

COST Aktion 925



Die Bedeutung pränataler Ereignisse für das postnatale Muskelwachstum in Beziehung zur Muskelfleischqualität (2004 -2008)

RELEVANTE ERGEBNISSE FÜR TIERPRODUKTION UND NAHRUNGSMITTELINDUSTRIE

Was ist COST?

Die Europäische Kooperation auf dem Gebiet der Wissenschaftlich-Technischen Forschung (COST) ist eine Initiative, welche die Kooperation zwischen national finanzierten Forschungsaktivitäten fördert. COST Aktionen sind Netzwerke von Wissenschaftlern, die Unterstützung erhalten, um ihnen zu ermöglichen zu kooperieren und die Resultate ihrer Kooperation zu verbreiten. Existierende COST Aktionen umfassen ein breites Spektrum wissenschaftlicher Felder und können multi-disziplinären Charakter tragen.

Was ist COST Aktion 925?

COST Aktion 925 ist eine Europäische Konzertierte Forschungsaktivität zur "Bedeutung pränataler Ereignisse für das postnatale Muskelwachstum in Beziehung zur Muskelfleischqualität".

Hauptzielrichtung: Erklärung der Interaktionen zwischen Genetik und Umwelteinflüssen auf pränatale Ereignisse der Muskelbildung mit dem Ziel, alternative Methoden in der Selektion und Fütterungsstrategien zu finden, um postnatales Wachstum und die Fleisch-/Fischqualität zu optimieren.

Stärken:

- Verfahren "von der Konzeption zum Konsum"
- Der vergleichende Aspekt zwischen allen Nutztieren einschließlich Fischen

"Zielrichtung BIO-ÖKONOMIE"

Anwendungsaspekte

Morphologische- und Muskelstrukturmerkmale sowie für Schlachtkörper- und Fleischqualität bedeutsame Gene können bei Schwein, Schaf und Kaninchen identifiziert werden. Produktionsstrategien können diese Informationen nutzen, um die Quantität und Qualität der Produkte zu erhöhen.

*

Das Muskelprotein Myosin Light Chain 2a (MLC2A) besitzt die essenziellen Eigenschaften eines genetischen Markers für das Muskelwachstumspotenzial beim Fisch in jedem Altersabschnitt.

*

Eine Reduzierung der Intra-Wurf-Variation im Geburtsgewicht beim Schwein resultiert in einer einheitlicheren Schlachtkörper- und Fleischqualität. Genetische Selektion und/oder geeignete maternale Fütterungsregime sollten angewandt werden, um balancierte Würfe mit mittlerem bis hohem Geburtsgewicht zu erhalten.

*

Maternale Futtermittellieferung über Standardbedarf scheint nicht sehr effektiv zu sein für die Stimulation des Skelettmuskelwachstums und eine Erhöhung des Geburtsgewichts der Nachkommen. Maternale Unterernährung beim Schaf beeinflusst die spätere Schlachtkörperqualität.

*

Eine Manipulation der Entwicklung von Geflügel vor dem Schlüpfen könnte die Zahl der Muskelfasern erhöhen und die Fleischqualität verbessern.

*

Biomarker werden der Schweine- und Rinderproduktion helfen, das Potenzial für eine hohe Schlachtkörper- und Fleischqualität sowie Tiergesundheit genetisch zu verbessern.

*

Untersuchungen an Zellkulturen ergaben signifikante Einflüsse von Nahrungs-Isoflavonen, Peptid-Wachstumsfaktoren und Zelltyp-Interaktionen auf das Wachstum von Skelettmuskelzellen

*

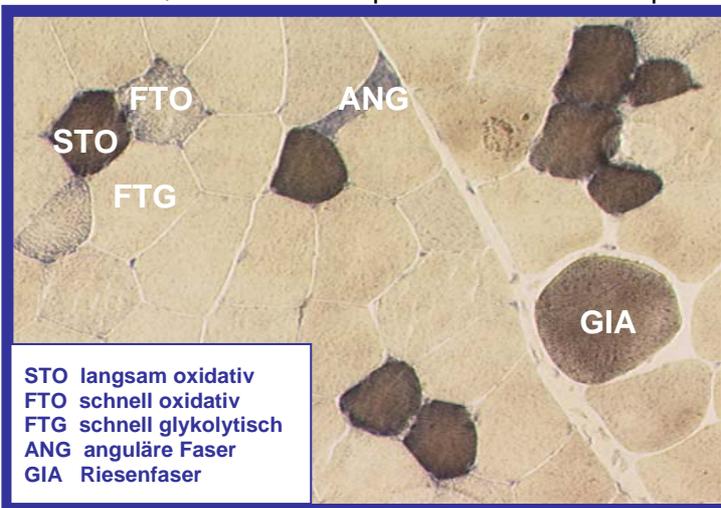
SEMG ist eine Methode mit dem Potenzial, die Fleischqualität in ihrer Beziehung zur Zusammensetzung und Physiologie der Muskulatur vorherzusagen.

1. Die Konsequenzen züchterischer Selektion für die Muskelstruktur und Fleischqualität

Beispiel – Schwein

Strukturelle und funktionelle Eigenschaften der Muskelfasern korrelieren mit Qualitätsmerkmalen des Schweinefleisches. Muskelfaser- wie auch Wachstumsmerkmale besitzen einen moderaten bis hohen Erblichkeitsgrad ($h^2=0.20-0.59$), der im Allgemeinen höher ist als der für Fleischqualitätsmerkmale ($h^2=0.15-0.32$).

