

MORPHOLOGIE UND PHYSIOLOGIE DER MUSKELFASERN UND DEREN EINFLUß AUF DIE FLEISCHQUALITÄT (KURZFASSUNG)

VON J. WEGNER, I. FIEDLER, CH. REHFELDT UND K. ENDER

*Forschungsinstitut für die Biologie der landwirtschaftlichen Nutztiere,
Forschungsbereich: Muskelbiologie und Wachstum Dummerstorf - Rostock*

Fleisch ist, biologisch betrachtet, Skelettmuskulatur, und die zellulären Bausteine des Muskels sind Muskelfasern, Fettzellen und Bindegewebe. Der den Tierzüchter besonders interessierende Fleisch- und Fettansatz des Tieres ist das Ergebnis des Wachstums dieser mikrostrukturellen Bestandteile. Die Fleischbeschaffenheit ist abhängig von der qualitativen Zusammensetzung und vom Zustand der zellulären Komponenten.

Die Untersuchung des Muskelgewebes mit Hilfe mikroskopischer Methoden hat daher innerhalb der Fleischforschung international und auch in unserem Forschungsinstitut einen wichtigen Platz eingenommen.

1. MIKROSTRUKTUR DES MUSKELS

Mit bloßem Auge sehen wir am Fleischanschnitt die sogenannte Körnung des Fleisches, die in Längsrichtung betrachtet, z.B. am gekochten Fleisch, als Fleischfaser sichtbar wird. Dabei handelt es sich jedoch nicht um Muskelfasern. Die Körnung des Fleisches ergibt sich aus der Bündelstruktur des Muskelgewebes. Die oft recht starken Bindegewebesstränge, die wie Maschen eines Netzes den ganzen Muskel im Querschnitt durchziehen und die Bündelstruktur hervorrufen, haben u.a. die Funktion der Kraftübertragung vom Muskel auf den Knochen und haben im Fleisch Bedeutung für die Zartheit. Im Bindegewebe verlaufen die größeren Blutgefäße, die den Muskel versorgen. Hier erfolgt auch die Einlagerung von intra-

muskulärem Fett (Marmorierung). Das intramuskuläre Fett hat ohne Zweifel eine wesentliche Bedeutung für den Geschmack und die Saftigkeit des Fleisches.

Hauptbestandteile des Muskelgewebes mit mehr als 90% sind die Muskelfasern. Es sind hochspezialisierte Zellverbindungen mit einem Durchmesser von 10-150 µm und einer sehr unterschiedlichen Länge bis zu mehreren Zentimetern. Eine weitere Besonderheit des Muskelgewebes ist das Vorkommen von unterschiedlichen Muskelfasertypen, die sich im metabolischen und kontraktiven Eigenschaften unterscheiden. So werden Muskelfasern z.B. in weiße, rote und intermediäre bzw. langsam und schnell kontrahierende klassifiziert.

Der Nachweis der Muskelfasertypen erfolgt am Schnittpräparat durch verschiedene histochemische Reaktionen, die eine unterschiedliche Färbung bewirken. Die Muskelfaser besitzt mehrere randständige Zellkerne. Das Verhältnis von Anzahl Zellkernen pro Faserquerschnittsfläche ist ein wichtiger Parameter der Muskelstruktur. Jede Muskelfaser wird von Blutkapillaren versorgt. Die oxidativen, roten Muskelfasern haben mehr Kapillaren pro Faserfläche als die glykolytischen, weißen Muskelfasern. Das Kapillar-Faser-Verhältnis ist einer der Parameter für Sauerstoff und Nährstoffversorgung. Bei starker Mikroskopvergrößerung kann man sehen, daß sich die Muskelfaser aus zahlreichen Myofibrillen zusammensetzt. Der Abstand zwischen den Z-Linien der Myofibrillen innerhalb der Mysinabschnitte wird als Sarkomerenlänge bezeichnet. Die Sarkomerenlänge ist ein Maß für den Kontraktionszustand des Muskels und gilt als ein Parameter für die Zartheit beim Rindfleisch.

