

Akademie der Landwirtschafts-
wissenschaften
Forschungszentrum für Tier-
produktion
Dummerstorf-Rostock
Bereich Züchtungsforschung

Verantw.-Ebene: ZO
Aufg.-Nr. 1t.
Fbl. 311: 05120600
Geheimhaltungsgrad: DS

Bezeichnung der F/E-Aufgabe:

"Mikrostrukturelle Merkmale der Muskulatur zur
Leistungsfrüherkennung am lebenden Tier"

Erreichte Arbeitsstufe: G 4
Abschlußtermin: 12/88
Verantw. Themenleiter: Prof. Dr. sc. K. E n d e r
Bearbeiterkollektiv: Dr. J. W e g n e r
Dr. Ch. Rehfeldt
Dr. I. Fiedler

Kooperationspartner
im FZT:

- Abt. Schweinezüchtung
(Dr. B. Zschorlich)
- Abt. Populationsgenetik
(Dr. L. Bünger)

Kooperationspartner
außerhalb FZT:

- KMU Leipzig, Sektion Tierproduktion
u. Veterinärmedizin, Wissenschafts-
bereich Schweinezucht (Punkt 5.3)
(Doz. Dr. G. v. Lengerken,
Dipl.agr.Ing. M. Wicke,
Dr. M. Bergmann)
- WTZ f. Schweinezucht Ruhlsdorf
- Institut f. Fleisch- u. Fettindustrie
Abt. Fleischforschung, Bydgoszcz, VRP

30. 9. 1988


.....
Themenleiter

.....
Direktor
Bereich Züchtungsforschung

.....
Direktor
F/E-Einrichtung

<u>Inhaltsübersicht</u>	<u>Seite</u>
1. Deckblatt	1
2. Inhaltsübersicht	2
3. Charakterisierung der volkswirtschaftlichen und wissenschaftlich-technischen Zielstellung	3
4. Bearbeitungsablauf	4
5. Arbeitsergebnis	9
5.1. Wachstumsuntersuchungen beim Schwein	9
5.1.1. Charakterisierung der Veränderung der Muskelstruktur während des Wachstums	9
5.1.2. Phänotypische Beziehungen der Muskelstrukturmerkmale zur Fleischbeschaffenheit und Schlachtleistung	13
5.2. Auswirkungen einer Langzeitselektion von Labormäusen auf Muskelwachstum und Muskelstruktur	18
5.3. Direkte Selektion nach Muskelstrukturmerkmalen beim Schwein	24
5.4. Aussagen zum Erkenntniszuwachs	31
5.5. Vergleich der Ergebnisse mit den geplanten Zielstellungen und dem Welthöchststand	32
6. Entscheidungsvorschläge und Angaben zur Anwendung der Ergebnisse	34
7. Literaturverzeichnis	36

3. Charakterisierung der volkswirtschaftlichen und wissenschaftlich-technischen Zielstellung

Lebensstandard und Verzehrsgewohnheiten in der DDR erfordern auch zukünftig ein hohes Niveau der Versorgung der Bevölkerung mit Schweinefleisch guter Qualität. Die züchterische Zielstellung zur Intensivierung der Schweinefleischproduktion beinhaltet eine ständige Verbesserung der objektiven Erkennung des genetischen Leistungsvermögens der Schweine in den verschiedenen Stufen der Leistungsprüfung. Von besonderem Vorteil wäre dabei die Früherkennung der Wachstums- und Schlachtleistung sowie der Prädisposition zur Ausbildung von Belastbarkeits- und Fleischbeschaffheitsmängeln zu einem ontogenetisch frühen Zeitpunkt. Die genannten Leistungseigenschaften sind eng mit der Skelettmuskulatur und ihrem zellulären Aufbau verbunden, der mit histologisch-histochemischen Muskelstrukturmerkmalen charakterisiert werden kann. Aufbauend auf frühere Untersuchungen bei Rindern, Schweinen und Labormäusen (FIEDLER u.a. 1985) bestand das Ziel der vorliegenden Untersuchungen darin, weitere Ergebnisse zur möglichen Anwendung der Muskelstrukturmerkmale in der praktischen Selektion zu gewinnen. Schwerpunkte des Berichtes sind die Untersuchungen zum Verlauf des Muskelwachstums am lebenden Tier. Damit konnten sowohl biologische Grundlagen zur Leistungsfrüherkennung erarbeitet, als auch Fragen zum Aufwand der Methoden beantwortet werden. Die Wachstumsuntersuchungen an Schweinen, das Experiment zur Langzeitselektion mit Labormäusen und das Selektionsexperiment mit Schweinen dienen in ihrer Gesamtheit dazu, weitere Informationen über phänotypisch und genotypisch bedingte Beziehungen zwischen Muskelstrukturmerkmalen und relevanten Leistungseigenschaften zu erhalten.

4. Bearbeitungsablauf

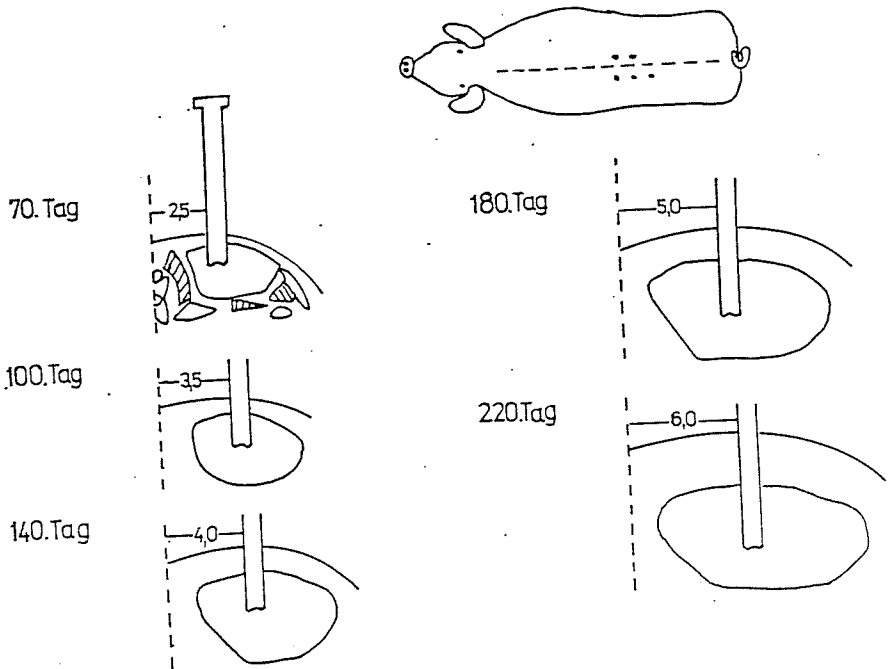
In der Bearbeitungsetappe 1986 bis 1988 wurden entsprechend dem Hauptfristenplan des Pflichtenheftes Experimente zum Muskelwachstum beim Schwein und zur Selektion bei Labormäusen und Schweinen durchgeführt. Im vorliegenden F/E-Bericht werden die Wachstumsuntersuchungen und die Ergebnisse des Selektionsexperimentes bei Labormäusen abgerechnet. Eine Zwischenauswertung erfolgt für das Experiment der direkten Selektion beim Schwein. Das 1987 begonnene Experiment zur Schätzung genetischer Parameter befindet sich in der Phase der Versuchsdurchführung. Bisher wurden von 700 Schweinen aus der Prüfstation des WTZ für Schweinezucht und Produktion Ruhlisdorf die Muskelstrukturmerkmale bestimmt. Eine Auswertung ist planmäßig im nächsten Abschlußbericht vorgesehen.

Die im Pflichtenheft unter Punkt 3.3. geplanten biologischen Grundlagenuntersuchungen zur Myogenese wurden aus dieser F/E-Leistung ausgegliedert und unter der Thematik "Wachstumsstimulation" in eine neue Forschungsleistung eingeordnet ("Grundlagen der Regulation und Stimulation des Wachstums landwirtschaftlicher Nutztiere", G 1, 6/87).

- Wachstumsuntersuchungen beim Schwein

Für die Untersuchungen zu den wachstumsbedingten Veränderungen der Muskelstruktur beim Schwein stellte die Abt. Schweinezüchtung des FZT Dummerstorf 200 Eber der Landrasse zur Biopsie zur Verfügung. Die Tiere wurden einzeln gehalten und ad libitum gefüttert. Die Schußbiopsie des M. longissimus erfolgte am 70., 100., 140., 180. und 220. Lebenstag $\pm$ 4 Tage (Abb. 1). Eine ausführliche Darstellung des verwendeten Schußgerätes, der Kanülen und der Methoden zur Biopsie ab 70. Lebenstag wurde bereits veröffentlicht (WEGNER u.a. 1988). Eine Woche nach der letzten Biopsie erfolgte die Schlachtung und Zerlegung der Tiere im Schlachthaus des FZT. Im Labor der Abt. Fleischforschung wurden die Merkmale der Fleischbeschaffenheit untersucht.

Abb.1: Schußbiopsie am wachsenden Schwein
Anatomische Lage im M. longissimus dorsi



- Auswirkungen einer Langzeitselektion von Labormäusen
Die histologisch-histochemischen Untersuchungen des M. rectus femoris (MRF) und des M. extensor digitorum longus (EDL) erfolgten an insgesamt 80 männlichen Labormäusen im Alter von 6 Wochen, zu je 20 in den Versuchsgruppen

- | | |
|-------------|---|
| Du - 6P | - selektiert auf Eiweißansatz |
| Du - 6 | - selektiert auf Eiweißansatz |
| Du - 6 + LB | - selektiert auf Körpermasse und Laufbandleistung |
| Du - Ks | - Kontrollgruppe |

Die Selektion erfolgte durch die Abt. Populationsgenetik des FZT Dummerstorf jeweils am 42. Lebenstag über 40 Generationen (vgl. BÜNGER u.a. 1987). Erste Ergebnisse zur Muskelstruktur wurden bereits in Auswertung der 7. und 16. Generation vorgestellt (REHFELDT u. BÜNGER 1983; REHFELDT u. OTTO 1985).

Außer den histologisch-histochemischen Kriterien wurden als Merkmale des Ansatzes die Körpermasse, die Unterschenkelmasse und die äußere Fläche eines Unterschenkelmuskels durch Messen von Länge und Breite (LxB M. tibialis anterior) bestimmt.