Die Selektion auf einen hohen Magerfleischansatz beim europäischen Schwein in den vergangenen Jahrzehnten hatte **negative Auswirkungen** auf die Fleischqualität und die Stressempfindlichkeit, welche wiederum mit starker Faserhypertrophie, dem Auftreten von Riesenfasern und einer Verschiebung zum glykolytischen Muskelstoffwechsel assoziiert sind. Eine mit Hilfe von umfangreichen Daten durchgeführte simulierte Selektion ergab, dass Selektionserfolge in Wachstum, Schlachtkörper- und Fleischqualität wesentlich verbessert werden



konnten, wenn Muskelstrukturmerkmale in die Selektionsindizes einbezogen wurden. Diese Ergebnisse unterstreichen, warum Gene, die das fötale Wachstum und die Muskeldifferenzierung beeinflussen, Auswirkungen auf das postnatale Wachstum sowie die Schlachtkörper- und Fleischqualität haben.

Abbildung 1. Muskelfasertypen im Longissimus Muskel des Schweines (Foto: I. Fiedler)

Potenzielle Anwendung:

1. Praktische Tierzüchtung–Selektion auf vorteilhafte Muskelstrukturmerkmale wird die Schlachtkörper- und Fleischqualität gleichermaßen verbessern. 2. Als Kandidatengene mit Bezug zu Muskelfleischansatz und Fleischqualität können solche identifiziert werden, die das pränatale Muskelwachstum und die Regulation anaboler und kataboler Prozesse determinieren. 3. Die Identifizierung von Genen die jene Fleischqualitätsmerkmale vorteilhaft beeinflussen, die bedeutsam die Qualität verarbeiteter Produkte sind (z.B. DOP dry-cured hams in Italien).

Beispiel – Kaninchen

Die Selektion kleiner Fleisch liefernder Tiere, wie des **Kaninchens**, ist **hauptsächlich** auf **quantitative Aspekte** (Wachstumsrate, Muskelentwicklung) und weniger auf die Fleischqualität gerichtet. Wie beim Schwein existieren im Kaninchenmuskel zwei Hauptgruppen von Fasern mit unterschiedlicher Kontraktionsgeschwindigkeit: langsam (oxidative) und schnell kontrahierende (oxidative und glykolytische) Fasern. Bei der Geburt sind alle Fasern oxidativ, und Unterschiede entwickeln sich später in Abhängigkeit von der Funktion und dem Stoffwechsel adulter Muskeln. Eine **Selektion auf höhere Wachstumsrate** beeinflusst die biochemischen Eigenschaften der Muskulatur, die **Fleischqualität und -struktur** (Tab. 1). Insbesondere das Wasserhaltevermögen der Muskulatur ist geringer, der Lendenmuskel hat weniger langsame, oxidative Fasern, der Muskelstoffwechsel ist in Richtung Glykolyse verschoben, und das Fleisch wird zäher.

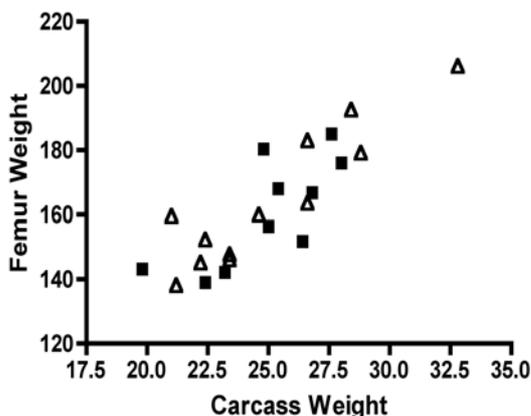
Tabelle 1. Merkmale der Fleischqualität, Biochemie, und Struktur des *M. longissimus thoracis et lumborum* von Kaninchen, selektiert auf Wachstumsrate (Mittelwerte u. Standardfehler *, p<0.05; **, p<0.01; ***, p<0.001)

Merkmale	Kontrolle	Selektion	Standardfehler	Signifikanz
Wasserverlust (%)	33.3	35.6	0.6	*
Biochemische Variable				
Myosin heavy chain I (%)	12.5	9.8	0.7	*
Aldolase (UI/g Muskel)	597.1	636.8	11.3	*
Warner-Bratzler Test				
Scherwert (kg/s*cm ²)	1.34	1.69	0.07	***
Struktur-Profil-Analyse				
Kaufähigkeit (kg)	1.95	2.37	0.98	**
Gummiartigkeit (kg)	4.54	5.31	0.19	**
Härtegrad (kg)	9.65	11.29	0.35	***

Potenzielle Anwendung: Produktionsstrategien, die Faktoren berücksichtigen, welche Muskelwachstum und Fasertypen verändern, da diese die Fleischqualität der Kaninchen deutlich beeinflussen.

Beispiel - Schaf

Beim Schaf korreliert die Schlachtkörperzusammensetzung mit dem Schlachtgewicht, welches wiederum durch den Gehalt an Muskulatur, Fett und Knochen bestimmt wird. Merkmale des **Metacarpal-Knochens** (Cannon bone) sind in Island seit den 1980igern als **Selektionskriterium** für die Verbesserung der Fleischqualität verwendet worden. Die Darstellung des Schlachtgewichts in Abhängigkeit von der Länge des Femur ($r^2 = 0.71$; $P < 0.0001$: $Y = 1.82X + 117.30$) oder vom Gewicht des Femur ($r^2 = 0.74$; $P < 0.0001$: $Y = 5.28X + 30.64$) ergab signifikante positive Korrelationen – siehe Abb. 2.