2. METHODIK DER UNTERSUCHUNG VON MICROSTRUKTURELLEN VERÄNDERUNGEN WÄHREND DES WACHSTUMS AM LEBENDEN TIER

In der Vergangenheit wurden Wachstumsvorgänge vor allem auf Grund von Stufenschlachtungen untersucht. Mit Hilfe der Schußbiopsie und der mikroskopischen Untersuchung der Biopsieproben ist es möglich schon am lebenden Tier und durch mehrmalige Biopsie auch am selben Tier Wachstumsveränderungen zu studieren. Das Schußbiopsiegerät erfüllt alle Forderungen hinsichtlich einer schnellen und unkomplizierten Probenentnahme im Stall und auch im Schlachthof. Es ist keine Fixierung der Tiere und keine Narkose bzw. Lokalanästhesie notwendig. Die Wundheilung erfolgt nach Wundversorgung mit einem Antibiotikaspray komplikationslos. In den vergangenen Jahren wurden von uns mehr als 2000 Biopsien bei Schweinen und Rindern verschiedenen Alters durchgeführt. Die Tierversuche mit Schußbiopsie müssen von der Tierschutzkommission des Landes genehmigt werden.

3. MYOGENESE UND POSTNATALES MUSKELWACHSTUM

Eine wichtige Voraussetzung für das spätere Wachstum des Individuums ist der Prozeß der embryonalen und fetalen Myogenese, in dem sich die Entwicklung und Differenzierung des Skelettmuskelgewebes aus dem mesodermalen Keimblatt vollzieht.

Das Prinzip der Myogenese beruht auf der Fusion einkerniger Myoblasten zu vielkernigen Myotuben, die sich wiederum zu den reifen Skelettmuskelfasern entwickeln. Die Bildung der Muskelfasern erfolgt in zwei Phasen im Verlauf der embryonalen Entwicklung und reicht bei einigen Tierarten bis in die frühe postnatale Phase hinein. An die sog. primären Fasern lagern sich weitere Myoblasten an, die dann in linearer Folge fusionieren und sekundäre Fasern bilden.

Das postnatale Wachstum der Skelettmuskulatur stellt unter normalen Bedingungen nur noch eine Vergrößerung der vorhandenen Muskelfasern dar, die ihrerseits physiologisch begrenzt ist. Die Gesamtanzahl der Muskelfasern ist somit ein entscheidender Faktor für das Wachstumspotential eines Muskels.

Die Schwierigkeit, diese Tatsache für die Züchtung zu nutzen, liegt darin, daß es kaum möglich ist, am lebenden Tier die Gesamtanzahl zu bestimmen. Gegenwärtig laufen Untersuchungen, dieses Problem mit Hilfe der Computertomografie und Biopsie zu lösen.

Die postnatale Differenzierung der Muskelfasertypen ist bei den Tierarten Maus, Schwein und Rind unterschiedlich. Während bei den Nesthockern, besonders Maus, zum Zeitpunkt der Geburt noch keine unterschiedlichen histochemisch differenzierbaren Muskelfasertypen vorhanden sind, können beim Rind als Nestflüchter bereits alle drei Fasertypen sichtbar gemacht werden. Im weiteren Verlauf des Wachstums erfolgt im juvenilen Stadium eine Faserumwandlung von roten über den intermediären zum weißen Muskelfasertyp.

4. WACHSTUMSSTIMULATION

Mit dem Ziel der Wachstumsförderung sind bei Labortieren und Nutztieren seit Mitte der 70iger Jahre zahlreiche Experimente zur Ermittlung von Effekten exogen zugeführter Substanzen angestellt worden.

Besonders solche Wirkstoffe sind interessant, die den Eiweißansatz in der Muskulatur stimulieren, das Fettwachstum hemmen und die angebotenen Nährstoffe bestmöglich nutzen.

Zu den sogenannten "repartitioning agents", die eine Umverteilung der Nahrungsenergie zugunsten des Proteinansatzes und zu Lasten des Fettansatzes bei

verbesserter Futtereffizienz bewirken, gehören z.B. die β -adrenergen Agonisten (Cimaterol, Clenbuterol u.a.) sowie auch das Somatropin - oder Wachstumshormon. Die Effekte sind insgesamt relativ einheitlich: mehr Fleisch - weniger Fett.

Histologische und biochemische Untersuchungen haben jedoch gezeigt, daß dieses Ergebnis auf verschiedenen Wegen erreicht wird. Sowohl β -Agonisten als auch Somatotropin führen zu einer Stimulierung des Muskelfaserwachstums bei gleichbleibender Muskelfasergesamtanzahl. Das Kern-Plasma Verhältnis der Muskelfasern sowie DNA-Konzentration und DNA-Protein-Verhältnis bleiben bei Langzeitbehandlung mit STH unverändert, erhöhen sich aber nach Behandlung mit β -Agonisten. Das bedeutet, daß die Kernvermehrung (Satellitenzellproliferation) durch STH in gleichem Maße gesteigert wird wie die Proteinakkumulation. Dies könnte ein Vorteil der STH-Wirkung gegenüber der β -Agonist-Wirkung sein, da die starke Vergrößerung einer DNA-Versorgungseinheit möglicherweise zu Fehlfunktionen im Muskelstoffwechsel führt.

