTO/FTG-Quotienten veranschaulicht. Dafür wurde die relative Faseranzahl der FTO-Fasern (%) durch die relative Anzahl der FTG-Fasern (%) dividiert.

$$\frac{\text{FTO} (\%)}{\text{FTG} (\%)} = \text{FTO/FTG-Quotient}$$

Eine Möglichkeit zur Einschätzung der oxidativen Kapazität wurde durch die Berechnung des Verhältnisses der relativen Anzahl von oxidativ kontrahierenden und den einer glykolytischen Energiegewinnung unterliegenden Muskelfasern geschaffen:

$$\frac{\text{STO} (\%) + \text{FTO} (\%)}{\text{FTG} (\%)} = \text{Ox/G-Quotient.}$$

3.2.6 Biometrie

Die Durchführung des Shapiro-Wilk-Tests per graphischer Darstellung lieferte für die Werte der Dressur- und Springpferde sowie für „Gekörte Hengste“ und „Nicht gekörte Hengste“ keine signifikante Abweichung von der Normalverteilung. Aufgrund dessen wurden die Mittelwerte dieser Kategorien mithilfe des t-Tests auf Signifikanz geprüft. Zur statistischen Beurteilung der Mittelwertvergleiche von verschiedenen Rassen und Nachkommen verschiedener Väter wurde die einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA herangezogen.

3.2.7 Einteilung der Pferde

lfd. Nr.	Rasse	Sportkategorie	Körurteil
1	Hannoveraner	Dressur	Nicht gek.
2	Hannoveraner	Dressur	Nicht gek.
3	Hannoveraner	Dressur	Nicht gek.
4	Trakehner	Dressur	Nicht gek.
5	Hannoveraner	Springen	Nicht gek.
6	Hannoveraner	Springen	Nicht gek.
7	Hannoveraner	Springen	Nicht gek.
8	Hannoveraner	Springen	Nicht gek.
9	Holsteiner	Springen	Nicht gek.
10	Holsteiner	Springen	Nicht gek.
11	Holsteiner	Springen	Nicht gek.
12	Holsteiner	Springen	Nicht gek.
13	Holsteiner	Springen	Nicht gek.
14	Holsteiner	Springen	Nicht gek.
15	Holsteiner	Springen	Nicht gek.
16	Holsteiner	Springen	Nicht gek.
17	Holsteiner	Springen	Gekört
18	Westfalen	Dressur	Gekört
19	Westfalen	Dressur	Nicht gek.
20	Oldenburger	Dressur	Nicht gek.
21	Hannoveraner	Dressur	Gekört
22	Hannoveraner		Nicht gek.
23	Westfalen	Springen	Nicht gek.
24	Hannoveraner	Dressur	Nicht gek.
25	Westfalen	Dressur	Nicht gek.
26	Oldenburger	Springen	Nicht gek.
27	Hannoveraner	Springen	Nicht gek.
28	Hannoveraner	Springen	Nicht gek.
29	Hannoveraner		Nicht gek.
30	Hannoveraner	Dressur	Gekört

31	Westfalen	Dressur	Gekört
32	Hannoveraner	Springen	Nicht gek.
33	Hannoveraner	Dressur	Nicht gek.
34	Westfalen	Springen	Nicht gek.
35	Hannoveraner	Springen	Nicht gek.
36	Hannoveraner	Springen	Gekört
37	Hannoveraner	Springen	Nicht gek.
38	Westfalen		Nicht gek.
39	Westfalen	Dressur	Nicht gek.
40	Westfalen	Springen	Nicht gek.
41	Hannoveraner	Springen	Gekört
42	Oldenburger	Dressur	Nicht gek.
43	Hannoveraner	Springen	Nicht gek.
44	Hannoveraner	Springen	Nicht gek.
45	Trakehner	Dressur	Gekört
46	Hannoveraner	Dressur	Nicht gek.
47	Hannoveraner	Springen	Nicht gek.
48	Hannoveraner	Dressur	Nicht gek.
49	Hannoveraner	Dressur	Gekört
50	Trakehner	Springen	Nicht gek.
51	Trakehner	Springen	Nicht gek.
52	Trakehner	Dressur	Nicht gek.
53	Hannoveraner		Nicht gek.
54	Hannoveraner	Dressur	Nicht gek.
55	Hannoveraner	Dressur	Nicht gek.
56	Hannoveraner	Dressur	Nicht gek.
57	Hannoveraner	Dressur	Nicht gek.
58	Hannoveraner	Dressur	Nicht gek.
59	Hannoveraner		Nicht gek.
60	Hannoveraner	Springen	Nicht gek.
61	Trakehner	Dressur	Nicht gek.
62	Trakehner	Springen	Nicht gek.
63	Trakehner	Springen	Nicht gek.
64	Trakehner	Dressur	Nicht gek.

4. Ergebnisse

Die tabellarische Aufarbeitung der Ergebnisse umfaßt für jede gebildete Kategorie die relativen Häufigkeiten der Fasertypen, die relative Querschnittsfläche der Muskelfasertypen, die absoluten Querschnittsflächen der Fasertypen sowie die Quotienten F/S, Ox/G und FTO/FTG.

Die Darstellung der Ergebnisse der Pferde verschiedener Rassen erfolgt in Kap. 4.1 tabellarisch in der Reihenfolge Hannoveraner (Tab. 2-4), Holsteiner (Tab. 5-7), Westfalen (Tab. 8-10), Trakehner (Tab. 11-13), Oldenburger (Tab. 14-16). Vergleichende Diagramme wichtiger Parameter werden in den Abbildungen 4-6 angeführt.

Kap. 4.2 beinhaltet in den Tabellen 17-19 die gewonnenen Ergebnisse der Kategorie Dressurpferde und in den Tabellen 20-22 die Resultate der Springpferde. Anschließend findet ein graphischer Vergleich ausgewählter morphologischer Muskelcharakteristika beider Gruppen in Liniendiagrammen mit zwei Achsen statt (Abb. 7 u. 8).

Ebenso wird mit den „Nicht gekörten“ (Tab. 23-25) und „Gekörten“ Hengsten (Tab. 26-28) verfahren (Abb. 9 u. 10).

Die Ergebnisse der Nachkommen verschiedener Väter werden in Kap. 4.4 dargestellt (Tab.29-49), woran sich ein vergleichendes Linien-Säulendiagramm der morphometrischen Muskelindizes aller in diesem Kap. relevanten Gruppen anschließt.

4.1 Rassen

Hannoveraner

Tab. 2: Relative Häufigkeiten der Fasertypen (%)

	STO-rel.Anz.	FTO-rel.Anz.	INT-rel.Anz.	FTG-rel.Anz.
Mittelwert	24,74%	41,98%	12,60%	20,67%
Standardfehler	1,64%	1,89%	1,20%	1,16%
Standardabweichung	9,54%	11,03%	7,00%	6,75%
Stichprobenvarianz	0,91%	1,22%	0,49%	0,46%
Minimum	8,96%	22,92%	1,67%	8,71%
Maximum	50,90%	63,21%	33,78%	38,64%
Anzahl	34	34	34	34
F/S-Quotient	1,71			
Ox/G	3,23			
FTO/FTG	2,03			

Tab. 3: Relative Querschnittsflächen der Muskelfasertypen (%)

	STO-rel. Fl.	FTO-rel. Fl.	INT-rel. Fl.	FTG-rel. Fl.
Mittelwert	18,40%	35,33%	13,61%	32,66%
Standardfehler	1,58%	1,49%	1,22%	1,56%
Standardabweichung	9,23%	8,66%	7,09%	9,11%
Stichprobenvarianz	0,85%	0,75%	0,50%	0,83%
Minimum	5,84%	21,02%	2,87%	12,23%
Maximum	41,81%	54,11%	34,13%	50,57%
Anzahl	34	34	34	34

Tab. 4: Absolute Querschnittsflächen der Fasertypen (μm^2)

	STO-abs. Fl.	FTO-abs. Fl.	INT-abs. Fl.	FTG-abs. Fl.	Ges.-abs. Fl.
Mittelwert	2408,90	2874,95	3786,45	5383,62	14453,91
SF	88,49	84,95	152,63	163,71	393,20
S	516,00	495,33	889,97	954,56	2292,75
Varianz	266257,61	245347,71	792045,18	911183,67	5256707,06
Min.	1449,16	2057,94	2310,42	3479,05	10114,50
Max.	4269,59	3907,51	5927,48	7441,14	19641,02
Summe	81902,75	97748,18	128739,14	183043,03	491433,09
Anzahl	34	34	34	34	34

Holsteiner

Tab. 5: Relative Häufigkeiten der Fasertypen (%)

	STO-rel.Anz.	FTO-rel.Anz.	INT-rel.Anz.	FTG-rel.Anz.
Mittelwert	18,84%	47,00%	11,94%	22,22%
Standardfehler	1,58%	1,67%	2,06%	2,35%
Standardabweichung	4,75%	5,01%	6,18%	7,06%
Stichprobenvarianz	0,23%	0,25%	0,38%	0,50%
Minimum	10,74%	36,24%	3,72%	11,16%
Maximum	25,35%	55,37%	20,66%	33,94%
Anzahl	9	9	9	9
F/S-Quotient	1,75			
Ox/G	2,96			
FTO/FTG	2,11			

Tab. 6: Relative Querschnittsflächen der Muskelfasertypen (%)

	STO-rel. FI.	FTO-rel. FI.	INT-rel. FI.	FTG-rel. FI.
Mittelwert	13,44%	39,96%	11,42%	35,18%
Standardfehler	1,40%	2,46%	2,34%	3,70%
Standardabweichung	4,19%	7,37%	7,02%	11,10%
Stichprobenvarianz	0,18%	0,54%	0,49%	1,23%
Minimum	8,21%	25,29%	3,09%	18,26%
Maximum	18,01%	48,97%	22,49%	55,40%
Anzahl	9	9	9	9

Tab. 7: Absolute Querschnittsflächen der Fasertypen (μm^2)

	STO-abs. FI.	FTO-abs. FI.	INT-abs. FI.	FTG-abs. FI.	Ges.-abs. FI.
Mittelwert	2392,05	2897,89	3163,42	5469,18	13922,54
SF	158,75	245,68	222,40	476,59	942,66
S	476,24	737,05	667,19	1429,77	2827,97
Varianz	226803,75	543243,38	445148,37	2044256,42	7997427,79
Min.	1730,22	1937,66	2259,40	3729,75	10393,83
Max.	3074,59	4076,37	4604,63	7688,84	18356,64
Summe	21528,45	26081,01	28470,78	49222,65	125302,89
Anzahl	9	9	9	9	9

Westfalen

Tab. 8: Relative Häufigkeiten der Fasertypen (%)

	STO-rel.Anz.	FTO-rel.Anz.	INT-rel.Anz.	FTG-rel.Anz.
Mittelwert	18,07%	49,33%	9,50%	23,10%
Standardfehler	1,31%	1,02%	2,13%	1,60%
Standardabweichung	3,93%	3,05%	6,39%	4,81%
Stichprobenvarianz	0,15%	0,09%	0,41%	0,23%
Minimum	11,98%	45,16%	3,79%	16,74%
Maximum	24,67%	52,91%	23,04%	31,28%
Anzahl	9	9	9	9
F/S-Quotient	1,61			
Ox/G	2,92			
FTO/FTG	2,14			

Tab. 9: Relative Querschnittsflächen der Muskelfasertypen (%)

	STO-rel. FI.	FTO-rel. FI.	INT-rel. FI.	FTG-rel. FI.
Mittelwert	13,40%	40,14%	10,31%	36,15%
Standardfehler	1,44%	1,05%	1,99%	2,87%
Standardabweichung	4,33%	3,16%	5,97%	8,62%
Stichprobenvarianz	0,19%	0,10%	0,36%	0,74%
Minimum	8,89%	36,29%	4,81%	24,15%
Maximum	22,02%	44,13%	22,08%	45,51%
Anzahl	9	9	9	9

Tab. 10: Absolute Querschnittsflächen der Fasertypen (μm^2)

	STO-abs. FI.	FTO-abs. FI.	INT-abs. FI.	FTG-abs. FI.	Ges.-abs. FI.
Mittelwert	2427,15	2629,25	3621,17	5199,55	13877,12
SF	123,67	143,22	201,38	321,26	606,43
S	371,00	429,65	604,13	963,78	1819,30
Varianz	137641,67	184597,61	364967,40	928865,59	3309834,88
Min.	2037,39	2059,97	2506,40	3761,68	10695,15
Max.	3286,64	3636,15	4517,35	6688,25	15927,99
Summe	21844,39	23663,29	32590,50	46795,93	124894,12
Anzahl	9	9	9	9	9

Trakehner

Tab. 11: Relative Häufigkeiten der Fasertypen (%)

	STO-rel.Anz.	FTO-rel.Anz.	INT-rel.Anz.	FTG-rel.Anz.
Mittelwert	35,91%	33,82%	14,18%	16,10%
Standardfehler	3,72%	2,69%	1,72%	1,70%
Standardabweichung	11,17%	8,08%	5,17%	5,11%
Stichprobenvarianz	1,25%	0,65%	0,27%	0,26%
Minimum	21,40%	22,28%	8,47%	8,91%
Maximum	56,93%	45,58%	25,00%	25,22%
Anzahl	9	9	9	9
F/S-Quotient	1,42			
Ox/G	4,33			
FTO/FTG	2,10			

Tab. 12: Relative Querschnittsflächen der Muskelfasertypen (%)

	STO-rel. FI.	FTO-rel. FI.	INT-rel. FI.	FTG-rel. FI.
Mittelwert	30,51%	31,13%	15,15%	23,22%
Standardfehler	3,44%	2,60%	2,24%	1,73%
Standardabweichung	10,33%	7,79%	6,73%	5,19%
Stichprobenvarianz	1,07%	0,61%	0,45%	0,27%
Minimum	19,50%	19,50%	7,46%	15,12%
Maximum	51,53%	41,55%	29,52%	31,87%
Anzahl	9	9	9	9

Tab. 13: Absolute Querschnittsflächen der Fasertypen (μm^2)

	STO-abs. FI.	FTO-abs. FI.	INT-abs. FI.	FTG-abs. FI.	Ges.-abs. FI.
Mittelwert	2956,89	3213,82	3642,11	5180,42	14993,24
SF	155,86	177,25	188,04	328,93	704,48
S	467,58	531,74	564,11	986,78	2113,44
Varianz	218628,66	282744,54	318221,91	973744,46	4466624,67
Min.	2410,62	2505,77	2593,57	3732,91	12492,28
Max.	3632,61	3989,58	4740,61	7338,71	19235,25
Summe	26611,99	28924,39	32778,98	46623,82	134939,18
Anzahl	9	9	9	9	9

Oldenburger

Tab. 14: Relative Häufigkeiten der Fasertypen (%)

	STO-rel.Anz.	FTO-rel.Anz.	INT-rel.Anz.	FTG-rel.Anz.
Mittelwert	20,15%	46,24%	10,39%	23,22%
Standardfehler	4,23%	2,60%	2,83%	0,67%
Standardabweichung	7,33%	4,51%	4,89%	1,15%
Stichprobenvarianz	0,54%	0,20%	0,24%	0,01%
Minimum	12,38%	43,22%	4,90%	21,90%
Maximum	26,94%	51,43%	14,29%	24,08%
Anzahl	3	3	3	3
F/S-Quotient	1,65			
Ox/G	2,86			
FTO/FTG	1,99			

Tab. 15: Relative Querschnittsflächen der Muskelfasertypen (%)

	STO-rel. FI.	FTO-rel. FI.	INT-rel. FI.	FTG-rel. FI.
Mittelwert	14,88%	38,44%	11,54%	35,14%
Standardfehler	3,62%	1,15%	4,43%	0,70%
Standardabweichung	6,26%	2,00%	7,67%	1,20%
Stichprobenvarianz	0,39%	0,04%	0,59%	0,01%
Minimum	7,70%	36,65%	3,83%	33,97%
Maximum	19,19%	40,59%	19,17%	36,38%
Anzahl	3	3	3	3

Tab. 16: Absolute Querschnittsflächen der Fasertypen (μm^2)

	STO-abs. FI.	FTO-abs. FI.	INT-abs. FI.	FTG-abs. FI.	Ges.-abs. FI.
Mittelwert	2752,86	3218,46	4012,37	5877,32	15861,01
SF	102,66	333,93	861,48	696,97	1600,56
S	177,81	578,38	1492,12	1207,19	2772,26
Varianz	31615,24	334518,74	2226427,62	1457315,98	7685403,42
Min.	2645,78	2670,84	3055,38	4522,31	12894,31
Max.	2958,11	3823,33	5731,66	6838,17	18385,71
Summe	8258,57	9655,37	12037,12	17631,96	47583,02
Anzahl	3	3	3	3	3

Abb. 4: Darstellung des Faserprofils und der morphometrischen Kenngrößen von Hengsten verschiedener Warmblutrassen

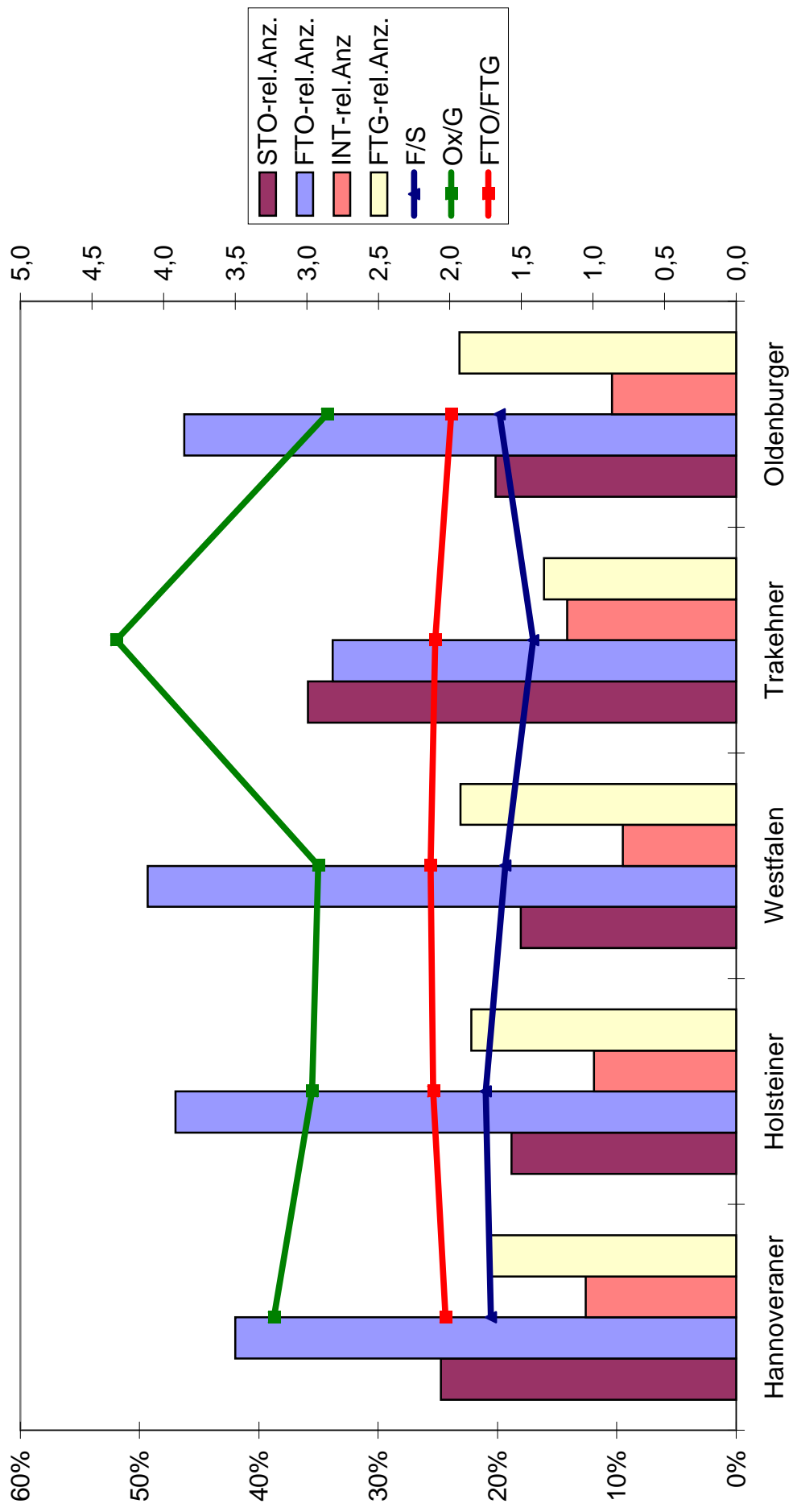


Abb. 5: Darstellung der relativen Anzahl (%) und der relativen Querschnittsfläche (%) der Muskelfasertypen von Pferden verschiedener Rassen