Die Merkmale mit dem höchsten **Erblichkeitsgrad** sind das Knochengewicht (0.61), gefolgt vom Fettanteil (0.49), dem Schlachtkörpergewicht (0.48), Magerfleischgewicht (0.35) und -anteil (0.05). Eine neuere Studie an Sauglammern, geschlachtet mit 14 kg, ergab, dass in einzelnen Teilstücken der Muskelansatz hoch mit der Knochenmasse korrelierte, speziell in der Keule ($r^2 = 0.88$) und der Schulter ($r^2 = 0.84$).

Abb. 2. Beziehung zwischen Schlachtkörper- und Femurgewicht beim Schaf

Potenzielle Anwendung: Messung der **Knochenmasse** als eine einfache, nicht invasive Methode zur **Vorhersage des Muskelfleischanteils** beim Schaf. Die Identifizierung von Faktoren, die mit der Fleischqualität korrelieren, als zweckdienliches Instrument in der Selektion.

Literatur: Bosi P., Russo V. (2004) Ital. J. Anim. Sci. 3: 309-321; Fiedler et al. (2004) J. Anim. Breed. Genet. 121: 331-344; Ramirez et al. (2004) Meat Sci. 67: 617-624; Rehfeldt et al. (2004) (Ed. Te Pas, Everts, Haagsman) CAB Int. Wallingford, Oxon, UK, 1-37; Russo V., Nanni Costa L. (1995) Pig News and Information 16: 17N-26N; Tatara et al. (2007) Small Ruminant Res. 67: 179-183; Tygesen et al. (2007) Livest. Sci. 110: 230-241.

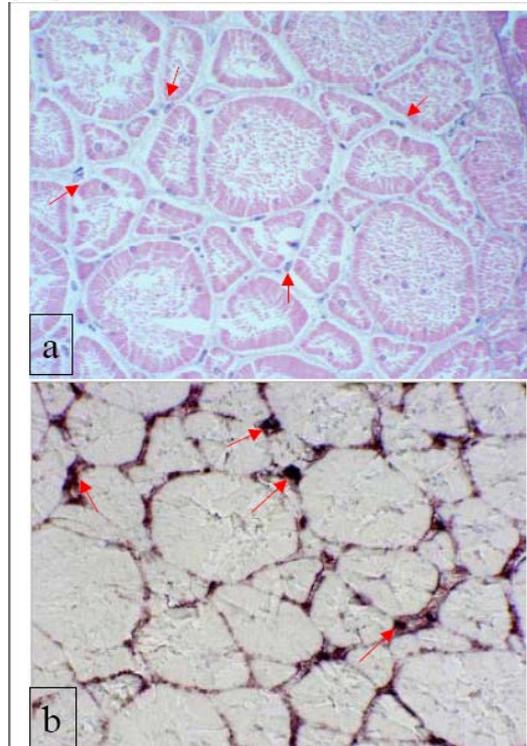
2. Existieren genetische Marker für das postnatale Muskelwachstumspotenzial beim Fisch?

Die Goldbrasse (*Sparus auratus*) und der Atlantische Heilbutt (*Hippoglossus hippoglossus*) sind hochwertige, großwüchsige Zuchtfischarten. Die Entwicklung der Fischmuskulatur unterscheidet sich von der terrestrischer Nutztiere indem sich unterschiedliche Fasertypen in verschiedenen Körperzonen entwickeln und neue Muskelfasern das ganze Leben lang gebildet werden. Bei Goldbrasse und Heilbutt vollzieht sich der Übergang von der Larve zum Jungfisch relativ schnell (Wochen bis Monate), und die Entwicklung der weißen Muskulatur (schnelle, anaerobe Fasern) geschieht in mehreren Phasen. Der Übergang von der Larve zum Jungfisch (oder Metamorphose bei Plattfischen) geht mit der Entstehung einer charakteristischen Muskelstruktur einher, wobei die weiße Muskulatur aus großen, polygonalen weißen Fasern besteht, zwischen denen kleine myogene Zellen verstreut sind.

Myosin light chain 2 (MLC2), eine Komponente des Myosins, die essenziell für die Muskelkontraktion ist, markiert verschiedene **Entwicklungsphasen weißer Muskulatur**. Bei Heilbutt und Goldbrasse existieren zwei Isoformen (MLC2A und MLC2B). Die Isoform A erscheint in der frühen Entwicklung während der Bildung der Somiten. Seine Expression ist hoch in der hyperplastischen Phase und nimmt im Jungfisch signifikant ab.

Die Isoform A-Expression markiert neu gebildete weiße Fasern und ist in Jungfischen auf kleine Zellen zwischen den Fasern beschränkt, höchst wahrscheinlich Satellitenzellen (Abb. 3). Isoform B zeigt ein ausgedehnteres Expressionsmuster im Gewebe, erscheint nach dem Schlüpfen und ist in Jungfischen unverändert.

Abb. 3. Muskelfaseranordnung bei der Goldbrasse (a) MLC2A Expression in juveniler Muskulatur (b) MLC2 Expression (in situ Hybridisierung-Pfeile).



Potenzielle Anwendung: MLC2A besitzt die erforderlichen Eigenschaften eines **genetischen Markers für das Muskelwachstumspotenzial** beim Fisch.

Literatur: Campinho et al., (2007) BMC Dev. Biol. im Druck; Koumans and Akster (1995) Comp. Biochem. Physiol. 11: 3-20; Silva et al. (2006) Arch. Anim. Breed. 49 (Special issue): 97-101.

3. Ursachen und Folgen von Wurfvariation und geringem Geburtsgewicht beim Schwein - Beziehung zu postnatalem Wachstum, Schlachtkörper- und Fleischqualität.