- Direkte Selektion nach Muskelstrukturmerkmalen beim Schwein

Die direkte Selektion nach Muskelstrukturmerkmalen erfolgte in zwei divergenten Linien der Landrasse, die als Variante "Hoch" und Variante "Niedrig" bezeichnet wurde. Mit einer Selektionsintensität von 30 % kamen in jeder Generation und Variante mindestens 20 Sauen und 5 Eber, unterteilt in drei Familiengruppen, als potentielle Zuchttiere zum Einsatz. In Abb. 2 ist das für den vorliegenden Bericht verwendete Tiermaterial (eingeschränktes Tiermaterial wegen des langen Anpaarungszeitraumes) ausgewiesen. Die Anpaarung der Eber erfolgte nach dem Rotationsprinzip. Die für das Experiment ausgewählten Muskelstrukturmerkmale (Abb. 3) ergaben sich aus bisherigen Untersuchungen an Rindern, Schweinen und Labormäusen (FIEDLER u.a. 1985).

Folgende Aufgaben wurden anteilig realisiert:

WB Schweinezucht der KMU Leipzig

- Haltung und Zucht der Tiere in der LVS Oberholz
- Halothantest, Ultraschalltest
- Muskelbiopsie am lebenden Tier bei 95 ± 15 kg in Höhe der 13./14. Rippe und Proben transport nach Rostock
- Selektionsentscheidung nach Berechnung des Selektionsindex (Abb. 3)

Abt. Fleischforschung des FZT Dummerstorf

- Histologisch-histochemische Bearbeitung der Biopsieproben mit der Kryostatschnittechnik und dem Nachweis der NADH-Tetrazoliumreduktase (FIEDLER u. WEBER 1981)
- Quantitativ-mikroskopische Auswertung der Schnittpräparate mit dem halbautomatischen Muskelfaseranalysator MFA 1
- Übermittlung der Muskelstrukturmerkmale an die KMU Leipzig für die Selektionsentscheidung

Abb.2: Versuchsaufbau zum Selektionsexperiment Schwein

(Stand 1.7.1988)

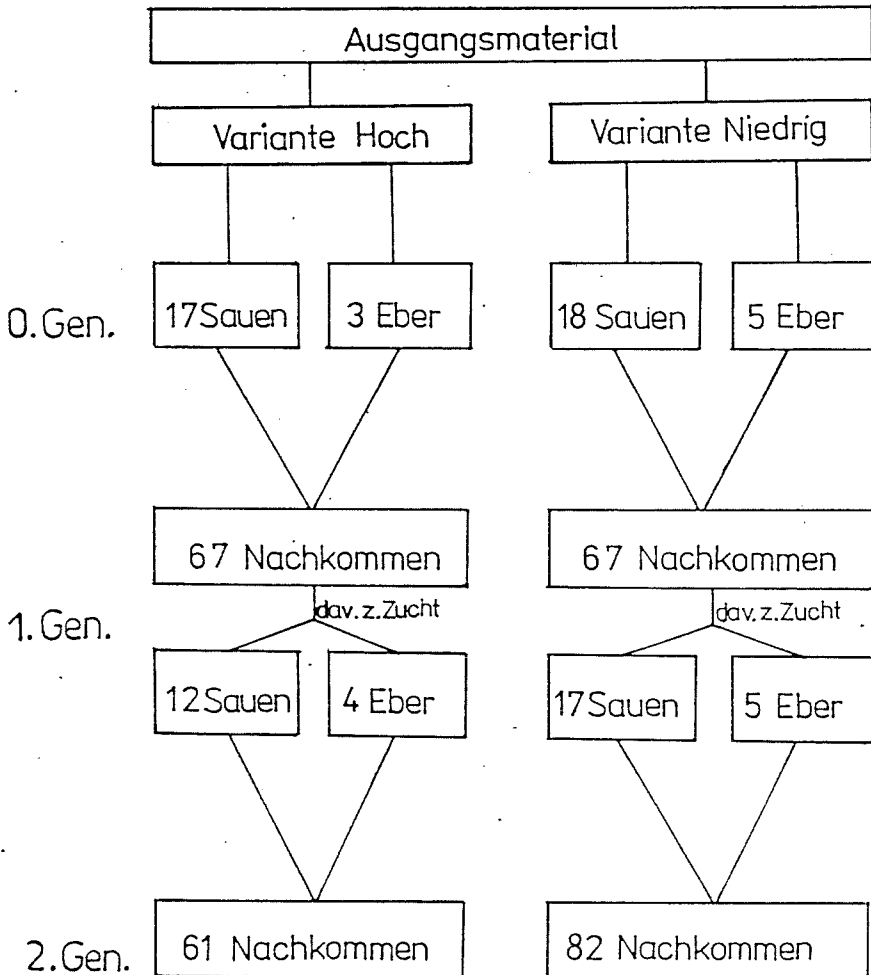


Abb.3: Selektionskriterien

	Variante Hoch	Variante Niedrig
mittlerer Faserdurchmesser dx	groß	klein
Anteil weißer Fasern %w	hoch	niedrig
Muskel-Speck-Verhältnis MSV	niedrig	niedrig
Index nach u-Werten $u = \frac{\bar{X}_i - \bar{X}}{S}$	$u_{dx} + u_{\%w} - 0,5u_{MSV}$	$-u_{dx} - u_{\%w} - 0,5u_{MSV}$

Die Methoden der histochemischen Bearbeitung der Muskelproben, wie sie in allen drei Experimenten angewendet wurden, sowie die quantitative Auswertung mit dem halbautomatischen Muskelfaseranalysator sind in der RGW-Empfehlung "Anwendung histologischer und histochemischer Methoden zur Untersuchung des Muskelgewebes in der Tierzuchtforschung" (ENDER u.a. 1987) sowie bei REHFELDT u.a. (1987) ausführlich dargestellt.

Die Auswertung des Datenmaterials aller drei Experimente erfolgte mit Hilfe von Mittelwertvergleichen, Regressionsanalysen, Varianzanalysen u.a. biostatistischen Verfahren (RASCH 1983). Für die Auswertung wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5 \%$ vorgegeben. Diese Vorgabe ist bei der biostatistischen Planung der Versuchstierumfänge berücksichtigt worden.

5. Arbeitsergebnis

5.1. Wachstumsuntersuchungen beim Schwein

5.1.1. Charakterisierung der Veränderung der Muskelstrukturmerkmale während des Wachstums

Wachstumsuntersuchungen am lebenden Tier mit Hilfe einer mehrmaligen Schußbiopsie am selben Tier sind Grundlagenuntersuchungen zur Leistungsfrüherkennung. Sie konkretisieren die an Stufenschlachtungen erarbeiteten Erkenntnisse zum Muskelwachstum.

- Muskelfaserdicke

Die Ergebnisse zur Veränderung des Muskelfaserdurchmessers im Altersabschnitt 70. bis 220. Lebenstag sind in der Abb. 4 grafisch dargestellt. Die Mittelwerte der Beobachtungen wurden durch einen Polygonzug verbunden. Zur Quantifizierung und Abstrahierung der gefundenen Beobachtungswerte konnten an Hand des CADEMO- Moduls Wachstum, Lösung von nichtlinearen Gleichungssystemen über die Methode der kleinsten Quadrate, Wachstumsfunktionen angepaßt werden (Exponential-, Gompertz-, Logistische-, Bertalanffy-, Tangenshyperbolicus- und Arcustangensfunktion). Die beste Anpassung mit einer Restvarianz von $1,7 \mu\text{m}$ wurde für die Durchmesser der weißen Fasern mit der vierparametrigen Tangenshyperbolicusfunktion erreicht. Für den Durchmesser der intermediären und roten Fasern brachte die Arcustangensfunktion mit einer Restvarianz von $0,2$ bzw. $0,7 \mu\text{m}$ die beste Anpassung.

Die weißen, intermediären und roten Muskelfasern (Abb. 4) zeigen bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes ein kontinuierliches Wachstum, wobei die weißen Muskelfasern wesentlich intensiver wachsen als die intermediären und roten.

Die weißen Fasern vergrößern ihren Durchmesser vom 70. bis 220. Lebenstag von $51,2 \mu\text{m}$ auf $113,8 \mu\text{m}$, d.h. um 123% , die intermediären von $44,8 \mu\text{m}$ auf $88,6 \mu\text{m}$ (97%) und die roten von $43,1 \mu\text{m}$ auf $82,8 \mu\text{m}$ (93%). Alle drei Fasertypen verlangsamten nach dem 180. Lebenstag ihr Wachstum. Die Wachstumsgeschwindigkeiten (Tab. 1) betragen im Zeitabschnitt 70. bis 180. Lebenstag für die weißen, intermediären und roten Fasern entsprechend: $0,49 \mu\text{m}$, $0,32 \mu\text{m}$ und $0,30 \mu\text{m}$ und im Zeitabschnitt 180. bis 220. Lebenstag: $0,21 \mu\text{m}$, $0,21 \mu\text{m}$ und $0,17 \mu\text{m}$.

Aus der relativ stark verringerten Wachstumsgeschwindigkeit der weißen Fasern und den über die Wachstumsfunktionen berechneten Asymptotenwerten (weiße Fasern: 123 μm , intermediäre 122 μm und rote 98 μm) geht hervor, daß die intermediären und roten Fasern nach dem 180. Lebenstag im Vergleich zum vorhergehenden Wachstum ein höheres Wachstumstempo als die weißen Fasern besitzen.

- Muskelfasertypenverteilung

Die Muskelfasertypenverteilung, d.h. die prozentuale Zusammensetzung des Muskels aus weißen, intermediären und roten Fasern, basierend auf dem histochemischen NADH-Tetrazolium-reduktase-Nachweis, wurde für diese Untersuchungen erweitert, indem degenerative, degenerierte und kleine ($< 20 \mu\text{m}$) Muskelfasern zusätzlich gezählt und in die prozentuale Verteilung aufgenommen wurden. Wie aus der Abb. 5 ersichtlich ist, gibt es im untersuchten Zeitabschnitt nur geringe Änderungen der Fasertypenzusammensetzung. Auffällig ist die Zunahme des Anteils der weißen Fasern vom 70. bis 100. Lebenstag und die dementsprechende Abnahme des Anteils der roten Fasern. Der weitere Verlauf (vom 100. bis 180. Tag) ist durch einen steigenden Anteil degenerativer Fasern gekennzeichnet. Auf Grund ihrer Lage im Primärbündel, ihrer Größe und Ergebnisse aus Untersuchungen an Serienschnitten muß geschlossen werden, daß es sich um ehemalige weiße Fasern handelt, die als denerviert und damit als degenerativ bzw. degeneriert betrachtet werden können. Dieser mögliche Muskelfaserverlust in der Phase des intensivsten Wachstums kann beim Einzeltier bis zu 20 % der Fasergesamtanzahl betragen. Im Mittel von 170 Tieren sind das etwa 6 %. In der Phase des abklingenden Wachstums der weißen Fasern nach dem 180. Lebenstag verringert sich der Anteil degenerativer Fasern geringfügig, wodurch der Anteil intermediärer und roter Fasern entsprechend steigt.

