

Beziehungen zwischen Masse, Maßen und Mikrostrukturmerkmalen des *Musc. semitendinosus* von wachsenden Schweinen

Relationship between Mass, Proportions and Microstructure Traits in *Semitendinosus* Muscle of Growing Pigs

ILSE FIEDLER, J. WEGNER und CHARLOTTE REHFELDT

Forschungszentrum für Tierproduktion Dummerstorf-Rostock
der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR
(Direktor: Prof. Dr. sc. K. ROTHE)

(Eingegangen am 17. Juli 1986)

Mit 5 Abbildungen und 1 Tabelle

Summary

In 220 pigs, aged 5, 8, 20, 29 and 32 weeks, outer proportions and quantitativ-microscopical muscle fibre traits were measured and compared with mass development of muscle and ham. It was found, that the increase of average diameter of semitendinosus muscle fibres conforms to the increase of other growth conditional traits.

Further it was attempted, to estimate muscle mass and ham mass on the base of measuring muscle fibres and proportions at same age by multiple regressions. When the diameters of two fibre types in dark and light portion of muscle and two muscle proportions were taken as influence traits, can be calculated muscle mass with a security of 67–91% and ham mass with a security of 35–75%. When only three influence traits were taken, the security was so low, that estimation of muscle and ham mass was impossible.

Zusammenfassung

An 220 Schweinen im Alter von 5–32 Wochen wurden äußere Merkmale und quantitativ-mikroskopische Muskelfasermerkmale des *Musc. semitendinosus* erfaßt und zur Masseentwicklung des Muskels und des Schinkens in Beziehung gesetzt.

Der Faserdurchmesser paßt sich in seiner postnatalen Entwicklung der Zunahme der anderen untersuchten Merkmale gut an. So wurde versucht, auf der Grundlage von Muskelfasermessungen eine Schätzung der Zielgrößen Muskelmasse und Schinkenmasse zum gleichen Alterszeitpunkt mit Hilfe der multiplen Regression vorzunehmen. Werden die Faserdurchmesser der hellen und dunklen Muskelregion sowie zwei Muskelmaße als Einflußgrößen zugrunde gelegt, so läßt sich mit einem Bestimmtheitsmaß von 67–91% die Muskelmasse bzw. von 35–75% die Schinkenmasse schätzen.

Bei Einbeziehung von nur drei Einflußgrößen sind die Bestimmtheitsmaße so gering, daß eine sichere Schätzung nicht möglich ist.

Einleitung

Schwerpunkte bei der Intensivierung der Tierproduktion sind die Entwicklung und optimale Ausschöpfung des Leistungspotentials der landwirtschaftlichen Nutztiere. Die Realisierung dieser Zielstellung ist heute ohne die Erarbeitung und Anwendung

biologischer Grundlagenkenntnisse nicht mehr denkbar. In diesem Zusammenhang sind auch die Grundlagen des Muskelwachstums von Bedeutung, denn die Muskulatur ist der Realisierungsort der tierischen Leistung „Fleisch“. Beim Schwein sind die Kenntnis der Wachstumsleistung und der Körperzusammensetzung des lebenden Tieres für die Züchtung von Bedeutung. Demzufolge muß nach Möglichkeiten gesucht werden, Informationen über diese Leistungskomplexe bereits vor der Zuchtbenutzung zu erhalten, d. h. über die Erfassung von „Indikator-Merkmalen“ Aussagen über den zu erwartenden Muskelansatz zu machen. Zuvor jedoch sind die Beziehungen zwischen diesen Merkmalen beim geschlachteten Tier zu prüfen.

In der vorliegenden Untersuchung soll an Schlachtkörpern von Schweinen verschiedenen Alters das Wachstum von anatomischen und quantitativ-mikroskopischen Merkmalen am Beispiel des *M. semitendinosus* charakterisiert werden. Außerdem wird der Versuch unternommen, über multiple Regressionen mit Hilfe von Muskel- und Muskelfasermerkmalen die Muskelmasse und die Schinkenmasse zu schätzen.

Material und Methoden

Das Untersuchungsmaterial stammte von 220 männlichen Schweinen der Kreuzung Landrasse \times Edelschwein, die einzeln gehalten und gefüttert wurden. Das Tiermaterial stellte der Wissenschaftsbereich Tierernährung der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock zur Verfügung, wofür an dieser Stelle herzlich gedankt sei.