Das Geburtsgewicht und dessen Variation innerhalb von Würfen sind wichtige ökonomische Merkmale in der Schweineproduktion. Die Züchtung auf **große Würfe** in den letzten Jahrzehnten hat die **Variation innerhalb der Würfe** erhöht und auf Grund intrauteriner Wachstumsbeeinträchtigung das mittlere Geburtsge-

wicht verringert. Geringes Geburtsgewicht korreliert mit niedriger Überlebensrate, geringer postnataler Wachstumsrate sowie mit verminderter Schlachtkörper- und Fleischqualität. Die Auswirkungen der Züchtung auf pränatale Ereignisse und deren Einfluss auf die postnatale Wachstumsleistung müssen noch aufgeklärt werden. Schweine mit **geringem Geburtsgewicht** (LW) bilden **weniger Muskelfasern** (Abb. 4) während der pränatalen Entwicklung, und die Skelettmuskulatur ist weniger ausgereift. LW-Schweine zeigen eine geringere Wachstumsrate und im Schlachttalter den geringsten Fleischansatz und den höchsten Verfettungsgrad verglichen mit Schweinen hohen (HW) oder mittleren (MW) Geburtsgewichts. Dies unterstreicht die Bedeutung der intrauterinen Programmierung für Muskelstruktur und Wachstum sowie adulte Fettleibigkeit. Diese Effekte scheinen bei weiblichen Tieren stärker ausgeprägt zu sein als bei männlichen. LW-Schweine besitzen größere Muskelfasern als HW- und MW-Schweine, und dieses geht mit verminderter Fleischqualität einher mit Ausnahme des intramuskulären Fettgehalts. Die technologische Fleischqualität erscheint optimal bei MW-Schweinen im Vergleich zu LW- und HW-Schweinen.

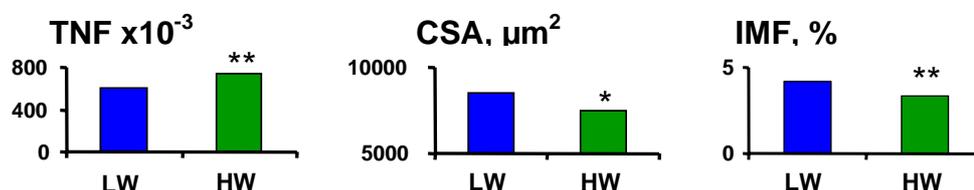


Abb. 4. Einfluss geringen (LW) vs. hohem (HW) Geburtsgewicht auf die Muskelfasergesamtanzahl (TNF), Muskelfaserquerschnittsfläche (CSA) und intramuskulären Fettgehalt (IMF) im *M. semitendinosus* des Schweines im Schlachttalter (Gondret et al., 2006).

Jüngere Studien an männlichen Kastraten zeigen dass eine **kompensatorische Wachstumsstrategie** den negativen Einfluss geringen Geburtsgewichts auf das Wachstum und die Schlachtkörperqualität nicht ausgleichen kann.

Potenzielle Anwendung: Eine Reduzierung der Wurfvariation in Muskelfaseranzahl und Geburtsgewicht resultiert in erhöhter Wurfleistung und einer einheitlicheren Schlachtkörper- und Fleischqualität. **Züchterische Selektion** und/oder geeignete **maternale Fütterungsregime** sollten die Produktion **ausgeglichener Würfe** mit Ferkeln von mittlerem bis hohem Geburtsgewicht zum Ziel haben .

Literatur:: Bee (2004) J. Anim. Sci. 82: 826-836; Gondret et al. (2006) J. Anim. Sci. 84: 93-103; Nissen et al. (2004) J. Anim. Sci. 82: 414-421; Rehfeldt and Kuhn (2006) J. Anim. Sci. 84(Suppl): E113-123; Rehfeldt et al. (2008) Meat Sci. 78: 170-175.

4. Bestimmen pränatale Bedingungen die postnatale Leistung?

Beispiel - Schwein

Innerhalb von Würfen existiert eine große Variation in der postnatalen Leistung, und dieses resultiert teilweise aus der Variation im Geburtsgewicht und der Anzahl der pränatal gebildeten Muskelfasern. Differenzen in Muskelfaseranzahl und Geburtsgewicht werden der Unterernährung der kleineren Wurfgeschwister während der fötalen Entwicklung zugeschrieben, obwohl zum Teil auch genetische Ursachen zu erwarten sind. Diese Differenzen beeinflussen die Schlachtkörper- und Fleischqualität von Schlachtschweinen. Zum Test der Hypothese, dass die maternale Ernährung die Entwicklung der Muskulatur in Schweineföten beeinflusst, wurden die Effekte einer erhöhten Futterverfügbarkeit in kritischen "Zeitfenstern"

der Trächtigkeit, wenn die Muskelfasern gebildet werden, untersucht und zu Wachstum und Schlachtkörperqualität in Beziehung gesetzt.

Ein erhöhtes Futterangebot während der Trächtigkeit hatte wenig Einfluss auf die Leistungseigenschaften der Schweine, reduzierte aber den Fettgehalt der Schlachtkörper. Gewicht, tägliche Zunahme und Futtermittelverwertung bis zum Schlachten (ca. 157. Lebenstag) waren unverändert. Die Rückenspeckdicke war reduziert bei 60 MJ DE/Tag vom 25. bis 50. oder 50. bis 80. Tag der Trächtigkeit auf 9.9 bzw. 9.2 cm verglichen mit 10.6 cm bei 30 MJ DE/Tag während der gesamten Trächtigkeit. Frühere Ergebnisse haben gezeigt, dass die globale Erhöhung der Nährstoffzufuhr in kritischen Zeitfenstern die Zahl der Muskelfasern bei den Nachkommen nicht erhöht. Vorläufige Beobachtungen deuten darauf hin, dass die Fasertypenprofile beim Schlachten signifikant verändert sind.