Zusammenfassend können bei der Charakterisierung der Veränderung der Muskelstruktur während des Wachstums drei unterschiedliche Phasen beobachtet werden:

Abb.4: Veränderung der Faserdurchmesser
vom 70. bis 220. Lebenstag
Biopsie Eber Landrasse n=170

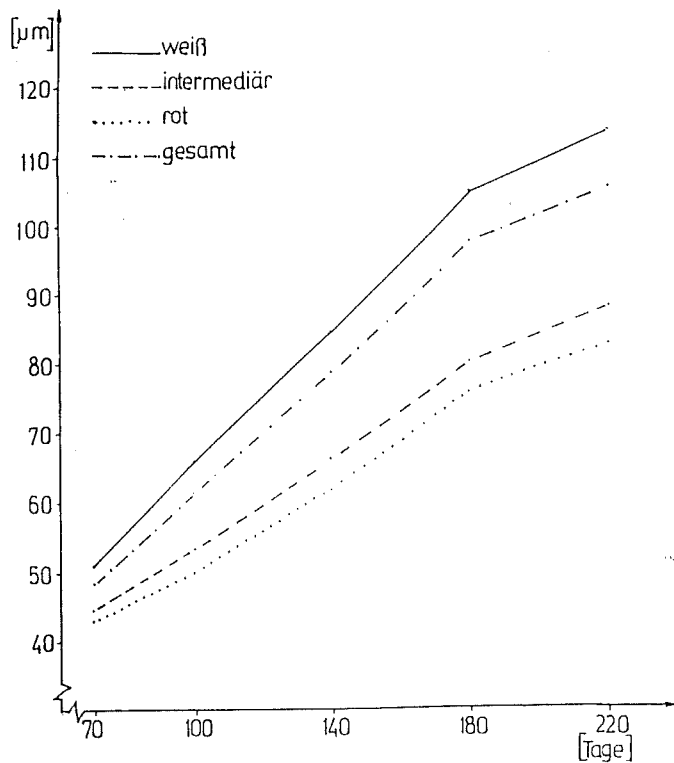
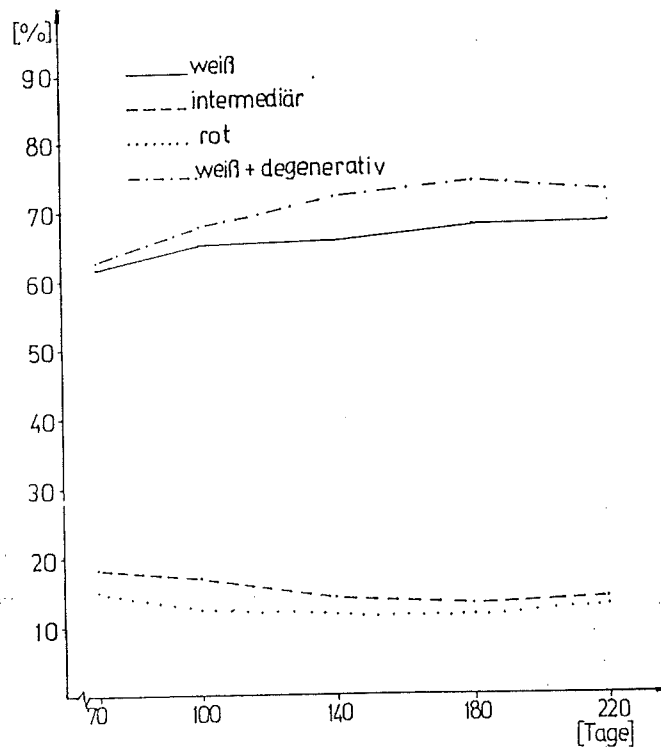


Abb.5: Veränderung des Fasertypenanteils [%]
vom 70. bis 220. Lebenstag
Biopsie Eber Landrasse n=170



Tab.1: Wachstumsgeschwindigkeit(WG)
 von Lebendmasse und Faserdurch-
 messer
 Biopsie Eber Landrasse n=170

	Wachstumsabschnitt [Lebenstage]				
	70-100.	100-140.	140-180.	180-220	70-180.
Lebendmasse [kg/d]	0,66	0,85	0,81	0,77	0,77
Faserdurchmesser [µm/d]					
weiß	0,49	0,47	0,52	0,21	0,49
intermediär	0,29	0,33	0,34	0,21	0,32
rot	0,22	0,33	0,36	0,17	0,30

$$\left(\text{WG} = \frac{y_j - y_i}{t_j - t_i} \quad t_j > t_i \right)$$

- Bis zum 100. Lebenstag werden Merkmale des frühen post-natalen Abschnitts des Muskelwachstums festgestellt: Umwandlung von roten Fasern in intermediäre und intermediäre in weiße; Auftreten von sehr kleinen Fasern ($< 20 \mu\text{m}$); intensives Wachstum der weißen und relativ verhaltenes Wachstum der roten und intermediären Fasern.
- In der zweiten Phase vom 100. bis 180. Lebenstag dominiert ein intensives Wachstum aller drei Fasertypen. Degenerative Fasern treten verstärkt auf.
- Die dritte Phase wird durch Abklingen des Faserwachstums aller Fasertypen charakterisiert, wobei sich die Wachstumsgeschwindigkeit der weißen Fasern am stärksten verringert. Durch die leichte Abnahme der degenerativen Fasern erhöht sich der Anteil intermediärer und roter Fasern.

Die für viele Anwendungsgebiete nutzbaren Grundlagenkenntnisse zum Wachstum der Muskulatur am lebenden Tier sollten erweitert werden, sowohl bezüglich des Wachstumsabschnittes über den Zeitraum 220. Lebenstag hinaus, als auch bezüglich verschiedener Tierarten, Rassen und Linien sowie Fütterungsvarianten u.a.. Da bei der Schußbiopsie eine Fettprobe mitgewonnen wird, ist die Untersuchung der Fettzellen zur Erforschung des Fettansatzes sinnvoll.

5.1.2. Phänotypische Beziehungen der Muskelstrukturmerkmale zur Fleischbeschaffenheit und Schlachtleistung

Im vorangegangenen Abschnitt wurde das untersuchte Tiermaterial in seiner Gesamtheit betrachtet. Im folgenden sollen Unterschiede im Wachstumsverlauf und der Fleischbeschaffenheit bzw. Schlachtleistung zwischen den Ebernachkommengruppen und Einzeltieren dargestellt werden. In den Abbildungen 6 und 7 werden die Veränderungen des Durchmessers der weißen Fasern sowie die Veränderung des Anteils weißer Fasern bei den Ebernachkommenschaften gezeigt. Die weißen Fasern haben mit ca. 70 % den größten Anteil am Aufbau des Muskels und zwischen dem Durchmesser der weißen, intermediären und roten Fasern bestehen enge Beziehungen ($r = 0,7$ bis $0,9$). Von den 12 Ebernachkommengruppen werden in den Abbildungen vier gezeigt, die sich in ihrem Wachstumsverlauf am stärksten vom Mittelwert des Gesamtmaterials unterscheiden. Die Unterschiede sind zum größten Teil signifikant. So betragen z.B. die Unterschiede im Durchmesser der weißen Fasern zwischen der Ebernachkommengruppe (ENG) Stankli und Stankussi schon am 70. Lebenstag $16,6 \mu\text{m}$ und am 220. Lebenstag $27,1 \mu\text{m}$. Beim Anteil weißer Fasern liegen die Differenzen zwischen den ENG Stankli und Gislioni bei 6,5 % (70. Tag) und 8,2 % (220. Tag). Diese signifikanten Unterschiede zwischen den ENG, die den gleichen Umweltbedingungen ausgesetzt waren, deuten auf eine genetische Bedingtheit und hohe Variabilität der Muskelstrukturmerkmale hin, wie sie für die Leistungsfrüherkennung erforderlich ist.

In den Abb. 6 und 7 ist deutlich zu sehen, daß die ENG Stankli zu allen untersuchten Zeitpunkten die größten Durchmesser und den höchsten Anteil weißer Fasern aufweist.

Abb.6: Vergleich der Ebernachkommengruppen
Veränderung des Durchmessers der weißen Fasern

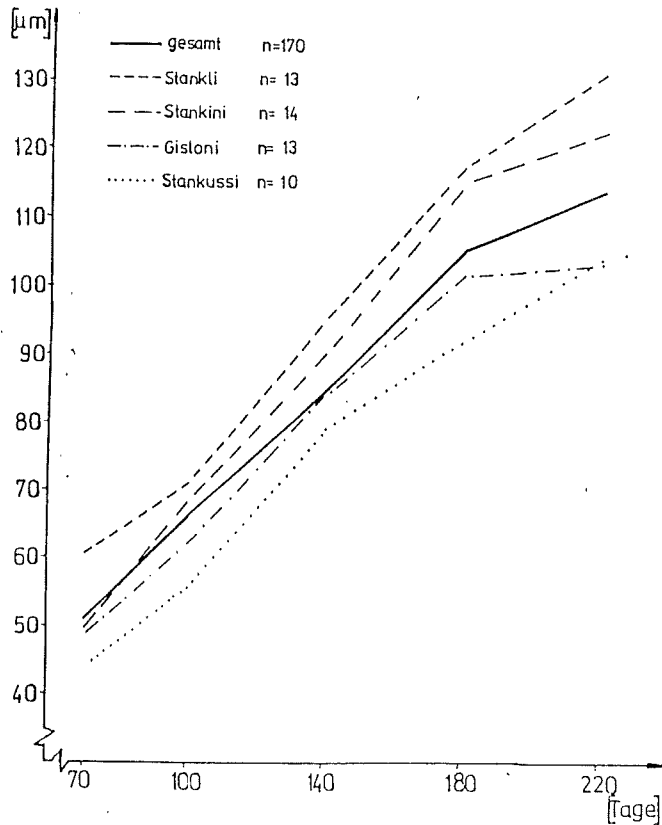
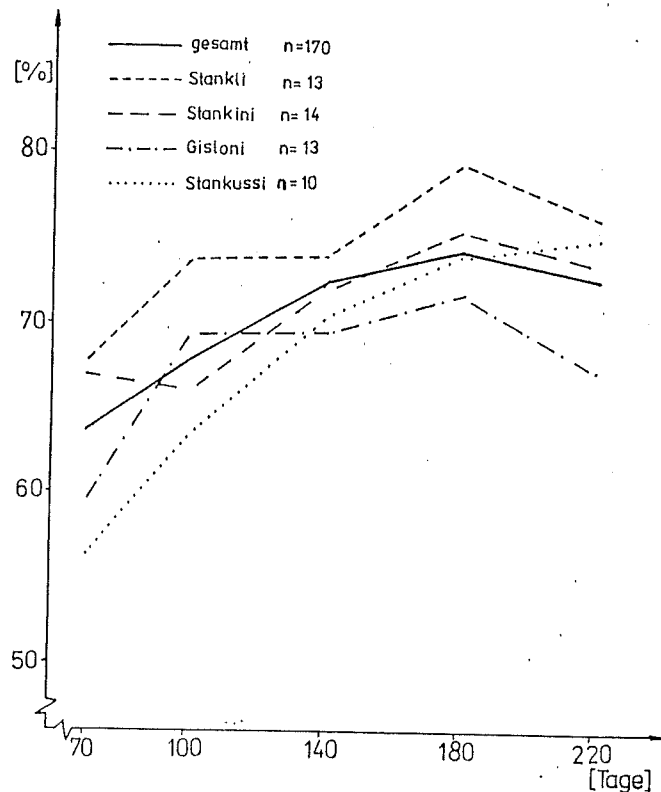