Im Alter von 5, 8, 20, 29 und 32 Wochen erfolgten die Schlachtungen. Nach der Kühlung der Schlachtkörper wurde aus dem Schinken der *M. semitendinosus* herauspräpariert, gewogen, Länge und Umfang gemessen und aus der hellen und dunklen Region je zwei Muskelproben entnommen. Die Differenzierung der Fasertypen „rot“ und „intermediär“ bzw. „weiß“ nach den Stoffwechseleigenschaften (oxidativ bzw. glykolytisch) erfolgte an Gefrierschnitten durch den histochemischen Nachweis der NADH-Tetrazoliumreduktase, der sich als günstig für Routineuntersuchungen erwiesen hat (FIEDLER und WEBER 1981). Am halbautomatischen Auswertungsgerät MFA 1 (BEYERSDORFER et al. 1985) konnten durch Zählung und Messung von 1000 Faserquerschnitten je Tier die durchschnittliche Faserdicke und die Anteile der Typen direkt abgelesen werden. Durch Multiplikation der Anzahl Fasern je cm^2 mit der Muskelfläche in Höhe des Muskelbauches wurde die Gesamtanzahl Muskelfasern errechnet. Die biostatistische Auswertung der Daten erfolgte anhand der Berechnungen von Mittelwert, Standardabweichung, des *t*-Testes sowie multiplen Regressionskoeffizienten nach Verfahren von RASCH et al. (1978).

Ergebnisse

1. Mikroskopisches Bild

Im Querschnittsbild lassen sich im *M. semitendinosus* histochemisch drei Typen von Fasern differenzieren (Abb. 1 und 2). Im Zentrum jedes Primärbündels befinden sich mitochondrienreiche, oxidative Fasern (Typ rot), die eine stark positive Reaktion auf den Nachweis von NADH-Tetrazoliumreduktase zeigen. Benachbart dazu sind Fasern mit geringerer Mitochondriendichte und deshalb schwach positiver Reaktion zu finden (Typ intermediär), und randständig lassen sich in jedem Bündel zahlreiche mitochondrienarme, glykolytische Fasern des Typ „weiß“ nachweisen. Die dunkle Muskelregion enthält prozentual mehr oxidative Fasern als die helle Region.

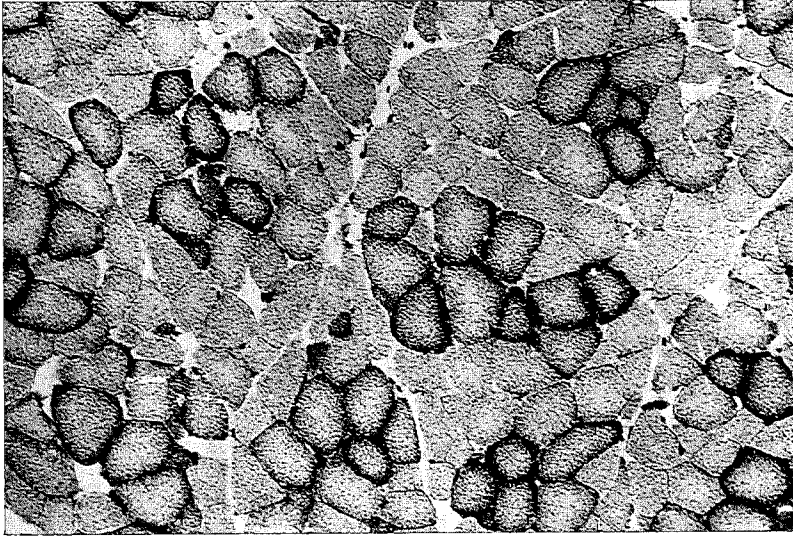


Abb. 1. Querschnitt des *Musc. semitendinosus*, helle Region rote, weiße und intermediäre Muskelfasern