Potenzielle Anwendung: Maternale Überversorgung bei Schweinen ist nicht sehr effektiv, um die Myogenese zu stimulieren und das Geburtsgewicht der Nachkommen zu erhöhen. Änderungen in der maternalen Ernährung in kritischen Zeitfenstern wirken sich möglicherweise auf die spätere Schlachtkörperqualität aus und auf Merkmale der Muskulatur, welche mit der Fleischqualität korrelieren.

Literatur: Lawlor et al. (2007). Arch. Anim. Breed. 50 (Special Issue): 82-91; Nissen et al. (2003) J. Anim. Sci. 81: 3018-3027.

Beispiel- Schaf

Untersuchungen am Schaf beinhalten die Effekte maternaler Ernährung während der Präimplantation und frühen Trächtigkeit oder während der Phase der Myoblastenproliferation vor der fötalen Muskelfaserbildung (frühe bis mittlere Trächtigkeit). Diese haben gezeigt, dass die Skelettmuskulatur in diesen „kritischen Zeitfenstern“ sensitiv auf die Ernährung reagiert.

In einem der Versuche erhielten die Mutterschafe entweder 50% oder 140% des täglichen Bedarfs von 4-6 Tagen vor bis 7 Tage nach der Anpaarung. Am 90. Trächtigkeitstag hatten die Föten (Einlinge) der unterernährten Mütter ein reduziertes Verhältnis von sekundären zu primären Muskelfasern im Longissimus (LD) und Semitendinosus bei unveränderten Muskel- und Organgewichten (Kuran et al., 2008). Die Effekte auf die Schlachtkörper- und Fleischqualität der Nachkommen wird gegenwärtig untersucht. In einem anderen Versuch, hatten 14 Tage alte Lämmer von Mutterschafen, die vor der Hauptperiode der Muskelfaserbildung (30.-70. Trächtigkeitstag) unterernährt wurden (50% vs 100% des täglichen Bedarfs), eine geringere Anzahl und größere Sekundärfasern im LD und Vastus lateralis (Fahey et al, 2005). Keine Effekte traten bei Unterernährung in anderen Perioden (d 55-95 oder d85-115) auf. Wenn die Lämmer von unterernährten Müttern (d 30-70 oder d 30-85) bis zum Marktgewicht (17 Wochen, 40-45 kg) oder darüber hinaus (24 Wochen, 50-60 kg) aufgezogen wurden, waren die bei jüngeren Tieren beobachteten Effekte auf die Muskulatur meistens nicht mehr vorhanden (Daniel et al., 2007), was auf Adaptation hinweist. Jedoch zeigten die Lämmer erhöhte Anzeichen von Verfettung, was bei den älteren Tieren stärker ausgeprägt war.

Potenzielle Anwendung: Maternale Unterernährung in kritischen Entwicklungsstadien hat Einfluss auf die Muskelfaserbildung bei fötalen oder jungen Lämmern, wobei postnatal ein adaptiver Ausgleich möglich ist. Änderungen in der maternalen Ernährung in kritischen Zeitfenstern kann, insbesondere bei älteren Tieren, die spätere Schlachtkörper- und Fleischqualität beeinflussen.

Literatur: Daniel et al. (2007) J. Anim. Sci. 85: 1565-1576; Fahey et al. (2005) J. Anim. Sci. 83: 2564-2571; Kuran et al. (2008) Arch. Anim. Breed., im Druck.

Beispiel – Geflügel

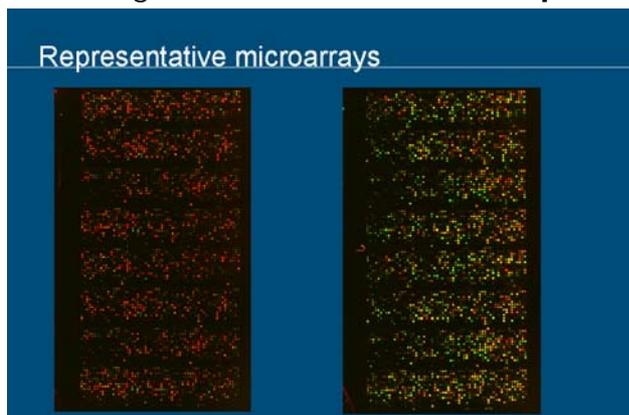
Veränderungen in den Inkubationsbedingungen von Geflügeleiern haben einen Einfluss auf verschiedene Produktionsparameter wie Futteraufnahme oder Muskelentwicklung. Eine Erhöhung der Inkubationstemperatur in spezifischen Perioden der Embryogenese resultiert in einer erhöhten Muskelfaseranzahl (MFN) (Maltby et al., 2004). Bei solchen Tieren wird ein angemessenes Schlachtkörpergewicht und entsprechender Ertrag an Brustfleisch bei geringerem Wachstum der einzelnen Muskelfasern erzielt. Muskelfaserhypertrophie steht in Beziehung zu Fleischqualitätsproblemen und degenerativen Muskelerkrankungen, so dass eine erhöhte MFN einen positiven Effekt auf das Wohlbefinden der Tiere, die Krankheitsresistenz sowie die Fleischqualität haben könnte. Der negative Aspekt von großen Muskelfasern (Hypertrophie) besteht in einer höheren Stressempfindlichkeit während der Haltung, des Transports und der Schlachtung. Vögel mit akuten und chronischen Muskelveränderungen zeigen ein eingeschränktes Wohlbefinden, reduzierte Krankheitsresistenz bei höherer Anfälligkeit für bakterielle, parasitäre und virale Infektionen, und entwickeln eine schlechtere Fleischqualität.