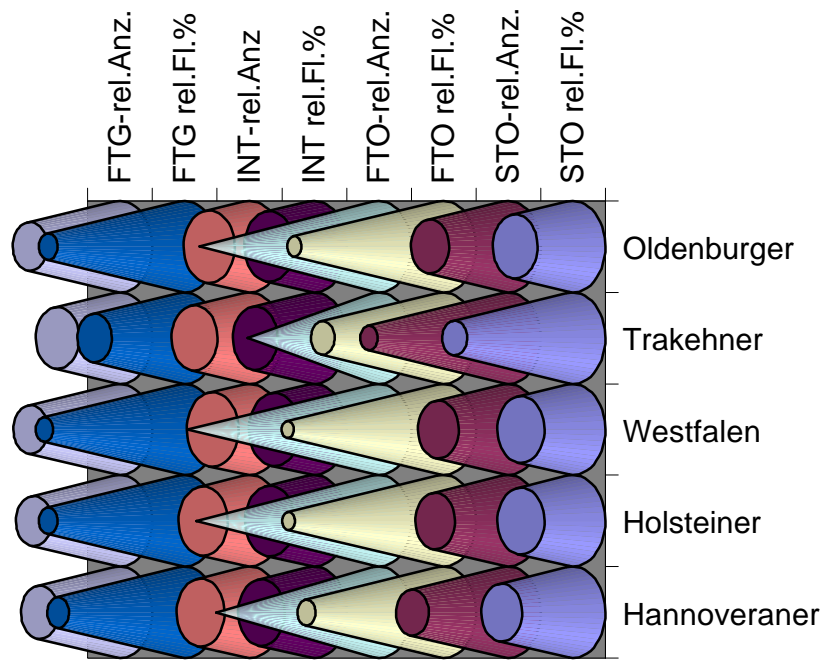
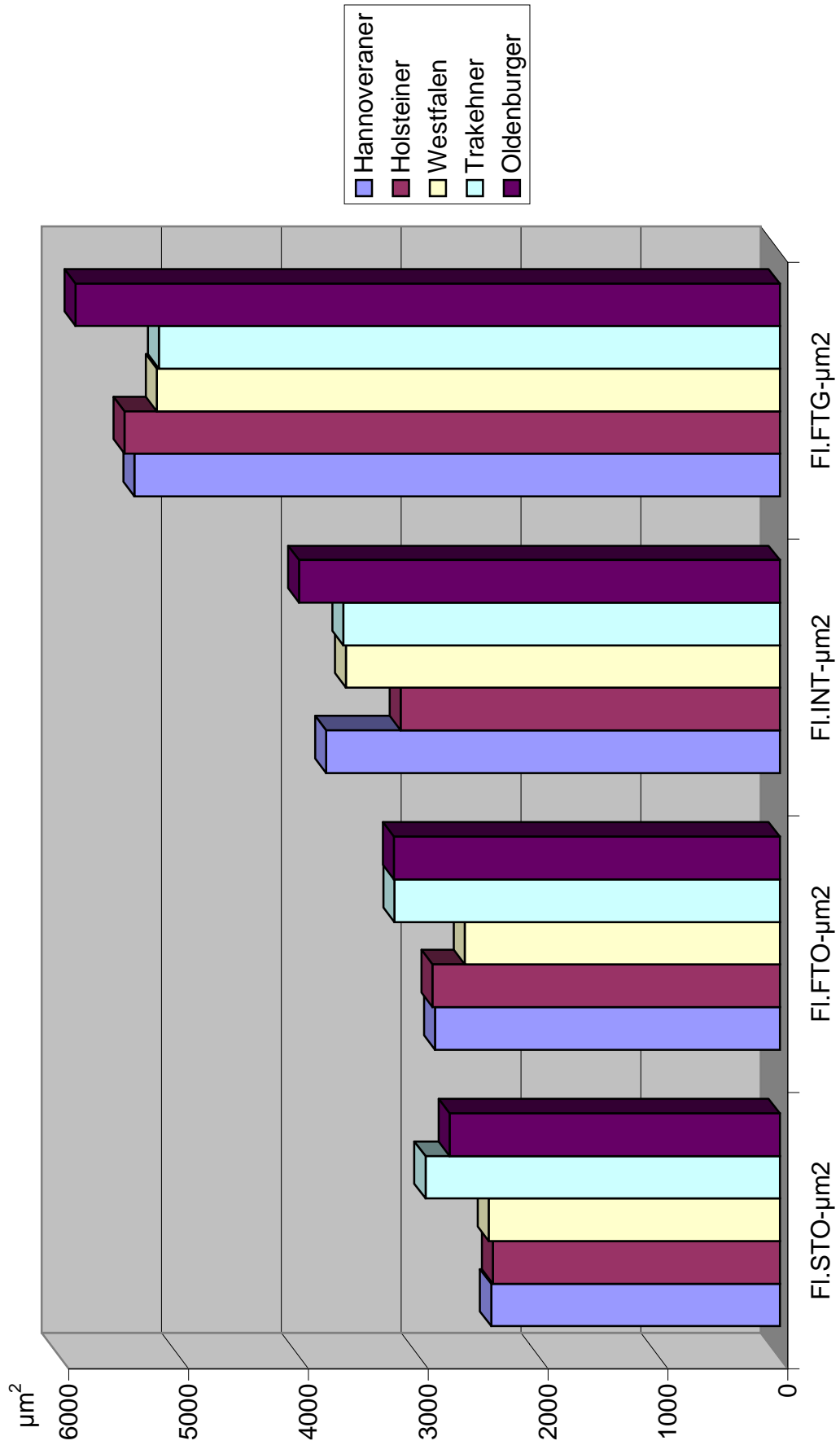


Abb. 6: Mittlere Querschnittsfläche (μm^2) der Fasertypen von Hengsten verschiedener Zuchtgebiete



4.2

Dressur- und Springpferde

Dressurpferde

Tab. 17: Relative Häufigkeiten der Fasertypen (%)

	STO-rel.Anz.	FTO-rel.Anz.	INT-rel.Anz.	FTG-rel.Anz.
Mittelwert	26,58%	38,83%	13,84%	20,75%
Standardfehler	2,11%	2,00%	1,43%	1,38%
Standardabweichung	10,95%	10,38%	7,45%	7,16%
Stichprobenvarianz	1,20%	1,08%	0,55%	0,51%
Minimum	11,16%	22,28%	4,51%	8,71%
Maximum	56,93%	52,91%	33,78%	38,64%
Anzahl	27	27	27	27
F/S-Quotient	1,61			
Ox/G	3,15			
FTO/FTG	1,87			

Tab. 18: Relative Querschnittsflächen der Muskelfasertypen (%)

	STO-rel. FI.	FTO-rel. FI.	INT-rel. FI.	FTG-rel. FI.
Mittelwert	20,82%	32,37%	14,77%	32,04%
Standardfehler	2,09%	1,41%	1,51%	1,99%
Standardabweichung	10,84%	7,35%	7,83%	10,36%
Stichprobenvarianz	1,18%	0,54%	0,61%	1,07%
Minimum	7,08%	19,50%	4,66%	12,23%
Maximum	51,53%	44,13%	34,13%	50,57%
Anzahl	27	27	27	27

Tab. 19: Absolute Querschnittsflächen der Fasertypen (μm^2)

	STO-abs. FI.	FTO-abs. FI.	INT-abs. FI.	FTG-abs. FI.	Ges.-abs. FI.
Mittelwert	2559,48	2878,23	3676,43	5337,81	14451,96
SF	92,06	91,68	147,78	213,46	427,05
S	478,35	476,37	767,90	1109,18	2219,03
Varianz	228817,05	226925,66	589666,38	1230275,26	4924100,31
Min.	1887,80	2059,97	2310,42	3479,05	10114,50
Max.	4269,59	3989,58	5731,66	7338,71	19235,25
Summe	69105,95	77712,34	99263,70	144120,97	390202,95
Anzahl	27	27	27	27	27

Springpferde

Tab. 20: Relative Häufigkeiten der Fasertypen (%)

	STO-rel.Anz.	FTO-rel.Anz.	INT-rel.Anz.	FTG-rel.Anz.
Mittelwert	21,90%	46,71%	10,65%	20,74%
Standardfehler	1,52%	1,37%	0,90%	1,01%
Standardabweichung	8,71%	7,86%	5,18%	5,82%
Stichprobenvarianz	0,76%	0,62%	0,27%	0,34%
Minimum	8,96%	27,03%	1,67%	9,00%
Maximum	50,90%	63,21%	23,04%	33,94%
Anzahl	33	33	33	33
F/S-Quotient	1,70			
Ox/G	3,31			
FTO/FTG	2,25			

Tab. 21: Relative Querschnittsflächen der Muskelfasertypen (%)

	STO-rel. FI.	FTO-rel. FI.	INT-rel. FI.	FTG-rel. FI.
Mittelwert	16,12%	39,92%	11,34%	32,62%
Standardfehler	1,37%	1,20%	0,97%	1,47%
Standardabweichung	7,88%	6,91%	5,60%	8,45%
Stichprobenvarianz	0,62%	0,48%	0,31%	0,71%
Minimum	5,84%	24,24%	2,87%	17,80%
Maximum	41,81%	54,11%	22,49%	55,40%
Anzahl	33	33	33	33

Tab. 22: Absolute Querschnittsflächen der Fasertypen (μm^2)

	STO-abs. FI.	FTO-abs. FI.	INT-abs. FI.	FTG-abs. FI.	Ges.-abs. FI.
Mittelwert	2461,24	2941,79	3694,48	5428,33	14525,84
Standardfehler	95,41	103,62	152,29	170,16	407,21
Standardabweichung	548,07	595,23	874,82	977,49	2339,25
Stichprobenvarianz	300382,32	354301,23	765305,86	955478,32	5472097,95
Minimum	1449,16	1937,66	2259,40	3729,75	10393,83
Maximum	3632,61	4076,37	5927,48	7688,84	19641,02
Summe	81220,81	97079,18	121917,68	179134,94	479352,60
Anzahl	33	33	33	33	33

Abb. 7: Darstellung der relativen Muskelfasertypenverteilung, sowie des FTO/FTG-Quotienten von Dressur- und Springpferden

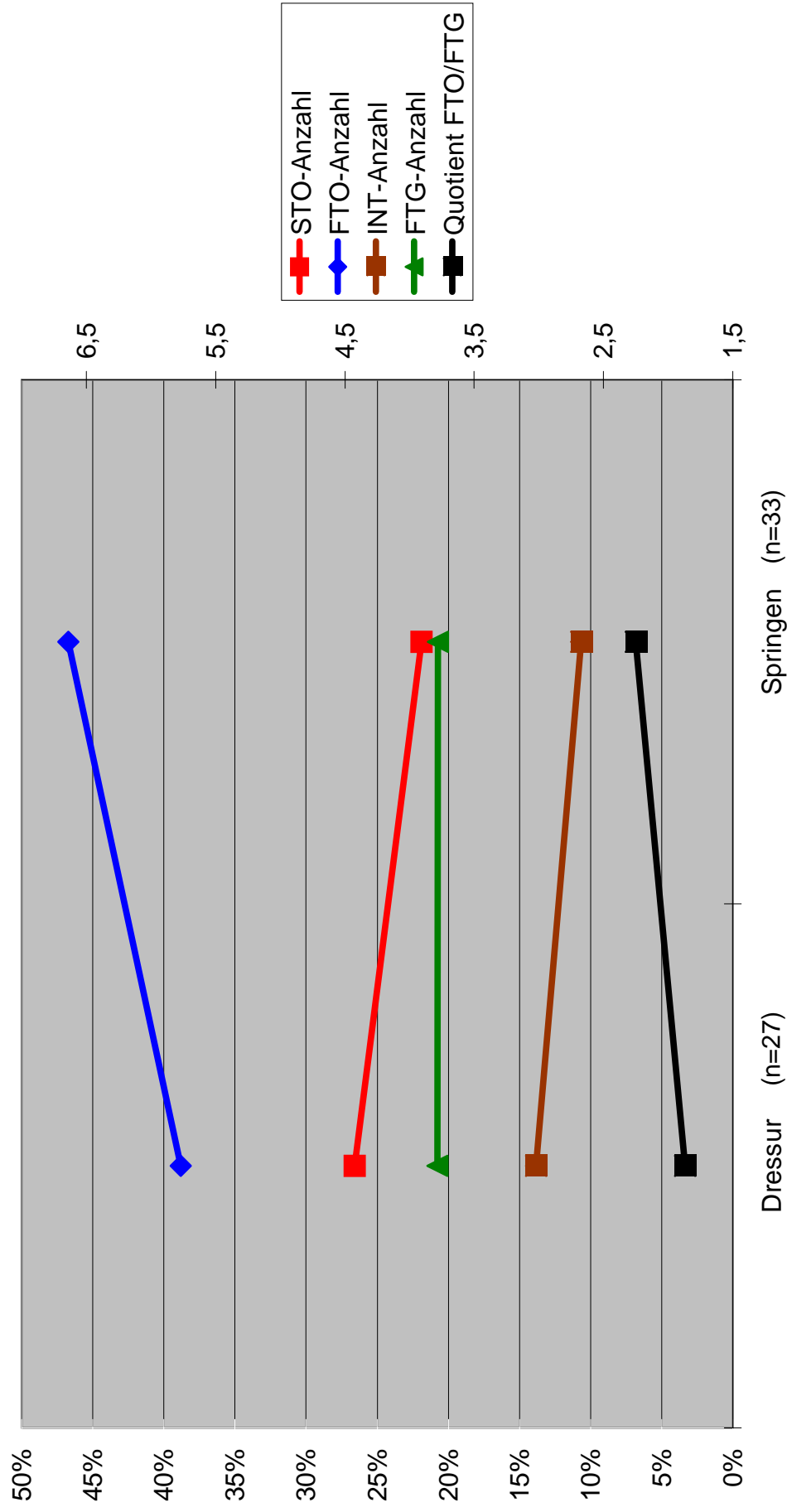
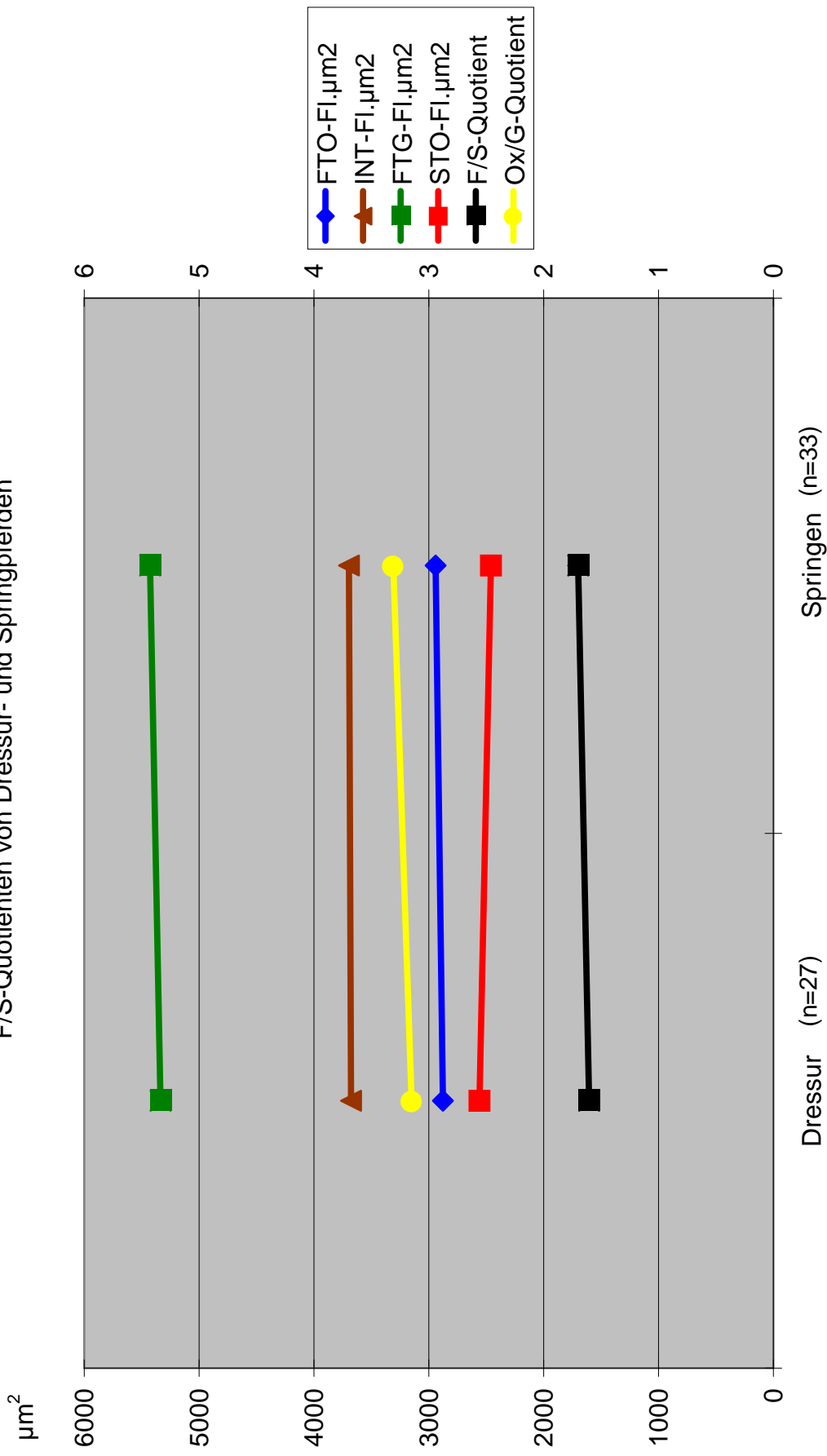


Abb. 8: Darstellung der mittleren Muskelfasertypenquerschnittsflächen, des Ox/G-Quotienten und des F/S-Quotienten von Dressur- und Springpferden



4.3

"Gekörte" und "Nicht gekörte" Hengste

"Nicht gekörte" Hengste

Tab. 23: Relative Häufigkeiten der Fasertypen (%)

	STO-rel.Anz.	FTO-rel.Anz.	INT-rel.Anz.	FTG-rel.Anz.
Mittelwert	25,04%	42,16%	12,31%	20,49%
Standardfehler	1,39%	1,37%	0,88%	0,84%
Standardabweichung	10,28%	10,17%	6,55%	6,25%
Stichprobenvarianz	1,06%	1,04%	0,43%	0,39%
Minimum	8,96%	22,28%	1,67%	8,71%
Maximum	56,93%	63,21%	33,78%	38,64%
Anzahl	55	55	55	55
F/S-Quotient	1,64			
Ox/G	3,28			
FTO/FTG	2,05			

Tab. 24: Relative Querschnittsflächen der Muskelfasertypen (%)

	STO-rel. Fl.	FTO-rel. Fl.	INT-rel. Fl.	FTG-rel. Fl.
Mittelwert	19,18%	35,80%	13,09%	31,93%
Standardfehler	1,34%	1,08%	0,92%	1,23%
Standardabweichung	9,94%	7,99%	6,81%	9,12%
Stichprobenvarianz	0,99%	0,64%	0,46%	0,83%
Minimum	5,84%	19,50%	2,87%	12,23%
Maximum	51,53%	54,11%	34,13%	55,40%
Anzahl	55	55	55	55

Tab. 25: Absolute Querschnittsflächen der Fasertypen (μm^2)

	STO-abs. Fl.	FTO-abs. Fl.	INT-abs. Fl.	FTG-abs. Fl.	Ges.-abs. Fl.
Mittelwert	2508,51	2908,80	3676,50	5335,37	14429,18
SF	70,68	73,00	115,35	137,08	312,99
S	524,19	541,39	855,43	1016,65	2321,18
Varianz	274772,25	293107,12	731761,53	1033575,14	5387859,47
Min.	1449,16	1937,66	2259,40	3479,05	10114,50
Max.	4269,59	3989,58	5927,48	7688,84	19641,02
Summe	137967,90	159984,18	202207,69	293445,34	793605,11
Anzahl	55	55	55	55	55

"Gekörte" Hengste

Tab. 26: Relative Häufigkeiten der Fasertypen (%)

	STO-rel.Anz.	FTO-rel.Anz.	INT-rel.Anz.	FTG-rel.Anz.
Mittelwert	19,98%	46,51%	11,47%	22,03%
Standardfehler	2,36%	2,49%	2,06%	2,51%
Standardabweichung	7,07%	7,47%	6,18%	7,53%
Stichprobenvarianz	0,50%	0,56%	0,38%	0,57%
Minimum	11,16%	29,06%	5,17%	11,25%
Maximum	34,69%	52,53%	25,00%	35,50%
Anzahl	9	9	9	9
F/S-Quotient	1,71			
Ox/G	3,02			
FTO/FTG	2,11			

Tab. 27: Relative Querschnittsflächen der Muskelfasertypen (%)

	STO-rel. FI.	FTO-rel. FI.	INT-rel. FI.	FTG-rel. FI.
Mittelwert	14,63%	38,70%	12,13%	34,53%
Standardfehler	2,18%	2,67%	2,52%	3,68%
Standardabweichung	6,53%	8,01%	7,56%	11,04%
Stichprobenvarianz	0,43%	0,64%	0,57%	1,22%
Minimum	7,08%	25,28%	5,64%	18,43%
Maximum	26,77%	48,97%	29,52%	50,57%
Anzahl	9	9	9	9

Tab. 28: Absolute Querschnittsflächen der Fasertypen (μm^2)

	STO-abs. FI.	FTO-abs. FI.	INT-abs. FI.	FTG-abs. FI.	Ges.-abs. FI.
Mittelwert	2464,25	2898,67	3600,98	5541,34	14505,24
Standardfehler	127,28	200,34	211,06	370,20	727,67
Standardabweichung	381,85	601,02	633,19	1110,59	2183,02
Stichprobenvarianz	145806,23	361229,59	400935,80	1233411,16	4765554,83
Minimum	1826,41	2316,27	2679,41	3940,08	10943,52
Maximum	3074,59	4076,37	4455,70	6931,85	16937,55
Summe	22178,25	26088,06	32408,83	49872,05	130547,19
Anzahl	9	9	9	9	9

Abb. 9: Darstellung der relativen Muskelfasertypenverteilung, des Ox/G- und des FTO/FTG-Quotienten von "Gekörten" und "Nicht Gekörten" Hengsten