Obj.: 10, Proj.: 4,0

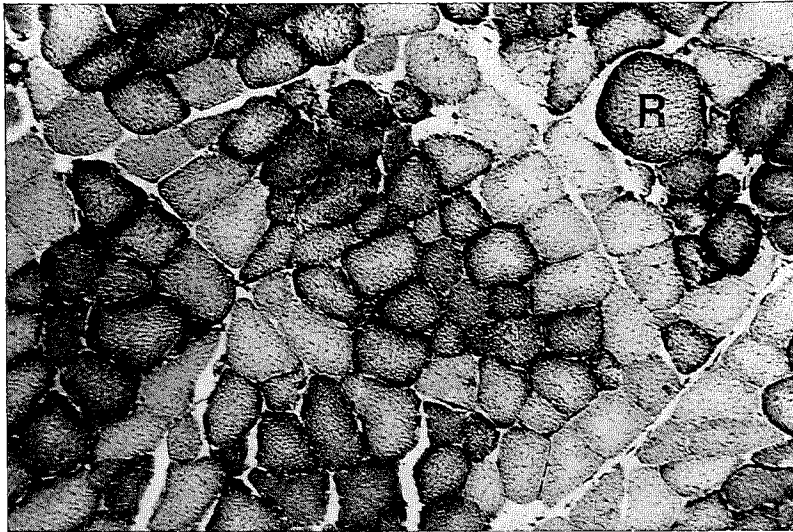


Abb. 2. Querschnitt des *Musc. semitendinosus*, dunkle Region vermehrt intermediäre und rote Muskelfasern

R = Riesenfaser

Obj.: 10; Proj.: 4,0

Der mittlere Durchmesser der Fasern ist in beiden Regionen annähernd gleich. Er beträgt im Alter von 32 Wochen $76,5 \pm 11,5 \mu\text{m}$ in der hellen Region bzw. $78,4 \pm 11,1 \mu\text{m}$ in der dunklen Region.

2. Muskelwachstum

Anhand der Meßwerte für die Merkmale des *M. semitendinosus* zu verschiedenen Zeitpunkten nach der Geburt lassen sich die wachstumsbedingten Veränderungen verfolgen.

Wie in Abb. 3 zu sehen ist, nehmen bis zum Alter von 32 Wochen Muskelmasse und Schinkenmasse gleichmäßig zu. Nach einer Phase geringen Wachstums, in der die Anpassung an die neue Ernährungsweise nach der Säugeperiode erfolgt, kommt es zu einer stetigen Massezunahme, die auch nach 32 Wochen noch nicht abgeschlossen ist. Einen ähnlichen Verlauf zeigen die Maße des *M. semitendinosus* und der Schinkenumfang (Abb. 4). Ein langsames Wachstum zu Beginn ist allerdings nur bei der