Potenzielle Anwendung: Manipulation der Entwicklung vor dem Schlüpfen zur Erhöhung der Muskelfaseranzahl, der Verbesserung von Wohlbefinden, Krankheitsresistenz und Fleischqualität bei Geflügel.

Literatur: Maltby et al., 2004; Werner and Wicke (2007) Arch. Anim. Breed. 50(Special Issue): 8-14.

5. Genetische Marker zur Messung und Voraussage von Schlachtkörperqualität, Fleischqualität und Krankheiten.

Wachstumsleistung, Schlachtkörper- und Fleischqualität sowie Tiergesundheit sind wichtige ökonomische Faktoren in der Schweine- und Rinderproduktion. Um die Fleischproduktion auf hohem Qualitätsniveau mit gesunden Tieren gezielt zu fördern und gleichzeitig die daraus entstehenden Produkte klar zu differenzieren, bedarf es der Entwicklung von messbaren biologischen Indikatoren (**Biomarker**) für die genannten **Merkmalskomplexe**.



ANIMAL SCIENCES GROUP
WAGENINGEN UR

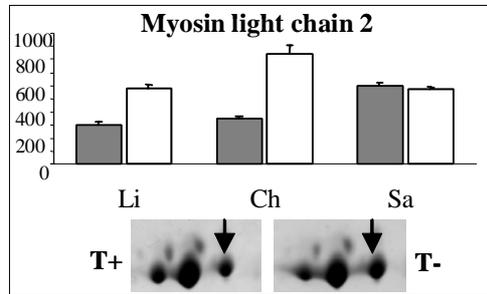
Biomarker werden mittels **OMICS-Technologien** entwickelt. Sie werden Auskunft über die Variabilität im Genom, die Expression von Genen und das komplexe Erscheinungsbild von Proteinen (Metaboliten) geben. Biomarker ermöglichen die Bestimmung der Schlachtkörper- und Fleischqualität oder die Vorhersage für Leistungsmerkmale am lebenden Tier oder kurz nach der Schlachtung.

Abb. 5. Beispiel einer vergleichenden Genexpressionsanalyse auf der Transkriptionsebene (mRNA).

Bisher sind verschiedene Marker für die Schweinefleischqualität (quantitative Merkmals Loci - QTLs) identifiziert worden und die entsprechenden Kandidatengene werden zurzeit untersucht. Kandidatengene für das Spreizersyndrom beim Schwein wurden gefunden; Mutationen im IGF-II- und MC4R-Gen wurden mit dem Magerfleischansatz und der Wachstumsleistung des Schweins assoziiert.

Die differenzielle Genomanalyse der Skelettmuskulatur beim Rind hat gezeigt, dass das hohe Muskelansatzpotenzial- sowohl monogenen Ursprungs (Doppel-

lender) als auch bedingt durch die klassische Selektion- zur erhöhten Expression von Genen führt, die für die schnellen glykolytischen Muskelfasern kodieren. Gene, die die kontraktilen Eigenschaften der Muskulatur kontrollieren, scheinen stärker beeinflusst zu sein als jene, die für den Stoffwechsel kodieren. Mittels der differentiellen Genexpression konnte nachgewiesen werden, dass die schnellen Troponin T Isoformen, welche das Exon 16 enthalten, gute Marker für die Muskelhypertrophie



sind. Forschungsarbeit ist im Gange, um Gene oder Proteine zu finden, welche als Marker für Merkmale dienen können, die die Zartheit von Rindfleisch kontrollieren.

Abb. 6: Beispiel unterschiedlicher Abundanz eines Proteins von sensorisch zartem (T+) oder zähem (T-) *Semiteminosus* Muskel von Limousin (Li)-, Charolais (Ch)- und Salers (Sa)- Rindern.

Potenzielle Anwendung: Biomarker werden den Rinder- und Schweinezuchtorganisationen helfen, genetische Fortschritte zu erzielen, um das Potenzial für eine bessere Schlachtkörper-, Fleischqualität und Tiergesundheit auszuschöpfen. Die Identifizierung von Markern zur Differenzierung der Fleischqualität im Schlachthaus oder in der Fleischverarbeitung entspricht den Bedürfnissen der Konsumenten.

Literatur: Bernard et al. (2007) J. Agric. and Food Chem. 55:5229-5237; Bouley et al. (2003) Science des Aliments 23:75-79; Bouley et al. (2005) Proteomics 5:490-500; Cassar-Malek et al. (2007) BMC Genomics 8:63; Deveaux et al. (2003) Reprod. Nutr. Dev. 43:527-542; Hocquette et al. (2007) Animal 1: 159-173; Van den Maagdenberg et al. (2007) Arch. Anim. Breed. 50: 60-61; Maak et al. (2003) Genet. Sel. Evol. 35:157-165; Morzel et al. (2007) Meat Sci., im Druck; Te Pas et al. (2005) Muscle Res. Cell. Motil. 26:157-165; Wimmers et al. (2006) BMC Genetics 7:15.