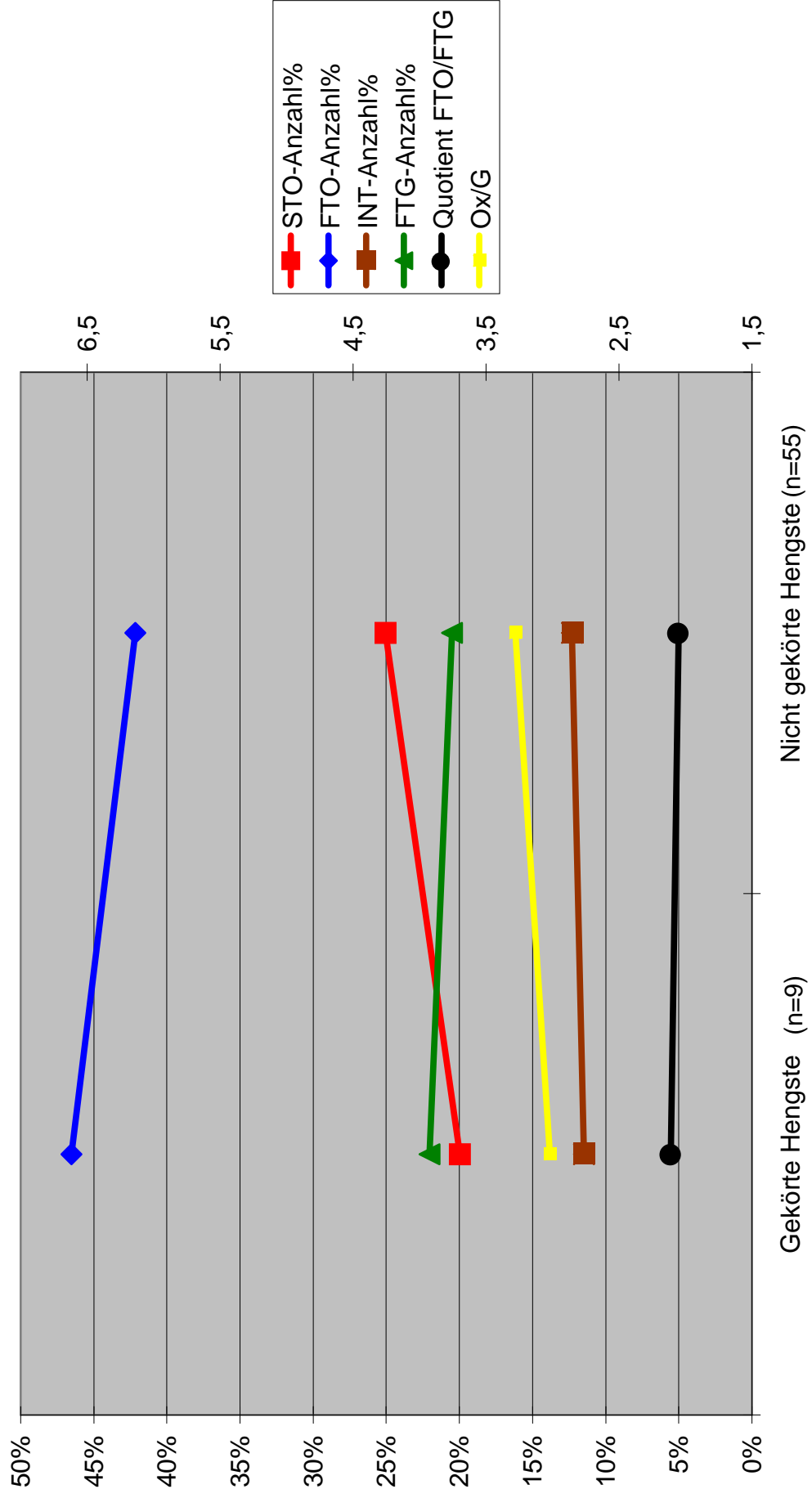
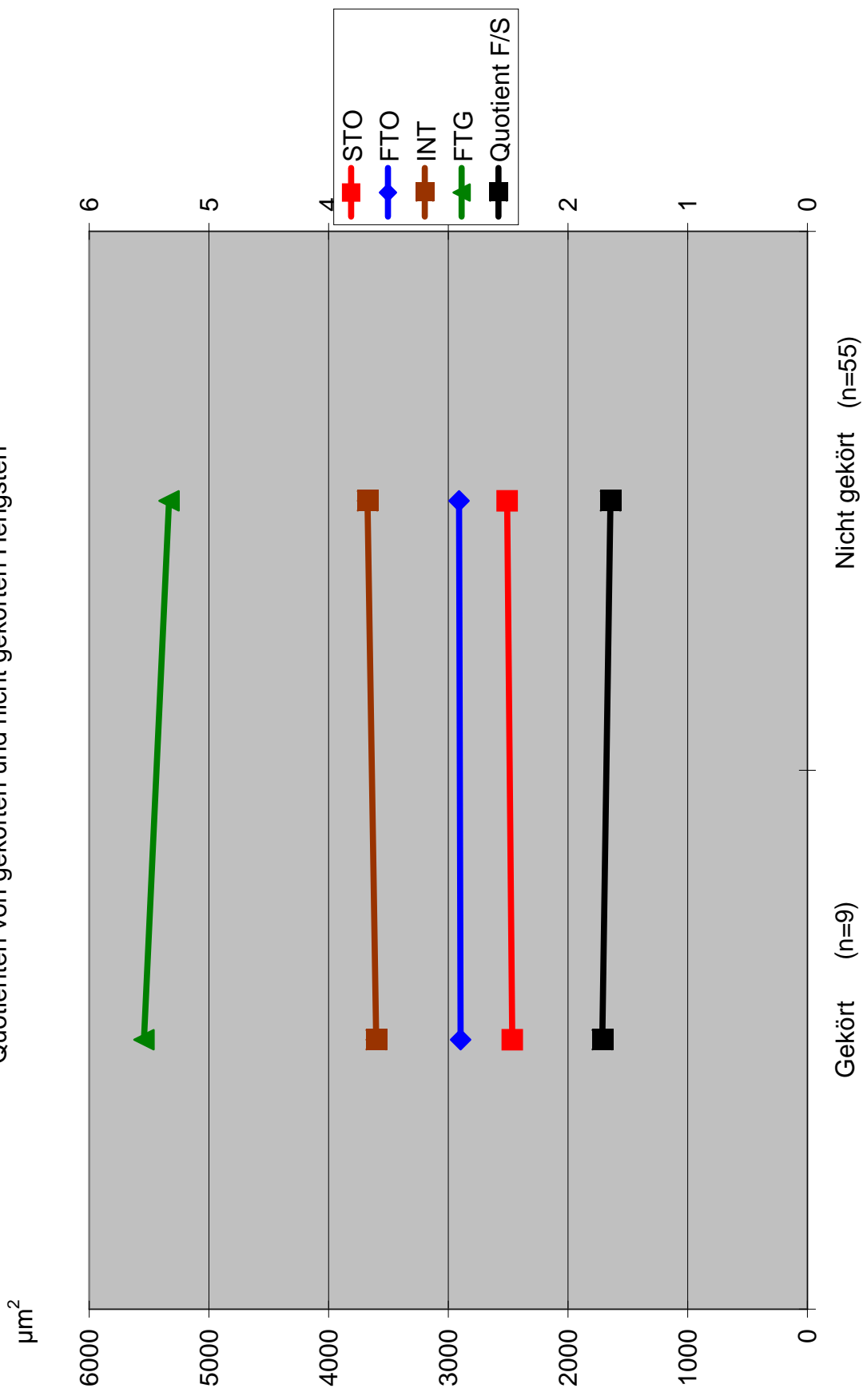


Abb. 10: Darstellung der mittleren Muskelfaserquerschnittsflächen, des Ox/G-Quotienten und des F/S-Quotienten von gekörnten und nicht gekörnten Hengsten



4.4

Nachkommen verschiedener Väter

Vater A

Tab. 29: Relative Häufigkeiten der Fasertypen (%)

	STO-rel.Anz.	FTO-rel.Anz.	INT-rel.Anz.	FTG-rel.Anz.
Mittelwert	29,31%	39,20%	11,94%	19,54%
Standardfehler	4,41%	2,70%	1,93%	2,50%
Standardabweichung	8,81%	5,39%	3,87%	4,99%
Stichprobenvarianz	0,78%	0,29%	0,15%	0,25%
Minimum	21,40%	33,74%	8,47%	14,92%
Maximum	40,73%	45,58%	17,21%	25,22%
<u>Anzahl der Nachkommen</u>	4	4	4	
F/S-Quotient	1,31			
Ox/G	3,51			
FTO/FTG	2,01			

Tab. 30: Relative Querschnittsflächen der Muskelfasertypen (%)

	STO-rel. FI.	FTO-rel. FI.	INT-rel. FI.	FTG-rel. FI.
Mittelwert	25,55%	36,50%	11,22%	26,73%
Standardfehler	3,51%	2,44%	2,00%	2,45%
Standardabweichung	7,02%	4,89%	4,00%	4,91%
Stichprobenvarianz	0,49%	0,24%	0,16%	0,24%
Minimum	19,50%	30,13%	7,46%	22,24%
Maximum	34,09%	41,55%	16,72%	31,87%
<u>Anzahl der Nachkommen</u>	4	4	4	

Tab. 31: Absolute Querschnittsflächen der Fasertypen (μm^2)

	STO-abs. FI.	FTO-abs. FI.	INT-abs. FI.	FTG-abs. FI.	Ges.-abs. FI.
Mittelwert	3222,73	3397,51	3428,69	5052,99	15101,9
SF	271,50	161,95	284,57	263,01	949,5
S	543,00	323,90	569,14	526,02	1899,1
Varianz	294854,05	104908,90	323921,64	276700,76	3606564,2
Min.	2465,99	2922,66	2593,57	4510,05	12492,2
Max.	3632,61	3607,10	3837,58	5556,05	16595,7
Summe	12890,91	13590,05	13714,78	20211,95	60407,6
<u>Anzahl</u>	4	4	4	4	

Vater B

Tab. 32: Relative Häufigkeiten der Fasertypen (%)

	STO-rel.Anz.	FTO-rel.Anz.	INT-rel.Anz.	FTG-rel.Anz.
Mittelwert	18,76%	45,06%	11,54%	24,64%
Standardfehler	4,00%	3,12%	4,29%	1,90%
Standardabweichung	6,93%	5,41%	7,42%	3,30%
Stichprobenvarianz	0,48%	0,29%	0,55%	0,11%
Minimum	11,16%	38,95%	2,99%	20,97%
Maximum	24,72%	49,25%	16,28%	27,36%
<u>Anzahl der Nachkommen</u>	3	3	3	
F/S-Quotient	1,71			
Ox/G	2,59			
FTO/FTG	1,83			

Tab. 33: Relative Querschnittsflächen der Muskelfasertypen (%)

	STO-rel. FI.	FTO-rel. FI.	INT-rel. FI.	FTG-rel. FI.
Mittelwert	13,12%	36,44%	12,34%	38,11%
Standardfehler	3,13%	2,65%	4,56%	2,58%
Standardabweichung	5,42%	4,59%	7,90%	4,47%
Stichprobenvarianz	0,29%	0,21%	0,62%	0,20%
Minimum	7,08%	32,38%	3,21%	32,95%
Maximum	17,59%	41,43%	17,08%	40,70%
<u>Anzahl der Nachkommen</u>	3	3	3	

Tab. 34: Absolute Querschnittsflächen der Fasertypen (μm^2)

	STO-abs. FI.	FTO-abs. FI.	INT-abs. FI.	FTG-abs. FI.	Ges.-abs. FI.
Mittelwert	2679,76	3151,05	4170,02	6039,99	16040,8
SF	191,46	224,49	254,84	453,29	1053,5
S	331,62	388,82	441,40	785,13	1824,8
Varianz	109969,81	151183,66	194835,51	616428,66	3330004,9
Min.	2347,18	2742,56	3669,13	5182,24	13941,1
Max.	3010,41	3516,65	4502,11	6723,10	17243,7
Summe	8039,27	9453,16	12510,06	18119,96	48122,4
<u>Anzahl</u>	3	3	3	3	

Vater C

Tab. 35: Relative Häufigkeiten der Fasertypen (%)

	STO-rel.Anz.	FTO-rel.Anz.	INT-rel.Anz.	FTG-rel.Anz.
Mittelwert	23,14%	51,37%	11,24%	14,24%
Standardfehler	2,41%	3,86%	0,88%	2,68%
Standardabweichung	4,17%	6,69%	1,53%	4,64%
Stichprobenvarianz	0,17%	0,45%	0,02%	0,22%
Minimum	19,00%	46,53%	10,20%	9,00%
Maximum	27,35%	59,00%	13,00%	17,81%
<u>Anzahl der Nachkommen</u>	3	3	3	
F/S-Quotient	2,00			
Ox/G	5,23			
FTO/FTG	3,61			

Tab. 36: Relative Querschnittsflächen der Muskelfasertypen (%)

	STO-rel. FI.	FTO-rel. FI.	INT-rel. FI.	FTG-rel. FI.
Mittelwert	15,67%	44,36%	14,11%	25,85%
Standardfehler	2,73%	3,80%	2,65%	4,04%
Standardabweichung	4,72%	6,58%	4,59%	7,00%
Stichprobenvarianz	0,22%	0,43%	0,21%	0,49%
Minimum	11,36%	38,40%	11,31%	17,80%
Maximum	20,72%	51,43%	19,41%	30,50%
<u>Anzahl der Nachkommen</u>	3	3	3	

Tab. 37: Absolute Querschnittsflächen der Fasertypen (μm^2)

	STO-abs. FI.	FTO-abs. FI.	INT-abs. FI.	FTG-abs. FI.	Ges.-abs. FI.
Mittelwert	1962,04	2510,23	3535,87	5334,31	13342,4
SF	275,96	207,70	72,99	295,62	720,9
S	477,98	359,75	126,42	512,03	1248,6
Varianz	228462,12	129423,01	15980,94	262176,24	1559209,0
Min.	1449,16	2111,70	3390,27	4791,18	11969,7
Max.	2395,05	2810,99	3617,72	5808,19	14410,8
Summe	5886,11	7530,70	10607,61	16002,94	40027,3
<u>Anzahl</u>	3	3	3	3	

Vater D

Tab. 38: Relative Häufigkeiten der Fasertypen (%)

	STO-rel.Anz.	FTO-rel.Anz.	INT-rel.Anz.	FTG-rel.Anz.
Mittelwert	21,04%	49,40%	11,50%	18,05%
Standardfehler	1,88%	2,01%	2,75%	1,32%
Standardabweichung	3,25%	3,48%	4,76%	2,28%
Stichprobenvarianz	0,11%	0,12%	0,23%	0,05%
Minimum	18,39%	45,59%	6,17%	16,73%
Maximum	24,67%	52,42%	15,33%	20,69%
<u>Anzahl der Nachkommen</u>	3	3	3	
F/S-Quotient	1,46			
Ox/G	3,9			
FTO/FTG	2,74			

Tab. 39: Relative Querschnittsflächen der Muskelfasertypen (%)

	STO-rel. FI.	FTO-rel. FI.	INT-rel. FI.	FTG-rel. FI.
Mittelwert	17,77%	40,65%	12,66%	28,92%
Standardfehler	2,30%	2,05%	2,27%	1,60%
Standardabweichung	3,98%	3,55%	3,94%	2,77%
Stichprobenvarianz	0,16%	0,13%	0,16%	0,08%
Minimum	14,13%	37,02%	8,12%	25,73%
Maximum	22,02%	44,13%	15,14%	30,68%
<u>Anzahl der Nachkommen</u>	3	3	3	

Tab. 40: Absolute Querschnittsflächen der Fasertypen (μm^2)

	STO-abs. FI.	FTO-abs. FI.	INT-abs. FI.	FTG-abs. FI.	Ges.-abs. FI.
Mittelwert	2457,85	2421,33	3398,68	4777,49	13055,3
Standardfehler	138,17	181,41	458,39	610,02	1186,0
Standardabweichung	239,31	314,21	793,96	1056,59	2054,2
Stichprobenvarianz	57271,35	98726,65	630367,67	1116376,48	4219930,5
Minimum	2277,19	2059,97	2506,40	3761,68	10695,1
Maximum	2729,27	2630,16	4027,15	5870,61	14440,4
Summe	7373,56	7263,99	10196,03	14332,46	39166,0
<u>Anzahl</u>	3	3	3	3	

Vater E

Tab. 41: Relative Häufigkeiten der Fasertypen (%)

	STO-rel.Anz.	FTO-rel.Anz.	INT-rel.Anz.	FTG-rel.Anz.
Mittelwert	17,88%	50,53%	10,97%	20,61%
Standardfehler	3,21%	3,13%	0,86%	2,14%
Standardabweichung	6,42%	6,26%	1,72%	4,27%
Stichprobenvarianz	0,41%	0,39%	0,03%	0,18%
Minimum	13,43%	42,79%	8,76%	15,92%
Maximum	27,07%	57,71%	12,94%	26,13%
<u>Anzahl der Nachkommen</u>	4	4	4	
F/S-Quotient	1,93			
Ox/G	3,32			
FTO/FTG	2,45			

Tab. 42: Relative Querschnittsflächen der Muskelfasertypen (%)

	STO-rel. FI.	FTO-rel. FI.	INT-rel. FI.	FTG-rel. FI.
Mittelwert	11,78%	41,93%	12,37%	33,91%
Standardfehler	2,30%	2,49%	1,22%	2,33%
Standardabweichung	4,60%	4,98%	2,45%	4,67%
Stichprobenvarianz	0,21%	0,25%	0,06%	0,22%
Minimum	6,85%	36,44%	8,87%	29,12%
Maximum	17,85%	46,28%	14,25%	40,32%
<u>Anzahl der Nachkommen</u>	4	4	4	

Tab. 43: Absolute Querschnittsflächen der Fasertypen (μm^2)

	STO-abs. FI.	FTO-abs. FI.	INT-abs. FI.	FTG-abs. FI.	Ges.-abs. FI.
Mittelwert	2274,90	2916,57	4031,14	5878,40	15101,0
SF	237,53	334,70	695,60	760,05	1932,6
S	475,06	669,39	1391,20	1520,11	3865,3
Varianz	225683,24	448085,93	1935426,11	2310732,64	14940865,3
Min.	1826,41	2316,27	2679,41	4121,44	10943,5
Max.	2867,14	3829,78	5927,48	7441,14	19641,0
Summe	9099,59	11666,28	16124,57	23513,60	60404,0
<u>Anzahl</u>	4	4	4	4	

Vater F

Tab. 44: Relative Häufigkeiten der Fasertypen (%)

	STO-rel.Anz.	FTO-rel.Anz.	INT-rel.Anz.	FTG-rel.Anz.
Mittelwert	16,91%	50,84%	9,05%	23,20%
Standardfehler	5,33%	6,20%	1,48%	4,56%
Standardabweichung	9,23%	10,75%	2,57%	7,90%
Stichprobenvarianz	0,85%	1,15%	0,07%	0,62%
Minimum	8,96%	43,78%	7,55%	17,17%
Maximum	27,04%	63,21%	12,02%	32,14%
<u>Anzahl der Nachkommen</u>	3	3	3	
F/S-Quotient	1,70			
Ox/G	2,92			
FTO/FTG	2,19			

Tab. 45: Relative Querschnittsflächen der Muskelfasertypen (%)

	STO-rel. FI.	FTO-rel. FI.	INT-rel. FI.	FTG-rel. FI.
Mittelwert	12,68%	41,17%	8,98%	37,18%
Standardfehler	5,26%	6,50%	1,21%	6,32%
Standardabweichung	9,10%	11,26%	2,09%	10,94%
Stichprobenvarianz	0,83%	1,27%	0,04%	1,20%
Minimum	5,84%	33,61%	7,46%	29,84%
Maximum	23,01%	54,11%	11,37%	49,76%
<u>Anzahl der Nachkommen</u>	3	3	3	

Tab. 46: Absolute Querschnittsflächen der Fasertypen (μm^2)

	STO-abs. FI.	FTO-abs. FI.	INT-abs. FI.	FTG-abs. FI.	Ges.-abs. FI.
Mittelwert	2277,83	2571,38	3190,14	5182,40	13221,7
SF	328,92	213,62	181,32	420,43	1042,2
S	569,71	370,00	314,06	728,21	1805,1
Varianz	324573,83	136903,29	98636,15	530293,06	3258603,8
Min.	1809,49	2144,36	2855,51	4497,84	11307,2
Max.	2912,08	2796,74	3478,50	5947,56	14892,7
Summe	6833,49	7714,15	9570,43	15547,20	39665,2
<u>Anzahl</u>	3	3	3	3	

Vater G

Tab. 47: Relative Häufigkeiten der Fasertypen (%)

	STO-rel.Anz.	FTO-rel.Anz.	INT-rel.Anz.	FTG-rel.Anz.
Standardfehler	3,24%	1,52%	3,43%	2,87%
Standardabweichung	6,47%	3,03%	6,86%	5,73%
Stichprobenvarianz	0,42%	0,09%	0,47%	0,33%
Minimum	30,42%	24,76%	10,95%	8,71%
Maximum	46,19%	31,67%	27,33%	22,08%
<u>Anzahl der Nachkommen</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	
F/S-Quotient	1,22			
Ox/G	4,22			
FTO/FTG	1,80			

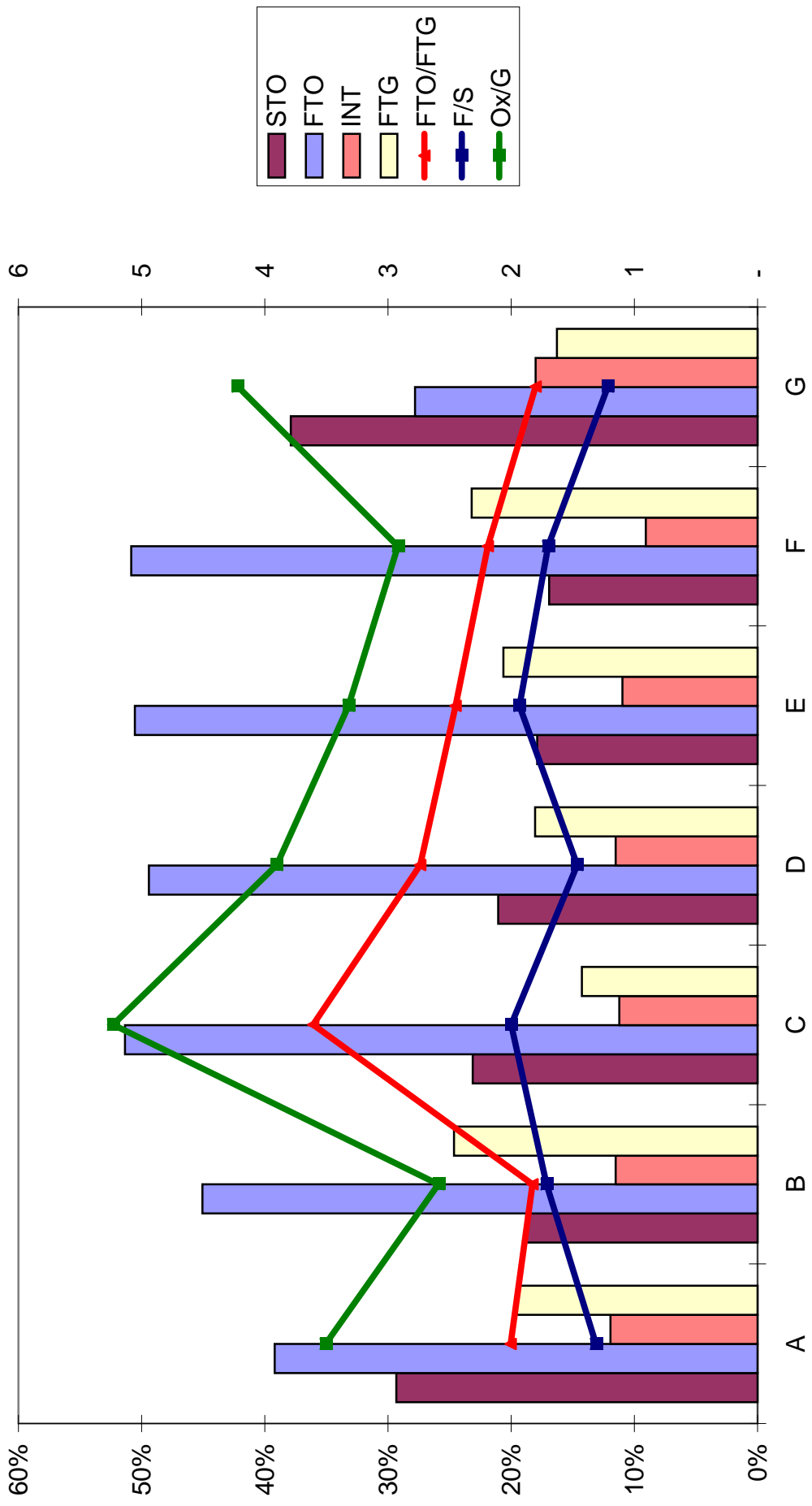
Tab. 48: Relative Querschnittsflächen der Muskelfasertypen (%)

	STO-rel. FI.	FTO-rel. FI.	INT-rel. FI.	FTG-rel. FI.
Mittelwert	33,93%	24,92%	20,06%	21,09%
Standardfehler	1,80%	1,28%	2,19%	3,20%
Standardabweichung	3,59%	2,56%	4,39%	6,40%
Stichprobenvarianz	0,13%	0,07%	0,19%	0,41%
Minimum	30,01%	23,16%	13,88%	12,23%
Maximum	38,72%	28,59%	24,27%	27,52%
<u>Anzahl der Nachkommen</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	

Tab. 49: Absolute Querschnittsflächen der Fasertypen (μm^2)

	STO-abs. FI.	FTO-abs. FI.	INT-abs. FI.	FTG-abs. FI.	Ges.-abs. FI.
Mittelwert	3289,66	2950,65	3526,52	5054,27	14821,1
SF	328,12	319,52	312,32	320,07	1009,8
S	656,23	639,04	624,64	640,15	2019,7
Varianz	430643,62	408367,01	390179,17	409787,62	4079384,0
Min.	2919,10	2604,84	2590,76	4094,27	12421,2
Max.	4269,59	3907,51	3860,78	5393,58	17364,4
Summe	13158,63	11802,60	14106,09	20217,07	59284,3
<u>Anzahl</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	

Abb. 11: Spektrum der morphometrischen Muskelindices von Hengsten mit mindestens 3 Nachkommen



5. Diskussion

5.1 Analyse der Fasertypenkomposition von Pferden verschiedener Zuchtgebiete

Über variierende Muskelfasertypenzusammensetzungen des *M. gluteus medius* bei Pferden verschiedener Rassen ist des öfteren berichtet worden (SNOW u. GUY 1980; RIVERO et al. 1996 b). Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, daß selbst Pferde verschiedener Rassen innerhalb der deutschen Warmblut-Zucht unterschiedliche Fasertypenkompositionen aufweisen.