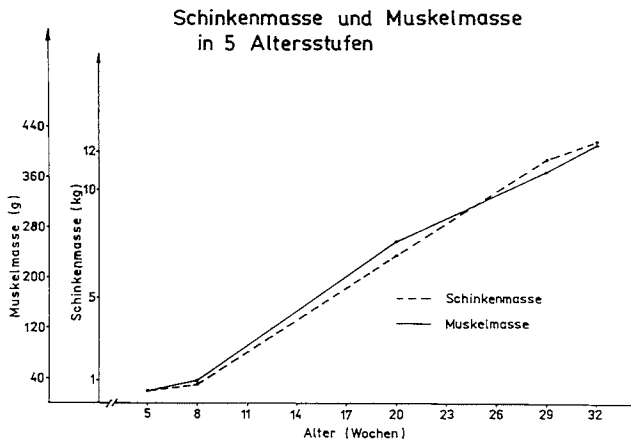


Abb. 3. Zunahme von Schinkenmasse und Muskelmasse während des Wachstums

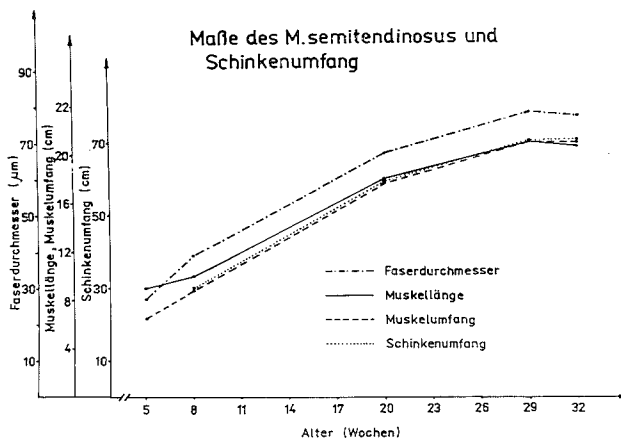


Abb. 4. Wachstum des *Musc. semitendinosus* im Vergleich zum Schinkenumfang

Muskellänge ersichtlich. Sehr gut paßt sich der mittlere Faserdurchmesser den anderen Verlaufskurven an. Nach 29 Wochen ist beim Faserdurchmesser und bei der Muskel­länge keine Zunahme mehr zu beobachten. Da Muskel- und Schinkenmasse weiter steigen, kommt es offensichtlich jetzt zu einem verstärkten Ansatz von Fett. Dies läßt sich durch die Erfassung des Faserdurchmessers als ein Ausdruck des Muskelfaserwachstums gut demonstrieren.

Abb. 5 zeigt die errechnete Muskelfasergesamtanzahl (MFGA) in den fünf untersuchten Altersstufen. Sie nimmt während des postnatalen Wachstums nicht zu, sondern bleibt annähernd konstant. Die Unterschiede von Altersstufe zu Altersstufe sind statistisch nicht signifikant ($\alpha = 0,05$), lediglich die Differenzen der Werte zwischen 5 bzw. 8 und 32 Wochen sind signifikant. Dies ist möglicherweise ein Fehler, der durch den Berechnungsmodus zustandekommt. In den höheren Altersstufen wächst die Muskelfläche nicht nur durch Faserhypertrophie, sondern auch durch erhöhte Fett- und Bindegewebeinlagerungen, die in der Berechnung die Faseranzahl mit eingehen.

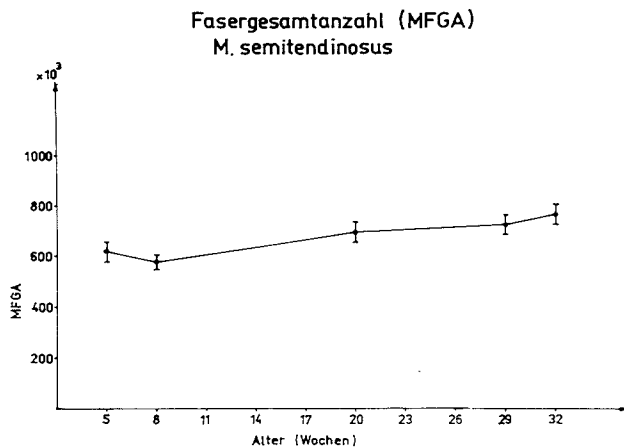


Abb. 5. Errechnete Muskelfasergesamtanzahl während des Wachstums

3. Multiple Beziehungen

Ausgehend von der Anforderung, das Muskelwachstum und damit den Ansatz an magerem Fleisch durch die Erfassung verschiedener „Hilfsmerkmale“ zu bestimmen, wurden multiple Regressionsanalysen für die Zielgrößen Muskel- und Schinkenmasse durchgeführt, wobei die Faserdurchmesser der hellen und dunklen Region und zwei Muskelmaße als Einflußgrößen in die Regression eingingen. In Tab. 1 sind die multiplen Bestimmtheitsmaße B und die Korrelationskoeffizienten R für 8 bzw. 3 Einflußgrößen in vier Altersstufen dargestellt. Es zeigt sich, daß bei 8 Einflußgrößen mittlere bis hohe Koeffizienten errechnet werden, wobei mit steigendem Alter die Beziehungen geringer werden. Bei Bestimmtheitsmaßen von 70–90% ($B = 0,70-0,90$) ist es möglich, mit genügend hoher Sicherheit die Muskelmasse durch verschiedene Merkmale der Muskelstruktur und zwei Muskelmaße zu schätzen.

Tabelle 1. Multiple Bestimmtheitsmaße (B) und Korrelationskoeffizienten (R) für die Schätzung von Muskelmasse und Schinkenmasse aus Muskelmerkmalen

$$\text{Modell: } 1. y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_8 \cdot x_8$$