Einen weiteren Reaktionsunterschied gibt es in der Fasertypenverteilung. Während nach STH-Behandlung im allgemeinen keine Veränderungen im metabolischen und kontraktiven Fasertypenmuster auftreten, bewirken die β -Agonisten einen deutlichen Anstieg der schnell kontrahierenden glykolytischen Muskelfasern.

Kürzlich erhielten wir in unserem Labor ein interessantes Ergebnis nach der Behandlung trächtiger Sauen mit porcinem Somatotropin. Bei zweiwöchiger Behandlung in der frühen Trächtigkeit wurden im M.semitendinosus der neugeborenen Ferkel wesentlich mehr Muskelfasern gefunden. Die Muskulatur solcher Tiere hätte damit ein vergleichsweise hohes Wachstumspotential.

Beim Rind wurde das Wachstum von Muskelfasern und Fettzellen nach Implantation von Zeranol (Handelspräparat: RALGRO) untersucht.

Zeranol ist ein Wachstumsförderer, der in zahlreichen Ländern in der Rindermast eingesetzt wird. Neben östrogenen Effekten entfaltet Zeranol auch auf anderen Wegen Wirkungen, deren Mechanismen noch nicht in allen Einzelheiten geklärt sind. So bedingt es in der Hypophyse eine vermehrte Ausschüttung von Wachstumshormon. Die anabole Wirkung äußert sich besonders bei Ochsen in erhöhtem Proteinansatz, geringerer Fettbildung und schnellerem Wachstum.

Unsere Untersuchungen an Bullen ergaben zelluläre Veränderungen in Richtung eines erhöhten Protein- und Fettansatzes, die mit der Schußbiopsiemethodik sehr gut beobachtet werden konnten.

5. GENETISCHE PARAMETER DER MUSKELFASERMERKMALE, IHRE BEZIEHUNGEN ZUR FLEISCHQUALITÄT UND MÖGLICHKEITEN FÜR EINE ZÜCHTERISCHE NUTZUNG

Die Aufgabe, relevante Beziehungen zwischen mikrostrukturellen Merkmalen der Muskulatur und Fleischqualitätskriterien aufzuzeigen, wird seit längerer Zeit intensiv wissenschaftlich bearbeitet. Nachdem phänotypische Beziehungen zwischen Muskelstrukturmerkmalen und relevanten Leistungseigenschaften nachgewiesen worden sind, sollte die Eignung der Muskelstrukturmerkmale zur Erhöhung der Genauigkeit der Zuchtwertschätzung geprüft werden. Vor einer Anwendung neuer, auf der Kenntnis der Muskelstruktur basierender Kriterien in der Züchtung muß jedoch ihre genetische Grundlage bekannt und ein gesicherter Nachweis ihrer züchterischen Effizienz vorhanden sein.

Dieser Nachweis wird durch Aussagen über die genetische Variabilität, die Heritabilität der Merkmale sowie über genetisch begründete Beziehungen zu wichtigen Leistungsmerkmalen gefunden.

Da für solche Untersuchungen nur sehr hohe Stichprobenumfänge die nötige statistische Sicherheit bieten, wurden zunächst verschiedene Experimente am Modelltier Labormaus durchgeführt. Sie ergaben für die Muskelfaserdicke und die Muskelfaseranzahl relativ hohe phänotypische und genetische Variabilitäten, ansprechende Selektionserfolge, Heritabilitäten im niedrigen Bereich und geringe maternale Einflüsse.

Über die Berechnung genetischer Korrelationskoeffizienten und durch die Ermittlung korrelierter Selektionserfolge in der Muskelstruktur nach Selektion über 40 Generationen bei der Labormaus konnten genetische Beziehungen zum Wachstum, zum Proteinansatz und zur Belastbarkeit nachgewiesen werden. Die Ergebnisse demonstrieren die Unvereinbarkeit von guter Ausdauerbelastbarkeit und extremer Muskelfaserhypertrophie.