Abb.7: Vergleich der Ebernachkommengruppen
Veränderung des Anteils weißer Muskelfasern (mit degen.)



Zur Bestätigung der Hypothese des Zusammenhangs zwischen Muskelstrukturmerkmalen und Fleischbeschaffenheit kann man in der Tab. 2 bei der ENG Stankli Fleischbeschaffenheitswerte finden, die in ihrem Mittelwert die in der TGL 24704/28 festgelegten Grenzwerte für PSE-Fleisch in allen drei Merkmalen überschreiten. 85 % der Tiere der ENG Stankli haben PSE-Fleisch. Der große Muskelfaserdurchmesser und hohe Anteil weißer Muskelfasern bei der ENG Stankli führt nicht zu einer überdurchschnittlichen Muskelfläche, sondern zu einem höheren Fettansatz (Rückenspeckdicke 3,3 cm, tgl. Fettansatz 91 g). Wenn schon am 70. Lebenstag sehr große Fasern vorliegen, das Muskelgewebe demzufolge intensiv gewachsen ist und die für den jeweiligen Altersabschnitt maximale Muskelfaserdicke erreicht wurde, wird Fett angesetzt, da eine Neubildung von Muskelfasern nicht möglich ist. Demgegenüber führt ein sehr kleiner Faserdurchmesser und geringer Anteil weißer Fasern vorwiegend zu einem geringen Fleischansatz. Wie aus Tab. 2 ersichtlich, haben die Tiere der ENG Gislioni und Stankussi eine sehr kleine Muskelfläche von nur 37,4 bzw. 35,4 cm².

Um die drei wichtigen Leistungskomplexe Fleischbeschaffenheit, Fettansatz und Fleisch- bzw. Muskelansatz positiv zu beeinflussen, sind Tiere mit optimalem Muskelfaserdurchmesser und optimalem Anteil weißer Fasern für die Zucht zu verwenden. Die für die Leistungsfrüherkennung wesentliche Frage nach dem geeigneten Biopsiezeitpunkt kann biopsietechnisch dahingehend beantwortet werden, daß jeder Zeitpunkt im untersuchten Abschnitt, d.h. vom 70. bis 220. Lebenstag, möglich ist.

Die Korrelationskoeffizienten in Tab. 3 weisen darauf hin, daß schon am 70. Lebenstag Beziehungen zwischen der Muskelstruktur und dem Fettansatz sowie der Fleischbeschaffenheit am 227. Tag bestehen. Dicke Muskelfasern am 70. Lebenstag weisen auf eine geringe Muskelfasergesamtanzahl hin. Bei einer geringen Muskelfasergesamtanzahl, d.h. einem geringem Wachstumspotential des Muskels, wird folglich verstärkt Fett angesetzt.

Tab.2: Vergleich der Ebernachkommengruppen
Fleischbeschaffenheit und Schlachtleistung

Nachkommen			Dripver-	Hellig-	pH ₄₅	PSE- [*]	Muskel-	tgl.Fleisch-	Rücken-	tgl.Fett-
Eber	n		lust	keit		Anteil	fläche	ansatz	speck	ansatz
			[%]	[% _{Pem}]		[%]	[cm ²]	[g]	[cm]	[g]
Stankli	13	$\bar{x}$	5,6	30,5	5,7	85	42,5	219	3,3	91
		s	1,5	5,5	0,6		3,2	21	0,5	21
Stankini	14	$\bar{x}$	5,6	26,7	6,0	57	39,2	216	3,1	87
		s	2,3	4,8	0,7		4,0	24	0,4	13
Gisloni	13	$\bar{x}$	3,8	23,9	6,2	8	37,4	194	2,5	69
		s	1,7	3,9	0,4		3,4	15	0,4	14
Stankussi	10	$\bar{x}$	4,4	22,9	6,3	0	35,4	214	3,0	85
		s	0,9	3,7	0,2		3,9	20	0,4	13
gesamt	170	$\bar{x}$	4,8	24,9	6,1	28	41,9	214	2,9	80
		s	2,1	5,0	0,5		5,3	24	0,4	18

* Prozentuater Anteil der Tiere mit PSE-Charakter nach TGL 24704/28

Tab.3 :Phänotypische Korrelationskoeffizienten zwischen Muskelstruktur -,
Fleischbeschaffenheits- und Schlachtleistungsmerkmalen n=170

	Durchmesser der weißen Fasern					Anteil weißer Fasern				
	70.	100.	140.	180.	220.	70.	100.	140.	180.	220.
Dripverlust	*			0,2				-0,2		-0,2
Helligkeit	0,3		0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
pH _{4,5}	-0,2		-0,2	-0,2		-0,2			-0,2	
Muskelfläche		0,3	0,2	0,3	0,4	0,2				
tgl. Fleischansatz		0,2		0,3	0,3			0,2		
Fleischteilstücke [%]	-0,3		-0,2			-0,2				
Rückenspeck	0,3			0,2	0,2	0,2				0,2
tgl. Fettansatz	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2				

* nicht dargestellte Koeffizienten sind nicht signifikant von 0 verschieden ($\alpha=0,05$)

Eine Beziehung zwischen Muskelfaserdicke und Fleischansatz wird erst zum spät. Zeitpunkt beobachtet. Somit wird bei einer Selektion auf kleine Muskelfasern am 70. Lebenstag der Fettansatz verringert und die Fleischbeschaffenheit verbessert, nicht aber der Fleischansatz negativ beeinflusst.

Für die praktische Anwendung in der Eigenleistungsprüfung sollten die weiteren Untersuchungen auf eine mögliche Einordnung des Muskelstrukturbiopsietestes in die Vorselektion der Eber für die ZEA-Prüfung am ca. 70. Lebenstag gelenkt werden. In weiteren Untersuchungen müssen die Grenzwerte für den optimalen Muskelfaserdurchmesser und optimale Muskelfasertypenanteile für die einzelnen Rassen beim Schwein ermittelt werden. Durch biologische Grundlagenuntersuchungen muß weiter daran gearbeitet werden, am 70. Lebenstag die Tiere zu erkennen, die einen unregelmäßigen Wachstumsverlauf zeigen, um damit die Leistungsvorhersagen zu verbessern. Das betrifft in Abb. 6 z.B. die Wachstumsverläufe der Ebernachkommengruppen Stankini (hohes Wachstumsvermögen bei kleinen Muskelfasern am 70. Lebenstag) und Gislioni (normales Wachstum bis zum 180. Lebenstag, anschließende Stagnation des Muskelwachstums). Zur Charakterisierung des Wachstumsverlaufs müssen weitere Merkmale, wie z.B. Fettzellgröße und Kern-Plasma-Relation in die Untersuchungen einbezogen werden.

5.2. Auswirkungen einer Langzeitselektion von Labormäusen auf Muskelwachstum und Muskelstruktur

Das Ziel der Untersuchungen an Labormäusen bestand darin, die korrelierten Effekte einer Wachstums-Langzeitselektion auf das Muskelgewebe zu ermitteln und damit weitere Informationen über genetisch bedingte Merkmalsbeziehungen zu gewinnen.

- Selektionsbedingte Differenzen

Im Ergebnis der erfolgreichen Selektion auf Proteinansatz (Du-6P), Körpermasse (Du-6) sowie Körpermasse und Laufbandleistung (Du-6+LB) über 40 Generationen erhöhten sich in allen Varianten die Körpermasse, Unterschenkelmasse, die Masse des M. rectus femoris sowie die Tibialisfläche als äußeres Muskelmaß (Tab. 4). Die Zunahme der Körpermasse bewegt sich im Mittel der Varianten bei 70 % und in der Variante Du-6 mit der Körpermasse als direktem Selektionsmerkmal bei 83 %. Die Muskelmasse des M. rectus femoris (MRF) und die Unterschenkelmasse nahmen selektionsbedingt um 88 % bzw. 76 % zu und spiegeln damit ihre Anteile an der erhöhten Körpermasse wider. Die Querschnittsflächen der untersuchten Muskeln vergrößerten sich um 49 % (MRF) bzw. 51 % (EDL).

Die selektionsbedingte Vergrößerung des MRF-Querschnitts realisierte sich in allen Selektionsvarianten vorrangig über eine Zunahme der Faserdicke (Abb. 8), die Faseranzahl ist nicht signifikant erhöht. Die Variante Du-6+LB liegt mit 4082 Fasern tendenziell über der Kontrolle (+ 207 Fasern), wobei sich dieser Unterschied für $\alpha = 0,05$ statistisch nicht sichern läßt (Tab. 4). Im EDL ist in der Proteinvariante (D-6 P) wie im MRF bei deutlicher Zunahme der Faserdicke die Faseranzahl nicht signifikant größer als in der Kontrollgruppe. In den Varianten Du-6 und Du-6+LB sind sowohl Faseranzahl als auch Faserdicke signifikant erhöht, was auf muskelspezifische Effekte hinweist.