$$2. y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3$$

Altersstufe	Anzahl der Einflußgrößen	$y =$ Muskelmasse	$y =$ Schinkenmasse
8 Wochen $n = 23$	8 ¹	$B = 0,913$ $R = 0,955$	$B = 0,756$ $R = 0,869$
	3 ²	$B = 0,388$ $R = 0,623$	$B = 0,375$ $R = 0,613$
20 Wochen $n = 52$	8	$B = 0,705$ $R = 0,840$	$B = 0,692$ $R = 0,832$
	3	$B = 0,473$ $R = 0,687$	$B = 0,478$ $R = 0,691$
29 Wochen	8	$B = 0,872$ $R = 0,934$	$B = 0,600$ $R = 0,774$
	3	$B = 0,520$ $R = 0,721$	$B = 0,402$ $R = 0,634$
32 Wochen $n = 55$	8	$B = 0,669$ $R = 0,818$	$B = 0,346$ $R = 0,588$
	3	$B = 0,371$ $R = 0,609$	$B = 0,291$ $R = 0,540$
1 Merkmale	2 Merkmale		
$x_1 = dw (H)$	$x_1 = dw (H)$		
$x_2 = dw (D)$	$x_2 = \text{Anzahl/cm}^2$		
$x_3 = dr + i (H)$	$x_3 = \text{Muszellänge}$		
$x_4 = dr + i (D)$			
$x_5 = \text{mittlerer Durchmesser}$	$d = \text{Faserdurchmesser}$		
$x_6 = \text{Anzahl/cm}^2$	$w = \text{Fasertyp „weiß“}$		
$x_7 = \text{Muszellänge}$	$r + i = \text{Fasertypen „rot“ und „intermediär“}$		
$x_8 = \text{Muskelumfang}$	$D = \text{dunkle Region}$		
	$H = \text{helle Region}$		

Die Sicherheit für die Berechnung der Schinkenmasse ist in allen vier Altersstufen geringer. Legt man ein Minimum an Einflußgrößen zugrunde, wie z. B. den Faserdurchmesser in der hellen Muskelregion, die Anzahl Fasern je Flächeneinheit und ein Muskelmaß, so erniedrigen sich die Bestimmtheitsmaße in allen vier Altersstufen. Daraus ist zu schlußfolgern, daß es notwendig ist, für eine sichere Bestimmung der Muskel- und Schinkenmasse mehr als drei Merkmale eines Muskels zu erfassen.

Diskussion

Ergebnisse zu wachstumsbedingten Veränderungen von einzelnen Merkmalen des zerlegten Schlachtkörpers sind in einer Vielzahl von Publikationen zu finden. Sie die-

nen der Ermittlung von exogenen und endogenen Einflüssen auf die Schlachtkörperzusammensetzung der landwirtschaftlichen Nutztiere. Für das Schwein sind dabei die drei Einflußfaktoren Züchtung, Fütterung und Haltung von besonderer Bedeutung, denn durch eine optimale Gestaltung dieser Bedingungen soll ein biologisch und ökonomisch vertretbares Verhältnis von Fleisch, Fett und Knochen vom Tier erzeugt werden. Bisherige Ergebnisse zu dieser Problematik sind in der Übersicht von KUHN et al. (1983) ausführlich dargestellt.

Durch die Anwendung histologisch-histochemischer Methoden ist es möglich, außer makroskopisch erfaßbaren Merkmalen, wie Muskellänge, Muskelumfang u. a., auch quantitativ-mikroskopische Merkmale zur Charakterisierung des Muskelwachstums heranzuziehen. Der M. semitendinosus ist dabei als „Indikatormuskel“ für das gesamte Muskelwachstum gut geeignet. Untersuchungen von RICHMOND und BERG (1982a, b) zum relativen Wachstum von 96 Muskeln des Schweines zeigten, daß der nach der allometrischen Gleichung berechnete Wachstumskoeffizient beim M. semitendinosus kaum von 1,0 abweicht. Seine relative Wachstumsrate entspricht also der Gesamtmuskelmasse bis 110 kg Schlachtkörpermasse.

Das mikroskopische Bild des M. semitendinosus, die gefundenen Werte für die Muskelfaserdicke und die Fasertypenverteilung entsprechen jenen, wie sie auch in der Literatur angegeben werden (SZENTKUTI und CASSENS 1978). In Abb. 2 ist eine Riesenfaser (RF) zu sehen. Diese Faserart ist im Schweinemuskel nicht häufig, aber regelmäßig anzutreffen (WEGNER 1986).