Die Warmblutpferde Trakehner Abstammung besitzen mit 35,9 % den höchsten Mittelwert der relativen STO-Faseranzahl. Den niedrigsten prozentualen STO-Faseranteil zeigen Pferde des Zuchtgebietes Westfalen mit einem Wert von 18,1 % (Abb. 4, Tab. 8, 11). Durch eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) ermittelte Werte bescheinigen den zwischen Pferden verschiedener Warmblutrassen variierenden STO-Faseranteilen eine hohe Signifikanz ($p < 0,001$). Die vorliegenden Ergebnisse sind schwer mit den von SNOW und GUY (1980) festgestellten zu vergleichen, da diese Autoren keine Angaben zur gewählten Entnahmetiefe machen. Sie berichten von 6,8 % STO-Fasern bei Quarterhorse-Pferden, 12,5 % bei Vollblütern, 14,4 % bei Arabern bis hin zu 30,8 % bei Schweren Hunttern und folgern daraus, daß diese signifikanten Differenzen mit der Sprintgeschwindigkeit der jeweiligen Rasse korrelieren.

Zieht man in Betracht, daß der STO-Faseranteil mit zunehmender Biopsietiefe als Ausdruck statischer Funktionen ansteigt (RIVERO et al. 1996 a), so ist zu vermuten, daß die genannten Werte aus Biopstaten oberflächlicherer Muskelschichten stammen. Eine Vergleichbarkeit muskelmorphologischer Indizes ist eher bei verschiedenen Entnahmeorten innerhalb einer Muskelschicht bei gleichbleibender Entnahmetiefe gegeben als bei Biopstaten aus unterschiedlichen Tiefen des *M. gluteus medius* (LOPEZ-RIVERO et al. 1993). Deshalb könnte ein variierender Entnahmeort ein möglicher Erklärungsansatz für die unterschiedliche Fasertypenkomposition der untersuchten Warmblut-Rassen sein. Eine geringe Körpergröße bzw. ein geringer Umfang des *M. gluteus medius*, würde in einer tieferen Biopstatentnahme resultieren, während der umgekehrte Fall einen mehr oberflächlich gelegenen Entnahmeort zur Folge hätte.

Demzufolge würden selbst bei einer standardisierten Biopotentnahmetiefe kleinere oder weniger gut entwickelte Pferde einen höheren STO-Faseranteil aufweisen. Da jedoch in vorliegender Studie Pferde desselben Alters verwendet wurden und infolgedessen nennenswerte Körper- größenunterschiede nicht bestanden, sind die genannten, geringen Abweichungen zu vernachlässigen.

RIVERO et al. (1996 a) geben für Chilenische Zugpferde in Biopoten aus einer Einstichtiefe von 6 Zentimetern einen STO-Faseranteil von 49 % an. Dieser liegt bei der Entnahme aus einer unbedeutend tieferen Muskelschicht deutlich höher als die Werte hier untersuchter Rassen. Biopsien von Quarterhorse-Pferden aus einer Tiefe von 8 Zentimetern weisen einen prozentualen Anteil langsam-kontrahierender Muskelfasern von 20,8 % auf (GREENE et al. 1995). Dieser Wert ist unter Berücksichtigung der erheblich tieferen Entnahme im Vergleich zu den untersuchten Warmblut-Pferderassen als sehr gering einzustufen. Bei Araber-Hengsten wurden relative STO-Faseranzahlen in 4 Zentimetern Tiefe von 32 %, und in 6 Zentimetern Tiefe von 40 % vorgefunden (RIVERO et al. 1996 c). Bei einer Entnahmetiefe von 5 Zentimetern lassen sich in diesem Bereich die Werte der Trakehner-Pferde einordnen, die anderen Rassen zeigen jedoch deutlich niedrigere relative Werte. Ähnlich verhält es sich mit Angaben über Andalusier-Hengste (RIVERO et al. 1996 c), die in 4 Zentimetern Tiefe 27 % und in 6 Zentimetern 38 % STO-Fasern aufweisen. Es wurde bewiesen, daß die genannten Unterschiede im STO-Faseranteil von Arabern und Andalusiern signifikant sind; umso größer erscheinen die Differenzen zwischen den hier analysierten Rassen.

Nach GALISTEO et al. (1992) besitzen Andalusier-Jährlinge 18,5 % und Araber-Jährlinge 21,1 % STO-Fasern. Diese Angaben scheinen niedrig zu sein, relativieren sich aber bei Berücksichtigung der Biopsieentnahmetiefe von 2, 5 Zentimetern. Da sich die STO-Faseranzahl in einer Tiefe von 3 Zentimetern bis zu 9 Zentimetern um hundert Prozent steigern kann (RIVERO et al. 1996 a), liegen die Werte wahrscheinlich bei tieferer Probenentnahme etwa zwischen den Werten der Trakehner und denen der anderen Warmblut-Zuchtgebiete. In diesem Bereich läßt sich auch die von TAYLOR und BRASSARD (1981) ermittelte relative STO-Fasertypenhäufigkeit bei Standardzucht-Trabern einordnen.

Auffallend beim Vergleich der relativen Häufigkeiten der schnell-kontrahierenden Muskelfasern ist, daß hier die Trakehner mit 33,8 % den geringsten Wert der FTO- und mit 16,1 % ebenfalls den geringsten Wert der FTG-Fasern besitzen (Abb. 4). Den höchsten prozentualen FTO-Faseranteil zeigen, wiederum ein Extrem einnehmend, die Westfalen, während sie im FTG-Faseranteil mit 23,1 % nur von den Oldenburger-Pferden mit 23,2 % überboten werden (Tab. 8, 11).

Aus der Gruppe der schnell-kontrahierenden Muskelfasertypen erreichen nur die Differenzen der FTO-Faseranteile Signifikanz (einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA, $p < 0,01$). Den Höchstwert im Intermediärtyp-Faseranteil zeigen mit 14,2 % die Trakehner, den niedrigsten Wert die Westfalen mit 9,5 %. Mit einer Größenordnung von unter 15 % der Intermediärtyp-Fasern wird ein möglicher Klassifizierungsfehler bei der Differenzierung der schnell-kontrahierenden Muskelfasern gering gehalten, da die Einteilung in nur 2 Arten von schnellen Fasern eine Verfälschung des FTO- und FTG-Fasergehaltes mit sich bringt. Der Anteil der Fasern des Intermediärtyps würde mittels der mATP-ase-Histochemie hauptsächlich zu Lasten des FTG-Faserwertes eingeteilt werden (RIVERO 1996 c).

Beachtenswert erscheint, daß bei den Pferden von Zuchtgebieten, welche die Gipfelwerte einnehmen, Trakehner und Westfalen, die Differenz zwischen den prozentualen STO-Faseranteilen und die Differenz zwischen ihren prozentualen FTO-Faseranteilen ähnlich hoch ist. Diese weichen mit 17,8 % und 15,5 % nur unwesentlich voneinander ab und suggerieren einen umgekehrt proportionalen Zusammenhang der beiden genannten relativen Fasertypenhäufigkeiten (Abb. 4, 5). Bei den Trakehnern präsentiert sich sogar ein FTO-Faserwert, der unter dem Wert der STO-Fasern liegt, während er bei den Pferden anderer Rassen ein Vielfaches der Anzahl langsam-kontrahierender Muskelfasern erreicht.

Das kontroverse Verhältnis zwischen STO- und FTO-Fasern läßt sich auch bei den anderen Rassen erkennen. Zeigt ein Zuchtgebiet einen höheren STO-Faseranteil als ein anderes, beispielsweise Hannover um 5,7 % größer als Holstein, so bietet letztgenanntes einen etwa um die gleiche Differenz größeren FTO-Faserwert. Dieser liegt bei Holsteinern um 5 % höher als bei Hannoveranern. Die Rangierung der Zuchtgebiete bleibt also jeweils erhalten, verhält sich aber umgekehrt. Als kaum betroffen von diesen Schwankungen erweisen sich die Anteile der Intermediärtyp- und FTG-Fasern, deren Variationen

zwischen den Pferden verschiedener Zuchtgebiete als Ausdruck dessen auch keine Signifikanz aufweisen. Daraus kann gefolgert werden, daß bei Pferden verschiedener Rassen, unter Ausschluß anderer Einflußfaktoren, eine negative Korrelation zwischen dem STO- und dem FTO-Faseranteil besteht.

Diese Befunde resultieren in einem etwa gleichbleibenden Ox/G-Quotienten bei den Zuchtgebieten Hannover, Holstein, Westfalen und Oldenburg zwischen 3,23 und 2,86. Die Trakehner weisen mit einem Wert von 4,33 ein deutlich höheres Verhältnis der oxidativen zu glykolytischen Muskelfasern auf (Abb. 4, Tab.2, 5, 8, 11, 14).

Die Ergebnisse gehen einerseits mit der Feststellung von RIVERO et al. (1996 b) konform, welche beim Vergleich der Muskelfasercharakteristika bei Pferden verschiedener Rassen entdeckten, daß Araber-Pferde eine höhere oxidative Kapazität besitzen als Andalusier, decken sich jedoch nicht mit ihrer Beobachtung, daß sich eine Rasse gegenüber einer anderen durch höhere STO- sowie höhere FTO-Faseranteile auszeichnet.

Die für Araber und Andalusier genannten relativen FTO-Faserwerte von 38 % bzw. 37 % bei einer Entnahmetiefe von 4 Zentimetern und von 40 % bzw. 37 % in einer Tiefe von 6 Zentimetern reihen sich hinter den Trakehnern und vor den Hannoveranern ein, wie es sich bereits ähnlich bei der STO-Faserhäufigkeit verhalten hat. RIVERO et al. (1996 c) sprechen den, mit einem höheren Anteil oxidativer Muskelfasern ausgestatteten, Arabern ein größeres Leistungspotential für Ausdauerarbeit bei niedriger Intensität zu. In übertragenem Sinne trüfe diese Aussage umso stärker auf Trakehner zu, denen bekanntermaßen immer wieder eine besondere Härte und Ausdauer zugesprochen wird.

Im Vergleich zwischen Maultieren und Quarterhorse-Pferden entdeckten GREENE et al. (1995) dieselben Relationen, wie sie in vorliegender Studie auftreten. Maultiere besitzen mehr STO-, weniger FTO- und weniger FTG-Fasern als Pferde genannter Rasse. Das Ox/G-Verhältnis zeigt sich bei Maultieren deutlich höher. Auch diese Autoren interpretieren ihre Befunde dahingehend, daß dieses als Eignung für ermüdungsresistente, langandauernde Arbeit bei geringer Intensität zu werten ist. Die angegebenen relativen Werte für FTO- und FTG-Fasern bei Quarterhorse-Pferden von 47,4 % bzw. 31,5 % liegen im oberen Bereich bzw. weit über den Werten der Warmblut-Rassen, was umso mehr an Bedeutung gewinnt, wenn man die Entnahmetiefe von 8

Zentimetern berücksichtigt. Mit zunehmender Eindringtiefe in den M. gluteus medius nimmt der Anteil der schnell-kontrahierenden, glykolytischen Muskelfasern ab (RIVERO et al. 1993 b; RIVERO et al. 1996 a). Die FTO-Faseranzahl wird nicht von der Entnahmetiefe beeinflusst.

Auch beim Menschen sind vergleichbare Relationen zwischen Angehörigen unterschiedlicher Rassen dargelegt worden. Farbige Afrikaner besitzen weniger STO- und einen höheren Prozentsatz FTO-Fasern als Kaukasier (AMA et al. 1986). Es wurden dabei weder signifikante Differenzen hinsichtlich der FTG-Faserproportion noch in Bezug auf die Größe der Faserquerschnittsflächen festgestellt. Die Autoren vermuten, daß untrainierte, schwarze Afrikaner aufgrund ihrer Muskelcharakteristika gut für Sportdisziplinen von kurzer Dauer geeignet sind.

Chilenische Zugpferde besitzen in einer Entnahmetiefe von 6 Zentimetern einen FTO-Faseranteil von 25 % sowie 27 % FTG-Fasern (RIVERO et al. 1996 a). Die relative FTO-Faserhäufigkeit liegt damit deutlich unter allen Mittelwerten der untersuchten Pferde deutscher Warmblut-Zuchtgebiete. Der scheinbar höhere prozentuale FTG-Faserwert kommt dadurch zustande, daß in der genannten Studie die Einteilung der schnell-kontrahierenden Muskelfasern lediglich in FTO- und FTG-Fasern vorgenommen wurde, wohingegen in der vorliegenden Arbeit ein geringer Faseranteil auf Muskelfasern des Intermediärtyps entfällt. Ebenso sind die von TAYLOR und BRASSARD (1981) veröffentlichten relativen Häufigkeiten von 29 % FTO- und 41 % FTG-Fasern bei Trabern der Standardrasse zu beurteilen, wobei jedoch keine Angaben zur Biopsieentnahmetiefe vorliegen.

Die von GALISTEO et al. (1992) publizierten relativen FTO-Faseranzahlen von 34,6 % für Andalusier-Jährlinge und 39,7 % für Araber-Jährlinge können wiederum zwischen den FTO-Faserwerten von Trakehnern und denen der anderen Warmblutrassen eingeordnet werden. Die Jährlinge der Rasse Andalusier besitzen demnach 46,8 %, Gleichaltrige Araber 39,1 % FTG-Muskelfasern. Diese Werte erscheinen wiederum sehr hoch, werden jedoch einerseits durch die bereits genannte unterschiedliche Klassifizierung und andererseits durch die oberflächliche Entnahme aus 2, 5 Zentimetern Tiefe gemindert. In der oberflächlichen Region von 3 Zentimetern Tiefe befinden sich um 67 % mehr FTG-

Fasern als in tieferen Schichten des M. gluteus medius von 9 Zentimetern Tiefe (RIVERO et al. 1996 a).

Die bei verschiedenen morphometrischen Parametern wiederholte Möglichkeit der Einordnung von Warmblütern Trakehner Abstammung zwischen die Werte von Arabern und denen anderer Warmblut-Rassen, könnte als ein Hinweis auf ihre Zuchtgeschichte zu verstehen sein. Zu Beginn wirkten bei dieser Rasse zahlreiche, auserlesene orientalische Hengste in der Zucht, denen der Trakehner bis heute wichtige Wesenszüge und Exterieurmerkmale verdankt (BASCHÉ 1991). In diesem Zusammenhang ist die Tatsache zu nennen, daß eine Beeinflussung des mittleren prozentualen STO- und FTO-Faseranteils der Hannoveraner durch Trakehner-Zuchthengste stattfindet. Diejenigen Hannoveraner, die einen Trakehner zum Vater haben, weisen einen mittleren STO-Faseranteil von 33,7 % und einen FTO-Anteil von 29,3 % auf. Damit liegen diese Pferde bezüglich der genannten Parameter deutlich über bzw. unter den Mittelwerten der anderen Hannoveraner.

Betrachtet man die Relationen der verschiedenen Warmblut-Pferderassen untereinander, betreffend der relativen Fasertypenanzahl und der relativen Faserquerschnittsfläche für je einen Fasertyp, so fällt auf, daß die Rangierung der Zuchtgebiete sehr ähnlich ausfällt. Der Korrelationskoeffizient für die relative Anzahl und die relative Fläche der STO-Muskelfasern beträgt 0,96, der für dieselben Kriterien der FTO-Fasern 0,92, für Fasern des Intermediärtyps 0,96 und der Korrelationskoeffizient der genannten Werte der FTG-Fasern ist 0,94 (Abb. 5). Somit ist es ausreichend, eines dieser beiden Kriterien zu bestimmen, um Relationen zwischen verschiedenen Kategorien herzustellen. Allerdings existieren Unterschiede insofern, als daß die Differenzen zwischen den Werten für die relative Fläche neben einer hohen Signifikanz für die langsamen Fasern ($p < 0,001$) auch für die schnell-kontrahierenden, glykolytischen Muskelfasern signifikant (beide: einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA, $p < 0,01$) sind.

Ein gleichbleibendes Verhältnis der Rassen zueinander betreffend der relativen Fasertypenhäufigkeit und der prozentualen Fläche, die die Fasern eines Typs einnehmen, kann nur zustandekommen, wenn die Werte der absoluten Faserquerschnittsfläche relativ indifferent sind. Die Durchführung einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) liefert zwar Signifikanz für die Unterschiede ($p < 0,05$) hinsichtlich der absoluten Fläche der STO-

Fasern, aber die Werte liegen mit $2392 \mu\text{m}^2$ bei Holsteinern und $2956 \mu\text{m}^2$ bei Trakehnern in einem Bereich, der sich durch die hohe Korrelation zwischen der relativen Anzahl und der relativen Fläche eines Fasertypen rechnerisch nur in geringem Maße auf die Relation der Rassen zueinander auswirkt.

Trakehner besitzen die größte mittlere Querschnittsfläche der STO-Fasern (Abb. 6, Tab. 13). Die variierenden Werte für die Faserfläche der langsam-kontrahierenden Muskelfasern weisen eine schwache Signifikanz auf (einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA, $p < 0,05$). Auch bei der Fläche der FTO-Fasern liegen die Trakehner mit $3213 \mu\text{m}^2$ zusammen mit $3218 \mu\text{m}^2$ der Oldenburger (Tab. 16) im oberen Bereich. Die Oldenburger-Pferde halten sich bezüglich der Faserquerschnittsfläche auch bei den Fasern des Intermediärtyps mit $4012 \mu\text{m}^2$ und des Typs FTG mit $5877 \mu\text{m}^2$ an der Spitze, während die Trakehner in der letztgenannten Kategorie mit $5180 \mu\text{m}^2$ den Minimalwert liefern. Jedoch sind die Querschnittsflächen der schnell-kontrahierenden Muskelfasern der 5 Rassen nicht signifikant ($p > 0,05$) verschieden.

Beide zuvor genannten Zuchtgebiete sind es auch, die die Reihenfolge der Rassen hinsichtlich der mittleren absoluten Gesamtfläche aller Muskelfasertypen anführen. Oldenburger Pferde bieten den Gipfelwert von $15861 \mu\text{m}^2$, und die Trakehner folgen mit $14993 \mu\text{m}^2$. Den geringsten Wert weisen die Westfalen mit $13877 \mu\text{m}^2$ auf (Tab. 10). Diese Differenzen können jedoch nicht als signifikant ($p > 0,05$) beschrieben werden.

Im Vergleich zur Fasertypenquerschnittsfläche bei untrainierten Standardzucht-Trabern (TAYLOR u. BRASSARD 1981) zeigen sich deutliche Unterschiede. Die Traber besitzen mit $1429 \mu\text{m}^2$ eine mittlere STO-Faserfläche, die um 43% kleiner ist als die mittlere STO-Faserquerschnittsfläche aller untersuchten Warmblut-Pferde von $2502 \mu\text{m}^2$. Auch die Fläche der FTG-Fasern von Trabern der Standardzucht-Rasse erweist sich geringer zu sein, liegt aber mit $4820 \mu\text{m}^2$ nur wenig unter ihrem mittleren Wert der Fläche der Warmblüter von $5364 \mu\text{m}^2$. Bei der Querschnittsfläche der FTO-Fasern verhält es sich umgekehrt. Mit einem Wert von $4237 \mu\text{m}^2$ liegen die Traber um 31 % höher als die Warmblut-Hengste mit $2907 \mu\text{m}^2$ (Tab. 52).

Die Tatsache, daß die Trakehner die größten STO-Fasern jedoch die kleinsten FTG-Fasern besitzen, bewirkt bei der Berechnung des F/S-Quotienten mit 1,42 den niedrigsten

Wert aller untersuchten Rassen (Tab. 11). Allein ein größerer Wert für die STO-Faserquerschnittsfläche im Nenner des Quotienten würde genügen, um ihn zu dezimieren. Hinzukommend wird der F/S-Quotient durch einen niedrigeren Flächenwert der schnellen Muskelfasern im Zähler des Bruches verringert. Bei Pferden aller anderen Rassen bewegt sich das Verhältnis der Querschnittsflächen von schnell- zu langsam-kontrahierenden Muskelfasern in einem engen Rahmen von 1,75 bei Holsteinern und 1,61 bei Westfalen (Tab. 5, 8). Beeindruckend ist, daß ausgerechnet bei den Pferden mit der signifikant höchsten Anzahl langsamer Fasern, diese auch signifikant am größten sind.

Die Größe der Muskelfaserquerschnittsfläche ist insofern von Bedeutung, als eine Beziehung zwischen ihr und der isometrischen Kraft besteht, die während der Muskelkontraktion entwickelt werden kann (HILL 1950). STO-Fasern sind kleiner als FTO-Muskelfasern gefolgt von Fasern des Intermediärtyps, und am größten zeigen sich FTG-Fasern. Diese Reihenfolge ist sowohl in der Gesamtauswertung aller analysierten Pferde (Tab. 52) als auch nach Aufteilung in unterschiedlich zusammengesetzte Gruppen stets hochsignifikant (einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA, $p < 0,001$) nachvollziehbar. Da die kleineren Fasertypen relativ besser kapillarisiert sind und darin kürzere Diffusionsstrecken zu überwinden sind, besitzen sie eine größere Kapazität für die Diffusion von Sauerstoff und Substraten einerseits sowie für die Eliminierung von Laktat und anderen Metaboliten andererseits (ESSEN-GUSTAVSSON et al. 1989; RIVERO et al. 1996 a).

Der Vergleich des FTO/FTG-Quotienten läßt nahe beieinanderliegende Werte von 1,99 bei Oldenburgern bis zu 2,14 bei Westfalen erkennen (Tab. 8, 14). Für die an diesem Quotienten beteiligten Meßwerte existieren zahlreiche Einflußgrößen. Mit zunehmendem Alter steigt der FTO-Fasergehalt an und der FTG-Faseranteil sinkt, sodaß der FTO/FTG-Quotient größer wird (GALISTEO et al. 1992). Außerdem besitzen Hengste einen höheren FTO- sowie einen geringeren FTG-Faseranteil als Stuten (RIVERO et al. 1996 c). Folglich beeinflußt auch das Geschlecht den genannten Quotienten.