6. Einfluss bioaktiver Wirkstoffe auf das Muskelwachstum.

Die Differenzierung und das Wachstum der Skelettmuskulatur werden durch eine Vielzahl von Faktoren kontrolliert. Hormone, Wachstumsfaktoren und Nährstoffe spielen dabei eine wichtige Rolle. **Myogene Zellkulturen** erlauben die Erforschung der Rolle dieser Faktoren in der Wachstumsregulation, wobei sich deren direkte Einflüsse sowie Interaktionen auf physiologische Zellfunktionen untersuchen lassen. Kürzlich wurden Kulturen von Muskelsatellitenzellen (Abb. 7) des Schweins verwendet, um den direkten Einfluss von **Wachstumsfaktoren, Östrogenen und Isoflavonen** auf deren Wachstum zu untersuchen. Isoflavone sind steroid-ähnliche Substanzen in Pflanzen. Hohe Konzentrationen sind in Soja enthalten, welches ein wichtiger Bestandteil der Diät sowohl beim Menschen als auch beim Schwein ist. Die Proliferation von Muskelzellen des Schweins wurde durch den Epidermalen Wachstumsfaktor (**EGF**) und den insulin-ähnlichen Wachstumsfaktor I (**IGF-I**) stimuliert, während Östrogene keinen Einfluss zeigten. Hohe Konzentrationen der typischen Isoflavone, Genistein und Daidzein, beeinflussten die **Proliferation** und die **Überlebensrate** der Zellen **negativ**. Im Gegensatz dazu hemmten Östrogene im

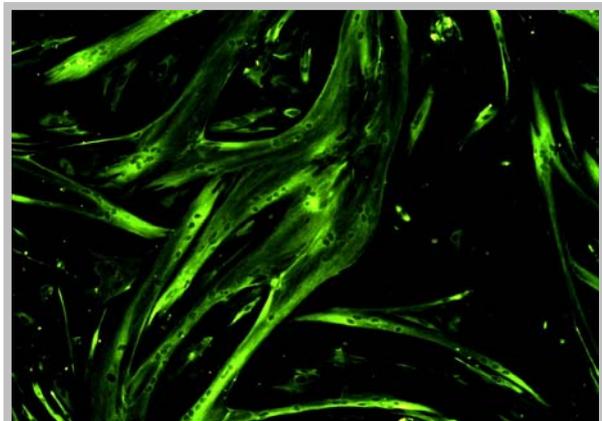
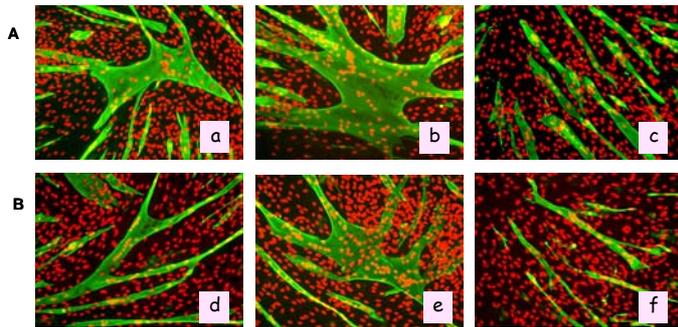


Abb. 7. Desmin-positive Myotuben vom Schwein, die unter serumfreien Bedingungen gezüchtet wurden. (Foto: M. Mau)

physiologischen Bereich sowie Isoflavone in geringen Konzentrationen den Proteinabbau in differenzierten Muskelzellen des Schweins und haben damit das Potenzial den **Nettoproteinansatz zu erhöhen**.



Weitere Untersuchungen mit Zellkulturen zeigen, dass verschiedene Zelltypen, wie Myoblasten, Adipozyten und Fibroblasten, während des pränatalen Muskelwachstums via **Zell-Zell-Interaktionen** kommunizieren. Diese Interaktionen tragen vermutlich zur Ausprägung des **Muskel/Fett** Verhältnisses beim wachsenden Rind bei.

Abb. 8. Die Differenzierung der Myoblasten des Rindes wird durch das Kulturmedium von Fibroblasten (A) und Prädipozyten (B) beeinflusst (Foto: B. Picard).

Potenzielle Anwendung: In vitro Tests erlauben das schnelle **Screening** möglicher **Effekte** von **Chemikalien** und **Biomolekülen** auf das Muskelwachstum. Die verfügbaren Ergebnisse zeigen, dass Isoflavone in hohen Konzentrationen die Proliferation und Überlebensrate der Muskelzellen beeinträchtigen können. Umwelteinflüsse und genetische Faktoren, welche die IGF-I und EGF Signalübertragung sowie das Zusammenspiel verschiedener Zelltypen verändern, beeinflussen maßgeblich das Wachstum der Skelettmuskulatur.

Literatur: Mau et al. (2006) Arch. Anim. Breed. 49(Special Issue): 81-85; Mau et al. (2007) Arch. Anim. Breed. 50(Special Issue): 17-21; Orzechowski (2006) Arch. Anim. Breed. 49(Special Issue): 52-53. Rehfeldt et al. (2007) Meat Sci. 75: 103-111.

7. Werden neue Techniken zur Bestimmung der Fleischqualität am lebenden Tier erforscht?

Trotz markanter Fortschritte in der objektiven Schlachtkörperbewertung will die Industrie in größerem Maße den Bedürfnissen der Konsumenten nach einer dauerhaft hohen **Genussqualität** nachkommen. Diese wird wesentlich von **Ereignissen nach der Schlachtung**, während der Umwandlung vom Muskel zum Fleisch, bestimmt. Aus Sicht der Zuchtorganisationen besteht jedoch der Bedarf, mit nicht invasiven Methoden schon am lebenden Tier die **Fleischqualität vorherzusagen**. Verschiedene Methoden werden zurzeit mit dem Ziel erforscht, entweder am lebenden Tier oder am Schlachtkörper selbst die Fleischqualität zu eruieren.