- Unterschiede zwischen den Selektionsvarianten

In der Selektionsantwort sind in Abhängigkeit vom Selektionskriterium Unterschiede zu beobachten. So weisen die Varianten Du-6P und Du-6 in den Merkmalen des Muskelansatzes meist einen größeren korrelierten Selektionserfolg auf als die Variante Du-6+LB.

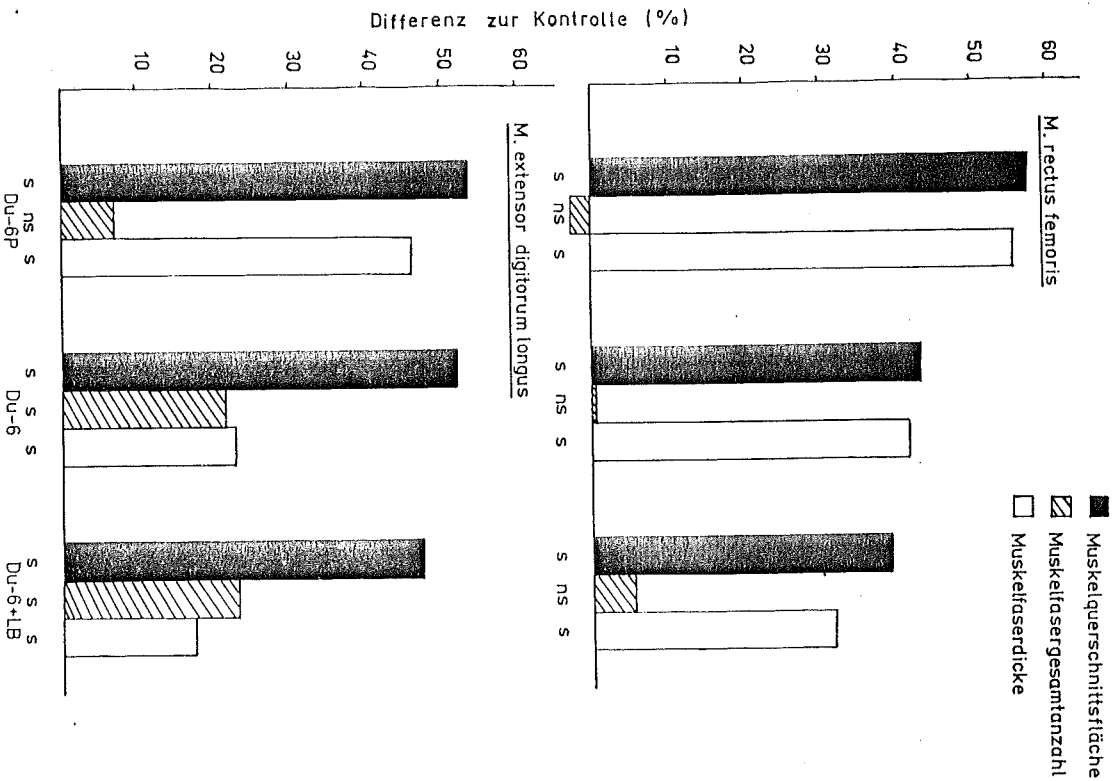
Tab. 4 : Körpermasse, Muskelansatz - und Muskelstrukturmerkmale
in der Kontrollgruppe und den Selektionsvarianten

Merkmal		Du-Ks n=20	Du-6P n=20	Du-6 n=20	Du-6+LB n=20
Körpermasse (g)		2544 ^a 221	4476 ^b 324	4656 ^b 434	3907 ^c 512
Unterschenkel- masse (g)		0524 ^a 0,056	0940 ^b 0,089	0,898 ^b 0,102	0,813 ^c 0,098
Fläche M.tibialis anterior (mm ²)		4958 ^a 7,07	6969 ^b 8,11	7023 ^b 6,24	6336 ^c 9,50
Masse M.rectus femoris (g)		0,160 ^a 0,020	0,306 ^b 0,027	0,294 ^b 0,045	0,311 ^b 0,054
Muskelquer- schnittsfläche (mm ²)	MRF	6,61 ^a 1,03	10,16 ^b 1,47	9,47 ^{b,c} 1,67	9,22 ^c 1,22
	EDL	1,15 ^a 0,25	1,77 ^b 0,42	1,75 ^b 0,34	1,70 ^b 0,27
Muskelfaser- gesamtanzahl	MRF	3875 ^{a,b} 571	3774 ^a 450	3884 ^b 466	4082 ^b 431
	EDL	976 ^a 191	1045 ^{a,b} 226	1188 ^{b,c} 191	1206 ^c 153
Muskelfaser- dicke (μm ²)	MRF	1718 ^a 227	2668 ^b 268	2443 ^c 343	2266 ^c 253
	EDL	1196 ^a 191	1748 ^b 506	1478 ^c 189	1408 ^c 109

Mittelwerte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant bei $\alpha = 0,05$

Dies zeigt, daß die Selektion auf Eiweißansatz oder Körpermasse für das Muskelwachstum in der Tendenz erfolgreicher war als die Selektion auf Körpermasse und Laufbandleistung. Die Entwicklung der Muskelstruktur betreffend, dominiert die auf Proteinansatz selektierte Variante Du-6P deutlich in der Faserdickenzunahme. Das deutet auf den verstärkten Ansatz von myofibrillärem Protein hin. Im Vergleich der Variante Du-6P besitzen die Muskeln der Variante Du-6+LB signifikant dünnere und signifikant mehr Muskelfasern, so daß hier eine deutliche Differenzierung in Abhängigkeit vom Selektionskriterium erzielt wurde.

Abb. 8: Selektionsbedingte Veränderungen der Muskelstruktur in zwei Muskeln nach 40 Generationen



Nach Selektion auf Körpermasse und Belastbarkeit (Du-6+LB) nahm die Faseranzahl relativ am meisten, die Faserdicke relativ am wenigsten zu. Diese Muskelstruktur konnte die Kombination von gutem Ansatz und guter Belastbarkeit offensichtlich am besten gewährleisten.

- Muskelfasertypenverteilung

An der selektionsbedingten Zunahme der Faserdicke waren im wesentlichen alle drei Fasertypen gleichmäßig beteiligt, wozu die Ergebnisse nicht detailliert dargestellt sind. Die Veränderungen in der Verteilung der Fasertypen weiß, intermediär und rot sind am Beispiel des MRF in der Tab.5 dargestellt. Die Unterschiede zur Kontrollgruppe sind in allen Varianten nicht signifikant. Es zeigt sich die Tendenz der Zunahme des weißen Faseranteils um etwa 1 %, der sich statistisch jedoch nicht sichern läßt.

- Selektionsbedingte Veränderung der Zellkernverteilung

Die Erfassung histologischer Merkmale der Zellkernverteilung an Muskelquerschnitten von MRF und EDL hat ergeben, daß durch die Langzeitselektion auf Wachstumsmerkmale erhebliche Veränderungen hervorgerufen werden (Tab. 6).

Tab. 5 Anteil der Fasertypen an der Muskelfaser – gesamtanzahl im M.rectus femoris in der 40. Generation

Fasertypen- anteil (%)		Du-Ks n=18	Du-6P n=20	Du-6 n=18	Du-6+LB n=18
rot	$\bar{x}$	14,14 ^{a,b}	14,17 ^{a,b}	12,95 ^a	14,42 ^b
	S	2,3	3,00	2,16	2,24
intermediär	$\bar{x}$	21,77 ^a	20,78 ^a	21,70 ^a	20,38 ^a
	S	2,42	3,13	2,15	2,45
weiß	$\bar{x}$	64,09 ^a	65,05 ^a	65,35 ^a	65,20 ^a
	S	3,17	5,14	3,48	3,75

Mittelwerte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich zwischen den Gruppen nicht signifikant bei $\alpha = 0,05$

Tab. 6 : Einfluß einer Langzeitselektion über 40 Generationen auf die Zellkernverteilung in zwei Muskeln

		Du-Ks n=20	Du-6P n=20	Du-6 n=20	Du-6+LB n=20
Kerne ges. je Faser	MRF	246 ^a 0,37	324 ^b 0,41	320 ^b 0,50	310 ^b 0,48
	EDL	217 ^a 0,32	278 ^b 0,57	251 ^c 0,38	246 ^c 0,39
Faserkerne je Faser	MRF	128 ^a 0,19	174 ^b 0,21	174 ^b 0,27	164 ^b 0,21
	EDL	130 ^a 0,21	153 ^b 0,28	144 ^{ab} 0,23	136 ^{ab} 0,29
Faserkerne im Muskel- querschnitt	MRF	4911 ^a 878	6636 ^b 1372	6837 ^b 1298	6679 ^b 961
	EDL	1221 ^a 336	1592 ^b 433	1696 ^b 397	1631 ^b 366
Faserkerne je μm^2	MRF	7,5 ^a 1,1	6,7 ^b 1,0	7,3 ^{ab} 1,4	7,3 ^{ab} 0,9
	EDL	11,1 ^a 1,8	9,2 ^b 2,2	9,8 ^b 1,8	9,7 ^{ab} 2,3

Mittelwerte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich zwischen den Gruppen nicht signifikant bei $\alpha = 0,05$

So stieg die Zahl der Kerne je Muskelfaser in allen Selektionsvarianten an, maximal um etwa 1 Kern je Faser. Eine Abstufung erfolgt insofern, daß bei dem größten Faserdickenzuwachs (vgl. Abb. 1, Du-6P) auch die Kernzahl je Faser am stärksten zunahm. Bezogen auf den gesamten Muskelquerschnitt stieg die Zahl der Muskelfaserkerne in den untersuchten Muskeln zwischen 30 % und 39 %, was Ausdruck einer stark intensivierten myogenen Zellproliferation (Myoblasten bzw. Satellitenzellen) ist.

Bemerkenswert erscheint, abgesehen von entsprechenden Unterschieden zwischen MRF und EDL in der Kontrollgruppe, daß die Kern-Plasma-Relation, gemessen als Kernzahl je μm^2 Faserfläche, selektionsbedingt eine abnehmende Tendenz zeigt. Nur nach Selektion auf Eiweißansatz (Du-6P) ist dieses Verhältnis in beiden Muskeln signifikant kleiner.