Des weiteren wird der Wert durch Training verändert, da sich ein geeignetes Trainingsprogramm ebenfalls als eine Erhöhung der relativen FTO-Faseranzahl darstellt, während der prozentuale Gehalt an FTG-Fasern im Gegenzug dezimiert wird (ESSEN-GUSTAVSSON u. LINDHOLM 1985; GOTTLIEB et al. 1989; SNOW u. VALBERG 1994; MISUMI et al. 1995). Ein ähnliches Verhältnis der verschiedenen Rassen von oxidativen

zu glykolytischen schnell-kontrahierenden Muskelfasern ist insofern nicht verwunderlich, da gleichaltrige, untrainierte Pferde desselben Geschlechts als Probanden dienen.

5.2 Die Einteilung anhand der Eignung für sportliche Disziplinen

Der Versuch, anhand morphometrischer Kriterien eine bestimmte Leistungskapazität vorherzusagen, ist nicht neu. Es ist möglich, durch die Betrachtung des Fasertypenspektrums, die Leistung von Pferden in Distanzritten einzuschätzen (RIVERO et al. 1993). Für erfolgreiche Distanzpferde wurde ein höherer STO- und FTO-Faseranteil als bei weniger erfolgreichen nachgewiesen. Auch bei Rennpferden sind Beziehungen zwischen der Leistungskapazität und Muskelcharakteristika aufgedeckt worden (SNOW u. GUY 1981; WOOD et al. 1988).

Für die Untersuchung der Fasertypenkomposition wurde der M. gluteus medius wegen seiner enormen Bedeutung für die Vorwärtsbewegung gewählt (LINDHOLM u. PIEHL 1974). Der Muskel zeigt die größten Unterschiede zwischen Pferden verschiedener Abstammung, und diese Differenzen könnten in einer Relation zu der Art von Leistung stehen, für welche das Tier am besten geeignet ist (SNOW u. GUY 1980).

Die Hengste mit einer dressurbetonten Abstammung weisen mit 26,6 % einen signifikant höheren STO-Fasergehalt auf als die springorientiert gezogenen mit 21,9 % (t-Test, einseitig, $p < 0,05$; Abb. 7, Tab. 17, 20). Vergleicht man diese Werte mit denen von Galopprennpferden, so liegen sie deutlich höher. Die Vollblüter besitzen einen STO-Faseranteil von 13,2 % (RIVERO et al. 1996 b). Allerdings muß dabei berücksichtigt werden, daß diese Anzahl aus einer oberflächlichen Muskelbiopsie von 2 Zentimetern Tiefe gewonnen wurde. Eine Muskelbiopsie aus 3 Zentimetern Tiefe des M. gluteus medius enthält um 39 % weniger STO-Fasern als die aus einer Tiefe von 6 Zentimetern entnommene (RIVERO et al. 1996 a). Rechnet man also dementsprechend den genannten prozentualen Anteil der STO-Muskelfasern der untrainierten Rennpferde um,

so ergibt sich ein Wert, der mit den in dieser Studie ermittelten relativen Anzahlen vergleichbar ist. Dieser bleibt mit 18,6 % immer noch vergleichsweise niedrig.

Zugpferde weisen, gemäß der langandauernden Arbeit von niedriger Intensität, für die sie verwendet werden, einen Gehalt an langsam-kontrahierenden Muskelfasern von 49 % in 6 Zentimetern Tiefe des M. gluteus medius auf (RIVERO et al. 1996 a). Damit zeigen sie mehr als die doppelte relative STO-Faseranzahl als Warmbluthengste mit einer Springabstammung.

Distanzpferde liegen mit ihren relativen STO-Faserwerten von 36 % bei Pferden von durchschnittlicher Leistung in einer Entnahmetiefe von 4 Zentimetern, bis hin zu 51 % bei exzellenten Distanzpferden in 6 Zentimetern Tiefe im oberen Bereich der Vergleichswerte (RIVERO 1996 a). Folglich läßt sich eine Abfolge der verschiedenen Leistungsarten beginnend mit Galoppieren herstellen. Daran schließen sich mit steigendem STO-Faseranteil Springpferde, gefolgt von Dressurpferden, mittelmäßigen Distanzpferden, Zugpferden und schließlich exzellente Distanzpferde an.

Springpferde besitzen mit einem Wert von 46,7 % eine signifikant (einseitige Varianzanalyse ANOVA, $p < 0,05$) höhere relative FTO-Faseranzahl, gemessen an 38,8 % bei Dressurpferden (Abb. 7). Damit nehmen sie den Wert von 42 % bei Rennpferden in ihre Mitte (RIVERO et al. 1996 b). In diesem Bereich sind auch die FTO-Faserhäufigkeiten bei Distanzpferden zu finden, die zwischen 41 % bei durchschnittlichen Pferden und 46 % bei exzellenten Ausdauerpferden liegen (RIVERO 1996 a). Bei der Betrachtung dieser Werte muß jedoch beachtet werden, daß für die genannte Studie fast ausschließlich Stuten und Wallache verwendet wurden, die bereits im Training standen und ein Durchschnittsalter von 3,28 Jahren besaßen. Der relative FTO-Fasergehalt wird durch Training (RONEUS et al. 1992), Alter (RIVERO et al. 1993 a) und unter Einfluß des männlichen Geschlechts (RONEUS et al. 1991) gesteigert. Zugpferde bieten mit 25 % den geringsten mittleren FTO-Faserwert (RIVERO et al. 1996 a).

Betrachtet man die Reihenfolge der genannten Werte in Bezug zu der sportlichen Leistung, welche die Pferde zu erbringen haben, so fällt auf, daß die Eignung für hohe Ausdauerarbeit mit einem hohen Anteil langsamer und dementsprechend weniger FTO-Fasern bedacht ist.

Dressurpferde haben während der Erfüllung ihrer Aufgaben ein Höchstmaß an Rhythmus und Takt in allen 3 Gangarten aufrechtzuerhalten. Dafür muß die Hinterhand unter den Schwerpunkt des Pferdes treten und verstärkt Last aufnehmen- eine Forderung, die bei fortschreitender Ausbildung in Lektionen gehobener Dressuraufgaben maximiert wird. Diese Arbeit erfordert eine hohe Ausdauer und als morphologischen Ausdruck dessen, einen höheren Gehalt an oxidativen, ermüdungsresistenten Muskelfasern. Aus der überwiegenden Beanspruchung der Fasern mit den genannten Eigenschaften ergibt sich auch die Erklärung für die Befunde von LINDNER (1997), der davon berichtet, daß die Laktatkonzentration im Blut von L- und S-Dressurpferden nach Trainingseinheiten und bestimmten Lektionen nur wenig über den Ruhewert ansteigt. Selbst nach der Piaffe betrug die Laktatkonzentration im Mittel nur 1 mmol/l Blut. Trabverstärkungen bei S-Dressurpferden führten zu einem Mittelwert von 1,3 mmol/l Blut.

Im Gegensatz dazu müssen Springpferde nicht bei der Durchführung jedes Trittes ein Maximum an Gleichmaß erbringen, sondern ihr Sport erfordert kurze Momente höchster Schnellkraft während des Absprunges, gefolgt von Phasen der Entspannung zwischen den Hindernissen. Nun sind für die Erzeugung solch enormer Kraft die schnell-kontrahierenden Muskelfasern zuständig. Da jedoch auch der Galopp während eines Parcours erhalten bleiben muß, wird trotz allem ein gewisses Maß an Ausdauer benötigt. Die FTO-Fasern sind durch eine hohe oxidative Kapazität sowie durch eine extrem hohe Kontraktionsgeschwindigkeit gekennzeichnet (RIVERO et al. 1996 a). Diese Eigenschaften indizieren, daß je größer der Anteil schnell-kontrahierender Fasern ausfällt, desto größer auch die Kontraktionsfrequenz und das Potential des Tieres ist, schnell zu laufen (SNOW u. GUY 1980). In diesem Fall wird das Potential zum Springen benötigt. Menschliche Individuen mit einem hohen prozentualen Anteil langsam-kontrahierender Fasern springen aufgrund geringerer Kraftwerte weniger hoch als solche mit relativ mehr schnell-kontrahierenden Muskelfasern (GERARD et al. 1986), so daß eine verstärkte Präsenz letztgenannter Fasertypen bei Pferden, die seit mehreren Generationen für den Springsport gezüchtet werden, verständlich ist. Aus der Beanspruchung der schnell-kontrahierenden Muskelfasern während des Springens resultiert eine erhöhte Laktatkonzentration, die LINDNER (1997) in einer Größenordnung von 3-8 mmol/l Blut bei Springpferden nach Absolvierung eines Parcours messen konnte. Analog zur obengenannten Reihenfolge der verschiedenen Pferdesportarten hinsichtlich der STO-

und FTO-Faserproportion, zeigen die Galopprennpferde wie übrigens auch Trabrenn- und Vielseitigkeitspferde nach Belastung Laktatkonzentrationen von deutlich über 20 mmol/l Blut.

Die relative Häufigkeit der Fasern vom Intermediärtyp liegt mit 13,8 % bei Pferden mit einer Dressurabstammung im Bereich des Wertes der Springpferde von 10,7 % (Abb. 7, Tab. 17, 20). Diese Größenordnung stimmt mit den von RIVERO (1996 c) und RIVERO et al. (1996 b) genannten Werten bei Vollblütern überein, die weder nach histochemischer noch nach immunhistochemischer Analyse einen Wert von 15 % überschreiten. Auch in der Gesamtauswertung aller 64 Hengste liegt der mittlere Anteil der Fasern vom Intermediärtyp mit 12,2 % unter dieser Größe (Tab. 50). Damit ist eine relativ korrekte Klassifizierung der schnell-kontrahierenden Muskelfasern vorgenommen worden, indem die Zuordnung dieses Anteils zur FTG-Faserpopulation verhindert wurde (RIVERO 1996 c, RIVERO et al. 1996 b).

Bezüglich des FTG-Faseranteils zeigen beide Gruppen einen fast identischen Wert von 20,7 %, bzw. 20,8 %. Damit zeigen Dressur- und Springpferde nur gering mehr als die Hälfte des FTG-Faseranteils von Rennpferden (RIVERO et al. 1996 b), wobei jedoch wieder die Entnahmetiefe von 2 Zentimetern zu berücksichtigen ist. RIVERO et al. (1996 a) entdeckten, daß sich der FTG-Faseranteil um 42 % verringert, wenn man Muskelproben aus einer Entnahmetiefe von 3 Zentimetern mit denen aus 6 Zentimetern vergleicht. Subtrahiert man diese Differenz von 35,8 % FTG-Fasern bei untrainierten Vollblütern, so erhält man mit 20,7 % einen vergleichbaren Wert, der nun in derselben Größenordnung liegt wie die Warmblüter mit sportlich selektiertem Pedigree.

Durch die Tatsache, daß die relativen FTG-Faseranzahlen zwischen beiden untersuchten Kategorien gleich sind, aber Nachkommen von Hengsten mit hohem Springzuchtwert deutlich mehr FTO-Fasern besitzen, liegt bei diesen auch der FTO/FTG-Quotient um 0,38 höher. Der, auf den Entnahmeort angepaßte Quotient von Rennpferden, befindet sich mit 2,02 im Bereich zwischen Dressur- und Springpferden. Rennpferde besitzen also, verglichen mit Springpferden, relativ mehr FTG- als FTO-Fasern. Springpferde wiederum besitzen mehr FTO-Fasern als Dressurpferde. Diese Ergebnisse decken sich ebenfalls mit den von LINDNER (1997) gemessenen Blutlaktatkonzentrationen, wobei die Galopper den höchsten Wert aufweisen.

Der Ox/G-Quotient von Dressur- und Springpferden erscheint ähnlich, da ein hoher Anteil langsam-kontrahierender, oxidativer Muskelfasern im Gegenzug mit einer niedrigen relativen Anzahl schnell-kontrahierender, oxidativer Fasern zusammentrifft und umgekehrt.

Die Relationen zwischen beiden Kategorien bezüglich der relativen Faserquerschnittsfläche aller Fasertypen verhalten sich ebenso wie die der relativen Fasertypenanzahl (Tab. 18, 21). Im Zuge dessen erreichen auch die Differenzwerte zwischen den mittleren relativen STO-Faserquerschnittsflächen beider Gruppen schwache Signifikanz (t-Test, einseitig, $p < 0,05$). Die relativen FTO-Faserflächen von Dressur- und Springpferden sind hochsignifikant (t-Test, $p < 0,001$) verschieden. Die Ursache für die enge Beziehung von relativer Faseranzahl und relativer Faserquerschnittsfläche zueinander ist in kaum voneinander abweichenden mittleren absoluten Faserflächen aller Fasertypen bei Dressur- und Springpferden zu sehen (Abb. 8, Tab. 19, 22). Weiterhin ist mit dieser Tatsache der nur gering variierende F/S-Quotient zu erklären.

Aufgrund der geringen Unterschiede zwischen den mittleren absoluten Faserquerschnittsflächen der gegenüberzustellenden Gruppen, werden für den Vergleich zu Daten anderer Publikationen die Mittelwerte der gesamten Stichprobe verwendet. Bei den Faserflächen ist insofern eine bessere Vergleichbarkeit gegeben, da sie nicht in Abhängigkeit von verschiedenen Lokalisationen der Biopsieentnahme variiert (RIVERO et al. 1993 b).

Im Leistungssport eingesetzte Distanzpferde besitzen eine STO-Faserfläche von $3054 \mu\text{m}^2$, wobei aus der Studie von RIVERO (1996 a) die Mittelwerte für exzellente und durchschnittliche Pferde bei 4 und 6 Zentimetern Entnahmetiefe zum Vergleich dienen sollen. Dieser Flächenwert langsamer Muskelfasern erscheint größer als $2502 \mu\text{m}^2$ hier untersuchter Pferde (Tab. 52). Mit $3679 \mu\text{m}^2$ stellt sich auch die FTO-Faserquerschnittsfläche bei Ausdauerpferden größer dar. Dieser Umstand ist höchstwahrscheinlich damit zu erklären, daß die Distanzpferde bereits trainiert sind; außerdem weisen sie ein höheres Durchschnittsalter auf. Eine Vergrößerung der Querschnittsfläche aller Muskelfasern findet mit zunehmendem Alter (RIVERO et al. 1993 a), eine Flächenzunahme der STO- und FTO-Fasern durch Ausdauertraining statt (RIVERO et al. 1995 a). Das Fehlen von Größenunterschieden der Muskelfasertypen

zwischen Dressur- und Springpferden steht deshalb wahrscheinlich mit der Homogenität der Stichprobe in Zusammenhang. Dadurch, daß untrainierte Pferde desselben Geschlechts und desselben Alters verwendet wurden, können die bekanntesten exogenen Einflußfaktoren ausgeschlossen werden.

Die durchschnittliche FTG-Faserfläche der Distanzpferde rangiert mit $4320 \mu\text{m}^2$ unter dem hier ermittelten Wert von $5364 \mu\text{m}^2$.

Eine Gegenüberstellung der mittleren Muskelfaserquerschnittsflächen von Dressur- und Springpferden mit denen von untrainierten Rennpferden (RIVERO et al. 1996 b) gibt deutlich geringere Werte bei letzteren zu erkennen. Die Fläche der STO-Fasern der Vollblüter ist um 44 %, die der FTO-Fasern um 31 % kleiner, während Fasern des Intermediärtyps nur 71 % und FTG-Muskelfasern nur etwa 69 % der Faserquerschnittsflächen der untersuchten Warmblüter erreichen. Einen möglichen Erklärungsansatz dafür könnte die Tatsache bieten, daß in der besagten Studie 5 Stuten und ein Wallach zur Verfügung standen. Bei Menschen sind dem männlichen Geschlecht signifikant größere Muskelfasern (SIMONEAU u. BOUCHARD 1989) und damit signifikant korrelierend eine höhere Kraftentwicklung (MILLER et al. 1993) zugeordnet worden.

Das Auftreten von signifikanten Differenzen in der Fasertypenkomposition der sich sehr homogen zusammensetzenden Stichprobe impliziert einen Zusammenhang mit genetischen Faktoren, wie er bereits von RIVERO et al. (1996 c) für das Pferd nachgewiesen worden ist.

In der Kategorie der Dressurpferde fanden 15 Pferde des Zuchtgebietes Hannover, 5 Westfalen, 5 Trakehner und 2 Oldenburger eine Registrierung (Kap. 3.2.7). Zu den Springpferden wurden 15 Hannoveraner, 4 Westfalen, 4 Trakehner, 1 Oldenburger und 9 Holsteiner gezählt. Daraus ergibt sich lediglich bei den Holsteiner Pferden ein Ungleichgewicht, welches durch die sehr speziell geführte Anpaarung bedingt ist. Bei einer Anzahl von 60 an der Auswertung nach sportlicher Eignung teilnehmenden Hengsten, ist die Aufteilung der Pferde verschiedener Rassen als recht uniform zu bezeichnen. An diesem Ansatzpunkt entspringende Gründe für die gravierenden Differenzen der morphometrischen Kriterien sind demnach nicht zu erkennen.

Die Verwendung des Zuchtwertes gemäß des Jahrbuchs Zucht zur Einteilung der sportlichen Kategorien birgt eine gewisse Gefahr in sich, da es sich dabei um einen nur unzulänglichen Versuch handelt, Lebewesen in Zahlen darzustellen. Als Anhaltspunkt dienend, kann der Zuchtwert jedoch Aufschluß darüber geben, ob bei der Zucht eines Pferdes eine spezielle Eignung für eine bestimmte Leistungsrichtung beabsichtigt wurde oder ob die Vorfahren eher vielseitig zu verwenden waren.

Obwohl bei dieser Art der Zuordnung von Dressur- bzw. Springpferden die Qualität des Individuums unberücksichtigt bleibt, erschien es sinnvoller für diese Untersuchungen, den bereits gerittenen, in Leistung stehenden Sportpferden, junge Hengste vorzuziehen, um die kapitalen Einflußfaktoren Training, Alter und Geschlecht auszuschließen. Auf der Grundlage dieser Daten, sind weitere Untersuchungen der Fasertypenkomposition von bereits erfolgreich im Sport eingesetzten Pferden empfehlenswert.

5.3 Die Kategorisierung der Hengste hinsichtlich des Körurteils

Der Mittelwert des prozentualen STO-Faseranteils der 9 im nachhinein gekörten Hengste liegt um 5,06 % signifikant (t-Test, einseitig, $p < 0,05$) niedriger als der der nicht gekörten Hengste (Abb. 9, Tab. 23, 26). Mit diesem Befund korrelierend, bietet auch die Auswertung der relativen Faserquerschnittsfläche langsamer Fasern signifikant höhere Werte bei dem genannten Pferdekollektiv ($p < 0,05$; Tab. 24, 27). Andersherum weisen die gekörten Hengste mit einer relativen Anzahl von 46,5 % mehr FTO-Muskelfasern auf als die ausselektierten Hengste mit 42,2 %. Diese Diskrepanz erreicht jedoch keine Signifikanz ($p > 0,05$). Ein Unterschied bezüglich des Anteils der anderen schnellkontrahierenden Fasern ist nicht existent. Im übrigen verhalten sich die Relationen aller untersuchten Muskelcharakteristika von gekörten zu nicht gekörten Hengsten wie bei Spring- zu Dressurpferden, weshalb die Erläuterungen sinngemäß übertragbar sind.

Die Kategorie „Gekörte Hengste“ beinhaltet 4 Hannoveraner, die an der Körung in Verden teilnahmen, 3 Westfalen, die das Prädikat in Münster-Handorf erhielten, einen Trakehner und einen Holsteiner. Letztgenannter erhielt den Titel in Dänemark, während der Trakehner-Hengst in Neumünster gekört wurde. Damit sind zukünftige Beschäler fast aller untersuchten Zuchtgebiete in dieser Einteilung vertreten, so daß sie die gesamte Stichprobe neutral widerspiegelt. Ein Anteil gekörter Hengste an der Gesamtmenge aller vorgestellten Hengstanwärter von 16 % ist als leicht überhöht einzuschätzen, da dieser Wert im Zuge der strengen Selektion kaum erreicht wird. Dennoch kann dieses Verhältnis als repräsentativ angesehen werden.

Aufgrund der sich ähnlich verhaltenden morphometrischen Indizes empfiehlt sich der Gedanke, daß in der Gruppe der gekörten Hengste hauptsächlich Nachkommen von Hengsten mit einem hohen Springzuchtwert enthalten sein könnten. Das ist jedoch nicht der Fall, sondern dieser Theorie entgegenstehend, besteht die Kategorie „Gekörte Hengste“ aus 6 Individuen der Gruppe „Dressurpferde“ und nur aus 3 Hengsten, die den „Springpferden“ zugeordnet worden waren (Kap. 3.2.7).

Gekörte Hengste besitzen im Vergleich signifikant weniger langsam-kontrahierende Muskelfasern. Offensichtlich findet also eine Selektion statt, die zugunsten der Hengste mit einem höheren prozentualen FTO-Fasergehalt ausgerichtet ist. Dieses könnte

einerseits ein Hinweis darauf sein, daß die Hengste eine überdurchschnittliche Fähigkeit am Sprung besitzen müssen, um das Prädikat „Gekört“ zu erhalten, selbst wenn sie über einige Generationen für eine Dressureignung gezüchtet worden sind. Andererseits könnte das Phänomen dadurch erklärbar sein, daß die Trittlänge signifikant mit dem Prozentsatz der STO- und FTO-Fasern positiv korreliert, während die Trittfrequenz nur mit der relativen FTO-Faseranzahl in positiver Korrelation steht. Der FTG-Faseranteil verhält sich umgekehrt proportional zur Trittlänge. Diese Zusammenhänge suggerieren laut VALBERG und ESSEN-GUSTAVSSON (1987), daß längere Trabritte hauptsächlich durch die Rekrutierung von FTO-Muskelfasern erreicht werden können. Allerdings muß dazu bemerkt werden, daß eine Verlängerung der Trabritte bei gleicher Geschwindigkeit eine Verringerung der Trittfrequenz zur Folge hat. Um gemäß der genannten Studie die Trittfrequenz und die Trittlänge zu erhöhen, muß demnach auch eine Erhöhung der Trabgeschwindigkeit stattgefunden haben. Da die Ergebnisse an Trabrennpferden gewonnen wurden, war die erhöhte Geschwindigkeit wohl auch das erwünschte Ziel.