Beim Vergleich der beiden Muskelregionen fanden BEECHER et al. (1968) sowie KIESSLING und HANSSON (1983) ebenfalls einen erhöhten Anteil an oxidativen Fasern in der dunklen Region, der mit erhöhten Werten von Myoglobin verbunden war. KIESSLING und HANSSON (1983) ermittelten außer der Typenverteilung den Durchmesser der drei Fasertypen und fanden lediglich für den weißen, glykolytischen Fasertyp erhöhte Werte in der dunklen Region.

Während die Fasertypenverteilung im Laufe des Wachstums Veränderungen erfährt, die muskelspezifisch weitgehend genetisch determiniert sind, unterliegt die Muskelfaserdicke in stärkerem Maße exogenen Einflüssen (SUZUKI und CASSENS 1980, FUGL-MEYER et al. 1982, SCHLEGEL 1983). Die gefundene Konstanz in der Muskelfasergesamtanzahl während des Wachstums steht in Übereinstimmung mit Angaben für andere Muskeln von Schweinen, Rindern und Labormäusen (FIEDLER 1983, WEGNER 1983, REHFELDT und FIEDLER 1984).

Bei der Berechnung von korrelativen Zusammenhängen zwischen Mikrostrukturmerkmalen und Schlachtkörpermerkmalen hat sich gezeigt, daß zwischen Anzahl und Größe der Muskelfasern und ausgewählten Merkmalen des Schlachtkörpers geringe bis mittlere Beziehungen bestehen, die Koeffizienten liegen zwischen $r = 0,10$ und $0,50$ (SALEHAR und STUHEC 1976, OTTO und WEGNER 1976, NIKULNIKOV und OBERTAS 1984, KLOSOWSKA et al. 1985). Erst die Berechnung von multiplen Korrelationskoeffizienten, bei der mehrere Muskelstruktur- und Muskelmerkmale in die Berechnung eingehen, ergab Werte mit einer genügend hohen Bestimmtheit für die Schätzung des Fleischansatzes und ebenfalls der Fleischbeschaffenheit. CALKINS et al.

(1981) untersuchten 9 bzw. 19 Merkmale von Rindermuskeln und erreichten multiple Bestimmtheitsmaße bis zu 0,90 für die Zartheit und Marmorierung. FIEDLER und OTTO (1982) fanden bei Einbeziehung von 8 Mikrostrukturmerkmalen, ermittelt am *M. longissimus dorsi* von Schlachtschweinen, für die Schätzung von Warmmasse und täglichem Fleischansatz Werte bis zu 0,55. Die untersuchten Muskelfasermerkmale allein sind also für eine sichere Schätzung von Schlachtkörpermerkmalen nicht ausreichend.

Die vorgestellten Ergebnisse wurden an Muskelproben von geschlachteten Tieren ermittelt. Für die Entscheidung, welche und wie viele „Indikatormerkmale“ für eine Bestimmung des Fleischansatzes geeignet und notwendig sind, müssen noch weitere Untersuchungen, besonders an Biopsieproben, durchgeführt werden.

Die Autoren danken Frau GISELA SCHALOW für ihre wertvolle technische Hilfe.