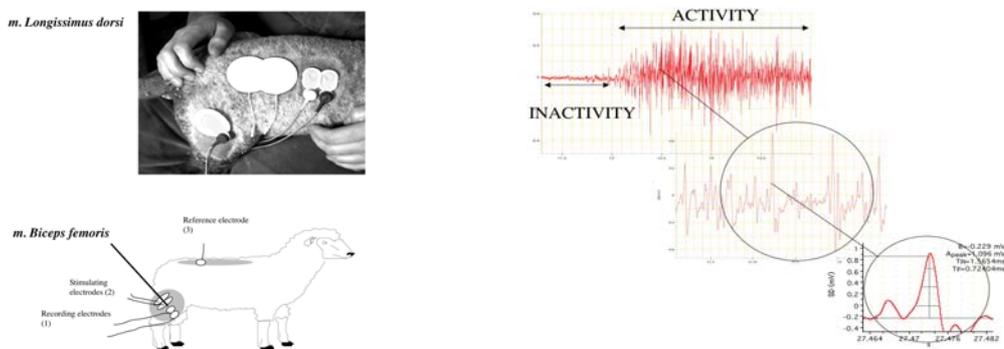


Abb. 9. Illustration der Evoked Surface Electromyography (SEMG) Technik

Evoked surface electromyography (SEMG) ist eine sichere, schnelle, schmerzfreie, nicht invasive Methode zur Bestimmung elektrischer Signale in aktiven Muskelfasern, die den Muskel zur Krafterzeugung und Kontraktion anregen (Abb. 8). Derartige Kenntnisse über die Muskelfunktion geben einen Einblick in die Gesundheit und Widerstandsfähigkeit der landwirtschaftlichen Nutztiere. In der Tat sind **Wachstum** und **physiologische Aktivität** der Muskulatur in Perioden von **Mangelernährung, Krankheit und Stress** oft zuerst betroffen.

Untersuchungen zeigen, dass die am langen Rückenmuskel des Schweins gemessenen SEMG Signale nicht nur mit dem Glykogengehalt der Muskelfasern positiv korrelieren, sondern auch mit dem pH Abfall im Muskel nach der Schlachtung. Zugleich scheint auch eine positive Beziehung zwischen der Scherkraft (Maß für Zartheit; $r^2=0.64$; $P=0.009$) und dem SEMG Signal zu bestehen. Beim Schaf zeigen erste Ergebnisse, dass die Muskelfasergröße sowohl mit dem Schlachtgewicht ($r^2=0.76$; $P=0.05$) als auch mit der Scherkraft ($r^2=-0.93$; $P=0.003$) korreliert.

Beim Rind ist das **Troponin T**, ein myofibrilläres Protein, ein potenzieller Marker für die Fleischqualität, welcher in kleinen Gewebsbiopsieproben mit Hilfe spezifischer Antiseren gemessen werden kann. Erhöhte Konzentrationen dieses Proteins in der löslichen Fraktion sind mit besserer Fleischqualität assoziiert.

Potenzielle Anwendung: SEMG wird eingeschätzt als eine Methode (1) zur Bestimmung der Muskelfaserzusammensetzung bei landwirtschaftlichen Nutztieren in verschiedenen Entwicklungsstadien (2) mit dem Potenzial, die Fleischqualität in Beziehung zur Muskelfunktion und (3) den Einfluss von Muskelfunktion und –masse auf die Widerstandsfähigkeit der Tiere vorherzusagen.

Literatur: Mullen et al., (2000) ISBN-1-84170-157-2

Glossar

Kandidatengen – Gen einer Chromosomenregion, das für ein Protein kodiert, von dem erwartet wird, dass es für ein spezifisches Merkmal (z.B. Wachstumsrate, Krankheit) Bedeutung hat.

Fasertyp – Kategorie von Skelettmuskelfasern mit unterschiedlichen kontraktilen und metabolischen Eigenschaften; z.B. schnell/langsam kontrahierend; oxidativ/glykolytisch.

Genetische Marker – bekannte DNA Sequenz, identifizierbar mit einem einfachen Assay. Genetiker versuchen, genetische Marker mit spezifischen Merkmalen (z.B. Wachstumsrate) zu assoziieren.

Glykolyse – Stoffwechselfad in der Zelle, liefert Energie ohne Sauerstoffverbrauch.

Hormon – (griechisch *ὁρμή*-"in Bewegung setzen") chemischer Botenstoff von einer Zelle (oder Zellverband) zur anderen. Alle vielzelligen Organismen produzieren Hormone.

Metabolismus – (Stoffwechsel) Chemische Reaktionen innerhalb lebender Zellen. Metabolismus beinhaltet die Abfolge der Transformation chemischer Verbindungen und wird häufig in Stoffwechselfade eingeteilt.

Myosin – Myosine sind eine große Familie motorischer Proteine in eukaryotischen (Zellen mit Kern) Geweben. Sie sind verantwortlich für die actin-basierten Bewegungsabläufe. Im Skelettmuskel ist Myosin verantwortlich für die Kontraktion.

Myoblast – (griechisch *mys* "Muskel", *blastos* "Keim"), spindelförmige Vorläuferzelle der Skelettmuskelfaser im Embryo. Myoblasten entwickeln sich aus präsumptiven Myoblasten innerhalb des Myotoms, welche seinen Ursprung in der mittleren Keimschicht (Mesoderm) hat. Myoblasten synthetisieren die Myofilamente Actin und Myosin. Mittels Zellfusion bilden die Myoblasten vielkernige Myotuben, die zu Muskelfasern heranreifen.

Muskel-Satellitenzelle – Einkernige Stammzelle lokalisiert zwischen Basalmembran und Sarkolemm der reifen Muskelfaser. Satellitenzellen können differenzieren und fusionieren und zum Größenwachstum der Muskelfaser beitragen oder neue Fasern bilden.

Quantitative trait loci (QTL) – DNA-Abschnitte, die in enger Nachbarschaft von Genen liegen, welche signifikante Effekte auf Merkmale haben (z.B. Wachstum, Fettgehalt).