Das weist darauf hin, daß bei selektionsbedingt stark ausgeprägtem Faserdickenwachstum die Proteinakkumulation stärker intensiviert wird als die DNS-Synthese, denn der Kern besteht vorrangig aus DNS, die Muskelfaser vorrangig aus myofibrillärem Protein. Das überdurchschnittliche Faserdickenwachstum nach Selektion auf Eiweißansatz ist demzufolge ein Ergebnis der intensivierten Proteinsynthese-Leistung je Zellkern. Außerdem bedeutet ein abnehmen des Kern-Plasma-Verhältnis aber auch, daß 1 Kern jeweils einen größeren Sarkoplasmabereich kontrolliert, was sich auf die Aufrechterhaltung der Zellfunktionen ungünstig auswirken kann.

- Zusammenfassende Schlußfolgerungen

- . Die erfolgreiche Langzeit-Wachstumsselektion der Mäuse über 40 Generationen führte zu beträchtlichen Veränderungen der Skelettmuskulatur und ihres mikrostrukturellen Aufbaus
- . Nach Selektion auf Eiweißansatz (Du-6P) oder Körpermasse (Du-6) wurde der relativ größte Erfolg für das Muskelwachstum erzielt.
- . Die Selektion auf Proteinansatz erhöhte ausschließlich die Muskelfaserdicke, was beim Schwein für den Fleischansatz als positiv, für Fleischbeschaffenheit und Belastbarkeit als negativ zu bewerten ist. Die Indexselektion auf Körpermasse und Belastbarkeit führte gegenüber der Selektion auf Eiweißansatz zu einer deutlich höheren Fasergesamtanzahl bei geringeren Faserdicken und damit zu einer qualitativ günstigeren Muskelstruktur. Zwischen diesen deutlich differenzierten Linien nimmt hinsichtlich Faseranzahl und Faserdicke die Selektion auf Körpermasse (Du-6) eine Zwischenstellung ein, wobei muskelspezifische Differenzen auftreten.
- . Eine hohe Faseranzahl und verhaltenes Faserwachstum sind für die Kombination von Wachstum und Belastbarkeit günstiger als sehr rasches Faserwachstum.

- Die selektionsbedingten Veränderungen in der Fasertypenverteilung am Beispiel des M. rectus femoris sind äußerst geringfügig, weshalb sich die Hypothese, daß eine Wachstumsselektion der Schweine zu einem erhöhten Anteil weißer Fasern geführt hat, mit diesen Ergebnissen nur bedingt unterstützen läßt.
- Die Wachstumsselektion über 40 Generationen führte zu einer um 30-39 % erhöhten Kernzahl in den Muskelquerschnitten, die auf eine intensivierete myogene Zellproliferation als einem der zellulären Grundprozesse des Wachstums zurückzuführen ist.
- Durch die Selektion auf Eiweißansatz (Du-6P) sinkt das Kern-Plasma-Verhältnis signifikant. Dies ist ein Hinweis dafür, daß bei selektionsbedingt stark angeregtem Faserdickenwachstum die Proteinakkumulation stärker intensiviert wird als die DNS-Synthese. Eine verringerte Kern-Plasma-Relation kann sich jedoch auf die Aufrechterhaltung der Muskelfaserfunktion ungünstig auswirken, was eine Ursache für die negative Wirkung überdurchschnittlicher Faserhypertrophie für Belastbarkeit und Fleischbeschaffenheit sein kann.

5.3. Direkte Selektion nach Muskelstrukturmerkmalen beim Schwein

Die Zielstellung des Experiments bestand vorrangig in der Klärung der prinzipiellen Möglichkeiten einer Selektion nach Muskelstrukturmerkmalen hinsichtlich Einflußnahme auf Belastbarkeit, Fleischbeschaffenheit und Schlachtkörperqualität beim Schwein. In dieser Teilleistung sollen erste Ergebnisse eines 1984 in der LVS Oberholz der KMU Leipzig, Sektion Tierproduktion und Veterinärmedizin, begonnenen Selektionsexperimentes dargelegt werden. Anhand von 3 Generationen werden der Vergleich der Selektionsvarianten, die realisierten Selektionserfolge und die Beziehungen zwischen Muskelstruktur und Belastbarkeit dargestellt.

- Variantenvergleich

Eine divergente Selektion auf Faserdurchmesser und Anteil weißer Fasern sowie auf ein niedriges Muskel-Speckdicken-Verhältnis (MSV) führte nach drei Generationen zu Effekten im strukturellen Aufbau des Kotelettmuskels (*M. longissimus*). In Tab. 7 sind die Mittelwerte für die Muskelstrukturmerkmale der Ausgangspopulation und der zwei selektierten Generationen zusammengestellt. In den Selektionskriterien konnten in der 1. und 2. Generation größtenteils signifikante Differenzen zwischen den Varianten erreicht werden. Die Tiere der Variante Hoch hatten in der 1. Generation einen um $3,2 \mu\text{m}$ und in der 2. Generation einen um $10,5 \mu\text{m}$ größeren mittleren Faserdurchmesser als die Tiere der Variante Niedrig. Im prozentualen Anteil weißer Fasern unterschieden sich die Varianten um 3,6 % (1. Gen.) bzw. 2,9 % (2. Gen.). Die Anteile an roten Fasern waren in der Variante Hoch dementsprechend niedriger, die Anteile an intermediären Fasern blieben gleich.

Betrachtet man die Durchmesser der einzelnen Typen, so wurde deutlich, daß in der Rangfolge rot - intermediär - weiß alle drei Fasertypen bei den Tieren der Variante Hoch größere Faserdurchmesser aufwiesen. Die Mittelwerte für die Faserdurchmesser in der 0. Generation sind nicht direkt mit denen der anderen Generationen zu vergleichen. Beim Ausgangsmaterial handelte es sich um Tiere verschiedener Herkunft, die unterschiedliche Haltungs- und Fütterungsbedingungen und demzufolge eine differenzierte Lebendmasseentwicklung aufwiesen.

Hinzuweisen ist auf die erhöhte Fasergesamtanzahl bei den Tieren der Variante Niedrig. Dieses Merkmal wurde durch Multiplikation der Anzahl Fasern pro cm^2 mit der aus der Muskeldicke (in cm) nach der Kreisformel errechneten Muskelfläche erhalten. Es stellt somit eine mögliche Berechnungsvariante für die Muskelfasergesamtanzahl bei lebenden Tieren dar, bei denen die planimetrierte Muskelfläche nicht zur Verfügung steht.

Tab. 7: Muskelstrukturmerkmale, Lebendmassen und MSV in der

Generationen und Varianten

Merkmal		0.Generation	1.Generation		2.Generation	
		n=53	Hoch n=67	Niedrig n=67	Hoch n=61	Niedrig n=82
Durchmesser (μm)						
weiß	$\bar{x}$	106,8	101,8 ^a	99,3 ^a	104,8 ^a	96,5 ^t
	s	13,1	10,6	13,3	15,7	15,6
intermediär		87,4	86,9 ^a	78,2 ^b	90,6 ^a	74,3 ^b
		12,2	10,7	12,4	13,9	12,0
rot		90,5	89,8 ^a	79,4 ^b	93,1 ^a	77,1 ^b
		11,6	11,7	12,8	13,4	12,8
gesamt		102,1	98,5 ^a	95,3 ^a	101,4 ^a	90,9 ^b
		12,1	9,7	12,1	14,1	14,4
Anteil (%)						
weiß		75,2	77,9 ^a	74,3 ^b	76,9 ^a	74,0 ^b
		4,6	4,8	4,8	4,8	4,8
intermediär		14,0	13,7 ^a	13,6 ^a	14,3 ^a	14,6 ^a
		3,2	2,9	3,4	3,9	3,8
rot		10,8	8,4 ^a	12,1 ^b	8,8 ^a	11,4 ^b
		3,0	3,6	3,9	3,5	3,2
Fasergesamtanzahl i.T.		—	227 ^a	238 ^a	219 ^a	284 ^b
(ber. aus MD)			60	81	69	112
Lebendmasse (kg)		96,1	94,3 ^a	97,6 ^b	98,2 ^a	100,9 ^a
		8,8	6,6	8,9	13,9	15,1
MSV		—	0,28 ^a	0,29 ^a	0,28 ^a	0,28 ^a
			0,08	0,06	0,07	0,06

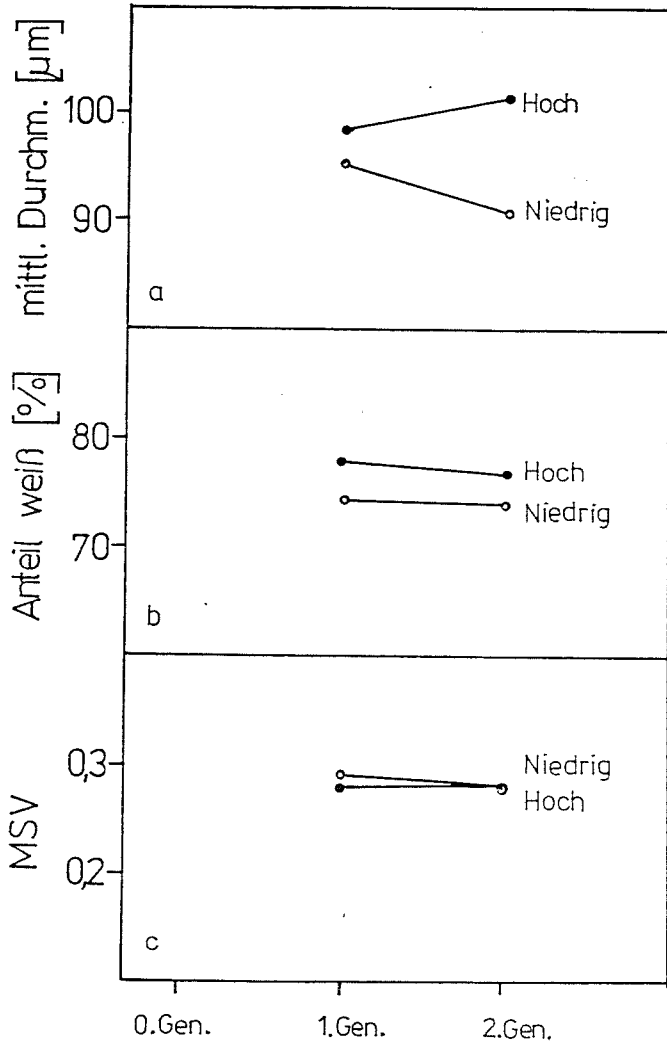
Mittelwerte mit gleichen Buchstaben unterscheiden
sich zwischen Hoch- und Niedrig-Variante nicht
signifikant bei $\alpha=0,05$

Bei annähernd gleicher Muskeldicke in den Varianten bildeten die Tiere der Variante Hoch ihre Muskulatur - am Beispiel des *M. longissimus* untersucht - mit einer geringen Anzahl Fasern mit großen Einzelquerschnitten, die Tiere der Variante Niedrig dagegen mit einer hohen Anzahl Fasern mit geringen Einzelquerschnitten.