Literatur

- BEECHER, G. R., L. L. KASTENSCHMIDT, R. G. CASSENS, W. G. HOEKSTRA and E. J. BRISKEY: A comparison of the light and dark portions of a striated muscle. *J. Food Sci.* **33** (1968) 84–88.
- BEYERSDORFER, G., M. OHLERICH und J. WEGNER: Ein halbautomatisches Meßgerät zur Morphometrie von Muskelfasern im mikroskopischen Querschnittspräparat. *Z. mikrosk.-anat. Forsch.* **99** (1985) 671–675.
- CALKINS, C. B., T. R. DUTSON and G. C. SMITH: Relationship of fiber type composition to marbling and tenderness of bovine muscle. *J. Food. Sci.* **46** (1981) 708–715.
- FIEDLER, I.: Postnatales Wachstum der Muskelfasern beim Schwein. *Tag.-Ber., Akad.-Landw.-Wiss. DDR, Berlin* **209** (1983) 87–94.
- FIEDLER, I., und E. OTTO: Anzahl und Größe der Muskelfasertypen im *M. longissimus dorsi* von Schweinen in ihrer Beziehung zu Merkmalen des Schlachtkörperwertes. *Fleisch* **36** (1982) 11, 213–214.
- FIEDLER, I., und CH. WEBER: Methodische Untersuchungen zur Auswahl einer histochemischen Routinemethode für die Differenzierung von Muskelfasertypen. *Z. mikrosk.-anat. Forsch.* **95** (1981) 1027–1034.
- FUGL-MEYER, A. R., A. ERIKSON, M. SJÖSTRÖM and G. SÖNDERSTRÖM: Is muscle structure influenced by genetical or functional factors? *Acta physiol. Scand.* **114** (1982) 277–281.
- KIESSLING, K.-H., and I. HANSSON: Fibre Composition and Enzyme Activities in Pig Muscles. *Swedish. J. agric. Res.* **13** (1983) 257–261.
- KLOSOWSKA, D., B. KLOSOWSKI, I. FIEDLER und J. WEGNER: Veränderungen in der Fasertypenverteilung und Muskelfasergröße im *M. longissimus dorsi* der Schweine während des Wachstums und Beziehungen zwischen histologischen Merkmalen und Schlachtkörperkriterien. *Arch. Tierzucht* **28** (1985) 171–180.
- KUHN, G., K. ENDER und E. OTTO: Einfluß endogener und exogener Faktoren auf den Schlachtkörperwert beim Schwein. *Fortschr.-ber. f. d. Landw. u. Nahrungsgüterw.* **21** (1983) 1–60.
- NIKULNIKOV, V. S., i. E. O. OBERTAS: Svjaz tolshhiny myshechnykh volokons mjasnostju svinejj. *Oses. Nauch.-Issl. Inst. Zhivotnovodstva Bull. nauch. Rabot. Dubrovicy* **73** (1984) 46–48.
- OTTO, E., und J. WEGNER: Quantitativ-mikroskopische Untersuchungen der Muskelfasern und ihre Beziehungen zum Fleischansatz beim Schwein. *Arch. Tierzucht* **19** (1976) 419–429.
- RASCH, D., G. HERRENDÖRFER, J. BOCK und K. BUSCH: *Verfahrensbibliothek Versuchsplanung und auswertung*. Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag 1978.
- REHFELDT, Ch., und I. FIEDLER: Postnatale Entwicklung der Muskelfasern im wachsenden Skelettmuskel der Labormaus. *Arch. exper. Vet.-med.* **38** (1984) 178–192.

- RICHMOND, R. J., and R. T. BERG: Relative growth patterns of individual muscle in the pig. *Can. J. Anim. Sci.* **62** (1982a) 575–586.
- RICHMOND, R. J., and R. T. BERG: Effects of sex, genotype and nutrition on the relative growth of muscles in the pig. *Can. J. Animal Sci.* **62** (1982b) 587–596.
- SALEHAR, A., and J. STUHEC: Diameter and number of muscle fibers in musculus longissimus dorsi in connection with fattening and slaughtering traits of pigs. *Zbornik Biotehniška fakulteta, Kmet.* **27** (1976) 145–157.
- SCHLEGEL, O.: Untersuchungen über die Fasertypenverteilung und Fasertypenquerschnittsflächen im M. long. dorsi und M. semitend. von trainierten Haus- und immobil gehaltenen Wildschweinen. Diss. TeHo Hannover 1983.
- SUZUKI, A., and R. G. CASSENS: A histochemical study of myofibre types in muscle of the growing pig. *J. Anim. Sci.* **51** (1980) 1149–1461.
- SZENTKUTI, L., and R. G. CASSENS: Die Verteilung der Fasertypen I, IIA und IIB im M. longissimus dorsi und M. semitendinosus von Schweinen verschiedenen Alters. *Dtsch. Tierärztl. Wschr.* **85** (1978) 1–40.
- WEGNER, J.: Postnatales Wachstum der Muskelfasern beim Rind. *Tag.-ber. Akad. Landw.-wiss. Berlin* **209** (1983) 135–142.
- WEGNER, J.: „Giant fibres“ bei Rindern und Schweinen. *Wiss. Z. Univ. Jena, Nat.-wiss. R.* (1986) (im Druck).

Anschrift der Autoren:

Dr. ILSE FIEDLER

Dr. JOCHEN WEGNER

Dr. CHARLOTTE REHFELDT

Forschungszentrum für Tierproduktion Dummerstorf-Rostock

Bereich Züchtungsforschung

Dummerstorf (Kreis Rostock)

2551