Da die Bewertung der Grundgangarten bei der Körung einen erheblichen Bestandteil einnimmt, ist ein dynamischer, elastischer Bewegungsablauf, der von einem schnell abfußenden Hinterbein auf den Körper übertragen wird mit Sicherheit vorteilhaft und wird vermutlich erst durch eine entsprechende Muskelfasertypenkomposition ermöglicht. Zusammenhänge zwischen dem Bewegungsmuster und der Muskelfaserzusammensetzung von Pferden sind bereits aufgezeigt worden (RIVERO u. CLAYTON 1996). Trotzdem darf natürlich nicht vergessen werden, daß neben den genannten Kriterien noch eine Reihe anderer Gegebenheiten bei der Vorauswahl, ebenso wie bei der Körung, für das Urteil maßgeblich sind. Eventuell vorhandene Exterieurmängel, gesundheitliche Beeinträchtigungen, das Interieur eines Pferdes oder Subjektivität von Entscheidungen werden selbstverständlich durch morphometrische Untersuchungen nicht erfaßt. Dennoch scheint diese Untersuchungsmethode auch bei deutschen Warmblutpferden als Selektionskriterium nutzbar zu sein.

5.4 Das Muskelfasertypenspektrum im Bezug zur väterlichen Abstammung

Der Nachweis, daß beim Pferd die Anteile der verschiedenen Muskelfasertypen signifikant mit genetischen Faktoren korreliert sind, wurde bereits von RIVERO et al. (1996 c) geführt.

Aufgrund der Präsenz derselben väterlichen Blutlinien bei mehreren Individuen dieser Studie, wurde zusätzlich eine Aufteilung hinsichtlich dieses Kriteriums vorgenommen. Um eine Vergleichbarkeit der Fasertypenkomposition und der Faserquerschnittsflächen zwischen den verschiedenen Blutlinien zu gewährleisten, fanden nur Väter mit mindestens 3 Nachkommen Berücksichtigung.

Bei der Betrachtung des Fasertypenspektrums der Nachkommen von verschiedenen Vatertieren fallen deutliche Abweichungen voneinander auf (Abb. 11, Tab. 29 - 49) . Die Durchführung einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) weist die Differenzen bezüglich der prozentualen STO- ($p < 0,01$) und FTO-Faseranteile ($p < 0,001$) als signifikant bzw. hochsignifikant aus. Die relative Faserquerschnittsfläche der langsamen Fasern unterscheidet sich hochsignifikant (ANOVA, $p < 0,001$) zwischen Pferden verschiedener väterlicher Abstammungen. Neben den ebenfalls signifikant (ANOVA, $p < 0,01$) verschiedenen relativen FTO-Faserquerschnittsflächen zeigt auch die relative Faserquerschnittsfläche der FTG-Fasern signifikante Unterschiede (ANOVA, $p < 0,05$) innerhalb eines Bereiches von 14,2 % bis 24,6 %. Aufgrund der homogenen Stichprobe von gleichaltrigen Hengsten, die unter nahezu gleichen Bedingungen aufgewachsen sind, weisen die signifikanten Variationen der Fasertypenproportionen und der relativen Muskelfaserquerschnittsflächen auf einen Zusammenhang mit genetischen Faktoren hin.

Diese Befunde korrelieren mit der Aussage von RIVERO et al. (1996 c), die präzisierend einen hochsignifikanten Einfluß der mütterlichen Blutlinie auf den Anteil der STO- und FTG-Fasern entdeckten. Des weiteren wurde in der an Arabern und Andalusiern durchgeführten Untersuchung ein signifikanter Bezug der väterlichen Abstammung zu dem Anteil der FTO-Muskelfasern festgestellt.

Das Vorhandensein von Unterschieden in der Fasertypenkomposition zwischen Nachkommen verschiedener Abstammung geht auch mit Ergebnissen von WOOD et al. (1988) konform, die dieses Phänomen bei Quarterhorse-Pferden nachvollziehen konnten.

Besonders interessant erscheint die Tatsache zu sein, daß die Höchstwerte der relativen STO- beziehungsweise die niedrigsten Extreme bezüglich der relativen FTO-Faseranzahl von Nachkommen zweier Hengste mit Trakehner-Abstammung eingenommen werden (Tab. 29, 47; Abb. 11). Vergleicht man nur die Nachkommen dieser beiden Hengste A und G, so erkennt man eine Differenz des STO-Fasergehalts von 8,7 %. Umgekehrt verhält sich die Relation der FTO-Fasern mit der Diskrepanz von 10,9 %. Unter Berücksichtigung der Eigenleistung dieser Vatertiere im Turniersport kann der Gruppe A mit geringerem STO-, aber höherem FTO-Faseranteil eine deutlich höhere Eignung für den Springsport zugewiesen werden. Andererseits zeichnet sich Hengst G durch hohe Fähigkeiten in der schweren Dressur aus. Seine Nachkommen fallen durch einen überdurchschnittlich hohen STO-Faseranteil auf. Die im Vergleich von Dressur- und Springpferden bereits erläuterten Differenzen lassen sich also auch aus diesem Betrachtungswinkel nachvollziehen.

Die Nachkommen dieser beiden Hengste sind es auch, welche die größte Faserquerschnittsfläche der langsam-kontrahierenden Muskelfasern besitzen (Tab. 30, 48). Wiederum ein Merkmal, das bereits bei den Warmblutpferden Trakehner Abstammung nachgewiesen werden konnte.

Das Ergebnis einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) zeichnet auch die Unterschiede zwischen den absoluten Faserflächen der STO-Fasern als signifikant ($p < 0,05$) aus.

5.5 Nutzung morphometrischer Untersuchungen als Selektionskriterium

Die Variation des Fasertypenspektrums zwischen Pferden verschiedener väterlicher Blutlinien zeigt die Möglichkeit, die bisher genannten Relationen der morphometrischen Kriterien vom Allgemeinen auf eine numerisch relativ kleine Gruppe von Pferden zu übertragen. Dieses ist sowohl im Hinblick auf unterschiedliche Rassen als auch in Bezug auf die sportliche Eignung möglich.

Die Heritabilität der Fasertypenkomposition (RIVERO et al. 1996 c) sowie ihre Beziehungen zur Nutzungsrichtung, eventuell sogar zur Qualität der Bewegungen eines Pferdes (RIVERO u. CLAYTON 1996), lassen die Möglichkeit der Ein-schätzung eines vorhandenen Leistungspotentials anhand der Beurteilung der Muskelcharakteristika auch bei einem Einzeltier vermuten.

Ein Versuch, die Qualität eines Individuums mit den untersuchten Parametern in Verbindung zu bringen, soll im folgenden an Pferd Nr. 30 erfolgen. Väterlicherseits stammt es von einem Hengst ab, der Körungssieger, Gewinner des Bundeschampionats des deutschen Reitpferdes und Sieger der Hengst-leistungsprüfung war. Desweiteren führte er 1997 die Rangliste der Altersgruppe „Ältere Hengste“ des Jahrbuchs Zucht an. Sein Dressur-Zuchtwert beläuft sich auf 177 Punkte, der Zuchtwert Springen zählt 100 Punkte. Dem Vater des Hengstes Nr. 30 kann also durchaus eine deutliche Dressureignung bescheinigt werden. Der Beginn der Karriere seines Sohnes verlief ähnlich erfolgsversprechend. Das Pferd Nr. 30 wurde ebenfalls Körungssieger. Betrachtet man seine Muskelindizes, so erkennt man das Einnehmen von Gipfelwerten unter den gekörten Hengsten (Tab. 50 - 52). Die relative STO-Faseranzahl liegt mit 12,1 % um über 5 % niedriger als beim nächstfolgenden Kandidaten, wie auch die von ihr eingenommene relative Faserquerschnittsfläche sich mit 7,39 % deutlich im unteren Bereich der Vergleichswerte bewegt. Die relative Querschnittsfläche, welche von den FTG-Muskelfasern besetzt wird, liegt mit 50,6 % an der Spitze der gekörten Hengste und wird nur durch einen Wert aller untersuchten Pferde übertroffen. Außerdem vertritt die Nr. 30 die Höchstwerte aller gekörten Hengste bezüglich der mittleren absoluten Querschnittsfläche der Fasern vom Intermediärtyp sowie der mittleren absoluten FTG-Faserfläche. Auch die absolute mittlere Gesamtfaserfläche liegt mit 16,372 μm^2 in der Spitzengruppe der genannten Kategorie. Pferde, die große Muskelfasern

aufweisen, sind insofern bevorteilt, als daß die durch eine Muskelfaser erreichte Kraft direkt proportional zu ihrem Durchmesser ist (HILL 1950).

Die Möglichkeit der Zuordnung von extremen morphometrischen Werten zu dem, zumindest bis zum Abschluß des dritten Lebensjahres, erfolgreichsten aller an dieser Studie teilnehmenden Pferden, gibt einen Hinweis auf eine mögliche Nutzung der angewandten Methode als Selektionskriterium. Allerdings muß berücksichtigt werden, daß Erfolg auf einer Interaktion zwischen genetischen Faktoren und Training basiert (RIVERO u. CLAYTON 1996). Deshalb bietet eine ideale Fasertypenkomposition keine Erfolgsgarantie, sondern verbessert lediglich die Chancen. RIVERO und CLAYTON (1996) sehen die Untersuchung der Faserzusammensetzung als Instrument von großem Wert zur Eliminierung von Pferden aus der Zucht, die eine unerwünschte Proportion eines speziellen Fasertypen aufweisen.

5.6 Schlußfolgerungen

1. Pferde verschiedener deutscher Warmblutrassen besitzen signifikant verschiedene STO- und FTO-Faseranteile sowie signifikant verschiedene absolute Faserquerschnittsflächen der STO-Fasern und signifikant voneinander abweichende relative Faserquerschnittsflächen von STO- und FTG-Fasern.
2. Anhand der STO- und FTO-Fasertypenkomposition ist eine Einordnung der Warmblutpferde Trakehner Abstammung zwischen Pferde anderer Warmblutrassen und Araberpferde erkennbar, was als Hinweis auf den Verlauf ihrer Zuchtgeschichte zu verstehen ist. Die Pferde dieser Rasse weisen den höchsten Anteil langsam-kontrahierender Fasern sowie die größte Muskelfaserquerschnittsfläche dieses Fasertyps auf. Weiterhin besitzen die Trakehner-Pferde ein deutlich höheres Verhältnis oxidativer zu glykolytischen Muskelfasern, wodurch sie für Ausdauerleistungen prädestiniert zu sein scheinen.
3. Ein Vergleich der Kategorien Rassen, Dressur- und Springpferde, „Gekörte“ und „Nicht gekörte Hengste“ kann anhand der relativen Anzahl und der relativen Faserquerschnittsfläche der einzelnen Muskelfasertypen gleichermaßen vorgenommen werden, da diese beiden Parameter aufgrund geringer absoluter Faserquerschnittsflächenunterschiede eine hohe positive Korrelation aufweisen.
4. Der prozentuale STO-Faseranteil der verschiedenen Pferdekategorien weist jeweils eine hohe negative Korrelation zum prozentualen FTO-Faseranteil auf. Faseranteile des Intermediärtyps und FTG-Faserproportionen bleiben von den Variationen größtenteils verschont.
5. Dressurpferde besitzen einen signifikant höheren STO-Faseranteil sowie einen signifikant niedrigeren FTO-Faseranteil als Springpferde. Ebenso verhalten sich die Werte der relativen Faserquerschnittsfläche. Die unterschiedliche Muskelfasertypenkomposition ist als Ausdruck einer züchterischen Selektion auf spezielle sportliche Eigenschaften zu verstehen. Dabei benötigt sehr wahrscheinlich ein Dressurpferd mehr oxidative, ermüdungsresistente Muskelfasern, um fortwährend Last auf die Hinterhand aufnehmen zu können, während den Pferden beim Springen kurze Momente höchster Schnellkraft mit dazwischenliegenden Ausdauerphasen abverlangt werden.
6. Ein Vergleich von Dressur- und Springpferden mit Pferden anderer Sportarten zeigt, daß exzellente Distanzpferde den größten Anteil langsam-kontrahierender Fasern, in

absteigender Reihenfolge gefolgt von Zugpferden, mittelmäßigen Distanzpferden, Dressurpferden, Springpferden und Galopprennpferden besitzen. Nahezu die gleiche Abfolge, nur umgekehrt, konnte hinsichtlich der Laktatkonzentrationen im Blut der Pferde hergestellt werden, woraus Hinweise zur Belastungsintensität der verschiedenen Disziplinen entnommen werden können.

7. Gekörte Hengste besitzen einen signifikant niedrigeren STO-Faseranteil als „Nicht gekörte Hengste“. Dieser Befund weist auf eine Selektion zugunsten der Hengste mit einem höheren FTO-Faseranteil hin und läßt einen Zusammenhang der Muskelfasertypenkomposition mit der Bewegungsqualität eines Pferdes vermuten.
8. Die morphometrischen Muskelindizes von Nachkommen verschiedener Hengste variieren signifikant hinsichtlich ihrer STO- und FTO-Faseranteile, ihrer relativen STO-, FTO- und FTG-Faserquerschnittsflächen und ihrer absoluten STO-Faserquerschnittsfläche. Daraus geht hervor, daß auch bei Pferden deutscher Warmblutabstammungen die muskelmorphometrischen Kriterien eine hohe Korrelation mit genetischen Faktoren aufweisen.

6. Zusammenfassung

Histomorphometrische Befunde am M. gluteus medius von Pferden ausgewählter deutscher Warmblutrassen - Selektionskriterium für die sportliche Veranlagung?

(96 S., 11 Abb., 52 Tab., 131 Lit.)

Zur Untersuchung histomorphometrischer Indizes wurden aus dem M. gluteus medius von Warmblut-Pferden ausgewählter deutscher Zuchtgebiete Biopsate entnommen. Insgesamt standen 64 zweijährige Hengste zur Verfügung. Die Biopsien wurden an einem definierten Punkt und bei einer immer gleichen Entnahmetiefe von 5 cm mit der Biopsiekanüle nach BERGSTRÖM (1962) durchgeführt. Eine Auswertung der Muskelproben erfolgte im Hinblick auf die Rassenzugehörigkeit, hinsichtlich Züchtung der Pferde für den Dressur- bzw. Springsport, mit Bezug auf das Körurteil sowie unter Berücksichtigung der Abstammung von verschiedenen väterlichen Blutlinien. Dazu kam die histochemische Methode der sauren Kreuzkombination nach ZIEGAN (1979) zur Anwendung, welche neben den physiologischen auch die biochemischen Eigenschaften der Muskelfasern berücksichtigt. Demzufolge wurde eine Differenzierung in die Fasertypen STO (slow-twitch-oxidative), FTO (fast-twitch-oxidative), Fasern des Intermediärtyps und FTG (fast-twitch-glycolytic) vorgenommen. Für diese Fasertypen wurde die relative Anzahl, die absolute und die relative Faserquerschnittsfläche sowie die Quotienten schnell-/langsam-kontrahierende Fasern (F/S), oxidative/glykolytische (Ox/G) Muskelfasern und FTO/FTG ermittelt.

Zwischen Pferden verschiedener deutscher Warmblutrassen ließen sich signifikante Unterschiede im STO- ($p < 0,001$) und FTO-Faseranteil ($p < 0,01$) nachweisen. Warmblutpferde Trakehner Abstammung wiesen dabei mit 35,9 % den größten Anteil langsamer Muskelfasern (STO) und mit 33,8 % den geringsten Anteil schnell-kontrahierender, oxidativer Fasern (FTO) auf. Die gegensätzlichen Extremwerte bezüglich dieser beiden Fasertypen nahmen die Pferde des Zuchtgebietes Westfalen ein. Auch die absoluten Faserquerschnittsflächen langsam-kontrahierender Muskelfasern von Pferden verschiedener Rassen waren signifikant ($p < 0,05$) verschieden. Wiederum nahmen mit $2957 \mu\text{m}^2$ die Trakehner eine Spitzenposition ein. Im Vergleich der Werte der relativen Faserquerschnittsfläche von Pferden verschiedener Rassen wurde auch ein signifikanter Unterschied bei den FTG-Fasern deutlich ($p < 0,01$).

Dressurpferde besaßen mit 26,6 % einen signifikant ($p < 0,05$) höheren STO-Faseranteil als Springpferde mit einem Wert von 21,9 %. Umgekehrt verhielt sich der prozentuale FTO-Faseranteil mit 46,7 % bei Spring- und 38,8 % bei Dressurpferden ($p < 0,05$). Die Werte der relativen Faseranzahl und der relativen Faserfläche wiesen einen Korrelationskoeffizienten von $r=0,92$ auf. Demzufolge bestanden zwischen Dressur- und Springpferden auch bei der relativen Faserquerschnittsfläche signifikante Unterschiede für STO- ($p < 0,05$) und FTO-Fasern ($p < 0,001$). „Gekörte Hengste“ hatten mit 20 % signifikant ($p < 0,05$) weniger langsam-kontrahierende Muskelfasern als „Nicht gekörte“ Hengste mit 25 %. Auch für die relative Faserquerschnittsfläche traf dieses Verhältnis signifikant ($p < 0,05$) zu. Es konnte weiterhin gezeigt werden, daß Nachkommen von verschiedenen väterlichen Blutlinien signifikant im STO- ($p < 0,01$) und FTO-Faseranteil ($p < 0,001$) sowie bezüglich der relativen Faserquerschnittsfläche von STO- ($p < 0,001$), FTO- ($p < 0,01$) und FTG-Fasern ($p < 0,05$) und hinsichtlich der absoluten Faserfläche der langsamen Muskelfasern ($p < 0,05$) voneinander abweichen.

Aus den Ergebnissen konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

1. Die Befunde weisen auf eine enge Abhängigkeit der Muskelfasertypenkomposition des Pferdes von genetischen Faktoren hin.
2. Bereits zwischen Pferden anderer Rassen beobachtete Unterschiede hinsichtlich morphologischer Muskelindizes lassen sich auch bei Pferden verschiedener deutscher Warmblut-Pferderassen aufzeigen.
3. Pferde, die seit mehreren Generationen speziell für eine Nutzung im Springsport gezüchtet worden sind, besitzen einen höheren prozentualen FTO-Faseranteil. Dieser verleiht ihnen wahrscheinlich die Fähigkeit, in der Absprungphase ein enormes Maß an Kraft zu generieren. Dressurpferde haben Arbeit von vergleichsweise niedriger Intensität, aber langer Dauer zu verrichten. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, die Muskelbiopsie bereits bei jungen Pferden als Selektionskriterium einzusetzen.
4. Die Ergebnisse der „Gekörten Hengste“ weisen auf eine Selektion zugunsten der Individuen mit hohem FTO- und dementsprechend niedrigem STO-Faseranteil hin, was auf einen Zusammenhang zwischen der Muskelfasertypenzusammensetzung und der Bewegungsqualität eines Pferdes hindeutet.

6.1 Summary

Histomorphometric findings of the gluteus medius muscle of horses from selected German warm-blooded breeds - selection criterion for athletic ability?

(96 p., 11 fig., 52 tables, 131 ref.)

For examining the histomorphometric muscle indices biopsies were taken of warm-blooded horses descending from selected German breeds. Biopsies were taken at standardized depth of 5 cm from the left gluteus medius muscle of 64 two-year-old stallions using a BERGSTROEM biopsy needle (1962). Muscle samples were evaluated according to different breeds, the aptitude for dressage or show jumping, the possession of a breeding licence and the derivation of different paternal bloodlines. The histochemical method used was that described by ZIEGAN (1979), which considers the physiological as well as the biochemical properties of muscle fibres. Therefore muscle fibres were distinguished in STO, FTO, fibres of intermediate type and FTG. For these fibre the types relative number, absolute and relative cross-sectional fibre area as well as the quotient fast-/slow-twitch fibers, oxidative/glycolytic muscle fibers and FTO/FTG were determined.

Between horses of different German warm-blooded breeds there were significant differences in the percentage of STO ($p < 0,001$) and FTO-fibres ($p < 0,01$). Trakehner horses had the highest percentage of slow-twitch fibres with 35,9 %, and the lowest percentage of FTO-fibres with 33,8 %. The other two extremes according to these fibre types occurred in Westphalian horses. Absolute cross-sectional STO-fibre areas were also significantly different between horses of different breeds ($p < 0,05$). Again, the Trakehner horses were in the lead with $2956,89 \mu\text{m}^2$. Comparing the relative muscle fibre area of differently bred horses, FTG-fibres also turned out to be significantly different ($p < 0,01$) from each other. Dressage horses had with 26,6 % a significantly higher ($p < 0,05$) proportion of STO-fibres than show jumping horses with a percentage of 21,9 %. Show jumping horses had a higher percentage of FTO-fibres with 46,7 % than dressage horses with 38,8 % ($p < 0,05$). Expressing a high correlation of relative number and relative cross-sectional fibre area ($r < 0,92$), the latter criterion also turned out to be different for STO- ($p < 0,05$) and FTO-fibres ($p < 0,001$). Licenced breeding stallions showed a significantly ($p < 0,05$) lower proportion of slow-twitch fibres with 20 % than stallions without breeding permission with 25 %. This relation also turned out to be significant for the relative fibre

area ($p < 0,05$) . Furthermore it was found that offsprings of different paternal bloodlines differ from one another according to the percentage of STO- ($p < 0,01$) and FTO-fibres ($p < 0,001$), according to relative cross-sectional fibre areas of STO- ($p < 0,001$), FTO- ($p < 0,01$) and FTG-fibres ($p < 0,05$) and according to absolute fibre areas of slow-twitch muscle fibres ($p < 0,05$).

These results suggest following conclusions:

1. The findings show a high correlation between muscle fiber type composition and genetic factors in the horse.
2. Earlier observed differences in morphological muscle indices between different races of horses were also evident between horses of different german warm-blooded breeds.
3. Horses, which have been bred specifically for show jumping over numerous generations, possess a higher percentage of FTO-fibres. This probably enables them to generate an enormous amount of power in the moment of take-off. Dressage horses have to perform exercises of comparatively low intensity but long duration. Therefore the muscle biopsy is a usefull selection criterion in young horses.
4. The results from the licenced breeding stallions indicate selection in favour of individuals having a high percentage of FTO- and a low percentage of STO-fibers, which may be related to muscle fibre properties and the locomotor pattern of the horse.