Die in den Modellversuchen mit Labormäusen gewonnenen Ergebnisse lieferten positive Ansatzpunkte für eine gezielte Bearbeitung der Problematik beim Nutztier Schwein. Bei Schweinen sind die genetischen Beziehungen zwischen der Muskelstruktur und der Fleischleistung von besonderem Interesse. Eine divergente Selektion nach Merkmalen der Muskelstruktur führte bereits nach drei Generationen zu beachtlichen Veränderungen in der Belastungsempfindlichkeit und Fleischbeschaffenheit. Die Ergebnisse unterstreichen den ursächlichen Zusammenhang zwischen der Struktur der Muskulatur und deren Belastbarkeit.

Für die populationsgenetische Analyse zur Schätzung der genetischen Beziehungen beim Schwein wurden in einem Experiment mit Schweinen die Merkmale von insgesamt 1990 Tieren herangezogen. Fast alle Merkmale weisen mit

Koeffizienten von über 10% eine für die Selektion ausreichend hohe Variabilität auf. Eine Ausnahme bilden die weißen Muskelfasern, deren Werte für den Durchmesser 7,6% und für den Anteil nur 3,5% betragen. Diese geringe phänotypische und genetische Variabilität ist bei der Konstruktion von möglichen Selektionsindizes unbedingt zu berücksichtigen. Die h^2 -Werte für die Muskelstrukturmerkmale liegen zwischen 0,22 und 0,65 und sind mit Ergebnissen aus der Literatur gut vergleichbar. Nach Schätzung der genetischen Korrelationskoeffizienten ergab sich, daß die Faserdurchmesser zum Dripverlust die engsten Beziehungen aufweisen. Bei den Faseranteilen zeigt der Anteil weiß den engsten Zusammenhang zur Farbhelligkeit und der Faseranteil rot zum pH-Wert. Zwischen der Fasergesamtanzahl und den Fleischbeschaffenheitskriterien ist die Beziehung sehr gering, dagegen weist der Anteil an Riesenfasern zu allen drei Merkmalen enge Beziehungen auf. Mit diesen Ergebnissen wird folgender genetisch-physiologischer Zusammenhang deutlich.

Große Faserquerschnitte in den Muskeln wirken sich ungünstig auf das Wasserbindungsvermögen des Fleisches aus. Hohe Anteile an weißen bzw. geringe Anteile an roten Fasern haben ein verringertes oxidatives Potential des Muskels für die Energiegewinnung zur Folge, welches das Anpassungsvermögen der Tiere bei Belastungen einschränkt und post mortem zu ungünstigen Farbhelligkeits- und pH-Werten des Fleisches führt.

6. SCHLUßFOLGERUNGEN FÜR DIE RINDERZÜCHTUNG UND WEITERE GRUNDLAGENFORSCHUNG

Die Methodik der Probenentnahme, der histologisch-histochemischen Präparationstechnik und der quantitativmikroskopischen Muskelfasernanalyse ist soweit entwickelt, daß die Methoden routinemäßig eingesetzt werden können. Die Muskelbiopsie setzt jedoch bei der Anwendung in der Praxis die Akzeptanz seitens des Tierschutzes voraus.

Die bei den Labormäusen und Schweinen gefundenen phänotypischen und genetischen Beziehungen zwischen den Muskelfaser- und Fleischqualitätsmerkmalen sowie der Belastbarkeit erlauben eine sinnvolle Nutzung in der Schweinezüchtung. Sie sind jedoch nicht ohne weitere Untersuchungen auf das Rind übertragbar.

Die Fleischqualität beim Rind wird weniger durch die Muskelfasergröße und -typenzusammensetzung bestimmt, sondern hauptsächlich durch die mikrostrukturellen Komponenten Intramuskuläres Fett (Marmorierung) und Bindegewebe also Saftigkeit, Geschmack und Zartheit. Zu diesen Komplexen sind mikrostrukturelle Grundlagenuntersuchungen zukünftig erforderlich.

Die Erhöhung des Fleischanteils im Schlachtkörper kann, wenn nicht durch

exogene Wachstumsstimulation erwünscht, durch Erhöhung der Gesamtanzahl Muskelfasern erreicht werden. Da die Gesamtanzahl am lebenden Tier z.Zt. noch nicht bestimmbar und damit züchterisch beeinflussbar ist, sollte die Regulation durch endogene Faktoren, beginnend in der Myogenese, in weiteren Grundlagenuntersuchungen erforscht werden.