Aus Abb. 9 sind die Selektionserfolge von der 1. zur 2. Generation für die drei Selektionskriterien ersichtlich. Im mittleren Faserdurchmesser (Abb. 9a) wurde in der Variante Hoch ein Selektionserfolg von $+ 2,9 \mu\text{m}$ und in der Variante Niedrig ein Erfolg von $-4,3 \mu\text{m}$ erreicht. Die Differenzen sind statistisch nicht signifikant, sie weisen jedoch auf den Trend einer positiven bzw. negativen Veränderung des Merkmals hin. Im Anteil weißer Fasern und im MSV ließ sich von der 1. zur 2. Generation kein Selektionserfolg erzielen (Abb. 9b u. c). Die Entwicklung der Merkmale muß in weiteren Generationen verfolgt werden.

- Zusammenhang zwischen Muskelstruktur und Halothanreaktion
Als Kriterium der Belastungsempfindlichkeit wurde bei allen untersuchten Tieren der Halothantest durchgeführt. Die Häufigkeit des Auftretens halothanpositiver Tiere in den Generationen und Varianten ist in Tab. 8 dargestellt. Von den 53 Tieren der Ausgangspopulation (O.Gen.) reagierten 49,0 % halothanpositiv. Die nach den Selektionskriterien für die Zucht ausgewählten Elterntiere zeigten in den Varianten unterschiedliche Halothanfrequenzen. Während in der Variante Hoch 85,0 % der Tiere halothanpositiv waren, betrug der Anteil bei der Variante Niedrig nur 30,4 %. Bei den Tieren der 1. und 2. Generation zeigte sich diese Differenz in ähnlicher Weise wieder. In der 2. Generation war der korrelierte Selektionserfolg in der Variante Niedrig weit größer als in der Variante Hoch. Von 82 untersuchten Tieren reagierte nur noch ein Tier halothanpositiv, das sind 1,2 % der Tiere. Wurden die Gruppen nach Geschlechtern geordnet, so war sowohl bei den männlichen als auch bei den weiblichen Tieren der Hauptteil der positiven Tiere in der Variante Hoch zu finden. So ist durch die divergente Selektion nach Muskelstruktur und MSV ein korrelierter Effekt auf die Halothanempfindlichkeit eingetreten.

Abb. 9 Selektionserfolge in den Indexkomponenten



Tab. 8: Frequenz der Halothanempfindlichkeit (H^+)
 (Anteil positiv reagierender Tiere)

		gesamt		getrennt nach Geschlechtern			
		Hoch Niedrig		weiblich Hoch Niedrig		männlich Hoch Niedrig	
0. Gen.	n	20	53	17	18	3	5
	$\%H^+$	85,0	49,0	82,4	33,3	100,0	20,0
1. Gen.	n	67	67	40	41	27	26
	$\%H^+$	88,0	16,4	90,0	12,2	85,2	23,1
2. Gen.	n	61	82	34	34	27	48
	$\%H^+$	70,5	1,2	67,6	0	74,1	2,1

Diese Schlußfolgerung wird unterstützt, wenn in beiden Varianten die halothanpositiven und halothannegativen Tiere miteinander verglichen werden (Tab. 9). In beiden Varianten hatten – mit Ausnahme der weißen Fasern in Variante Hoch – die halothanpositiven Tiere größere Muskelfasern. Die Differenzen waren beim roten Fasertyp signifikant, bei den beiden anderen Fasertypen nicht signifikant. Diese veränderte Muskelstruktur wirkt sich bei den halothanpositiven Schweinen offenbar ungünstig auf den Muskelstoffwechsel und somit auf die Funktionsweise der Muskeln aus, da in den Fasern, besonders in den oxidativen Fasern, aufgrund ihres großen Querschnitts nicht alle Partien genügend mit Sauerstoff versorgt werden können.

In der Fasertypenverteilung zeigte sich bei den halothanpositiven Tieren ein erhöhter Anteil weißer Fasern. Damit wurden die bisherigen, an anderen Tiergruppen erhaltene Ergebnisse erneut bestätigt.

Tab.9: Muskelstrukturmerkmale der halothanpositiven und halothannegativen Tiere (1.+2.Generation)

		Variante Hoch		Variante Niedrig	
		H ⁺	H ⁻	H ⁺	H ⁻
		n=102	n=26	n=12	n=137
Durchmesser (μm)					
weiß	$\bar{x}$	102,8 ^a	105,8 ^a	99,6 ^a	97,6 ^a
	s	13,6	12,5	19,1	14,2
intermediär		89,4 ^a	85,8 ^a	86,4 ^a	75,1 ^a
		12,4	12,1	19,2	11,2
rot		93,6 ^a	86,6 ^b	89,7 ^a	77,1 ^b
		12,9	9,5	17,7	11,8
gesamt		99,8 ^a	100,1 ^a	96,7 ^a	92,6 ^a
		12,3	11,3	18,5	15,1
Anteil (%)					
weiß		78,1 ^a	74,1 ^a	78,1 ^a	73,7 ^b
		4,5	5,1	5,5	4,6
intermediär		13,8 ^a	14,5 ^a	12,2 ^a	14,4 ^b
		3,4	3,4	1,9	3,7
rot		8,1 ^a	10,8 ^a	9,7 ^a	11,9 ^a
		3,2	7,4	4,8	3,3
Fasergesamtanzahl i.T.		229 ^a	204 ^a	219 ^a	265 ^a
(ber. aus MD)		67	45	69	27

Mittelwerte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich zwischen H⁻ und H⁺ nicht signifikant bei $\alpha=0,05$

Ein erhöhter Anteil an weißen, glykolytischen Fasern kann damit ebenfalls als eine strukturbedingte Ursache für mangelhafte Belastbarkeit und Fleischbeschaffenheit angesehen werden.

Die vorliegenden ersten Ergebnisse zum Selektionsexperiment lassen folgende Schlußfolgerungen zu:

- Im Ergebnis einer divergenten Selektion nach Muskelstrukturmerkmalen bei niedrigem MSV treten nach drei Generationen signifikante Differenzen zwischen den Varianten auf. Es läßt sich dadurch für die Muskelfaserdicke und den Anteil weißer Fasern eine genetische Differenziertheit erreichen.
- Durch die divergente Selektion wird der Anteil halothanpositiver Reagenten verändert. Tiere mit großem Faserdurchmesser und hohem Anteil weißer Fasern (Variante Hoch) besitzen eine signifikant größere Belastungsempfindlichkeit als Tiere mit kleinem Faserdurchmesser und geringem Anteil weißer Fasern (Variante Niedrig).
- Bei einer Selektion nach kleinem Faserdurchmesser, geringem Anteil weißer Fasern und niedrigem MSV tritt ein positiver korrelierter Effekt auf die Fasergesamtanzahl ein. Die Fasergesamtanzahl erhöht sich, und damit wird züchterisch eine günstige strukturelle Voraussetzung für den Fleischansatz sowie für eine optimale Fleischbeschaffenheit und Belastbarkeit geschaffen.

5.4. Aussagen zum Erkenntniszuwachs

Mit der mehrmaligen Biopsie am selben Tier wurden erstmals Grundlagenerkenntnisse zum Wachstum der Muskulatur am lebenden Tier in einem für die Selektion relevanten Zeitabschnitt vom 70. bis 220. Lebenstag gewonnen. Die für die Wachstumsuntersuchungen durchgeführten Probenentnahmen mit Hilfe der Schußbiopsie haben gezeigt, daß eine Schußbiopsie schon ab dem 70. Lebenstag ohne Beeinträchtigung der Tiergesundheit durchführbar ist. Die für die Schußbiopsie und die nachfolgende Probenaufbereitung und Messung erforderliche Zeit ist ein vertretbarer Aufwand für eine Methode der Leistungsfrüherkennung.

Im Ergebnis aller Experimente läßt sich bezüglich der Muskelstrukturmerkmale Muskelfaserdicke und Muskelfasergesamtanzahl eine genetische Differenziertheit zwischen Tiergruppen nachweisen bzw. durch Selektion erreichen.

Für die Muskelfasertypenverteilung ist diese Differenziertheit weniger deutlich ausgeprägt. Extreme Muskelfaserhypertrophie steht mit einer Verschlechterung der Fleischbeschaffenheit und Belastbarkeit im Zusammenhang. Diese extreme Faserhypertrophie ist keine notwendige Voraussetzung für hohen Fleischansatz, da sie mit niedriger Fasergesamtanzahl korreliert. Beide Merkmale tragen gleichermaßen zur Ausprägung des Fleischansatzes bei. Extreme Faserhypertrophie ist außerdem mit erhöhtem Fettansatz verbunden.

Bei selektionsbedingt wachstumsdifferenzierten Mäuselinien steigt die Zahl der Zellkerne im Ergebnis einer vermehrten myogenen Zellproliferation. Bei stark angeregter Faserhypertrophie sinkt das Kern-Plasma-Verhältnis, was Ausdruck eines gesteigerten Proteinzuwachses je Kern ist, aber gleichzeitig eine Ursache der negativen Wirkung extremer Muskelfaserhypertrophie sein kann.

Extrem hohe Anteile weißer Muskelfasern sind beim Schwein Anzeichen von Fleischbeschaffenheits- und Belastbarkeitsmängeln. Es werden zu verschiedenen Biopsiezeitpunkten Ergebnisse vorgelegt, deren Nutzung in Abhängigkeit vom System der Leistungsprüfung entschieden werden muß. Biopsietechnisch ist jeder Zeitpunkt ab dem 70. Lebenstag möglich. Da die phänotypischen Korrelationskoeffizienten am 70. Lebenstag nicht niedriger sind als z.B. am 180. Tag, kann der Muskelstrukturbiopsietest sowohl zur Vorselektion der Eber für die ZEA-Prüfung als auch im Rahmen der Eigenleistungsprüfung am 180. Lebenstag genutzt werden.