7. Literaturverzeichnis

- ADAMS, G.R., B.M. HATHER, K.M. BALDWIN u. G.A. DUDLEY (1993): Skeletal muscle myosin heavy chain composition and resistance training. *J. Appl. Physiol.* **74**, Nr. 2, 911-915.
- AMA, P.F., J.A. SIMONEAU, M.R. BOULAY, O. SERRESSE, G. THERIBAUT u. C. BOUCHARD (1986): Skeletal muscle characteristics in sedentary black and Caucasian males. *J. Appl. Physiol.* **61**, Nr. 5, 1758-1761.
- ANIANSOON, A., G. GRIMBY u. M. HEDBERG (1992): Compensatory muscle fiber hypertrophy in elderly men. *J. Appl. Physiol.* **73**, Nr. 3, 812-816.
- ARMSTRONG, R.B., B. ESSEN-GUSTAVSSON, H. HOPPELER, J.H. JONES, S.R. KAYAR, M.H. LAUGHLIN, A. LINDHOLM, K.E. LONGWORTH, C.R. TAYLOR u. E.R. WEIBEL (1992): O₂ delivery at VO₂max and oxidative capacity in muscles of standardbred horses. *J. Appl. Physiol.* **73**, Nr. 6, 2274-2282.
- ASHMORE, C.R., u. L. DOERR (1971 a): Comparative aspects of muscle fiber types in different species. *Exp. Neurol.* **31**, 408-418.
- ASHMORE, C.R., u. L. DOERR (1971 b): Postnatal development of fiber types in normal and dystrophic skeletal muscle of the chick. *Exp. Neurol.* **30**, 431.
- ASHMORE, C.R., G. TOMPKINS u. L. DOERR (1972): Postnatal development of muscle fiber types in domestic animals. *J. anim. Sci.* **34**, 37-41.
- BARNARD, R.J., V.R. EDGERTON, T. FURUKAWA u. J.B. PETER (1971): Histochemical, biochemical and contractile properties of red, white and intermediate fibers. *Am. J. Physiol.* **220**, 410.
- BASCHE, A. (1991): *Geschichte des Pferdes*. 2. Aufl. Verlag Stürtz, Würzburg.
- BEER, P. (1999), Leipzig, Univ., Veterinärmed. Fak., Diss. in Vorbereitung, persönliche Mitteilung, Leipzig am 01.06.1998.
- BERGSTRÖM, J. (1962): Muscle electrolytes in men. Determined by neutron activation analysis on needle biopsy specimens. A study on normal subjects, kidney patients and patients with chronic diarrhoea. *Scand. J. clin. Lab. Invest.* **14**, Suppl. 68.
- BOROS-HATFALUDY, S., G. FEKETE u. P. APOR (1986): Metabolic enzyme activity patterns in muscle biopsy samples in different athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* **55**, Nr. 3, 334-338.

- BOSCO, C., P.V. KOMI, J. TIHANYI, G. FEKETE u. P. APOR (1983): Mechanical power test and fiber composition of human leg extensor muscles. *Eur. J. Appl. Physiol.* **51**, Nr. 1, 129-135.
- BOUCHARD, C., J.A. SIMONEAU, G. LORTIE, M.R. BOULAY, M. MARCOTTE u. M.C. THIBAUT (1986): Genetic effects in human skeletal muscle fiber type distribution and enzyme activities. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* **64**, Nr. 9, 1245-1251.
- BROOKE, M.H., u. K.K. KAISER (1970): Muscle fiber types: How many and what kind? *Arch. Neurol.* **23**, 369.
- CLARKSON, P.M., W. KROLL u. A.M. MELICHIONDA (1982): Isokinetic strength, endurance, and fiber type composition in elite American paddlers. *Eur. J. Appl. Physiol.* **48**, Nr. 1, 67-76.
- CLAYTON, H. (1989): Locomotion. In: *Equine Sports Medicine* (Chapter 10). W.E. Jones (Ed.). Lea & Febiger, Philadelphia, 149-187. Zit. nach RIVERO u. CLAYTON (1996).
- CRESS, M.E., D.P. THOMAS, J. JOHNSON, F.W. KASCH, R.G. LASSENS, E.L. SMITH u. J.C. AGRE (1991): Effect of training on VO₂max, thigh strength, and muscle morphology in septuagenarian women. *Med. Sci. Sports Exerc.* **23**, Nr. 6, 752-758.
- DEUTSCHE REITERLICHE VEREINIGUNG e.V. (Hrsg.) (1996): *Jahrbuch Zucht 96*, Bd 1. Leistungen und Daten der deutschen Pferdezucht. FNverlag, Warendorf.
- DEUTSCHE REITERLICHE VEREINIGUNG e.V. (Hrsg.) (1997): *Jahrbuch Zucht 97*, Bd 1. Leistungen und Daten der deutschen Pferdezucht. FNverlag, Warendorf.
- DUDLEY, G.A., R.S. STARON, T.F. MURRAY, F.C. HAGERMAN u. A. LUGINBUHL (1983): Muscle fiber composition and blood ammonia levels after intense exercise in humans. *J. Appl. Physiol.* **54**, Nr. 2, 582-586.
- ESSEN-GUSTAVSSON, B., K. KARLSTROM u. A. LINDHOLM (1984): Fibre types, enzyme activities and substrate utilisation in skeletal muscles of horses competing in endurance rides. *Equine Vet. J.* **16**, Nr. 3, 197-202.
- ESSEN-GUSTAVSSON, B., u. A. LINDHOLM (1985): Muscle fibre characteristics of active and inactive standardbred horses. *Equine Vet. J.* **17**, Nr. 6, 434-438.
- ESSEN-GUSTAVSSON, B., D. MC MIKEN, K. KARLSTROM, A. LINDHOLM, S. PERSSON u. J. THORTON (1989): Muscular adaptation of horses during intensive training and detraining. *Equine Vet. J.* **21**, Nr. 1, 27-33.
- FARREL, P.A., J.H. WILMORE, E.F. COYLE, J.E. BILLING u. D.L. COSTILL (1993): Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* **25**, 1089-1097.

- FITTS, R.H., u. J.J. WIDRICK (1996): Muscle mechanics: adaptations with exercise-training. *Exerc. Sport. Sci. Rev.* **24**, 427-473.
- FLYNN, M.G., D.L. COSTILL, J.P. KIRWAN, W.J. FINK u. D.R. DENGEL (1987): Muscle fiber composition and respiratory capacity in triathletes. *Int. J. Sports Med.* **8**, 383-386.
- FREILICH, R.J., R.L. KIRSNER u. E. BYRNE (1995): Isometric strength and thickness relationships in human quadriceps muscle. *Neuromuscul. Disord.* **5**, Nr. 5, 415-422.
- GALISTEO, A.M., E. AGUERA, J.G. MONTERDE u. F. MIRO (1992): Gluteus medius muscle fiber type composition in young Andalusian and Arabian horses. *J. Equine Vet. Sci.* **4**, 254-258.
- GERARD, E.S., V.J. CAIOZZO, B.D. RUBIN, C.A. PRIETTO u. D.M. DAVIDSON (1986): Skeletal muscle profiles among elite long, middle, and short distance swimmers. *Am. J. Sports Med.* **14**, 77-82.
- GOLLNICK, P.D. (1981): *Int. J. Sports Medicine* 2, 189. Zit. nach SALOMON et al. (1983).
- GORSKI, J. (1992): Muscle triglyceride metabolism during exercise. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* **70**, Nr. 1, 123-131.
- GOTTLIEB, M., B. ESSEN-GUSTAVSSON, A. LINDHOLM u. S.G. PERSSON (1988): Circulatory and muscle metabolic responses to draught work compared to increasing trotting velocities. *Equine Vet. J.* **20**, Nr. 6, 430-434.
- GOTTLIEB, M., B. ESSEN-GUSTAVSSON, A. LINDHOLM u. S.G. PERSSON (1989): Effects of a draft-loaded interval-training program on skeletal muscle in the horse. *J. Appl. Physiol.* **67**, Nr. 2, 570-577.
- GREENE, H.M., S.J. WICKLER, R.L. TUCKER u. C. LONDON (1995): Fiber type composition of the middle gluteal muscle of mules. *J. Equine Vet. Sci.* **9**, 388-391.
- GRIMBY, G. (1995): Muscle performance and structure in the elderly as studied cross-sectionally and longitudinally. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* **50**, 17-22.
- GUNN, H.M. (1975): Adaptations of skeletal muscle that favour athletic ability. *New Zealand Vet. J.* **23**, 249-254.
- HARTIKKA, P. (1980): Types of muscle fibers in finnish horses. XIII. Congress European Society of Veterinary Surgery, Budapest 5.-7th June 1980. Zit. nach SALOMON et al. (1983).
- HERMANSON, J.W. (1997): Architecture and the division of labor in the extensor carpi radialis muscle of horses. *Acta Anat.* **159**, 127-135.

- HILL, A.V. (1950): The dimensions of animals and their muscular dynamics. *Sci. Progress* **38**, 209-229.
- HODGSON, D.R., R.J. ROSE u. J.R. ALLEN (1983): Muscle glycogen depletion and repletion patterns in horses performing various distances of endurance exercise. In: *Equine Exercise Physiology*. Eds: D.H. SNOW, S.G.B. PERSSON and R.J. ROSE. Granta Editions, Cambridge UK. pp 229-236. Zit. nach RIVERO (1996 a).
- HORTOBAGYI, T., J.A. HOUMARD, J.R. STEVANSON, D.D. FRASER, R.A. JOHNS u. R.R. ISRAEL (1993): The effects of detraining on power athletes. *Exercise Med. Sci. Sports Exerc.* **25**, Nr. 8, 929-935.
- HORTOBAGYI, T., D. ZHENG, M. WEIDNER, N.J. LAMBERT, S. WESTBROOK u. J.A. HOUMARD (1995): The influence of aging on muscle strength and muscle fiber characteristics with special reference to eccentric strength. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* **50**, Nr. 6, 399-406.
- HULTMAN, E. (1992): Fuel selection, muscle fibre. *Proc. Nutr. Soc.* **54**, Nr. 1, 107-121.
- JAKOLEW, N.N. (1978): *Med. u. Sport* **18**, 161. Zit. nach SALOMON et al. (1983).
- KATZ, A., K. SAHLIN u. J. HENRIKSSON (1986): Muscle ATP turnover rate during isometric contraction in humans. *J. Appl. Physiol.* **60**, Nr. 6, 1839-1842.
- KLINE, K.H., u. P.J. BECHTEL (1988): Changes in the metabolic profile of the equine gluteus medius as a function of sampling depth. *Comp. Biochem. Physiol. A.* **91**, Nr. 4, 815-819.
- KLINE, K.H., u. P.J. BECHTEL (1990): Changes in the metabolic profile of equine muscle from birth through 1 yr of age. *J Appl. Physiol.* **68**, Nr. 4, 1399-1404.
- KOMI, P.V., J.H.T. VITASALO, M. HAVU, A. THORSTENSSON, B. SJODIN u. J. KARLSSON (1977): Skeletal muscle fibres and muscle enzyme activities in monozygous and dizygous twins of both sexes. *Acta Physiol. Scand.* **100**, 383-392.
- KRAEMER, W.J., J.F. PATTON, S.E. GORDON, E.A. HARMAN, M.R. DESCHENES, K. REYNOLDS, R.U. NEWTON, N.T. TRIPLETT u. J.E. DZIADOS (1995): Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J. Appl. Physiol.* **78**, Nr. 3, 976-989.
- KUNO, S., S. KATSUTA, T. INOUE, I. ANNO, K. MATSUMOTO u. M. AKISADA (1988): Relationship between MR relaxation time and muscle fiber composition. *Radiology* **169**, Nr. 2, 567-568.
- KUZON, W.M., J.D. ROSENBLATT, S.C. HUEBEL, P. LEATT, M.J. PLYLEY, N.H. MCKEE u. I. JACOBS (1990): Skeletal muscle fiber type, fiber size, and capillary supply in elite soccer players. *Int. J. Sports Med.* **11**, Nr. 2, 99-102.

- LEXELL, J. (1995): Human aging, muscle mass, and fiber type composition. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* **50**, 11-16.
- LINDHOLM, A., u. K. PIEHL (1974): Fiber composition, enzyme activity and concentrations of metabolites and electrolytes in muscles of Standardbred horses. *Acta Vet. Scand.* **15**, 287-309.
- LINDMAN, R., A. ERIKSSON u. L.E. THORNELL (1990): Fiber type composition of the human male trapezius muscle: enzyme-histochemical characteristics. *Am. J. Anat.* **189**, Nr. 3, 236-244.
- LINDNER, A. (1997): *Laktat und Leistung – Wie Pferdesport mit Methode statt mit Mythen betrieben wird.* Verlag Lensing Druck, Dortmund, S. 76-81.
- LINOSSIER, M.T., D. DORMOIS, A. GEYSSANT u. C. DENIS (1997): Performance and fibre characteristics of human skeletal muscle during short sprint training and detraining on a cycle ergometer. *Eur. J. Appl. Physiol.* **75**, Nr. 6, 491-498.
- LITTLE, M.A., u. B.R. JOHNSON jr. (1986): Grip strength, muscle fatigue, and body composition in nomadic Turkana pastoralists. *Am. J. Phys. Anthropol.* **69**, Nr. 3, 335-344.
- LOPEZ-RIVERO, J.L., E. AGUERA, J.G. MONTERDE, J. VIVO u. M.V. RODRIGUEZ-BARBUDO (1992 a): Skeletal muscle fiber size in untrained and endurance-trained horses. *Am. J. Vet Res.* **53**, Nr. 5, 847-850.
- LOPEZ-RIVERO, J.L., E. AGUERA, M.V. RODRIGUEZ-BARBUDO, A.M. GALISTEO u. J.L. MORALES-LOPEZ (1990): Degrees of correspondence between contractile and oxidative capacities in horse muscle fibers: a histochemical study. *Histol. Histopathol.* **5**, Nr. 1, 49-53.
- LOPEZ-RIVERO, J.L., A.M. DIZ, J.G. MONTERDE u. E. AGUERA (1993): Intamuscular distribution of fibre types in the gluteus medius of the horse: a histochemical analysis. *Anat. Histol. Embryol.* **22**, Nr. 3, 233-240.
- LOPEZ-RIVERO, J.L., J.L. MORALES-LOPEZ, A.M. GALISTEO u. E. AGUERA (1991): Muscle fiber type composition in untrained and endurance-trained Andalusian and Arab horses. *Equine Vet. J.* **23**, Nr. 2, 73-74.
- LOPEZ-RIVERO, J.L., A.L. SERRANO, A.M. DIZ u. A.M. GALISTEO (1992 b): Variability of muscle fibre composition and fibre size in the horse gluteus medius: an enzyme-histochemical and morphometric study. *J. Anat.* **181**, 1-10.
- MACKOVA, E., J. MELICHNA, L. HAVLICKOVA, Z. PLACHETA, D. BLAHOVA u. B. SEMIGINOVSKY (1986): Skeletal muscle characteristics of sprint cyclists and nonathletes. *Int. J. Sports Med.* **7**, 295-297.

- MANTA, P., N. KALFAKIS, E. KARARIZOU, D. VASSILOPOULOS u. C. PAPAGEORGIOU (1996): Size and proportion of fiber types in human muscle fascicles. *Clin. Neuropathol.* **15**, Nr. 2, 116-118.
- MARIN, P., I. HOGH-KRISTIANSEN, S. JANSSON, M. KROTKIEWSKI, G. HOLM u. P. BJORNTORP (1992): Uptake of glucose carbon in muscle glycogen and adipose tissue triglycerides in vivo in humans. *Am. J. Physiol.* **263**, Nr. 3,1, 473-480.
- MARTIN, W.H. (1996): Effects of acute and chronic exercise on fat metabolism. *Exerc. Sport. Sci. Rev.* **24**, 203-231.
- MARTIN, W.H., A.R. COGGAN, R.J. SPINA u. J.E. SAFFITZ (1989): Effects of fiber type and training on beta-adrenoceptor density in human skeletal muscle. *Am. J. Physiol.* **257**, Nr. 5,1, 736-742.
- MEIJER, A.E.F.H. (1970): Histochemical method for the demonstration of myosin adenosine triphosphatase in muscle tissue. *Histochemistry* **22**, 51-58.
- MELICHNA, J., J. PARIKOVA, C.W. ZAUNER u. L. HAVLICKOVA (1994): Relationship of muscle fibre distribution to body composition in physically trained and normally active humans males. *Physiol. Res.* **43**, Nr. 4, 233-241.
- MELICHNA, J., C.W. ZAUNER, L. HAVLICKOVA, J. NOVAK, D.W. HILL u. R.J. COLMAN (1990): Morphologic differences in skeletal muscle with age in normally active human males and their well-trained counterparts. *Hum. Biol.* **62**, Nr. 2, 205-220.
- MERO, A., P. LUHTANEN, J.T. VITASALO u. P.V. KOMI (1981): Relationships between the maximal running velocity, muscle fibre characteristics, force production and force relaxation of sprinters. *Scand. J. Sports Sci.* **3**, 16-22.
- MILLER, A.E., J.D. MAC DOUGALL, M.A. TARNOPOLSKY u. D.G. SALE (1993): Gender differences in strength and muscle fiber characteristics. *Eur. J. Appl. Physiol.* **66**, Nr. 3, 254-262.
- MISUMI, K., H. SAKOMOTO u. R. SHIMIZU (1995): Changes in skeletal muscle composition in response to swimming training for young horses. *J. Vet. Med. Sci.* **57**, Nr. 5, 959-961.
- OELZ, O., H. HOWALD, P.E. DI-PRAMPERO, H. HOPPELER, H. CLAASSEN, R. JENNI, A. BUHLMANN, G. FERRETTI, J.C. BRUCKNER u. A. VEICSTEINAS (1986): Physiological profile of blood world-class high-altitude climbers. *J. Appl. Physiol.* **60**, Nr. 5, 1734-1742.
- PERSSON, S.G.B., B. ESSEN-GUSTAVSSON u. A. LINDHOLM (1991): Energy profile and the locomotor pattern of trotting on an inclined treadmill. In: *Equine Exercise Physiology 3*. S.G.B. Persson, A. Lindholm and L.B. Jeffcott (Eds.) ICEEP Publications, Davis, California. pp. 231-238. Zit. nach RIVERO u. CLAYTON (1996).

- PETER, J., R. BARNARD, V. EDGERTON, C. GILLESPIE u. K. STEMPEL (1972): Metabolic profiles of three fiber types of skeletal muscle in Guinea Pigs and rabbits. *Biochemistry* **11**, 2627.
- PETTE, D., u. H.W. STAUDTE (1973): Differences between red and white muscles. In: Keul, J. (Ed.): Limiting factors of physical performance. Stuttgart: G. Thieme, 23. Zit. nach SALOMON et al. (1983).
- PIEPER, K.S., u. A. SCHMIDT (1981): *Wiss. Ztschr. Friedrich-Schiller-Univ. Jena, Math.-Naturwiss. R.* **30**, 331. Zit. nach SALOMON et al. (1983).
- PRINCE, F.P., R.S. HIKIDA u. F.C. HAGERMAN (1976): Human muscle fiber types in power lifters, distance runners and untrained subjects. *Pflügers Arch.* **363**, 19-26.
- PROCTOR, D.N., W.E. SINNING, J.M. WALRO, G.C. SIECK u. P.W. LEMON (1995): Oxidative capacity of human muscle fibre types: effects of age and training status. *J. Appl. Physiol.* **78**, Nr. 6, 2033-2038.
- RASANEN, L. A., T. MYLLYMAKI, P. MAISI u. A.R. POSO (1993): Accumulation of allantoin and uric acid in plasma of exercising trotters. *Am. J. Vet. Res.* **54**, Nr. 11, 1923-1928.
- RIVERO, J.L.L. (1996 a): Discrimination between endurance horses with different performance records. *Pferdeheilk.* **12**, Nr. 4, 510-513.
- RIVERO, J.L.L. (1996 b): Fast myosin heavy chain isoforms in horse skeletal muscle: an immunohistochemical and electrophoretic study. *Pferdeheilk.* **12**, Nr. 4, 523-527.
- RIVERO, J.L.L. (1996 c): Immunohistochemistry versus traditional myofibrillar ATPase histochemistry for identification of muscle fibre types in horses. *Pferdeheilk.* **12**, Nr. 4, 518-522.
- RIVERO, J.L.L., u. H.M. CLAYTON (1996): The potential role of the muscle in kinematic characteristics. *Pferdeheilk.* **12**, Nr. 4, 635-640.
- RIVERO, J.L., A.M. GALISTEO, E. AGUERA u. F. MIRO (1993 a): Skeletal muscle histochemistry in male and female Andalusian and Arabian horses of different ages. *Res. Vet. Sci.* **54**, Nr. 2, 160-169.
- RIVERO, J.L.L., A. ISLAS, M. QUEZADA, G. MORA, M. BRIONES, L. LOPEZ, G. AGUIRRE u. L. MARIN (1996 a): Histochemical properties and enzyme activities of skeletal muscle in Chilean draught horses. *Pferdeheilk.* **12**, Nr. 4, 514-517.
- RIVERO, J.L., M.C. RUZ, A.L. SERRANO u. A.M. DIZ (1995 a): Effects of a 3 month endurance training programme on skeletal muscle histochemistry in Andalusian, Arabian and Anglo-Arabian horses. *Equine Vet. J.* **27**, Nr. 1, 51-59.

- RIVERO, J.L.L., A.L. SERRANO, A.M. DIZ u. A.M. GALISTEO (1992): Variability of muscle fibre composition and fibre sizes in the horse gluteus medius: An enzyme-histochemical and morphometric study. *J. Anat.* **181**, 1-10.
- RIVERO, J.L., A.L. SERRANO, A.M. DIZ u. J.L. MORALEZ (1993 b): Changes in cross-sectional area and capillary supply of the muscle fiber population in equine gluteus medius muscle as a function of sampling depth. *Am. J. Vet Res.* **54**, Nr. 1, 32-37.
- RIVERO, J.L.L., A.L. SERRANO, P. HENCKEL u. E. AGUERA (1993 c): Muscle fibre type composition and fibre size in successfully and unsuccessfully endurance-raced horses. *J. Appl. Physiol.* **75**, 1758-1766.
- RIVERO, J.L.L., A.L. SERRANO u. P. HENCKEL (1995 b): The activities of selected aerobic and anaerobic enzymes in the gluteus medius muscle of endurance horses with different performance records. *Vet. Rec.* **137**, 187-192.
- RIVERO, J.L.L., R.J. TALMADGE u. R. EDGERTON (1996 b): Correlation between myofibrillar ATPase activity and myosin heavy chain composition in equine skeletal muscle and the influence of training. *The Anatomical Record* **246**, 195-207.
- RIVERO, J.L., M. VALERA, A. SERRANO u. M. VINUESA (1996 c): Variability of muscle fibre type composition in a number of genealogical bloodlines in Arabian and Andalusian horses. *Pferdeheilk.* **12**, Nr. 4, 661-665.
- ROMAN, W.J., J. FLECKENSTEIN, J. STRAY-GUNDERSEN, S.E. ALWAY, R. PESHOCK u. W.J. GONYEA (1993): Adaptations in the elbow flexors of elderly males after heavy-resistance training. *J. Appl. Physiol.* **74**, Nr. 2, 750-754.
- RONEUS, N., B. ESSEN-GUSTAVSSON, C. JOHNSTON, S. DREVERNO u. S. PERSSON (1995): Lactate response to maximal exercise on the track: relation to muscle characteristics and kinematic variables. *Equine Vet. J., Suppl.* **18**, 191-194. Zit. nach RIVERO u. CLAYTON (1996).
- RONEUS, N., B. ESSEN-GUSTAVSSON, A. LINDHOLM u. Y. ERIKSSON (1994): Plasma lactate response to submaximal and maximal exercise tests with training, and its relationship to performance and muscle characteristics in standardbred trotters. *Equine Vet. J.* **26**, Nr. 2, 117-121.
- RONEUS, M., B. ESSEN-GUSTAVSSON, A. LINDHOLM u. S.G. PERSSON (1992): Skeletal muscle characteristics in young trained and untrained standardbred trotters. *Equine Vet. J.* **24**, Nr. 4, 292-294.
- RONEUS, M., A. LINDHOLM u. A. ASHEIM (1991): Muscle characteristics in Thoroughbreds of different ages and sexes. *Equine Vet. J.* **23**, Nr. 3, 207-210.
- SALOMON, F.V., G. MICHEL, B. SALOMON u. F. GRUSCHWITZ (1981): Zur Fasertypisierung an Skelettmuskeln. *Mh. Vet.-Med.* **36**, 349-353.

- SALOMON, F.V., B. SALOMON u. H. BUHL (1980): Zur Eignung des Modelltieres Schwein im physischen Training. *Ergebn. Exp. Med.* **35**, 469-477.
- SALOMON, F.V., J. SCHNEIDER u. A. GERICKE (1983): Zu Fragen der Muskelbiopsie bei Sportpferden. *Mh. Vet.-Med.* **38**, 904-908.
- SALTIN, B., J. HENRIKSSON, E. NYGAARD, P. ANDERSEN u. E. JANSSON (1977), *Annals of the New York Academy of Sciences* **301**, 3 zit. nach SNOW, D.H., u. P.S. GUY (1980).
- SEIFERLE, E., u. J. FREWEIN (1992): Aktiver Bewegungsapparat, Muskelsystem, Myologia. In: NICKEL, R., A. SCHUMMER u. E. SEIFERLE (Hrsg.): *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere*. 6. Aufl., Bd 1. Bewegungsapparat. Verlag Parey, Berlin, Hamburg, S. 501, 515, 544, 545.
- SERRANO, A.L., J.L. PETRIE, J.L. RIVERO u. J.W. HERMANSON (1996): Myosin isoforms and muscle fiber characteristics in equine gluteus medius muscle. *Anat. Rec.* **244**, Nr. 4, 444-451.
- SIMONEAU, J.A., u. C. BOUCHARD (1989): Human variation in skeletal muscle fiber-type proportion and enzyme activities. *Am. J. Physiol.* **257**, Nr. 4,1, 567-572.
- SIMONEAU, J.A., u. C. BOUCHARD (1995): Genetic determinism of fiber type proportion in human skeletal muscle. *Faseb. J.* **9**, Nr. 11, 1091-1095.
- SIMONEAU, J.A., G. LORTIE, M.R. BOULAY, M. MARCOTTE, M.C. THIBAUT u. C. BOUCHARD (1985 a): Human skeletal muscle fiber type alteration with high-intensity intermittent training. *Eur. J. Appl. Physiol.* **54**, Nr. 3, 250-253.
- SIMONEAU, J.A., G. LORTIE, M.R. BOULAY, M.C. THERIBAUT u. C. BOUCHARD (1985 b): Skeletal muscle histochemical and biochemical characteristics in sedentary male and female subjects. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* **63**, Nr. 1, 30-35.
- SJODIN, B., I. JACOBS u. J. SVEDENHAG (1982): Changes in onset of blood lactate accumulation (OBLA) and muscle enzymes after training at OBLA. *Eur. J. Appl. Physiol.* **41**, Nr. 1, 45-57.
- SLEIVERT, G.G., R.D. BACKUS u. H.A. WENGER (1995): Neuromuscular differences between volleyball players, middle distance runners and untrained controls. *Int. J. Sports Med.* **16**, Nr. 6, 390-398.
- SNOW, D.H., P. BAXTER u. R.J. ROSE (1981): Muscle fibre composition and glycogen depletion in horses competing in an endurance ride. *Vet. Rec.* **108**, 374-378.
- SNOW, D.H., u. P.S. GUY (1980): Muscle fibre type composition of a number of limb muscles in different types of horse. *Res. Vet. Sci.* **28**, 137-144.
- SNOW, D.H., u. P.S. GUY (1981): Fibre type and enzyme activities of the gluteus medius in different breeds of horse. In: *Biochemistry of Exercise IV*. Eds: J.B. Poortmans and B. Niset. University Park Press, Baltimore, MD. pp 275-282. Zit. nach RIVERO (1996 a).

- SNOW, D.H., M.G. KERR, M.A. NIMMO u. E.M. ABBOTT (1982): Alterations in blood, sweat, urine in muscle composition during prolonged exercise in the horse. *Vet. Rec.* **110**, 377-384.
- SNOW, D.H., u. S.J. VALBERG (1994): Muscle anatomy, physiology, and adaptations to exercise and training. In: *The Athletic Horse*. Eds. D.R. HODGSON and R.J. ROSE. W.B. Saunders, Philadelphia, pp 145-179.
- SPANNHOF, L. (1967): *Einführung in die Praxis der Histochemie*. 2. Aufl.-Jena: VEB Gustav Fischer Verlag.
- STARON, R.S., R.S. HIKIDA, F.C. HAGERMAN, G.A. DUDLEY u. T.F. MURRAY (1984): Human skeletal muscle fiber type adaptability to various workloads. *J. Histochem. Cytochem.* **32**, Nr. 2, 146-152.
- TAYLOR, A.W., u. L. BRASSARD (1981): Skeletal muscle fiber distribution and area in trained and stalled standardbred horses. *Can. J. Anim. Sci.* **61**, 601-605.
- TESCH, P.A., u. J. KARLSSON (1983): Muscle fiber type characteristics of M. deltoideus in wheelchair athletes. Comparison with other trained athletes. *Am. J. Phys. Med.* **62**, Nr. 5, 239-243.
- TESCH, P.A., J.E. WRIGHT, J.A. VOGEL, W.L. DANIELS, D.S. SHARP u. B. SJODIN (1985): The influence of muscle metabolic characteristics on physical performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* **54**, Nr. 3, 237-243.
- TIHANYI, J., P. APOR u. G. FEKETE (1982): Force-velocity-power characteristics and fiber composition in human knee extensor muscles. *Eur. J. Appl. Physiol.* **48**, Nr. 3, 331-343.
- TRAPPE, S.W., D.L. COSTILL, W.J. FINK u. D.R. PEARSON (1995): Skeletal muscle characteristics among distance runners: a 20 yr follow-up study. *J. Appl. Physiol.* **73**, Nr. 3, 823-829.
- TRAVNIK, L., F. PERNUS u. I. ERZEN (1995): Histochemical and morphometric characteristics of the normal human vastus medialis longus and vastus medialis obliquus muscle. *J. Anat.* **187**, 403-411.
- VALBERG, S., u. B. ESSEN-GUSTAVSSON (1987): Metabolic response to racing determined in pools of type I, IIA and IIB fibres. In: *Equine Exercise Physiology 2*. J.R. Gillespie and N.E. Robinson (Eds.). ICEEP Publications, Davis, California. pp. 290-301. Zit. nach RIVERO u. CLAYTON (1996).
- VALBERG, S., B. ESSEN-GUSTAVSSON, A. LINDHOLM u. S. PERSSON (1985): Energy metabolism in relation to skeletal muscle fiber properties during treadmill exercise. *Equine Vet. J.* **17**, Nr. 6, 439-444.
- VIITASALO, J.T., u. C. BOSCO (1982): Electromechanical behaviour of human muscles in vertical jumps. *Eur. J. Appl. Physiol.* **48**, Nr. 2, 253-261.

- WANG, N., R.S. HIKIDA, R.S. STARON u. J.A. SIMONEAU (1993): Muscle fiber types of women after resistance training-quantitative ultrastructure and enzyme activity. *Pflugers.-Arch.* **424**, Nr. 5-6, 494-502.
- WOOD, C.H., T.T. ROSS, J.B. ARMSTRONG u. D.C. HALL (1988): Variations in muscle fibre composition between successfully and unsuccessfully raced Quarter horses. *J. Equine Vet. Sci.* **8**, 217-220.
- ZIEGAN, J. (1979): Kombinationen enzymhistochemischer Methoden zur Fasertypendifferenzierung und Beurteilung der Skelettmuskulatur. *Acta histochem.* **65**, 34-40.

8. Anhang

Gesamtergebnisse

Tab. 50: Relative Häufigkeiten der Fasertypen (%) aller Pferde

	STO-rel.Anz.	FTO-rel.Anz.	INT-rel.Anz.	FTG-rel.Anz.
1	27,87%	50,00%	4,51%	17,62%
2	14,55%	39,09%	7,73%	38,64%
3	28,57%	45,00%	7,86%	18,57%
4	29,85%	41,79%	13,81%	14,55%
5	20,40%	49,25%	2,99%	27,36%
6	19,00%	59,00%	13,00%	9,00%
7	27,35%	46,53%	10,20%	15,92%
8	23,08%	48,58%	10,53%	17,81%
9	25,35%	45,42%	7,75%	21,48%
10	19,01%	55,37%	14,46%	11,16%
11	14,95%	46,26%	20,56%	18,22%
12	16,97%	47,71%	4,13%	31,19%
13	16,51%	36,24%	13,30%	33,94%
14	24,66%	46,28%	3,72%	25,34%
15	18,75%	49,52%	11,54%	20,19%
16	10,74%	47,11%	20,66%	21,49%
17	22,64%	49,06%	11,32%	16,98%
18	24,67%	52,42%	6,17%	16,74%
19	18,39%	45,59%	15,33%	20,69%
20	12,38%	51,43%	14,29%	21,90%
21	17,18%	40,46%	6,87%	35,50%
22	29,13%	36,89%	13,11%	20,87%
23	11,98%	46,54%	23,04%	18,43%
24	27,04%	43,78%	12,02%	17,17%
25	16,50%	52,91%	6,31%	24,27%
26	26,94%	44,08%	4,90%	24,08%
27	13,51%	49,10%	11,26%	26,13%
28	8,96%	63,21%	7,55%	20,28%
29	27,07%	42,79%	10,92%	19,21%
30	12,09%	47,91%	10,70%	29,30%
31	19,83%	50,00%	5,17%	25,00%
32	14,73%	45,54%	7,59%	32,14%
33	22,54%	39,44%	18,78%	19,25%
34	23,04%	45,16%	13,36%	18,43%

35	13,43%	57,71%	12,94%	15,92%
36	20,07%	50,19%	13,01%	16,73%
37	23,75%	56,25%	1,67%	18,33%
38	16,04%	50,51%	6,48%	26,96%
39	15,55%	52,52%	5,88%	26,05%
40	16,59%	48,34%	3,79%	31,28%
41	17,51%	52,53%	8,76%	21,20%
42	21,14%	43,22%	11,99%	23,66%
43	16,09%	57,39%	7,83%	18,70%
44	36,73%	33,45%	12,73%	17,09%
45	34,69%	29,06%	25,00%	11,25%
46	35,50%	34,50%	13,50%	16,50%
47	24,72%	38,95%	15,36%	20,97%
48	30,73%	23,39%	27,52%	18,35%
49	11,16%	46,98%	16,28%	25,58%
50	40,73%	35,89%	8,47%	14,92%
51	23,45%	41,59%	9,73%	25,22%
52	56,93%	22,28%	11,88%	8,91%
53	41,67%	24,67%	24,00%	9,67%
54	30,42%	31,67%	15,83%	22,08%
55	37,03%	26,93%	27,33%	8,71%
56	28,40%	34,57%	13,99%	23,05%
57	23,87%	26,13%	33,78%	16,22%
58	36,25%	22,92%	12,08%	28,75%
59	29,88%	35,67%	11,28%	23,17%
60	50,90%	27,03%	4,95%	17,12%
61	38,28%	29,67%	18,18%	13,88%
62	31,69%	33,74%	12,35%	22,22%
63	21,40%	45,58%	17,21%	15,81%
64	46,19%	24,76%	10,95%	18,10%

Mittelwert	0,24328254	0,42774351	0,1218994	0,20707456
SF	0,01250037	0,01238233	0,00807008	0,00800146
S	0,10000298	0,09905867	0,06456065	0,06401169
Varianz	0,01000006	0,00981262	0,00416808	0,0040975
Wertebereich	0,47968429	0,40930319	0,32117117	0,29923492
Minimum	0,08962264	0,22277228	0,01666667	0,08712871
Maximum	0,56930693	0,63207547	0,33783784	0,38636364
Anzahl	64	64	64	64

F/S-Quotient	1,59
Ox/G	3,24
FTO/FTG	2,07

Tab. 51: Relative Querschnittsflächen der Muskelfasertypen aller Pferde

	STO-rel. FI.	FTO-rel. FI.	INT-rel. FI.	FTG-rel. FI.
1	17,68%	43,84%	4,66%	33,82%
2	10,61%	33,31%	6,55%	49,52%
3	19,67%	39,59%	11,53%	29,21%
4	21,80%	38,46%	15,10%	24,64%
5	14,69%	41,43%	3,21%	40,67%
6	11,36%	51,43%	19,41%	17,80%
7	20,72%	38,40%	11,62%	29,26%
8	14,93%	43,27%	11,31%	30,50%
9	16,91%	37,71%	8,34%	37,04%
10	16,62%	48,86%	16,25%	18,26%
11	8,21%	38,38%	21,53%	31,87%
12	10,17%	38,12%	4,81%	46,90%
13	9,31%	25,29%	10,00%	55,40%
14	18,01%	39,67%	3,09%	39,23%
15	16,02%	45,99%	8,30%	29,68%
16	8,69%	36,64%	22,49%	32,17%
17	17,05%	48,97%	7,95%	26,03%
18	22,02%	44,13%	8,12%	25,73%
19	17,16%	37,02%	15,14%	30,68%
20	7,70%	38,06%	19,17%	35,07%
21	10,53%	33,39%	5,77%	50,31%
22	20,38%	33,77%	14,61%	31,24%
23	10,15%	43,62%	22,08%	24,15%
24	23,01%	35,78%	11,37%	29,84%
25	10,43%	36,29%	7,96%	45,31%
26	19,19%	40,59%	3,83%	36,38%
27	6,85%	39,00%	13,84%	40,32%
28	5,84%	54,11%	8,10%	31,94%
29	17,85%	36,44%	12,52%	33,19%
30	7,39%	30,17%	11,87%	50,57%
31	14,63%	44,07%	5,64%	35,66%
32	9,17%	33,61%	7,46%	49,76%
33	16,71%	30,91%	20,77%	31,61%
34	15,85%	37,13%	16,00%	31,02%

35	10,35%	46,28%	14,25%	29,12%
36	14,13%	40,79%	14,73%	30,35%
37	19,68%	47,45%	2,87%	30,00%
38	11,06%	39,49%	6,81%	42,65%
39	10,42%	38,70%	6,26%	44,62%
40	8,89%	40,79%	4,81%	45,51%
41	12,09%	46,01%	8,87%	33,03%
42	17,75%	36,65%	11,63%	33,97%
43	10,25%	44,37%	10,34%	35,04%
44	27,46%	30,35%	15,76%	26,43%
45	26,77%	25,28%	29,52%	18,43%
46	28,20%	34,84%	13,01%	23,95%
47	17,59%	32,38%	17,08%	32,95%
48	17,41%	21,45%	30,81%	30,32%
49	7,08%	35,50%	16,71%	40,70%
50	34,09%	35,61%	7,46%	22,84%
51	20,13%	38,70%	9,30%	31,87%
52	51,53%	19,50%	13,85%	15,12%
53	38,06%	22,26%	25,05%	14,63%
54	30,01%	28,59%	13,88%	27,52%
55	38,72%	24,79%	24,27%	12,23%
56	19,64%	28,62%	15,58%	36,15%
57	16,19%	23,08%	34,13%	26,60%
58	26,89%	21,02%	12,48%	39,61%
59	22,77%	30,59%	10,02%	36,61%
60	41,81%	24,24%	8,34%	25,61%
61	33,49%	23,16%	21,04%	22,31%
62	28,49%	30,13%	11,41%	29,97%
63	19,50%	41,55%	16,72%	22,24%
64	38,75%	27,74%	11,99%	21,52%

Mittelwert	0,18539743	0,36209108	0,129591592	0,322919903
SF	0,01202919	0,009990689	0,008581066	0,011700349
S	0,09623352	0,07992551	0,068648531	0,093602788
Varianz	0,00926089	0,006388087	0,004712621	0,008761482
Wertebereich	0,456908	0,346107934	0,312583009	0,431739143
Minimum	0,05842944	0,194976525	0,028707315	0,122267033
Maximum	0,51533744	0,541084459	0,341290324	0,554006176
Anzahl	64	64	64	64

Tab. 52: Absolute Querschnittsflächen der Fasertypen (μm^2) aller Pferde

	STO-abs. Fl.	FTO-abs. Fl.	INT-abs. Fl.	FTG-abs. Fl.	Ges.-abs. Fl.
1	2.290,56	3.165,84	3.730,47	6.929,83	16.116,70
2	2.845,24	3.322,21	3.306,07	4.997,59	14.471,11
3	2.255,50	2.883,06	4.808,76	5.154,95	15.102,27
4	3.166,35	3.989,58	4.740,61	7.338,71	19.235,25
5	3.010,41	3.516,65	4.502,11	6.214,62	17.243,79
6	1.449,16	2.111,70	3.617,72	4.791,18	11.969,75
7	2.395,05	2.608,01	3.599,62	5.808,19	14.410,87
8	2.041,89	2.810,99	3.390,27	5.403,57	13.646,73
9	1.730,22	2.154,32	2.792,23	4.475,08	11.151,84
10	2.323,85	2.345,04	2.986,28	4.350,49	12.005,67
11	2.415,25	3.647,92	4.604,63	7.688,84	18.356,64
12	1.809,66	2.413,58	3.519,48	4.541,38	12.284,11
13	2.516,00	3.115,04	3.356,07	7.285,07	16.272,18
14	2.960,33	3.474,01	3.371,64	6.276,43	16.082,40
15	2.684,10	2.917,08	2.259,40	4.616,24	12.476,82
16	2.014,45	1.937,66	2.711,97	3.729,75	10.393,83
17	3.074,59	4.076,37	2.869,07	6.259,37	16.279,41
18	2.729,27	2.573,86	4.027,15	4.700,18	14.030,45
19	2.367,10	2.059,97	2.506,40	3.761,68	10.695,15
20	2.654,68	3.161,20	5.731,66	6.838,17	18.385,71
21	2.686,51	3.615,91	3.677,19	6.208,64	16.188,25
22	2.923,06	3.823,87	4.657,04	6.253,69	17.657,67
23	3.286,64	3.636,15	3.717,30	5.082,12	15.722,21
24	2.912,08	2.796,74	3.236,41	5.947,56	14.892,79
25	2.265,00	2.457,40	4.517,35	6.688,25	15.927,99
26	2.958,11	3.823,33	3.250,09	6.271,47	16.303,00
27	2.442,62	3.829,78	5.927,48	7.441,14	19.641,02
28	2.111,92	2.773,06	3.478,50	5.101,81	13.465,29
29	1.963,42	2.535,41	3.416,27	5.143,56	13.058,67
30	2.454,60	2.529,46	4.455,70	6.931,85	16.371,62
31	2.037,39	2.434,72	3.010,50	3.940,08	11.422,68
32	1.809,49	2.144,36	2.855,51	4.497,84	11.307,20
33	2.379,75	2.516,21	3.549,91	5.272,07	13.717,93
34	2.372,48	2.836,58	4.130,31	5.805,68	15.145,05

35	2.867,14	2.984,83	4.101,40	6.807,46	16.760,83
36	2.277,19	2.630,16	3.662,49	5.870,61	14.440,44
37	2.741,61	2.791,82	5.700,03	5.414,99	16.648,44
38	2.208,09	2.504,56	3.366,26	5.067,58	13.146,49
39	2.301,23	2.529,89	3.652,77	5.879,75	14.363,65
40	2.274,54	3.579,91	5.381,54	6.173,12	17.409,11
41	1.826,41	2.316,27	2.679,41	4.121,44	10.943,52
42	2.645,78	2.670,84	3.055,38	4.522,31	12.894,31
43	1.696,74	2.057,94	3.516,16	4.988,32	12.259,16
44	2.442,74	2.963,15	4.044,51	5.052,31	14.502,71
45	2.410,62	2.717,36	3.688,51	5.116,78	13.933,26
46	1.904,52	2.420,52	2.310,42	3.479,05	10.114,50
47	2.347,18	2.742,56	3.669,13	5.182,24	13.941,12
48	1.887,80	3.055,50	3.730,20	5.505,68	14.179,19
49	2.681,68	3.193,95	4.338,82	6.723,10	16.937,55
50	2.465,99	2.922,66	2.593,57	4.510,05	12.492,28
51	3.191,51	3.458,96	3.551,50	4.697,79	14.899,75
52	2.591,58	2.505,77	3.336,36	4.858,86	13.292,57
53	2.355,62	2.326,90	2.691,85	3.903,29	11.277,66
54	4.269,59	3.907,51	3.793,78	5.393,58	17.364,46
55	3.050,85	2.685,40	2.590,76	4.094,27	12.421,27
56	2.545,79	3.047,17	4.097,44	5.772,84	15.463,23
57	2.012,02	2.620,59	2.996,88	4.866,13	12.495,62
58	2.207,92	2.730,04	3.075,50	4.101,54	12.115,01
59	2.332,63	2.625,39	2.719,99	4.836,91	12.514,93
60	2.486,70	2.715,47	5.092,29	4.528,67	14.823,13
61	2.919,10	2.604,84	3.860,78	5.364,61	14.749,33
62	3.632,61	3.607,10	3.732,13	5.448,06	16.419,90
63	3.600,80	3.601,33	3.837,58	5.556,05	16.595,75
64	2.633,43	3.516,79	3.437,95	3.732,91	13.321,08

Mittelwert	2502,283655	2907,37875	3665,883113	5364,334132	14439,87965
SF	63,03206116	68,13562965	102,9894465	127,9497812	285,7015841
S	504,2564893	545,0850372	823,9155723	1023,59825	2285,612673
Varianz	254274,607	297117,6977	678836,8703	1047753,377	5224025,291
Wertebereich	2820,432101	2138,716276	3668,078667	4209,794121	9526,520967
Minimum	1449,158929	1937,655425	2259,402583	3479,045648	10114,50361
Maximum	4269,59103	4076,371701	5927,481251	7688,839769	19641,02458
Summe	160146,1539	186072,24	234616,5192	343317,3845	924152,2976
Anzahl	64	64	64	64	64

Danksagung

Bei Herrn Prof. Dr. F.V. Salomon möchte ich mich ganz besonders herzlich für die Überlassung des interessanten Themas sowie für die zuverlässige fachliche Beratung und Betreuung bedanken.

Mein besonderer Dank gilt weiterhin den Familien K. Bünger, Fam. U. Bünger, Fam. H. Erxleben, Fam. H. Ramsbrock, Fam. Schmidt, Fam. H. Tormählen und Fam. B. Wahler für die Bereitstellung ihrer wertvollen Hengstanwärter zur Durchführung dieser Untersuchungen.

Für die Unterstützung bei der histologischen Aufbereitung des Biopsiematerials danke ich Herrn Prof. Dr. J. Seeger und seinen Mitarbeitern, insbesondere Frau Lindner und Frau Schwarze.

Außerdem möchte ich mich bei Frau Dr. Gericke und Herrn Dr. C. Heuer für die Beratung über die Auswahl der statistischen Verfahren bedanken.

Nicht zuletzt sei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Veterinär-Anatomischen Instituts gedankt, die zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.