5.5. Vergleich der Ergebnisse mit den geplanten Zielstellungen und dem Welthöchststand

Beim Vergleich der Ergebnisse mit den geplanten Zielstellungen im Pflichtenheft kann festgestellt werden, daß alle Parameter erfüllt wurden, die für die Abrechnung 1988 vorgesehen waren. Ein ausführlicher Weltstandsvergleich der verschiedenen Aspekte der Muskelstrukturuntersuchungen in der Tierzucht wurde in der Broschüre "Genetische Probleme in der Tierzucht - Untersuchungen zur Muskelstruktur" (REHFELDT u.a. 1987) vorgenommen.

Alle in diesem Bericht abzurechnenden Experimente sind weltstandsbestimmend, d.h. es gibt in der Literatur keine vergleichbaren Untersuchungen.

Mit der Schußbiopsie von Muskelgewebe und der histologisch-histochemischen Untersuchung von Muskelstrukturmerkmalen schon ab 70. Lebensjahr wurden Methoden geschaffen, die Wachstumsuntersuchungen zur Muskelstruktur am lebenden Tier ermöglichen, wie sie bisher aus der Literatur nicht bekannt sind. Zum gegenwärtigen Stand der Anwendung der Schußbiopsie für die Bestimmung der Fleischbeschaffenheit am lebenden Tier gibt es Zusammenfassungen bei FISCHER (1985); v. Lengerken (1987); LAHUCKY (1987) u.a., wobei zum Muskelstrukturbiopsietest kaum Veröffentlichungen vorliegen.

Die Ergebnisse zu korrelierten Effekten einer Langzeitselektion von Labormäusen sind ebenfalls von hohem Neuheitswert, was sich aus einem Vergleich mit anderen Selektionsexperimenten ergibt (REHFELDT u.a. 1987).

Die Suche nach morphologischen und physiologischen Befunden an der Skelettmuskulatur von belastungsempfindlichen, halothanpositiven Schweinen mit Fleischbeschaffenheitsmängeln führte international bisher zu einer Reihe von Ergebnissen (BICKHARDT 1983; UHRIN u.a. 1985; SALOMON u.a. 1986), die mit den vorgelegten Befunden im wesentlichen bestätigt werden. Ergebnisse zu korrelierten Effekten einer divergenten Selektion von Schweinen nach Zunahmeleistung und Rückenspeckdicke auf die Muskelstruktur erarbeiteten NØSTVOLD u.a. (1978). Das vorliegende Selektionsexperiment mit Schweinen, in dem Muskelstrukturmerkmale als Selektionskriterien zur Erzeugung divergenter Linien eingesetzt werden, hat internationalen Neuheitswert.

6. Entscheidungsvorschläge und Angaben zur Anwendung der Ergebnisse

- Die methodischen Ergebnisse zur Anwendung der Schußbiopsie beim Schwein schon ab dem 70. Lebenstag, die im Berichtszeitraum erreicht und für die Wachstumsuntersuchungen zur Muskelstruktur genutzt wurden, werden bereits im FZT für die Forschungsleistungen zum Translationstest und zur Untersuchung der Wachstumsstimulation angewendet. Ein Workshop zur Vorbereitung des immateriellen Exports ist geplant. Eine breite Anwendung der Schußbiopsie am wachsenden Schwein zur Beobachtung des Muskelwachstums kann für verschiedene tierzüchterische Fragestellungen, u.a. für Rassenvergleiche und Fütterungsversuche, vorgeschlagen werden. Die verwendeten Biopsiegeräte und Kanülen können über Nachnutzung des entsprechenden Neuerer-vorschlages von jeder an der Anwendung interessierten Einrichtung nachgebaut werden*. Eine schutzfähige erfinderische Leistung liegt nicht vor.
- Methodische Ergebnisse der histologisch-histochemischen Laborarbeit sind in einer RGW-Empfehlung für die Forschung "Anwendung histologischer und histochemischer Methoden zur Untersuchung des Muskelgewebes in der Tierzuchtforschung (ENDER u.a. 1987) dargelegt und von der 16. Sitzung des Rates der Bevollmächtigten an die RGW-Länder übergeben worden.
- Die für die Leistungsfrüherkennung wichtigen Grundlagen zum Muskelwachstum sollten methodisch durch Zellkernzählungen und Fettzellmessungen erweitert und auf andere Rassen und Linien beim Schwein übertragen werden. Wesentlich ist dabei die Ermittlung von Grenzwerten für die Muskelstrukturmerkmale bezüglich der Prädisposition für Fleischbeschaffenheitsmängel und der Schlachtleistung bei den in der DDR verwendeten Rassen.

* Die entsprechenden gesetzlichen Bestimmungen m.a. Abflußabfahrvorordnung vom 26.3.84 und Durchführungsbestimmungen Gesetzblatt vom 26.3.84^{5.5.84} Teil I Nr. 11 sind enthalten.

- In den untersuchten Mäuselinien sollte eine weitere Beurteilung der Selektionsvarianten nach Erreichen der Selektionsgrenzen vorgenommen werden, um Informationen über die Differenzierung der Linien hinsichtlich der Muskelstruktur auf dem Selektionsplateau zu erhalten. In künftigen Untersuchungen an Labortieren und Schweinen ist zu prüfen, welche Beziehungen zwischen Merkmalen der histologischen Zellkernverteilung der Muskulatur und relevanten Leistungseigenschaften bestehen.
- Das Selektionsexperiment mit Schweinen ist weiterzuführen und nach der 4. Generation eine Endauswertung vorzunehmen. Diese betrifft die weitere Verfolgung der bisher festgestellten Effekte und die Fragestellung zum Einfluß der direkten Selektion auf die Mast- und Schlachtleistungsdaten in den beiden Varianten.
- Vor einer Anwendung der bisher an Labormäusen und Schweinen gewonnenen Erkenntnisse in einem Produktionsexperiment müssen genetische Parameter für die Muskelstrukturmerkmale und deren Beziehungen zu relevanten Leistungsmerkmalen geschätzt werden. Zu dieser Fragestellung wurde bereits in Zusammenarbeit mit dem WTZ für Schweinezucht und Produktion Ruhlsdorf ein Experiment begonnen. Nach dessen Abschluß können aus den Ergebnissen geeignete Selektionsindizes abgeleitet werden, die im F/E-Bericht 1992 dargestellt werden.

7. Literaturverzeichnis:

- BICKHARDT, K.: Zur Diagnostik der Straßenanfälligkeit beim Schwein. Prakt. Tierarzt, Hannover 64(1983)4, 355-336, 338-340
- BÜNGER, L.; RENNE, U.; HERRENDOERFER, G.; SUMPF, D.; DOMRÖSE, H.: Langzeitselektionsstrategie Wachstum und Belastbarkeit. F/E-Bericht FZT Dummerstorf 1987
- ENDER, K.; FIEDLER, I.; REHFELDT, Ch.; WEGNER, J.: Anwendung histologischer und histochemischer Methoden zur Untersuchung des Muskelgewebes in der Tierzuchtforchung, RGW-Empfehlung für die Forschung. FZT Dummerstorf, 1987
- FIEDLER, I.; WEBER, Ch.: Methodische Untersuchungen zur Auswahl einer histochemischen Routinemethode für die Differenzierung von Muskelfasertypen. Z. mikrosk.-anat. Forsch. 95(1981)6, 1027-1034
- FIEDLER, I.; WEGNER, J.; REHFELDT, Ch.: Muskelstrukturmerkmale zur Früherkennung von Fleischansatz und Fleischbeschaffenheit für die Nutzung in der Selektion F/E-Bericht AdL Berlin, FZT Dummerstorf, 1985
- FISCHER, K.: Muskelbiopsie - eine Alternative zum Halothan-Test? Dtsch.Geflügelwirtsch., Schweineprod.37(1985), 1116-1118
- LAHUCKY, R.: Recent findings using the muscle shot biopsy to evaluate meat quality in pigs. Pig News and Information 8(1987)3, 291-294
- LENGERKEN, G.v.: Stand und Entwicklungstendenzen der Anwendung von Methoden zur Erkennung der Streßempfindlichkeit und Fleischqualität beim Schwein. Internat. Symposium zur Schweinezucht 14./15. Oktober 1987 in Leipzig
- NØSTVOLD, S.O.; SCHIE, K.A.; FRØYSTEIN, T.: Muscle fiber characteristics in lines of pigs selected for rate of gain and backfat thickness Acta. Agricult. Scand. Suppl. 21(1978), 136-142

- RASCH, D.: Einführung in die Biostatistik.
Dtsch. Landwirtschaftsverlag Berlin, 1983
- REHFELDT, Ch.; BÜNGER, L.: Adaptation der Skelettmuskelfasern an Ausdauertraining, bewegungseinschränkende Haltung oder Selektion auf Körpermasse und Belastbarkeit bei Labormäusen.
Z. mikr.-anat. Forsch. 97(1983)1, 92-102
- REHFELDT, Ch.; OTTO, E.: Veränderungen der Muskelstruktur nach Selektion auf Wachstum und Belastbarkeit - Untersuchungen an Labormäusen
Arch. Tierzucht 28(1985)5, 465-473
- REHFELDT, Ch.; FIEDLER, I.; WEGNER, J.; ENDER, K.:
Genetische Probleme in der Tierzucht, Heft 12
(1987), 1-100 "Untersuchungen zur Muskelstruktur"
Schriftenreihe der AdL Berlin, FZT Dummerstorf-Rostock
- SALOMON, F.-V.; FIEDLER, I.; ZIEGAN, J.; HEINZ, M.:
Maligne Hyperthermie und morphologische Parameter der Skelettmuskulatur des Schweines.
Mh. Vet.-Med. 41(1986), 156-158
- UHRIN, V.; BULLA, J.; KULISKOWA, L.; POLTARSKY, J.:
Die Beziehungen zwischen Muskelfasermerkmalen und der Halothanresistenz beim Schwein
Mh. Vet.-Med. 30(1985), 217-230
- WEGNER, J.; KOCH, U.; KURTH, J.: Empfehlung zur Anwendung der Schußbiopsie beim Schwein ab 70. Lebens-
tag. Mh. Vet.-Med. 43(1988), 17, 607 - 609

Die Autoren bedanken sich bei den
technischen Mitarbeitern
Gisela Schalow, Karola Marquardt,
Marie Tischler und Carmen Weber für die
Einsatzbereitschaft und Exaktheit bei der
Herstellung der histologisch-histochemischen
Präparate, deren Auswertung am Mikroskop
und für die Anfertigung der Abbildungen.